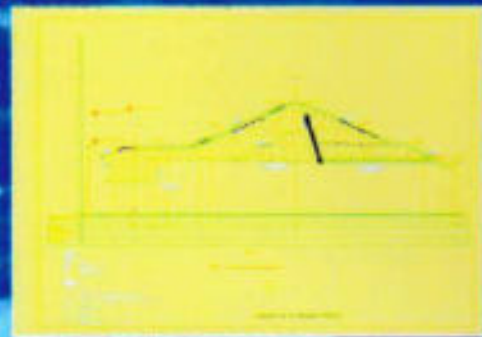


*Ir. HERI SULISTIYONO, M.ENG., Ph.D*

# **PENGEMBANGAN SUMBER DAYA AIR DI BIDANG TEKNIK SIPIL**

*ISBN : 978-623-5297-30-9*



**2023**

# Pengembangan Sumber Daya Air di Bidang Teknik Sipil

<b>Penulis</b>	: Ir. Heri Sulistiyono, M.Eng., Ph.D
<b>Layout</b>	: <b>Muh. Zikron Kurniadin</b>
<b>Diterbitkan oleh</b>	: <b>CV. Putra Rinjani</b> Jl. Gn. Pengsong Perumahan Griya Perampuan Asri N17- Lombok-NTB
<b>Email</b>	: putrarinjanipenerbit20@gmail.com
<b>Hp.</b>	: 081 803 644 643
<b>Tahun Cetak</b>	: <b>April 2023</b>
<b>Akses Buku</b>	: <b>www.cvputrarinjani.id</b>

ISBN: 978-623-5297-30-9



**CV. PUTRA RINJANI**  
PENERBIT DAN PERCETAKAN  
JL. GUNUNG PENGSONG  
PERUMAHAN PERAMPUAN ASRI  
081 803 644 644

@Hak cipta dilindungi Undang-undang  
Dilarang mencetak atau memperbanyak sebagian atau seluruh  
isi buku dalam bentuk dan cara apapun tanpa ijin tertulis dari  
Penerbit

## KATA PENGANTAR

Meningkatnya kebutuhan masyarakat untuk mengeksploitasi sumber daya air menarik dunia pendidikan untuk ikut memperhatikan kelestariannya. Ketertarikan ini menumbuhkan pemikiran lebih lanjut untuk mengembangkan materi pendidikan agar mampu menjawab permasalahan yang timbul akibat eksploitasi sumber daya air permukaan, diantaranya adalah sungai. Salah satu upaya meningkatkan kinerja dosen perguruan tinggi, khususnya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, Dekan Fakultas Teknik menugaskan kepada dosen untuk melakukan pengembangan bahan pengajaran mata kuliah yang satu diantaranya dapat berupa Pengembangan Buku Teks.

Buku ini dimaksudkan sebagai sumber tambahan informasi mengenai analisis hidrologi, penatagunaan SDA, pengendalian sungai, pedoman perencanaan embung sebagai sumber daya air dan manajemen sumber daya air bagi khususnya mahasiswa teknik sipil serta umumnya pihak-pihak yang tertarik dengan pengembangan sumber daya air. Struktur buku ini terdiri atas 6 (enam) bab, dengan pembahasan pada BAB I adalah Pendahuluan; BAB II, Analisis Hidrologi; BAB III, Penatagunaan SDA; BAB IV, Pengendalian Sungai; BAB V, Perencanaan Embung; dan BAB VI, Manajemen SDA Buku ini dirancang untuk mahasiswa yang telah lulus maupun sedang mengambil atau khalayak ingin memahami Pengembangan Sumber Daya Air.

Akhirnya disampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu sehingga naskah tutorial ini dapat tersusun. Dengan mengucap *Bismillahir rohmanir rohim* Penyusun berharap semoga Buku ini dapat memenuhi fungsinya dalam pelaksanaan pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Mataram pada khususnya dan bidang ketekniksipilan pada umumnya.

Mataram, Maret 2023

Penyusun

## DAFTAR ISI

<b>Kata Pengantar</b> .....	i
<b>Daftar Isi</b> .....	ii
<b>Glosarium</b> .....	iv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1. LATAR BELAKANG.....	1
1.2. PENGERTIAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA AIR .....	2
1.3. KONSEP PENGEMBANGAN SUMBER DAYA AIR .....	4
<b>BAB II ANALISIS HIDROLOGI</b> .....	<b>7</b>
2.1. HIDROLOGI SEBAGAI DASAR PENGEMBANGAN SUMBER DAYA AIR .....	7
2.2. ANALISIS EVAPOTRANSPIRASI .....	8
2.3. ANALISIS FREKUENSI .....	17
2.4. ANALISIS DEBIT BANJIR PUNCAK .....	21
2.5. ANALISIS DEBIT ANDALAN .....	56
<b>BAB III PENATAGUNAAN SUMBER DAYA AIR DAERAH ALIRAN SUNGAI</b> .....	<b>68</b>
3.1. LATAR BELAKANG PENATAGUNAAN SUMBER DAYA AIR .....	68
3.2. PERTIMBANGAN PENTINGNYA PENATAGUNAAN SUMBER DAYA AIR .....	69
3.3. MANFAAT PENATAGUNAAN SUMBER DAYA AIR..	70
3.4. PEMILIHAN SKALA PRIORITAS DAS .....	70
3.5. INVENTARISASI WILAYAH STUDI .....	74
3.6. ANALISIS POTENSI WILAYAH .....	76
3.7. ANALISIS KESEIMBANGAN AIR .....	93

<b>BAB IV</b>	<b>PENGENDALIAN SUNGAI SEBAGAI SUMBER</b>	
	<b>DAYA AIR .....</b>	<b>95</b>
4.1.	REFERENSI MENGENAI TEKNIK PENGENDALIAN SUNGAI DI INDONESIA.....	95
4.2.	PERMASALAHAN SUNGAI .....	97
4.3.	ANALISIS MASALAH .....	99
4.4.	PENDEKATAN TEKNIS RENCANA PENGENDALIAN BANJIR .....	100
4.5.	SURVAI LAPANGAN .. .....	101
4.6.	ANALISIS PERENCANAAN .....	113
4.7.	PERENCANAAN PENANGANAN SUNGAI .....	178
<b>BAB V</b>	<b>PERENCANAAN EMBUNG (<i>SMALLDAM</i>) SEBAGAI</b>	
	<b>SARANA PEMANFAATAN SUMBER DAYA AIR .....</b>	<b>206</b>
5.1.	LATAR BELAKANG .....	206
5.2.	LINGKUP PEKERJAAN PERENCANAAN EMBUNG..	209
5.3.	SURVAI TOPOGRAFI .....	210
5.4.	INVESTIGASI GEOLOGI .....	223
5.5.	SURVAI SOSIO-AGRO-EKONOMI .....	233
5.6.	SURVAI DAN KAJIAN PEMANTAUAN DAN PENGELOLAAN LINGKUNGAN .....	235
5.7.	SURVAI HIDROMETRI .....	244
5.8.	ANALISIS HIDROLOGI .....	245
<b>BAB VI</b>	<b>MANAJEMEN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA AIR..</b>	<b>291</b>
6.1.	UMUM .....	291
6.2.	UNDANG-UNDANG SUMBER DAYA AIR.....	294
6.3.	OPERASI DAN PEMELIHARAAN SUMBER DAYA AIR .....	295
6.4.	SISTEM INFORMASI SUMBER DAYA AIR.....	296
6.5.	PENGAWASAN SUMBER DAYA AIR.....	297
6.6.	PENGELOLAAN DAN KOORDINASI SUMBER DAYA AIR .....	297
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>300</b>
	<b>INDEKS .....</b>	<b>304</b>

## GLOSARIUM

Akuifer	= lapisan tanah yang dapat mengikat atau mengandung air
Aliran air tanah	= aliran air di dalam tanah
Bendung	= bangunan air yang berfungsi untuk meninggikan muka air
Bendungan	= bangunan air yang berfungsi untuk menampung air
Bero	= tanah atau lahan tidak ditanami
Debit	= besarnya volume air yang mengalir setiap satuan waktu dalam satuan $m^3/dt$
<i>Demand Oriented</i>	= tahapan suatu sumber air yang hanya mampu mencukupi kebutuhan air jika dilakukan suatu upaya pengelolaan yang baik
Durasi hujan	= lama waktu kejadian hujan
Embung	= bendungan kecil tradisional berasal dari Nusa Tenggara
<i>Global Positioning System</i>	= alat untuk mengetahui koordinat suatu titik di muka bumi
Hidrograf	= grafik yang menyatakan hubungan antara debit aliran dan waktu
Hidrograf banjir satuan sintetik	= hidrograf satuan yang dibuat tanpa menggunakan data aliran tetapi dengan memanfaatkan parameter-parameter DAS
Hujan efektif	= curah hujan yang langsung menjadi aliran permukaan
<i>Hydrological cycle</i>	= siklus hidrologi
<i>Hydro-power</i>	= pembangkit listrik tenaga air
Indeks Kekritisian Air	= suatu angka yang menunjukkan perbandingan antara kebutuhan dan ketersediaan air
Infiltrasi	= proses meresapnya air ke dalam tanah
Intensitas hujan	= besarnya hujan dalam satuan mm/jam
Konservasi	= upaya pelestarian sumber daya air tawar
<i>Low flow</i>	= aliran rendah atau aliran saat tidak terjadi banjir
Neraca Air	= <i>Water Ballance</i>
<i>One river, one plan, one integrated management</i>	= satu manajemen perencanaan yang menyeluruh terhadap satu daerah aliran sungai
<i>Peak flow</i>	= aliran banjir
Periode Ulang	= siklus pengulangan kejadian hujan besar atau debit banjir

- Perkolasi = proses pengisian air tanah atau proses penjenjutan tanah
- Rencana tindak darurat = suatu prosedur tindakan yang telah direncanakan dan disahkan oleh pejabat yang berwenang untuk mengatasi keadaan darurat atau bencana
- Resource Oriented* = tahapan suatu sumber air yang hanya mampu mencukupi kebutuhan air jika dilakukan suatu upaya pengelolaan dan pembaharuan yang baik
- Return flow* = aliran balik
- Supply Oriented* = tahapan suatu sumber air yang mampu mencukupi semua kebutuhan air
- Tinggi hujan = besarnya hujan yang diukur menggunakan gelas ukur dalam satuan mm



# BAB I

## PENDAHULUAN

**B**ab ini menjelaskan sejarah munculnya ilmu Pengembangan Sumber Daya Air, aspek-aspek pengembangan sumber daya air, hubungan siklus hidrologi dengan ilmu pengembangan sumber daya air, serta konsep pengembangan sumber daya air.

### 1.1. LATAR BELAKANG

Sejarah menunjukkan bahwa kehidupan manusia dari jaman dahulu sampai sekarang tidak dapat dipisahkan dengan air, baik untuk dikonsumsi, sanitasi, pengairan maupun untuk dimanfaatkan tenaganya. Berbagai macam sumber air yang ada di bumi dikelompokkan menjadi 2 (dua) macam yaitu sumber air permukaan dan sumber air bawah permukaan. Sumber air permukaan meliputi: presipitasi (hujan, embun, salju dan es), sungai, mata air, danau dan laut. Sedangkan sumber air bawah permukaan adalah air tanah.

Manusia belajar dari sejarah, selanjutnya memahami bahwa keberadaan air di sekitarnya tidaklah selalu tetap sepanjang masa melainkan berubah baik dari segi bentuk maupun jumlah. Di beberapa daerah, suatu ketika jumlah air di sekitar manusia sangatlah berlimpah bahkan sampai manusia harus mengupayakan pengurangannya agar terhindar dari banjir dan akibat-akibat dari banjir. Sedangkan pada saat yang lain, jumlah air di sekitar manusia sangatlah kurang sampai terjadi bencana kekeringan (Saidah, 2022; Surahman dkk., 2022). Hal tersebut mendasari manusia untuk berpikir dan berupaya agar jumlah air di sekitarnya tersedia selamanya dengan jumlah yang optimal untuk kehidupan. Dari hasil pemikiran ini kemudian muncullah ilmu-ilmu pengembangan sumber daya air yang meliputi: pemanfaatan, pengendalian, rehabilitasi, pemeliharaan, dan konservasi sumber daya air. Menurut Sudjarwadi (1988), aspek pengembangan sumber daya air meliputi:

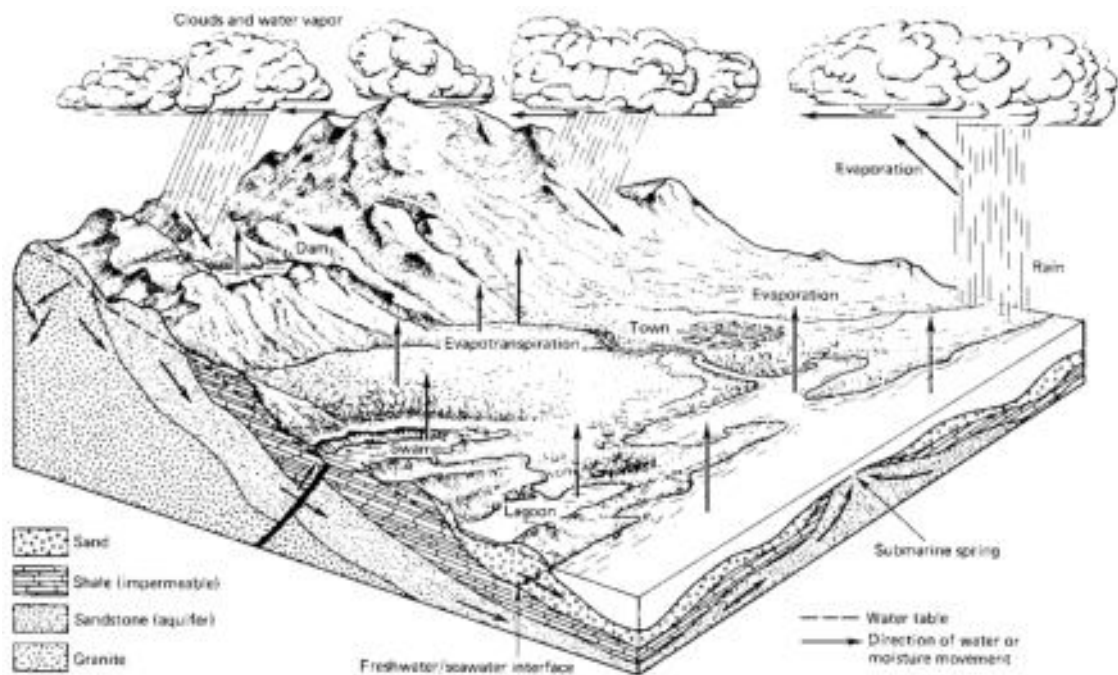
1. Pengendalian Banjir,
2. Irigasi dan Drainase,
3. Listrik tenaga air,
4. Sedimentasi,
5. Pengaturan DAS,
6. Penyediaan air untuk rumah tangga,
7. Lalu lintas air,
8. Perikanan dan kesatwaan
9. Penggunaan sumber daya air untuk rekreasi,



10. Penanganan pencemaran,
11. Penjagaan keseimbangan ekologi,
12. Pengendalian kadar garam,
13. Pembuatan hujan

## 1.2. PENGERTIAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA AIR

Memperhatikan keberadaan air di bumi, kita mengetahui bahwa air mengalami sirkulasi yang kontinyu yang kemudian dikenal dengan siklus hidrologi (*hydrological cycle*) seperti telah dijelaskan di atas dan diilustrasikan pada Gambar 1.1. Sirkulasi ini meskipun kontinyu namun tidak merata pada setiap waktu dan tempatnya. Sangat banyak faktor yang mempengaruhi kejadian siklus hidrologi tersebut. Siklus hidrologi dipengaruhi oleh kondisi meteorologi, topografi, geologi, geografi, kondisi kepulauan, tata guna lahan, dan masih banyak faktor lagi yang masih diteliti oleh para ahli (Nandari, 2020).



Gambar 1.1 Siklus Hidrologi

Sumber: Wiest, 2005

Sehubungan dengan keberadaan air di bumi, maka pada keadaan jumlah air yang optimum disekitar manusia, maka air akan sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia, seperti untuk kebutuhan domestik, irigasi, PLTA, pelayaran, dsb. Namun pada keadaan jumlah air yang maksimum ataupun minimum, maka air akan membahayakan dan merugikan kehidupan

manusia. Sebagai contoh kejadian banjir dan kejadian kekeringan (Saidah, 2022; Surahman dkk., 2022).

Dalam mencukupi kebutuhan akan air, manusia memanfaatkan air dari sumber air yang ada. Sehingga muncul upaya ilmu pemanfaatan sumber daya air. Dalam perkembangannya semakin meningkat jumlah penduduk, semakin meningkat pula perkembangan lingkungan yang diikuti dengan perkembangan kebutuhan manusia akan air, sehingga terjadilah perubahan lingkungan dan peningkatan pemanfaatan sumber daya air yang disebut dengan eksploitasi sumber daya air. Eksploitasi sumber daya air ini pada akhirnya menimbulkan kondisi krisis sumber daya air, baik kualitas maupun kuantitasnya. Hal ini nyata membuktikan bahwa pertumbuhan penduduk mempunyai andil yang besar dalam perubahan irama siklus hidrologi di daerah tersebut.

Oleh karenanya, kemudian seiring dengan perkembangan jaman, manusia dengan kesadaran dan kemampuannya mencoba upaya-upaya agar mampu mengantisipasi keadaan jumlah air yang maksimum ataupun minimum tersebut. Manusia memikirkan upaya yang lebih dari sekedar ilmu pemanfaatan sumber daya air yaitu ilmu pengembangan sumber daya air. Ilmu ini selain mempelajari pemanfaatan sumber air secara komprehensif juga mempelajari pengendalian, pengelolaan dan pembaharuan demi pelestarian sumber daya air. Ilmu ini disebut sebagai Ilmu Pengembangan Sumber Daya Air.

Pengembangan sumber daya air memerlukan adanya konsepsi, perencanaan, perancangan, konstruksi, operasi dan pemeliharaan terhadap sumber daya teknologi, fasilitas, lembaga dan peraturan (Linsley, dkk, 1989). Pengembangan sumber daya air memerlukan penanganan dari para ahli dibidang sipil, geologi, elektrikal, mekanikal, kimia, biologi, ekonomi, politik, dan sosial.

Pengembangan sumber daya air dibidang teknik sipil secara garis besar dilandasi dengan pemahaman atas ilmu-ilmu dasar yaitu: hidrologi, teknik sungai dan daerah aliran sungai (DAS), bangunan sungai serta menejemen sumber daya air (Amitaba, 2018; Supardi and Sulistiyono, 2018). Aspek-aspek yang telah dikemukakan oleh Sudjarwadi dapat dikelompokkan menjadi 4 (empat) upaya pengembangan sumber daya air, yaitu:

1. Pengendalian :
  - Pengendalian Banjir
  - Pengendalian DAS
  - Pembuangan Limbah
2. Pemanfaatan :
  - Penyediaan Air Domestik
  - Penyediaan Air Irigasi
  - Penyediaan Air PLTA
  - Prasarana lalulintas air
  - Peternakan dan Perikanan
  - Industri dan Pariwisata
3. Pengelolaan :
  - Pengelolaan Kualitas Air
  - Pengelolaan Sumber daya lembaga, manusia, sarana dan teknologi
4. Konservasi :
  - Reservoir, Bendungan, Embung dan Kolam
  - DAS, hutan lindung dan tata guna lahan

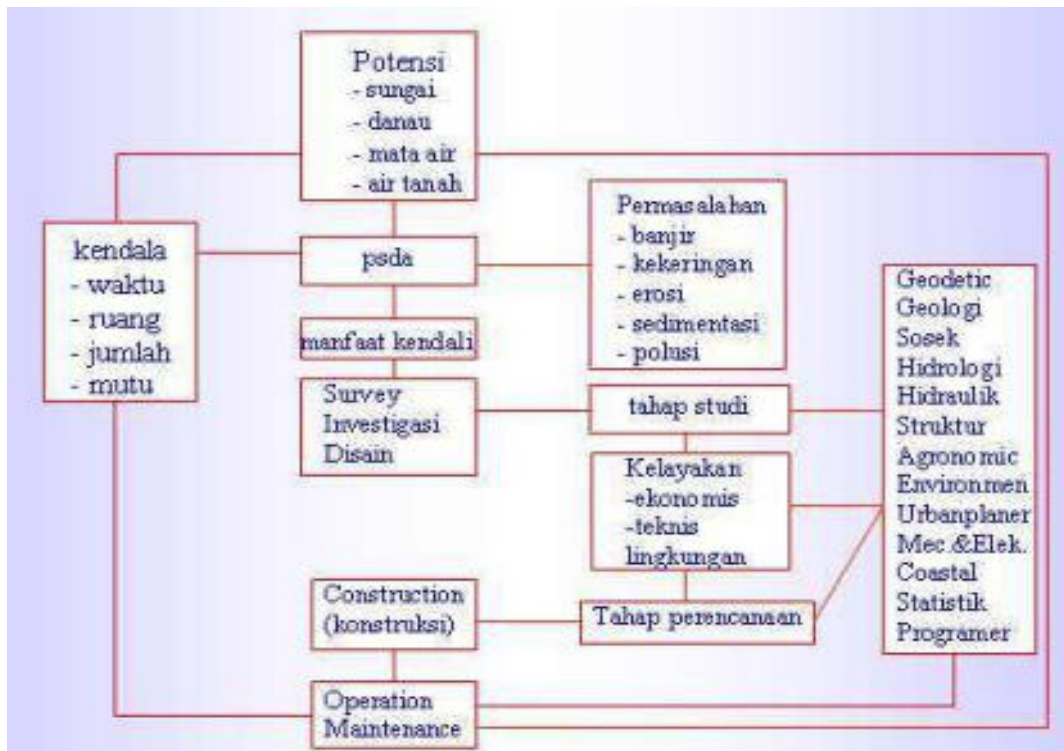
### **1.3. KONSEP PENGEMBANGAN SUMBER DAYA AIR**

Menurut Rintis (2006), bahwa konsep pengembangan sumber daya air meliputi:

- Dasar pengembangan :
  - multiple purpose
  - multiple objective
- Potensi sumberdaya manusia :
  - untuk manajemen air
  - engineers bekerja sama dengan ahli lain
- Potensi sumberdaya air :
  - di atas permukaan : sungai, rawa & pantai, danau
  - di bawah permukaan : air tanah
- Sistem pendekatan : dengan pemodelan

Sehingga dalam mengembangkan sumber daya air terutama air permukaan, dalam hal ini adalah sungai, maka prinsip-prinsip pokok kebijaksanaan yang harus diperhatikan adalah:

- Adanya batasan yang jelas, antara tujuan regional & Nasional
- Perencanaan river basin secara menyeluruh “one river one plan”
- Penyederhanaan prosedur yang menyangkut sosial ekonomi
- System pengelolaan secara ekonomis yang memadai
- Penyediaan pembiayaan pemeliharaan yang layak
- Penyediaan Sumber Daya Manusia dan informasi yang memadai
- Penerapan manajemen keairan yang sehat
- Pengaturan penggunaan pelayanan atau fasilitas sumber daya air untuk memberikan sumbangan yang besar kepada pembangunan bangsa (Fibrianti, dkk. 2018)



Gambar 1.2. Prinsip Pokok Kebijakan Pengembangan Sumber Daya Air

Selanjutnya menurut Rintis, dasar-dasar pengembangan sumber daya air meliputi:

- Satuan Wilayah Sungai
- Arah pengembangan sehubungan dengan pemanfaatannya
- Efisiensi pemanfaatan sumber daya air
- Manajemen atau pengelolaan sumber daya air
- Optimasi pemanfaatan sumber daya air

- Pengembangan pelestarian dan penanggulangan sumber daya air

Dalam pelaksanaannya, kegiatan-kegiatan pengembangan sumber daya air akan melibatkan persoalan-persoalan non teknis yang secara umum dikelompokkan dalam: politis, ekonomi, sosial, dan budaya. Solusi yang diambil umumnya akan dianalisis, diuji dan dievaluasi berdasarkan pendekatan sistem dengan metode optimasi.

Menurut Sudjarwadi, (1988), model optimasi yang sering digunakan untuk memecahkan permasalahan pengembangan sumber daya air dikelompokkan menjadi 5 (lima) kategori, yaitu:

1. Model Kalkulus,
2. Model Linier,
3. Model Non Linier,
4. Model Dinamik,
5. Model Simulasi.

Sedangkan untuk menentukan prioritas kegiatan-kegiatan dalam pengembangan sumber daya air sering digunakan pendekatan:

1. Model SWOT
2. Model AHP
3. Model *Cause Root Analysis*

Mengenai model-model tersebut akan dijelaskan dengan rinci dalam Bab III.

Dengan memahami pengertian pengembangan sumber daya air tersebut, maka selanjutnya elemen-elemen pokok yang harus dipelajari adalah:

1. Ilmu Hidrologi,
2. Ilmu Penatagunaan Daerah Aliran Sungai,
3. Ilmu Pengendalian Sungai,
4. Ilmu Perencanaan Bangunan Air,
5. Ilmu Manajemen Sumber Daya Air.

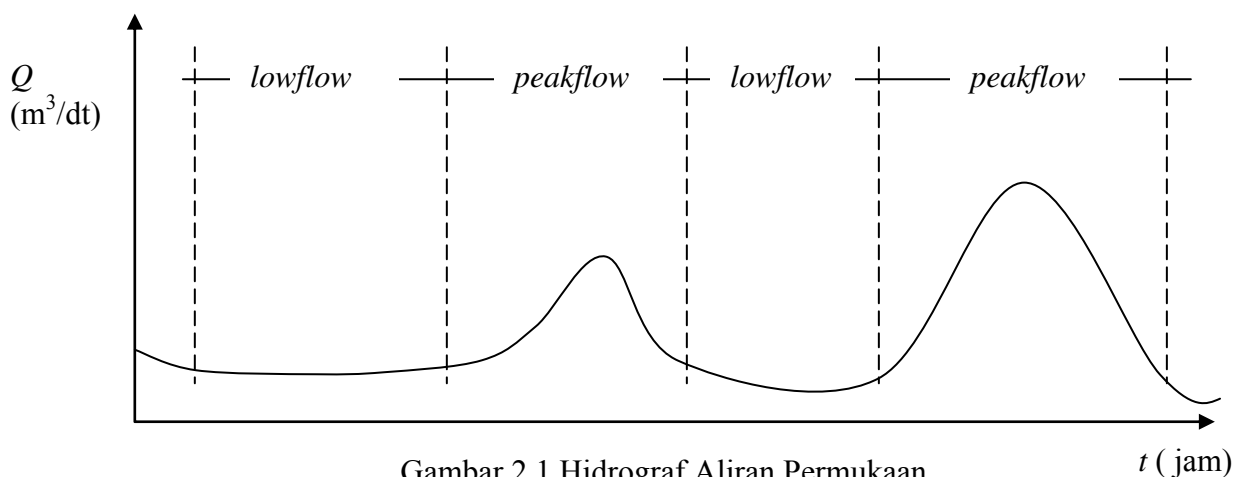
Ilmu-ilmu tersebut dibahas dalam bab-bab selanjutnya dalam buku ini.

# ANALISIS HIDROLOGI

**B**ab ini menjelaskan pentingnya peranan analisis hidrologi yang meliputi: evapotranspirasi analisis hidrologi dalam ilmu pengembangan sumber daya air serta data dan contoh-contoh perhitungan.

### 2.1. HIDROLOGI SEBAGAI DASAR PENGEMBANGAN SUMBER DAYA AIR

Pengembangan sumber daya air yang meliputi: pengendalian banjir, pemanfaatan air, pengelolaan air, dan konservasi air memerlukan data dasar hasil analisis hidrologi. Perencanaan pengendalian banjir dan bangunan-bangunan air memerlukan data debit puncak banjir periode ulang tertentu sesuai kriteria perencanaan yang dihitung berdasarkan debit banjir (*peak flow*) aliran permukaan (Sulistiyono, 1990; Al-Abbas dkk, 2021; Setiawan dkk, 2022). Perencanaan pemanfaatan air seperti irigasi, pembangkit listrik dan sebagainya memerlukan data debit andalan yang dihitung berdasarkan debit aliran rendah (*low flow*) aliran permukaan. Demikian juga dengan perencanaan pengelolaan dan konservasi. Jadi baik debit aliran puncak maupun debit aliran rendah merupakan bagian dari aliran permukaan yang dapat diilustrasikan seperti Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Hidrograf Aliran Permukaan

Aliran permukaan sebenarnya merupakan satu elemen bagian dari siklus hidrologi. Sehingga kondisinya dapat diprediksi berdasarkan kondisi curah hujan dan parameter DAS lainnya. Konsep siklus hidrologi merupakan sesuatu yang berguna sebagai titik awal untuk mempelajari hidrologi secara akademis. Secara umum siklus hidrologi adalah gerakan air ke udara, yang kemudian ke permukaan tanah lagi sebagai hujan atau bentuk presipitasi lain, dan

akhirnya kembali lagi ke laut (Salas, dkk. 2003). Dalam pengertian ini, matahari merupakan sumber tenaga bagi alam.

Dengan adanya tenaga matahari tersebut maka dari seluruh permukaan bumi akan terjadi penguapan, baik dari muka tanah, permukaan tumbuh-tumbuhan dan permukaan air (*water body*). Penguapan yang terjadi dari permukaan air dikenal dengan penguapan (*evaporation*). Sedangkan penguapan yang terjadi dari permukaan tumbuh-tumbuhan dikenal dengan transpirasi (*transpiration*). Akibat penguapan tersebut maka terjadilah hujan (*presipitasi*).

Air yang jatuh di permukaan tanah terpisah menjadi dua bagian, yaitu aliran limpasan (*overland Flow*) yang selanjutnya dapat menjadi limpasan (*run off*). Bagian lainnya masuk ke dalam tanah melalui proses infiltrasi (*infiltration*) tergantung struktur geologinya, sehingga terjadi aliran mendatar yang disebut aliran antara (*surface flow*). Bagian air ini juga mencapai sungai dan laut. Bagian lain dari air yang terinfiltrasi dapat diteruskan sebagai air perkolasi yang mencapai akuifer (*aquifer, ground water storage*). Air ini selanjutnya juga mengalir sebagai aliran air tanah yang mencapai sungai atau laut (Harto, 1993)

## **2.2. ANALISIS EVAPOTRANSPIRASI**

### **2.2.1. Pengertian Evapotranspirasi**

Evapotranspirasi berasal dari kata evaporasi yang berarti penguapan air bebas, dan transpirasi yang berarti penguapan air akibat aktifitas hidup tanaman. Kedua penguapan tersebut sama-sama membentuk molekul air ( $H_2O$ ) di udara yang disebut uap air. Di alam, kita tidak dapat membedakan mana uap air hasil penguapan akibat aktifitas hidup tanaman dan mana uap air akibat penguapan air bebas, sehingga uap air yang ada di udara dinyatakan sebagai satu kesatuan uap air hasil dari kedua macam penguapan yang kemudian disebut sebagai evapotranspirasi.

Para ahli sependapat bahwa evapotranspirasi ikut mempengaruhi baik langsung ataupun tidak langsung terhadap kelembaban udara yang pada saatnya nanti akan menjadi presipitasi baik dalam bentuk hujan, embun, es maupun salju. Evapotranspirasi juga mempengaruhi kandungan air dalam tanah (lekas tanah). Hal ini disebabkan karena air yang ada pada daerah perakaran tanaman (*root zone*) sebagian akan menguap secara bebas karena radiasi matahari dan sebagian lagi akan diserap oleh akar-akar tanaman untuk mengganti kandungan air dalam tanaman yang menguap saat tanaman melakukan aktifitas kehidupannya. Sehingga perubahan kelengasan tanah dapat diprediksi dengan pendekatan perhitungan evapotranspirasi.



Dalam perhitungan evapotranspirasi, dikenal dengan istilah Evapotranspirasi Potensial dan Evapotranspirasi Aktual. **Evapotranspirasi Potensial** adalah evapotranspirasi yang terjadi di suatu hamparan tanah yang ditanami rumput khusus yang digunakan dalam penelitian evapotranspirasi. Evapotranspirasi potensial ini juga dapat digunakan sebagai pendekatan besarnya evapotranspirasi suatu lahan yang kompleks, yaitu suatu lahan yang terdiri dari sebagian permukaan air bebas, sebagian permukaan hamparan yang ditanami macam-macam tanaman, sebagian permukaan permukiman, dan lain-lain. Sedangkan **Evapotranspirasi Aktual** adalah evapotranspirasi yang terjadi di suatu hamparan tanah yang khusus ditanami jenis tanaman tertentu, misalnya padi, jagung, bawang merah, bunga matahari, dll.

Dalam ilmu pengembangan sumber daya air, perhitungan evapotranspirasi ini biasanya digunakan juga untuk

1. mengestimasi besarnya pengurangan air di Daerah Aliran Sungai (DAS) akibat penguapan.
2. mengestimasi besarnya pengurangan air di Daerah Genangan Waduk akibat penguapan.
3. mengestimasi jumlah air yang dibutuhkan di suatu lahan yang ditanami suatu jenis tanaman produksi.

Besarnya evapotranspirasi yang terjadi di suatu lahan sebenarnya harus dihitung berdasarkan data-data klimatologi yang ada di lahan tersebut. Namun tidak semua lahan tersedia data klimatologi yang dimaksud. Pengukuran data klimatologi umumnya dilakukan di stasiun klimatologi atau stasiun meteorologi. Sehingga pendekatan evapotranspirasi dihitung berdasarkan data dari stasiun klimatologi ataupun stasiun meteorologi terdekat yang telah dikoreksi berdasarkan beda elevasi antara elevasi stasiun klimatologi atau stasiun meteorologi dengan elevasi lahan.

### **2.2.2. Data Klimatologi**

Data yang diperlukan dalam perhitungan evapotranspirasi adalah data klimatologi yang diambil dari stasiun Klimatologi atau stasiun Meteorologi terdekat. Sebagai contoh yaitu data klimatologi selama 1 tahun dari stasiun Meteorologi Brang Biji, Sumbawa seperti yang ditampilkan dalam Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Data Klimatologi Stasiun Brang Biji, Sumbawa**

Koordinat Stasiun : 08 ° 25 ' LS dan 117 ° 30 ' BT  
 Tahun : 1999

		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun
Curah hujan		273.97	287.50	193.75	127.93	31.68	14.32
hari hujan		21.33	20.83	19.00	15.00	5.83	3.00
Suhu	Rerata	26.28	26.18	26.57	26.78	26.77	26.10
	Maksimum	30.70	30.28	31.23	32.10	32.65	31.78
	Minimum	23.38	23.42	23.33	23.22	22.28	21.43
Lama Penyinaran		59.33	53.67	70.50	78.67	89.67	88.83
Kelembaban Udara		73.00	87.83	84.83	81.83	76.67	74.50
Kec Angin	Rerata	7.17	6.50	5.67	5.17	5.67	6.00
	Maksimum	17.00	17.33	16.50	13.83	14.17	14.17
Arah Angin		325.00	328.33	328.33	266.67	145.00	180.00
Tekanan Udara		1008.57	1008.45	1008.52	1008.97	1009.98	1010.55
		Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des
Curah hujan		19.88	4.60	13.23	80.13	109.70	227.60
hari hujan	Rerata	2.17	0.67	1.50	7.50	15.83	18.17
Suhu	Maksimum	25.65	25.67	27.12	27.82	27.67	26.63
	Minimum	31.87	32.78	34.35	33.55	33.35	31.45
		20.98	20.83	21.12	23.23	23.83	23.33
Lama Penyinaran		91.67	91.83	91.33	87.67	75.17	67.00
Kelembaban Udara	Rerata	72.17	70.33	71.00	74.83	77.50	83.67
Kec Angin	Maksimum	6.00	6.00	6.17	6.17	5.83	5.67
		15.50	15.17	16.00	15.33	14.67	15.67
Arah Angin		143.33	145.00	175.00	238.33	206.67	300.00
Tekanan Udara		1011.13	1011.52	1011.27	1009.78	1008.52	1008.15

Sumber: BMG Selaparang, 2004

### 2.2.3. Metode Penman Modified By Fao

Besaran evapotranspirasi dihitung memakai cara Penman yang telah modifikasi oleh FAO (Ricard, dkk. 1998) dengan masukan data iklim berikut: letak lintang, temperatur udara , kelembaban relatif, kecepatan angin dan lama penyinaran matahari.

Persamaan Penman dirumuskan sebagai berikut:

$$E_{To} = c [ W \cdot R_n + (1-W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d) ]$$

dengan:

(2.1)

$E_{To}$  = evapotranspirasi tanaman (mm/hari)

$c$  = faktor perkiraan dari kondisi musim

- W = faktor temperatur  
Rn = radiasi bersih (mm/hari)  
f(u) = faktor kecepatan angin  
(ea-ed) = perbedaan antara tekanan uap air pada temperatur rata-rata dengan tekanan uap jenuh air (mbar)

dengan:

$$W = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \quad (2.2)$$

$$\gamma = 0.386 \times \frac{P}{L} \quad (2.3)$$

$$L = 595 - 0.51 \times T \quad (2.4)$$

$$P = 1013 - 0.1055 \times E \quad (2.5)$$

$$\Delta = 2 \times (0.00738 \times T + 0.8072)^T - 0.00116 \quad (2.6)$$

$$Rn = Rns - Rnl \quad (2.7)$$

$$Rns = (1 - \alpha) \times Rs \quad (2.8)$$

$$Rs = (a + b \frac{n}{N}) \times Ra \quad (2.9)$$

$$Rnl = f(r) \times f(ed) \times f(n/N) \times Ra \quad (2.10)$$

$$ed = ea \times Rh \quad (2.11)$$

$$ea = 33.8639 \times \{(0.00738 \times T + 0.8072)^8 - 0.000019 \times (1.8 \times T + 48) + 0.001316\}$$

$$c = 0.68 + 0.0095 \times Rh_{\max} + 0.018125 - 0.068 \times Ud + 0.013 \times Ur + 0.0097 \times Ud \times Ur + 0.43 \times 10^{-4} \times Rh_{\max} \times Rs \times Ud \quad (2.12)$$

$$Ud = \frac{U_2 \times Ur}{(43.2 \times (1 + Ur))} \quad (2.13)$$

$$Ur = \frac{Ud}{Un} \quad (2.14)$$

dengan :

- E = elevasi diatas muka laut  
T = suhu udara (°C)  
α = faktor pantulan radiasi oleh permukaan atau koefisien albedo lokasi studi (%)  
a = konstanta faktor letak lokasi studi  
b = konstanta faktor letak lokasi studi  
n = lama penyinaran mahahari rata-rata (jam)

$N$  = lama penyinaran matahari maksimum (jam)  
 $R_h$  = Kelembaban udara relatif rata-rata (%)  
 $R_{h_{max}}$  = Kelembaban udara relatif maksimum (%)  
 $R_s$  = Radiasi gelombang pendek yang diterima bumi (kalori/cm<sup>2</sup>/hari)  
 $U_r$  = kecepatan rasio  
 $U_d$  = kecepatan angin siang  
 $U_n$  = kecepatan angin malam

Nilai fungsi-fungsi:

$$f(u) = 0.27 (1 + u/100) \quad (2.15)$$

$$f(T) = 11.25 \cdot 1.0133^T \quad (2.16)$$

$$f(ed) = 0.34 - 0.044 \sqrt{ed} \quad (2.17)$$

$$f(n/N) = 0.1 + 0.9 n/N \quad (2.18)$$

Reduksi pengurangan temperatur karena ketinggian elevasi daerah pengaliran diambil menurut rumus:

$$T = (X - 0.006 H)^\circ\text{C}. \quad (2.19)$$

dengan :

$T$  = suhu udara ( $^\circ\text{C}$ )

$X$  = suhu udara di daerah pencatatan klimatologi ( $^\circ\text{C}$ )

$H$  = perbedaan elevasi antara lokasi dengan stasiun pencatat (m)

Koreksi kecepatan angin karena perbedaan elevasi pengukuran diambil menurut rumus:

$$U_l = U_p * (L_l/L_p)^{1/7} \quad (2.20)$$

dengan:

$U_l$  = kecepatan angin dilokasi perencanaan

$U_p$  = kecepatan angin dilokasi pengukuran

$L_l/L_p$  = perbandingan antara elevasi lokasi perencanaan dan elevasi lokasi pengukuran

Reduksi terhadap lama penyinaran matahari untuk lokasi perencanaan mengikuti rumus berikut:

$$n/N_c = n/N - 0.01 \times (L_1 - L_p) \quad (2.21)$$

dengan :

$n/N_c$  = lama penyinaran matahari terkoreksi

$n/N$  = lama penyinaran matahari terukur

$L_1$  = elevasi lokasi perencanaan

$L_p$  = elevasi lokasi pengukuran

**Tabel 2.2. Program PENMAN modified FAO menggunakan software excel**

Item	Satuan	Penjelasan / perhitungan
T :	°C	Suhu rata-rata
Rh :	%	Kelembaban Relatif Rata-rata
U2 :	%	Kecepatan Angin rata-rata
n :	%	Lama Penyinaran matahari rata-rata
N :	km/jam	Lama Penyinaran Matahari Maksimum rata-rata (Tabel)
Ra :	mm/hari	Radiasi matahari (Tabel Ra berdasarkan LS)
Tc :	°C	=(k1)-0.006*(Elev. DAS-Elev. Sta)
n/Nc :	%	=(k4)-0.01*(Elev. DAS-Elev. Sta)
U2c :	m/dt	=(k5)*(1000/3600)*(Elev. DAS / Elev. Sta.)^(1/7)
U2c :	km/hari	=(k9)*3600*24/1000
ea :	mbar	=33.8639*((0.00738*(k7)+0.8072)^8-0.000019*(1.8*(k7)+48)+0.001316)
ed :	mbar	=(k2/100)*(k11)
D :	-	=2*(0.00738*(k7)+0.8072)^(k7)-0.00116
W :	-	=(k13)/((k13)+(0.386*(1013-0.1055*Elev. DAS)/(595-0.51*(k7))))
f(T) :	-	=11.25*1.0133^(k7)
f(u) :	-	=0.27*(1+((k10)/100))
f(ed) :	-	=0.34-0.044*(k12)^0.5
f(n/N) :	-	=0.1+0.9*(k8)/100
Rs :	mm/hari	=(Koefisien a+Koefisien b*(k8)/100)*(k6)
Rn :	mm/hari	=(1-(Albedo/100))*(k19)-((k15)*(k17)*(k18))
c :	-	=0.68+0.0028*(k3)+0.018*(k19)-0.068*(k9)+0.013*3+0.0097*3*(k9)+0.43*10^-4*(k3)*(k19)*(k9)
Eto :	mm/hari	=(k21)*((k14)*(k20)+(1-(k14))*(k16)*((k11)-(k12)))
Eto :	mm/bln	=(k22)*jumlah hari

Catatan:

(k1) ~ (k22) adalah kolom nomor 1 ~ kolom nomor 22

Berikut ini adalah contoh perhitungan evapotranspirasi metode Penman modified FAO menggunakan software excel

**Tabel 2.3 Perhitungan Evapotranspirasi Potensial Jika Elevasi Daerah Irigasi + 20 m**

TAHUN RERATA		METODA FAO 24		METODA FAO 24																					
ELEVASI STASIUN KLIMATOLOGI BRANG BILI SUMBAWA				3																					
ELEVASI RERATA DAERAH IRIGASI KRIDA		-		20																					
Albedo	:	25.00 %																							
LS	:	8.35																							
Koefisien, a	:	0.20																							
Koefisien, b	:	0.35																							
BULAN	JUMLAH HARI	DATA						KOREKSI DATA						ANALISA						HASIL					
		T	Rh	Rhmax	n/N	U2	Ra	Tc	n/Nc	U2c	ea	ed	d	W	f(T)	f(u)	f(ed)	f(n/N)	Rs	Rn	c	ETo	ETo		
		c	%	%	%	km/jam	mm/hari	c	%	m/dt	km/hari	mbar	mbar	-	-	-	-	-	mm/hari	mm/hari	-	mm/hari	mm/bln		
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	
JAN	31	26.3	73.0	89.0	59.3	7.2	16.4	26.18	59.16	2.61	225.54	33.96	24.79	2.02	0.75	15.90	0.88	0.12	0.63	6.68	3.79	1.05	5.115	158.555	
FEB	28	26.2	87.8	89.0	53.7	6.5	16.3	26.08	53.50	2.37	204.56	33.76	29.65	1.98	0.75	15.88	0.82	0.10	0.58	6.31	3.81	1.05	3.872	108.415	
MAR	31	26.6	84.8	89.0	70.5	5.7	15.5	26.46	70.33	2.06	178.34	34.53	29.30	2.14	0.76	15.96	0.75	0.10	0.73	6.92	4.00	1.07	4.248	131.682	
APR	30	26.8	81.8	89.0	78.7	5.2	14.2	26.68	78.50	1.88	162.60	34.98	28.62	2.23	0.77	16.00	0.71	0.10	0.81	6.74	3.71	1.06	4.143	124.295	
MEI	31	26.8	76.7	89.0	89.7	5.7	12.8	26.66	89.50	2.06	178.34	34.94	26.79	2.22	0.77	16.00	0.75	0.11	0.91	6.57	3.30	1.06	4.186	129.757	
JUN	30	26.1	74.5	89.0	88.8	6.0	12.0	26.00	88.66	2.19	188.83	33.60	25.03	1.95	0.74	15.86	0.78	0.12	0.90	6.12	2.89	1.04	4.029	120.861	
JUL	31	25.7	72.2	89.0	91.7	6.0	12.4	25.55	91.50	2.19	188.83	32.71	23.61	1.79	0.73	15.77	0.78	0.13	0.92	6.45	3.00	1.05	4.336	134.411	
AGT	31	25.7	70.3	89.0	91.8	6.0	13.5	25.56	91.66	2.19	188.83	32.74	23.03	1.80	0.73	15.77	0.78	0.13	0.92	7.03	3.39	1.07	4.840	150.046	
SEP	30	27.1	71.0	89.0	91.3	6.2	14.8	27.01	91.16	2.25	194.07	35.67	25.32	2.39	0.78	16.08	0.79	0.12	0.92	7.68	4.01	1.09	5.350	160.513	
OKT	31	27.8	74.8	89.0	87.7	6.2	15.9	27.71	87.50	2.25	194.07	37.16	27.81	2.76	0.80	16.22	0.79	0.11	0.89	8.05	4.48	1.09	5.538	171.671	
NOP	30	27.7	77.5	89.0	75.2	5.8	16.2	27.56	75.00	2.12	183.58	36.83	28.55	2.68	0.80	16.19	0.77	0.10	0.77	7.49	4.30	1.08	5.096	152.878	
DES	31	26.6	83.7	89.0	67.0	5.7	16.2	26.53	66.83	2.06	178.34	34.67	29.01	2.16	0.76	15.97	0.75	0.10	0.70	7.03	4.12	1.07	4.441	137.656	
<b>RERATA</b>		<b>26.60</b>	<b>77.35</b>	<b>89.00</b>	<b>78.78</b>	<b>6.00</b>	<b>14.68</b>	<b>26.50</b>	<b>78.61</b>	<b>2.19</b>	<b>188.83</b>	<b>34.63</b>	<b>26.79</b>	<b>2.18</b>	<b>0.76</b>	<b>15.97</b>	<b>0.78</b>	<b>0.11</b>	<b>0.81</b>	<b>6.92</b>	<b>3.73</b>	<b>1.07</b>	<b>4.60</b>	<b>140.06</b>	
Sumber : Hasil Analisa																						<b>Total</b>		<b>1600.74</b>	
Keterangan :																									
T :	Suhu rata-rata																								
Rh :	Kelembaban Relatif Rata-rata																								
U2 :	Kecepatan Angin rata-rata																								
n :	Lama Penyinaran matahari rata-rata																								
N :	Lama Penyinaran Matahari Maksimum rata-rata (Tabel)																								
Ra :	Radiasi matahari (Tabel)																								

**Tabel 2.4. Perhitungan Evapotranspirasi Potensial Jika Elevasi Daerah Irigasi + 70 m**

TAHUN RERATA METODA FAO 24																									
ELEVASI STASIUN KLIMATOLOGI BRANG BIJI SUMBAWA		3																							
ELEVASI RERATA DAS KRIDA		= 70																							
Albedo		: 25.00 %																							
LS		: 8.35																							
Koefisien, a		: 0.20																							
Koefisien, b		: 0.35																							
BULAN	JUMLAH HARI	DATA						KOREKSI DATA						ANALISA								HASIL			
		T	Rh	Rhmax	n/N	U2	Ra	Tc	n/Nc	U2c	ea	ed	D	W	f(T)	f(u)	f(ed)	f(n/N)	Rs	Rn	c	ETo	ETo		
		c	%	%	%	km/jam	mm/hari	c	%	m/dt	km/hari	mbar	mbar	-	-	-	-	-	-	mm/hari	mm/hari	-	mm/hari	mm/bln	
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	
JAN	31	26.3	73.00	89.00	59.33	7.17	16.40	25.88	58.66	3.12	269.75	33.36	24.36	1.91	0.74	15.84	1.00	0.12	0.63	6.65	3.76	1.05	5.353	165.947	
FEB	28	26.2	87.83	89.00	53.67	6.50	16.30	25.78	53.00	2.83	244.65	33.17	29.13	1.87	0.74	15.82	0.93	0.10	0.58	6.28	3.78	1.04	3.919	109.742	
MAR	31	26.6	84.83	89.00	70.50	5.67	15.50	26.16	69.83	2.47	213.29	33.93	28.78	2.01	0.75	15.90	0.85	0.10	0.73	6.89	3.96	1.06	4.308	133.554	
APR	30	26.6	81.83	89.00	78.67	5.17	14.20	26.38	78.00	2.25	194.47	34.36	28.12	2.10	0.76	15.94	0.80	0.11	0.80	6.72	3.67	1.06	4.221	126.635	
MEI	31	26.6	76.67	89.00	89.67	5.67	12.80	26.36	89.00	2.47	213.29	34.33	26.32	2.09	0.76	15.94	0.85	0.11	0.90	6.55	3.27	1.05	4.330	134.241	
JUN	30	26.1	74.50	89.00	88.83	6.00	12.00	25.70	88.16	2.61	225.83	33.00	24.59	1.84	0.73	15.80	0.88	0.12	0.89	6.10	2.86	1.04	4.218	126.538	
JUL	31	25.7	72.17	89.00	91.67	6.00	12.40	25.25	91.00	2.61	225.83	32.13	23.19	1.70	0.72	15.70	0.88	0.13	0.92	6.43	2.97	1.05	4.557	141.269	
AGT	31	25.7	70.33	89.00	91.83	6.00	13.50	25.26	91.16	2.61	225.83	32.17	22.62	1.70	0.72	15.71	0.88	0.13	0.92	7.01	3.37	1.06	5.082	157.533	
SEP	30	27.1	71.00	89.00	91.33	6.17	14.80	26.71	90.66	2.69	232.11	35.04	24.88	2.24	0.77	16.01	0.90	0.12	0.92	7.66	3.97	1.08	5.566	166.976	
OKT	31	27.8	74.83	89.00	87.67	6.17	15.90	27.41	87.00	2.69	232.11	36.51	27.32	2.59	0.80	16.16	0.90	0.11	0.88	8.02	4.45	1.09	5.697	176.597	
NOP	30	27.7	77.50	89.00	75.17	5.83	16.20	27.26	74.50	2.54	219.56	36.19	28.05	2.51	0.79	16.13	0.86	0.11	0.77	7.46	4.27	1.08	5.218	156.535	
DES	31	26.6	83.67	89.00	67.00	5.67	16.20	26.23	66.33	2.47	213.29	34.06	28.50	2.04	0.75	15.91	0.85	0.11	0.70	7.00	4.09	1.06	4.511	139.832	
<b>RERATA</b>		26.60	77.35	89.00	78.78	6.00	14.68	26.20	78.11	2.61	225.83	34.02	26.32	2.05	0.75	15.90	0.88	0.11	0.80	6.90	3.70	1.06	4.75	144.62	
<i>Sumber : Hasil Perhitungan</i>																					<b>Total</b>		<b>1735.40</b>		



**Tabel 2.5. Perhitungan Evapotranspirasi Potensial Jika Elevasi Daerah Irigasi + 168 m**

TAHUN RERATA		METODA FAO 24																							
ELEVASI STASIUN KLIMATOLOGI BRANG BIJI SUMBAWA				3																					
ELEVASI RERATA DAERAH GENANGAN				=		168																			
Albedo		:		25.00		%																			
LS		:		8.35																					
Koefisien, a		:		0.20																					
Koefisien, b		:		0.35																					
BULAN	JUMLAH HARI	DATA						KOREKSI DATA						ANALISA						HASIL					
		T c	Rh %	Rhmax %	n/N %	U2 km/jam	Ra mm/hari	Tc c	n/Nc %	U2c m/dt	km/hari	ea mbar	ed mbar	d -	W -	f(T) -	f(u) -	f(ed) -	f(n/N) -	Rs mm/hari	Rn mm/hari	c -	ETo mm/hari	ETo mm/bln	
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	(23)	
JAN	31	26.3	73.0	89.0	59.3	7.2	16.4	25.29	57.68	3.54	305.68	32.22	23.52	1.71	0.72	15.71	1.10	0.13	0.62	6.59	3.71	1.04	5.536	171.623	
FEB	28	26.2	87.8	89.0	53.7	6.5	16.3	25.78	53.00	2.83	244.65	33.17	29.13	1.87	0.74	15.82	0.93	0.10	0.58	6.28	3.78	1.04	3.919	109.742	
MAR	31	26.6	84.8	89.0	70.5	5.7	15.5	26.16	69.83	2.47	213.29	33.93	28.78	2.01	0.75	15.90	0.85	0.10	0.73	6.89	3.96	1.06	4.308	133.554	
APR	30	26.8	81.8	89.0	78.7	5.2	14.2	26.38	78.00	2.25	194.47	34.36	28.12	2.10	0.76	15.94	0.80	0.11	0.80	6.72	3.67	1.06	4.221	126.635	
MEI	31	26.8	76.7	89.0	89.7	5.7	12.8	26.36	89.00	2.47	213.29	34.33	26.32	2.09	0.76	15.94	0.85	0.11	0.90	6.55	3.27	1.05	4.330	134.241	
JUN	30	26.1	74.5	89.0	88.8	6.0	12.0	25.70	88.16	2.61	225.83	33.00	24.59	1.84	0.73	15.80	0.88	0.12	0.89	6.10	2.86	1.04	4.218	126.538	
JUL	31	25.7	72.2	89.0	91.7	6.0	12.4	25.25	91.00	2.61	225.83	32.13	23.19	1.70	0.72	15.70	0.88	0.13	0.92	6.43	2.97	1.05	4.557	141.269	
AGT	31	25.7	70.3	89.0	91.8	6.0	13.5	25.26	91.16	2.61	225.83	32.17	22.62	1.70	0.72	15.71	0.88	0.13	0.92	7.01	3.37	1.06	5.082	157.533	
SEP	30	27.1	71.0	89.0	91.3	6.2	14.8	26.71	90.66	2.69	232.11	35.04	24.88	2.24	0.77	16.01	0.90	0.12	0.92	7.66	3.97	1.08	5.566	166.976	
OKT	31	27.8	74.8	89.0	87.7	6.2	15.9	27.41	87.00	2.69	232.11	36.51	27.32	2.59	0.80	16.16	0.90	0.11	0.88	8.02	4.45	1.09	5.697	176.597	
NOP	30	27.7	77.5	89.0	75.2	5.8	16.2	27.26	74.50	2.54	219.56	36.19	28.05	2.51	0.79	16.13	0.86	0.11	0.77	7.46	4.27	1.08	5.218	156.535	
DES	31	26.6	83.7	89.0	67.0	5.7	16.2	26.23	66.33	2.47	213.29	34.06	28.50	2.04	0.75	15.91	0.85	0.11	0.70	7.00	4.09	1.06	4.511	139.832	
<b>RERATA</b>		26.60	77.35	89.00	78.78	6.00	14.68	26.15	78.03	2.65	228.83	33.93	26.25	2.04	0.75	15.89	0.89	0.11	0.80	6.89	3.70	1.06	4.76	145.09	
Sumber : Hasil Perhitungan																						<b>Total</b>		<b>1741.08</b>	

## 2.3. ANALISIS FREKUENSI

### 2.3.1. Hujan

Presipitasi adalah produk dari awan yang turun berbentuk air hujan ataupun salju (Linsley dkk, 1996). Salah satu bentuk presipitasi yang penting di Indonesia adalah hujan. Agar terjadi proses pembentukan hujan, harus memenuhi dua syarat (Sri Harto, 1993) yaitu :

- a. Tersedia udara lembab. Udara lembab biasanya terjadi karena adanya gerakan udara mendatar, terutama sekali yang berasal dari atas lautan, yang dapat mencapai ribuan kilometer.
- b. Tersedia sarana, keadaan yang dapat mengangkat udara sehingga terjadi kondensasi.

Berdasarkan cara terjadinya hujan dibagi menjadi tiga cara yaitu :

- a. Hujan konvektif, bila terjadi ketidakseimbangan udara, karena pengaruh panas setempat dan udara yang bergerak ke atas. Hujan yang terjadi disebut hujan konvektif, dan biasanya merupakan hujan dengan intensitas tinggi dan terjadi dalam waktu yang relatif singkat, di daerah yang relatif sempit.
- b. Hujan siklon, bila gerakan udara ke atas terjadi akibat adanya udara panas yang bergerak di atas lapisan udara yang lebih padat lebih dingin. Hujan jenis ini biasanya terjadi dengan intensitas sedang mencakup daerah yang luas dan berlangsung lama.
- c. Hujan orografik, terjadi karena udara bergerak ke atas akibat adanya pegunungan, akibatnya terjadi dua daerah yang disebut daerah hujan dan daerah bayangan hujan, sifat hujan ini dipengaruhi oleh sifat dan ukuran pegunungan.

Lima unsur yang harus ditinjau dari sifat hujan (Wiest, 2005) yaitu :

- a. Intensitas  $i$ , adalah laju hujan = tinggi air persatuan waktu, misalnya : mm/menit, mm/jam, mm/hari.
- b. Lama waktu (*Duration*)  $t$ , adalah lamanya curah hujan (durasi) dalam menit atau jam.
- c. Tinggi hujan  $d$ , adalah jumlah atau banyaknya hujan yang dinyatakan dalam ketebalan air diatas permukaan datar, dalam mm.
- d. Frekwensi adalah frekwensi kejadian, biasanya dinyatakan dengan periode ulang (*return period*)  $T$ , misalnya sekali dalam  $T$  tahun.
- e. Luas, adalah luas geografis curah hujan.

### 2.3.2. Intensitas Curah Hujan

Untuk menentukan besarnya debit perencanaan, maka kita harus mengetahui besarnya intensitas curah hujan yang terjadi di daerah pengaliran tersebut. Intensitas hujan adalah besarnya curah hujan dalam satu satuan waktu yang umumnya adalah jam, sehingga satuan intensitas hujan umumnya adalah mm/jam (Sosrodarsono dan Takeda, 1993) yang dinyatakan dalam persamaan umum adalah

$$I_t = \frac{R_t}{t} \quad (2.22)$$

dengan

$I_t$  = Intensitas Hujan (mm/jam)

$R_t$  = Curah Hujan selama waktu  $t$  (mm)

$t$  = Lama waktu kejadian hujan (jam)

Besarnya intensitas hujan untuk masing-masing DAS itu berbeda-beda yang disebabkan oleh lamanya curah hujan atau frekuensi kejadiannya. Pada umumnya makin lama kejadian hujan ( $t$ ), maka intensitas hujannya ( $I$ ) akan semakin kecil (Lye, 2003).

Jika tidak terdapat data pengamatan intensitas hujan, maka besaran nilai intensitas hujan dapat didekati dengan cara empiris, seperti metode-metode dibawah ini (Sosrodarsono dan Takeda, 1993) :

#### a. Metode Talbot

Menurut Prof. Talbot persamaan untuk mengetahui besarnya intensitas hujan adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{a_T}{t + b_T} \quad (2.23)$$

dengan

$I$  = Intensitas Hujan (mm/jam)

$a_T, b_T$  = tetapan Talbot

$t$  = Lama waktu kejadian hujan (jam)

#### b. Metode Sherman

Menurut Prof. Sherman persamaan untuk mengetahui besarnya intensitas hujan adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{a_S}{t^n} \quad (2.24)$$

dengan

$I$  = Intensitas Hujan (mm/jam)

$a_s, n$  = tetapan Sherman

$t$  = Lama waktu kejadian hujan (jam)

### c. Metode Ishiguro

Menurut Prof. Ishiguro untuk persamaan untuk mengetahui besarnya intensitas hujan adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{a_I}{\sqrt{t + b_I}} \quad (2.25)$$

dengan

$I$  = Intensitas Hujan (mm/jam)

$a_I, b_I$  = tetapan Ishiguro

$t$  = Lama waktu kejadian hujan (jam)

### d. Metode Mononobe

Menurut Prof. Mononobe untuk mengetahui besarnya intensitas hujan adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.26)$$

dengan

$I$  = Intensitas Hujan (mm/jam)

$R_{24}$  = Curah hujan maksimum dianggap terjadi selama 24 jam

$t$  = Lama waktu kejadian hujan (jam)

### 2.3.3. Hidrograf

Hidrograf dapat digambarkan sebagai penyajian secara grafis antara salah satu unsur aliran dengan waktu. Kurva ini memberikan gambaran mengenai berbagai kondisi yang ada di daerah itu secara bersama-sama (Abbott, dkk. 1986).

Menurut Sri Harto (1993) mengemukakan sifat hujan yang sangat mempengaruhi bentuk hidrograf ada tiga macam, yaitu intensitas hujan, lama hujan, dan arah gerak hujan. Intensitas hujan yang makin tinggi akan mengakibatkan hidrograf naik dengan cepat, atau dengan kata lain akan terjadi hidrograf dengan waktu naik pendek dan debit puncak tinggi, demikian pula sebaliknya. Intensitas hujan yang tinggi pada umumnya akan terjadi dalam waktu yang

pendek, atau lama hujan pendek, sedangkan intensitas rendah pada umumnya terjadi dengan lama hujan yang besar.

Arah gerak hujan dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Arah gerak hujan ke hulu mengakibatkan hidrograf naik dengan cepat mencapai debit puncak dengan waktu dasar yang relatif panjang. Hal ini terjadi karena hujan yang terjadi di dekat stasiun hidrometri menyebabkan naiknya hidrograf dengan cepat, sedangkan dengan bergesernya hujan ke hulu, mengakibatkan masih adanya aliran limpasan yang diteruskan keluar DAS.
2. Arah gerak hujan ke hilir menyebabkan hidrograf naik lebih lambat, akan tetapi kemudian naik dengan cepat dan mempunyai waktu dasar yang relatif pendek.

Hidrograf aliran selalu berubah sesuai dengan besaran dan waktu terjadinya masukan. (Wilson,1993) mengemukakan 3 jenis hidrograf, yaitu :

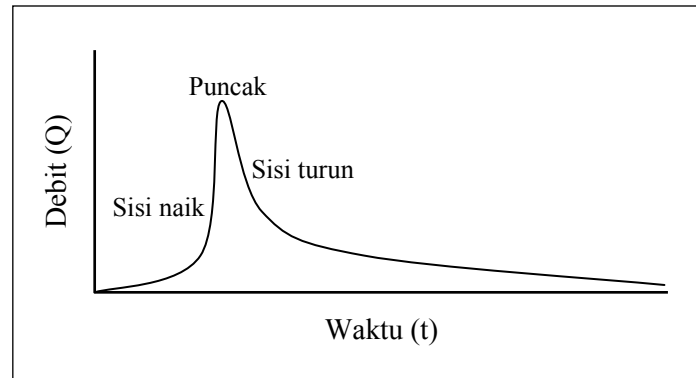
1. Hidrograf muka air (*stage hydrograf*), yaitu hubungan antara perubahan tinggi muka air dengan waktu yang merupakan hasil dari rekaman AWLR.
2. Hidrograf debit (*discharge hydrograf*), yaitu hubungan antara debit dengan waktu.
3. Hidrograf sedimen (*sediment hydrograf*), yaitu hubungan antara kandungan sedimen dengan waktu.

Hidrograf terdiri dari tiga bagian, yaitu sisi-naik (*rising limb*), puncak (*crest*) dan sisi resesi (*resesion limb*). Bentuk hidrograf dapat ditandai dengan tiga sifat pokoknya, yaitu waktu-naik (*time of rise*), debit puncak (*peak discharge*) dan waktu dasar (*base time*). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.2. di bawah ini.

Waktu naik adalah waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai waktu terjadinya debit puncak. Debit puncak adalah debit maksimum yang terjadi dalam suatu kasus tertentu. Waktu dasar adalah waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai waktu dimana debit kembali pada suatu besaran yang ditetapkan. Hidrograf sebagai gambaran atas respon DAS terhadap kejadian hujan mempunyai karakteristik yang berbeda pada setiap DAS yang dipengaruhi oleh parameter fisik DAS, dan karakteristik hujan. Oleh karena sifat fisik daerah aliran tersebut seperti bentuk, ukuran, kemiringan dan sebagainya adalah konstan, maka untuk hujan dengan karakteristik yang sama akan mempunyai hidrograf satuan yang sama.

Hidrograf satuan adalah hidrograf limpasan langsung yang dihasilkan oleh hujan efektif yang terjadi merata di seluruh DAS dan dengan intensitas tetap dalam satu satuan waktu yang ditetapkan. Untuk mendapatkan hidrograf banjir satuan terukur dengan Periode Ulang

tertentu maka harus tersedia data pengukuran debit banjir yang cukup panjang (JICA, 1985; Sulistiyono, 1990). Tetapi umumnya sangat sulit mendapatkan data tersebut sehingga digunakan data hujan pada daerah aliran sungai itu. Dengan perantara model hidrologi dapat digunakan untuk memperkirakan data debit banjir (Rahmanadi dan Sulistiyono, 2018). Banyak terdapat model hidrologi, diantaranya adalah hidrograf banjir satuan sintetik.



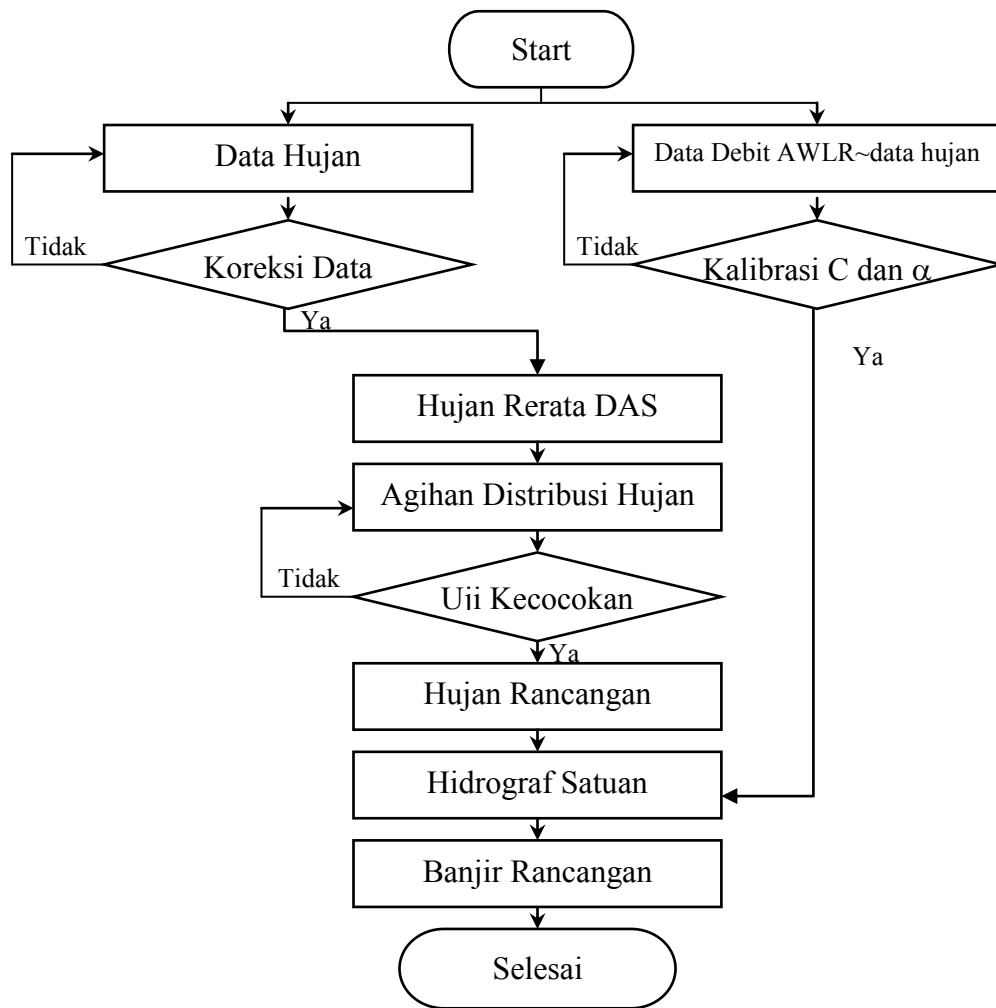
Gambar 2.2 Hidrograf

Hidrograf satuan sintetik adalah hidrograf satuan yang dibuat tanpa menggunakan data aliran tetapi dengan memanfaatkan parameter-parameter DAS (Bradbrook, dkk. 1998).

#### 2.4. ANALISIS DEBIT BANJIR PUNCAK

Secara umum analisis debit puncak merupakan satu bagian analisis awal dalam perencanaan pengembangan sumber daya air, terutama dalam bidang pengendalian. Contohnya dalam perencanaan-perencanaan bangunan air seperti: bendungan, bendung, kolam banjir, banjir kanal, dsb. Fasilitas bangunan yang harus ada seperti pelimpah, tinggi tanggul, saluran pengelak dan sebagainya harus didesain berdasarkan debit banjir rancangan periode ulang tertentu seperti  $Q_{100}$  atau  $Q_{1000}$ , demikian juga dengan perencanaan tinggi elevasi jembatan yang melintas sungai, dan bangunan-bangunan yang berhubungan langsung dengan sungai.

Dalam bidang pengendalian resiko akan muncul pada saat terjadi debit puncak melebihi debit rancangan. Oleh karenanya sangat perlu diketahui besaran yang valid dari debit banjir rancangan periode ulang yang disyaratkan untuk bangunan-bangunan pengendali banjir termasuk bendungan dan fasilitas bangunan pelengkap. Debit banjir rancangan periode ulang adalah besarnya debit banjir yang diperkirakan akan terjadi sekali dalam kurun waktu yang diperhitungkan (Rahmanadi dan Sulistiyono, 2018; Supardi dan Sulistiyono, 2018; Setiawan dkk, 2022; Sulistiyono dkk, 2022). Gambar berikut menjelaskan langkah analisis debit puncak.



Gambar 2.3. Bagan Alir Analisis Debit Puncak

#### 2.4.1. Koreksi Data Hujan

Data hujan yang diperoleh dari stasiun hujan bukanlah merupakan data yang dipastikan "benar". Meskipun data hujan tersebut memang benar-benar data hujan yang diambil dari stasiun yang bersangkutan. "Benar" dalam pengertian analisis hidrologi adalah merupakan data valid yang mengikuti suatu aturan distribusi statistik curah hujan seperti distribusi normal, distribusi log normal, distribusi Gumbel, Log Pearson Type III, dsb. Jika data hujan tersebut terdapat data ekstrim (*outliers*) akibat badai, kerusakan alat, dsb, maka data tersebut harus dibuang atau diganti dengan metode penambahan data yang hilang.

Beberapa metode untuk mengoreksi data hujan yang populer antara lain:

1. Uji Fisher
2. Uji abnormalitas
3. Uji Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS)



## 1. Uji Fisher

Uji ini merupakan alternatif terhadap uji Chi-kuadrat (Huntsberger, dkk. 2002). Penolakan data didasarkan pada perbandingan antara nilai F test hasil hitungan dengan F test kritis dalam tabel distribusi F. Secara teori persamaan distribusi F adalah

$$P(F_{v_1, v_2} \geq F_{\alpha, v_1, v_2}) = \alpha$$

Dari persamaan diatas diketahui bahwa nilai-nilai  $F_{v_1, v_2}$  berbanding terbalik dengan nilai-nilai  $F_{\alpha, v_1, v_2}$ , oleh karenanya didapat persamaan sebagai berikut: (2.27)

$$F_{v_1, v_2} = \frac{1}{F_{\alpha, v_1, v_2}}$$
 (2.28)

Pada pengujian hipotesis  $H_0 = 0$ , maka  $F_{v_1, v_2} = F_{\alpha, v_1, v_2}$  yang berarti juga Standar deviasi kedua distribusi sama. Sedangkan standar deviasi dipengaruhi oleh nilai sumof square sehingga didapat persamaan lain yang dituliskan:

$$\frac{T}{E} \geq F_{\alpha, k-1, k(n-1)}$$
 (2.29)

Jika hitungan T/E lebih besar atau sama dengan F kritis dari Tabel distribusi F, maka  $H_0$  di tolak. Sebaliknya jika hitungan T/E lebih kecil dari F kritis dari Tabel distribusi F, maka  $H_0$  di terima. T adalah data hujan bulanan atau tahunan dan E adalah total data. Contoh pemakaian uji Fisher ditampilkan pada Tabel 2.6.

**Tabel 2.6 Contoh Data Curah Hujan Setengah Bulanan selama 16 tahun**

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1984	247	211	410	105	95	6	8	0	21	15	78	107
1985	95	296	307	20	28	67	34	1	0	4	218	150
1986	275	215	228	129	22	196	23	8	5	23	81	97
1987	494	190	46	11	60	10	0	0	13	0	72	385
1988	160	208	320	54	9	0	4	4	14	82	168	174
1989	278	312	241	61	29	6	10	0	5	6	33	273
1990	253	74	175	26	29	6	10	0	5	6	33	273
1991	347	333	26	174	0	0	13	1	0	0	189	90
1992	204	303	254	93	6	3	0	8	23	51	193	244
1993	242	149	78	25	2	9	0	0	1	27	35	167
1994	385	182	234	47	6	0	0	0	0	0	32	123
1995	238	226	170	57	7	0	2	3	0	31	164	209
1996	177	373	114	14	16	0	5	0	1	10	86	180
1997	221	360	126	26	17	8	7	3	2	5	29	187
1998	228	285	269	102	20	38	9	11	8	35	98	265
1999	392	281	324	154	40	53	17	18	11	29	163	298

Selanjutnya dibuat tabel perhitungan seperti tampak pada Tabel 2.7. berikut:

**Tabel 2.7. Perhitungan Dasar statistik data hujan setengah bulanan**

No	Bulan	T A H U N																Total (mm)	Rerata (Xi) (mm)
		1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999		
1	Januari	247	95	275	494	160	278	253	347	204	242	385	238	177	221	228	392	4236	264.75
2	Februari	211	296	215	190	208	312	74	333	303	149	182	226	373	360	285	281	3998	249.875
3	Maret	410	307	228	46	320	241	175	26	254	78	234	170	114	126	269	324	3322	207.625
4	April	105	20	129	11	54	61	26	174	93	25	47	57	14	26	102	154	1098	68.625
5	Mei	95	28	22	60	9	29	29	0	6	2	6	7	16	17	20	40	386	24.125
6	Juni	6	67	196	10	0	6	6	0	3	9	0	0	0	8	38	53	402	25.125
7	Juli	8	34	23	0	4	10	10	13	0	0	0	2	5	7	9	17	142	8.875
8	Agustus	0	1	8	0	4	0	0	1	8	0	0	3	0	3	11	18	57	3.5625
9	September	21	0	5	13	14	5	5	0	23	1	0	0	1	2	8	11	109	6.8125
10	Oktober	15	4	23	0	82	6	6	0	51	27	0	31	10	5	35	29	324	20.25
11	Nopember	78	218	81	72	168	33	33	189	193	35	32	164	86	29	98	163	1672	104.5
12	Desember	107	150	97	385	174	273	273	90	244	167	123	209	180	187	265	298	3222	201.375
Total (mm)		1303	1220	1302	1281	1197	1254	890	1173	1382	735	1009	1107	976	991	1368	1780	18968	1185.5
Rerata (Xi)		108.583	101.7	108.5	106.8	99.8	104.5	74.2	97.8	115.2	61.3	84.1	92.3	81.3	82.6	114.0	148.3	Rerata(Xij) = 98.8	
$(X_i - X_{ij})^2$		95.8767	8.265625	94.2517	63.33507	0.918403	32.5851	606.391	1.08507	268.14	1409.377	216.335	42.7934	304.7934	262.71	231.293	2454.377	Total = 6092.53	
$k^*(X_i - X_{ij})^2$		1150.52	99.19	1131.02	760.02	11.02	391.02	7276.69	13.02	3217.7	16912.52	2596.02	513.52	3657.521	3152.52	2775.52	29452.52	73110.33	

Selanjutnya setiap kotak bulan pada tahun yang terkait diisi dengan menggunakan persamaan  $(X - X_i - X_j + X_{ij})$  seperti pada Tabel 2.8 sebagai berikut:

**Tabel 2.8. Perhitungan elemen dasar anggota distribusi F**

No	Bulan	T A H U N															
		1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
1	Januari	-27.5	-172.6	0.5	221.3	-105.7	7.5	87.0	83.3	-77.1	14.8	135.0	-20.2	-70.3	-27.5	-52.0	77.7
2	Februari	-48.7	43.3	-44.6	-67.8	-42.8	56.4	-77.1	84.2	36.8	-63.3	-53.2	-17.3	140.6	126.3	19.9	-18.4
3	Maret	192.6	96.5	10.7	-169.6	111.4	27.7	66.2	-180.6	30.0	-92.1	41.1	-31.1	-76.2	-65.4	46.2	66.8
4	April	26.6	-51.5	50.7	-65.6	-15.6	-13.3	56.2	106.4	8.0	-6.1	-6.9	-5.1	-37.2	-26.4	18.2	35.8
5	Mei	61.1	1.0	-11.8	27.9	-16.1	-0.8	103.7	-23.1	-34.5	15.4	-3.4	-10.6	9.3	9.1	-19.3	-33.7
6	Juni	-28.9	39.0	161.2	-23.1	-26.1	-24.8	79.7	-24.1	-38.5	21.4	-10.4	-18.6	-7.7	-0.9	-2.3	-21.7
7	Juli	-10.7	22.3	4.4	-16.8	-5.8	-4.6	99.9	5.2	-25.3	28.7	5.8	-0.3	13.6	14.3	-15.1	-41.4
8	Agustus	-13.4	-5.4	-5.3	-11.5	-0.5	-9.3	95.2	-1.5	-11.9	34.0	11.1	6.0	13.9	15.6	-7.8	-35.1
9	September	4.4	-9.7	-11.5	-1.8	6.2	-7.5	97.0	-5.8	-0.2	31.7	7.9	-0.3	11.6	11.4	-14.0	-45.4
10	Oktober	-15.0	-19.1	-7.0	-28.2	60.8	-20.0	84.5	-19.2	14.4	44.3	-5.5	17.3	7.2	1.0	-0.5	-40.8
11	Nopember	-36.3	110.6	-33.2	-40.5	62.5	-77.2	27.3	85.5	72.1	-32.0	-57.8	66.0	-1.0	-59.3	-21.7	9.0
12	Desember	-104.2	-54.3	-114.1	175.7	-28.3	65.9	170.4	-110.3	26.3	3.2	-63.7	14.2	-3.9	1.8	48.4	47.1

Selanjutnya setiap kotak bulan pada tahun yang terkait diisi dengan menggunakan persamaan  $(X - X_i - X_j + X_{ij})^2$  atau merupakan kuadrat dari nilai di Tabel 2.8 di atas. Sehingga perhitungan anggota distribusi F adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.9. Perhitungan anggota distribusi F**

No	Bulan	T A H U N															
		1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
1	Januari	758.5	29799.4	0.3	48970.0	11174.3	56.9	7576.3	6937.5	5948.3	218.8	18213.8	408.4	4940.9	758.5	2699.7	6038.6
2	Februari	2368.4	1870.6	1987.7	4601.4	1834.7	3182.8	5941.8	7084.0	1350.6	4011.1	2826.7	300.4	19763.7	15960.1	396.7	339.2
3	Maret	37088.3	9312.3	113.8	28758.5	12413.7	765.4	4378.0	32610.3	900.0	8479.3	1687.8	966.2	5801.4	4279.3	2131.4	4466.7
4	April	706.7	2652.3	2567.1	4301.2	242.8	177.8	3154.7	11324.5	64.0	37.0	47.8	25.8	1381.4	697.8	330.0	1284.0
5	Mei	3731.2	1.0	140.0	779.3	258.7	0.7	10746.8	532.8	1190.3	237.7	11.7	112.0	87.1	82.5	373.8	1133.4
6	Juni	836.2	1521.0	25974.7	532.8	680.3	616.7	6346.8	580.0	1482.3	458.7	108.5	345.3	58.8	0.8	5.4	469.4
7	Juli	113.8	495.1	19.5	283.4	34.0	21.0	9983.3	26.7	637.6	821.8	34.0	0.1	184.5	205.4	227.5	1715.3
8	Agustus	178.3	29.6	27.8	132.7	0.3	85.9	9068.6	2.3	142.5	1154.6	124.2	35.8	193.1	244.8	60.4	1232.3
9	September	19.3	93.8	132.7	3.1	38.8	56.6	9405.0	33.3	0.0	1006.7	62.3	0.1	135.6	129.9	196.6	2057.0
10	Oktober	226.3	365.8	48.4	795.7	3695.6	398.3	7147.3	369.0	206.6	1961.8	30.7	299.0	52.0	0.9	0.2	1664.0
11	Nopember	1317.1	12237.9	1102.8	1636.9	3911.5	5961.1	744.8	7317.4	5202.0	1021.3	3339.9	4361.5	1.1	3515.5	471.3	80.3
12	Desember	10850.7	2943.1	13015.0	30858.8	802.8	4345.0	29041.8	12173.4	689.1	10.0	4053.4	200.7	15.3	3.4	2344.2	2216.8

Selanjutnya adalah perhitungan F score seperti ditampilkan pada Tabel 2.10 sebagai berikut:

**Tabel 2.10. Perhitungan F Score**

Hitungan	Nilai	Tabel F <sub>Kritis</sub>	Hipotesa	Kesimpulan
$\Sigma (X-X_i-X_j+X_{ij})^2$	684838.6	Dengan:		F hitung > F kritis
$(k-1) \Sigma k (X_i-X_{ij})^2 \dots \dots$ bulanan	804213.67	$\nu_1=(n-1)=$ 11	Bulanan:	* Data bulanan tidak homogen
$(n-1) \Sigma n (X_j-X_{ij})^2 \dots \dots$ tahunan	27951225.63	$\nu_2=(k-1)=$ 15	Ditolak	
F1 hitung (bulanan)	40.81432414	$\alpha =$ 0.01	Tahunan:	F hitung < F kritis
F2 hitung (tahunan)	1.174311199	$F_{kritis} =$ 3.73	Diterima	* Data tahunan homogen

## 2. Uji Abnormalitas

Metode Abnormalitas adalah suatu metode pengujian untuk mengetahui adanya data curah hujan harian maksimum yang tidak normal (*outliers*) (Sulistiyono, 1999). Persamaan-persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Log}(X_e \pm b_i) = \text{Log}(X_i + b_i) \pm (1/c) \cdot \xi \quad (2.30)$$

$$b_i = \frac{X_s * X_t - X_o^2}{2X_o - (X_s + X_t)} \quad (2.31)$$

$$\frac{1}{c} = \frac{\sqrt{\frac{2n}{n-1}}}{\sqrt{X_2^2 - X_0^2}} \quad (2.32)$$

$$X_2^2 = \sum [\text{Log}(X_i + b_i)]^2 \quad (2.33)$$

$$X_0^2 = \left( \sum [\text{Log}(X_i + b_i)] \right)^2 \quad (2.34)$$

dengan:

$X_e$  = batas maksimum dan minimum data curah hujan (mm)

$X_i$  = data curah hujan (mm)

Contoh pemakaian uji Abnormalitas yang digunakan untuk menguji 16 data curah hujan harian maksimum adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.11 Sortir Data**

No	Data	sort( $X_i$ )
1	1303	1780
2	1220	1382
3	1302	1368
4	1281	1303
5	1197	1302
6	1254	1281
7	890	1254
8	1173	1220
9	1382	1197
10	735	1173
11	1009	1107
12	1107	1009
13	976	991
14	991	976
15	1368	890
16	1780	735

**Tabel 2.12 Perhitungan Log  $X_i + b$**

No	$X_i$	Log $X_i$	$X_i + b$	Log ( $X_i + b$ )	$[\text{Log}(X_i + b)]^2$
1	1382.00	3.141	1078.5	3.033	9.198
2	1368.00	3.136	1064.5	3.027	9.163
3	1303.00	3.115	999.5	3.000	8.999
4	1302.00	3.115	998.5	2.999	8.996
5	1281.00	3.108	977.5	2.990	8.941
6	1254.00	3.098	950.5	2.978	8.868
7	1220.00	3.086	916.5	2.962	8.774
8	1197.00	3.078	893.5	2.951	8.709
9	1173.00	3.069	869.5	2.939	8.639
10	1107.00	3.044	803.5	2.905	8.439
11	1009.00	3.004	705.5	2.848	8.114
12	991.00	2.996	687.5	2.837	8.050
13	976.00	2.989	672.5	2.828	7.996
14	890.00	2.949	586.5	2.768	7.663
Jumlah		42.929		41.066	120.548
Rerata Log ( $X_o$ )		3.066		2.933	8.611
$X_o$		1165.03			

14 data yang ada dalam Tabel 2.12 diambil dari 16 data pada Tabel 2.11 yang telah dihilangkan data terbesar dan terkecilnya. Nilai b dalam perhitungan  $X_i + b$ , didapat dari perhitungan dalam tabel berikut:

**Tabel 2.13** Perhitungan nilai b

No	Xs	Xt	Xs*Xt	Xs+Xt	Xs.Xt-Xo <sup>2</sup>	2.Xo - (Xs + Xt)	bi
1	1382.00	890.00	1229980	2272.00	-127306.3925	58.05269687	-2192.95
2	1368.00	976.00	1335168	2344.00	-22118.39255	-13.94730313	1585.85
Rerata "b"							-303.545

Selanjutnya dihitung nilai 1/c dengan menggunakan persamaan 2.32, 2.33 dan 2.34 didapat:

$$2n/(n-1) = 2*14/(14-1) = 2.1538$$

$$X_2^2 - X_0^2 = 8.611-(2.933*2.933) = 0.0064$$

$$1/c = \text{SQRT}(2.1538)*\text{SQRT}(0.0064) = 0.1174$$

Selanjutnya dibuat tabel harga abnormal seperti Tabel 2.14 sebagai berikut:

**Tabel 2.14** Harga Abnormal

$\epsilon$ (%)	F	T	$\xi$	0.1174 * $\xi$	Log ( $X_{\epsilon} + -303.545$ ) =		$X_{\epsilon} + -303.545$		$X_{\epsilon}$	
					Log ( $X_i + (1/c)*\xi$ ) =	Log ( $X_i + b$ ) - (1/c)* $\xi$ =				
					2.933 + 0.1174 $\xi$	2.933 - 0.1174 $\xi$	(+)	(-)	(+)	(-)
0.2	99.80	500	2.0352	0.23883	3.172	2.694	1486.349	494.832	1789.895	798.377
0.25	99.75	400	1.984	0.23282	3.166	2.700	1465.928	501.725	1769.473	805.271
0.50	99.50	200	1.8214	0.21374	3.147	2.720	1402.915	524.261	1706.461	827.806
1.25	98.75	80	1.585	0.18601	3.119	2.747	1316.138	558.827	1619.684	862.372
2.50	97.50	40	1.3859	0.16264	3.096	2.771	1247.169	589.73	1550.714	893.276
5.00	95.00	20	1.1631	0.13649	3.070	2.797	1174.301	626.324	1477.847	929.869
12.50	87.50	8	0.8134	0.09545	3.029	2.838	1068.42	688.393	1371.966	991.938
25.00	75.00	4	0.4769	0.05596	2.989	2.877	975.5594	753.919	1279.105	1057.465

Penolakan data harus berdasarkan harga yang  $\xi$  sesuai, sehingga harus dicari dulu nilai  $\xi$  yang sesuai dengan data di atas dengan persamaan 2.35 sebagai berikut:

$$\xi = 1 - (1 - \beta_o)^{1/n} \quad (2.35)$$

dengan,

$\xi$  = laju abnormalitas (%)

$\beta_o$  = angka signifikan penolakan dengan melihat Tabel 2.15

**Tabel 2.15 Daftar  $\xi_0$**

n	$\beta_0=5\%$	$\beta_0=1\%$	n	$\beta_0=5\%$	$\beta_0=1\%$	n	$\beta_0=5\%$	$\beta_0=1\%$
18	0,285 %	0,056 %	34	0,151 %	0,030 %	50	0,103 %	0,020 %
20	0,286 %	0,049 %	36	0,142 %	0,028 %	55	0,093 %	0,018 %
22	0,233 %	0,046 %	38	0,135 %	0,027 %	60	0,085 %	0,017 %
24	0,214 %	0,042 %	40	0,128 %	0,025 %	65	0,079 %	0,016 %
26	0,197 %	0,039 %	42	0,122 %	0,024 %	70	0,073 %	0,014 %
28	0,183 %	0,036 %	44	0,117 %	0,023 %	75	0,068 %	0,013 %
30	0,171 %	0,034 %	46	0,111 %	0,022 %	80	0,064 %	0,013 %
32	0,160 %	0,032 %	48	0,107 %	0,021 %			

Sumber: Sosrodarsono dan Takeda, 1993

Jika kita ingin penolakan data berdasarkan angka signifikan 5%, maka

$$\xi = 1 - (1 - 0,05)^{1/16} = 0,003201 = 0,32 \%$$

Melihat Tabel 2.14 dengan menginterpolasi nilai-nilai untuk 0,32% yaitu antara 0,25% dan 0,50%, didapat :

- batas maksimum data Xe adalah 1751.83
- batas minimum data Xe adalah 811.58

sehingga data yang lebih besar dari 1751.83 dan data yang lebih kecil dari 811.58 harus dibuang.

### 3. Uji Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS)

Metode Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS) oleh Buishand pada tahun 1982 (Wijngaard dan Klein Tank, 2006) adalah suatu metode pengujian untuk mengidentifikasi adanya ketidaknormalan sekumpulan data dengan menganalisis komulatif penyimpangan terhadap nilai rata-rata dibagi dengan akar komulatif rerata penyimpangan kuadrat terhadap nilai reratanya, lebih jelas lagi bisa dilihat pada rumus dibawah (Harto, 1993):

$$S_0^* = 0 \quad \text{dan} \quad S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \quad \text{dengan } k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.36)$$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{D_y} \quad (2.37)$$

$$D_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n} \quad (2.38)$$

nilai statistik Q dan R

$$Q = \max_{0 \leq k \leq n} |S_k^{**}| \quad (2.39)$$



$$R = \max_{0 \leq k \leq n} S_k^{**} - \min_{0 \leq k \leq n} S_k^{**} \quad (2.40)$$

Dengan melihat nilai statistik diatas maka dapat dicari nilai  $Q/\sqrt{n}$  dan  $R/\sqrt{n}$ . Hasil yang di dapat dibandingkan dengan nilai  $Q/\sqrt{n}$  syarat dan  $R/\sqrt{n}$  syarat pada tabel berikut, jika lebih kecil maka data masih dalam batasan normal.

**Tabel 2.16 Nilai  $Q/n0.5$  dan  $R/n0.5$**

n	Q/n0.5			R/n0.5		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1.05	1.14	1.29	1.21	1.28	1.38
20	1.10	1.22	1.42	1.34	1.43	1.60
30	1.12	1.24	1.48	1.40	1.50	1.70
40	1.31	1.27	1.52	1.44	1.55	1.78
100	1.17	1.29	1.55	1.50	1.62	1.85

Sumber: Harto, 1993

Contoh pemakaian uji RAPS untuk data tahunan yang diambil dari Stasiun Hujan Gunung Sari dari tahun 2006 sampai 2020 ditampilkan pada Tabel 2.17 sebagai berikut:

**Tabel 2.17 Uji RAPS**

No.	Tahun	Yi	$(Yi - \bar{Y})^2$	sk*	Dy <sup>2</sup>	sk**	isk**1
1	2006	1.690,00	18135,111	134,667	1209,007	0,301	0,301
2	2007	1.562,00	44,444	141,333	2,963	0,316	0,316
3	2009	1.199,00	126973,444	-215,000	8464,896	-0,481	0,481
4	2009	1.220,00	112448,444	-550,333	7496,563	-1,232	1,232
5	2010	1.904,00	121568,444	-201,667	8104,563	-0,451	0,451
6	2011	1.286,00	72540,444	-471,000	4836,030	-1,054	1,054
7	2012	1.624,00	4715,111	-402,333	314,341	-0,900	0,900
8	2013	1.927,00	138136,111	-30,667	9209,074	-0,069	0,069
9	2014	1.179,00	141626,778	-407,000	9441,785	-0,911	0,911
10	2015	1.237,00	101336,111	-725,333	6755,741	-1,623	1,623
11	2016	2.556,00	1001333,778	275,333	66755,585	0,616	0,616
12	2017	2.196,00	410453,778	916,000	27363,585	2,050	2,050
13	2018	994,00	315095,111	354,667	21006,341	0,794	0,794
14	2019	949,00	367640,111	-251,667	24509,341	-0,563	0,563
15	2020	1.807,00	63336,111	0,000	4222,407	0,000	0,000
Jumlah		23330,000	2995383,333		199692,222		
Rata - rata		1555,333	199692,222		Dy = 446,869		
sk** maks.							2,050
sk** min.							-1,623
Q =  sk**  maks.							2,050
sk**  min.							0,000
R = sk** maks. - sk** min.							3,673
$Q/\sqrt{n}$							0,529
$R/\sqrt{n}$							0,948

Dengan  $n = 15$  ;  $D_y = 446,869$  ;  $Sk^{**} \text{ min} = -1,623$ ;  $Sk^{**} \text{ maks} = 2,050$  ;  $Q = |Sk^{**}\text{maks}| = 2,050$ ;  $R = Sk^{**}\text{maks} - Sk^{**}\text{min} = 3,673$ ;

Selanjutnya menentukan konsistensi data dengan syarat sesuai Tabel 2.16 nilai  $Q \sqrt{n}$  dan  $R \sqrt{n}$  dengan nilai  $n = 15$  dan dengan menggunakan derajat kepercayaan 5% didapatkan nilai  $Q \sqrt{n} = 1,140$  dan  $R \sqrt{n} = 1,280$ , sehingga

- $Q \sqrt{n} = 2,0498 \sqrt{15} = 0,529 < 1,140$  (Konsisten)
- $R \sqrt{n} = 3,6730 \sqrt{15} = 0,948 < 1,280$  (Konsisten)

Berarti data hujan dari Tahun 2006 sampai 2020 yang diambil dari Stasiun Hujan Gunung Sari secara statistik bersifat konsisten terhadap rata-rata dan standar deviasinya.

#### 2.4.2. Menambah Data Yang Hilang

Sering kali dijumpai adanya kekosongan pencatatan data hujan pada salah satu stasiun hujan, hal ini bisa dikarenakan keteledoran petugas pencatat maupun kerusakan pada stasiun hujan yang bersangkutan. Agar data dari stasiun yang pencatatan hujannya mengalami kekosongan bisa dianalisis, maka kekosongan tersebut harus diisi dengan bantuan data yang tersedia pada stasiun hujan disekitarnya pada saat yang sama.

Saat ini dikenal dua cara untuk memperkirakan data hujan yang hilang (Harto, 1993) yaitu dengan cara '*Normal Ratio Method*' dan '*Reciprocal Method*' / '*Inversed squared distance*'. Untuk '*Normal Ratio Method*' bisa digunakan bila variasi ruang hujan tidak terlalu besar, sedangkan pada '*Reciprocal Method*' memanfaatkan jarak antar stasiun sebagai faktor koreksi. Rumus yang dipakai dalam '*Normal Ratio Method*' adalah sebagai berikut:

$$P_x = 1/n [ N_x \cdot P_A / N_A + N_x \cdot P_B / N_B + \dots + N_x \cdot P_n / N_n ] \quad (2.41)$$

dengan:

- $P_x$  = curah hujan pada stasiun x yang dicari (mm)
- $N_x$  = curah hujan normal tahunan di stasiun x
- $P_A$  = curah hujan pada stasiun A (mm)
- $N_A$  = curah hujan normal tahunan di stasiun A
- n = jumlah stasiun referensi

Sedangkan cara yang relatif lebih baik adalah cara *'Reciprocal Method'* yang memanfaatkan jarak antar stasiun sebagai faktor koreksi (*weighting factor*). Hal ini bisa dimengerti, karena korelasi antara dua stasiun hujan menjadi makin kecil dengan makin besarnya jarak antar stasiun tersebut. Persaman di atas bisa digunakan, bila dalam DAS tersebut terdapat lebih dari dua stasiun hujan dan dianjurkan untuk menggunakan paling tidak tiga stasiun acuan.

$$P_x = \frac{P_A/(d_{XA})^2 + P_B/(d_{XB})^2 + P_C/(d_{XC})^2}{1/(d_{XA})^2 + 1/(d_{XB})^2 + 1/(d_{XC})^2} \quad (2.42)$$

dengan

$P_A$  = curah hujan pada stasiun A (mm)

$d_{XA}$  = jarak antar stasiun X dengan stasiun acuan A

### 2.4.3. Perhitungan Curah Hujan Rerata DAS

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu pemanfaatan air dan rancangan banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah/daerah dan dinyatakan dalam mm.

Jika hanya terdapat satu titik pengamatan yang digunakan, maka nilai curah hujan dari titik pengamatan tersebut harus dikalikan dengan faktor reduksi yang ditampilkan pada Tabel 2.18

Tabel 2.18 Faktor Reduksi Curah Hujan

Luas DAS (km <sup>2</sup> )	F	Luas DAS (km <sup>2</sup> )	F
10	1,000	700	0,770
30	0,980	800	0,752
100	0,935	900	0,735
200	0,890	1000	0,720
300	0,858	2000	0,610
400	0,832	3000	0,515
500	0,819	4000	0,435
600	0,789	5000	0,370

Jika terdapat dua titik pengamatan, maka cara yang mungkin digunakan adalah 1) Metode Rata-rata Aljabar, atau 2) Metode Rata-rata Aljabar dengan faktor pemberat (Area Weighted Average)

Metode Rata-rata Aljabar dijelaskan lebih lanjut pada subseksi selanjutnya. Sedangkan Metode Rata-rata dengan pemberat (Area Weighted Average) adalah sebagai berikut

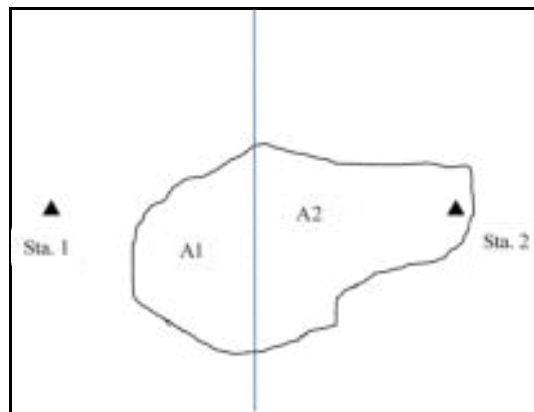
$$R_{rata-rata} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2}{A_1 + A_2} \quad (2.43)$$

dengan

$R_{rata-rata}$  = curah hujan daerah (mm)

$A_1, A_2$  = bagian daerah yang mewakili tiap titik

$R_1, R_2$  = curah hujan di tiap titik pengamatan (mm)



Gambar 2.4 Faktor Area Pemberat

Jika terdapat tiga titik pengamatan curah hujan atau lebih, maka cara perhitungan curah hujan daerah dari pengamatan curah hujan di beberapa titik adalah sebagai berikut (Harto, 1993):

1. Cara Rata-rata Aljabar
2. Cara Thiessen
3. Cara Garis Isohiet

### 1. Cara Rata-rata Aljabar

Cara ini adalah perhitungan rata-rata secara aljabar curah hujan di dalam dan di sekitar daerah yang bersangkutan.

$$R_{rata-rata} = 1/n ( R_1 + R_2 + \dots + R_n ) \quad (2.44)$$

dengan

$R_{rata-rata}$  = curah hujan daerah (mm)

$N$  = jumlah titik-titik pos pengamatan

$R_1, R_2, \dots, R_n$  = curah hujan di tiap titik pengamatan (mm)

Hasil yang diperoleh dengan cara ini tidak jauh berbeda dari hasil yang didapat dengan cara lain, jika titik pengamatan itu banyak dan tersebar merata di seluruh daerah itu. Keuntungan cara ini adalah bahwa cara ini adalah obyektif yang berbeda dengan umpama cara isohiet, dimana faktor subyektif turut menentukan.

## 2. Cara Thiessen

Jika titik-titik pengamatan di dalam daerah itu tidak tersebar merata, maka cara perhitungan curah hujan rata-rata itu dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh tiap titik pengamatan. Curah hujan daerah itu dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

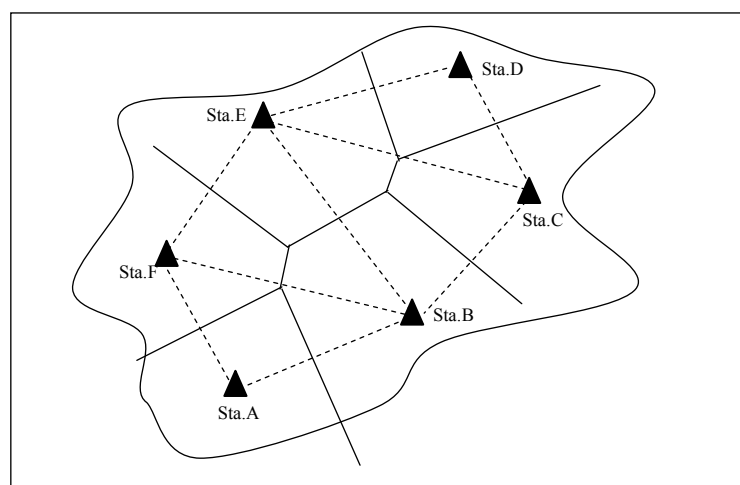
$$R_{rata-rata} = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.45)$$

dengan:

$R_{rata-rata}$  = curah hujan daerah (mm)

$A_1, A_2, \dots, A_n$  = bagian daerah yang mewakili tiap titik

$R_1, R_2, \dots, R_n$  = curah hujan di tiap titik pengamatan (mm)



Gambar 2.5 Poligon Thiessen



Adapun langkah-langkah perhitungan curah hujan rancangan meliputi:

1. Penentuan curah hujan rerata DAS
2. Pemilihan Distribusi curah hujan rerata DAS
3. Penggambaran (*plotting*)
4. Uji Konsistensi Distribusi curah hujan rerata DAS
5. Perhitungan Curah Hujan Rancangan Periode Ulang 2, 5, 10, 50, 100, 1000
6. Perhitungan Curah Hujan Maksimum yang mungkin terjadi (*Probable Maximum Precipitation = PMP*)

Sebagai contoh perhitungan curah hujan rancangan digunakan data curah hujan pada Tabel 2.19 sebagai berikut, yang dianggap sudah merupakan hujan rerata suatu DAS

**Tabel 2.19. Data Rerata Curah Hujan Harian Maksimum suatu DAS**

No	Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum (mm)
1	1985	160.00
2	1986	68.00
3	1987	76.00
4	1988	65.50
5	1989	58.00
6	1990	83.00
7	1991	86.00
8	1992	48.50
9	1993	139.00
10	1994	74.00
11	1995	100.20
12	1996	71.10
13	1997	60.30
14	1998	113.00
15	1999	112.20
16	2000	141.90
17	2001	90.00
18	2002	85.00
19	2003	153.00
20	2004	95.00
21	2005	63.00

Sumber: Balai Hidrologi NTB, 2006

### 1. Pemilihan Jenis Distribusi

Untuk mengidentifikasi jenis distribusi sekumpulan data hujan dengan cara analitis dapat dilakukan dengan memperhatikan parameter-parameter statistic dari kumpulan data tersebut.

Umumnya nilai-nilai koefisien variasi (Cv), koefisien kepencengan (Cs) dan koefisien kurtosis (Ck) dapat menunjukkan jenis distribusi data hujan.

Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$S_x = \frac{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2}}{n - 1} \quad (2.47)$$

$$C_v = \frac{S_x}{\bar{X}} \quad (2.48)$$

$$C_s = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n - 1) \times (n - 2) \times S_x^3} \quad (2.49)$$

$$C_k = \frac{n^2 \times \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n - 1) \times (n - 2) \times (n - 3) \times S_x^4} \quad (2.50)$$

dengan:

$X_i$  = Curah hujan harian maksimum rata-rata selama tahun pengamatan

$\bar{X}$  = rata-rata curah hujan harian maksimum

K = Koefisien frekuensi didapat dari tabel

$S_x$  = Simpangan Baku

$C_s$  = Koefisien skewness

$C_v$  = Koefisien variasi

$C_k$  = Koefisien kurtosis

Tabel koefisien frekuensi yang digunakan dalam analisis dapat dilihat pada lampiran. Dimana syarat tiap-tiap distribusi curah hujan seperti pada Tabel 2.20 seperti berikut

**Tabel 2.20. Syarat Pemilihan Distribusi**

No	Distribusi	Syarat (mendekati)	Keterangan
1	Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$	
2	Log Normal	$C_s \approx 3 CV$	
3	Gumbel	$C_s \approx 1,1296$ $C_k \approx 5,4$	
4	Log Pearson Type III	-	Bila analisis tidak ada yang memenuhi syarat maka digunakan distribusi curah hujan Log Pearson Tipe III



Sumber : Soemarto,1995

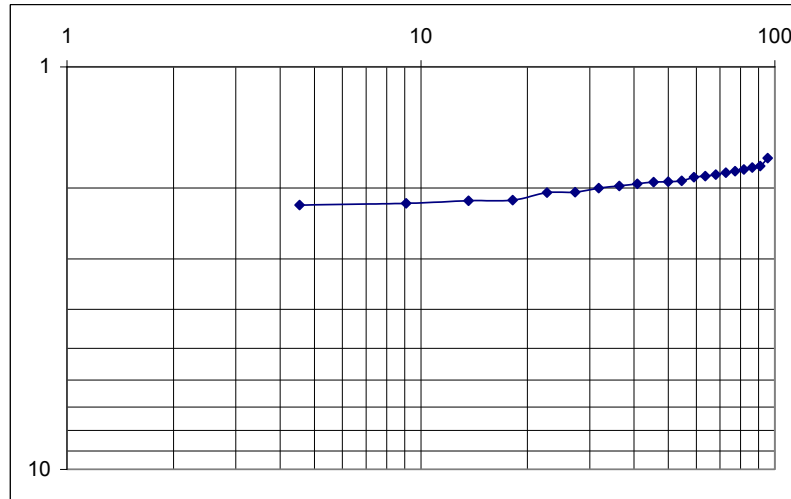
Pemilihan jenis distribusi data hujan harian maksimum selanjutnya ditampilkan dengan perhitungan dalam Tabel 2.21.

**Tabel 2.21 Pemilihan Jenis Distribusi**

Jumlah Data = 21  
 Nilai Rerata (Mean) = 92.509524  
 Standar Deviasi = 32.651982  
 Koefisien Skewness = 0.832353  
 Koefisien Kurtosis = -0.335554  
 Koefisien Variasi = 0.3529581  
 Nilai Tengah = 85

Distribusi	Syarat			Hasil			Analisis			Kesimpulan	
	Cs	Ck	Cv	Cs	Ck	Cv					
<b>Normal</b>	0	$3*(SD)^2$	-	0.8324	-0.336	0.3530	Cs	0.8324	FALSE	Tidak Mendekati Distribusi Normal	<b>Ditolak</b>
<b>Log Normal</b>	3Cv	Cs = selalu +	-	0.8324	-0.3356	0.3530	Ck	3198.4557	FALSE	Tidak Mendekati Distribusi Log Normal	<b>Ditolak</b>
<b>Gumbel</b>	1.1396	5.4002	-	0.8324	-0.3356	0.3530	Cs/Cv=3	2.35822	FALSE	Tidak Mendekati Distribusi Gumbel	<b>Ditolak</b>
<b>Log Pearson III</b>	Ck & Cs = selalu + selain syarat-syarat di atas			0.8324	-0.3356	0.3530	Ck/Cs=4.73868	-0.40314	FALSE	Tidak Mendekati Distribusi Log Pearson III	<b>Ditolak</b>
				0.8324	-0.3356	0.3530	Ck	-0.3356	TRUE	Mendekati Distribusi Log Pearson III	<b>Diterima</b>

Prob. P	Prob. P (%)	Logaritmik Curah hujan Ri	Curah hujan Ri
0.045	4.545	2.204119983	160
0.091	9.091	2.184691431	153.000
0.136	13.636	2.151982395	141.900
0.182	18.182	2.1430148	139.000
0.227	22.727	2.053078443	113.000
0.273	27.273	2.049992857	112.200
0.318	31.818	2.000867722	100.200
0.364	36.364	1.977723605	95.000
0.409	40.909	1.954242509	90.000
0.455	45.455	1.934498451	86.000
0.500	50.000	1.929418926	85.000
0.545	54.545	1.919078092	83.000
0.591	59.091	1.880813592	76.000
0.636	63.636	1.86923172	74.000
0.682	68.182	1.851869601	71.100
0.727	72.727	1.832508913	68.000
0.773	77.273	1.8162413	65.500
0.818	81.818	1.799340549	63.000
0.864	86.364	1.780317312	60.300
0.909	90.909	1.763427994	58.000
0.955	95.455	1.685741739	48.500



Gambar 2.7. Plotting data berdasarkan metode Log Pearson III

## 2. Uji Kesesuaian Pemilihan Distribusi

Untuk mengetahui apakah data tersebut benar sesuai dengan jenis distribusi curah hujan teoritis yang dipilih maka perlu dilakukan pengujian lebih lanjut. Untuk keperluan analisis uji kesesuaian dipakai metode  $\text{Chi}^2$  dan Uji Smirnov-Kolmogorov.

a. **Uji  $\text{Chi}^2$**  dilakukan dengan mengelompokkan data menjadi beberapa kelas. Selanjutnya frekuensi pemunculan data secara observasi dibandingkan dengan frekuensi pemunculan teoritis atau frekuensi harapan sesuai distribusi. Nilai indek  $\text{Chi}^2$  didapat dengan perhitungan selisih frekuensi observasi dan teoritis dibagi dengan frekuensi teoritis. Nilai  $\text{Chi}^2$  ini harus lebih kecil dari nilai standar yang didapat dari Tabel  $\text{Chi}^2$  jika distribusi dianggap benar atau diterima. Langkah-langkah perhitungan  $\text{Chi}^2$  adalah sebagai berikut (Pearson, 1900; Sulistiyono dkk, 2022b)

- 1) Menghitung rentang kelas data,  $(R) = \text{Data terbesar} - \text{data terkecil}$
- 2) Menghitung jumlah,  $(K) = 1 + 3,32 \log n$ , dengan  $n$  adalah jumlah data
- 3) Menghitung Interval kelas,  $(IK) = R / K$
- 4) Menghitung Derajat Kebebasan,  $(DK) = K - (\alpha + 1)$ , dengan  $\alpha = 2$
- 5) Membagi kelas.

Interval kelas I = data terkecil + Ik

Interval kelas II = batas akhir kelas I + Ik, dan seterusnya sampai seluruh kelas didapat

- 6) Menghitung frekuensi observasi dari data
- 7) Menghitung frekuensi estimasi dari distribusi yang diasumsikan

Contoh Perhitungan  $\text{Chi}^2$  ini ditampilkan dalam Tabel 2.22 sampai Tabel 2.25.

**Tabel 2.22 Uji  $\text{Chi}^2$  Distribusi Normal**

Kelas	Interval	OF	EF	(OF-EF)	(OF-EF) <sup>2</sup> /EF
1	$P < 0,2$	1	1	0	0
2	$0,2 < P < 0,4$	4	5	-1	0,2
3	$0,4 < P < 0,6$	10	9	1	0,11
4	$0,6 < P < 0,8$	6	5	1	0,2
5	$0,8 < P$	0	1	-1	1
		21	21		1,51

Pada  $DK = 2$ , Chi-kritik = 5,991.

Sehingga, Chi-kuadrat = 1,51 < Chi-kritik = 5,991, maka Distribusi Normal diterima.

**Tabel 2.23 Uji Chi<sup>2</sup> Distribusi Log-Normal**

Kelas	Interval	OF	EF	(OF-EF)	(OF-EF) <sup>2</sup> /EF
1	P < 0,2	7	13	-6	2,77
2	0,2 < P < 0,4	6	5	1	0,2
3	0,4 < P < 0,6	4	2	2	2
4	0,6 < P < 0,8	2	1	1	1
5	0,8 < P	2	0	2	0
		21	21		5,97

Pada DK = 2, Chi-kritik = 5,991.

Sehingga, Chi-kuadrat = 5,97 < Chi-kritik = 5,991, maka Distribusi Log-Normal diterima

**Tabel 2.24 Uji Chi<sup>2</sup> Distribusi Gumbel**

Kelas	Interval	OF	EF	(OF-EF)	(OF-EF) <sup>2</sup> /EF
1	P < 0,2	7	4	3	2,25
2	0,2 < P < 0,4	6	8	-2	0,5
3	0,4 < P < 0,6	4	5	-1	0,2
4	0,6 < P < 0,8	2	3	-1	0,333
5	0,8 < P	2	1	1	1
		21	21		4,283

Pada DK = 2, Chi-kritik = 5,991.

Sehingga, Chi-kuadrat = 4,283 < Chi-kritik = 5,991, maka Distribusi Gumbel diterima

**Tabel 2.25 Uji Chi<sup>2</sup> Distribusi Log Pearson Tipe III**

Kelas	Interval	OF	EF	(OF-EF)	(OF-EF) <sup>2</sup> /EF
1	P < 0,2	7	9	-2	0,44
2	0,2 < P < 0,4	6	6	0	0
3	0,4 < P < 0,6	4	3	1	0,33
4	0,6 < P < 0,8	2	2	0	0
5	0,8 < P	2	1	1	1
		21	21		1,77

Pada DK = 2, Chi-kritik = 5,991.

Sehingga, Chi-kuadrat = 1,77 < Chi-kritik = 5,991, maka Distribusi Log Pearson tipe III diterima.

**b. Uji Smirnov-Kolmogorov** diperoleh dengan memplot data dan probabilitasnya dari data yang bersangkutan, serta hasil perhitungan empiris dalam bentuk grafis. Dari kedua hasil pengeplotan, dapat diketahui penyimpangan terbesar ( $\Delta$  maksimum). Penyimpangan



### 3. Jenis Distribusi Curah Hujan

#### b. Distribusi Normal

Secara tingkat fungsi probabilitasnya digambarkan sebagai berikut :

$$f(x) = \frac{1}{Sx\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-(x-x)^2/2Sx^2} \quad (2.51)$$

$$XTr = X + K.Sx \quad (2.52)$$

dengan :

XTr : besarnya curah hujan untuk periode tahun berulang Tr (mm)

Tr : periode tahun berulangnya (tahun)

X : curah hujan harian maksimum rata-rata (mm)

Sx : standar deviasi

K : faktor frekuensi

**Tabel 2.28 Hubungan Tr dan K**

Return Period (Tr)	Frequency Factor (K)
1,01	- 2,236
2,25	- 0,846
2,00	0,000
5,00	0,842
10,00	1,282
20	1,645
25	1,751
50	2,054
100	2,326
200	2,576

Sumber : Soemarto,1995

### c. Distribusi Log Normal

Fungsi probabilitasnya dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$F(y) = \frac{1}{x.5y\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-(y-y)^{-2}/2.5y^2} \quad (2.53)$$

$$Y = \ln(x) \quad (2.54)$$

$$X_{Tr} = X + K S_r \quad (2.55)$$

dengan :

$X_{Tr}$  : besarnya curah hujan periode tahun berulang  $Tr$  (mm)

$Tr$  : periode tahun berulangnya (tahun)

$X$  : curah hujan harian maksimum rata-rata selama tahun pengamatan (mm)

$S_y$  : standard deviasi

$K$  : faktor frekuensi

### d. Distribusi Gumbel

Persamaan Gumbel untuk Periode ulang  $Tr$

$$X_{Tr} = X + S_x(0,78y - 0,45) \quad (2.56)$$

$$S_x = \frac{\sum (X_i - X)^2}{(n - 1)} \quad (2.57)$$

$$Y = -\ln(\ln(\frac{T-1}{T})) \quad (2.58)$$

dengan :

$X$  :  $x$  rata-rata tahun

$S_x$  : simpangan baku

$Y$  : perubahan reduksi

$N$  : jumlah data

Bentuk lain dari persamaan Gumbel :

$$X_i = X + K.S_x \quad (2.59)$$

dengan :

- $X_t$  : yang terjadi dalam kata ulang t  
 $X$  : rata-rata dari seri data  $X_i$   
 $X_i$  : seri data maksimum tiap tahun  
 $S_x$  : simpangan baku  
 $K$  : konstanta  
 $n$  : jumlah data

atau

$$X_t = X + \frac{yt - yn}{S_n} \cdot S_x \quad (2.60)$$

dengan :

- $X_t$  : x yang terjadi dengan Periode ulang T  
 $X$  : rata-rata x maksimum dari seri data  $X_i$   
 $S_x$  : simpangan baku  
 $yt$  dan  $yn$  : besaran yang merupakan fungsi dari jumlah pengamatan ( $n$ )  
 $Yt$  : reduksi sebagai fungsi dari probabilitas; besaran  $K$ ,  $S_n$ ,  $yt$ ,  $yn$

**Tabel 2.29 Simpangan Baku Tereduksi ( $S_n$ )**

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.940	0.960	0.980	0.990	1.000	1.020	1.030	1.040	1.040	1.050
20	1.060	1.060	1.070	1.080	1.080	1.090	1.090	1.100	1.100	1.100
30	1.110	1.110	1.110	1.120	1.120	1.120	1.130	1.130	1.130	1.130
40	1.140	1.140	1.140	1.140	1.140	1.150	1.150	1.150	1.150	1.150
50	1.160	1.160	1.160	1.160	1.160	1.160	1.160	1.170	1.170	1.170
60	1.170	1.170	1.170	1.170	1.180	1.180	1.180	1.180	1.180	1.180
70	1.180	1.180	1.180	1.180	1.180	1.180	1.190	1.190	1.190	1.190
80	1.190	1.190	1.190	1.190	1.190	1.190	1.190	1.190	1.190	1.200
90	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
100	1.200									

Sumber : Soemarto,1995



**Tabel 2.30 Rata-rata Tereduksi (Yn)**

<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>n</b>
0.495	0.499	0.503	0.507	0.510	0.512	0.515	0.518	0.520	0.522	10
0.523	0.525	0.526	0.528	0.529	0.530	0.532	0.533	0.534	0.535	20
0.536	0.537	0.538	0.538	0.539	0.540	0.541	0.541	0.542	0.543	30
0.543	0.544	0.544	0.545	0.545	0.546	0.546	0.547	0.547	0.548	40
0.548	0.549	0.549	0.549	0.550	0.550	0.550	0.551	0.551	0.551	50
0.552	0.552	0.552	0.553	0.553	0.553	0.553	0.554	0.554	0.554	60
0.554	0.555	0.555	0.555	0.555	0.555	0.556	0.556	0.556	0.556	70
0.556	0.557	0.557	0.557	0.557	0.558	0.558	0.558	0.558	0.558	80
0.558	0.558	0.558	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559	90
0.560										100

Sumber : Soemarto,1995

**Tabel 2.31 Harga Y Sebagai Fungsi T**

<b>T</b>	<b>Y</b>	<b>T</b>	<b>Y</b>
1.01	-1.53	20.00	2.97
1.58	0.00	50.00	2.90
2.00	0.37	100.00	4.60
5.00	1.50	200.00	5.30
10.00	2.25		

Sumber : Soemarto,1995

**Tabel 2.32 Faktor Frekuensi untuk Nilai Ekstrim (K)**

N	PERIODE ULANG						
	10	20	25	50	75	100	1000
15	1.703	2.410	2.632	3.321	3.721	4.005	6.265
20	1.625	2.302	2.517	3.179	3.563	3.836	6.006
25	1.575	2.235	2.444	3.088	3.463	3.729	5.842
30	1.541	2.188	2.393	3.026	3.393	3.653	5.727
40	1.495	2.126	2.326	2.943	3.301	3.554	5.576
50	1.466	2.086	2.283	2.889	3.241	3.491	5.478
60	1.446	2.059	2.253	2.852	3.200	3.446	
70	1.430	2.038	2.230	2.824	3.169	3.413	5.359
75	1.423	2.029	2.220	2.812	3.155	3.400	
0	1.401	1.998	2.187	2.770	3.109	3.349	5.261

Sumber : Soemarto,1995

**e. Distribusi Log Pearson Tipe III**

Persamaan Log Pearson Tipe III untuk Periode ulang T, adalah sebagai berikut

$$\text{Log}X_T = \overline{\text{Log}X} + K_T S_{\text{Log}X} \quad (2.61)$$

$$S_{\text{Log}X} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X})^2}{n-1}} \quad (2.62)$$

$$g_{\text{Log}X} = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X})^3}{(n-1)(n-2)(S_{\text{Log}X})^3}$$

dengan :

$\text{Log} X_T$  : Logaritma curah hujan rancangan (mm)

$\overline{\text{Log}X}$  : Logaritma rerata hujan (mm)

(2.63)

K : faktor Skewness yang nilainya diambil dari Tabel Skewness berdasarkan nilai

$g_{LogX}$

**Tabel 2.33 Nilai K untuk Koefisien Skewness positif , Tiap Periode Ulang**

Koefisien	Periode Ulang ( Tahun )					
	Probabilitas Kemungkinan Terjadinya					
	50	20	10	4	2	1
3.0	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051
2.5	-0.360	0.158	1.250	2.262	3.048	3.845
2.2	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.706
2.0	-0.370	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605
1.8	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499
1.6	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388
1.4	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271
1.2	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.148
1.0	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022
0.9	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957
0.8	-0.132	0.780	1.336	1.998	2.453	2.891
0.7	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824
0.6	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755
0.5	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686
0.4	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615
0.3	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544
0.2	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472
0.1	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.423
0.0	0.000	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326

Sumber: Harto, 1993

**Tabel 2.34 Nilai K untuk Koefisien Skewness negatif , Tiap Periode Ulang**

Koefisien	Periode Ulang ( Tahun )					
	Probabilitas Kemungkinan Terjadinya					
	50	20	10	4	2	1
0.0	0.000	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326
-0.1	0.017	0.836	1.270	1.716	2.000	2.322
-0.2	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178
-0.3	0.050	0.853	1.245	1.643	1.890	2.164
-0.4	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.069
-0.5	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955
-0.6	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880
-0.7	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806
-0.8	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733
-0.9	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660
-1.0	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588
-1.2	0.195	0.844	1.086	1.282	1.376	1.449
-1.4	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318
-1.6	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197
-1.8	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087
-2.0	0.330	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990
-2.2	0.360	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905

-2.5	0.370	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799
-3.0	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667

Sumber: Harto, 1993

#### 4. Perhitungan Curah Hujan Rancangan

Curah hujan rancangan stasiun Rembitan selanjutnya dihitung berdasarkan persamaan-persamaan dari masing-masing distribusi. Adapun hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 2.34 sebagai berikut:

**Tabel 2.35 Perhitungan Curah Hujan Rancangan**

P(x >= Xm)	T	Karakteristik Hujan (mm) Menurut Probabilitasnya							
		NORMAL		LOG-NORMAL		GUMBEL		LOG-PEARSON III	
Probabilitas	Kala-Ulang	X <sub>T</sub>	K <sub>T</sub>	X <sub>T</sub>	K <sub>T</sub>	X <sub>T</sub>	K <sub>T</sub>	X <sub>T</sub>	K <sub>T</sub>
0.9	1.1	50.664	-1.282	56.746	-1.095	56.581	-1.100	57.504	-1.242
0.5	2.	92.510	0.000	87.500	-0.153	87.146	-0.164	85.947	-0.053
0.2	5.	119.990	0.842	116.285	0.728	116.001	0.719	115.516	0.822
0.1	10.	134.355	1.282	134.923	1.299	135.106	1.305	136.242	1.310
0.05	20.	146.217	1.645	152.547	1.839	153.432	1.866	157.008	1.730
0.02	50.	159.568	2.054	175.151	2.531	177.153	2.592	185.326	2.221
0.01	100.	168.469	2.326	192.051	3.049	194.929	3.137	207.752	2.559
0.001	1,000.	193.412	3.090	248.614	4.781	253.665	4.936	290.765	3.554

Ket : 1.  $X_T = m + K_T * s$

2. Menurut Uji Chi-Kuadrat, yang terbaik menggunakan distribusi LOG PEARSON III dan GUMBEL

3. Sedangkan menurut Uji Smirnov-Kolmogorov, yang terbaik menggunakan distribusi LOG-PEARSON III

4. Sedangkan menurut cara Analitis, yang terbaik menggunakan distribusi LOG-PEARSON III

#### 5. Analisis PMP

Curah hujan yang mungkin terjadi di suatu daerah pengaliran sungai dalam suatu periode tertentu akan merupakan data yang sangat vital untuk menaksir besarnya “*Probable Maximum Precipitation*” dan dihitung dengan persamaan Hersfield yaitu:

$$PMP = P_n + K_n.S_n \quad (2.64)$$

dengan:

PMP = Curah Hujan PMP

P<sub>n</sub> = curah hujan masimum rata-rata tahunan

K = Konstanta diambil = 15

S = Standard deviasi curah hujan harian maksimum

Selanjutnya analisis statistik data curah hujan harian maksimum yang akan digunakan untuk menghitung PMP ditunjukkan dalam Tabel 2.35 sebagai berikut:

**Tabel 2.36 Analisis Statistik Data Curah Hujan Stasiun Rembitan**

m	P = m/(N+1)	Tahun	Hujan (mm)	Ln Hujan (mm)
1	0.045	1985	160.000	5.075
2	0.091	2003	153.000	5.030
3	0.136	2000	141.900	4.955
4	0.182	1993	139.000	4.934
5	0.227	1998	113.000	4.727
6	0.273	1999	112.200	4.720
7	0.318	1995	100.200	4.607
8	0.364	2004	95.000	4.554
9	0.409	2001	90.000	4.500
10	0.455	1991	86.000	4.454
11	0.500	2002	85.000	4.443
12	0.545	1990	83.000	4.419
13	0.591	1987	76.000	4.331
14	0.636	1994	74.000	4.304
15	0.682	1996	71.100	4.264
16	0.727	1986	68.000	4.220
17	0.773	1988	65.500	4.182
18	0.818	2005	63.000	4.143
19	0.864	1997	60.300	4.099
20	0.909	1989	58.000	4.060
21	0.955	1992	48.500	3.882
	n =	Jumlah Data =	21	21
	X =	Nilai Rerata (Mean) =	92.510	4.472
	S =	Standar Deviasi =	32.652	0.338
	Cs =	Koefisien Skewness =	0.832	0.319
	Ck =	Koefisien Kurtosis =	-0.336	-0.743
	Cv =	Koefisien Variasi =	0.353	0.076
	Median =	Nilai Tengah =	85.000	4.443

Sehingga hitungan PMP adalah sebagai berikut:

$$PMP = 92,510 + 15 \times 32,652$$

$$PMP = 582,29 \text{ mm}$$

#### 2.4.5. Perhitungan Debit Aliran Puncak Banjir

Salah satu metode untuk menghitung debit aliran puncak banjir (*peakflow*) adalah metode Nakayasu. Metode ini adalah merupakan metode perhitungan dengan menggunakan analisis hidrograf. Metode Nakayasu merupakan metode hidrograf sintetik. Persamaan umum hidrograf satuan sintetik Nakayasu adalah sebagai berikut (Soemarto, 1995),

$$Q_p = \frac{C.A.R_0}{3,6.(0,3T_p + T_{0,3})} \quad (2.65)$$

dengan:

$Q_p$  = debit puncak banjir (m<sup>3</sup> /dt)

$R_0$  = hujan satuan (mm)

$T_p$  = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0.3}$  = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30 % dari debit puncak

$C$  = koefisien limpasan DAS nilainya antara 0 ~ 1. Umumnya untuk mendapatkan nilai  $C$  dilakukan dengan mengkalibrasi persamaan berdasarkan data debit terukur.

Parameter hidrograf Nakayasu adalah sebagai berikut:

$$T_p = T_g + 0.8 T_r \quad (2.66)$$

$$T_g = 0.21 \times L^{0.7} \quad \longrightarrow L < 15 \text{ km} \quad (2.67)$$

$$T_g = 0.4 + 0.058 \times L \quad \longrightarrow L > 15 \text{ km} \quad (2.68)$$

$$T_{0.3} = \alpha \times T_g \quad (2.69)$$

dengan :

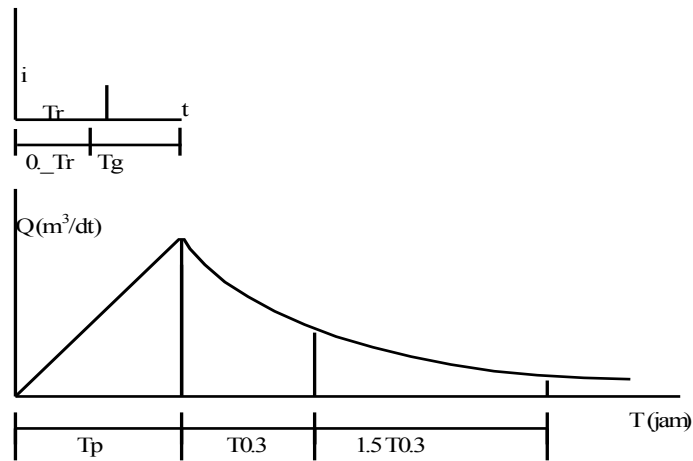
$L$  = panjang alur sungai (km)

$T_g$  = waktu konsentrasi (jam)

$T_r$  = satuan waktu hujan diambil 0~1 jam

Sedangkan untuk nilai  $\alpha$  digunakan persamaan (Harto, 1993) sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{0,47 x A x L^{0,25}}{Tg} \quad (2.70)$$



Gambar 2.8 Hidrograf Satuan Nakayasu

Persamaan hidrograf satuannya adalah:

1. Pada kurva naik

$$0 \leq t \leq T_p \quad Q_a = (t / T_p)^{2.4} \times Q_p \quad (2.71)$$

2. Pada kurva turun

$$- T_p < t \leq T_p + T_{0.3} \quad Q_{d1} = Q_p \times 0.3^{\left(\frac{t-T_p}{T_{0.3}}\right)} \quad (2.72)$$

$$- T_p + T_{0.3} < t \leq T_p + 1.5T_{0.3} \quad Q_{d2} = Q_p \times 0.3^{\left(\frac{t-T_p+0.5T_{0.3}}{1.5T_{0.3}}\right)} \quad (2.73)$$

$$- t > (T_p + T_{0.3} + 1.5 T_{0.3}) \quad Q_{d3} = Q_p \times 0.3^{\left(\frac{t-T_p+1.5T_{0.3}}{2T_{0.3}}\right)} \quad (2.74)$$

Perhitungan intensitas hujan menggunakan persamaan Mononobe yang lebih tepat jika diturunkan berdasarkan durasi hujan (Sulistiyono dan Saidah, 2004) sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{D} \left( \frac{D}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.75)$$

dengan:

I= Intensitas Hujan (mm/jam)

R<sub>24</sub>= Tinggi hujan harian maksimum (mm)

D = Durasi hujan (jam)

t = Waktu hujan (jam)

Perhitungan hujan yang terjadi pada saat t menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R_t = (I_t * t) - (t - 1)I_{(t-1)} \quad (2.76)$$

dengan:

$R_t$  = Hujan yang terjadi waktu t jam (mm)

$I_t$  = Intensitas hujan sampai waktu t jam dengan Durasi D (mm)

t = Waktu hujan (jam)

Perhitungan hujan efektif yang menyebabkan aliran permukaan adalah menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R_e = F.R_t' \quad (2.77)$$

dengan:

$R_e$  = Hujan Efektif sampai waktu t jam (mm)

F = Faktor reduksi hujan titik (tinggi hujan di stasiun hujan) menjadi hujan daerah. Nilai ini tergantung luas DAS (km<sup>2</sup>) seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.37.

$R_t'$  = Hujan yang terjadi waktu t jam (mm)

Tabel 2.37 Faktor Reduksi Hujan

Luas DAS (km <sup>2</sup> )	F	Luas DAS	F
10	1,000	700	0,770
30	0,980	800	0,752
100	0,935	900	0,735
200	0,890	1000	0,720
300	0,858	2000	0,610
400	0,832	3000	0,515
500	0,819	4000	0,435
600	0,789	5000	0,370

Sumber: Anonim, 1992

Contoh pemakaian metode Nakayasu adalah sebagai berikut:

Misalkan diketahui suatu sungai dengan panjang = 20 km dan luas DAS = 100 km<sup>2</sup>, aliran dasar (*baseflow*) = 10 m<sup>3</sup>/dt. Bagaimanakah hidrograf banjir yang terjadi akibat hujan rancangan periode ulang 100 ( $R_{100}$ ) = 150 mm ?



Misalkan berdasarkan kalibrasi didapat nilai  $C = 0,935$  dan  $\alpha = 2,0$

Langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Mencari parameter hidrograf
2. Menghitung curah hujan efektif
3. Menghitung debit puncak hidrograf satuan
4. Menghitung debit naik hidrograf satuan
5. Menghitung debit turun hidrograf satuan
6. Menghitung debit aliran langsung akibat hujan efektif
7. Menghitung debit aliran permukaan atau debit banjir

**1. Mencari parameter hidrograf menggunakan persamaan (2.66) sampai (2.69)**

- Waktu Konsentrasi =  $tg \implies L < 15 \text{ km} \quad tg = 0,21 \times L^{0,7}$   
 $tg \implies L > 15 \text{ km} \quad tg = 0,4 + 0,058 \times L$

$$tg = \boxed{1.56} \text{ jam}$$

$$tr = 0.5 \text{ jam}$$

- Waktu Puncak Banjir =  $Tp = tg + 0,8 tr$   
 $Tp = 1.96 \text{ jam}$

- Waktu mencapai debit 30%  $Qp = T_{0,3} = \alpha \times tg$   
 $T_{0,3} = 3.12 \text{ jam}$  dari saat terjadi puncak banjir

**2. Menghitung debit puncak hidrograf satuan menggunakan persamaan (2.65)**

$$\text{Debit Puncak banjir} = Qp = \frac{C.A.R_0}{3,6.(0,3T_p + T_{0,3})}$$

$R_0 = 1 \text{ mm}$ ,  $C = 0 \sim 1$  (misalkan  $C = 0,48$  yang berarti bahwa 48 % air hujan yang jatuh ke tanah akan menjadi aliran permukaan), maka didapat:

$$Qp = 3,5958 \text{ m}^3/\text{dt}$$

**3. Menghitung debit naik hidrograf satuan dengan persamaan (2.71)**

**Tabel 2.38 Perhitungan Debit Naik**

Debit Naik	Jam ke	Hidrograf Satuan
	(jam)	(m <sup>3</sup> /dt)
	0	0
Qa	1	0,715129
Qa	2	3,540751

**4. Menghitung debit turun hidrograf satuan dengan persamaan (2.72) sampai (2.74)**

**Tabel 2.39 Perhitungan Debit Turun**

Debit Turun	Jam ke	Hidrograf Satuan
	(jam)	(m <sup>3</sup> /dt)
Qd1	3	4,56124
Qd1	4	2,96936
Qd2	5	1,95996
Qd2	6	1,4722
Qd2	7	1,10582
Qd2	8	0,83062
Qd2	9	0,62391
Qd3	10	0,49943
Qd3	11	0,40296
Qd3	12	0,32513
Qd3	13	0,26233
Qd3	14	0,21166
Qd3	15	0,17078
Qd3	16	0,13779
Qd3	17	0,11117
Qd3	18	0,0897
Qd3	19	0,07237
Qd3	20	0,05839
Qd3	21	0,04712
Qd3	22	0,03801
Qd3	23	0,03067
Qd3	24	0,02475
Qd3	25	0,01997

5. **Menghitung curah hujan efektif dengan persamaan (2.76) dan (2.77)**, umumnya durasi hujan di Indonesia adalah 5 jam atau dengan kata lain hujan maksimum harian (R24) dianggap akibat adanya hujan selama 5 jam berturut-turut pada satu hari itu (Sulistiyono dan Saidah, 2004), maka:

$$\text{Untuk } t = 1, I_t = (R_{24}/5) \cdot (5/1)^{(2/3)} = 0,5848 R_{24}$$

$$R_{t'} = (1 \cdot 0,5848 R_{24}) - (1-1) \cdot 0 = 0,5848 R_{24}$$

$$\text{Untuk } t = 2, I_t = (R_{24}/5) \cdot (5/2)^{(2/3)} = 0,3684 R_{24}$$

$$R_{t'} = (2 \cdot 0,3684 R_{24}) - (2-1) \cdot 0,5848 = 0,1520 R_{24}$$

dst ditabelkan dalam Tabel 2.39 kolom (3) dan kolom (4)

Sehingga hujan efektif

$$\text{Untuk } t = 1, R_e = 0,5848 \cdot 150 \cdot 0,935 = 82,01869756 \text{ mm}$$

$$\text{Untuk } t = 2, R_e = 0,1520 \cdot 150 \cdot 0,935 = 21,31838598 \text{ mm}$$

dst ditabelkan dalam Tabel 2.39 kolom (5)

**Tabel 2.40 Perhitungan Hujan Efektif**

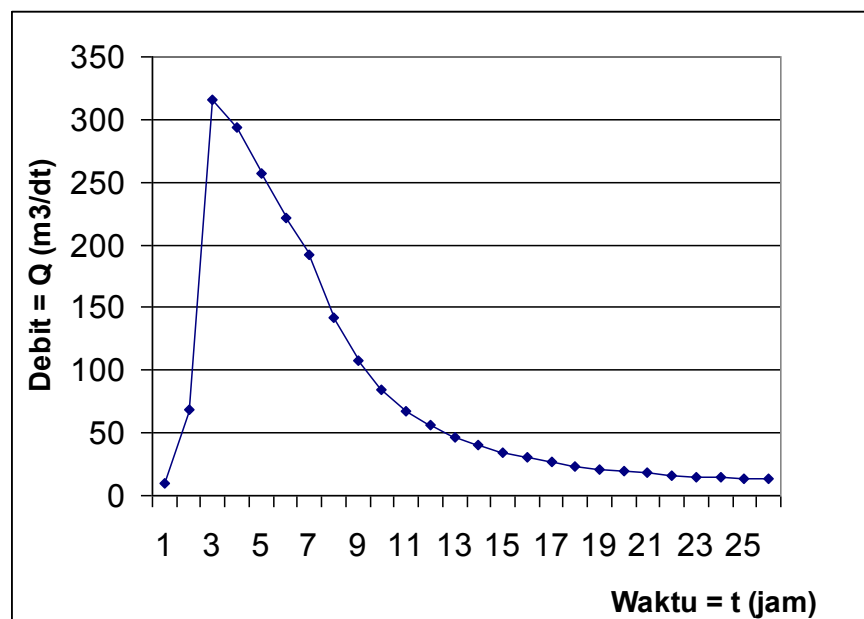
		It	Rt'	Re
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Untuk t=	1	0,5848 R24	0,5848 R24	82,01869756
Untuk t=	2	0,3684 R24	0,1520 R24	21,31838598
Untuk t=	3	0,28114 R24	0,10663 R24	14,95434777
Untuk t=	4	0,23208 R24	0,08489 R24	11,90513547
Untuk t=	5	0,2 R24	0,07168 R24	10,05343322

6. **Menghitung debit aliran permukaan akibat masing-masing hujan efektif yang berselang 1 jam.**
7. **Menghitung total debit aliran permukaan atau debit banjir dengan menjumlahkan semua debit aliran permukaan tiap jam ditambah aliran dasar (*baseflow*)**

Perhitungan no.6 dan no.7 selanjutnya akan lebih mudah jika ditabelkan seperti pada Tabel 2.41 berikut:

**Tabel 2.41 Perhitungan Hidrograf Banjir**

Waktu (jam)	UH (m <sup>3</sup> /dt)	Re1	Re2	Re3	Re4	Re5	Bf (m <sup>3</sup> /dt)	Q (m <sup>3</sup> /dt)
0	0	0					10	10
1	<b>0,715129</b>	58,65396	0				10	68,65396
2	<b>3,540751</b>	290,4078	15,2454	0			10	315,6532
3	<b>2,407166</b>	197,4326	75,48311	10,69429	0		10	293,61
4	<b>1,636503</b>	134,2238	51,3169	52,94963	8,513709	0	10	257,0041
5	<b>1,11257</b>	91,25156	34,8876	35,9976	42,15313	7,189502	10	221,4794
6	<b>0,851397</b>	69,83048	23,7182	24,47283	28,65764	35,59671	10	192,2759
7	<b>0,658273</b>	53,99068	18,15041	16,63776	19,48279	24,20029	10	142,4619
8	<b>0,508955</b>	41,74385	14,03331	12,73209	13,2453	16,45247	10	108,207
9	<b>0,393508</b>	32,27501	10,85011	9,84404	10,136	11,18515	10	84,2903
10	<b>0,30898</b>	25,34216	8,388953	7,611095	7,836827	8,559463	10	67,7385
11	<b>0,254763</b>	20,89532	6,586961	5,884654	6,059182	6,617902	10	56,04402
12	<b>0,210059</b>	17,22877	5,431133	4,620599	4,684765	5,116749	10	47,08202
13	<b>0,1732</b>	14,2056	4,478121	3,809813	3,678452	3,956105	10	40,12809
14	<b>0,142808</b>	11,71291	3,692335	3,141297	3,032986	3,106313	10	34,68585
15	<b>0,117749</b>	9,657624	3,044433	2,590086	2,500782	2,561241	10	30,35417
16	<b>0,097087</b>	7,96298	2,51022	2,135598	2,061964	2,111815	10	26,78258
17	<b>0,080051</b>	6,565699	2,069746	1,76086	1,700147	1,74125	10	23,8377
18	<b>0,066004</b>	5,413602	1,706563	1,451878	1,401819	1,435709	10	21,40957
19	<b>0,054423</b>	4,463665	1,407109	1,197114	1,155838	1,183782	10	19,40751
20	<b>0,044873</b>	3,680416	1,160201	0,987054	0,953021	0,976061	10	17,75675
21	<b>0,036999</b>	3,034606	0,956618	0,813854	0,785792	0,80479	10	16,39566
22	<b>0,030507</b>	2,502117	0,788758	0,671045	0,647908	0,663572	10	15,2734
23	<b>0,025154</b>	2,063065	0,650353	0,553295	0,534218	0,547133	10	14,34806
24	<b>0,02074</b>	1,701055	0,536234	0,456207	0,440478	0,451127	10	13,5851
25	<b>0,017101</b>	1,402567	0,44214	0,376156	0,363186	0,371966	10	12,95602



Gambar 2.9 Hidrograf Banjir yang terjadi

## 2.5. ANALISIS DEBIT ANDALAN

### 2.5.1. Perhitungan Debit Aliran Rendah

Debit aliran rendah digunakan untuk perencanaan-perencanaan yang risikonya akan menjadi jika debit terjadi lebih kecil dari debit yang diperkirakan. Dalam hal ini debit yang diperkirakan disebut sebagai debit andalan. Sebagai ilustrasi adalah catatan debit aliran rendah pada Tabel 2.42 dibawah ini:

**Tabel 2.42 Debit Aliran Rendah suatu sungai**

No	Tahun	Debit Aliran Rendah (m <sup>3</sup> /dt)	Probabilitas $\frac{m}{n+1} \times 100\%$	Debit Aliran Rendah Diurutkan dari Besar ke kecil (Debit andalan)
1	1990	2,54	10%	3,06
2	1991	3,06	20%	3,01
3	1992	3,01	30%	2,81
4	1993	2,48	40%	2,74
5	1994	2,39	50%	2,56
6	1995	2,74	60%	2,54
7	1996	2,81	70%	2,52
8	1997	2,56	80%	2,48
9	1998	2,52	90%	2,39

Suatu daerah pertanian yang tersedia yaitu 10.000 ha siap dikembangkan dengan sistem pengairan yang memanfaatkan air sungai tersebut. Berapa debit andalan yang digunakan dan berapa luasan sawah yang harus dicetak untuk dikembangkan.

Kebutuhan air untuk irigasi kurang lebih adalah 1 lt/dt/ha untuk padi sawah, dan 0.33 lt/dt/ha untuk palawija. Nilai-nilai ini didapat dari perhitungan kebutuhan air tanaman sesuai pola tanam yang direncanakan. Jika kita mengambil keputusan debit andalan yang digunakan adalah  $Q_{50\%} = 2,56 \text{ m}^3/\text{dt}$ . Maka kurang lebih kita akan mendapatkan areal irigasi untuk padi sawah seluas 2560 ha namun setiap 9 tahunan akan terdapat kegagalan panen 4 tahun, karena dalam catatan data debit terdapat 4 tahun yang debit aliran rendahnya lebih kecil dari 2,56 m<sup>3</sup>/dt. Jika kita mengambil keputusan debit andalan yang digunakan adalah  $Q_{80\%} = 2,48 \text{ m}^3/\text{dt}$ . Maka kurang lebih kita akan mendapatkan areal irigasi untuk padi sawah seluas 2480 ha namun setiap 9 tahunan akan terdapat kegagalan panen 1 tahun, karena dalam catatan data debit terdapat 1 tahun yang debit aliran rendahnya lebih kecil dari 2,48 m<sup>3</sup>/dt. Oleh karenanya

dalam Kriteria perencanaan irigasi sawah yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum Subdinas Pengairan menggunakan pedoman  $Q_{80\%}$  untuk perencanaan irigasi sawah sedangkan untuk palawija, karena kebutuhan airnya tidak sebanyak padi sawah dan resiko kematian tanaman lebih kecil dibanding padi, maka debit andalan yang digunakan adalah  $Q_{50\%}$ .

Pengambilan keputusan penggunaan debit andalan untuk perencanaan-perencanaan yang lain seperti perencanaan pemanfaatan air untuk domestik, untuk industri, untuk pembangkit listrik tenaga air dan sebagainya, harus mempertimbangkan kriteria perencanaannya masing-masing atau berdasarkan analisis optimasi.

Metode untuk menghitung debit aliran rendah diantaranya adalah:

1. Metode Nreca
2. Metode Mock

### 1. Metoda NRECA

Cara perhitungan ini paling sesuai untuk daerah cekungan yang setelah hujan berhenti masih ada aliran air di sungai selama beberapa hari. Kondisi ini terjadi bila tangkapan hujan cukup luas, sehingga cocok untuk embung besar, dengan kapasitas tampungan lebih besar atau sama dengan 2 juta meter kubik, dan tinggi bisa mencapai 20 m. Sehingga untuk embung kecil cara ini jarang dipakai. Namun dalam penelitian Ery dkk (2005) mendapatkan bahwa metode ini ternyata dapat digunakan dalam perencanaan embung kecil.

Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$w_i = \frac{w_0}{\text{NOM}} \quad (2.78)$$

$$\text{NOM} = 100 + 0,2Ra \quad (2.79)$$

dengan

- Ra = hujan tahunan (mm)
- w<sub>0</sub> = tampungan kelengasan awal
- w<sub>1</sub> = tampungan kelengasan tanah

- kemudian di cari nilai evapotranspirasi aktual

$$AET = \frac{AET}{PET} \times PET \quad (2.80)$$

dengan :

AET = evapotranspirasi aktual

PET = evapotranspirasi potensial

- nilai rasio AET dan PET didapat dari grafik perbandingan AET dan PET yang terdapat pada lampiran. yang nilainya tergantung rasio antara Rb dan PET, dengan Rb adalah hujan rerata bulanan

- Neraca air yang terjadi adalah:

$$Rb - AET \quad (2.81)$$

- Rasio kelebihan kelengasan diperoleh dari grafik rasio tampungan kelengasan tanah yang terdapat pada lampiran, tergantung pada nilai Wi

- Kelebihan kelengasan = Rasio kelebihan kelengasan  $\times$  Neraca Air (2.82)

- Perubahan tampungan yang terjadi = Neraca air - Kelebihan Kelengasan (2.83)

- Tampungan air tanah = P1  $\times$  Kelebihan kelengasan (2.84)

P1 = Parameter yang menggambarkan karakteristik tanah permukaan

P1 = 0.1 bila bersifat kedap air

P1 = 0.5 bila bersifat lulus air

- Tampungan air tanah akhir = Tampungan air tanah + Tampungan air tanah awal ( dicoba dengan nilai awal = 500 mm ) (2.85)

- Aliran air tanah = P2  $\times$  Tampungan air tanah akhir (2.86)

P2 = Parameter karakteristik tanah dalam

P2 = 0.9 bila bersifat kedap air

P2 = 0.5 bila bersifat lulus air

- Limpasan langsung = Kelebihan kelengasan - tampungan air tanah (2.87)

- Aliran total = Limpasan langsung + Aliran air tanah (2.88)

Untuk perhitungan bulan berikutnya dihitung berdasarkan rumus

- Tampungan kelengasan = Tampungan kelengasan bulan sebelumnya + perubahan tampungan (2.89)

- Tampungan air tanah = tampungan air tanah bulan sebelumnya – aliran air tanah (2.90)

Sebagai patokan diakhir perhitungan, nilai tampungan kelengasan awal (Januari) harus mendekati tampungan kelengasan bulan Desember. Hasil akhir perhitungan NRECA dibuat dalam setengah bulanan untuk mendukung ketelitian dalam perencanaan pola tanam. Metoda ini sangat cocok karena memasukkan unsur evapotranspirasi aktual dan kelengasan tanah yang juga merupakan faktor yang penting dalam siklus hidrologi suatu daerah (Ery dkk, 2005).

### Contoh Perhitungan dengan Metode Nreca :

Contoh perhitungan dengan menggunakan metode Nreca dibawah ini adalah untuk tahun 1989 bulan Januari, untuk tahun-tahun selanjutnya dapat dihitung dengan cara yang sama dengan mengambil nilai tampungan dari tampungan tahun sebelumnya.

Kolom (1) = Setengah bulanan

Kolom (2) = Data curah hujan setengah bulanan = 133 mm

Kolom (2) = PET =  $(\Sigma \text{ hari } \frac{1}{2} \text{ bulan I} / (\Sigma \text{ hari } \frac{1}{2} \text{ bulan I} + \Sigma \text{ hari } \frac{1}{2} \text{ bulan II})) \times (\text{Eto mm/bulan})$

$$\begin{aligned} \text{PET} &= (15 / (15 + 16)) \times 129.735 \\ &= 62.77 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kolom (4) =  $W_o$  = Nilai tampungan kelengasan awal untuk bulan Januari  $\frac{1}{2}$  bulan I dicoba-coba (mis : dengan nilai awal = 255 mm sampai dengan nilai tampungan kelengasan awal (Januari) harus mendekati tampungan kelengasan bulan Desember. Dan untuk nilai  $W_o \frac{1}{2}$  bulan II =  $W_o \frac{1}{2}$  bulan I + Delta Storage  $\frac{1}{2}$  bulan I (*kolom 12*)

Kolom (5) =  $W_1 = \frac{W_o}{\text{NOM}}$

$$\text{NOM} = 100 + 0.2 \text{ Ra}$$

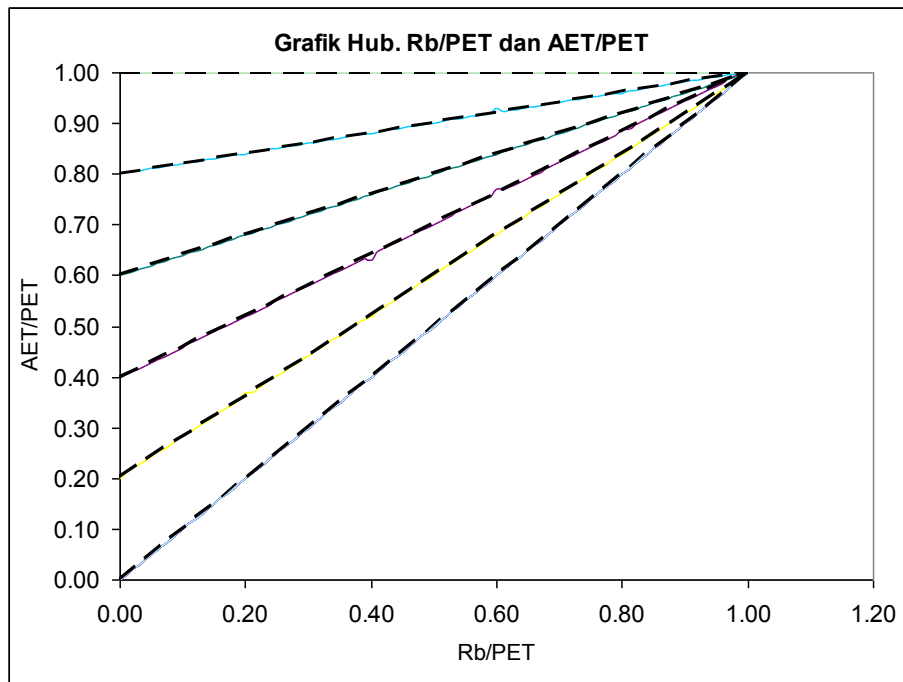
$$\begin{aligned} W_1 &= \frac{(4)}{100 + 0.2(\text{curahhujantahunan})} \\ &= 0.74 \end{aligned}$$

Kolom (6) =  $\frac{\text{hujan}}{\text{PET}} = \text{kolom (2)} / \text{kolom (2)}$

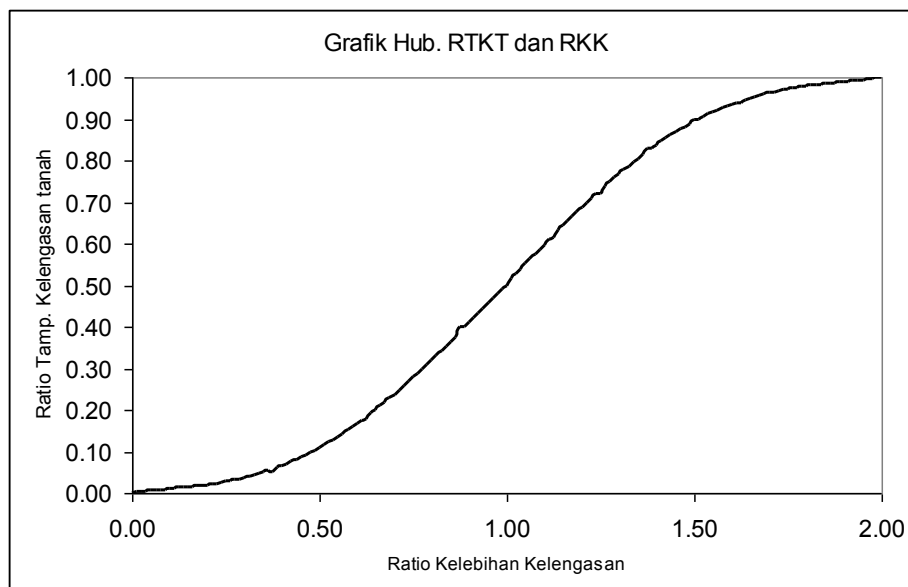
$$= 133 / 62.77 = 2.12$$



Kolom (7) =  $\frac{AET}{PET}$  = nilai rasio AET dan PET didapat dari grafik perbandingan AET dan PET yang nilainya tergantung rasio antara Rb dan PET, dengan Rb adalah hujan rerata bulanan



Gambar 2.10 Grafik Hubungan Rb dan PET



Gambar 2.11 Grafik Hubungan Ratio Tampunguan Kelengasan Tanah dan Ratio Kelebihan Kelengasan

$$\begin{aligned}
 \text{Kolom (8)} &= \text{AET} = \text{kolom (7)} \times \text{kolom (2)} \times 0.9 \\
 &= 1.0 \times 67.77 \times 0.9 \\
 &= 56.50 \text{ mm} \\
 \text{Kolom (9)} &= \text{WB} = \text{Rb} - \text{AET} \\
 &= \text{kolom (2)} - \text{kolom (8)} \\
 &= 133 - 56.50 = 76.50 \text{ mm} \\
 \text{Kolom (10)} &= \text{Rasio kelebihan kelengasan diperoleh dari grafik rasio tampunguan} \\
 &\text{kelengasan tanah yang terdapat pada lampiran, tergantung nilai } W_i \\
 \text{Kolom (11)} &= \text{Kelebihan kelengasan} = \text{rasio kelebihan kelengasan} \times \\
 &\text{Neraca Air} \\
 &= \text{kolom (10)} \times \text{kolom (9)} \\
 &= 0.25 \times 76.50 = 19.13 \text{ mm} \\
 \text{Kolom (12)} &= \text{Delta Storage} = \text{NecaraAir-kelebihan kelengasan} \\
 &= \text{kolom (9)} - \text{kolom (11)} \\
 &= 76.50 - 19.13 = 57.38 \\
 \text{Kolom (13)} &= \text{Tampunguan air tanah} = P_1 \times \text{kolom (12)} \\
 &= 0.3 \times 57.38 = 17.21 \text{ mm} \\
 \text{Kolom (14)} &= \text{Aliran air tanah langsung} = \text{kelebihan kelengasan} - \\
 &\text{tampunguan air tanah} \\
 &= \text{kolom (11)} - \text{kolom (13)} \\
 &= 19.13 - 17.21 = 1.91 \text{ mm} \\
 \text{Kolom (15)} &= \text{Tampunguan Akhir} = \text{kolom (13)} + \text{kolom (14)} \\
 &= 17.21 + 1.91 = 19.13 \text{ mm} \\
 \text{Kolom (16)} &= \text{Aliran air tanah} = P_2 \times \text{tampunguan air tanah akhir} \\
 &= 0.7 \times \text{kolom (15)} \\
 &= 0.7 \times 19.13 = 13.39 \text{ mm} \\
 \text{Kolom (17)} &= \text{Limpasan Langsung} = \text{kelebihan kelengasan} - \\
 &\text{tampunguan air tanah} \\
 &= \text{kolom (11)} - \text{kolom (13)} \\
 &= 19.13 - 17.21 = 1.91 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kolom (18)} &= \text{Aliran total} &= \text{limpasan langsung} + \text{Aliran Air Tanah} \\
& &= \text{kolom (17)} + \text{kolom (16)} \\
& &= 1.91 + 13.39 = 15.30 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kolom (19)} &= \text{Aliran Total (MCM)} &= \text{kolom (18)} \times 10 \times \text{Luas DAS}/1000000 \\
& &= 0.551 \text{ MCM}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Kolom (20)} &= \text{Volume} &= (18) \times 10 \times \text{luas DAS}(\text{ha}) \\
& &= 15.30 \times 10 \times 3600.9 \\
& &= 550957.11 \text{ m}^3
\end{aligned}$$

## 2. Metode Simulasi Mock

Metode simulasi mock ini memperhitungkan data curah hujan, evapotranspirasi, dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran sungai, dengan asumsi dan data yang diperlukan sebagai berikut (Sulistiyono, 1999):

### a. Evapotranspirasi terbatas

Evapotranspirasi terbatas adalah evapotranspirasi aktual dengan mempertimbangkan kondisi vegetasi dan permukaan tanah serta curah hujan.

Untuk menghitung evapotranspirasi terbatas ini diperlukan data:

- Curah hujan setengah bulanan (P)
- Jumlah hari hujan setengah bulanan (n)
- Jumlah permukaan kering setengah bulanan (d), dihitung dengan asumsi bahwa tanah dalam satu hari hanya mampu menahan air 12 mm dan selalu menguap sebesar 4 mm.
- Exposed surface (m %), ditaksir dari peta tata guna tanah, atau dengan asumsi:
  - m = 0% untuk lahan dengan hutan lebat
  - m = 0% pada akhir musim hujan dan bertambah 10% setiap bulan kering untuk lahan sekunder
  - m = 10-40% untuk lahan yang terisolasi
  - m = 20-50% untuk lahan pertanian yang diolah.

Persamaan Evapotranspirasi terbatas sebagai berikut:

(2.91)

$$E_t = E_p - E$$

$$E_r = E_p (d/30) \quad (2.92)$$

Dari data n dan d stasiun hujan disekitar proyek akan diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$d = a n + b \quad (2.93)$$

Dimana a dan b adalah konstanta akibat hubungan n (jumlah hari hujan) dan d (jumlah permukaan kering)

Substitusi dari persamaan (2,69) dan (2,70), diperoleh:

$$E_r/E_p = m/30 \cdot (a.n + b) \quad (2.94)$$

### **b. Keseimbangan Air di permukaan Tanah**

Keseimbangan air tanah dipengaruhi oleh jumlah air yang masuk ke dalam permukaan tanah dan kondisi tanah itu sendiri. Data yang diperlukan adalah banjir:

- $P - E_t$ , adalah perubahan air yang akan masuk ke permukaan tanah.
- Soil storage, adalah perubahan volume air yang ditahan oleh tanah yang besarnya tergantung pada  $(P-E_t)$ , soil storage bulan sebelumnya.
- Soil Moisture, adalah volume air untuk melembabkan tanah yang besarnya tergantung  $(P-E_t)$ , soil storage, dan soil moisture bulan sebelumnya.
- Kapasitas soil moisture, adalah volume air yang diperlukan untuk mencapai kapasitas kelengasan tanah.
- Water Surplus, adalah volume air yang akan masuk kepermukaan tanah, yaitu water surplus =  $(P-E_t) - \text{soil storage}$ , dan 0 jika  $(P-E_t) < \text{soil storage}$ . (2.95)

### **c. Ground Water Storage**

Nilai run off dan ground water besarnya tergantung dari keseimbangan air dan kondisi tanahnya. Data yang diperlukan adalah:

- Koefisien infiltrasi = I diambil 0,2 - 0,5
- Faktor resesi aliran air tanah = k, diambil 0,4-0,7
- Initial storage, adalah volume air tanah yang tersedia di awal perhitungan.

Persamaan:

$$I_n = \text{Water Surplus} \times I \quad (2.96)$$

$$(2.97)$$

$$\begin{aligned} V &= k \cdot V_{(n-1)} + 0,5 (1+k) I_n \\ A &= V_n - V_{n-1} \end{aligned} \quad (2.98)$$

dengan:

$I_n$  = infiltrasi volume air yang masuk ke dalam tanah

$V$  = volume air tanah

$dV_n$  = perubahan volume air tanah bulan ke-n

$V_{(n-1)}$  = volume air tanah bulan ke (n-1)

$I$  = koefisien infiltrasi

$A$  = volume tampungan per bulan

#### d. Aliran sungai

• Interflow = Infiltrasi - Volume air tanah (mm) (2.99)

• Direct Run Off = Water Surplus - Infiltrasi (mm) (2.100)

• Base Flow = Aliran sungai yang selalu ada sepanjang tahun ( $m^3/dt$ ) (2.101)

• Run Off = Interflow + Direct Run Off + Base Flow ( $m^3/dt$ ) (2.102)

#### Contoh Perhitungan dengan Metode Mock

Baris (1) = Data curah hujan ½ bulanan = 133

Baris (2) = Jumlah hari hujan = 8

Baris (2) = Data evapotranspirasi, Eto (mm/hari) = 4.49

Baris (4) = m (%) = lahan terbuka = 30%

Baris (5) = E =  $(-1.437 \cdot (2) + 14.743) \cdot ((4)/\text{jum hari})$   
= 0.06 mm/0.5 bulan

Baris(6) = Evaporasi =  $(5) \cdot (2)$   
= 0.29 mm/0.5 bulan

Baris(7) = ET =  $(2) - (6)$   
= 4.2 mm/0.5 bulan

Baris(8) = Hujan efektif =  $(1) - (7)$   
= 128.8 mm/0.5 bulan

Baris(9) = Tamp. tanah =  $(8) < 150$   
=  $(8) = 128.8 \text{ mm}$

Baris(10) = Lengas Tanah =  $(8) > 100$  = 100 mm

Baris(11)	=	Kelebihan Air	=	(8)-(9)	=	0 mm
Baris(12)	=	Infiltrasi	=	(0.4)*(11)	=	0 mm
Baris(13)	=	$0.5*(1+k)*(12)$	=	$0.5*(1+0.6)*(12)$		
			=	0 mm		
Baris(14)	=	$k*v-(n-1)$	=	$0.6*0$		
			=	0 mm		
Baris(15)	=	Vol. Tamp	=	(13)+(14)		
			=	0 mm		
Baris(16)	=	Vol. Tamp1 – Vol. Tamp (n-1)	=	0		
Baris(17)	=	Aliran dasar	=	(12)-(16)		
			=	0		
Baris(18)	=	Aliran Langsung	=	(11)-(12)		
			=	0		
Baris(19)	=	Aliran Larian	=	(17)+(18)		
			=	0		
Baris(20)	=	Debit efektif	=	$(19)*das*1000/(hari\ bulan*86400)$		
			=	0 m <sup>3</sup> /dt		

Setelah didapat seluruh perhitungan debit aliran rendah (beberapa tahun) misalkan 9 tahun seperti contoh diatas, maka selanjutnya adalah melakukan penentuan debit andalan.

### 2.5.2. Penentuan Debit Andalan

Metode penentuan debit andalan ada 2 (dua) macam (Sulistiyono dan Mudiyo, 2001), yaitu :

1. Metode Pengurutan menurut Tahun (*Basic Year*)
2. Metode Pengurutan menurut Bulan (*Basic Month*)

Secara umum kedua metode hampir sama, yaitu menggunakan pengurutan data debit dari besar ke kecil kemudian dicari debit andalan sesuai probabilitasnya. Metode probabilitas yang digunakan adalah persamaan Weibull sebagai berikut:

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (2.103)$$

dengan:

P = Probabilitas (%)

- m = nomor urut data  
n = jumlah data

### 1. Metode Pengurutan Menurut Tahun (*Basic Year*)

Metode ini lebih optimis untuk penentuan debit andalan yang lebih kecil dari kecil  $Q_{50\%}$  seperti  $Q_{80\%}$  dibanding metode Basic Month. Pengertian ini adalah karena hasil penentuan debit andalan menggunakan metode Basic Year pada debit kecil menghasilkan urutan debit yang lebih besar dibanding hasil dari metode Basic Month. Langkah-langkah pengerjaan penentuan debit andalan menggunakan metode pengurutan menurut tahun (*Basic Year*):

- Jumlahkan seluruh debit aliran rendah bulanan atau setengah bulanan menjadi total debit aliran rendah tahunan.
- Urutkan total debit aliran rendah tahunan dari besar ke kecil
- Hitung probabilitas masing-masing debit aliran rendah menggunakan persamaan Weibull.
- Tentukan debit andalan sesuai dengan probabilitas yang dicari (umumnya resiko kegagalan panen akan kecil jika perencanaan padi sawah menggunakan  $Q_{80\%}$  sedangkan untuk palawija menggunakan  $Q_{50\%}$ ).

Contoh pemakaian metode Basic Year ditampilkan pada Tabel 2.43 dan Tabel 2.44 sebagai berikut:

**Tabel 2.43 Contoh Data Debit Aliran Rendah selama 9 tahun**

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOTAL
1988	0.257	0.545	1.360	0.120	0.025	0.016	0.015	0.015	0.304	0.260	1.664	0.632	5.214
1989	3.970	4.550	1.514	0.064	0.020	0.015	0.015	0.163	0.028	1.768	0.391	6.204	18.701
1990	4.351	2.627	5.594	1.863	0.182	0.030	0.016	0.015	0.015	0.007	0.000	0.102	14.802
1991	0.735	0.493	0.454	0.458	0.465	0.465	0.465	0.465	0.467	0.458	0.487	0.540	5.951
1992	0.275	0.524	0.456	0.461	0.465	0.465	0.465	0.465	0.476	0.459	0.450	0.268	5.230
1993	0.332	0.826	0.500	0.462	0.465	0.465	0.465	0.465	0.465	0.457	0.473	0.452	5.828
1994	0.271	0.761	2.209	0.544	0.473	0.466	0.465	0.465	0.465	0.457	0.450	0.285	7.311
1995	0.309	1.321	3.834	0.645	0.482	0.467	0.465	0.465	0.465	0.544	0.452	5.648	15.096
1996	0.704	6.316	1.317	0.509	0.482	0.466	0.465	0.465	0.465	0.457	0.502	0.273	12.422

**Tabel 2.44 Perhitungan Debit Andalan Metode Basic Year**

Tahun	Prob	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOTAL
1989	10.00%	3.970	4.550	1.514	0.064	0.020	0.015	0.015	0.163	0.028	1.768	0.391	6.204	18.701
1995	20.00%	0.309	1.321	3.834	0.645	0.482	0.467	0.465	0.465	0.465	0.544	0.452	5.648	15.096
1990	30.00%	4.351	2.627	5.594	1.863	0.182	0.030	0.016	0.015	0.015	0.007	0.000	0.102	14.802
1996	40.00%	0.704	6.316	1.317	0.509	0.482	0.466	0.465	0.465	0.465	0.457	0.502	0.273	12.422
1994	50.00%	0.271	0.761	2.209	0.544	0.473	0.466	0.465	0.465	0.465	0.457	0.450	0.285	7.311
1991	60.00%	0.735	0.493	0.454	0.458	0.465	0.465	0.465	0.465	0.467	0.458	0.487	0.540	5.951
1993	70.00%	0.332	0.826	0.500	0.462	0.465	0.465	0.465	0.465	0.465	0.457	0.473	0.452	5.828
1992	80.00%	0.275	0.524	0.456	0.461	0.465	0.465	0.465	0.465	0.476	0.459	0.450	0.268	5.230
1988	90.00%	0.257	0.545	1.360	0.120	0.025	0.016	0.015	0.015	0.304	0.260	1.664	0.632	5.214
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOTAL
	R <sub>50%</sub>	0.271	0.761	2.209	0.544	0.473	0.466	0.465	0.465	0.465	0.457	0.450	0.285	7.311
	R <sub>80%</sub>	0.275	0.524	0.456	0.461	0.465	0.465	0.465	0.465	0.476	0.459	0.450	0.268	5.230

## 2. Metode Pengurutan Menurut Bulan atau Setengah Bulanan (*Basic Month*)

Metode ini lebih ekstrim karena pada debit andalan yang lebih kecil dari kecil  $Q_{50\%}$  seperti  $Q_{80\%}$  metode ini akan menghasilkan debit yang lebih kecil dibanding metode Basic Year sehingga resiko kegagalan panen akan lebih kecil. Namun areal irigasi yang didapat akan lebih kecil. Langkah-langkah pengerjaan penentuan debit andalan menggunakan metode pengurutan menurut bulan atau setengah bulanan (*Basic Month*):

- Urutkan debit aliran rendah bulanan atau setengah bulanan dari besar ke kecil.
- Hitung total debit aliran rendah tahunan
- Hitung probabilitas masing-masing debit aliran rendah menggunakan persamaan Weibull.
- Tentukan debit andalan sesuai dengan probabilitas yang dicari (umumnya resiko kegagalan panen akan kecil jika perencanaan padi sawah menggunakan  $Q_{80\%}$  sedangkan untuk palawija menggunakan  $Q_{50\%}$ ).

Contoh pemakaian metode Basic Year ditampilkan pada Tabel 2.45 dan Tabel 2.46 sebagai berikut:

**Tabel 2.45 Contoh Data Debit Aliran Rendah selama 9 tahun**

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1988	0.257	0.545	1.360	0.120	0.025	0.016	0.015	0.015	0.304	0.260	1.664	0.632
1989	3.970	4.550	1.514	0.064	0.020	0.015	0.015	0.163	0.028	1.768	0.391	6.204
1990	4.351	2.627	5.594	1.863	0.182	0.030	0.016	0.015	0.015	0.007	0.000	0.102
1991	0.735	0.493	0.454	0.458	0.465	0.465	0.465	0.465	0.467	0.458	0.487	0.540
1992	0.275	0.524	0.456	0.461	0.465	0.465	0.465	0.465	0.476	0.459	0.450	0.268
1993	0.332	0.826	0.500	0.462	0.465	0.465	0.465	0.465	0.465	0.457	0.473	0.452
1994	0.271	0.761	2.209	0.544	0.473	0.466	0.465	0.465	0.465	0.457	0.450	0.285
1995	0.309	1.321	3.834	0.645	0.482	0.467	0.465	0.465	0.465	0.544	0.452	5.648
1996	0.704	6.316	1.317	0.509	0.482	0.466	0.465	0.465	0.465	0.457	0.502	0.273



**Tabel 2.46 Perhitungan Debit Andalan Metode Basic Month**

Tahun	Prob	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOTAL
	10.00%	4.351	6.316	5.594	1.863	0.482	0.467	0.465	0.465	0.476	1.768	1.664	6.204	30.113
	20.00%	3.970	4.550	3.834	0.645	0.482	0.466	0.465	0.465	0.467	0.544	0.502	5.648	22.038
	30.00%	0.735	2.627	2.209	0.544	0.473	0.466	0.465	0.465	0.465	0.459	0.487	0.632	10.028
	40.00%	0.704	1.321	1.514	0.509	0.465	0.465	0.465	0.465	0.465	0.458	0.473	0.540	7.844
	50.00%	0.332	0.826	1.360	0.462	0.465	0.465	0.465	0.465	0.465	0.457	0.452	0.452	6.667
	60.00%	0.309	0.761	1.317	0.461	0.465	0.465	0.465	0.465	0.465	0.457	0.450	0.285	6.366
	70.00%	0.275	0.545	0.500	0.458	0.182	0.030	0.016	0.163	0.304	0.457	0.450	0.273	3.653
	80.00%	0.271	0.524	0.456	0.120	0.025	0.016	0.015	0.015	0.028	0.260	0.391	0.268	2.390
	90.00%	0.257	0.493	0.454	0.064	0.020	0.015	0.015	0.015	0.015	0.007	0.000	0.102	1.458
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	TOTAL
R <sub>50%</sub>		0.332	0.826	1.360	0.462	0.465	0.465	0.465	0.465	0.465	0.457	0.452	0.452	6.667
R <sub>80%</sub>		0.271	0.524	0.456	0.120	0.025	0.016	0.015	0.015	0.028	0.260	0.391	0.268	2.390

# BAB III

## PENATAGUNAAN SUMBER DAYA AIR DAERAH ALIRAN SUNGAI

**B**ab ini menjelaskan mengenai latar belakang penatagunaan sumber daya air, pertimbangan pentingnya penatagunaan SDA, manfaat, metode pemilihan skala prioritas DAS, inventarisasi, analisis potensi dan analisis keseimbangan air (*water ballance*)

### 3.1. LATAR BELAKANG PENATAGUNAAN SUMBER DAYA AIR

Penggunaan sumber daya air dari tahun ke tahun semakin meningkat seiring dengan perkembangan jumlah penduduk. Dengan berkembangnya penduduk, berkembang pula kebutuhan lahan untuk memenuhi keperluan pangan dan papan dengan cara membuka lahan – lahan baru yang sebenarnya merupakan lahan untuk sumber ketersediaan air. Dampak negatif atas pembukaan lahan ini adalah terjadinya kerusakan hutan yang berakibat terjadinya kerusakan lingkungan, banjir pada musim penghujan dan kekeringan pada musim kemarau sehingga ketersediaan air jadi tidak merata dalam setiap waktu dan tempat.

Upaya dalam penanggulangan kerusakan hutan yang dilakukan pada saat ini tidak seimbang dengan upaya konservasi yang telah dilakukan. Kerusakan hutan dari waktu ke waktu semakin memprihatinkan, yang akhirnya akan merusak pula sarana dan prasarana dasar pengairan yang telah dibangun serta bangunan – bangunan yang lainnya. Selain itu, akibat terjadinya kerusakan hutan, sebagai contoh di Provinsi NTB sampai dengan saat ini terdapat lahan kritis mencapai kisaran 20% dari luas NTB atau 30% dari luas hutan, dimana lahan kritis tersebut tersebar di SWS Lombok sekitar 83.460 Ha dan SWS Sumbawa 343.362 Ha (Sulistiyono dkk, 2000).

Dalam Penatagunaan Sumber Daya Air (SDA), hal yang sangat penting untuk dipahami adalah **Pola Pengelolaan SDA** yang merupakan kerangka dasar dalam merencanakan, melaksanakan, memantau, mengevaluasi kegiatan konservasi SDA, pendayagunaan SDA, dan pengendalian daya rusak air. Pola Pengelolaan SDA menitikberatkan pada pemberdayaan masyarakat dalam pembangunan yang dimulai dengan mengenal dan melayani masyarakat pada wilayah yang batas dan sistemnya ditentukan berdasarkan aspek fungsional

(pemanfaatan optimal), aspek aktivitas sosial ekonomi (adat, budaya, agama dan ekonomi), aspek administrasi (hukum, manajemen). Keberadaan air di Satuan Wilayah Sungai mengikuti kaidah daur hidrologi yang dengan sifat alaminya maka kualitasnya mempunyai keterbatasan-keterbatasan menurut waktu, ruang dan jumlah.

### **3.2. PERTIMBANGAN PENTINGNYA PENATAGUNAAN SUMBER DAYA AIR**

Pertimbangan perlunya penatagunaan SDA dilatarbelakangi oleh beberapa keadaan yaitu :

- Tingkat pertumbuhan ekonomi masyarakat
- Pembangunan regional kedepan membutuhkan ketersediaan air yang cukup sehingga diperlukan tersedianya suatu konsepsi mengenai pengembangan dan pengelolaan sumber daya air.
- Pola pembangunan dan pengembangan membutuhkan program yang terpadu untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dimasa yang akan datang.
- Terdapatnya kota-kota yang merupakan pusat-pusat sumberdaya alam dan budaya tradisional yang sangat menarik namun letaknya terletak di wilayah perbukitan, sehingga memerlukan penataan dalam konteks pengembangan dan konservasi sumberdaya air secara menyeluruh.
- Belum tersedianya prasarana pengairan seperti waduk/ bendungan, sehingga kegiatan pertanian masyarakat sangat tergantung pada musim hujan. Demikian pula masih belum tersedianya fasilitas hydro-power sehingga perlu dilakukan penjajagan kemungkinan dibangun waduk yang dapat berfungsi multi purpose (serbaguna).
- Erodibilitas dan erosivitas cukup tinggi sehingga terjadi bencana tanah longsor, akibatnya dapat mempengaruhi transportasi lalu-lintas antar kota.
- Masalah Pengembangan dan Pengelolaan Sumber Air dan Sumber Air belum diperhatikan untuk dapat memenuhi kebutuhan air bagi penduduk secara berkelanjutan dan efektif. Masalah-masalah tersebut antara lain meliputi : Kemampuan Kelembagaan yang kurang memadai; Penggundulan hutan di DAS, Keterbatasan akses penduduk perdesaan terhadap air minum dan lain sebagainya.

Berdasarkan situasi dan kondisi sebagaimana diuraikan tersebut diatas, maka dipandang perlu dilakukan studi dengan memperhatikan :

- Program pengembangan dan pengelolaan sumberdaya air diupayakan melalui pendekatan pembangunan dan pengembangan dengan mengantisipasi prediksi kebutuhan air regional dengan mengikutsertakan peran serta masyarakat.
- Potensi pengembangan dan pengelolaan sumberdaya air dipertimbangkan terhadap lokasi, volume air (tampung) dan kualitas air sebagai suplai air.
- Pengembangan sumberdaya air dimaksudkan untuk meningkatkan pendapatan ekonomi masyarakat melalui multi sektoral (hydro-power, irigasi, air baku, dll) dengan melakukan studi secara mendalam.
- Pengembangan sumberdaya air harus mempertimbangkan isu-isu yang berkembang di wilayah tersebut antara lain : adanya banjir, erosi, kekeringan dan lingkungan.
- Dalam pelaksanaan pengembangan sumberdaya air harus memperhatikan pengaruh dari pasca proyek yang meliputi antara lain : bencana tanah longsor dan erosi tanah yang berkenaan dengan pemanfaatan lahan.
- Investigasi potensi pengembangan sumberdaya air di wilayah ini perlu mempertimbangkan daerah pengaliran sungai atau watershed secara keseluruhan, ditinjau dari perspektif pengembangan dan pengelolaan sumberdaya air terpadu.

### **3.3. MANFAAT PENATAGUNAAN SUMBER DAYA AIR**

Manfaat yang diperoleh dari hasil kegiatan ini berupa dihasilkannya suatu usulan zona pemanfaatan sumberdaya air, meliputi :

- 1) Identifikasi potensi sumberdaya air permukaan
- 2) Identifikasi pemanfaatan sumberdaya air saat ini
- 3) Zonasi rencana pemanfaatan sumber air dan peruntukan air pada sumber air
- 4) Estimasi Neraca Air dan distribusi pemanfaatan sumberdaya air berdasarkan rencana pemanfaatan
- 5) Peta Zona Pemanfaatan Sumberdaya air dalam format Geographic Information System (GIS)

### **3.4. PEMILIHAN SKALA PRIORITAS DAS**

Penatagunaan sumber daya air di suatu DAS harus dimulai dari suatu DAS yang paling krusial. Pengertian krusial dalam hal ini berhubungan dengan kebutuhan masyarakat dan kebijakan pemerintah. Umumnya pemilihan DAS dilakukan dengan analisis dan evaluasi. Metode analisis dan evaluasi DAS di antaranya adalah metode SWOT, AHP, Cause Root, dan

Fault Tree analysis. Dalam buku ini hanya dijelaskan sedikit mengenai SWOT dan AHP, penjelasan lebih detail dapat dijumpai dalam Sulistiyono (2014).

### 1. Metode SWOT

SWOT adalah singkatan dari *Strengths* (kekuatan/potensi), *Weaknesses* (kelemahan/kekurangan), *Opportunities* (kesempatan/peluang) dan *Threats* (ancaman/hambatan). Dalam metode ini semua hal mengenai SWOT masing-masing DAS dikumpulkan, di buat skala Likert atau rasio dan pemberatan, di analisis dan di evaluasi. Sehingga didapat urutan prioritas DAS yang harus ditangani.

Skala Likert adalah memberikan nilai untuk hal-hal yang bersifat kualitatif dengan cara sebagai berikut, misalkan:

- Sangat membutuhkan diberi nilai 6
- Membutuhkan diberi nilai 4
- Kurang membutuhkan diberi nilai 2
- Tidak membutuhkan diberi nilai 0

Skala Rasio adalah memberikan nilai untuk hal-hal yang bersifat kuantitatif dengan persamaan sebagai berikut:

$$Rasio_i = \frac{X_i}{\sum X} \tag{3.1}$$

Perhitungan penilaian skala rasio ditunjukkan pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3.1 Contoh Penilaian Skala Rasio

DAS	Jiwa	Rasio
A	15000	0.351
B	3500	0.082
C	8300	0.194
D	4900	0.115
E	11000	0.258
Jumlah	42700	

Pemberatan adalah suatu koefisien yang menentukan kelompok tertentu bobotnya lebih berat dibanding kelompok yang lain, misalkan:

- Kebutuhan air untuk kelompok manusia diberi bobot koefisien 5

- Kebutuhan air untuk kelompok irigasi diberi bobot koefisien 2.5
- Kebutuhan air untuk kelompok ternak diberi bobot koefisien 2.3
- Kebutuhan air untuk kelompok industri diberi bobot koefisien 1.7

Masing masing dihitung nilainya yang merupakan perkalian masing-masing nilai dan bobot koefisien. Setelah masing-masing nilai didapat, kemudian dihitung total nilai. Urutan total nilai menunjukkan skala prioritas. Sebagai contoh pemakaian metode SWOT ditampilkan pada Tabel 3.2 sebagai berikut:

## **2. Metode AHP**

AHP (*Analytical Hierarchy Process*) adalah sistem/model yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty pada tahun 1993 (Sulistiyono, 2014) untuk membantu seseorang dalam mengambil keputusan yang akurat dan tepat sasaran. Hirarki didefinisikan sebagai suatu representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam suatu struktur multi level dimana level pertama adalah tujuan, yang diikuti level faktor, kriteria, sub kriteria, dan seterusnya ke bawah hingga level terakhir dari alternative (Aryanto, 2016; Prihatin dkk, 2017).

**Langkah – langkah dan proses Analisis Hierarki Proses (AHP) adalah sebagai berikut:**

1. Mendefinisikan permasalahan dan penentuan tujuan,
2. Menyusun masalah kedalam hierarki sehingga menjadi detail dan terukur,
3. Penyusunan prioritas untuk tiap elemen dalam bobot,
4. Pengujian konsistensi antar elemen yang didapatkan pada tiap tingkat hierarki

**Sedangkan langkah-langkah “pairwise comparison” AHP adalah**

1. Pengambilan data dari obyek yang diteliti,
2. Menghitung data dengan bobot perbandingan tiap elemen,
3. Menghitung rata-rata rasio konsistensi dari masing-masing elemen,
4. Pengolahan dengan metode “pairwise comparison” AHP,
5. Kesimpulan dengan melihat hasil konsistensi, bila data tidak konsisten maka diulangi lagi dengan pengambilan data seperti semula, namun bila sebaliknya maka digolongkan data terbobot yang selanjutnya dapat dicari nilai beta (b).

Tabel 3.2 Contoh Perhitungan Skala Prioritas Menggunakan Metode SWOT

Nama DAS	Penduduk				Irigasi				Ternak				Industri				Total Nilai	PRIORITAS
	Jiwa	Rasio	bobot	Nilai	Luas	Rasio	bobot	Nilai	ekor	Rasio	bobot	Nilai	unit	Rasio	bobot	Nilai		
A	15000	0.351	5	1.756	5000	0.455	2.5	1.136	1250	0.2	2.3	0.46	7	0.318	1.7	0.541	3.894	1
B	3500	0.082	5	0.410	2500	0.227	2.5	0.568	1000	0.16	2.3	0.368	0	0	1.7	0	1.346	5
C	8300	0.194	5	0.972	1000	0.091	2.5	0.227	2000	0.32	2.3	0.736	0	0	1.7	0	1.935	3
D	4900	0.115	5	0.574	1500	0.136	2.5	0.341	1500	0.24	2.3	0.552	0	0	1.7	0	1.467	4
E	11000	0.258	5	1.288	1000	0.091	2.5	0.227	500	0.08	2.3	0.184	15	0.682	1.7	1.159	2.858	2
Jumlah	42700				11000				6250				22					

### **3.5. INVENTARISASI WILAYAH STUDI**

Inventarisasi adalah kegiatan pengumpulan data penunjang pelaksanaan studi meliputi data sekunder maupun data primer yang harus diperoleh dengan mengadakan kunjungan instansional, survey ke lokasi studi dan wawancara. Secara garis besar data yang dikumpulkan meliputi data penunjang untuk analisis kebutuhan air, data penunjang untuk analisis potensi sumberdaya air dan data penunjang untuk perencanaan dan kajian pengembangan sumberdaya air.

Pengumpulan data penunjang pelaksanaan studi secara rinci dapat diuraikan sebagai berikut :

- 1) Data penunjang analisis kebutuhan air
  1. Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW), Rencana Umum Tata Ruang Kota/Kabupaten (RUTRK);
  2. Hasil Rakorbangda, Lokakarya
  3. Studi Pengembangan sumberdaya air Pulau Lombok dan Sumbawa terdahulu
  
- 2) Data/ Peta penunjang analisis potensi sumberdaya air
  1. Peta Rupa Bumi skala 1 : 25.000,
  2. Data klimatologi, mencakup data hujan, kelembaban udara, temperatur udara, penyinaran matahari, dan kecepatan angin
  3. Data debit sungai
  4. Peta Tata Guna Lahan/peta rupa bumi skala 1 : 25.000
  
- 3) Data penunjang analisis pengembangan dan konservasi sumberdaya air
  1. Peta geologi skala 1 : 250.000 dan peta gempa
  2. Peta land status, land suitability, dan peta soil
  3. Peta geologi permukaan skala 1 : 5000 rencana lokasi bangunan utama
  4. Peta topografi skala 1 : 5000 rencana lokasi bangunan utama
  5. Data survai dan investigasi tanah dan agronomi
  6. Data sosio ekonomi berupa kabupaten dalam angka dari BPS
  7. Data agro-ekonomi



4) Data penunjang penyusunan database

1. Peta Topografi Digital skala 1:25000
2. Data infrastruktur bangunan irigasi dan sumberdaya air lainnya

Kegiatan survey lapangan yang berupa peninjauan langsung di lapangan pada lokasi – lokasi yang telah ditentukan dilakukan untuk :

- a. Identifikasi letak bangunan pengairan utama yang ada dengan menggunakan peralatan GPS (Global Positioning System) untuk mengetahui koordinat dari bangunan pengairan baik itu bendung, embung maupun bendungan yang memiliki layanan yang luas.
- b. Data daerah irigasi (tipe pengambilan, luas daerah irigasi, pola tanam, banyaknya pengambilan air, dll) dan kondisi bangunan. Data daerah irigasi dikumpulkan dari buku daftar Inventarisasi Daerah Irigasi. Dari data ini lalu dilakukan pengecekan dilapangan terutama dalam kaitannya dengan kondisi daerah irigasi, bangunan pengambilan (sudah permanen atau masih berupa *free intake*), sistem pembagian air sudah sesuai dengan sasaran atau belum.
- c. Data aliran sungai, diperlukan pengecekan kondisi lokasi stasiun pengukuran untuk keperluan kalibrasi pengukuran dan posisi koordinat lokasi. Serta hal-hal yang terkait seperti :
  - Debit air normal (rata-rata)
  - Tinggi muka air normal
  - Kondisi pada musim kemarau (kering) kecuali *return flow*
  - Kondisi badan sungai yang meliputi lebar sungai, bentuk permukaan sungai ( V atau U ), kedalaman sungai, kondisi lingkungan sekitar hulu serta inventarisasi bangunan pengairan pada DPS (bendung, embung dan bendungan)
- d. Survey sosial ekonomi, agroekonomi, dan partisipasi masyarakat desa dengan cara melakukan wawancara dengan masyarakat desa yang bertujuan menggali kehendak masyarakat dalam pengembangan pertanian serta tingkat apresiasi masyarakat terhadap usulan proyek.

### **3.6. ANALISIS POTENSI WILAYAH**

Kajian potensi wilayah berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah yang ada sangat diperlukan dalam penataan sumber daya air. Kajian potensi wilayah yang dilakukan antara lain mengenai: Ketersediaan Air DAS, Potensi Pertanian, Potensi Domestik dan Potensi Peternakan.

#### **1) Ketersediaan Air**

Ketersediaan air dihitung berdasarkan curah hujan dan air tanah. Perhitungan ketersediaan air adalah perhitungan debit aliran andalan seperti dijelaskan dalam Bab II.

#### **2) Potensi Pertanian**

Daerah yang berpotensi untuk pengembangan pertanian dikaji berdasarkan hasil survai soil, agronomi dan agroekonomi, serta hasil respon dari masyarakat. Dari hasil kajian ini diperoleh lokasi daerah yang cocok untuk dikembangkan menjadi daerah pertanian dengan system irigasi teknis, untuk komoditas pertanian tertentu. Kemudian dihitung kebutuhan airnya.

Kebutuhan air untuk tanaman ditentukan oleh faktor-faktor berikut :

- a. Penyiapan lahan
- b. Penggunaan konsumtif
- c. Perkolasi dan rembesan
- d. Penggantian genangan air
- e. Efisiensi irigasi
- f. Curah hujan efektif.

##### **a. Penyiapan Lahan**

Air diperlukan selama fase penyiapan lahan untuk mempermudah pembajakan dan menyiapkan kelembaban tanah guna pertumbuhan tanaman. Untuk produksi padi, perhitungan kebutuhan air irigasi selama penyiapan lahan digunakan Metode Van De Goor/Zijlstra. Metode tersebut didasarkan pada kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi di sawah, yang sudah dijenuhkan selama periode penyiapan lahan 30 hari, dengan tinggi genangan air 250 mm atau 8.33 mm/hari (berdasarkan perencanaan tanpa Bero - KP 01). Nilai rata untuk Indonesia diperoleh berdasar persamaan sebagai berikut:

$$IR = M \times e^k / (e^k - 1) \quad (3.2)$$

dengan:

IR = kebutuhan air di sawah (mm/hari)

M =  $E_0 + P = (1,1 ET_0 + P)$  (mm/hari), ini adalah kebutuhan air puncak (evaporasi + perkolasi)

k =  $MT / S$

T = jangka waktu penyiapan lahan (hari)

S = kebutuhan air untuk penjemuran

Kebutuhan air untuk penyiapan lahan palawija berbeda dengan kebutuhan untuk tanaman padi. Biasanya untuk tanaman palawija disediakan air 75 mm setelah pembajakan. Pada kasus dengan tipe tanah lempung (clay) sangat kering, sehingga air irigasi 75 mm digunakan untuk pembajakan.

#### **b. Penggunaan Konsumtif (Consumptive Use)**

Penggunaan konsumtif (kebutuhan air tanaman) adalah jumlah air yang dibutuhkan untuk mengganti air yang hilang akibat penguapan. Air dapat menguap melalui permukaan air maupun melalui daun-daunan tanaman. Bila kedua proses penguapan tersebut terjadi bersama-sama, terjadilah proses evapotranspirasi, yaitu gabungan antara penguapan air bebas (evaporasi) dan penguapan melalui tanaman (transpirasi). Dengan demikian besarnya kebutuhan air tanaman adalah sebesar jumlah air yang hilang akibat proses evapotranspirasi. Penggunaan konsumtif adalah kebutuhan air aktual. Penggunaan konsumtif dihitung dengan persamaan :

$$ET_c = k_c \times Et_0 \quad (3.3)$$

dengan :

$ET_c$  = penggunaan konsumtif (mm/hari)

$Et_0$  = evapotranspirasi potensial (mm/hari), besarnya dihitung dengan metoda Penman (Penman Metode)

$k_c$  = koefisien tanaman, yang besarnya tergantung pada jenis, macam dan umur tanaman

Evapotranspirasi untuk tanaman (rumput pendek) ET telah dihitung dengan metode Penman Modifikasi yang didefinisikan oleh FAO, menggunakan data klimatologi dari stasiun terdekat dari daerah aliran sungai.

Tabel 3.3. Koefisien Tanaman

Periode Setengah Bulanan	P a d i		Palawija		
	15 Des s/d 14 Feb	15 Apr s/d 15 Juni	Kedelai	Jagung	Kc.Tanah
1	1.10	1.10	0.40	0.50	0.50
2	1.10	1.10	0.61	0.59	0.51
3	1.10	1.10	0.97	0.96	0.66
4	1.10	1.10	1.00	1.05	0.85
5	0.95	1.00	1.00	1.02	0.95
6	0.95	1.00	0.73	0.95	0.95

Sumber: Ricard. dkk, 1998.

Evapotranspirasi untuk tanaman (rumput pendek) ET dapat dihitung dengan Metoda Penman, berdasar data klimatologi setempat.

#### c. Perkolasi dan Infiltrasi

Infiltrasi merupakan proses masuknya air dari permukaan tanah ke dalam tanah (daerah tidak jenuh). Sedangkan perkolasi adalah masuknya air dari daerah tidak jenuh ke dalam daerah jenuh. Pada proses ini air tidak dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Untuk tujuan perencanaan, tingkat perkolasi standar 2,0 mm/hari) dipakai untuk mengestimasi kebutuhan air pada daerah produksi padi.

#### d. Penggantian Genangan Air

Saat memproduksi padi, untuk pemupukan dan pelaksanaan penyiangan, digunakan praktek penurunan muka air di sawah. Berdasar perlakuan ini, lapisan air harus diganti.

Untuk menghitung praktek penggantian tersebut, suatu cadangan sebesar 50 mm ( 3,33 mm/hari) telah dibuat pada setiap tengah bulanan kedua dan keempat, yaitu setelah pemindahan (*transplanting*). Kebutuhan ini tidak berlaku untuk tanaman palawija sehubungan dengan praktek kultural yang berbeda.

#### e. Efisiensi Irigasi

Daerah Irigasi yang akan diairi misalkan seluas 118 ha yang masih merupakan sawah tadah hujan. Oleh karenanya pembangunan ini secara keseluruhan akan termasuk pembangunan saluran primer, sekunder dan tersier. Dengan pertimbangan kondisi saluran dan bangunan yang ada, maka perkiraan efisiensi irigasi sesuai KP – 01 dihitung sebagai berikut :

- Lahan Sawah : 100% =  $E_f = 100\%$
- Saluran Tersier : 80% =  $E_f = 80\% \times 100\% = 80\%$
- Saluran Sekunder : 85% =  $E_f = 85\% \times 80\% = 68\%$
- Saluran Primer : 95% =  $E_f = 95\% \times 68\% = 64,6\%$
- Efisiensi total :  $64,6\% \approx 65\%$

Sehingga besarnya efisiensi total yang digunakan untuk menghitung kebutuhan air dipintu pengambilan embung adalah sebesar 65%

#### f. Hujan Efektif

Data untuk memperoleh hujan efektif untuk pertumbuhan padi dan palawija diperoleh dari stasiun terdekat dengan memperhatikan pola pemberian air. Pola pemberian air dari embung direncanakan dengan sistem rotasi 15 harian, sehingga hujan efektifnya adalah:

- Hujan Efektif Padi =  $(0.7 \times R_{80})/15$  (3.4)

- Hujan Efektif Palawija =  $(0.7 \times R_{50})/15$  (3.5)

#### g. Contoh Perhitungan

Ketersediaan data hujan setengah bulanan ditampilkan pada Tabel 3.4. Dari data tersebut kemudian dihitung hujan efektif yang ditampilkan pada Tabel 3.5.

Selanjutnya dari hujan efektif dihitung distribusi hujan efektif seperti ditampilkan pada Tabel 3.6. Kebutuhan air irigasi untuk jenis tanaman padi dan palawija yang terbesar dipilih sebagai dasar perencanaan pola tanam. Kebutuhan air terbesar akan mudah dikenali dengan cara mencoba awal penanamannya pada awal musim penghujan dan terus bergeser 15 hari (Sulistiyono dkk, 2000) seperti ditampilkan pada Tabel 3.7. Akhirnya dihitung Kebutuhan Air Pertanian Sesuai Rencana Pola Tanam seperti ditampilkan pada Tabel 3.9

Tabel 3.4 Contoh Data Hujan Setengah Bulanan

Tahun	Jan		Feb		Mar		Apr		Mei		Jun		Jul		Agt		Sep		Okt		Nov		Des	
1996	110	61	152	106	118	23	51	0	33	0	0	0	7	0	7	0	0	8	0	39	31	73	125	23
1997	57	56	105	288	70	2	19	0	0	10	55	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	64	60	94
1998	28	41	47	56	25	26	23	51	0	10	34	37	54	58	19	0	0	180	5	79	94	64	84	145
1999	32	224	164	128	102	315	146	57	33	0	0	0	8	0	21	18	1	0	2	52	96	23	201	58
2000	0	0	0	0	161	98	153	128	86	44	1	3	0	0	0	0	0	0	149	42	290	259	26	7
2001	85	99	272	47	26	124	26	10	0	1	44	2	0	2	0	0	0	0	68	30	53	50	160	132
2002	30	178	456	118	103	25	145	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	85	127	126
2003	467	77	75	121	104	0	106	0	0	16	8	4	0	10	1	1	89	0	31	0	0	159	217	216
2004	110	218	123	58	95	67	0	10	1	147	6	3	3	0	10	0	10	0	10	0	58	117	69	179
2005	135	100	104	108	209	19	118	0	0	0	0	0	61	0	0	30	0	5	6	41	3	44	152	194

Tabel 3.5. Contoh Hasil Perhitungan Hujan Andalan atau Hujan Efektif (menggunakan metode *Basic Year*)

No.	Tahun	P	Bulan (minggu ke-)																								Tahunan
			Jan		feb		Mar		Apr		Mei		Jun		Jul		Agt		Sep		okt		nov		des		
		$m/(n+1)*100$	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	
1	2003	9.09	467	77	75	121	104	0	106	0	0	16	8	4	0	10	1	1	89	0	31	0	0	159	217	216	1701
2	1999	18.18	32	224	164	128	102	315	146	57	33	0	0	0	8	0	21	18	1	0	2	52	96	23	201	58	1680
3	2002	27.27	30	178	456	118	103	25	145	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	85	127	126	1450
4	2000	36.36	0	0	0	0	161	98	153	128	86	44	1	3	0	0	0	0	0	0	149	42	290	259	26	7	1444
5	2005	45.45	135	100	104	108	209	19	118	0	0	0	0	0	61	0	0	30	0	5	6	41	3	44	152	194	1326
6	2004	54.55	110	218	123	58	95	67	0	10	1	147	6	3	3	0	10	0	10	0	10	0	58	117	69	179	1292
7	2001	63.64	85	99	272	47	26	124	26	10	0	1	44	2	0	2	0	0	0	0	68	30	53	50	160	132	1228
8	1998	72.73	28	41	47	56	25	26	23	51	0	10	34	37	54	58	19	0	0	180	5	79	94	64	84	145	1156
9	1996	81.82	110	61	152	106	118	23	51	0	33	0	0	0	7	0	7	0	0	8	0	39	31	73	125	23	967
10	1997	90.91	57	56	105	288	70	2	19	0	0	10	55	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	64	60	94	893
R-50			122.4	159.2	113.6	82.7	151.8	43.0	59.0	4.8	0.3	73.6	2.8	1.4	31.8	0.0	5.0	15.0	4.8	2.6	7.8	20.3	30.5	80.4	110.3	186.3	1308.8
R-80			93.8	56.6	130.7	95.9	99.1	23.8	45.7	10.1	26.3	2.0	6.8	7.4	16.6	11.6	9.4	0.3	0.0	42.2	1.0	47.1	43.7	70.8	116.5	47.6	1005.0
Hujan Efektif Palawija			5.71	7.43	5.30	3.86	7.08	2.01	2.75	0.22	0.01	3.43	0.13	0.07	1.48	0.00	0.23	0.70	0.22	0.12	0.36	0.94	1.42	3.75	5.15	8.69	61.08
Hujan Efektif Padi			4.38	2.64	6.10	4.48	4.63	1.11	2.13	0.47	1.23	0.09	0.32	0.35	0.77	0.54	0.44	0.01	0.00	1.97	0.05	2.20	2.04	3.30	5.43	2.22	46.90

Tabel 3.6. Hujan Efektif sesuai Rencana Pola Tanam

Jenis Tanaman/ Musim	Nov		Des		Jan		Feb		Mar		Apr		Mei		Jun		Jul		Agt		Sep		Okt		Nov			
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
	15	15	15	16	15	16	14	14	15	16	15	15	15	16	15	15	15	16	15	16	15	15	15	16	15	15		
<b>Padi Musim Tanam-1</b>																												
(PD1)	1	3.303	5.435	2.222	4.378	2.640	6.098	4.477	4.627																			
	2		5.435	2.222	4.378	2.640	6.098	4.477	4.627	1.112																		
	3			2.222	4.378	2.640	6.098	4.477	4.627	1.112	2.131																	
	4				4.378	2.640	6.098	4.477	4.627	1.112	2.131	0.471																
	5					2.640	6.098	4.477	4.627	1.112	2.131	0.471	1.228															
<b>Padi Musim Tanam-2</b>																												
(PD2)	1										2.131	0.471	1.228	0.093	0.317	0.345	0.773	0.541										
	2											0.471	1.228	0.093	0.317	0.345	0.773	0.541	0.439									
	3												1.228	0.093	0.317	0.345	0.773	0.541	0.439	0.015								
	4													0.093	0.317	0.345	0.773	0.541	0.439	0.015	0.000							
	5														0.317	0.345	0.773	0.541	0.439	0.015	0.000	1.970						
<b>Palawija Musim Tanam-2</b>																												
(PL2)	1									2.007	2.753	0.222	0.014	3.432	0.128													
	2										2.753	0.222	0.014	3.432	0.128	0.065												
	3											0.222	0.014	3.432	0.128	0.065	1.482											
	4												0.014	3.432	0.128	0.065	1.482	0.000										
	5													3.432	0.128	0.065	1.482	0.000	0.233									
<b>Palawija Musim Tanam-3</b>																												
(PL3)	1														0.065	1.482	0.000	0.233	0.700	0.222								
	2															1.482	0.000	0.233	0.700	0.222	0.119							
	3																0.000	0.233	0.700	0.222	0.119	0.362						
	4																	0.233	0.700	0.222	0.119	0.362	0.945					
	5																		0.700	0.222	0.119	0.362	0.945	1.421				



Tabel 3.7. Contoh Perhitungan Kebutuhan Air Pertanian untuk Padi Sesuai Pola Hujan Efektif pada Tabel 3.6

Kebutuhan air irigasi Padi Musim Tanam I

awal tanam 15 Desember

Berbuah : 15 Maret

Masa tumbuh

90 hari

No.	Kegiatan tanam	Satuan	2 minggu ke-								Keterangan
			Nov	Des		Jan		Feb		Mar	
			2	1	2	1	2	1	2	1	
			15	15	16	15	16	14	14	15	
1	Eto	mm/hari	3.819	3.437	3.662	3.541	3.333	3.459	3.535	3.469	Penman
2	Kc				1.100	1.100	1.100	1.100	0.950	0.950	FAO
3	Etc	mm/hari			4.028	3.895	3.666	3.805	3.358	3.295	Kc * Eto
4	Persiapan lahan	mm/hari	8.333	8.333							250 mm/30
5	Perkolasi	mm/hari	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	
6	Evaporasi selama (PL)	mm/hari	4.201	3.781							1.1 * Eto
7	Pengg. Lap. Air	mm/hari				3.333		3.333			50 mm /15
8	Total Keb. Air	mm/hari	12.152	11.771	6.028	9.229	5.666	9.139	5.358	5.295	[ 4+5+6+7 ]
9	Hujan Efektif	mm/hari	3.303	5.435	2.222	4.378	2.640	6.098	4.477	4.627	0.7*R80/15
10	Keb. Areal usaha (NFR)	mm/hari	8.849	6.336	3.806	4.850	3.026	3.040	0.881	0.669	[ 8 - 9 ]
11	Keb. Air di lahan (NFR)	l/s/Ha	1.024	0.733	0.441	0.561	0.350	0.352	0.102	0.077	[ 10 ] / 8.64
12	Keb. Di Intake (DR)	l/s/Ha	1.576	1.128	0.678	0.864	0.539	0.541	0.157	0.119	[ 11 ] / 0.65
13	Keb. Di Intake (DR)	m3/Ha	2042.130	1462.108	936.854	1119.309	744.791	654.811	189.711	154.377	[12] * 24*3600*[jml hari] / 1000
Total (x 1000 m3/Ha)			7.3041								

Perhitungan ini dilakukan berkali-kali dengan merubah jadwal awal tanam yaitu: 1 Januari, 15 Januari, 1 Pebruari, dan 15 Pebruari.

Tabel 3.8. Contoh Perhitungan Kebutuhan Air Pertanian untuk Palawija Sesuai Pola Hujan Efektif pada Tabel 3.6

**Kebutuhan air irigasi Palawija Musim Tanam II**  
awal tanam 15 Maret

**Berbuah : 1 Juni Masa tumbuh 75 hari**

No.	Kegiatan Tanam	Satuan									Keterangan
			Mar		Apr		Mei		Jun		
			1	2	1	2	1	2	1	2	
			15	16	15	15	15	16	15	15	
1	Eto	mm/hari		3.861	3.586	3.792	3.344	3.458	2.977		Penman FAO Kc * Eto  [ 4+5+6+7 ] 0.7*R50/15  [ 8 - 9 ] [ 10 ] / 8.64  [ 11 ] / 0.65 [8] * 24*3600*[jml hari] / 1000
2	Kc		0.400	0.610	0.970	1.000	1.000	0.730			
3	Etc	mm/hari		1.545	2.188	3.678	3.344	3.458	2.173		
4	Total Keb. Air	mm/hari		1.545	2.188	3.678	3.344	3.458	2.173		
5	Hujan Efektif	mm/hari		2.007	2.753	0.222	0.014	3.432	0.128		
6	Keb. Areal usaha (NFR)	mm/hari		0.000	0.000	3.456	3.330	0.026	2.045		
7	Keb. Air di lahan (NFR)	l/s/Ha		0.000	0.000	0.400	0.385	0.003	0.237		
8	Keb. Di Intake (DR)	l/s/Ha		0.000	0.000	0.615	0.593	0.005	0.364		
9	Keb. Di Intake (DR)	m <sup>3</sup> /Ha		0.000	0.000	797.577	768.394	6.286	471.846		
Total (x 1000 m3/Ha)			2.0441								

Perhitungan ini dilakukan berkali-kali dengan merubah jadwal awal tanam yaitu: 1 April, 15 April, 1 Mei, dan 15 Mei untuk Tanam II, Untuk Tanam III dengan merubah jadwal awal tanam yaitu: 15 Juni, 1 Juli, 15 Juli, 1 Agustus dan 15 Agustus. Selanjutnya dibuat tabel rangkuman kebutuhan air berdasarkan seluruh hitungan kebutuhan air seperti ditampilkan pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9. Contoh Kebutuhan Air Sesuai Rencana Pola Tanam

Jenis Tanaman/ Musim	Nov		Des		Jan		Feb		Mar		Apr		Mei		Jun		Jul		Agt		Sep		Okt		Nov			
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
	15	15	15	16	15	16	14	14	15	16	15	15	15	16	15	15	15	16	15	16	15	15	15	16	15	15		
<b>Padi Musim Tanam-1</b>																												
(PD1)	1	1.576	1.128	0.678	0.864	0.539	0.541	0.157	0.119																			
	2		1.128	1.740	0.270	1.132	0.000	0.845	0.119	0.811																		
	3			1.740	1.335	0.539	0.541	0.251	0.805	0.811	0.583																	
	4				1.335	1.607	0.000	0.845	0.212	1.508	0.583	0.914																
	5					1.607	1.014	0.251	0.805	0.915	1.273	0.914	0.703															
<b>Palawija Musim Tanam-2</b>																												
(PL2)	1									0.000	0.000	0.615	0.593	0.005	0.364													
	2										0.000	0.372	0.575	0.005	0.507	0.355												
	3											0.231	0.361	0.000	0.507	0.490	0.099											
	4												0.236	0.000	0.491	0.490	0.234	0.339										
	5													0.000	0.300	0.475	0.234	0.465	0.328									
<b>Palawija Musim Tanam-3</b>																												
(PL3)	1														0.189	0.040	0.451	0.465	0.421	0.397								
	2															0.000	0.283	0.449	0.421	0.558	0.414							
	3																0.186	0.267	0.404	0.558	0.575	0.468						
	4																	0.161	0.208	0.540	0.575	0.665	0.375					
	5																		0.094	0.325	0.557	0.665	0.576	0.276				
Kebutuhan Air (DR) (lt/dt/Ha)		0.000	1.576	1.128	1.386	0.951	1.085	0.419	0.470	0.412	0.809	0.488	0.609	0.493	0.002	0.434	0.400	0.121	0.345	0.334	0.310	0.476	0.531	0.600	0.476	0.276	0.000	
Kebutuhan Air (DR) (x1000m3/Ha)		0.000	2.042	1.462	1.916	1.232	1.500	0.507	0.568	0.534	1.118	0.632	0.789	0.640	0.003	0.563	0.518	0.157	0.477	0.433	0.428	0.617	0.688	0.777	0.658	0.357	0.000	
Total Air Pengambilan (x1000m3/Ha)			18.616			Keb. Air Maksimal (x1000m3/Ha)						2.042			Rerata Keb. Air (x1000m3/Ha)				0.716									

Selanjutnya dihitung kebutuhan air pertanian selama 1 (satu) tahun dengan cara menjumlahkan nilai pada baris Kebutuhan Air (DR) (lt/dt/ha) x luas areal pertanian x 60 detik x 60 menit x 24 jam x 360 hari . Umumnya satuan kebutuhan air tahunan adalah MCM/tahun, yaitu *million Cubic Meter* per tahun. Contoh tampilan rekapitulasi kebutuhan air Irigasi ditampilkan pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10. Contoh Rekapitulasi Kebutuhan Air Irigasi Pada Masing-masing DAS

SSWS	DAS	Luas (KM <sup>2</sup> )	Total Keb Air Irigasi (MCM/ TAHUN)
JEREWEH	Jereweh	112,75	15,55
	Sekongkang	42,64	16,60
	Sejorong	67,22	12,78
REA	Rea	816,64	93,89
RHEE	Pemang	78,16	24,38
	Utari	79,01	37,57
	Semonte	84,66	24,14
	Rhee	218,07	6,31
	Bij	271,77	37,72
MOYO HULU	Pongal	770,75	307,70
	Songkang	144,94	38,20
P MOYO	Kompl P Moyo	454,10	9,39
AMPANG	Maronge	113,43	159,43
	Kolong	13,63	52,24
	Nangagali	219,39	129,37
	Empang	155,46	105,29
HOODO	Kompl Doropeti	40,81	5,42
	Pekat	35,54	27,71
	Kadindi	31,69	18,40
BANGGO	Kempo	45,68	27,01
	Lanco	23,50	12,28
	Kambu	247,79	102,05
	Nae	54,26	12,09
PARADO	Parado	242,04	145,09
	Keli	167,31	35,76
	Campa	211,28	165,34
	Mpodo	56,67	25,84
	Nampa	26,01	10,98
	Sarita	11,90	0,46
	Kompl Punti	18,21	1,15
	Kompl Pencaka	12,98	0,00
	Kompl Nungga Nae	5,23	0,00
	Tolotumpu	11,29	0,00
	Ambalawi	9,58	0,00
	Kompl Tolotai	15,44	1,13
	Kompl Mawu	18,99	2,32
	Kompl Ndawa	21,15	0,35
	Tala	110,35	17,53
	Tenga	103,87	20,81
Rontu	156,72	30,40	
Belo	196,98	65,51	
SARI	Wora	39,70	16,38
	Tawali	94,42	41,99
	Sari	144,93	37,56
RIMBA	Tonggaombo	84,93	11,35
	Nae/Lanta	155,22	87,01
BAKA	Raba Baka	230,56	44,05
	Laba Laju	221,04	169,70
	Depa	63,46	25,36
	Daha	40,87	29,01
BAKO	Jemplung	36,10	3,25
	Labangka	82,57	4,34
	Bako	81,66	0,41
	Peniris	38,04	0,87
BEH	Beh	1404,38	74,68
	Krida	54,11	2,35
	Ruwat	55,25	2,29
	Sanggane	54,11	1,57

### 3) Analisis Potensi Domestik

Potensi domestik dievaluasi berdasarkan prediksi kebutuhan air untuk keperluan domestik yang dianalisis berdasarkan kondisi penduduk saat ini (jumlah, komposisi) dan rencana peruntukan pada tiap-tiap wilayah. Hal tersebut dikarenakan prediksi perkembangan penduduk dimasa yang akan datang tidak hanya bergantung pada trend laju perkembangan penduduk, tetapi bergantung juga dengan rencana peruntukan daerah tersebut di masa yang akan datang. Satuan kebutuhan air penduduk dihitung berdasarkan standard yang berlaku untuk penduduk perdesaan dan penduduk kota. Kebutuhan air domestik dipengaruhi oleh kondisi iklim dan kebiasaan masyarakat setempat. Sedangkan kebutuhan air untuk pelayanan umum, industri, perdagangan, perhitungan air yang hilang dan kebutuhan akan penggelontoran dipengaruhi oleh tingkat dinamika kota dan jenjang suatu kota. Pada Tabel 3.11 di bawah ini disajikan Pedoman Kebutuhan air baku DMI, sebagai berikut :

Tabel 3.11. Pedoman Kebutuhan Air Baku DMI

No	Jenis Penggunaan Air	Jenjang Kota		
		Provinsi	Kabupaten	Kecamatan
1	Domestik ( D)	120 l/org/hari	100 l/org/hari	80 l/org/hari
2	Pelayanan Umum	35% D	25 %D	10% D
3	Industri	25% D	20% D	20% D
4	Perdagangan	25%	20%	15%
5	Air Hilang	15%	15%	10%
6	Penggelontoran	40%	35%	30%

Sumber : Direktorat Teknik Penyehatan, Ditjen Cipta Karya, Dep KIMPRASWIL

Sehingga perhitungan kebutuhan air domestik adalah jumlah orang atau jumlah unit dikalikan dengan kebutuhan airnya sesuai pedoman kebutuhan air baku DMI pada Tabel 3.11. Contoh hasil perhitungan kebutuhan air domestik ditampilkan seperti Tabel 3.12.

Tabel 3.12. Contoh Rekapitulasi Kebutuhan Air Domestik Pada Masing-masing DAS

SSWS	DAS	Luas (KM <sup>2</sup> )	Total Keb Air Domestik (MCM/Thn)
JEREWEH	Jereweh	112,75	0,28
	Sekongkang	42,64	0,06
	Sejorong	67,22	0,05
REA	Rea	816,64	0,62
RHEE	Pernang	78,16	0,25
	Utari	79,01	0,59
	Semonte	84,66	0,55
	Rhee	218,07	0,54
	Bij	271,77	0,64
MOYO HULU	Pongal	770,75	2,74
	Songkang	144,94	0,15
P MOYO	Kompl P Moyo	454,10	0,54
AMPANG	Maronge	113,43	0,19
	Kolong	13,63	0,06
	Nangagali	219,39	0,22
	Empang	155,46	0,18
HODDO	Kompl Doropeti	40,81	0,03
	Pekati	35,54	0,14
	Kadindi	31,89	0,18
BANGGO	Kempo	45,68	0,35
	Lanco	23,50	0,12
	Kambu	247,79	0,68
	Nae	54,26	0,05
PARADO	Parado	242,04	2,35
	Keli	167,31	0,94
	Campa	211,28	1,41
	Mpodo	56,67	0,30
	Nampa	26,01	0,19
	Santa	11,90	0,10
	Kompl Puntti	18,21	0,08
	Kompl Pencaka	12,98	0,07
	Kompl Nungga Nae	5,23	0,07
	Toletumpu	11,29	0,06
	Ambalawi	9,58	0,18
	Kompl Tololai	15,44	0,20
	Kompl Mawu	18,99	0,26
	Kompl Ndawa	21,15	0,11
	Tala	110,35	0,38
	Tenga	103,87	0,57
	Rontu	156,72	0,65
Belo	196,98	1,23	
SARI	Wora	39,70	0,16
	Tawali	94,42	0,37
	Sari	144,93	0,74
RIMBA	Tonggaombo	84,93	0,82
	Nae/Lanta	155,22	1,15
BAKA	Raba Baka	230,56	0,91
	Laba Laju	221,04	1,13
	Depa	63,46	0,35
	Daha	40,87	0,38
BAKO	Jemplung	36,10	0,15
	Labangka	62,57	0,20
	Bako	81,86	0,05
	Peniris	38,04	0,09
BEH	Beh	1404,38	0,97
	Knda	54,11	0,05
	Ruwat	65,25	0,04
	Sanggane	54,11	0,12

#### 4) Potensi Peternakan

Potensi peternakan dievaluasi berdasarkan kebutuhan air untuk peternakan yang dipengaruhi oleh jumlah dan jenis ternak. Tabel di bawah ini menunjukkan kebutuhan akan air untuk masing-masing jenis ternak.

Tabel 3.13. Kebutuhan Air per Jenis Ternak

No.	Jenis Ternak	Kebutuhan air (lt/hari/ekor)
1	Sapi / kerbau / kuda	40
2	Kambing / domba	4
3	Babi	6
4	Unggas	0.6

Sumber: Anonim, Dinas Peternakan NTB, 2005

Sehingga perhitungan kebutuhan air peternakan adalah jumlah ternak dikalikan dengan kebutuhan airnya sesuai Tabel 3.13. Contoh hasil perhitungan kebutuhan air peternakan ditampilkan seperti Tabel 3.14.

Tabel 3.14. Contoh Rekapitulasi Kebutuhan Air Ternak Pada Masing-masing DAS Prioritas

SSWS	DAS	Luas (KM <sup>2</sup> )	Total Keb Air Ternak (MCM/thn)
JEREWEH	Jereweh	112,75	0,05
	Sekongkang	42,64	0,01
	Sejorong	67,22	0,01
REA	Rea	816,64	0,17
RHEE	Pemang	78,16	0,04
	Utah	79,01	0,09
	Semonte	84,66	0,09
	Rhee	218,07	0,08
	Bij	271,77	0,10
MOYO HULU	Pongal	770,75	0,50
	Songkang	144,94	0,03
P MOYO	Kompi P Moyo	454,10	0,12
AMPANG	Maronge	113,43	0,13
	Kolong	13,63	0,04
	Nangagali	219,39	0,15
	Empang	155,46	0,12
HODDO	Kompi Doropeti	40,81	0,01
	Pekat	35,54	0,02
	Kadindi	31,69	0,03

.....dilanjutkan

Lanjutan Tabel 3.14

SSWS	DAS	Luas (KM <sup>2</sup> )	Total Keb Air Ternak (MCM/thn)
BANGGO	Kempo	45,68	0,06
	Lanco	23,50	0,02
	Kambu	247,79	0,11
	Nae	54,26	0,01
PARADO	Parado	242,04	0,17
	Keli	167,31	0,07
	Campa	211,28	0,10
	Mpodo	66,67	0,02
	Nampa	26,01	0,01
	Santa	11,90	0,01
	Kompl Puntl	18,21	0,01
	Kompl Pencaka	12,98	0,01
	Kompl Nungga Nae	5,23	0,00
	Tolotumpu	11,29	0,00
	Ambalawi	9,58	0,01
	Kompl Tololai	15,44	0,01
	Kompl Mawu	18,99	0,02
	Kompl Ndawa	21,15	0,01
	Tala	110,36	0,03
	Tenga	103,87	0,04
Rontu	156,72	0,06	
Belo	196,98	0,09	
SARI	Wora	39,70	0,03
	Tawali	94,42	0,08
	Sari	144,93	0,15
RIMBA	Tonggaombo	84,93	0,12
	Nae/Lanta	155,22	0,16
BAKA	Raba Baka	230,56	0,11
	Laba Laju	221,04	0,14
	Depa	63,46	0,04
	Daha	40,87	0,05
BAKO	Jemplung	36,10	0,03
	Labangka	82,57	0,04
	Bako	81,86	0,01
	Penins	38,04	0,02
BEH	Beh	1404,38	0,34
	Krida	54,11	0,02
	Ruwat	55,25	0,02
	Sanggane	54,11	0,05

Analisis kebutuhan air tahunan merupakan penjumlahan dari kebutuhan air irigasi, air domestik dan kebutuhan air untuk ternak berikut proyeksi neraca air kedepan (Sulistiyono dkk, 2000). Contoh rekapitulasi hasil analisis kebutuhan air tahunan berikut proyeksi kebutuhan air tahunan hingga 20 tahun kedepan ditunjukkan dalam Tabel 3.15 dan 4.16 sebagai berikut:



Tabel 3.15 Contoh Rekapitulasi Kebutuhan Air Tahunan Pada Masing-masing DAS

SSWS	DAS	Luas (km <sup>2</sup> )	Luas DI (ha)	Jumlah Penduduk (jiwa)	Total Kebutuhan Air Irigasi (MCM/Thn)	Total Kebutuhan Air Domestik (MCM/Thn)	Total Kebutuhan Air Ternak (MCM/Thn)	Total Kebutuhan Air (MCM/Thn)
JEREWEH	Jereweh	112,75	993,00	9424,40	15,55	0,26	0,05	15,87
	Sekongkang	42,64	1060,00	2002,69	16,60	0,06	0,01	16,66
	Sejorong	67,22	816,00	1767,08	12,79	0,05	0,01	12,84
REA	Rea	816,64	5997,00	21372,30	93,89	0,62	0,17	94,68
RHEE	Pemang	78,16	1557,00	8551,06	24,38	0,25	0,04	24,66
	Utan	79,01	2400,00	20156,07	37,57	0,59	0,09	38,25
	Semante	84,66	1542,00	18934,49	24,14	0,55	0,09	24,78
	Rhee	218,07	403,00	18323,70	6,31	0,54	0,08	6,93
	Biji	271,77	2409,00	21988,44	37,72	0,64	0,10	38,46
MOYO HULU	Pongal	770,75	19654,00	93909,54	307,70	2,74	0,50	310,95
	Songkang	144,94	2440,00	5048,90	38,20	0,15	0,03	38,38
P MOYO	Kompl P Moyo	454,10	600,00	18578,00	9,39	0,54	0,12	10,05
AMPANG	Maronge	113,43	10183,00	6605,04	159,43	0,19	0,13	159,75
	Kolong	13,63	3337,00	2032,32	52,24	0,06	0,04	52,34
	Nangagali	219,39	8263,00	7621,20	129,37	0,22	0,15	129,74
	Empang	155,46	6725,00	6096,96	105,29	0,18	0,12	105,59
HODDO	Kompl Doropeti	40,81	250,00	1136,34	6,42	0,03	0,01	6,47
	Peklat	35,54	1277,00	4924,14	27,71	0,14	0,02	27,88
	Kadindi	31,69	848,00	6060,48	18,40	0,18	0,03	18,61
BANGGO	Kampo	45,68	1245,00	12004,80	27,01	0,36	0,06	27,42
	Lanco	23,50	566,00	4201,68	12,28	0,12	0,02	12,42
	Kambo	247,79	4703,00	23409,36	102,05	0,68	0,11	102,84
	Nae	54,26	557,00	1800,72	12,09	0,05	0,01	12,15
PARADO	Parado	242,04	6687,00	80413,37	145,09	2,36	0,17	147,62
	Keli	167,31	1648,00	32357,57	36,76	0,94	0,07	36,77
	Campa	211,28	7620,00	48376,17	166,34	1,41	0,10	166,86
	Mpodo	56,67	1191,00	10251,90	25,84	0,30	0,02	26,16
	Nampa	26,01	506,00	6407,44	10,98	0,19	0,01	11,18
	Santa	11,90	21,00	3524,09	0,46	0,10	0,01	0,57
	Kompl Pundi	18,21	53,00	2883,36	1,15	0,08	0,01	1,24
	Kompl Pencaka	12,98	0,00	2562,96	0,00	0,07	0,01	0,08
	Kompl Nungga Nae	5,23	0,00	2242,60	0,00	0,07	0,00	0,07
	Tolotumpu	11,29	0,00	1922,23	0,00	0,06	0,00	0,06
	Ambalawi	9,58	0,00	6087,07	0,00	0,18	0,01	0,19
	Kompl Tolotai	15,44	52,00	6727,81	1,13	0,20	0,01	1,34
	Kompl Mawu	18,99	107,00	8970,42	2,32	0,26	0,02	2,60
	Kompl Ndawa	21,15	16,00	3844,46	0,35	0,11	0,01	0,47
	Tala	110,35	808,00	13135,25	17,53	0,38	0,03	17,94
	Tenga	103,87	969,00	19542,69	20,81	0,57	0,04	21,42
	Rontu	156,72	1401,00	29153,85	30,40	0,86	0,06	31,31
Belo	196,98	3941,00	41968,73	65,51	1,23	0,09	66,83	
SARI	Wora	39,70	755,00	5588,86	16,38	0,16	0,03	16,58
	Tawali	94,42	1935,00	12702,00	41,99	0,37	0,08	42,43
	Sari	144,93	1731,00	25404,00	37,58	0,74	0,15	38,45
RIMBA	Tonggaombo	84,93	523,00	28063,00	11,35	0,82	0,12	12,28
	Nae/Lanta	155,22	4010,00	39288,20	87,01	1,15	0,16	88,32
BAKA	Raba Baka	230,56	2030,00	31207,25	44,05	0,91	0,11	45,07
	Labu Laju	221,04	7821,00	38696,99	169,70	1,13	0,14	170,97
	Depa	63,46	1169,00	11858,76	25,36	0,36	0,04	25,75
	Daha	40,87	1337,00	13107,05	29,01	0,38	0,05	29,44
BAKO	Jemplung	36,10	150,00	5018,55	3,25	0,15	0,03	4,23
	Labangka	82,57	200,00	6891,40	4,34	0,20	0,04	5,64
	Bako	81,86	19,00	1872,85	0,41	0,05	0,01	0,57
	Perinis	38,04	40,00	3011,13	0,87	0,09	0,02	1,19
BEH	Beh	1404,38	4770,00	33209,60	74,68	0,97	0,34	75,99
	Knda	54,11	150,00	1868,04	2,35	0,05	0,02	2,42
	Ruwat	55,25	146,00	1452,92	2,29	0,04	0,02	2,34
	Sangane	54,11	100,00	4151,20	1,57	0,12	0,05	1,73

Tabel 3.16 Contoh Rekapitulasi Proyeksi Kebutuhan Air Tahunan Pada Masing-masing DAS Hingga 20 Tahun Mendatang

SSWS	DAS	Luas (km <sup>2</sup> )	Juni Pendd (jiwa)	Laju Pertumbuhan Penduduk per tahun (Kecamatan dim angka, 2004)	Total Kebutuhan Air (MCM)	Kebutuhan Air Perkapita (m <sup>3</sup> /org)	Total Kebutuhan Air 5 thn mendatang (MCM)	Proyeksi Kebutuhan Air Perkapita 5 tahun mendatang	Total Kebutuhan Air 10 thn mendatang (MCM)	Proyeksi Kebutuhan Air Perkapita 10 tahun mendatang	Total Kebutuhan Air 20 thn mendatang (MCM)	Proyeksi Kebutuhan Air Perkapita 20 tahun mendatang
JEREWEH	Jereweh	112,75	9.424	0,80	15,87	1683,87	16,51	1752,31	17,19	1823,53	18,61	1974,78
	Sekongkang	42,64	2.003	0,80	16,66	8320,83	17,34	8659,03	18,05	9010,98	19,54	9758,37
	Sejorong	67,22	1.767	0,80	12,84	7263,91	13,36	7559,15	13,90	7866,39	15,05	8518,65
REA	Rea	816,64	21372,3	0,84	94,68	4430,21	98,73	4619,43	102,94	4816,73	111,04	5195,59
RHEE	Pemang	78,16	8551,06	1,05	24,66	2884,39	25,99	3039,04	27,38	3201,97	28,93	3382,71
	Utari	79,01	20166,07	1,05	30,25	1897,98	40,30	1999,63	42,47	2106,84	44,96	2225,77
	Semonte	84,66	18934,49	1,05	24,78	1308,71	26,11	1378,89	27,51	1452,80	29,06	1534,81
	Rhee	218,07	18323,7	1,05	6,93	378,04	7,30	398,30	7,69	419,66	8,12	443,35
	Bij	271,77	21988,44	1,05	38,46	1748,94	40,52	1842,71	42,69	1941,50	45,10	2051,09
MOYO HULU	Pongal	770,75	93909,54	0,91	310,95	3311,16	325,36	3464,58	340,43	3625,11	364,67	3883,20
	Songkang	144,94	5048,9	0,91	38,38	7600,70	40,15	7952,88	42,01	8321,38	45,01	8913,82
P MOYO	P Moyo	454,10	18578	0,50	10,05	541,20	10,31	554,87	10,57	568,88	11,79	634,70
AMPANG	Maronge	113,43	6605,04	0,80	159,75	24186,08	166,24	25169,13	173,00	26192,13	187,35	28364,57
	Kolong	13,63	2032,32	0,80	52,34	25755,82	54,47	26802,67	56,69	27892,07	61,39	30205,50
	Nanggali	219,39	7621,2	0,80	129,74	17023,63	135,01	17715,56	140,50	18435,61	152,16	19964,71
	Empang	155,46	6096,96	0,80	105,59	17317,91	109,88	18021,80	114,34	18754,30	123,83	20309,82
HODOO	Kompl Dorong	40,81	1136,34	0,80	5,47	4810,56	5,69	5006,08	5,92	5209,56	6,41	5841,65
	Pekat	35,54	4924,14	0,80	27,88	5660,93	29,01	5891,02	30,19	6130,46	32,69	6639,94
	Kadindi	31,69	6060,48	0,80	18,61	3069,89	19,36	3194,67	20,15	3324,52	21,82	3600,26
BANGGO	Kempo	45,68	12004,8	0,70	27,42	2284,13	28,39	2365,20	29,40	2449,15	32,16	2678,74
	Lanco	23,50	4201,68	0,70	12,42	2966,75	12,86	3061,70	13,32	3170,37	14,57	3467,57
	Kambu	247,79	23409,36	0,70	102,84	4393,04	106,49	4548,97	110,27	4710,43	120,61	5152,00
	Nae	54,26	1800,72	0,70	12,15	6745,50	12,58	6884,92	13,02	7232,84	14,25	7910,88
PARADO	Parado	242,04	80413,37	0,80	147,62	1835,72	153,62	1910,33	159,86	1987,98	173,12	2152,87
	Keli	167,31	32357,57	0,80	36,77	1136,46	38,27	1182,65	39,82	1230,72	43,13	1332,80
	Campa	211,28	48376,17	0,80	166,86	3449,14	173,64	3689,33	180,70	3735,22	195,68	4045,02
	Mpodo	56,67	10251,9	0,80	26,16	2652,10	27,23	2665,83	28,33	2763,77	30,68	2993,01
	Nampa	26,01	6407,44	0,80	11,18	1744,87	11,63	1815,79	12,11	1889,59	13,11	2046,32
	Saria	11,90	3524,092	0,80	0,57	160,66	0,59	167,19	0,61	173,99	0,66	188,42
	Kompl Punt	18,21	2883,348	0,80	1,24	430,20	1,29	447,89	1,34	465,89	1,45	504,53
	Kompl Penca	12,98	2562,976	0,80	0,08	31,36	0,08	32,64	0,09	33,96	0,09	36,78
	Kompl Nung	5,23	2242,604	0,80	0,07	31,36	0,07	32,64	0,08	33,96	0,08	36,78
	Tolotumpu	11,29	1922,232	0,80	0,06	31,36	0,06	32,64	0,07	33,96	0,07	36,78
	Ambalawi	9,58	6087,068	0,80	0,19	31,36	0,20	32,64	0,21	33,96	0,22	36,78
	Kompl Tololai	15,44	6727,812	0,80	1,34	199,07	1,39	207,16	1,45	215,58	1,57	233,46
	Kompl Mawu	18,99	8970,416	0,80	2,60	290,18	2,71	301,97	2,82	314,25	3,05	340,31
	Kompl Ndawa	21,15	3844,464	0,80	0,47	121,67	0,49	126,61	0,51	131,76	0,55	142,69
	Tala	110,35	13135,25	0,80	17,94	1366,09	18,67	1421,62	19,43	1479,40	21,04	1802,10
	Tenga	103,87	19542,69	0,80	21,42	1096,13	22,29	1140,68	23,20	1187,04	25,12	1285,50
	Rontu	156,72	29153,85	0,80	31,31	1074,07	32,59	1117,73	33,91	1163,16	36,72	1259,63
Belo	196,98	41968,73	0,80	86,83	2088,88	90,36	2152,97	94,03	2240,47	101,83	2426,30	
SARI	Wora	39,70	5688,88	0,80	16,58	2966,38	17,25	3086,95	17,95	3212,42	19,44	3478,87
	Tawai	94,42	12702	0,80	42,43	3340,54	44,16	3476,42	45,95	3617,72	49,76	3917,78
	Sari	144,93	25404	0,80	38,45	1513,68	40,02	1575,21	41,64	1639,23	45,10	1775,19
RINEA	Tonggaombo	84,93	28063	0,80	12,28	437,71	12,78	455,80	13,30	474,02	14,41	513,33
	Nae/Lanta	155,22	39288,2	0,80	88,32	2247,97	91,91	2339,34	95,64	2434,42	103,58	2636,34
BAKA	Raba Baka	230,56	31207,25	0,60	45,07	1444,14	46,44	1487,99	47,85	1533,17	52,85	1693,64
	Laba Laju	221,04	38696,99	0,60	170,97	4418,07	176,16	4552,21	181,51	4690,42	200,50	5181,35
	Depa	63,48	11858,78	0,60	25,75	2171,63	26,53	2237,57	27,34	2305,51	30,20	2546,81
	Daha	40,87	13107,05	0,60	29,44	2245,04	30,33	2314,24	31,25	2384,50	34,52	2634,08
BAKO	Jemplung	36,10	5018,55	0,50	4,23	843,18	4,34	864,47	4,45	886,30	4,96	988,85
	Labangka	82,57	6691,4	0,50	5,64	843,18	5,78	864,47	5,93	886,30	6,62	988,85
	Bako	81,86	1672,85	0,50	0,57	342,36	0,59	351,00	0,60	359,86	0,67	401,50
	Peniris	38,04	3011,13	0,50	1,19	394,41	1,22	404,37	1,25	414,58	1,39	462,55
BEH	Beh	1404,38	33209,6	0,63	75,99	2288,21	78,41	2361,20	80,92	2436,52	89,12	2683,53
	Knda	54,11	1868,04	0,63	2,42	1296,81	2,50	1338,18	2,58	1380,86	2,84	1520,85
	Ruwat	55,25	1452,92	0,63	2,34	1612,89	2,42	1664,34	2,50	1717,43	2,75	1891,54
	Sanggane	54,11	4151,2	0,63	1,73	417,45	1,79	430,77	1,85	444,52	2,03	489,58

### 3.7. ANALISIS KESEIMBANGAN AIR

Analisis keseimbangan air adalah suatu analisis yang menggambarkan pemanfaatan suatu DAS yang didasarkan pada nilai rasio antara ketersediaan air dan kebutuhan air. Faktor-faktor yang digunakan dalam perhitungan keseimbangan air ini adalah ketersediaan air tiap node/titik kontrol yang dikaji meliputi air permukaan dan air tanah, dan kebutuhan air tiap pada DAS yang dikaji meliputi kebutuhan air untuk irigasi, air baku, peternakan. Dari hasil perhitungan keseimbangan (neraca) air tersebut dapat diketahui indeks kekritisitas air (IKA) yaitu ratio antara ketersediaan air dan kebutuhan air pada suatu node/titik kontrol pada DAS yang bersangkutan (Sulistiyono dkk, 2000)..

Indikator keseimbangan air ditunjukkan oleh rentang IKA sebagai berikut :

Tabel 3.17. Klasifikasi Keseimbangan (Neraca) Air berdasarkan IKA

No.	IKA	Kategori
1	$IKA \leq 50 \%$	Surplus
2	$50 \% < IKA < 70 \%$	Kritis
3	$IKA \geq 70 \%$	Defisit

Sumber : NSDAD Aspek Air Permukaan Provinsi NTB

Persamaan untuk menghitung IKA adalah sebagai berikut:

$$IKA = Abs\left(\frac{KebutuhanAir}{KetersediaanAir}\right) \times 100\% \quad (3.6)$$

dengan :

IKA : Indeks Kekritisitas Air (%)

Selanjutnya analisis keseimbangan air tahunan berdasarkan ketersediaan air dan kebutuhan air di setiap SSWS dan DAS-DAS. Contoh perhitungan keseimbangan air tahunan ditampilkan pada Tabel 3.18 sebagai berikut:



Tabel 3.18. Contoh Rekapitulasi Keseimbangan Air Tahunan Pada Masing-masing DAS

SSWS	DAS	Luas (km <sup>2</sup> )	DI (ha)	Juml Penduduk (jiwa)	Ketersediaan Air (MCM/Thn)	Total Keb Air (MCM/Thn)	Keseimbangan Air (MCM/thn)	IRA (%)	Keterangan
JEREWEH	Jereweh	112,75	993	9.424	36.76742823	15.86944567	20.89796256	43,162%	SURPLUS
	Sekongkang	42,64	1060	2.003	13.30484945	16.66400551	-3.359156051	125,248%	DEFISIT
	Sejorong	67,22	816	1.767	21.39176095	12,83586556	8.555895285	60,004%	KRITIS
REA	Rea	616,6362	5997	21372,3	202,9392766	94.68375096	108,2555256	0.46656198	SURPLUS
RHEE	Pemang	78,1627	1557	8551,06	10.5998274	24.66462767	-14.06480027	2.32688966	DEFISIT
	Utan	79,0069	2400	20156,07	20.24246069	38.25381264	-18.01135195	1.88978075	DEFISIT
	Semonte	84,66	1542	18934,49	19.5410124	24.77978812	-5.238775722	1.26809132	DEFISIT
	Rhee	218,073	403	18323,7	37.0194785	6.927015957	30.09246264	0.18711814	SURPLUS
	Bji	271,77	2409	21988,44	33,07090657	38.45648143	-5.385574863	1.16284933	DEFISIT
MOYO HULU	Pongal	770,75	19654	93909,54	47.39610097	310,9491312	-263.5510302	6.56637109	DEFISIT
	Songkang	144,94	2440	5048,9	37,67263733	38.37516189	-0.702324562	1.01864273	DEFISIT
P MOYO	Kompl P Moyo	454,1	600	18578	85,42725284	10,05449178	75.37276106	0.11769654	SURPLUS
AMPANG	Maronge	113,4339	10183	6605,04	7,87562457	159,7500405	-151,8744159	20,2841107	DEFISIT
	Kolong	13,6309	3337	2032,32	1,143242671	52,34406968	-51,20082701	45,7956158	DEFISIT
	Nangagali	219,3871	8263	7621,2	40,4532429	129,7405193	-89,28727639	3,20717228	DEFISIT
	Empang	155,4625	6725	6096,96	20,64310089	105,586593	-84,94349215	5,11496107	DEFISIT
HODDO	Kompl Doropeti	40,81	250	1136,34	4,021837886	5,466430587	-1,4445927	1,3691872	DEFISIT
	Pekati	35,535	1277	4924,14	3,744917293	27,8752287	-24,13031141	7,44348313	DEFISIT
	Kadindi	31,888	848	6080,48	3,51893572	18,60503189	-14,98609617	5,14102303	DEFISIT
BANGGO	Kempo	45,6816	1245	12004,8	9,299851777	27,42048136	-18,12062958	2,94849585	DEFISIT
	Lanco	23,5	566	4201,68	2,947991976	12,42333298	-9,475340999	4,21416784	DEFISIT
	Kambu	247,79	4703	23409,36	32,84759974	102,8383131	-69,99071341	3,13077101	DEFISIT
	Nae	54,2626	557	1800,72	7,589606223	12,1467957	-4,577150481	1,60467485	DEFISIT
PARADO	Parado	242,04	6687	80413,372	44,040453	147,5165611	-103,5761081	3,35184021	DEFISIT
	Keli	167,31	1648	32357,572	29,87895099	36,77314681	-6,894195818	1,23073755	DEFISIT
	Campa	211,28	7620	46376,172	37,33689862	166,8560002	-129,5201016	4,46905007	DEFISIT
	Mpodo	56,67	1191	10251,904	9,086427219	26,16385236	-17,07742514	2,87944334	DEFISIT
	Nampa	26,01	506	6407,44	4,162829313	11,18014697	-7,01731766	2,68570872	DEFISIT
	Santa	11,9	21	3624,092	1,927996763	0,566185435	1,361811328	0,29366514	SURPLUS
	Kompl Pundi	18,21	53	2883,348	2,931420631	1,240425538	1,690995093	0,42314826	SURPLUS
	Kompl Pencaka	12,98	0	2562,976	2,255560394	0,080383589	2,175176805	0,03563797	SURPLUS
	Kompl Nunnga Nae	5,23	0	2242,804	0,909085557	0,07033564	0,838749916	0,07736966	SURPLUS
	Tolotumpu	11,29	0	1922,232	1,961797533	0,060287892	1,901509641	0,03073004	SURPLUS
	Ambalawi	9,58	0	6087,068	1,654917949	0,190911024	1,474006925	0,11466693	SURPLUS
	Kompl Tololai	15,44	52	6727,812	2,691712436	1,339302921	1,352409515	0,47956538	SURPLUS
	Kompl Mawu	18,99	107	8970,416	3,299900811	2,803028962	0,696872249	0,78882024	DEFISIT
	Kompl Ndawa	21,15	16	3844,464	4,742376576	0,467743394	4,274633192	0,09653059	SURPLUS
	Tala	110,35	808	13135,252	19,30836132	17,94394989	1,364411425	0,92933572	DEFISIT
	Tenga	103,87	959	19542,892	18,30114258	21,42130687	-3,120164289	1,17049014	DEFISIT
	Rontu	156,72	1401	29153,852	26,40952849	31,31326133	-4,903732841	1,10568044	DEFISIT
Belo	196,98	3941	41968,732	35,59432325	86,82809927	-51,23377602	2,43938053	DEFISIT	
SARI	Wora	39,8955	755	5588,88	7,200668123	16,57875773	-9,378089607	2,30239159	DEFISIT
	Tawali	94,4209	1935	12702	16,59987244	42,43282939	-25,83295694	2,56619878	DEFISIT
	Sari	144,9266	1731	25404	25,95627492	38,45363677	-12,49536186	1,48136334	DEFISIT
RIMBA	Tonggaombo	84,93	523	28063	13,66358664	12,28349549	1,380091146	0,89899496	DEFISIT
	Nae/Lanta	155,22	4010	39288,2	28,68659999	88,31859009	-59,6319981	3,07874053	DEFISIT
BAKA	Raba Baka	230,5572	2030	31207,25	32,24490774	45,06778202	-12,82287428	1,3976713	DEFISIT
	Laba Laju	221,0374	7821	38896,99	33,22467625	170,9659021	-137,7412259	5,14575073	DEFISIT
	Depa	63,4627	1169	11858,755	10,78938182	25,75288197	-14,96350014	2,3868728	DEFISIT
	Daha	40,8685	1337	13107,045	6,130566159	29,43897965	-23,30841349	4,80200016	DEFISIT
BAKO	Jemplung	35,102	150	5018,55	2,06728834	4,231545891	-2,164257551	2,04690548	DEFISIT
	Labangka	82,5708	200	6691,4	5,539956305	5,642061187	-0,102104882	1,01843063	DEFISIT
	Bako	81,8583	19	1672,85	11,31325593	0,572709297	10,74054664	0,05062285	SURPLUS
	Penins	38,04	40	3011,13	5,95903436	1,187627534	4,771406826	0,19929666	SURPLUS
BEH	Beh	1404,38	4770	33209,6	189,3571374	75,99049857	113,3666388	0,40130781	SURPLUS
	Krida	54,11	150	1868,04	7,857441453	2,422492994	5,434948459	0,30830557	SURPLUS
	Ruwat	55,25	146	1452,92	8,022983557	2,343403884	5,679579673	0,29208634	SURPLUS
	Sanggane	54,11	100	4151,2	7,857441453	1,732948995	6,124492457	0,22054876	SURPLUS

# BAB IV

## PENGENDALIAN SUNGAI SEBAGAI SUMBER DAYA AIR

**B**ab ini menjelaskan mengenai referensi teknik pengendalian sungai di Indonesia, pengertian istilah-istilah yang digunakan dalam Teknik Sungai, permasalahan yang sering timbul, strategi dan konsep penanganan, pekerjaan survai yang harus dilakukan dalam penanganan sungai, dan analisis penanganan.

### 4.1. REFERENSI MENGENAI TEKNIK PENGENDALIAN SUNGAI DI INDONESIA

Referensi–referensi tentang sungai yang pernah ataupun yang masih berlaku di Indonesia, antara lain:

- a. Standar Nasional Indonesia sesuai Instruksi Menteri Pekerjaan Umum No. 04/IN/m/1991, Tanggal 24 Juni 1991
- b. Pedoman Teknik Bidang Pekerjaan Umum, sesuai Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No. 341/KPTS/1991, Tanggal 30 September 1999
- c. Tata Cara Perencanaan Teknik Pelindung Tebing Sungai Dari Pasangan Batu, SNI 03-3441-1994
- d. Pedoman Perencanaan Hidrologi dan Hidrolik untuk Bangunan di Sungai, SKBI – 1.3.10. 1987, UDC : 626.12 ( 083.7 )
- e. Cara Menghitung Design Flood, Ditjen Pengairan Direktorat Sungai dan Departemen Pekerjaan Umum. 1992.
- f. UU No.7/2004, tentang Pengelolaan PSDA
- g. PP No. 25/2000, tentang Kewenangan Pemerintah & Pemerintah Propinsi
- h. UU No. 22/1999, tentang Otonomi Daerah
- i. UU No. 24/1992, tentang Penataan Ruang
- j. PP No. 35/1991, tentang Sungai
- k. KEPRES No. 32/1990, tentang Pengelolaan Kawasan Lindung
- l. PERMEN PU No. 42/PRT/1990, tentang Pengelolaan Atas Air dan Sumber Air Pada Wilayah Sungai
- m. PERMEN PU No. 45/PRT/1990, tentang Pengendalian Mutu Air Pada Sumber-Sumber Air
- n. PERMEN PU. No. 30/PRT/1989, tentang Pembagian Wilayah Sungai

- o. PP No. 14/1987, tentang Penyerahan Sebagian Pemerintahan Di Bidang PU kepada Daerah
- p. PP No. 22/1982, tentang Tata Pengaturan Air
- q. UU No. 11/1974, tentang Pengairan
- r. INPRES No. 1/1969, tentang Pelaksanaan Pengelolaan Pengairan
- s. UU No. 17/2019, tentang Sumber Daya Air.

Beberapa pengertian yang berkaitan dengan masalah pengendalian banjir yang diambil dari referensi-referensi tersebut dapat diuraikan di bawah ini.

- a. **Sungai**, adalah wadah atau penampung dan penyalur alamiah dari aliran air dengan segala yang terbawa dari DAS ke tempat yang lebih rendah dan berakhir di laut; atau sistem pengaliran air mulai dari mata air samapai muara dengan dibatasi kanan kirinya serta sepanjang pengalirannya oleh daerah sempadan.
- b. **Daerah Aliran Sungai (DAS)** adalah suatu kesatuan wilayah tata air yang terbentuk secara alamiah dimana air meresap dan/atau mengalir (dalam suatu sistem pengaliran) melalui lahan, anak sungai dan sungai induknya; dan DAS dibatasi tidak termasuk daerah laut.
- c. **Wilayah Sungai (WS)** adalah kesatuan wilayah tata pengairan sebagai hasil pengembangan satu atau lebih DAS.
- d. **Bantaran sungai** adalah lahan pada kedua sisi sepanjang palung sungai dihitung dari tepi sampai dengan kaki tanggul sebelah dalam.
- e. **Daerah Manfaat Sungai**, adalah mata air, palung sungai, dan daerah sempadan sungai yang telah dibebaskan.
- f. **Daerah Penguasaan Sungai**, adalah dataran banjir , daerah retensi, bantaran sungai atau daerah sempadan yang tidak dibebaskan.
- g. **Dataran banjir**, adalah lahan/dataran dikanan kiri sungai yang sewaktu-waktu bisa tergenang banjir.
- h. **Pengendalian banjir** adalah upaya struktur untuk mengatasi debit banjir sampai tingkat tertentu yang layak (bukan debit banjir terbesar).
- i. **Sudetan** adalah saluran buatan terbuka yang harus dapat berfungsi untuk memindahkan dan membagi aliran sungai. Pada umumnya sudetan dibangun pada sungai yang berbelok-belok agar alirannya dapat diluruskan.
- j. **Banjir kanal**, adalah saluran buatan terbuka yang berfungsi untuk membagi aliran sungai agar dapat mengendalikan banjir.

- k. **Tanggul banjir**, adalah bangunan yang berfungsi melindungi daerah rendah yang tinggi nilai ekonomisnya terhadap bahaya banjir. Tanggul biasanya ditempatkan di kiri dan atau di kanan sungai, umumnya didesain sebagai bangunan tipe urugan tanah namun di daerah permukiman padat, tanggul kadang-kadang dibangun sebagai dinding pasangan batu atau beton.

## **4.2. PERMASALAHAN SUNGAI**

### **4.2.1. Banjir**

Secara garis besar, banjir disebabkan oleh 3 (tiga) komponen, yaitu :  
kondisi alam (bersifat statis),  
peristiwa alam (bersifat dinamis),  
aktifitas/kegiatan manusia (bersifat dinamis).

#### **1. Kondisi alam**

Kondisi alam meliputi kondisi topografi, geografi dan geometri sungai. Dari segi topografi, daerah banjir umumnya terjadi di daerah yang relatif datar, dengan kemiringan 0 % - 2 %. Dari segi geografis, daerah dengan curah hujan tahunan tinggi akan lebih banyak mengalami bencana banjir dibandingkan dengan daerah dengan curah hujan tahunan rendah. Ditinjau dari geometri sungai, ruas sungai meander dan daerah *bottle neck* merupakan daerah yang umumnya terjadi banjir. Secara umum daerah-daerah yang disebutkan di atas merupakan daerah-daerah yang secara alamiah menyebabkan kapasitas pengaliran sungai menjadi kecil. Pengecilan kapasitas ini bisa disebabkan karena kecepatan aliran yang rendah (kemiringan dasar sungai yang kecil, daerah meander), keterbatasan luas penampang aliran (*bottle neck*) dan adanya penghalang aliran (*back water* karena adanya bangunan sungai ataupun karena pasang air laut).

#### **2. Peristiwa alam**

Peristiwa alam sebagai komponen dinamis penyebab terjadinya banjir, meliputi antara lain :

- curah hujan yang tinggi,
- back-water dari muka air laut pasang atau dari sungai induk,
- pendangkalan sungai (sedimentasi).

### **3. Kegiatan manusia**

Kegiatan manusia yang mengakibatkan terjadinya banjir, antara lain :

- pemanfaatan dataran banjir, berupa tata ruang/peruntukan dataran banjir yang tidak sesuai dengan fungsi bantaran sungai dataran banjir,
- pengaturan tata ruang DAS yang tidak sesuai dengan fungsinya sebagai daerah resapan/penahan aliran permukaan,
- adanya permukiman di bantaran sungai yang dapat memperkecil kapasitas aliran sungai,
- pembuatan bangunan-bangunan yang melintasi sungai yang dapat memperkecil penampang basah sungai.

#### **4.2.2. Permasalahan teknis**

Mengacu pada komponen terjadinya banjir, secara teknis terdapat permasalahan yang timbul dalam upaya penanganan masalah banjir. Permasalah-permasalahan tersebut diantaranya dapat disebutkan berikut ini:

- Kawasan dataran banjir pada umumnya telah berkembang menjadi kawasan budidaya seperti permukiman, industri, perdagangan, pertanian, sehingga upaya untuk mengatasi masalah banjir menjadi bersifat represif.
- Terjadinya perubahan sifat banjir, yakni debit banjir menjadi semakin membesar.
- Upaya struktur berupa sistem pengendalian banjir umumnya direncanakan untuk mengendalikan banjir sampai dengan debit tertentu sesuai dengan kelayakannya (secara teknis, ekonomis dan lingkungan) sehingga sistem tersebut belum disiapkan untuk mengantisipasi terjadinya debit banjir yang lebih besar yang dapat terjadi kapan saja.
- Kinerja sistem pengendali banjir yang ada tidak optimal akibat adanya keterbatasan biaya pembangunan dan OP.
- Penanganan masalah banjir baik diperkotaan maupun luar kota secara teknis merupakan satu kesatuan sistem akan tetapi secara administrasi seringkali harus dipisah.

#### **4.2.3. Permasalahan non teknis**

- Peran serta masyarakat dalam upaya mengatasi banjir masih rendah.



- Terdapat persepsi keliru di masyarakat terhadap upaya penanganan banjir secara struktur, dengan menganggap bahwa upaya tersebut dapat mengamankan daerah secara mutlak, sehingga terjadi over confidence dan over investment di dataran banjir.
- Beneficiaries pay principles sulit diterapkan pada upaya struktur, kecuali dikawasan-kawasan penting.
- Penegakan hukum belum berjalan dengan baik.



Gambar 4.1 Sungai Rea

Gambar 4.1 adalah bagian hilir (*downstream*) Sungai Rea di Kabupaten Sumbawa Barat, Provinsi NTB. Panjang keseluruhan sungai ini mencapai 65 km.

#### 4.3. ANALISIS MASALAH

Secara umum permasalahan yang terjadi sehubungan dengan upaya pengendalian banjir adalah sebagai berikut :

- merupakan faktor penunjang juga merupakan faktor pembatas dalam pengembangan wilayah.
- DAS di hulu yang berperan sebagai kawasan konservasi/lindung secara Timbul dan berkembangnya masalah banjir adalah seiring dengan berkembangnya aktivitas masyarakat di dataran banjir.

- Penataan ruang di dataran banjir yang dijadikan kawasan budidaya selama ini kurang mengantisipasi kemungkinan terjadinya banjir. Sungai selain alamiah sulit dipertahankan karena cenderung di eksploitasi untuk kegiatan ekonomi.
- Masyarakat baik yang bermukim di daerah hulu maupun dataran banjir belum berperan dan belum memahami permasalahan banjir yang mungkin timbul sebagai akibat aktivitasnya.
- Upaya struktur yang selama ini diandalkan belum dapat memenuhi tuntutan masyarakat.

#### **4.4. PENDEKATAN TEKNIS RENCANA PENGENDALIAN BANJIR**

Berpijak pada pendekatan masalah banjir baik akibat kondisi teknis maupun nonteknis, pendekatan teknis rencana pengendalian banjir harus bersifat menyeluruh (konprehensif) meliputi seluruh komponen dalam suatu Daerah Aliran Sungai (DAS), dalam kerangka *One River One Plan One Management*.

##### **4.4.1. Strategi penanganan masalah banjir**

Strategi upaya mengatasi masalah banjir bertujuan agar :

- terwujudnya pembudidayaan kawasan di dataran banjir yang tidak menimbulkan masalah banjir dan atau tidak meningkatkan masalah banjir yang telah ada,
- terwujudnya pengembangan kawasan DAS yang tidak menimbulkan perubahan sifat banjir,
- berkembangnya kesadaran dan peran serta masyarakat yang tinggal didataran banjir dalam mengatasi dan mengantisipasi masalah banjir,
- berkembangnya keasadaran dan peran serta masyarakat yang tinggal dikawasan DAS dalam mendukung upaya konservasi air dan tanah.

##### **4.4.2. Konsep penanganan masalah banjir secara represif**

Upaya mengatasi masalah banjir secara represif dapat dilakukan melalui dua cara yaitu :

- melalui upaya fisik/struktur,
- melalui upaya non fisik/non struktur.

Upaya fisik/struktur berupa pembangunan bangunan prasarana pengendalian banjir seperti :

- pembuatan tanggul untuk mencegah meluapnya banjir sampai tingkat tertentu,
- normalisasi, dan sudetan untuk merendahkan elevasi muka air banjir,
- pembuatan waduk, waduk retensi banjir, atau banjir kanal untuk memperkecil debit limpasan akibat debit banjir,
- pembuatan polder dan sistem drainasi untuk mengurangi genangan banjir.

Upaya non fisik/non struktur berupa :

- prakiraan banjir dan peringatan dini,
- penanggulangan banjir,
- tata ruang, penghijauan dan reboisasi DAS hulu,
- penetapan sempadan sungai,
- upaya preventif dengan mengatur pembudidayaan dataran banjir (*flood plain management*),
- penyuluhan dan penegakan hukum.

#### **4.4.3. Konsep penanganan masalah banjir secara preventif**

Upaya mengatasi masalah banjir secara preventif dilakukan melalui cara sebagai berikut :

- penyusunan tata ruang pembudidayaan dataran banjir yang disesuaikan dengan adanya kemungkinan tergenang banjir, dengan cara penyiapan peta resiko banjir (*flood plain zoning*) yang disesuaikan dengan tingkat kerawanannya terhadap banjir,
- pengaturan pembuatan bangunan dan semua kegiatan didataran banjir disesuaikan dengan tata ruang dan kemungkinan terjadinya genangan banjir,
- pengaturan tata ruang dan pembangunan serta kegiatan di DAS bagian hulu yang menunjang upaya konservasi tanah dan air,
- penerapan sempadan sungai dan penertiban penggunaan lahan di daerah manfaat sungai,
- penyusunan prakiraan banjir dan peringatan dini kepada masyarakat.

#### **4.5. SURVAI LAPANGAN**

Survai lapangan meliputi kegiatan pengamatan secara langsung lokasi sungai dan anak-anak sungai serta lokasi daerah banjir sampai muara sungai. Tujuan survai adalah untuk menentukan letak rencana lokasi pekerjaan dengan mempertimbangkan :

- kondisi geologis,

- kondisi topografis,
- kondisi regime sungai,
- kondisi sosial budaya masyarakat setempat.

Hasil survai lapangan berupa penetapan lokasi pekerjaan akan ditindak-lanjuti dengan kegiatan pemetaan situasi, survai daerah banjir dan genangan, survai hidrometri dan survei sosial ekonomi.

#### **4.5.1. Pengumpulan Data Primer**

Dalam pengumpulan data primer ini akan dilakukan pengamatan serta wawancara langsung untuk mengisi kuesioner tentang :

- kondisi daerah banjir,
- kondisi sosial ekonomi,
- kondisi fisik sungai dan sistem drainase,
- kondisi fisik DAS,
- pengukuran hidrometri dan pasang surut.

Gambaran kondisi daerah banjir yang diharapkan adalah daerah cakupan banjir, sampai sejauh mana lokasi pencapaian banjir, seberapa tinggi banjir yang terjadi, berapa lama terjadinya banjir dan berulang berapa tahun terjadinya banjir.

Survei kondisi sosial ekonomi dilakukan pada daerah rencana pekerjaan, yaitu di lokasi daerah rencana terusan/kanal dan daerah yang terkena dampak langsung dari banjir. Tinjauan diambil meliputi: mata pencaharian, penghasilan, jumlah keluarga, kepadatan penduduk, kerugian akibat banjir dan tanggapan penduduk terhadap rencana pekerjaan yang akan dilakukan.

Perkiraan kerugian banjir akan dilakukan berdasarkan survei penduduk dalam daerah yang direncanakan dan dilaksanakan untuk penyediaan keperluan data untuk perkiraan kerugian banjir. Survei akan mencakup juga tata guna lahan di daerah genangan.

Cakupan survei secara khusus bergantung pada ukuran dan homogenitas kondisi sosial ekonomi dari daerah yang disurvei. Biasanya, daerah yang besar akan lebih heterogen daripada daerah yang kecil. Jika daerah relatif kecil, survei penduduk masih mungkin. Jika daerah relatif besar, maka sampel survei untuk mewakili seluruh daerah mungkin diperlukan. Jika daerah relatif lebih besar atau heterogen, survei dapat dilaksanakan secara terpisah untuk tiap subyek daerah yang probabilitas banjirnya berbeda.

Kajian kondisi sungai merupakan salah satu dari langkah awal dalam perencanaan sistem pengendalian banjir. Kajian tersebut meliputi hal-hal berikut:

- pengamatan tampang sungai,
- penyebab-penyebab banjir,
- hubungan antara sedimen dan banjir,
- dampak pada massa yang akan datang dengan adanya usaha pengendalian banjir di sungai.

Beberapa prinsip perencanaan bangunan pengendalian banjir adalah sebagai berikut:

- tidak akan ada pengaruh yang berarti pada alur sungai,
- kontinuitas debit sedimen yang melewati sistem akan dipertahankan.

Pengamatan kondisi fisik Daerah Aliran Sungai (DAS) sangat perlu dilakukan untuk dapat mengetahui sejauhmana, kerusakan-kerusakan yang telah terjadi sehingga konsultan dapat memberikan rekomendasi langkah-langkah yang harus diambil untuk melestarikan daerah pengaliran sungai sebagai penyimpan air yang produktif.

Hal lain yang didapat adalah untuk dapat memprediksi seberapa besar debit banjir yang terjadi dan memperkirakan seberapa besar tinggi jagaan yang akan diambil.

Pengukuran hidrometri dilakukan untuk mendapatkan gambaran kondisi fluktuasi muka air sungai pada kondisi maksimum dan minimum. Dari data ini dapat dibuat sebagai acuan peramalan fluktuasi muka air maksimum dan minimum dengan kala ulang tertentu untuk perencanaan selanjutnya.

## **1. Pengukuran Topografi**

### **a. Pelaksanaan pekerjaan lapangan**

Maksud kegiatan survai topografi ini adalah mengumpulkan data–data untuk membuat data situasi detail terbaru yang lengkap dan sesuai dengan keadaan lapangan sebenarnya, berikut trase dan penampang yang diperlukan berdasarkan hasil pengukuran terestris atau gabungan pengukuran terestris.

Pekerjaan pengukuran topografi mencakup kegiatan– kegiatan sebagai berikut :

1. inventarisasi dan pemasangan Bench Mark ( BM ),  
pembuatan kerangka dasar pemetaan,

pengukuran situasi detail dan situasi rencana tapak bangunan,  
pengukuran trase sungai.

Pengukuran, pencatatan data, perhitungan dan penggambaran peta dilakukan dengan metoda yang sesuai dengan ketentuan–ketentuan yang berlaku dan dengan kecermatan yang tinggi agar tidak ditemui kesulitan dalam penafsiran dan penggunaan hasil akhir.

Pekerjaan pengukuran dalam survei topografi meliputi: titik awal, pemasangan patok-patok, pengukuran poligon, pengukuran situasi, pengukuran sipat datar, dan *stake out*.

#### **i. Pengukuran titik awal**

Titik awal pengukuran diikatkan pada titik triangulasi yang ada atau BM yang ada di lapangan.

#### **ii. Pemasangan patok**

Pemasangan patok dilakukan pada tempat – tempat tertentu, sesuai dengan rencana pengukuran, patok – patok ini digunakan sebagai tanda pengukuran di lapangan. Patok – patok ini terdiri dari patok sementara dan patok tetap (BM ).

#### **iii. Pengukuran poligon**

Pengukuran poligon dengan menggunakan Theodolite Wild type T2 atau yang sederajat, perhitungan yang digunakan dengan metoda Bouwidth.

- Pengukuran poligon dilakukan dengan sistem poligon terbuka dan terkontrol dua titik azimuth matahari.
- Pengukuran poligon dilakukan dengan kerapatan jarak antara titik poligon adalah 100 m (pada bagian yang tidak lurus).
- Kontrol azimuth ditentukan dengan cara pengukuran astronomis.
- Ketelitian pengukuran sudut maksimum 10” untuk setiap titik poligon.
- Kesalahan penutup sudut adalah  $20'' \sqrt{N}$ , dimana N adalah jumlah titik poligon.
- Kesalahan linier adalah  $\leq 1 : 5000$ .

#### **iv. Pengukuran situasi**

Pengukuran situasi menggunakan alat T0 dengan cara tachimetri. Semua batas yang ada di lapangan diukur seperti jalan, jembatan, anak sungai yang masuk ke sungai utama dan lain–lain.

#### v. Pengukuran sipat datar

- Melalui titik–titik poligon dan Bench Mark diadakan pengukuran waterpass yang merupakan kerangka vertikal dari pemetaan.
- Alat yang digunakan adalah Sipat Datar Otomatis, yaitu Automatic Levelling Wild type NAK 2 atau sejenisnya.
- Route waterpass dibagi atas seksi–seksi yang diukur pulang pergi dan tertutup (dari titik awal kembali ke titik awal).
- Toleransi waterpass yang diperbolehkan  $< 8 \text{ mm } \sqrt{D}$  dimana D adalah jarak dalam kilometer.
- Titik dasar ketinggian adalah titik ketinggian yang sudah ada.

#### vi. Stake Out / Uitzet

Pekerjaan *Stake Out/Uitzet* dilakukan berdasarkan peta olahan di lapangan dengan mengacu pada plotting layout rencana penanganan setelah dilakukan perhitungan di lapangan. Pekerjaan ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur T0 atau sederajat dan WP Ni 2/NAK

- Stake Out/Uitset dilakukan berdasarkan titik awal perencanaan, kearah sumbu yang tepat menurut azimuth/arah sesuai.
- Pada titik awal, titik akhir dan titik simpul pada sumbu saluran/tanggul berdasarkan perhitungan di lapangan akan dipasang patok 70 cm  $\phi$  4” yang ditanam sedalam 50 cm. Pada tiap jarak  $\pm 50$  m dipasang patok kayu  $\phi$  5–7 cm.
- Pengukuran profil memanjang pada trase sungai dilaksanakan pada jalur stakeout yang dikaitkan pada titik–titik tetap. Pengukuran trase dilakukan sepanjang sungai utama dan anak sungai.
- Profil melintang diukur tegak lurus kearah kiri/kanan rencana trase tanggul dengan jarak 25 m yang dilakukan dengan Theodolite Wild tipe T0. Sedangkan bagian badan sungai diukur dengan Echosounding, mengingat arus aliran sungai cukup deras dan ke dalam air yang cukup dalam. Pengukuran ini dilaksanakan setiap jarak 50 m untuk bagian yang lurus dan 25 m untuk bagian yang berbelok–belok.

### **b. Pemrosesan data**

Pada pemetaan topografi skala 1 : 1000 keseluruhan data akan diolah sementara di lapangan. Data kerangka kontrol horisontal dan vertikal dihitung setelah terbentuk loop. Bilamana titik referensi dari pemetaan terdahulu dapat ditemukan di lapangan, maka perhitungan akan didasarkan koordinat referensi ini. Data pemetaan topografi diolah secara bertahap setiap hari. Pemberian ketinggian titik detail dilakukan setelah olahan data evaluasi memenuhi syarat. Untuk pemetaan skala 1 : 200 pengukuran profil pengolahan data akan dilakukan di lapangan. Sedangkan pemrosesan data akan dilakukan secara digitasi /menggunakan program komputer.

### **c. Penggambaran**

Penggambaran manuscript peta skala 1 : 1000 juga dilaksanakan di lapangan. Sedangkan untuk peta skala 1 : 200 dan skala 1 : 100 akan dibuat di lapangan dan akan dilanjutkan di kantor dengan ukuran kertas A1. Legenda dan simbol peta mengikuti aturan standar yang berlaku Editing gambar akan menggunakan Bahasa Indonesia. Metode penggambaran dapat dilakukan secara konvensional yang kemudian diplot dengan menggunakan komputer setelah konsepnya benar.

## **2. Investigasi Geologi**

Investigasi geologi akan dilaksanakan pada rencana lokasi bangunan pengendali banjir, untuk mengetahui karakteristik rencana fondasi bangunan dan material timbunan tanggul. Investigasi geologi yang akan dilakukan meliputi :

- Sondir
- Hand boring dan pengambilan sample (disturbed sampling)
- Pembuatan sumur uji (test pit)
- Pengambilan contoh tanah tak terganggu (undisturbed sampling)

### **i. Sondir**

Tujuan umum dari pekerjaan ini adalah untuk mengetahui daya dukung tanah di tempat penelitian.

#### **a. Lokasi Pekerjaan**



Dilaksanakan pada rencana lokasi bangunan pengendali sungai (pintu air, perlindungan tebing, tanggul banjir dll)

b. Lingkup Pekerjaan

- Sondir yang dilaksanakan sampai dengan tanah keras dengan tekanan conus 150 kg/cm<sup>2</sup>, atau maksimum sampai kedalaman 25 m dari muka tanah. Penempatan sondir pada titik-titik yang tersebar pada lokasi pekerjaan dan berdekatan dengan lokasi hand boring dengan jumlah sondir tergantung kepada rencana bangunan pelindung yang disetujui oleh Direksi.
- Menyusun perencanaan kerja secara rinci, termasuk daftar peralatan yang dipakai beserta personilnya
- Survey lokasi untuk menentukan lokasi pekerjaan sondir
- Melaksanakan pekerjaan sondir, pemerian titik sondir, pencatatan data sondir
- Mengambil foto pekerjaan sondir disaat tekanan conus mencapai 150 kg/cm<sup>2</sup> dengan memperlihatkan nomor lokasi pekerjaan
- Lubang sondir yang sudah selesai dikerjakan diberi tanda berupa patok

c. Pelaksanaan Pekerjaan

Beberapa hal yang perlu diperhatikan saat pelaksanaan pekerjaan sondir adalah:

- Pemasangan angker harus benar-benar baik supaya pada saat pelaksanaan alat sondir tidak bergeser
- Tidak terjadinya bocoran oli di pembacaan conus, agar pembacaan bisa akurat
- Pencatatan yang akurat disetiap perubahan besaran conus sampai conus mencapai angka 150 kg/cm<sup>2</sup>
- Kedalaman sampai 25 m atau apabila mencapai conus 150 kg/cm<sup>2</sup>
- Keadaan cuaca
- Grafik dari data pekerjaan

ii. **Hand Boring**

Tujuan utama dari pekerjaan hand boring adalah untuk mengetahui lebih jelas tentang susunan lapisan tanah, ketebalan, dan untuk mengambil contoh tanah yang tidak terganggu (Undisturbed sample) dan yang terganggu (Disturbed sample) sesuai dengan kedalaman yang diinginkan.

a. Lokasi Pekerjaan

Dilaksanakan pada rencana lokasi bangunan pengendali sungai (pintu air, perlindungan tebing, tanggul banjir dll)

b. Lingkup Pekerjaan

- Survey lokasi untuk menentukan lokasi pekerjaan hand boring
- Melaksanakan pekerjaan hand boring, pemerian lokasi titik hand boring, pendiskripsian contoh tanah dari hasil pekerjaan hand boring
- Mengambil foto pekerjaan hand boring disaat pekerjaan berlangsung dengan memperlihatkan nomor pekerjaan
- Lubang hand boring yang sudah selesai dikerjakan diberi tanda berupa patok

c. Pelaksanaan Pekerjaan

Beberapa hal yang perlu diperhatikan saat pelaksanaan pekerjaan hand boring adalah:

- Mencatat muka air tanah di lubang pemboran
- Pendiskripsian contoh tanah yang telah selesai di bor dengan peletakan contoh tanah yang sesuai dengan kedalamannya

**iii. Sumur Uji (test pit)**

Tujuan utama pembuatan test pit ini adalah untuk mengetahui kondisi tanah, tebal lapisan tanah dibawah permukaan dan sebagai sarana untuk pengambilan contoh tanah yang tidak terganggu (Undisturbed Sample) dan contoh tanah terganggu (Disturbed). di lokasi-lokasi bangunan yang direncanakan dan juga di lokasi borrow area. Dimensi dari Sumur Uji ini adalah panjang permukaan x lebar permukaan x tebal (2.0m x 2.0m x 3 m).

a. Lokasi Pekerjaan

Dilaksanakan pada rencana lokasi bangunan pengendali banjir (pintu air, perlindungan tebing, tanggul banjir dll) dan borrow area.

b. Lingkup Pekerjaan

- Survey lokasi untuk menentukan lokasi pekerjaan sumur uji

- Melaksanakan pekerjaan sumur uji, pemerian lokasi sumur uji, pendiskripsian lubang sumur uji
- Mengambil foto pekerjaan sumur uji disaat pekerjaan berlangsung dengan memperlihatkan nomor pekerjaan
- Contoh tanah yang tidak terganggu diambil dengan memasukkan kedalam kotak yang dibagian dalamnya telah dipolesi lilin dengan dimensi 40 cm x 40 cm x 40 cm.
- Contoh tanah yang terganggu, dimasukkan kedalam karung dengan jumlah contoh tanah yang diambil sekitar 50 kg.

#### c. Pelaksanaan Pekerjaan

- Beberapa hal yang perlu diperhatikan saat pelaksanaan pekerjaan pembuatan sumur uji adalah:
- Mencatat muka air tanah di sumur uji dan apabila air yang masuk sangat besar, maka lokasi sumur uji dipindahkan kelokasi yang lain
- Pada saat pelaksanaan, perlu diperhatikan kondisi dari lereng sumur uji, apakah rawan dari longsor atau tidak. Kalau rawan, perlu ditanggulangi dengan menutup lereng tersebut dengan papan
- Pada saat pengambilan contoh tanah yang terganggu, perlu diperhatikan agar metode pengambilannya adalah yang mewakili tanah yang akan diteliti dan diambil secara vertikal
- Pada saat pengambilan contoh tanah yang tidak terganggu, perlu diperhatikan agar metode pengambilannya adalah yang mewakili tanah yang akan diteliti
- Pencatatan kedalaman sumur uji
- Pencatatan keadaan cuaca
- Pencatatan kedalaman contoh tanah
- Deskripsi geologi dari sumur uji

#### iv. **Pengambilan contoh tanah asli**

Tujuan dari pekerjaan ini adalah untuk menyelidiki kondisi tanah di lokasi penelitian di Laboratorium

##### a. Pada Hand boring

Setelah lokasi pekerjaan hand boring selesai, maka beberapa hal yang perlu diperhatikan saat pelaksanaan pengambilan contoh tanah asli (yang terganggu) adalah:

- Memilih contoh tanah yang mewakili lokasi penelitian
- Memasukkan contoh tanah tersebut kedalam kantong plastik yang telah disediakan dan mengikat kedua ujungnya. Gelembung udara dikantong plastik harus dicegah
- Memberi keterangan di kantong plastik : Pemberian nama sampel, kedalaman pengambilan, nomor contoh tanah, tanggal pengambilan

#### b. Sumur Uji

Setelah lokasi pekerjaan sumur uji selesai, maka beberapa hal yang perlu diperhatikan saat pelaksanaan pengambilan contoh tanah asli (yang tidak terganggu) adalah:

- Memilih contoh tanah yang mewakili lokasi penelitian
- Membuat bentuk dari contoh tanah tersebut menyerupai kubus yang ukurannya lebih kecil dari ukuran kubus (tempat contoh tanah ditempatkan)
- Setelah selesai dibentuk, kotak tersebut dimasukkan kedalam contoh tanahnya, lalu memotong bagian bawah dari contoh tanah tersebut. Selanjutnya menutup kotak kubusnya. Seluruh bagian dalam dari kotak kubus sebelumnya telah dipolesi dengan lilin
- Memberi keterangan di kotak kubus: Pemberian nama sampel, kedalaman pengambilan, nomor contoh tanah, tanggal pengambilan

Untuk contoh tanah yang terganggu, hal yang perlu diperhatikan adalah:

- Memilih contoh tanah yang mewakili lokasi penelitian
- Memasukkan contoh tanah tersebut kedalam karung. Metode pengambilannya adalah secara vertikal, dengan mengikis lereng dari semur uji. Jumlah contoh tanah yang diperlukan sekitar 50 kg.
- Setelah selesai karung ditutup dengan mengikat ujungnya.
- Memberi keterangan di karung: Pemberian nama sampel, kedalaman pengambilan, nomor contoh tanah, tanggal pengambilan.

#### v. **Penyelidikan Laboratorium**

##### a. Tujuan

Tujuan dari Penyelidikan Laboratorium ini adalah untuk mengetahui karakteristik dan sifat teknis yang diperlukan dan memberi informasi teknis untuk daerah pondasi, lokasi bendung, daerah saluran dan juga informasi dari material timbunan dari lokasi borrow area.

#### b. Metode

Pengujian Laboratorium harus dilaksanakan sesuai dengan standart Desain Irigasi PT-3 Desember 1986 (PU), ASTM, JIS atau standart lain yang disetujui oleh Direksi.

Metode yang dilaksanakan sebelum pengujian Laboratorium adalah:

- Material contoh tanah tidak boleh dikeringkan atau dibasahi sebelum pelaksanaan pengujian tanah, untuk menjaga kondisinya
- Pada contoh tanah terganggu yang dipakai untuk material timbunan, density serta kandungan air untuk uji Tri-axial harus berdasarkan atas hasil uji kompaksi.
- Contoh tanah harus ditempatkan pada posisi 95% density maksimum proctor. Density kering dan kandungan air optimum atau D95 basah sesuai dengan hasil uji kompaksi.

#### c. Jenis dan standar pengujian

##### ▪ Uji Sifat Fisik

- Specific Gravity : ASTM D 854-58 atau JIS A 1202
- Moisture Content : ASTM D 2216-7 atau JIS A 1203
- Grain Size : ASTM D 422-72 atau JIS A 1204
- Atterberg Limit : ASTM D 423 atau JIS A 1205
- (Liquid Limit) : ASTM D 424 atau JIS A 1206
- (Plastic Limit)
- Density Unit : ASTM C 29-71 atau JIS A 1225

##### ▪ Uji Sifat Mekanis

- Kompaksi : ASTM D 698 atau JIS A 1210  
(Kandungan air ditambah atau dikurangi dari kandungan air asli (tidak lebih dari 5 %)
- Tri-Axial UU : ASTM D 2850
- Permeabilitas : ASTM D 2434-68 dengan menggunakan metode constant head
- Konsolidasi : ASTM D 2345 atau JIS A 1217
- Unconfined Comp Test : ASTM D 2166 atau JIS A 1216

#### 4.5.2. Pengumpulan Data Sekunder

Data sekunder yang diperlukan untuk detail desain ini meliputi :

- peta topografi (rupa bumi) skala 1 : 25.000 atau 1 : 50.000, mencakup daerah tangkapan air dan lokasi pekerjaan,
- peta geologi regional skala 1 : 250.000,
- tata guna tanah skala 1:250.000,
- data sosial ekonomi,
- foto udara (bila ada) skala 1:50.000,
- data genangan banjir, peta genangan, luas dan lama genangan serta kedalaman banjir yang pernah terjadi,
- data kerugian akibat banjir,
- data hidrologi meliputi :
  - data hujan harian maksimum tahunan (*annual maximum one day rainfall*),
  - data klimatologi bulanan meliputi : kelembaban udara, temperatur udara, kecepatan angin, lama penyinaran matahari dan evaporasi,
- data hidrometri, berupa catatan debit sungai, harian, bulanan dan debit maksimum,
- data dan peta Rencana Tata Ruang Wilayah,
- data hujan diambil minimal catatan data 20 (dua puluh) tahun terakhir,
- data klimatologi diambil minimal 10 tahun terakhir,
- data hidrometri diambil sebanyak catatan data yang ada,
- data laporan study terdahulu.

Sebelum digunakan untuk analisis, data tersebut harus dikaji kehandalannya dengan melakukan cek terhadap stasiun pencatat data. Data hujan, klimatologi dan hidrometri dipilih dari stasiun pencatat data yang dapat mewakili kondisi daerah studi.

##### i. Foto Udara

Foto udara sangat bermanfaat untuk perencanaan dan pekerjaan pengendalian banjir sungai. Foto udara bisa digunakan untuk tinjauan berikut :

1. *layout* sungai/survei daerah yang tergenang, menaksir erosi/perpindahan langsung sungai dan besarnya (dimana fotografi secara historis dapat digunakan untuk perbandingan), menggambarkan pola topografi dan

bentuk tanah, mempersiapkan peta topografi dengan menggunakan teknik fotogrametri, memilih kekasaran nilai kekasaran alur yang berguna untuk model hidrolis debit banjir, pemetaan penyebaran banjir sehingga photography banjir dapat diperoleh selama terjadi banjir (lebih baik pada atau dekat puncak banjir), menaksir geomorfologi setempat (misalnya sumber sedimen, vegetasi penutup dan lain-lain).

## **ii. Data Iklim**

Data klimatologi akan dikumpulkan dari beberapa instansi yang berkaitan, seperti BMG (Badan Meteorologi dan Geofisika) dari Departemen Perhubungan, Balai Hidrologi dan Dinas-dinas terkait serta kantor-kantor pengamatan lapangan. Data Hujan yang merupakan bagian data iklim digunakan untuk analisis hidrologi berupa analisis hujan rancangan dan debit banjir rancangan. Data temperatur, kelembaban, titik embun dan tekanan atmosfer hanya diperlukan untuk penentuan PMP (hujan maksimum yang mungkin). Tipe data hujan yang diperlukan untuk proyek pengendali banjir adalah total hujan harian dan intensitas hujan 5 menit sampai 24 jam.

## **iii. Data Debit**

Data yang digunakan dalam perencanaan dan perencanaan fasilitas pengendalian banjir adalah catatan debit banjir maksimum tahunan dan tinggi air di lokasi.

1. Data debit puncak dan elevasi air harus dipilih dengan teliti untuk menentukan besarnya ekstrapolasi yang digunakan dalam menentukan hasil yang akan dipublikasikan. Data berdasarkan ekstrapolasi yang kecil bisa digunakan dengan keyakinan yang lebih besar dari pada ekstrapolasinya besar. Hasil ekstrapolasi perlu di cek dengan topografi lokal (contoh, tinggi timbunan) atau kontrol hidrolis lain untuk menentukan kelayakan ekstrapolasi.
2. Rating curve untuk stasiun hidrometri harus dikaji ulang agar pengguna data terbiasa dengan sifat kurva untuk daerah yang diteliti. Untuk daerah dengan rating kurve yang stabil, pembuatan rating curve dan hubungan ekstrapolasi dengan tingkat debit banjir ekstrim bisa digunakan.

## **4.6. ANALISIS PERENCANAAN**

### **4.6.1. Analisis Hidrologi**

Kegiatan analisis hidrologi (Sosrodarsono dan Kensaku, 1993) meliputi :

- analisis hujan rancangan,
- analisis debit banjir rancangan,
- penelusuran banjir (*reservoir routing*).

## 1. Analisis hujan rancangan

Hujan rancangan yaitu hujan dengan kemungkinan kejadian pada periode ulang tertentu, merupakan data masukan untuk analisis debit banjir rancangan, yaitu debit banjir untuk merencanakan kapasitas bangunan pelimpah, tinggi bendungan dan kapasitas bangunan pengelakan sungai.

### a. Data hujan

Data hujan yang digunakan dalam analisis hujan rancangan adalah data hujan harian maksimum tahunan dari stasiun yang mewakili Daerah Pengaliran Sungai yang ditinjau. Panjang data minimal 20 tahun terakhir

### b. Uji konsistensi data

Sebelum data hujan ini dipakai terlebih dahulu harus melewati pengujian untuk kekonsistenan data tersebut. Metode yang digunakan adalah metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*) (Buishand, 1982). Pengujian konsistensi dengan menggunakan data dari stasiun itu sendiri yaitu pengujian dengan komulatif penyimpangan terhadap nilai rata-rata dibagi dengan akar komulatif rerata penyimpangan kuadrat terhadap nilai reratanya.

### c. Uji homogenitas data

Homogenitas data hujan dibandingkan dengan catatan hujan dari stasiun terdekat. Tujuan uji ini untuk mengetahui dan memperbaiki kesalahan pengamatan data yang tidak homogen akibat perubahan posisi atau cara pemasangan alat ukur yang tidak baik. Data yang digunakan dalam uji ini adalah data hujan tahunan. Pemeriksaan homogenitas data biasa menggunakan metode Kurva massa ganda (Double mass curve)

### d. Pengisian data yang hilang

Stasiun hujan kadang-kadang tidak bekerja dengan baik atau rusak sehingga dalam beberapa periode data hujan tidak dapat terekam atau hasilnya meragukan. Dalam batas tertentu untuk suatu kepentingan data yang hilang tersebut dapat diperkirakan dengan metode pendekatan dengan menggunakan data hujan dari stasiun terdekat. Metode yang biasa digunakan (Harto, 1993) adalah :

- metode Ratio Normal,
- metode Reciprocal,
- analisis regresi.



e. Hujan rerata daerah

Apabila suatu DAS terwakili oleh beberapa stasiun hujan, maka akan dicari hujan rerata daerah. Hujan rerata daerah akan dihitung dengan beberapa metode yang ada yaitu : metode polygon thiessen, rerata aritmatik atau dengan metode isyohiet. Apabila hanya diwakili oleh satu stasiun maka harus diadakan koreksi dengan faktor reduksi daerah.

f. Analisis frekuensi

Kala ulang (*return period*) didefinisikan sebagai waktu hipotetik di mana hujan atau debit dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui sekali dalam jangka waktu tersebut. Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data yang tersedia untuk memperoleh probabilitas besaran hujan (debit) di masa yang akan datang.

(a) Pemilihan distribusi

Untuk memperkirakan besarnya debit banjir dengan kala ulang tertentu, terlebih dahulu data-data hujan didekatkan dengan suatu sebaran distribusi, agar dalam memperkiraan besarnya debit banjir tidak sampai jauh melenceng dari kenyataan banjir yang terjadi .

Sebaran teoritis yang biasa dipakai meliputi Sebaran Normal, Log Normal, Gumbel dan Log Pearson Type III.

Adapun rumus-rumus yang dipakai dalam penentuan distribusi tersebut antara lain :

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \text{Standar Deviasi} \quad (4.1)$$

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} = \text{Koefisien Keragaman} \quad (4.2)$$

$$C_s = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1) \times (n-2) \times S^3} = \text{Koefisien Kepencengan} \quad (4.3)$$

$$C_k = \frac{n^2 \times \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1) \times (n-2) \times (n-3) \times S^4} = \text{Koefisien Kurtosis} \quad (4.4)$$

Tabel syarat tiap-tiap sebaran dapat dilihat pada Tabel 4.1. berikut :

Tabel 4.1 Syarat Pemilihan Distribusi

No	Sebaran	Syarat	Keterangan
----	---------	--------	------------

1.	Normal	$C_S \approx 0$	Jika analisis ekstrim
2.	Log Normal	$C_S / C_V \approx 3$	tidak ada yang
3.	Gumbel Type I	$C_S \approx 1.1396$ $C_k \approx 5.4002$	Memenuhi syarat tersebut, maka Digunakan sebaran Log Pearson Type_III

Sumber: Harto, 1993 : 245

(b) Uji kesesuaian pemilihan distribusi

Untuk mengetahui apakah data tersebut benar sesuai dengan jenis sebaran teoritis yang dipilih maka perlu dilakukan pengujian lebih lanjut. Untuk keperluan analisis uji kesesuaian dipakai dua metode statistik sebagai berikut:

Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov diperoleh dengan memplot data dan probabilitasnya dari data yang bersangkutan, serta hasil perhitungan empiris dalam bentuk grafis. Dari kedua hasil pengeplotan, dapat diketahui penyimpangan terbesar ( $\Delta$  maksimum). Penyimpangan tersebut kemudian dibandingkan dengan penyimpangan kritis yang masih diijinkan ( $\Delta_{cr}$ ), pada proyek ini digunakan nilai kritis (significant level)  $\alpha = 5\%$ . Nilai kritis  $\Delta$  untuk pengujian ini tergantung pada jumlah data dan  $\alpha$ .

Uji Chi Kuadrat ( $X^2$ )

Metode ini melengkapi metode Smirnov-Kolmogorov, yaitu untuk menguji kebenaran distribusi yang dipergunakan pada perhitungan frekuensi analisis. Distribusi dinyatakan benar jika nilai  $X^2$  dari hasil perhitungan lebih kecil dari  $X^2$  kritis yang masih diizinkan. Metode chi Kuadrat diperoleh berdasarkan rumus:

$$X^2_{cr} = \sum_1^k \frac{(Ef - Of)^2}{Ef} \quad (4.5)$$

dengan:

- $X^2_{cr}$  = nilai kritis hasil perhitungan,
- k = jumlah data,
- Ef = nilai yang diharapkan (*expected frequency*),
- Of = nilai yang diamati (*observed frequency*).

Batas kritis  $X^2$  tergantung pada derajat kebebasan dan  $\alpha$ . Untuk kasus ini derajat kebebasan mempunyai nilai yang didapat dari perhitungan sebagai berikut

$$DK = JK - (P + 1) \quad (4.6)$$

dengan

DK = derajat kebebasan,

JK = jumlah kelas,

P = faktor keterikatan ( untuk pengujian chi kuadrat mempunyai keterikatan 2 ).

#### g. Analisis PMP

Curah hujan yang mungkin terjadi di suatu daerah pengaliran sungai dalam suatu periode tertentu akan merupakan data yang sangat vital untuk menaksir besarnya "*Probable Maximum Precipitation*" dan dihitung dengan persamaan Hersfield yaitu :

$$RF_{PMP} = RF_{Average} + K.S \quad (4.7)$$

dengan :

$RF_{PMP}$  = curah hujan PMP,

$RF_{Average}$  = curah hujan maksimum rata-rata tahunan,

K = konstanta,

S = standar deviasi curah hujan harian maksimum.

#### h. Distribusi hujan jam-jaman

Distribusi hujan (agihan hujan) jam-jaman ditetapkan dengan cara pengamatan langsung terhadap data pencatatan hujan jam-jaman pada stasiun yang paling berpengaruh pada DAS.

Bila tidak ada maka bisa menirukan perilaku hujan jam-jaman yang mirip dengan daerah setempat pada garis lintang yang sama. Distribusi tersebut diperoleh dengan pengelompokan tinggi hujan ke dalam range dengan tinggi tertentu. Dari data yang telah disusun dalam range tinggi hujan tersebut dipilih distribusi tinggi hujan rancangan dengan berdasarkan analisis frekuensi dan frekuensi kemunculan tertinggi pada distribusi hujan

jam-jaman tertentu. Selanjutnya prosentase hujan tiap jam terhadap tinggi hujan total pada distribusi hujan yang ditetapkan. Profil curah hujan akan ditinjau berdasarkan metode pada PSA-007 dan metode Inggris. Diperkirakan hubungan yang ada dalam PSA-007 lebih sesuai untuk Indonesia, dimana curah hujan paling lebat terjadi di awal hujan. Akan tetapi pada agihan Inggris, jika intensitas puncaknya ditempatkan di tengah-tengah periode hujan dengan profil simetris, akan sedikit memperbesar kenaikan muka air waduk. Pemilihan durasi hujan kritis (Critical Storm Duration), pada prinsipnya tergantung pada luas DAS dan pengaruh-pengaruh lain seperti luas genangan waduk dan konfigurasi bangunan pelimpah (Lye, 1996), sehingga untuk setiap bendungan walaupun memiliki luas DAS yang sama belum pasti durasi hujan kritisnya sama. Pemilihan durasi hujan dengan pola distribusinya sangat berpengaruh pada hasil banjir desain yang diperhitungkan. Curah hujan yang sama yang terdistribusi dengan dengan curah hujan yang panjang akan menghasilkan puncak banjir yang lebih rendah dibanding dengan yang terdistribusi dengan durasi yang pendek (Sulistiyono dan Saidah, 2004).

i. Faktor infiltrasi

Selama hujan turun, sebagian dari hujan akan meresap ke dalam tanah dan sebagian lagi akan mengalir ke permukaan. Besarnya kehilangan hujan sesuai didistribusikan sukar untuk diperkirakan dengan teliti, sebagai pendekatan digunakan metode Horton atau persamaan Horton. Menurut Horton, kehilangan hujan akan berupa kurve eksponensial. Sebagian besar jumlah hujan yang meresap akan mengakibatkan kawasan unsaturated sub-surface menjadi cepat penuh. Akibatnya besarnya resapan berkurang sesuai dengan rumus sebagai berikut:

$$F_p = f_c + (f_o - f_c) e^{-kt} \quad (4.8)$$

dengan :

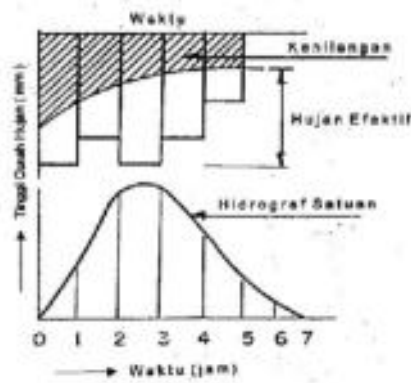
$f_o$  = kapasitas infiltrasi permulaan yang tergantung dari hujan sebelumnya, dapat diperkirakan 50 – 80% curah hujan total,

$f_c$  = harga akhir dari infiltrasi,

$f_p$  = kapasitas infiltrasi pada waktu  $t$  (mm),

$k$  = konstanta yang tergantung tekstur tanah,

$t$  = waktu sejak hujan mulai.

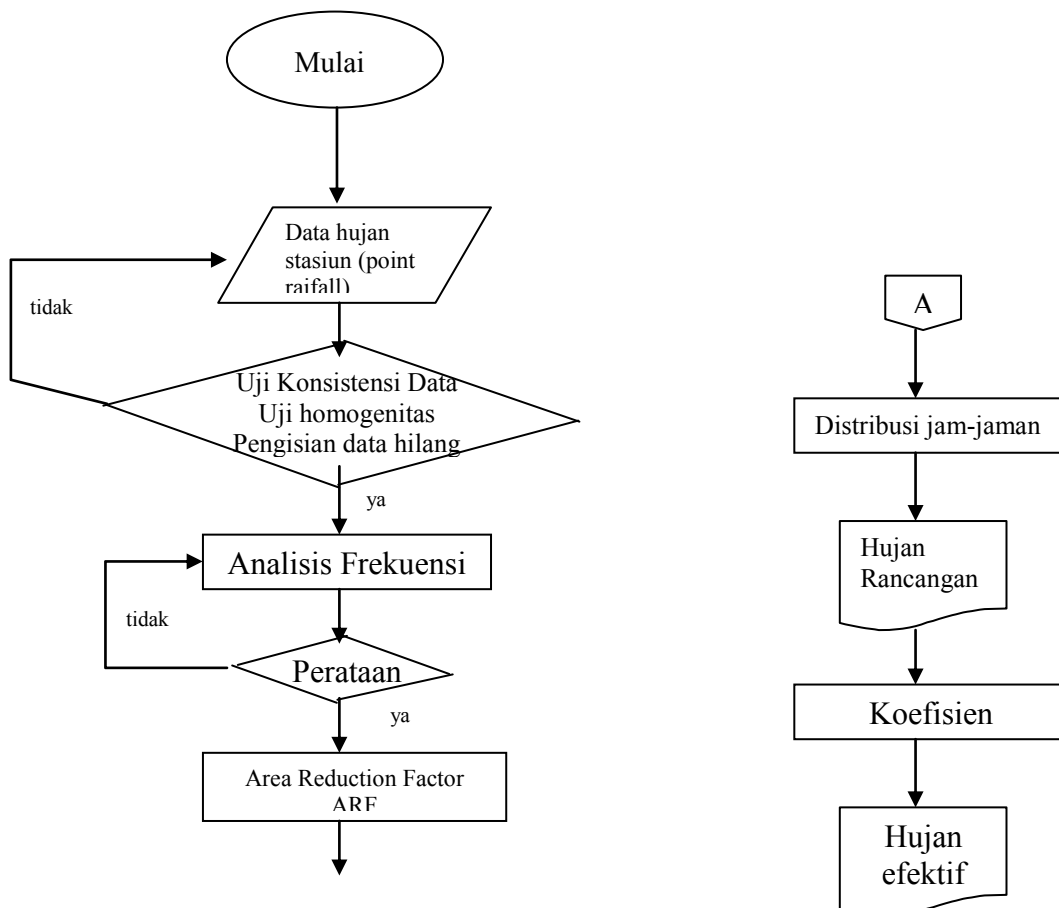


Gambar 4.2. Grafik metode Horton

j. Curah hujan efektif

Dari data curah hujan harian maksimum rancangan yang telah ditentukan, untuk mendapatkan curah hujan efektif maka curah hujan tersebut harus dikurangi dengan faktor kehilangan.

Skematis metode analisis hujan rancangan dapat digambarkan dalam bagan alir berikut ini :





Gambar 4.3. Bagan Alir Analisis Hujan Rancangan

## 2. Analisis banjir rancangan

Banjir rancangan merupakan suatu banjir dengan kala ulang tertentu. Debit banjir rancangan tersebut akan digunakan untuk menentukan kapasitas terusan/kanal dan merencanakan bangunan pengendalian banjir. Besar kala ulang yang akan digunakan dalam perencanaan bangunan pengendali banjir tertuang dalam kriteria perencanaan bangunan pengendalian banjir. Apabila terdapat catatan debit sungai cukup panjang (> 20 tahun) debit banjir dapat langsung didesain dengan analisis frekuensi, dengan metode Log Normal, Gumbell, Normal atau Log Pearson. Jika tidak maka debit banjir dianalisis dengan metode hidrograf satuan. Untuk desain banjir PMF akan dihitung dengan metode hidrograf satuan. Dari beberapa hidrograf satuan sintetis yang ada terdapat 3 (tiga) hidrograf satuan sintetis yang lazim digunakan untuk menghitung banjir di suatu daerah studi. Ketiga hidrograf tersebut yaitu :

- Metode Nakayasu,
- Metode Gama 1,
- Metode Snyder.

### a. Metode Nakayasu

Persamaan umum hidrograf satuan sintetis Nakayasu sebagai berikut (Soemarto, 1987) :

$$Q_p = \frac{12 * A * R_0}{3.68 * (0.3 * T_p + T_0.3)} \quad (4.9)$$

dengan:

$Q_p$  = debit puncak banjir ( $m^3 / dt$ ),

$R_0$  = hujan satuan (mm),

$T_p$  = tenggang waktu dari awal hujan sampai puncak banjir (jam),

$T_{0.3}$  = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30 % dari debit puncak,

$$T_p = T_g + 0.8 T_r, \quad (4.10)$$

$$T_g = 0.21 \times L^{0.7} \quad \longrightarrow L < 15 \text{ km}, \quad (4.11)$$

$$T_g = 0.4 + 0.058 \times L \quad \longrightarrow L > 15 \text{ km}, \quad (4.12)$$

$$T_{0.3} = \alpha \times T_g, \quad (4.13)$$

$L$  = panjang alur sungai (km),

$T_g$  = waktu konsentrasi (jam),

$T_r$  = satuan waktu hujan diambil 1 jam,

$\alpha$  = untuk daerah pengaliran biasa diambil nilai 2.

Persamaan hidrograf satuannya adalah:

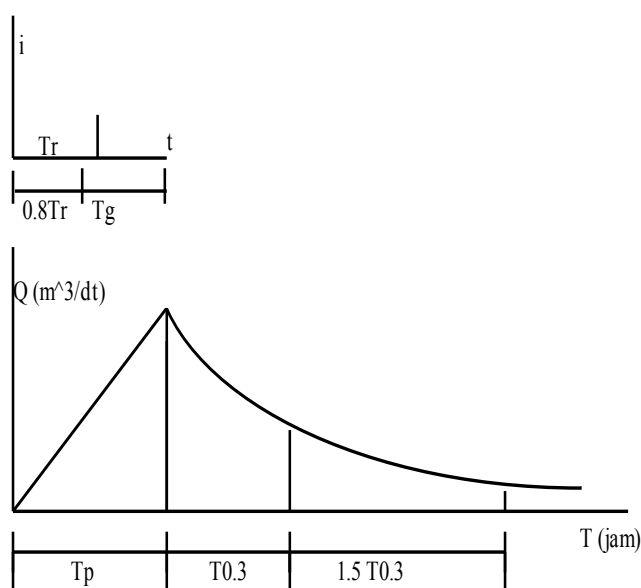
1. pada kurva naik

$$0 \leq t \leq T_p \quad Q_t = (t / T_p)^{2.4} \times Q_p, \quad (4.14)$$

2. pada kurva turun

$$- T_p < t \leq T_p + T_{0.3} \quad Q_t = Q_p \times 0.3^{\left(\frac{t-T_p}{T_{0.3}}\right)}, \quad (4.15)$$

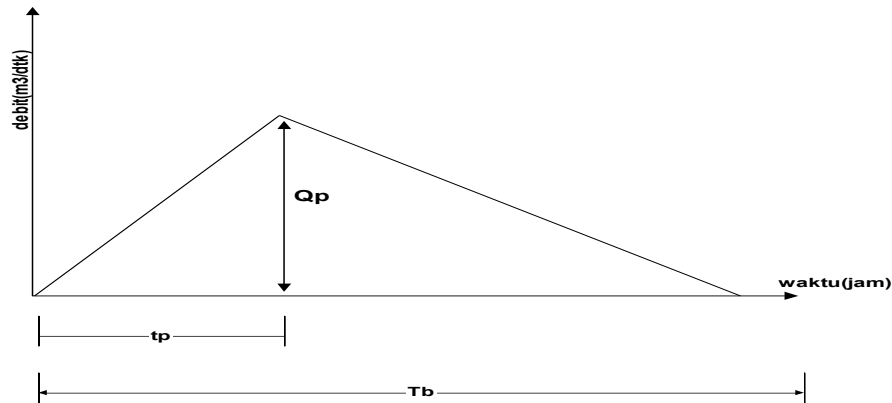
$$- T_p + T_r < t \leq T_p + 2.5T_r \quad Q_t = Q_p \times 0.3^{\left(\frac{t-T_p+0.5T_{0.3}}{1.5T_{0.3}}\right)}, \quad (4.16)$$



Gambar 4.4. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

b. Metode Gama –1

Cara ini dikemukakan oleh Sri Harto pada tahun 1993. Setelah mengadakan penelitian terhadap 30 DAS di pulau Jawa. Cara ini disajikan dalam bentuk persamaan-persamaan empiris tentang sifat dasar hidrograf satuan, yaitu waktu naik (TR), waktu dasar (TB) dan debit puncak (Qp).



Gambar 4.5. Hidrograf Satuan Sintetik Gama 1

Sisi naik merupakan garis lurus, sedang sisi resisi merupakan siku - eksponensial dengan persamaan

$$Q_t = Q_p e^{-(t/k)} \quad (4.17)$$

dengan :

$Q_t$  = debit pada jam ke - t ( $m^3/dt$ ),

$Q_p$  = debit puncak ( $m^3/dt$ ),

t = waktu dari saat terjadinya debit puncak (jam),

k = koefisien tampungan (jam).

Sedangkan parameter-parameter lain dalam persamaan tersebut:

$$T_r = 0,43 (L/100SF)^3 + 1,0665 SIM + 1,2775, \quad (4.18)$$

$$Q_p = 0,1836 A^{0,5886} TR^{-0,4008} JN^{0,2381}, \quad (4.19)$$

$$TB = 27,4132 TR^{0,1457} S^{-0,0986} SN^{0,7344} RUA^{0,2574}, \quad (4.20)$$

$$K = 0,5617 A^{0,7198} S^{-0,1446} SF^{-1,0697} D^{0,0452}, \quad (4.21)$$

dengan :



- TR = waktu naik (jam),  
 Qp = debit puncak (m<sup>3</sup>/dt),  
 TB = waktu dasar (jam),  
 K = koefisien tampungan (jam),  
 L = panjang sungai utama (km<sup>2</sup>),  
 D = kerapatan jaringan lurus (km/km<sup>2</sup>),  
 SF = faktor sumber : perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat 1 dengan jumlah panjang sungai semua tingkat (tak berdimensi),  
 SN = frekuensi sungai : perbandingan antara jumlah segmen sungai-sungai tingkat 1 dengan jumlah sungai semua tingkat (tak berdimensi),  
 WF = faktor lebar : perbandingan antara lebar DAS yang diukur dari titik disungai yang berjarak  $\frac{3}{4}$  L dan lebar DAS yang diukur dari titik yang berjarak  $\frac{1}{4}$  L dari tempat pengukuran (tak berdimensi),  
 SIM = faktor simetris : hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas relatif DAS sebelah hulu (RUA) (tak berdimensi),  
 JN = jumlah pertemuan sungai (tak berdimensi),  
 S = landai sungai rerata (tak berdimensi).

Aliran dasar diperkirakan dengan menggunakan persamaan pendekatan sebagai berikut :

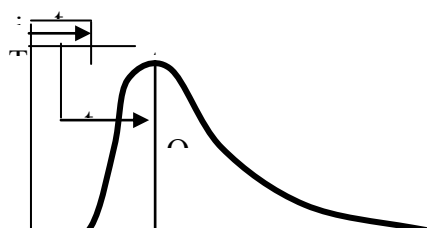
$$QB = 0,4751 \cdot A^{0,6444} \cdot D^{0,9430} \quad (4.22)$$

### c. Hidrograf satuan sintetik Snyder

Dalam permulaan tahun 1938, F.F. Snyder dari Amerika Serikat telah membuat persamaan empiris dengan koefisien-koefisien empiris yang menghubungkan unsur-unsur hidrograf satuan dengan karakteristik daerah pengaliran. Hidrograf satuan tersebut tiga parameter utama yaitu Qp ( m<sup>3</sup>/dt ), Tb serta Tr (jam).

Unsur-unsur hidrograf tersebut dihubungkan dengan :

- A = luas daerah pengaliran ( km<sup>2</sup> ),  
 L = panjang aliran utama ( km ),  
 Lc = jarak antara titik berat daerah pengaliran dengan pelepasan (*outlet*) yang diukur sepanjang aliran utama.



Gambar 4.6. hidrograf satuan sintetik Snyder

Dengan unsur-unsur tersebut diatas Snyder membuat rumus-rumusnya seperti berikut:

$$t_p = C_t (L.L_c)^{0.3} \quad (4.23)$$

$$t_e = t_p / 5.5 ; t_r = 1 \text{ jam} \quad (4.24)$$

$$Q_p = 2.78 * (c_p.A / t_p), \quad T_b = 72 + 3 t_p \quad (4.25)$$

#### d. Hidrograf banjir

Hidrograf satuan tersebut di atas selanjutnya dialihragamkan menjadi hidrograf banjir dengan cara superposisi dari rangkaian hidrograf satuan. Salah satu metode yang biasa digunakan untuk menyusun adalah dengan metode polinomial. Hidrograf banjir tersebut merupakan hidrograf banjir *inflow*.

#### 4.6.2. Penelusuran banjir

Penelusuran banjir adalah suatu prosedur untuk memperkirakan waktu dan besaran banjir di suatu titik dibagian hilir berdasarkan data yang diketahui di bagian hulu.

Penelusuran banjir bertujuan untuk :

- mengetahui hidrograf banjir,
- menentukan dimensi bangunan pengendali banjir.

Beberapa program aplikasi computer yang sering digunakan (Singh, 1995) adalah SWMM, EPA, HEC-1, MODFLOW, DUFLOW.

**Model matematik duflow** ini dipergunakan untuk meramalkan perilaku aliran pada suatu sistim saluran yang dipengaruhi pasang surut. Model ini dibuat berdasarkan persamaan diferensial parsial. Persamaan tersebut merupakan persamaan translasi matematis dari konsep konservasi massa dan persamaan momentum

Dalam simulasi perilaku hidrolis sungai, asumsi-asumsi dasar yang dipakai adalah dijelaskan berikut ini.

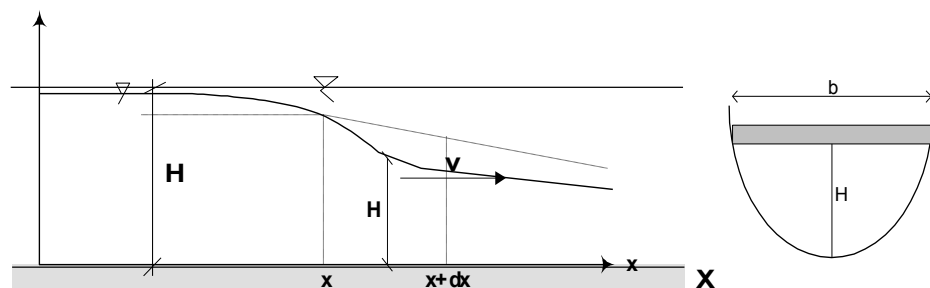
1. Penampang sungai yang digunakan adalah penampang hasil survai topografi dari muara sampai dengan hulu.
2. Data pasang surut yang digunakan dalam pekerjaan ini adalah data pasang surut hasil survai selama 26 hari agar didapatkan pasang tertinggi dan surut terendah. Analisis pasang surut telah dijelaskan sebelumnya. Data ini secara lengkap diuraikan dalam bagian skenario model yaitu kondisi batas.
3. Kemiringan dasar rencana setelah dinormalisasi beragam menurut kondisi sungai dan disain yang direncanakan.
4. Koefisien kekasaran sungai akan dikalibrasi. Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan kondisi batas sebagaimana diukur di lapangan, hasil pemrograman harus sesuai dengan kondisi yang sebenarnya.

Sungai yang akan dimodelkan dimulai dari hulu hingga muara muara. Simulasi perilaku hidrolis sungai akan dilakukan dengan menggunakan **model matematik DUFLOW**. Pada model matematik ini, sungai dibagi menjadi pias-pias. Setiap pias akan dimonitor tiga parameter utama aliran, yaitu :

- debit aliran,
- kecepatan aliran,
- kedalaman aliran.

Konservasi massa dan momentum

$$B \frac{\delta H}{\delta t} + \frac{\delta Q}{\delta x} = 0 \tag{4.26}$$



Gambar 4.7. Penampang memanjang dan melintang saluran

$$\frac{\delta Q}{\delta t} + g A \frac{\delta H}{\delta x} + \frac{\delta(\alpha Q v)}{\delta x} + \frac{g Q - Q}{C^2 AR} = byw^2 \cos(\Phi - \phi) \quad (4.27)$$

$$Q = V.A \quad (4.28)$$

Dimana debit dari persamaan (4.26) sampai dengan (4.28) saling berhubungan.

dengan:

- t = waktu
- x = jarak yang diukur sepanjang as saluran/sungai
- H(x,t) = elevasi muka air yang terikat dengan datum
- V(x,t) = kecepatan rata-rata dari penampang melintang sungai
- Q(x,t) = dihitung pada lokasi x waktu ke t
- R(x,H) = radius hidrolis pada penampang melintang
- B(x,H) = lebar storage penampang aliran
- b(x,H) = lebar aliran penampang saluran
- A(x,H) = luas penampang aliran
- C(x,H) = koefisien De Chezy
- g = bilangan gravitasi
- w (t) = kecepatan angin
- θ (t) = arah angin
- φ (x) = arah saluran terhadap sumbu saluran dalam derajat, diukur searah jarum jam dari utara.
- γ (x) = koefisien konversi angin
- α = faktor koreksi distribusi kecepatan aliran yang non-uniform didefinisikan:

$$\alpha = \frac{A}{Q^2} \int v(y, z)^2 dydz \quad (4.29)$$

dimana bentuk integral tersebut diambil berdasarkan penampang melintang saluran. Penyelesaian persamaan hidraulik di atas dapat diselesaikan dengan cara numeris dari ketiga persamaan di atas dengan solusi *"Four Implicit Preissman Scheme"*. Output dari simulasi model (duflow) berupa fluktuasi muka air di titik, debit dan kecepatan di saluran dikeluarkan di ruas (senggang). Fluktuasi muka air di titik yang juga merupakan salah satu

hasil dari simulasi hidrolis dalam sistem saluran ini dapat digunakan untuk penggambaran level muka air di profil memanjang, melintang dan memberikan informasi tentang tingkat efektifitas drainasi. Jaringan yang dimodelkan, termasuk simulasi dimensi saluran, sehingga dapat ditentukan dimensi hidrolis yang cukup ekonomis.

Sebagai input dari simulasi model, pada beberapa titik atau satu titik tertentu dalam sistem saluran di atas ditentukan titik yang merupakan lokasi penempatan syarat batas. Pada titik syarat batas terdapat masukan yang tidak terpengaruh oleh gerak hidrolis sistem atau diluar sistem, paling tidak dianggap tidak berubah. Persamaan massa (1) menyatakan bahwa jika level air berubah di beberapa bagian maka nilai tersebut merupakan hasil dari "inflow" lokal (aliran masuk) dikurangi "outflow" (aliran keluar). Persamaan momentum (2) menunjukkan bahwa perubahan momentum merupakan hasil gaya dari dalam dan gaya dari luar, contohnya : gesekan, angin dan gravitasi. Untuk turunan dari persamaan ini, zat alir diasumsikan tercampur dengan baik dan sehingga densitas/berat jenis dianggap konstan. Kaidah adveksi dalam persamaan momentum adalah :

$$\frac{\delta(\alpha Qv)}{\delta x} \quad (4.30)$$

Selanjutnya dijabarkan menjadi  $\alpha \left( 2 \frac{Q}{A} \frac{\delta Q}{\delta x} - \frac{Q^2}{A^2} \frac{\delta A}{\delta x} \right)$  (4.31)

Kaidah yang pertama menunjukkan pengaruh perubahan pada saat Debit. Kaidah yang kedua menunjukkan efek dari perubahan pada luas aliran cross section yang disebut dengan **Hukum Froude**. Andaikata terjadi perubahan tiba-tiba pada cross section, Hukum Froude ini bisa mengakibatkan ketidakstabilan dalam penghitungan. Persamaan (1) dan (2) dapat disederhanakan berdasarkan ruang dan waktu dengan menggunakan skema 4 titik Preissmann dengan cara mendefinisikan sebuah bagian  $\Delta x$  dari simpul (cabang)  $X_i$  ke simpul  $X_{i+1}$  dan sebuah interval waktu  $\Delta t$  dari waktu  $t = r^n$  ke waktu  $t = r^{n+1}$  dan kemudian penyederhanaan tinggi muka air  $H$  bisa dirumuskan sbb :

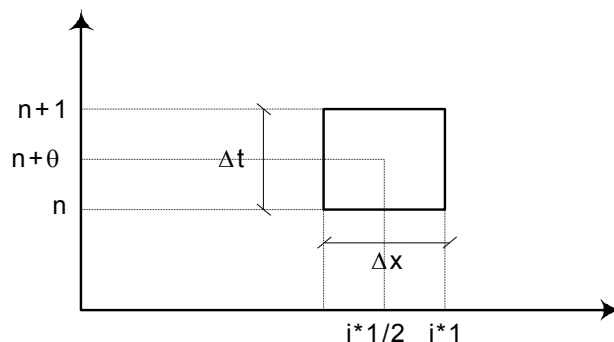
$$H_i^{n+\theta} = (1 - \theta) H_i^n + \theta H_i^{n+1} \quad (4.32)$$

Untuk simpul/node xi dan waktu  $t + \theta - \Delta t$

$$H_{i+n}^n = \frac{H_{i+t}^n + H_i^{n+1}}{2} \quad (4.33)$$

untuk simpul x dan xi+1 pada waktu t

Dengan cara yang sama, variabel bebas lainnya bisa diketahui. Persamaan differensial parsial yang ditranform bisa ditulis menjadi sebuah sistem dari persamaan aljabar dengan mengganti turunan-turunan tersebut dengan rumus differensial terbatas. Nilai rumus-rumus ini akan mendekati nilai turunan pada titik acuan  $X_{i+n}$ ,  $r^{n+0}$  seperti yang ditunjuk Gambar 3.7. sebagai berikut:



Gambar 4.8. Batas Nilai Differensial Parsial

Hasil transformasi persamaan (1) menghasilkan :

Sedangkan dari hasil transformasi persamaan (2) didapatkan :

$$B_{i+w} = \frac{H_{i+w}^{n+1} + H_{i+w}^n}{\Delta t} + \frac{Q_{i+w}^{n+1} - Q_i^{n+1}}{\Delta xi} = 0 \quad (4.34)$$

Tanda apostrof (\*) tersebut (seperti pada  $B_{i+n}^n$ ) Menunjukkan bahwa nilai-nilai ini kurang lebih berada pada titik  $r^{n+0}$ . Penyederhanaan ini merupakan orde kedua dalam besaran waktu dan ruang jika nilai  $\theta = 0,5$ , dan bisa dilihat bahwa dalam keadaan ini sistem yang disederhanakan adalah massa.

Umumnya, nilai  $\theta$  yang lebih besar, misalnya 0,55 digunakan untuk mendapatkan sebuah stabilitas yang lebih baik. Nilai-nilai yang diberi tanda (\*) dihitung dengan menggunakan sebuah proses yang berulang-ulang :

Sebagai contoh, nilai pendekatan pertama dari B adalah :

$$B^n = B^0 \quad (4.35)$$

$$B^n = \frac{(B^n + B^{n+1,2})}{2} \quad (4.36)$$

yang diatur dengan langkah perulangan berikut :

dimana nilai  $B^{n+1,0}$  merupakan nilai baru dari  $B^{n+1}$

Jadi, untuk semua bagian saluran dalam jaringan, pada saat level waktu yang baru  $r^{n+1}$  ada dua persamaan yang dibentuk yang memiliki Q dan H dengan nilai yang belum diketahui.

$$Q_1^{n+1} = N_i + I H_i^{n+1} + N_{12} H_{14}^{n+1} + N_{13} \quad (4.37)$$

$$Q_{i+1}^{n+1} = N_{12} H_i^{n+1} + N_{22} H_{14}^{n+1} + N_{23} \quad (4.38)$$

Kondisi batas (*boundary Condition*) berguna untuk mengontrol perhitungan sehingga diperoleh solusi unik untuk masalah yang dihadapi. Kondisi batas tersebut dapat dianggap mewakili keadaan alam sebenarnya, sehingga apabila ada pengaruh-pengaruh luar yang luput dari perhitungan dapat diwakili oleh kondisi tersebut. Kondisi batas yang digunakan dapat berupa kecepatan, debit atau level muka air.

#### 4.6.3. Pasang surut air laut

##### a. Gerak muka air vertikal

Data gerakan air vertikal atau data fluktuasi muka air pasang surut sebaiknya diperoleh dari hasil pengamatan selama 30 hari. Hal ini karena pasang surut paling besar dipengaruhi gaya tarik bulan, sehingga untuk mengetahui 1 siklus periodenya minimal harus dicatat perubahan pasang surut selama 30 hari dengan interval pengamatan 1 jam.

##### b. Pergerakan Konstanta Pasang Surut

Konstanta pasang surut merupakan harga ketetapan yang merupakan bentuk dan pola pasang surut, yang dipengaruhi oleh matahari, bulan, posisi geografis, dan benda benda angkasa lainnya.

Dari beberapa konstanta pasang surut yang ada, terdapat 9 (sembilan) konstanta yang paling berpengaruh terhadap level muka air, yang meliputi K2, P1, M2, S2, N2, K1, O1, M4 dan MS4. Dalam pembahasan selanjutnya, kesembilan konstanta pasang surut tersebut diatas, dikategorikan sebagai *Konstanta Utama Pasang Surut*.

Dalam perhitungan konstanta pasang surut, terdapat beberapa metoda yang dapat digunakan, yaitu terdiri dari :

- metoda Admiralty,
- metoda *Least Square*,
- metoda *Wave Spectrum*.

Metoda *least square* dan metoda *wave spectrum* dapat memberikan hasil yang cukup akurat bila ditunjang dengan jumlah data yang memadai, yaitu data pengamatan pasang surut minimal dalam rentang waktu 3 (tiga) bulan, dengan interval pengamatan 1 jam.

### c. Gaya pembangkit pasang surut

Menurut hukum Newton kedua, gaya tarik antara kedua benda yang masing-masing bermassa  $m_1$  dan  $m_2$  berjarak  $r$ , memenuhi persamaan :

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (4.39)$$

Gaya tarik bulan dari titik pusat bumi adalah :

$$f_c = G \frac{M_m}{r^2} \quad (4.40)$$

Komponen-komponen gaya pembangkit pasang surut adalah :

$$\Delta V = V_p - V_c = G * M_m * \left[ \frac{\text{Cos}(\theta)}{s^2} - \frac{\text{Cos}(\theta)}{r^2} \right] \quad (4.41)$$

$$\Delta h = h_p - h_c = G * M_m * \left[ \frac{\text{Sin}(\theta)}{s^2} - \frac{\text{Sin}(\theta)}{r^2} \right] \quad (4.42)$$



**d. Analisis peramalan pasang surut (pasut)**

Gaya yang berpengaruh besar terhadap pasut ini adalah gaya tarik bulan dan matahari. Gaya-gaya pembangkit pasang surut merupakan komponen yang menentukan karakteristik dari pasang surut di daerah tertentu. Setiap komponen akan selalu berulang untuk suatu periode tertentu dan mempunyai kecepatan sudut yang selalu tetap untuk setiap tempat di bumi, karena gaya pembentuknya berasal dari gerakan bumi, bulan dan matahari yang mengikuti suatu aturan yang selalu tetap. Tiap-tiap komponen akan menghasilkan amplitudo dan beda fasa masing-masing dan untuk tempat tertentu akan selalu tetap.

**e. Persamaan kuadrat terkecil (*Least Square*)**

Persamaan pasang surut *least square* (LS)

$$Z_t = Z_0 + \sum_i^k Z_i + \text{Cos}(\omega_i * t - \alpha_i) \tag{4.43}$$

dengan :

$\alpha_i$  = undur fasa akibat komponen ke i

$Z_i$  = Amplitudo

$Z_0$  = tinggi duduk tengah rata-rata dari titik acuan

$\omega_i$  = kecepatan sudut dari komponen ke i

Ada pengaruh lain dari perputaran nodal dari bulan yang akan mengakibatkan koreksi dari amplitudo dan undur fasa . Perubahan nodal ini mempunyai periode ulang yang cukup lama yaitu 18,6 tahun atau hampir 19 tahun. Dari adanya faktor koreksi tersebut persamaan pasang surut menjadi :

$$Z_t = Z_0 + \sum_i^k (f_i * H_i) * \text{Cos}(\omega_i * t - g_i V_{0i} + U_i) \tag{4.44}$$

dengan :

$g_i$  = undur fasa akibat komponen ke i

$V_{0i}$  = suku koreksi undur fasa

$U_i$  = suku koreksi nodal (sudut) untuk undur fasa

$H_i$  dan  $g_i$  adalah amplitudo dan undur fasa akibat komponen i dan disebut tetapan pasang surut yang besarnya selalu tetap untuk suatu tempat tertentu selama tidak ada perubahan

dalam bentuk geografi. Salah satu tujuan dari analisis pasut adalah  $H_i$  dan  $g_i$  yang berlaku untuk suatu tempat sehingga untuk selanjutnya akan mudah mencari tinggi pasang surut yang akan diramalkan. Dari pengamatan dan penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa ada 9 komponen yang cukup dominan pengaruhnya dibandingkan komponen lainnya. Dengan memakai komponen tersebut kita dapat menghasilkan perhitungan peramalan pasang surut yang cukup baik.

Lama pengamatan yang dipakai untuk analisis pasang surut untuk bermacam-macam komponen umumnya diambil 15, 30, 365 atau lebih. Lama pengamatan selama 15 hari sudah cukup untuk analisis dan peramalan pasang surut.

#### **4.6.4. Penyusunan Program Penanganan Pengendalian**

##### **a. Tingkat resiko**

Tingkat resiko akibat banjir (ancaman terhadap jiwa dan harta benda) di daerah yang terkena banjir dapat diukur sebagai fungsi kecepatan dan kedalaman air. Resiko akan bertambah ketika kecepatan air dan ketinggian air bertambah. Keputusan mengenai tingkat rasio atau perencanaan bangunan pengendalian banjir sering kali dipengaruhi oleh tingkat resiko yang ada sebelum dan sesudah proyek dilaksanakan. Terdapat 3 tingkat resiko yaitu tinggi, sedang dan rendah.

##### **b. Standar perencanaan banjir**

Suatu proyek pengendalian banjir akan aman jika debit tidak melebihi debit banjir rencana, yang secara umum ditentukan dengan suatu kala ulang (misalnya, kala ulang 100 tahun) tanpa menyebabkan ancaman terhadap jiwa dan harta benda. Suatu prosedur standar untuk memilih banjir rencana adalah salah satu dasar kriteria pengendalian banjir yang diperlukan oleh teknisi dan perencanaan pada sistem pengendalian banjir.

Terdapat dua buah metode untuk memilih standar banjir rencana. Metode pertama merupakan standar yang sama untuk semua pemakaian. Metode kedua, memperlakukan masing-masing proyek secara terpisah dan banjir rencana optimum ditentukan berdasarkan pada analisis ekonomi untuk mencapai manfaat ekonomi secara optimu. Kombinasi dari 2 pendekatan diatas disarankan untuk proyek pengendali banjir yang akan datang. Suatu standar rencana banjir disarankan untuk kala ulang minimum (fase awal) yang dapat digunakan untuk banyak kondisi di Indonesia. Kala ulang minimum yang disarankan

(tahun) sebagai banjir rencana yang berkenaan dengan genangan banjir ditampilkan dalam Tabel 4.2. sebagai berikut:

Tabel 4.2. Kala Ulang Minimum (Tahun) sebagai Banjir Rencana untuk Penanganan Genangan Banjir

Sungai Aliran	- Didasarkan pada Tipe Proyek (proyek Pengendalian Banjir) - Didasarkan pada populasi total <sup>2)</sup> (sistem drainasi)	Fase Awal <sup>1)</sup>	Fase Akhir <sup>1)</sup>
Sungai	- Proyek darurat <sup>3)</sup> - Proyek baru <sup>4)</sup> - Untuk pedesaan dan kota dengan $P < 2.000.000$ - Untuk perkotaan dengan $P > 2.000.000$	5 10 25 25	10 25 50 100
Sistem, Drainasi Primer (DAS <500 ha)	- Pedesaan - Perkotaan $P < 500.000$ - Perkotaan $500.000 < P < 2.000.000$ Perkotaan $P > 2.000.000$	1 2 2 5	2 5 5 10
Sistem Drainasi Tersier	Perdesaan	1	2

Catatan :

1. Standar banjir rencana tertinggi akan digunakan jika analisis ekonomi menunjukkan standar tersebut diperlukan sekali atau jika banjir mengakibatkan kerugian.
2. P = jumlah penduduk
3. Proyek darurat adalah proyek darurat yang dilaksanakan tanpa studi teknis dan ekonomis pendahuluan pada tempat-tempat dimana genangan luas dan masalah banjir menimbulkan resiko besar terhadap nyawa manusia.
4. Proyek baru meliputi proyek-proyek pengendalian banjir tempat dimana sebelumnya tidak pernah ada proyek pengendalian banjir atau dimana proyek darurat dilaksanakan.
5. Proyek Peningkatan meliputi proyek-proyek rehabilitasi serta perbaikan dari proyek-proyek yang ada. Kebanyakan proyek pengembangan wilayah sungai dianggap sebagai peningkatan.

Kala ulang minimum (tahun) yang disarankan untuk banjir rencana bagi bangunan-bangunan sungai. Ditampilkan dalam Tabel 4.3. sebagai berikut:

Tabel 4.3. Kala Ulang Minimum (Tahun) untuk Banjir Rencana dalam Perencanaan Bangunan Sungai

<b>Jenis Bangunan</b>	<b>Kala Ulang (tahun)</b>	<b>Rincian</b>
Perkuatan tebing	25	Krib, Rip-rap, bronjong, revetment dan sebagainya
Perlindungan Erosi Tebing tanggul	50	Rip-rap, Bronjong, revetment dan sebagainya
Normalisasi Alur	bervariasi	Debit alur penuh atau debit regim untuk alu-alur alamiah
Bendungan dan pelimpah	- PMP  - 100 hingga PMF  - Minimum Hingga 100	Bendungan urugan batu atau urugan tanah yang terletak di hulu wilayah yang sekarang atau dimasa depan, merupakan daerah konsentrasi penduduk.  Bendungan pasangan atau beton yang direncanakan untuk dapat menahan luapan tanpa kerusakan, dan terletak di hulu wilayah yang sekarang atau dimasa depan, merupakan daerah konsentrasi penduduk  Bila jebol bendungan tidak mengancam nyawa serta harta benda dalam jumlah besar, banjir rencana harus ditetapkan berdasarkan analisis ekonomi dari biaya keamanan bendungan serta resiko bila terjadi jebol
Jembatan	50	
Bendung	50 s/d 100	
Bendungan sabo	100	

Jaringan pipa	50 100	Jalur pipa diatas atau dibawah tanah yang mengalirkan bahan-bahan bukan pencemar jalur pipa di atas atau dibawah tanah yang mengalirkan bahan-bahan pencemaran
---------------	-----------	--

Kala ulang minimum (tahun) yang disarankan untuk perencanaan teknis usaha-usaha pengendalian banjir secara non-fisik.

Tabel 4.4. Kala Ulang Minimum (Tahun) untuk Perencanaan Teknis Usaha Pengendalian Banjir Non Fisik

Usaha Non-Fisik	Kala Ulang (tahun)	Rincian
Pemetaan daerah rawan banjir	10,25,50 & 100	Tergantung pada kebutuhan dan standar banjir rencana
Siaga banjir	25	Perencanaan jalan-jalan masuk, tampungan darurat, dan sebagainya
Penataan daerah banjir ( <i>Land zoning</i> )	2 hingga 5	
Sarana Kedap banjir ( <i>Flood proving</i> )	25	Daerah pemukiman
Prakiraan/Peringatan banjir	100	Untuk perencanaan fasilitas monitoring (pos pengamatan)

#### c. Perencanaan hidrolika

Analisis Hidrolika pada perencanaan proyek pengendalian banjir membutuhkan pemakaian rumus-rumus hidrolika, metode-metode dan model komputer yang tepat. Karakteristik dari aliran saluran terbuka sering kali ditentukan berdasarkan persamaan manning atau simulasi

aliran menggunakan model komputer HEC-2, aliran melalui bangunan ditentukan dengan menggunakan rumus atau model komputer yang sesuai.

#### d. Perencanaan geoteknik

Perencanaan geoteknik merupakan elemen yang sangat penting pada perencanaan fasilitas-fasilitas bangunan pengendalian banjir, banyak kegagalan konstruksi yang membahayakan seperti keruntuhan lereng, rembesan, kehilangan daya dukung dan kesulitan-kesulitan pelaksanaan lain yang berkaitandengan kekurangan perhatian terhadap kriteria tersebut.

- Kemiringan tanggul harus stabil dan harus boleh mengalami penurunan saat pembebanan baik selama dan sesudah pelaksanaan.
- Rembesan harus dikontrol untuk mencegah adanya daya angkat, piping, ketidakstabilan, longsoran dan erosi yang berlebihan.
- Timbunan harus cukup padat untuk mencegah penurunan, keruntuhan lereng dan rembesan yang berlebihan.
- Fasilitas-fasilitas tertentu yang dapat menimbulkan kerusakan besar dirancang tahan gempa.

#### e. Perencanaan struktur

Dalam pekerjaan pengendalian banjir terdapat berbagai jenis bangunan dan dibangun dengan bahan yang berbeda-beda (seperti beton, pasangan batu). Dalam perencanaan struktur konsultan akan mengacu pada standar peraturan-peraturan yang telah dikembangkan untuk perencanaan dan pelaksanaan bangunan di Indonesia yaitu :

- Standar Kriteria Perencanaan KP-06, 1986,
- Peraturan Pembebanan Bangunan Gedung Indonesia, SNI-1727-1989-F,
- Peraturan Pembebanan Jalan Raya dan Desain Jembatan Indonesia, SNI-1727-1987-F.

Bangunan akan diletakkan pada tampang sungai yang stabil dan dimana pondasi cukup kuat. Analisis stabilitas bangunan akan mempertimbangkan kekuatan pondasi, keamanan gaya guling, dan gaya angkat. Faktor keamanan akan dipergunakan dengan mempertimbangkan persyaratan yang terdapat pada Peraturan Perencanaan Struktur Tahan Gempa, SNI-1726-1998-F.

#### 4.6.5. Kriteria Desain Fasilitas Khusus

Pada perencanaan bangunan sebagai fasilitas khusus, estandar kriteria desain bangunan-bangunan pengendalian banjir harus mengacu pada buku Pedoman Pengendalian Banjir di Indonesia.

##### a. Pengaturan sungai dan perbaikan alur

Tabel 4.5. Kriteria Desain Bangunan Pengendali Banjir

Tipe	Kriteria
Banjir rencana	Standar banjir rencana akan dipergunakan untuk merencanakan normalisasi sungai. Sudetan pada meander dibuat dengan ukuran untuk debit dominan.
Teknik sungai	Penurunan dasar sungai setempat tidak akan menyebabkan erosi dan degradasi yang berlebihan di hulu sungai. Kalau bangunan-bangunan pengendali dilaksanakan, alur alamia yang mempunyai karakteristik regime perlu diperhatikan kontinuitas transport sedimen.
Perencanaan hidrolika	Dimana terdapat sudetan dan pengerukan pada dasar sungai diusulkan untuk mengurangi tinggi muka air dengan melakukan perbaikan sungai agar tidak menyebabkan erosi di hulu alur sungai.

##### b. Tanggul dan tembok banjir

Tabel 4.6. Kriteria Desain Tanggul dan Tembok Banjir

Jenis	Kriteria
Banjir rencana	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tinggi tanggul sebaiknya dipilih agar bisa mengalirkan debit standar banjir rencana (Design Flood Standart) tanpa terjadi limpasan.</li><li>- Perlindungan erosi pada lereng dalam tanggul sebaiknya bisa melindunginya terhadap banjir berkala</li></ul>

	ulang 50 tahun, tanpa menimbulkan kerusakan.
--	--

.....dilanjutkan



Lanjutan Tabel 4.6

<p>Hak pemanfaatan lahan</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menurut Kepmen PU. No.63 Tahun 1993 Pemerintah mengatur pemanfaatan lahan yang berada diantara kaki tanggul luar dan garis sepadan yang jaraknya sekitar 5 meter.</li> <li>- Bangunan jenis rumah tinggal dan industri tidak diijinkan dibangun dibantaran.</li> <li>- Tanaman keras, termasuk pohon pisang, dan jenis tanaman yang cara pengolahan tanahnya memudahkan erosi, sebaiknya tidak diijinkan ditanam dibantaran. Tanaman rumput untuk ternak dan jenis tanaman rendah yang mampu menahan erosi tanah dibawahnya, disarankan untuk bisa ditanam.</li> <li>- Pemanfaatan lahan dibantaran sebaiknya tidak berpengaruh pada permukaan air banjir.</li> </ul>
<p>Bahan bangunan dan syarat geoteknik</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sebaiknya menggunakan bahan bangunan lokal, termasuk lumpur (silt), pasir (sand), dan lempung (clay) bilamana dapat dipergunakan. Tanggul yang dibuat dari lumpur dan pasir, mercu tanggul sebaiknya ditutup lapisan lempung setebal 0,3 meter sebagai pelindung dari kerusakan jika terjadi limpasan (overtopping).</li> <li>- Tanggul tanah sebaiknya didapatkan sampai minimum 90 persen kepadatan Proc tor standar atau lebih tergantung pada persyaratan khusus lapangan.</li> </ul>

.....dilanjutkan

Lanjutan Tabel 4.6.

<p>Detil profil melintang</p>	<p>Lebar mercu tanggul minimum :</p> <p><math>Q &lt; 500 \text{ m}^3</math> perdetik (mkpd), 3 meter</p> <p><math>500 \text{ mkpd} &lt; Q &lt; 2.000 \text{ mkpd}</math>, 4 meter</p> <p><math>Q &gt; 2.000 \text{ mkpd}</math>, 5 meter</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mercu yang lebih lebar bisa diperlukan untuk lalulintas, kendaraan inspeksi, atau peralatan untuk pemeliharaan.</li> <li>- Tinggi jagaan (freeboard) minimum tanggul tanah atau pasangan batu :             <ul style="list-style-type: none"> <li><math>Q &lt; 200 \text{ mkpd}</math>, 0,5 meter</li> <li><math>200 \text{ mkpd} &lt; Q &lt; 500 \text{ mkpd}</math>, 0,8 meter</li> <li><math>500 \text{ mkpd} &lt; Q &lt; 2.000 \text{ mkpd}</math>, 1,0 meter</li> <li><math>Q &gt; 2.000 \text{ mkpd}</math>, 1,2 meter</li> </ul> </li> <li>- Pada semua kasus tinggi jagaan sebaiknya lebih tinggi dari tinggi gelombang (wave setup) dan tinggi rayapan gelombang (wind runup) yang dibangkitkan oleh angin berkala ulang 10 tahunan.</li> <li>- Kemiringan sisi tanggul tanah minimum sebaiknya 1 vertikal : 2 horisontal. Kemiringan lebih landai atau pemakaian berm bisa diperlakukan berdasarkan kondisi tanah dan hasil perhitungan stabilitas.</li> <li>- Kemiringan sisi tanggul tanah sebaiknya dilindungi terhadap erosi dengan menggunakan vegetasi rumput atau rip-rap tergantung pada kondisi lapangan dan tanah setempat.</li> </ul>
-------------------------------	---

.....dilanjutkan

Lanjutan Tabel 4.6.

<p>Pertimbangan khusus</p>	<p>Sebaiknya disediakan pengamanan tambahan jika tanggul tanah dan tanggul pasangan batu terletak di daerah kritis, yaitu jika korban jiwa atau harta milik beresiko tinggi pada kejadian tanggul bobol, atau jika tanggul cukup tinggi (lebih dari 3,5 m). Penanganan itu sebaiknya meliputi :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tambahan tinggi jagaan 0,3 meter sepanjang daerah kritis.</li> <li>- Melindungi sisi dalam tanggul dengan bahan pelindung (armour) jika tanggul dibuat dari bahan yang relatif mudah tererosi (seperti lumpur dan pasir).</li> <li>- Pembuatan inti kedap air dan menyaring (filter) disisi luar tanggul jika kemungkinan “seepage” bisa lewat badan tanggul atau pondasinya.</li> <li>- Kepadatan timbunan minimum 95 persen kepadatan Proctor Standar</li> </ul>
----------------------------	---

c. Waduk retensi

Tabel 4.7. Kriteria Desain Waduk Retensi

Jenis	Kriteria
<p>Tataguna lahan</p>	<p>Untuk daerah dimana resiko korban jiwa dan kerugian harta milik di daerah waduk retensi kejadian banjir diperkirakan akan tinggi, larangan penggunaan lahan sebaiknya ditegaskan.</p>

.....dilanjutkan

Lanjutan Tabel 4.7.

	<p>Larangan itu akan dikenakan terhadap pengguna sebagai berikut :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pembangunan tempat tinggal dan rumah tinggal</li> <li>- Tanaman dimusim kemarau atau dimusim hujan</li> </ul> <p>Sistem prakiraan dan peringatan banjir yang terpercaya dan tepat waktu sebaiknya dijadikan satu dengan proyek penyiapan tempat tinggal atau penggunaan lahan yang diijinkan didaerah waduk retensi itu.</p>
Bangunan-bangunan pengendali	Tanggul yang direncanakan sebagai bagian dari proyek waduk retensi sebaiknya sesuai dengan kriteria yang terdaftar di tabel
Sedimentasi	Dampak angkutan sedimen yang masuk kedalam waduk dimasa datang dan dibagian regim sungai bagian hilir, harus ditentukan.

d. Alur Bypass dan Kanal Banjir (Floodway)

Tabel 4.8. Kriteria Desain Alur By Pass dan Banjir Kanal

Jenis	Kriteria
Debit rencana	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kombinasi antara alur bypass atau kanal banjir dan alur sebaiknya mampu mengalirkan debit standar debit rencana.</li> <li>- Perlindungan erosi pada tebing alur sebaiknya mengakomodasi debit berkala ulang 25 tahun tanpa menimbulkan kerusakan.</li> <li>- Perlindungan erosi tanggul sebaiknya mengakomodasi debit berkala ulang 50 tahun tanpa menimbulkan kerusakan.</li> </ul>

.....dilanjutkan

Lanjutan Tabel 4.8.

<p>Hak pemanfaatan lahan</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sesuai dengan peraturan yang ada, pemerintah berkewenangan mengatur dan mengendalikan semua lahan sampai jarak 5 meter diluar kaki tanggul alur bypass.</li> <li>- Bangunan-bangunan jenis pemukiman permanen dna industri sebaiknya tak diijinkan dibangun dibantaran alur baypass.</li> <li>- Jenis tanaman, misalnya rumput untuk ternak, bisa dipertimbangkan ditanam dibantaran alur bypass.</li> </ul>
<p>Alinemen</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sudut belokan maksimum yang diijinkan untuk alur bypass (jari-jari busur dari pusat lingkaran) sebaiknya sekurang-kurangnya 7 kali lebar permukaan air.</li> <li>- Analisis secara detail sebaiknya mempertimbangkan kapasitas alur, kecepatan, dan sifat-sifat tanah.</li> </ul>
<p>Desain hidrolika</p>	<p>Perbandingan antara lebar profil alur dan kedalaman serta kecepatan sebaiknya dipilih agar terjadi pengendapan dan gerusan pada alur.</p>
<p>Bahan bangunan dan hal-hal mengenai Geoteknik</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Penyelidikan geoteknik sebaiknya menetapkan kondisi bawah tanah termasuk kedalam air tanah, kedalaman batuan dasar, dan penggunaan bahan galian untuk material timbunan.</li> <li>- Tergantung pada kondisi lapangan dan faktor ekonomi, desain sebaiknya mempertimbangkan keseimbangan antar bahan galian dan bahan untuk pembuatan tanggul.</li> <li>- Pemadatan tanggul sebaiknya minimum 90 persen kepadatan proctor standar, atau lebih tinggi, tergantung pada persyaratan teknis dilapangan.</li> <li>- Tanggul yang dibuat dari lumpur dan pasir sebaiknya dilapisi dengan lempung setebal 0,3 meter untuk perlindungan terhadap kerusakan pada saat terjadi</li> </ul>

	overtopping.
--	--------------

.....dilanjutkan

Lanjutan Tabel 4.8.

Detail tampang melintang	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Lebar mercu tanggul minimum : <ul style="list-style-type: none"> <li><math>Q &lt; 500</math> mkpd, 3 meter</li> <li><math>500 \text{ mkpd} &lt; Q &lt; 2.000</math> mkpd, 4 meter</li> <li><math>Q &gt; 2.000</math> mkpd, 5 meter</li> </ul> </li>   <li>Jika diperlukan untuk lalulintas lokal, kendaraan inspeksi, dan peralatan pemeliharaan, bisa dibuat mercu tanggul yang lebih lebar</li>   <li>- Tinggi jagaan (freeboard) : <ul style="list-style-type: none"> <li><math>Q &lt; 200</math> mkpd, 0,5 meter</li> <li><math>200 \text{ mkpd} &lt; Q &lt; 500</math> mkpd, 0,8 meter</li> <li><math>500 \text{ mkpd} &lt; Q &lt; 2.000</math> mkpd, 1,0 meter</li> <li><math>Q &gt; 2.000</math> mkpd, 1,2 meter</li> </ul> </li>   <li>- Untuk semua kasus, tinggi jagaan sebaiknya lebih besar dari pada riprap dan setup hasil dari kejadian angin berkala 10 tahun.</li>   <li>- Kemiringan sisi tanggul sebaiknya 1 vertikal : 2 horisontal. Kemiringan yang lebih terjal atau penggunaan berm bisa dilakukan berdasarkan perhitungan kestabilan.</li>   <li>- Kemiringan sisi tanggul tanah sebaiknya dilindungi terhadap erosi dengan menggunakan vegetasi rumput atau rip-rap tergantung pada kondisi lapangan dan tanah setempat.</li> </ul>
--------------------------	---

.....dilanjutkan

Lanjutan Tabel 4.8.

<p>Pertimbangan khusus</p>	<p>Direkomendasikan ada tambahan pengamanan jika tanggul tanah dan tanggul pasangan batu terletak di daerah kritis, dimana resiko korban jiwa atau harta milik pada kejadian tanggul bobol, tinggi, atau jika tanggul sangat tinggi (lebih dari 3,5 m). Penanganan itu sebaiknya meliputi :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tambahan tinggi jagaan 0,3 m pada daerah kritis.</li> <li>- Perlindungan kemiringan tanggul bagian dalam dimana tanggul dibuat dari bahan yang relatif mudah tererosi (misalnya seperti lumpur dan pasir).</li> <li>- Jika badan bendungan atau fondasi mengalami “seepage” maka diperlukan inti yang kedap air dan saringan dibagian hilirnya.</li> <li>- Kepadatan timbunan tanggul minimum 95 persen kepadatan Proctor Standar</li> </ul>
----------------------------	---

e. Perlindungan terhadap pasang surut

Tabel 4.9. Kriteria desain tanggul pelindung pasang surut

Tipe	Kriteria
Debit Banjir	Jika dekat dengan muara sungai, tanggul harus cukup untuk ketinggian banjir 50 tahunan
Tinggi Jagaan	Ketinggian puncak tanggul sebaiknya lebih tinggi dari puncak ketinggian pasang air ditambah ketinggian gelombang run-up dan set-up dihitung berdasarkan frekuensi 10 tahunan. Ketinggian puncak tanggul minimal mempunyai tinggi

	jagaan 1,0 meter dari pasang tertinggi .....dilanjutkan
--	--

Lanjutan Tabel 4.9.

Geoteknik	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tanggul pasang surut harus mampu menahan kerusakan terhadap longsor tanggul, rembesan air dan piping (erosi buluh).</li> <li>- Penurunan pada tanah lunak harus diperhitungkan (termasuk penurunan awal dan jangka panjang akibat konsolidasi, dengan memberikan tambahan tinggi).</li> <li>- Bahan tanggul : lebih dari 5% bahan harus melewati saringan #200. Bahan tidak boleh mengandung kerakal dengan diameter &gt; 10 cm, tanah mengandung bahan organik tidak boleh dipakai. Kepadatan tanah harus &gt; 95% dari maksimum standar proctor.</li> </ul>
Perlindungan	Perlindungan tebing disisi air laut terdiri dari rip-rap, sedangkan disisi darat memakai gebalan rumput. Dibawah rip-rap harus dipasang lapisan pasir dan kerikil.
Drainase	Kapasitas gorong-gorong untuk drainase cukup untuk mematus air dibelakang tanggul selama air surut.
Sipil	Lebar puncak tanggul harus cukup untuk jalan inspeksi maupun untuk pemeliharaan. Kapasitas tampung dari polder harus mencukupi untuk menampung run off dan drainasi selama pasang naik. Pematusan selama pasang air surut harus dapat melewati gorong-gorong drainasi dengan grafitasi. Air laut tidak boleh masuk kedarat melalui tanggul atau bangunan drainasi.



f. Perlindungan tebing sungai

Tabel 4.10. Kriteria desain untuk pelindung tebing

Tipe	Kriteria
Debit Banjir rencana	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 25 tahun untuk tebing sungai</li> <li>- 50 tahun untuk tebing tanggul</li> </ul>
Tekni sungai	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mampu menahan gaya hidrolis air dan gerusan dasar sungai pada debit banjir rencana.</li> <li>- Harus aman terhadap perubahan bentuk sungai yang disebabkan oleh perpindahan alur sungai untuk 25 tahunan.</li> </ul>
Hidrolika	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pada debit banjir rencana angka aman untuk stabilitas &gt; 1,25</li> <li>- Lapisan filter yang memadai harus dipasang dibawah pelindung tebing.</li> <li>- Aligment pelindung tebing harus didesain untuk meminimalkan kerusakan akibat ulah manusia</li> </ul>

g. Pelindung erosi dan pengendalian sedimen

Tabel 4.11. Kriteria desain untuk pelindung erosi dan pengendalian sedimen

Tipe	Kriteria
Debit Banjir rencana	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sungai dipengaruhi gunung berapi :               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. Sabo dam (tanpa kantong pasir) di desain untuk banjir 100 tahunan.</li> <li>b. Pelimpah kantong pasir di desain untuk banjir 100 tahunan tanpa menimbulkan limpasan pada tanggul.</li> <li>c. Debit banjir rencana dapat dikurangi jika banjir yang terjadi tidak akan menimbulkan kerusakan yang berarti atau korban jiwa.</li> </ol> </li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sungai tanpa pengaruh gunung berapi :</li> <li>a. Pelimpah untuk mengalirkan sedimen di desain untuk banjir 5 sampai 10 tahun.</li> <li>b. 50 tahunan untuk tebing tanggul</li> </ul>
--	--

.....dilanjutkan

Lanjutan Tabel 4.11.

Teknik sungai	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pembangunan pengendali sedimen (Sabo dam atau kantong pasir) harus tetap menjamin keseimbangan pengangkutan/aliran sedimen pada daerah hilir.</li> <li>- Bangunan pengendali sedimen tidak boleh menimbulkan degradasi dibagian hilir yang berpengaruh pada fondasi jembatan maupun penurunan muka air pada intake saluran irigasi</li> </ul>
---------------	--

h. Jembatan dan bangunan silang pada sungai

Kriteria desain untuk jembatan dan bangunan silang pada sungai sudah ditetapkan oleh Departement Perhubungan dan Departemen Pekerjaan Umum (Ditjen Bina Marga). Kriteria desain yang berkaitan dengan pengendalian banjir dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.12. Kriteria desain untuk bangunan silang pada sungai

Tipe	Kriteria
Debit Banjir rencana	Minimal harus sama dengan standar debit banjir rencana. Akibat dari backwater selama debit banjir rencana tidak boleh melebihi 0,3 meter standar yang lebih tinggi untuk daerah tertentu mungkin disyaratkan oleh Departemen Perhubungan atau Bina Marga.
Tinggi Jagaan	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bina Marga mensyaratkan minimum tinggi jagaan 1,5 m diatas muka air banjir.</li> <li>- Departemen P.U dalam “Guideline for brige &amp; highway loading”, mensyaratkan minimum 1,0 m jarak antara muka air pada banjir 50 tahun dengan bagian bawah balok girder jembatan.</li> </ul>

	- Bina Marga mensyaratkan untuk transportasi air tinggi jagaan pada jembatan minimal 12 m diatas muka air pada debit banjir rencana 50 tahun. Permukaan jalan pada persilangan sungai minimal 0,5 m diatas elevasi puncak tanggul/elevasi puncak tembok banjir.
--	---

.....dilanjutkan

Lanjutan Tabel 4.12.

Teknik Sungai	Lokasi dan desain jembatan harus diseleksi sesuai dengan karakteristik geomorfologi sungai.
Bentang Jembatan	Total bentang jembatan tidak boleh kurang dari lebar alam sungai dan direncanakan dapat melewati debit banjir rencana dengan aman.
Pilar Jembatan	- Pilar jembatan harus ditetapkan dan memberikan ruang yang cukup untuk dilalui aliran debris pada saat banjir. - Pilar harus di desain aman untuk menahan gerusan dasar sungai ataupun degradasi pada alur sungai. - Penambangan pasir dilarang pada daerah dekat pilar.

Dari permasalahan yang ada maka dapat dianalisis dari berbagai aspek dan dapat dibuat urutan skala prioritas program penanganan pengendalian banjir, untuk menentukan program jangka pendek, menengah dan jangka panjang. Skala prioritas ini akan didasarkan pada :

- program kerja pengembangan daerah (skala prioritas pengembangan daerah, baik berdasarkan sektor maupun wilayah),
- tahapan studi yang telah dilaksanakan (pada beberapa bangunan telah sampai pada tahap detail desain, *feasibility study*),
- nilai anggaran biaya proyek dan nilai manfaat proyek,
- kondisi strategis ,
- aspek dampak lingkungan (terutama yang menyangkut masalah sosial).

Berdasarkan aspek-aspek diatas selanjutnya akan disusun urutan prioritas penanganan pengendalian banjir dalam tiga kategori, yaitu :

- program jangka pendek,
- program jangka menengah,
- program jangka panjang.

#### **4.6.6. Analisis Erosi Sungai**

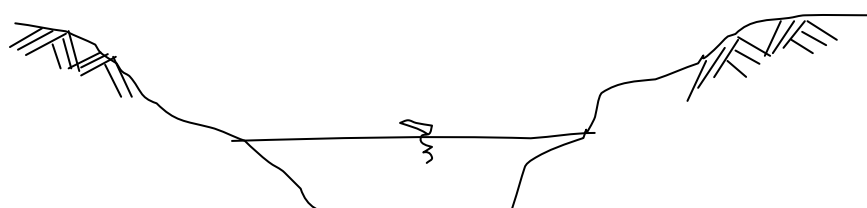
Sungai adalah perpaduan antara alur sungai dan aliran air yang ada di dalamnya. Alur sungai adalah suatu alur yang panjang di atas permukaan bumi tempat mengalirnya air yang berasal dari hujan maupun mata air. Sifat-sifatnya sangat dipengaruhi oleh luas dan bentuk daerah pengaliran serta kemiringannya. Dengan adanya air yang mengalir di dalamnya, sungai menggerus tanah dasarnya secara terus menerus sepanjang masa eksestensinya. Pada daerah dataran yang relatif rata (kemiringan kecil) alur sungai tidak stabil dan apabila membelok maka terjadilah erosi pada tebing belokan luar (akibat scouring) yang sangat intensif, sehingga sering terbentuk meander yaitu suatu morfologi sungai yang terdiri dari banyak tikungan. Sungai merupakan jenis saluran air. Jenis ini terdiri dari jenis saluran alam dan jenis saluran buatan dengan berbagai bentuk penampang, antara lain segi empat, segitiga, trapesium dan berbentuk setengah lingkaran.

#### Jenis Saluran Tanah

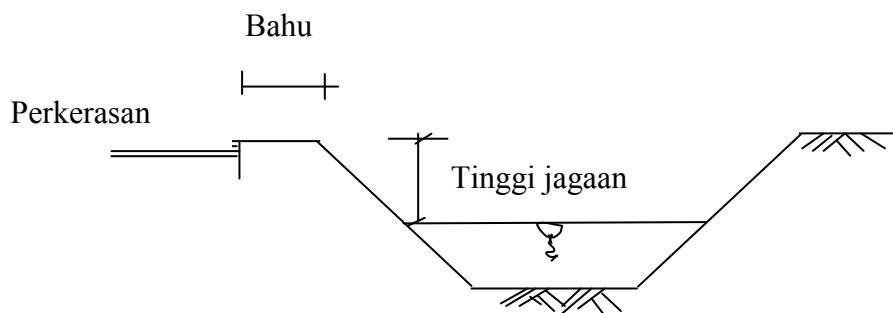
Yang dimaksud dengan saluran tanah adalah suatu sistem distribusi yang berupa saluran terbuka tanpa diberi lapisan penutup khusus. Saluran alam ini sering digunakan dibanyak tempat karena pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut :

- Untuk pembangunan dan pemeliharaannya hanya memerlukan biaya yang sedikit.
- Diperlukan stabilitas lereng yang cukup baik, dan sebaliknya erosi dan sedimentasi di setiap potongan seminimal mungkin.
- Mengenai perencanaan hidrolisnya dapat dilihat pada bab hidrolika.

2 jenis saluran tanah dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan 4.10.



Gambar 4.9 Jenis Saluran Tanah Alamiah

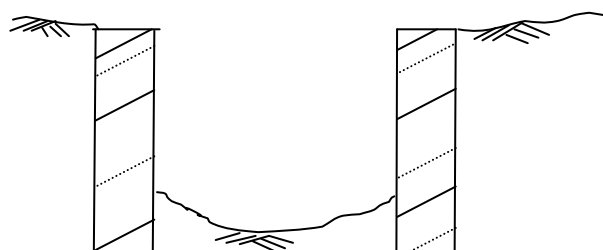


Gambar 4.10 Jenis Saluran Tanah Buatan

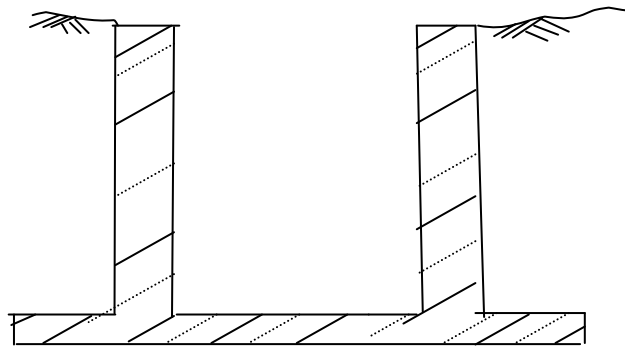
### Jenis Saluran beton

Saluran beton adalah salah satu saluran yang terbaik karena memiliki kapasitas hidrolis yang cukup tinggi, tetapi memerlukan biaya yang cukup tinggi baik pada waktu pembuatannya maupun pemeliharannya. Saluran jenis ini dapat dibedakan menjadi 2 yaitu jenis kantilever dengan dasarnya yang terbuat dari tanah atau " riprap ", yang dirancang untuk menahan tekanan lateral tanah, tekanan air tanah dan selain itu juga harus tahan terhadap stabilitas gelincir dan guling. Sedangkan jenis kedua adalah saluran yang dinding dan dasarnya terbuat dari beton yang dirancang untuk menahan gaya lateral tanah, tekanan air tanah dan gaya *uplift*.

Ditinjau dari segi stabilitas, kemungkinan guling dan gelincir sangat kecil dikarenakan momen yang ada diteruskan ke dasar saluran yang dapat diasumsikan sebagai berikut. Dalam perencanaan saluran beton ini, ketebalan minimum sebaiknya adalah 8 – 10 cm sedangkan untuk lapisan beton bertulang adalah 7 cm. Untuk ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12.



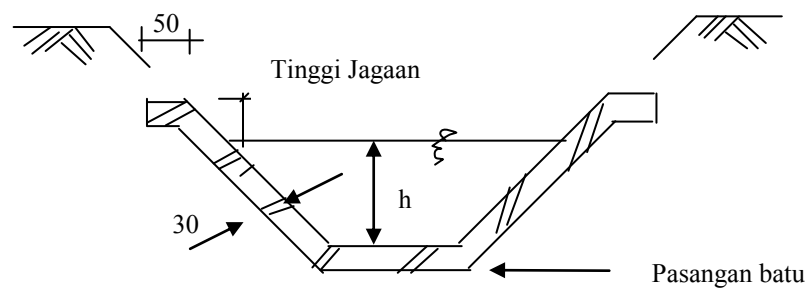
Gambar 4.11 Saluran Beton Bertulang Kantilever Dengan Dasar Saluran Berupa Tanah Asli



Gambar 4.12 Saluran Beton Bertulang Pada Kedua Sisi Saluran

### Jenis Saluran Pasangan Batu

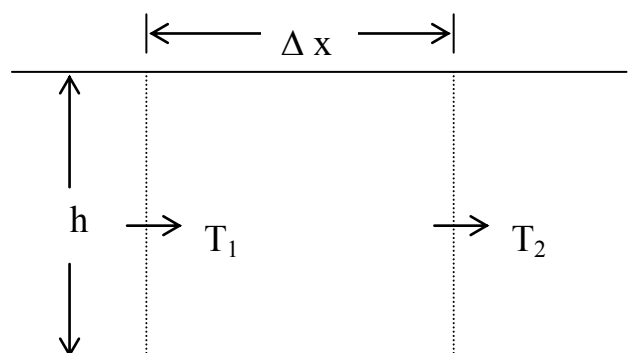
Jenis saluran ini sangat baik untuk menjaga stabilitas lereng. Salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah persediaan material di lokasi sehingga mempermudah pembangunannya. Selain itu dapat dipergunakan juga pasangan bata. Untuk bahan material jenis ini, ketebalan minimum yang diperlukan adalah 30 cm seperti yang terlihat pada Gambar 4.13



Gambar 4.13 Saluran Pasangan Batu

Tikungan dibentuk secara normal sebagai akibat dari aliran sinous alami di dalam saluran aluvial (Putra dkk, 2001), 1990), ketika kemiringan sungai lebih kecil dari pada  $S = 0,0017 Q^{1/4}$ . Permasalahan yang sering terjadi pada tikungan adalah masalah gerusan (Scouring) pada tebing/sisi tikungan luar, dan sebagai akibatnya yang timbul di tikungan berupa : terjadinya pengendapan (deposition) pada tikungan dalam sehingga mempengaruhi kemiringan dasar saluran pada potongan melintang ( arah transversal ), bisa pula terjadinya sodetan alami pada tikungan luar sehingga alur arah sungai berubah. Hal ini perlu diatasi, baik dengan cara pembuatan pengaman (penguat tebing) maupun normalisasi sungai, untuk itu perlu dipelajari bagaimana proses scouring terjadi pada tikungan sungai dan analisis penanganannya, hal ini penting dalam kaitannya dengan perencanaan dan perbaikan tikungan sungai.

Scouring terjadi akibat adanya gaya seret ( dragforce ) yang besar atau akibat gaya seret yang bertambah pada suatu waktu untuk suatu lokasi tertentu. Jika pergerakan aliran dari penampang 1 ke penampang 2 (Gambar 4.14 ) untuk suatu perpindahan gaya desak  $T$  yang membesar mengakibatkan terjadinya gerusan ( Scouring ). Oleh karena itu kriteria gerusan dapat diekspresikan secara formula yaitu :  $dT/dx > 0$ , untuk  $T_1 < T_2$ , dimana  $x$  adalah panjang koordinat, yang diukur sepanjang sumbu ( garis tengah ) sungai.



Gambar 4.14 Prinsip Pengaruh Scouring :  $T_1 < T_2$

Secara umum bahwa kondisi keseimbangan akan tercapai bila  $dT/dx = 0$ , hal ini biasa terjadi bila keseimbangan aliran air tercapai bila  $h = h_e$ , dengan  $h_e$  adalah keseimbangan

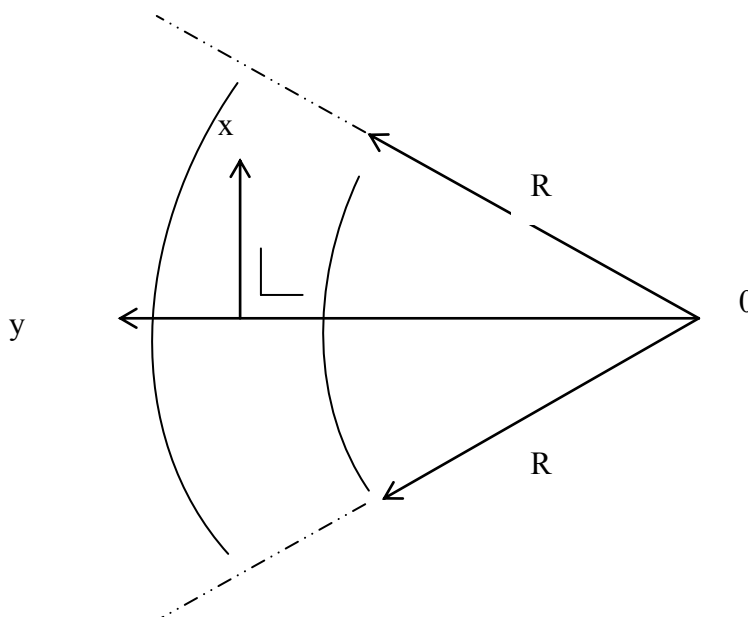
kedalaman. Jika hal ini tercapai tidak akan terjadi scouring/gerusan maupun pengendapan, secara formula  $h_e$  ( h equilibrium ) ditulis :

$$h_e = \sqrt[3]{\frac{q^2}{C^2 \cdot i_{bed}}}, \text{ dengan } q = Q/b \quad (4.45)$$

$$i_{bed} = \frac{Q^2}{C^2 \cdot b^2 \cdot h^2} = V^2 / C^2 \cdot h \quad (\text{Rumus chezy}). \quad (4.46)$$

### 1. Fenomena Gaya Pada Tikungan

Pada suatu tikungan maupun saluran terdapat gangguan-gangguan aliran sungai. Gangguan-gangguan itu dapat berupa kerusakan-kerusakan tebing saluran akibat aksi gelombang ombak, bencana banjir, kehilangan energi aliran air (Putra dkk, 2001). Menurut Ida Bagus Giri Putra dkk bahwa penyebab awal dari fenomena gaya pada tikungan sungai adalah gaya centifugal partikel air. Pada asalnya pergerakan partikel air cenderung mengikuti garis aliran. Tetapi pada kenyataannya tidak demikian karena tergantung keberadaan suatu kurva. Dimana partikel air terbanting kearah luar tikungan oleh gaya sentrifugal sehingga arah aliran sungai air menyimpang dari garis aliran. Dalam konsep disini terdapat suatu aliran ( arah x ) yaitu : gaya berat aliran ( gravity ) dan gaya geser ( friction ) ; dua gaya yang beresultan dalam arah y ( tegak lurus x ), kedua gaya ini adalah : gaya centrifugal dan gaya berat Transversal (Transversal gravity force).





Gambar 4.15 Fenomena Gaya Pada Tikungan

## 2. Stabilitas Saluran Tikungan Sungai.

Berdasarkan teori gaya geser ( Tractive force Theory ), bahwa : Kesetabilan saluran didasarkan kriteria gaya geser sepanjang dasar dan tebing saluran tersebut. Adapun persyaratan yang harus dipenuhi yaitu :

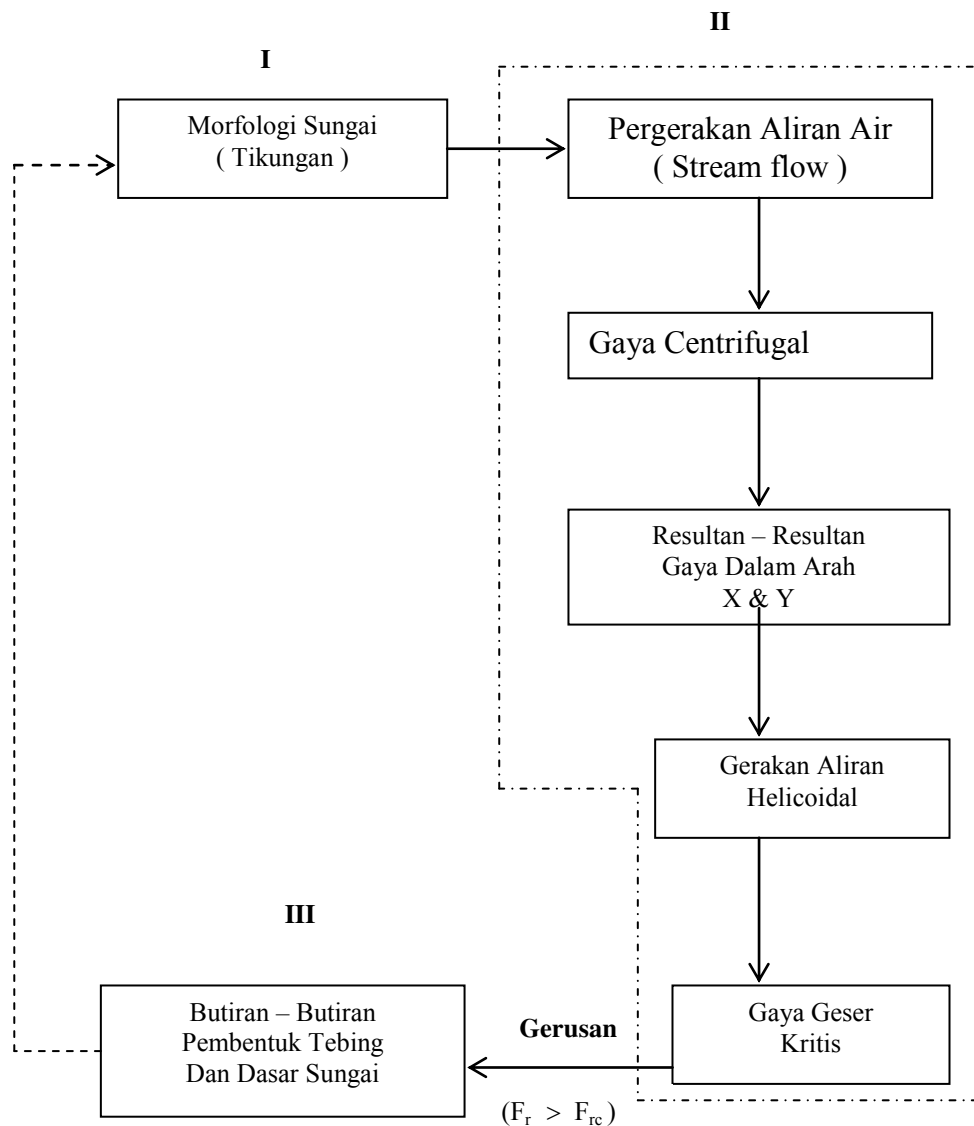
- Gaya geser harus sedemikian kecil sehingga tidak mengakibatkan adanya gerusan-gerusan pada dasar dan dinding saluran.
- Gaya geser di semua tempat cukup besarnya sehingga tidak terjadi endapan sedimen dalam jumlah yang merugikan, dengan sendirinya teori ini bertujuan : menjamin adanya suatu penampang lintang yang stabil (Marjikun, 1984 ).
- Dalam buku “ Transportasi Sedimen “ oleh Ir. JB. Sunardi, F.T. Sipil UNS. , (1986) bahwa Teori gaya geser dapat ditinjau dalam hal-hal sebagai berikut : pembagian gaya geser, pengaruh tebing/talud dan dasar, gaya geser kritik untuk bahan non kohesive, gaya geser kritik untuk bahan kohosive dan pengaruh trace saluran.

## 3. Gerusan ( Scouring ) Pada Tikungan Sungai

Gerusan (scouring) pada tikungan sungai dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya :

- a. Faktor morfologi sungai, dalam hal ini bentuk tikungan sungai atau sudut perubahan tikungan (deflection angle)
- b. Pergerakan aliran air (stream flow), dengan melintasi tikungan timbullah gaya centrifugal, gaya berat transversal ( transversal gravity force ). Terjadilah resultan-resultan gaya baik dalam arah transversal ( arah y ) maupun dalam arah longitudinal ( arah x ), sehingga timbul gerakan helicoidal.
- c. Butiran-butiran pembentuk tebing dan dasar sungai (massa jenis butiran dan daya ikat butiran).

Secara skematis dapat dilihat hubungannya antara ketiga faktor tersebut :

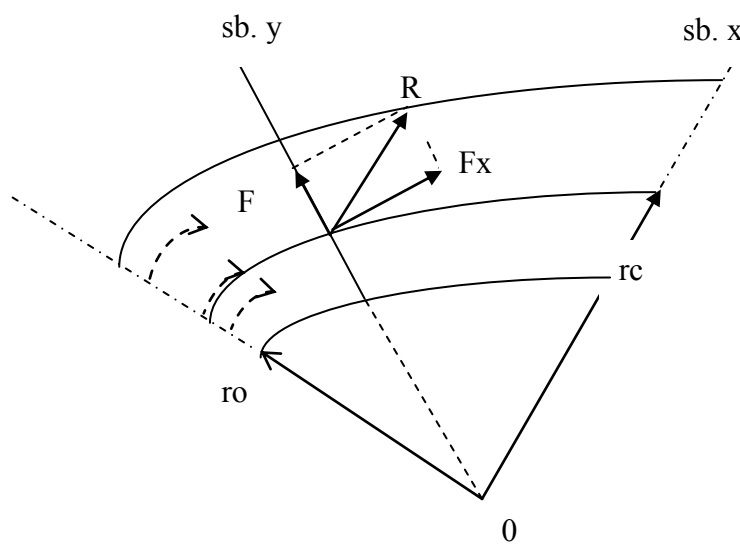


Gambar 4.16 Hubungan faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya gerusan

#### 4. Gaya-gaya Pada Tikungan.

Pada tikungan terdapat gaya-gaya dalam arah x maupun y. Dalam arah x terjadi pertentangan gaya antara gaya berat longitudinal dengan gaya geser membentuk suatu

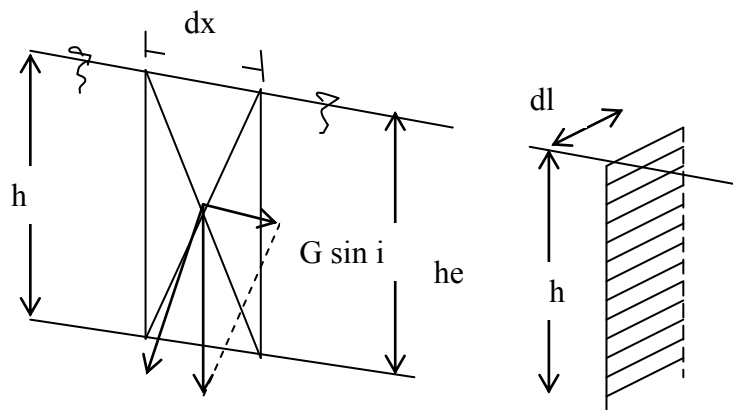
Resultan Gaya  $F_x$  dalam arah longitudinal. Dalam arah  $y$  terjadi pertentangan gaya antara gaya Centrifugal dengan gaya berat transversal membentuk Resultan gaya  $F_y$  dalam arah transversal (lihat Gambar 4.17). Kedua resultan gaya,  $F_x$  dan  $F_y$  membentuk Resultan gaya total  $R$ , resultan gaya ini yang menyebabkan arah aliran air mengalami penyimpangan ( deviasi ) terhadap garis aliran ( stream line ).



Gambar 4.17 Resultan Gaya – Gaya Pada Tikungan

### 5. Resultan Gaya dalam arah $x$

Dalam arah  $x$  pergerakan aliran air disebabkan gravitasi bumi. Pergerakan partikel air sebagai fluida mengalami gesekan dengan dasar sungai, sehingga timbul gaya hambat yang berupa gaya geser ( friction force ) lihat Gambar 4.18.





Gambar 4.18 Gaya Friksi dalam arah X ( Longitudinal )

Resultan gaya  $F_x$  diperoleh :

$$F_x = G \sin i - f_r \quad (4.47)$$

Keseimbangan dicapai jika  $F_x = 0$ , maka

$$f_r = G \sin i \quad (4.48)$$

$$G = m \cdot G = \rho \cdot v \cdot G \quad (4.49)$$

Kita pandang satu garis A – B pada gambar di atas, dimana satu partikel air dalam pandangan atas memusat pada garis A – B, maka  $V = dx \cdot dl \cdot H$ , karena dalam satu partikel pada pandangan atas, maka  $dx$  dan  $dl$  dianggap kecil dan diabaikan, sehingga  $V \cong h$ , maka gaya berat partikel air menjadi :

$$G = \rho \cdot gh \sin i \quad (4.50)$$

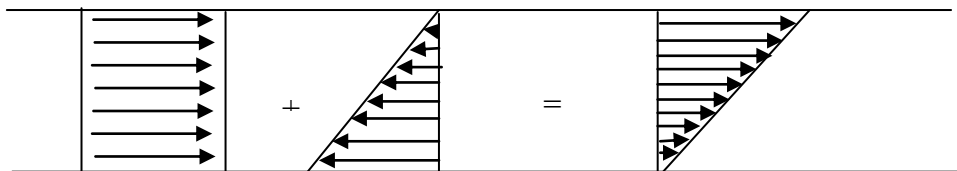
Persamaan ini adalah merupakan persamaan umum gaya geser, dengan  $i$  adalah sudut kemiringan dasar. Jika gradien kemiringan dasar sungai (slope) adalah  $I$ , maka

$$\begin{aligned} \sin i &= dh/dx \cong I, \\ \text{jadi } f_r &= \rho \cdot gh \cdot I \end{aligned} \quad (4.51)$$

Maka Resultan gaya  $F_x$  bisa ditulis :

$$F_x = G \sin i - \rho \cdot gh \cdot I \quad (4.52)$$

Pada kenyataannya keseimbangan gaya dalam arah x sulit tercapai, dimana gaya berat longitudinal selalu lebih besar dari gaya geseran. Secara diagram dapat digambarkan sebagai berikut :

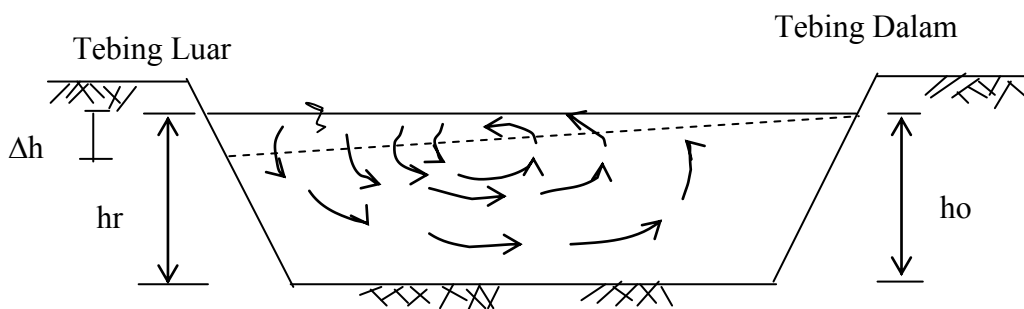


Longitudinal                  Friction Force (Fr)                  Superposisi (Fx)  
 Gravity Force ( G Sin i )

Gambar 4.19 Diagram Resultan Gaya Dalam Arah X ( Longitudinal )

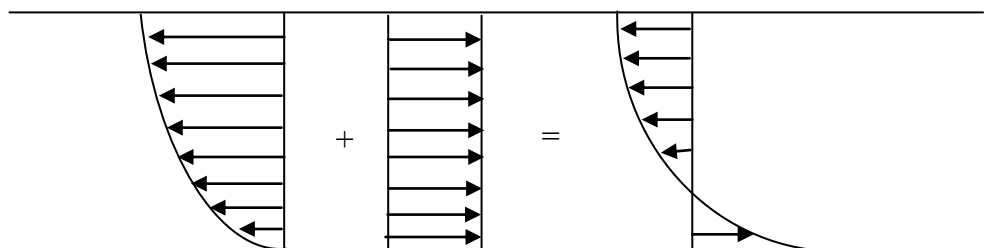
**6. Resultan gaya dalam arah y.**

Dalam arah y timbul gaya centrifugal akibat adanya trace sungai yang berbentuk belokan. Dimana partikel air terbanting/ terlempar ke arah luar pusat jari-jari. Akibatnya permukaan air menjadi tidak seimbang membentuk kemiringan, dengan bagian dinding luar lebih tinggi dari bagian dinding dalam ( lihat Gambar 4.20 ).



Gambar 4.20 Potongan Melintang Sungai Pada Tikungan

Dengan adanya kemiringan ini, menyebabkan berat air pada penampang lintang tidak seimbang sehingga timbul gaya berat transversal ( Transversal gravity force ) yang menentang gaya sentrifugal. Secara diagram dapat digambarkan sebagai berikut :



Gaya Centrifugal

Gaya Berat Transversal

Superposisi

$$\rho_w \cdot \frac{Vx^2}{r}$$

$$\rho_w \cdot G \cdot Iy$$

$$\rho_w \frac{(Vx^2 - g \cdot Iy)}{r}$$

(4.53)

Gambar 4.21 Diagram Resultan Gaya Dalam Arah Y ( Transversal )

Jadi pada permukaan air, kecepatan yang dihasilkan gaya centrifugal lebih besar daripada yang dihasilkan gaya berat transversal, sehingga air pada permukaan bergerak ke arah dinding luar. Sedang pada bagian dasar, kecepatan yang dihasilkan gaya berat transversal lebih besar daripada yang dihasilkan gaya centrifugal, sehingga air pada bagian dasar mengalir ke arah dinding dalam. Jadi pada dinding luar air bergerak ke bawah dan pada dinding dalam air bergerak ke atas. Pergerakan ini terus berulang-ulang sampai mencapai pada keadaan normal setelah melintasi transisi tikungan. Gaya centrifugal yang bergerak ke luar pusat ( ke arah tebing luar ) dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$F_{cf} = \rho \cdot V_x^2 / r$$

Dan gaya berat transversal yang menentang, diformulasikan sebagai berikut :

$$F_{tv} = \rho_w \cdot g \cdot I_y \quad (4.55)$$

dan resultan gaya yang timbul adalah :

$$F_y = F_{cf} - F_{tv} \quad (4.56)$$

$$= \rho_w \cdot \frac{V_x^2}{r} - \rho_w \cdot g \cdot I_y$$

$$= \rho_w \cdot \frac{V_x^2}{r} - \rho_w \cdot g \cdot I_y \quad (3.5) \quad (4.58)$$

Situasi keseimbangan dicapai bila  $F_y = 0$ , sehingga :

$$\rho_w \cdot \frac{V_x^2}{r} = \rho_w \cdot g \cdot I_y, \text{ maka } I_y = \frac{V_x^2}{g \cdot r} \quad (4.59)$$

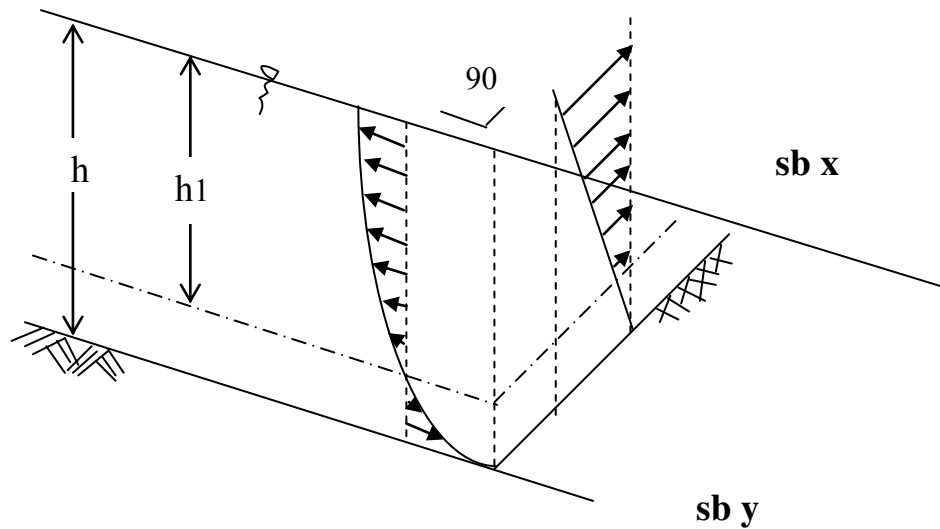
Dengan demikian, jika kecepatan aliran dalam arah x membesar, maka gradien kemiringan y akan bertambah.

## 7. Resultan gaya total R.

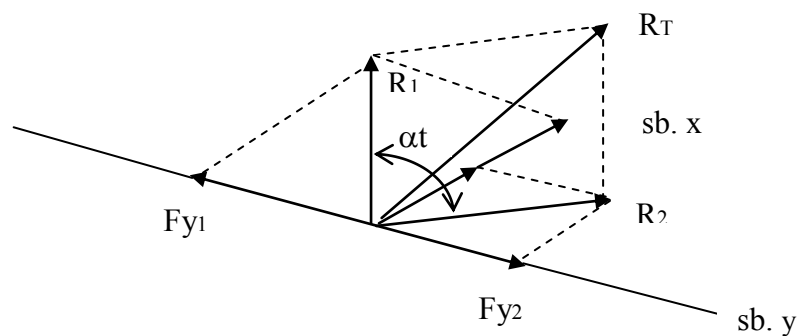
Menurut Gambar 4.22 resultan gaya R dapat diperoleh :

$$R = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}, \quad (4.60)$$

persamaan ini adalah merupakan persamaan umum resultan gaya total, yang menyebabkan arah aliran air menyimpang dari garis aliran ( centre line ). Dengan memperhatikan pembahasan resultan gaya pada arah x dan pada arah y, maka resultan gaya dibagi 2 bagian, lihat Gambar 4.23 .

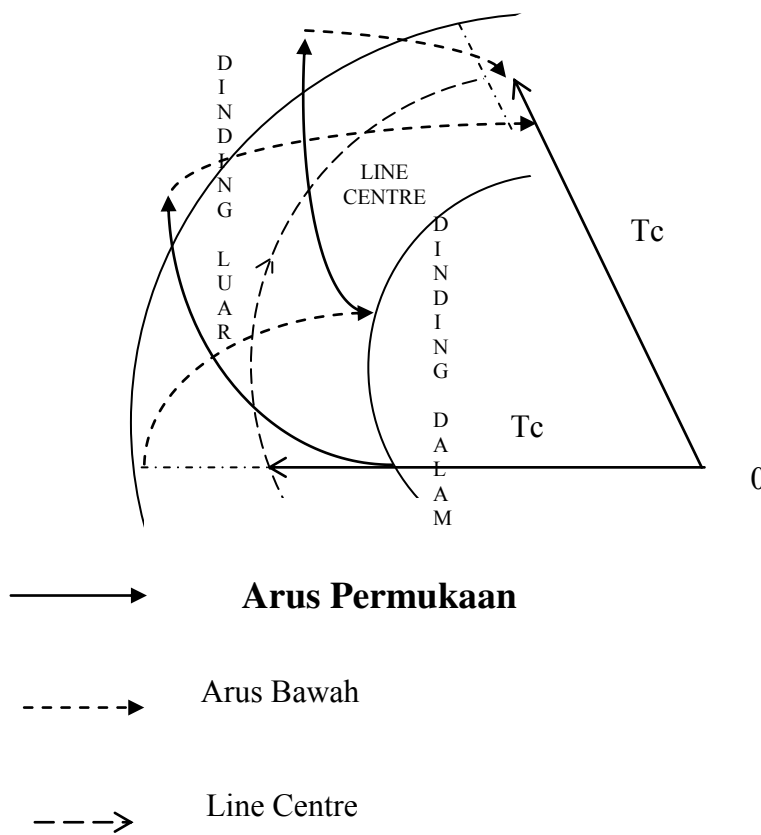


Gambar 4.22 Resultan Gaya.

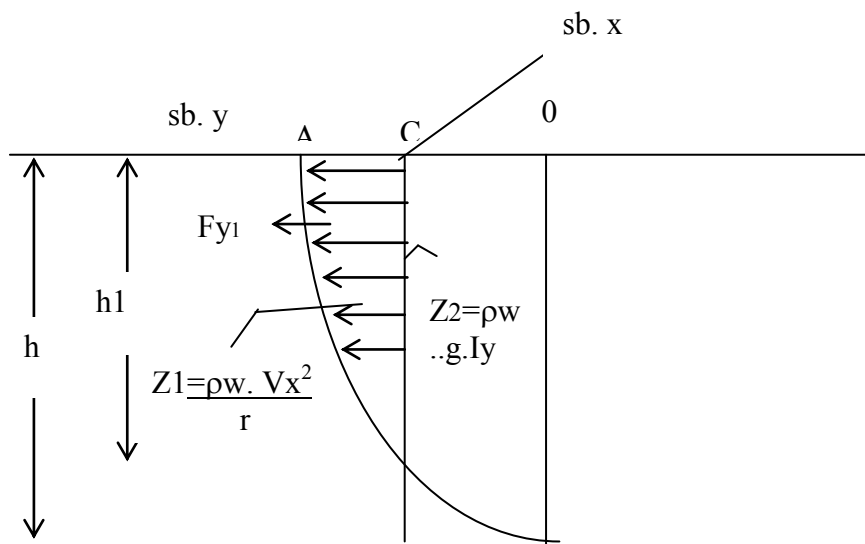


Gambar 4.23 Resultan Gaya.

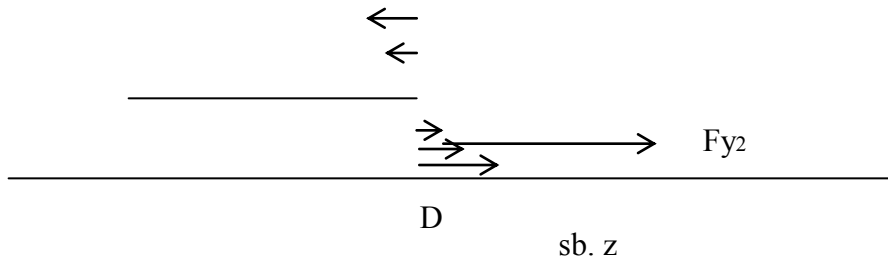
$R_T$  adalah resultan gaya yang menyebabkan aliran air permukaan bergerak ke arah tebing luar dan  $R_T^l$  adalah resultan gaya yang menyebabkan aliran air bagian dasar bergerak ke arah tebing dalam. Dengan adanya kedua resultan ini menyebabkan pergerakan aliran air membentuk aliran ulir ( Helicoidal ), lihat Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Aliran Ulir ( Helicoidal )







Gambar 4.25 Distribusi Gaya Helicoidal

$$Z_1 = \frac{\rho_w \cdot V_x^2}{r} \quad (4.61)$$

$$= \frac{\rho_w \cdot Q^2}{A^2 \cdot r} = \frac{\rho_w \cdot Q^2}{P^2 \cdot R^2 \cdot r} \quad (4.62)$$

$$Z_2 = \rho_w \cdot g \cdot I_y \quad (4.63)$$

$$= \rho_w \cdot g \frac{dh}{dr} \quad (4.64)$$

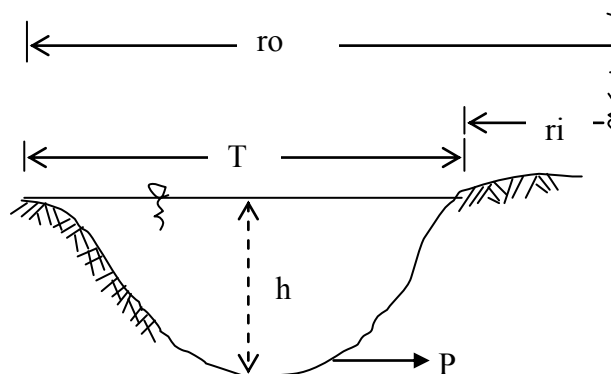
Dengan :

R = Jari-jari hidrolis (m)

P = Panjang keliling basah (m)

$\rho_w$  = rapat massa air (kg/m<sup>3</sup>)

- Panjang Keliling Basah ( panjang busur ) :



Gambar 4.26 Penampang Melintang Sungai

$$P = \int_{r_i}^{r_o} \sqrt{1 + \left[ \frac{dy}{dx} \right]^2} \cdot dy \quad (4.65)$$

$$= \int_{r_i}^{r_o} \sqrt{1 + \left[ \frac{dh}{dt} \right]^2} \cdot dt \quad (4.66)$$

$$= \frac{3}{4} [(r_o - r_i) + 2h] = \frac{3}{4} (T + 2h) \quad (4.67)$$

Sehingga :

$$Z_1 = \frac{\rho_w \cdot Q^2}{\frac{16}{9} (T + 2h)^2 \cdot R^2 \cdot r} \quad (4.68)$$

Maka :

$F_{y1}$  = Luas bidang ABC

$$= \int_{r_i}^{r_o} \int_{h_1}^h \left[ \frac{\rho_w \cdot Q^2}{\frac{16}{9} (T + 2h)^2 \cdot R^2 \cdot r} - \rho_w \cdot g \cdot \frac{dh}{dr} \right] dh \cdot dr \quad (4.69)$$

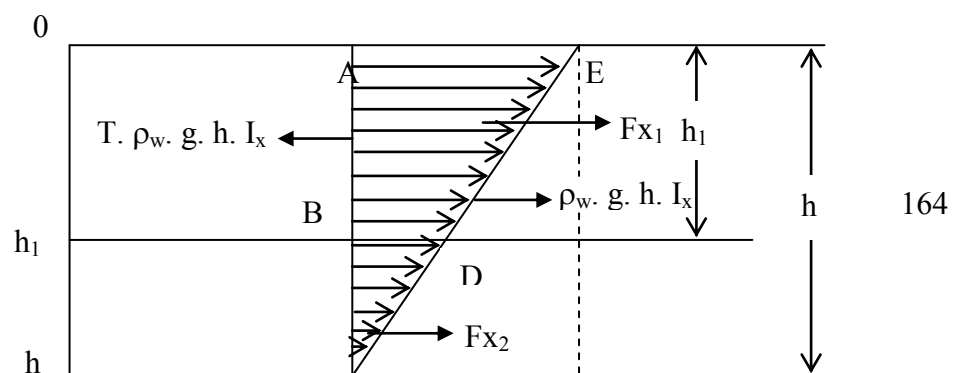
$$= \frac{\rho_w \cdot Q^2 \cdot \ln \frac{r_o}{r_i}}{\frac{8}{9} (T + 2h) \cdot R^2} - \rho_w \cdot g \cdot h_1^2 \quad (4.70)$$

$F_{y2}$  = Luas bidang BDE

$$= \int_{r_i}^{r_o} \int_{h_1}^h \left[ \rho_w \cdot g \cdot \frac{dh}{dr} - \frac{\rho_w \cdot Q^2}{\frac{16}{9} (T + 2h)^2 \cdot R^2 \cdot r} \right] dh \cdot dr \quad (4.71)$$

$$= (h^2 - h_1^2) \cdot \rho_w \cdot g + \frac{\rho_w \cdot Q^2 \ln \frac{r_o}{r_i}}{\frac{8}{9} \{T + 2(h - h_1)\} \cdot R^2} \quad (4.72)$$

Sedangkan harga  $F_x$  :



Gambar 4.27 Distribusi Gaya

$F_{x_1}$  = Luas Bidang ACE

$$= \int_{r_i}^{r_o} \int_0^h (T-1) \rho_w \cdot g \cdot h \cdot I_x \, dh \, dT \quad (4.73)$$

$$= \frac{1}{4} \rho_w \cdot g \cdot h^2 \cdot I_x (r_o^2 - r_i^2 - 2r_o + 2r_i) \quad (4.74)$$

$F_{x_2}$  = Luas Bidang BCD

$$= \int_{h_i}^{h} \int_{r_i}^{r_o} (T-1) \rho_w \cdot g \cdot h \cdot I_x \, dh \, dT \quad (4.75)$$

$$= \frac{1}{4} \rho_w \cdot g \cdot I_x (h^2 - h_1^2) \cdot (r_o^2 - r_i^2 - 2r_o + 2r_i) \quad (4.76)$$

harga  $h_1$  :

$$F \text{ centrifugal} - F \text{ transversal} = F_{y_1} + F_{y_2} \quad (4.77)$$

$$h_1^2 = \frac{1}{2} \left( h^2 I_y - V_x^2 / g \cdot r_c \right) + \frac{Q^2 \cdot \ln r_o / r_i}{16/9 \cdot g \cdot R^2} \left[ \frac{4h_1 - 2h}{T^2 + 2hT + 4h \cdot h_1 - 4h_1^2} \right] \quad (4.78)$$

$$R_1 = \sqrt{F_{x_1}^2 + F_{y_1}^2} \quad (4.79)$$

$$R_2 = \sqrt{F_{x2}^2 + F_{y2}^2} \quad (4.80)$$

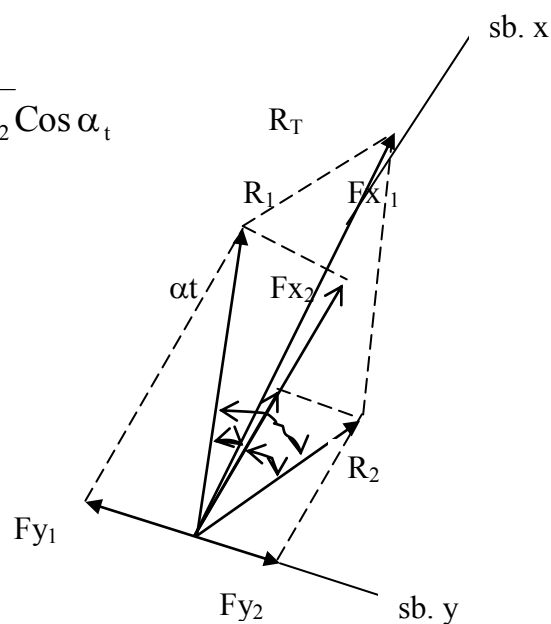
Harga resultan gaya total :

$$R_T = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1 R_2 \cos \alpha_t}$$

$$\alpha_t = \alpha_1 + \alpha_2$$

$$\tan \alpha_1 = \frac{F_{y1}}{F_{x1}}$$

$$\tan \alpha_2 = \frac{F_{y2}}{F_{x2}}$$



Gambar 4.28 Resultan Gaya

## 8. Gaya Geser Pada Tikungan.

Besarnya gaya geser pada saluran lurus, meliputi :

- Penampang empat persegi panjang (Chow, 1959):

$$\tau_o = \gamma_w \cdot h \cdot I_x \quad (4.81)$$

$$\tau_s = 0,75 \gamma_w \cdot h \cdot I_x \quad (4.82)$$

dengan :

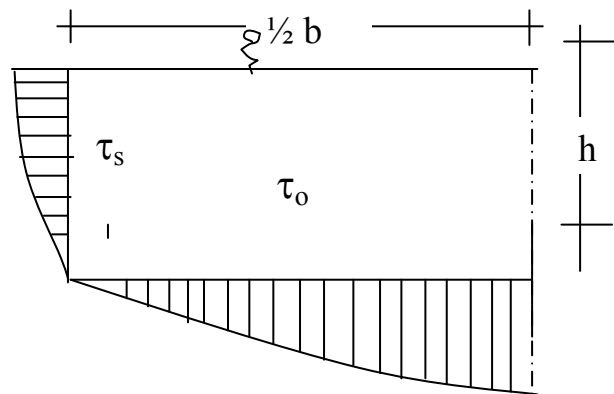
$\tau_o$  : gaya geser dasar saluran

$\tau_s$  : gaya geser tebing saluran

$\gamma_w$  : berat jenis air

$h$  : kedalaman saluran

$x$  : gradien dasar saluran dalam arah longitudinal

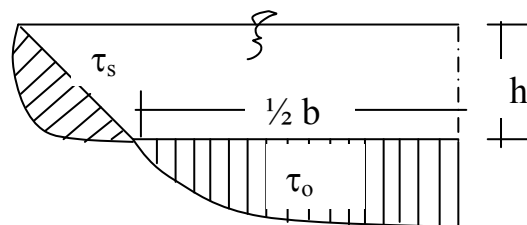


Gambar 4. 29 Distribusi Gaya Pada Penampang empat persegi panjang

- Penampang trapesium menurut US Bureau of Reclamation:

$$\tau_o = 0,97 \gamma_w \cdot h \cdot I_x \quad (4.83)$$

$$\tau_s = 0,75 \gamma_w \cdot h \cdot I_x \quad (4.84)$$



Gambar 4. 30 Distribusi Gaya Pada Penampang Trapesium

atau secara umum, tegangan geser pada dasar saluran adalah (Abdurrasyid, 1990):

$$\tau_o = \frac{\pi}{6} r \cdot \gamma_w \cdot d (S_s - 1) \tan \phi \quad (4.85)$$

dengan :

$\tau_o$  : tegangan geser dasar saluran

$\Pi$  : bilangan navier (3,14 ..... ) ;  $\gamma_w = B. J. \text{ Air } (\rho_w \cdot g)$

$r$  : faktor pembungkus ikatan butiran (packing factor)

$d$  : diameter butiran rata-rata

$S_s$  : berat jenis sedimen untuk fluida air (sediment specific gravity =  $\frac{\rho_s}{\rho_w}$  )

$\phi$  : sudut kemiringan alami dasar saluran, dalam arah longitudinal ( angle of repose )

Untuk gaya geser atau tegangan geser yang terjadi pada tikungan, dapat dicari dengan mengalikan gaya geser pada saluran lurus atau tegangan geser tersebut dengan suatu koefisien reduksi. Besarnya koefisien reduksi adalah sebagai berikut :

Tabel 4.13 Koefisien Reduksi

No.	Derajat belokan	Koef. Reduksi
1.	Saluran lurus	100 %
2.	Saluran Agak Belok	90 %
3.	Saluran Cukup Belok	75 %
4.	Saluran Sangat Belok	60 %

Pengaruh Tebing/Talud :

$$K = \frac{\tau_o}{\tau_c} = \text{Cos } \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}} \quad (4.86)$$

Dalam kriteria perencanaan dipakai :

$$\frac{\tau_o}{\tau_c} \leq \text{Cos } \theta \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \theta}{\tan^2 \phi}} \quad (4.87)$$

dengan :

$\theta$  : Angle of side slope (kemiringan tebing)

$\phi$  : Angle of repose (sudut kemiringan dasar sungai, dalam arah longitudinal)

Besaran K dapat dicari dari grafik, besar angle of repose dapat dicari pada grafik.

### 9. Gaya geser kritis pada tikungan

Dengan adanya resultan gaya  $R_1$ , maka air akan menyimpang dari garis aliran dan bergerak menuju ke tebing luar, pada tebing ini terjadi tumbukan antara partikel air dengan partikel materi pembentuk tebing (butiran-butiran), sehingga berlaku Hukum Kekekalan Momentum :

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = m_1 V_1' + m_2 V_2' \quad (4.88)$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{V_2' - V_2}{V_1 - V_1'} \quad (4.89)$$

identik dengan persamaan (4.89) adalah persamaan:

$$\frac{\rho_w}{\rho_s} = \frac{V_2' - V_2}{V_1 - V_1'} \quad (4.90)$$

Tumbukan disini terjadi tidak sempurna, melainkan proses tumbukan elastis sebagian, sehingga harga elastisitasnya berlaku  $0 < e < 1$ .

Secara teori elastisitasnya adalah :

$$e = - \frac{(V_2' - V_1')}{V_2 - V_1} \quad (4.91)$$

Dari persamaan (5.91), diperoleh :

$$V_2' = e(V_1 - V_2) + V_1' \quad (4.92)$$

Maka persamaan (5.90), menjadi :

$$\frac{\rho_w}{\rho_s} = \frac{[e(V_1 - V_2) + V_1' - V_2]}{(V_1 - V_1')} \quad (4.93)$$

Karena  $V_2$  adalah kecepatan partikel materi pembentuk tebing, dianggap belum bergerak ( $V_2 = 0$ ), maka persamaan (4.90) menjadi :

$$\frac{\rho_w}{\rho_s} = \frac{(e V_1' + V_1')}{(V_1 - V_1')} \quad (4.94)$$

Pada momentum berlaku, bahwa Impuls = perubahan momentum.

Secara formula ditulis sebagai berikut :

$$F \cdot \Delta t = \Delta m \cdot V \quad (4.95)$$

$$F \cdot \Delta t = m_1 V_1 - m_2 V_2 \quad (4.96)$$

$$= m_1 V_1' - m_2 V_2' \quad (4.97)$$

Dari persamaan 4.97 bisa didapat :

$$F_1 \cdot \Delta t = m_1 V_1 \quad (4.98)$$

karena  $V_2 = 0$ , maka

$$F_1 \cdot \Delta t \cong \rho_w \cdot V_1 \quad (4.99)$$

Sehingga persamaan dapat diubah dalam bentuk

$$V_1 = \frac{F_1 \cdot \Delta t}{\rho_w} \quad (4.100)$$

karena

$$F_1 = R_T \quad (4.101)$$

sehingga

$$V_1 = \frac{R_T \cdot \Delta t}{\rho_w} \quad (4.102)$$

Dari persamaan (4.102), dimana

$$F_2 \cdot \Delta t = m_1 \cdot V_1' ; \quad (4.103)$$

dengan anggapan bahwa  $V_2'$  belum bergerak, maka didapat

$$(V_2' = 0) \cdot F_2 \cdot \Delta t \cong \rho_w \cdot V_1' \quad (4.104)$$



karena

$$V_1' = \frac{F_2 \cdot \Delta t}{\rho_w} \quad (4.105)$$

dengan

$F_2 = R_T \cdot C_L$  ;  $C_L$  adalah kehilangan energi, maka didapat persamaan kecepatan di penampang 1 adalah:

$$V_1' = \frac{R_T \cdot C_L \cdot \Delta t}{\rho_w} \quad (4.106)$$

Karena gaya geser kritis adalah :

$$T_C = 0,056(\rho_s - \rho_w) \cdot gd \quad (4.107)$$

Dengan melakukan substitusi persamaan (4.106) dengan (4.107) diperoleh :

$$T_C = 0,096 \left[ \rho_w \left( \frac{V_1 - V_1'}{e \cdot V_1 + V_1'} \right) - \rho_w \right] gd \quad (4.108)$$

substitusi persamaan (4.107) dengan persamaan (4.102) dan persamaan (4.105), sehingga diperoleh :

$$T_C = 0,096 \left[ \frac{(R_T - R_T \cdot C_L) \cdot \rho_w}{e \cdot R_T + R_T \cdot C_L} - \rho_w \right] gd \quad (4.109)$$

Persamaan (4.109) ini adalah merupakan persamaan gaya geser kritis pada tikungan. Jika gaya geser kritis ini dilampaui oleh gaya geser yang terjadi baik pada dasar maupun tebing saluran, maka akan terjadi gerusan (scouring).

## 10. Harga Elastisitas

Menurut Abdurrasyid, distribusi kecepatan pada tikungan diformulasikan sebagai berikut :

\* Untuk tikungan halus :

$$\frac{U_r}{U_o} \cdot \frac{r}{h} = 4 \left[ F_1(\eta) - \frac{2\sqrt{g}}{C} \cdot F_2(\eta) \right] \quad (4.110)$$

\* Untuk tikungan kasar :

$$\frac{U_r}{U_o} \cdot \frac{r}{h} = 4 \left[ F_1(\eta) - \frac{2\sqrt{g}}{C} \cdot F_2(\eta) \right] \quad (4.111)$$

dengan,  $U_r$  adalah besarnya kecepatan aliran dalam arah transversal dan  $U_o$  adalah besarnya kecepatan aliran rata-rata dalam arah longitudinal,  $\eta$  adalah kedalaman relatif ( $y/y_o$ ),  $C$  adalah koefisien Chezy, sedangkan besarnya  $F_i(\eta)$  dapat dicari menurut tabel atau grafik, sebagai berikut :

Tabel 4.14 Harga  $F_i$

$\eta$	0,05	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
$F_1(\eta)$	-1,60	-1,35	-0,85	-0,20	-0,45	-0,90	+1,25
$F_2(\eta)$	-1,25	-0,80	-0,40	+0,15	-0,25	+0,35	+0,40
$F_3(\eta)$	-3,20	-1,90	-0,80	+0,15	+0,65	+1,00	+1,20

\* Sumber: Raju, 1986.

Besarnya kecepatan resultan aliran sebelum tumbukan :

$$V_1 = \sqrt{U_r^2 + U_o^2} \quad (3.22) \quad (4.112)$$

Besarnya kecepatan resultan aliran setelah tumbukan :

$$V_1' = C_L \cdot V_1 \quad (3.23) \quad (4.113)$$

dimana,  $C_L$  adalah kehilangan energi (Abdurrasyid, 1990), yaitu :

- Menurut Mockmore :

$$C_L = 2 \cdot \frac{b}{r_c}, \text{ untuk } 90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ \quad (4.114)$$

- Menurut K. G. Range Raju :

$$C_L = 24 \left( \frac{h\theta}{r_c} \right) \left[ \sqrt{g/C} + 2,5 \text{ g}/C^2 \right] \quad (4.115)$$

Besarnya kecepatan butiran tebing sebelum tumbukan diasumsikan sebesar  $V_2 = 0$  (butiran dianggap belum bergerak). Besarnya kecepatan butiran tebing saat tumbukan diartikan terjadi saat energi mekanik = energi ikat :

Besarnya energi mekanik adalah:

$$E = 1/2 \cdot \rho_s \cdot V^2 \quad (4.116)$$

Atau dapat ditulis dengan bentuk:

$$V_2' = \sqrt{2E/\rho_s} \quad (4.117)$$

Besarnya energi ikat adalah:

$$E = 1/2 F \cdot X \quad (4.118)$$

Atau dapat ditulis

$$E = 1/2 R_T \cdot X \quad (4.119)$$

dengan :

X : jarak pengaruh daya ikat antara butiran

$R_T$  : resultan gaya total

Dengan mengkombinasikan persamaan (4.116) dan (4.119) diperoleh :

$$V_2' = \sqrt{\frac{R_T \cdot X}{\rho_s}} \quad (4.120)$$

Maka penurunan persamaan elastisitas yang terjadi adalah sebagai berikut :

$$e = -\frac{(V_2' - V_1')}{(V_2 - V_1)} = \frac{(\sqrt{R_T \cdot X / \rho_s} - V_1 \cdot C_L)}{V_1} \quad (4.121)$$

$$= \left( \frac{\sqrt{R_T \cdot X / \rho_s}}{\sqrt{U_r^2 + U_o^2}} - C_L \right) \quad (4.122)$$

$$e = \left( \sqrt{\frac{R_T \cdot X}{\rho_s (U_r^2 + U_o^2)}} - C_L \right) \quad (4.123)$$

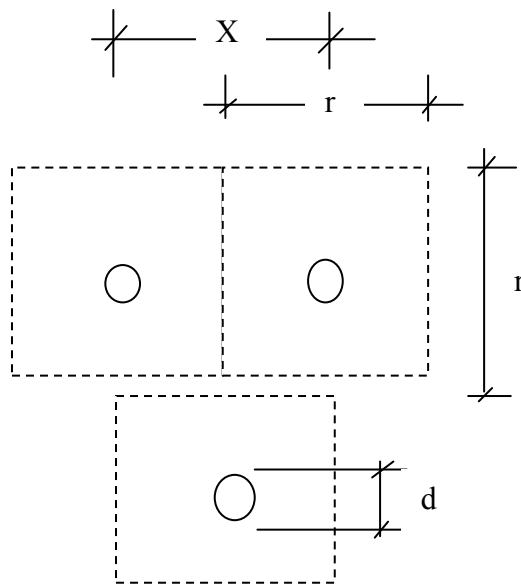
dengan:

x = jarak pengaruh daya ikat antara butiran

d = diameter butiran

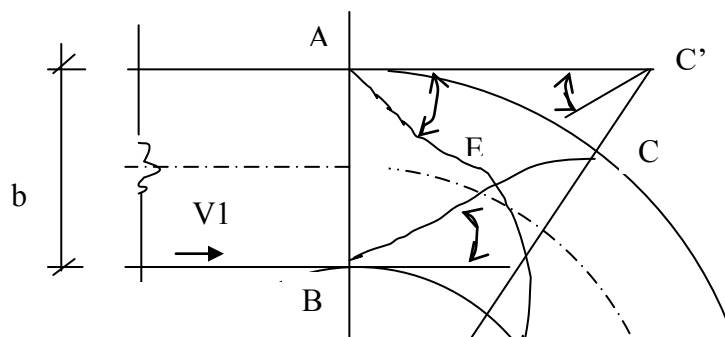
r = packing faktor

$d^2/r$  = luas daerah pengaruh



Gambar 4. 31 Penjelasan istilah pada persamaan sedimen

Untuk suatu kurva saluran “ Rectangular “ seperti pada gambar 4.32.



o

Garis AED adalah garis gangguan positif dan BEC adalah garis gangguan negatif. Zona AEB adalah daerah tenang, zona BED adalah daerah pengendapan (deposition) dan AEC adalah daerah penggerusan (scouring). Perluasan kedalaman gerusan sepanjang AC hingga mencapai maksimum pada titik C, dimana gangguan negatif pertama menyentuh dinding ini. Demikian pula kedalaman minimum dicapai pada titik D dibagian tebing dalam. Jika diasumsikan AC mendekati persamaan  $AC' = b/\tan \beta_1$ , maka sudut central  $\theta_0$  adalah :

$$\tan \theta_0 = \frac{b}{(r_C + 1/2 b)\tan \beta_1} \quad (4.124)$$

dimana besarnya  $\beta_1$  adalah :

$$\sin \beta_1 = \frac{1}{F_r \sqrt{\frac{\tanh(2\Pi \cdot y/b \cdot \cos \beta_1)}{2\Pi \cdot y/b \cdot \cos \beta_1}}} \quad (4.125)$$

Dimana  $Fr$  adalah Froud Number yang besarnya adalah

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gy}} \quad (4.126)$$

Penggerusan (scouring) yang terjadi maksimum sejauh interval  $2\theta_0$  pada tebing luar, begitupun pengendapan maksimum terjadi dengan interval yang sama pada bagian tebing dalam. Dalam hal ini, pada jari-jari kurva terdapat penambahan transisi kurva sebesar  $2r_C$ , untuk menghasilkan gelombang kontra dalam arah phase yang bertentangan dengan gelombang negatif sehingga besarnya  $\theta_0$  adalah:

$$\tan \theta_o = \frac{b}{(2r_c + 1/2b) \tan \beta_1} \quad (4.127)$$

Sedangkan panjang bagian tebing luar yang harus dilindungi dari gerusan untuk satu gangguan ( interval  $2\theta$  ) adalah :

$$\begin{aligned} L &= \Delta\theta \cdot r_c \\ &= 2\theta \cdot r_c \end{aligned} \quad (4.128)$$

Gangguan pada kemiringan melintang dari dasar sungai dapat diukur dari persamaan sebagai berikut :

$$\frac{dy}{dr} = -\frac{dz}{dr} \cdot \frac{1}{1-F_r^2} \quad (4.129)$$

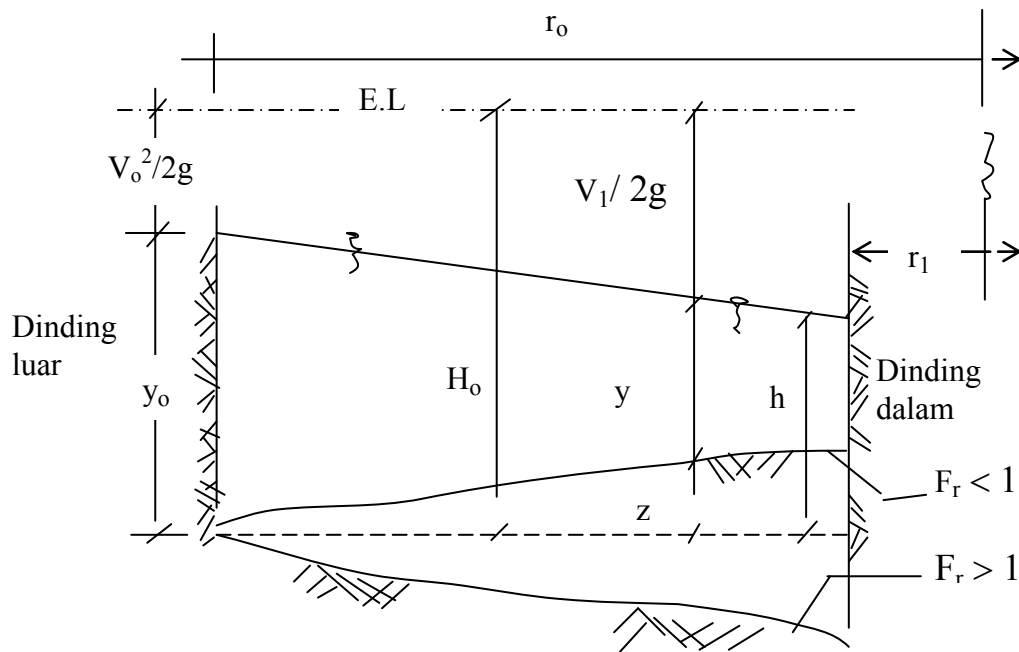
Persamaan ini adalah persamaan yang berhubungan antara perubahan kedalaman dengan perubahan tingkat dasar sungai (bed level). Sehingga pada  $F_r < 1$  maka dasar sungai akan turun kearah dinding luar dan pada saat  $F_r > 1$  maka dasar sungai akan turun kearah dinding dalam. Dengan demikian, bahwa turun naik dasar sungai (*riverbed*) tergantung dari besar kecilnya Froud Number ( $F_r$ ) aliran yang terjadi.

Pada aliran superkritik, maka kecepatan yang terjadi adalah ( $V > \sqrt{gy}$ ) sehingga  $F_r$  yang terjadi adalah lebih besar dari  $F_r$  kritik dan sebaliknya pada aliran sub kritik dimana kecepatan yang terjadi adalah ( $V < \sqrt{gy}$ ) maka  $F_r$  yang terjadi adalah lebih kecil dari  $F_r$  kritik. Dari pengertian tersebut, maka untuk mengetahui tebal gerusan ( $Z$ ) dengan mengintegalkan persamaan (5.129) diperoleh persamaan:

$$Z = (F_r^2 - 1) \cdot y \ln \frac{r_o}{r_1} \quad (4.130)$$

dengan:

- $Z$  = kedalaman gerusan (m)  
 $Fr$  = bilangan Froud  
 $y$  = kedalaman air (m)  
 $r_o$  = jari-jari lingkaran dinding luar (m)  
 $r_i$  = jari-jari lingkaran dinding dalam (m)

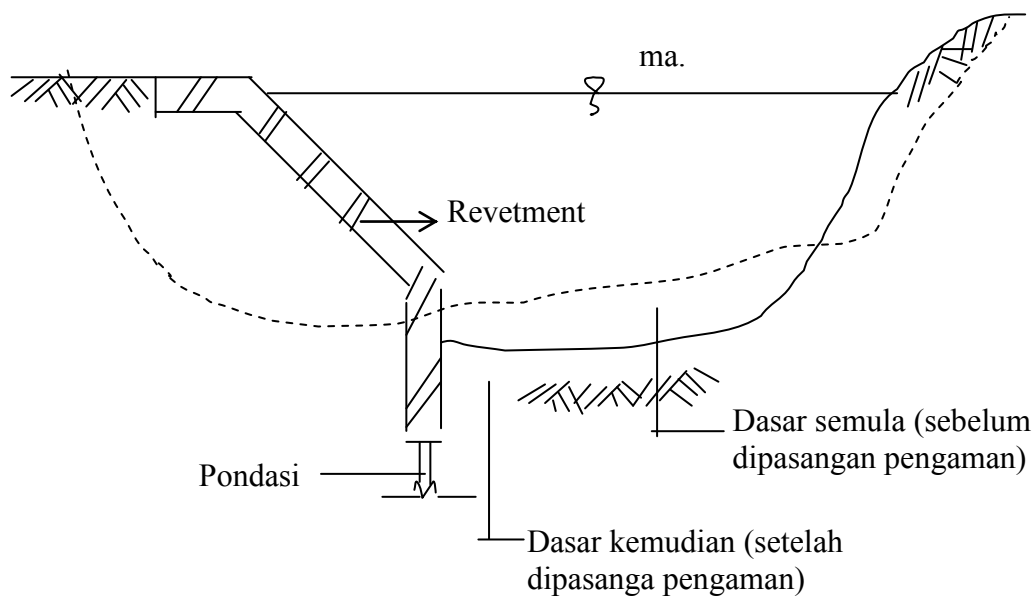


Gambar 4.33 Perubahan Kemiringan dasar sungai (*Transver Bed Slope*)

Dari penjelasan di atas, maka pada aliran kritis dimana  $Fr > 1$ , maka muka dasar turun ke arah dinding dalam. Oleh karenanya di dalam perencanaan normalisasi sungai di daerah tikungan sungai harus diusahakan agar  $Fr > 1$  atau aliran dalam keadaan super kritik. Sehingga kecepatan pada sisi dinding dalam lebih besar dibandingkan dengan sisi dinding luar, akibatnya penggerusan di sisi dinding luar kecil, sehingga dasar sungai menurun ke

sisi dinding dalam sampai mencapai keadaan seimbang. Atau dengan kata lain proses meandering dapat dihindari.

Didalam pemasangan pengaman baik Revetment maupun krib ( Groyne / spur dike ) harus dipertimbangkan terhadap dalamnya pondasi. Karena hal ini berhubungan dengan kejadian gerusan (*scouring*), jika kedalaman pondasi kurang, maka longsor mudah terjadi dan bangunan pengaman tumbang, lihat Gambar 4.34.



Gambar 4.34. Revetment ( Dinding Pengaman )

Dinding semula, sebelum dipasang pengaman kurang kuat, hal ini terjadi penggerusan lebih besar menyamping. Tetapi setelah dipasang pengaman dinding menjadi kuat (fixed), maka penggerusan terjadi kearah bawah sebagai sasarannya sampai mencapai kepada keadaan seimbang. Akibatnya, jika pondasi bangunan kurang dalam bisa terjadi longsor.



Menyangkut dengan efisiensi, yang menjadi masalah adalah sampai kedalaman berapa pondasi itu harus dipasang agar tetap aman dari longsor. Didalam perencanaan dinding pengaman, harus direncanakan dengan menggunakan persamaan :

$$\left(\frac{1}{h_i} - \frac{1}{h_o}\right) = 12 \cdot \frac{i_o \cdot r_o}{\Delta d} (1/r_i - 1/r_o) \quad (4.131)$$

dengan :

$h_i$  = kedalaman air pada dinding dalam

$h_o$  = kedalaman air pada dinding luar

$r_i$  = jari-jari tikungan, dari pusat hingga dinding dalam

$r_o$  = jari-jari tikungan, dari pusat hingga dinding luar

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \quad (4.132)$$

$\Delta$  = diameter rata-rata butiran

$\rho_s$  = rapat massa tanah

$\rho_w$  = rapat massa air

dimana dalamnya dinding pengaman dan muak atas hingga dasar pondasi :  $H > h_o$  . Harga  $h_o$  dapat pula dicapai dengan mengintegalkan persamaan sebagai berikut :

$$\int_{h_i}^{h_o} dh = \int_{r_i}^{r_o} \frac{V^2}{gr} dr \quad (4.133)$$

$$(h_o - h_i) = \frac{V^2}{g} \cdot \ln \frac{r_o}{r_i} \quad (4.134)$$

dengan :

$h_i$  = kedalaman air pada dinding dalam

$h_o$  = kedalaman air pada dinding luar

$V$  = kecepatan air

$g$  = gravitasi bumi

$r_i$  = jari-jari tikungan, dari pusat hingga dinding dalam

$r_o$  = jari-jari tikungan, dari pusat hingga dinding luar

#### **4.7. PERENCANAAN PENANGANAN SUNGAI**

Berbagai jenis bangunan pengendali banjir (Sulistiyono, 1990) seperti :

- pengaturan sungai dan perbaikan alur,
- tanggul dan tembok penahan banjir,
- kolam retensi,
- saluran by-pass/terusan/sudetan,
- sistem drainasi dan pemompaan.

Bangunan-bangunan tersebut untuk mengurangi kerusakan dan perluasan banjir pada umumnya yang ditemui pada proyek pengelolaan pengendalian banjir di Indonesia. Pembuatan tanggul merupakan penanganan yang paling umum dan kadang-kadang merupakan bangunan pengendalian pengendali banjir yang paling ekonomis. Tanggul cocok digunakan di sepanjang sungai di daerah genangan banjir yang telah dikembangkan secara luas dimana kerusakan akibat banjir sangat parah. Pengaturan sungai dan perbaikan alur sering kali dikombinasikan dengan pembuatan tanggul, terutama pada lokasi dimana terjadi penyempitan alur. Saluran pengelak banjir digunakan jika air banjir perlu dielakkan didaerah perkotaan atau daerah industri. Sistem drainasi diperlukan pada daerah dimana drainasi alamnya sangat kurang, atau dimana aliran terhalang oleh fasilitas buatan manusia seperti misalnya tanggul.

##### **4.7.1. Beban Yang Diperhitungkan Dalam Mendisain Bangunan Air**

###### **a. Macam-macam Beban**

Untuk desain struktur, perlu dipertimbangkan beban-beban sebagai berikut :

- beban mati/berat sendiri (D)
- beban hidup terpusat (L)
- beban hidup bergerak (K)
- gaya hidrostatis (Hn)

- gaya hidrodinamis (Hb)
- gaya " silt " (Ps)
- gaya tanah (P)
- tekanan keatas (uplift pressure) (D)
- beban angin (Hw)
- beban gempa (G)

**b. Kombinasi Beban**

Beban-beban tersebut diatas dapat bekerja bersama-sama, tetapi kemungkinan terjadi secara simultan adalah jarang. Oleh karena itu tegangan yang diijinkan pada struktur dapat dinaikkan seperti pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Kombinasi Beban dan Kenaikan Tegangan Yang Diijinkan

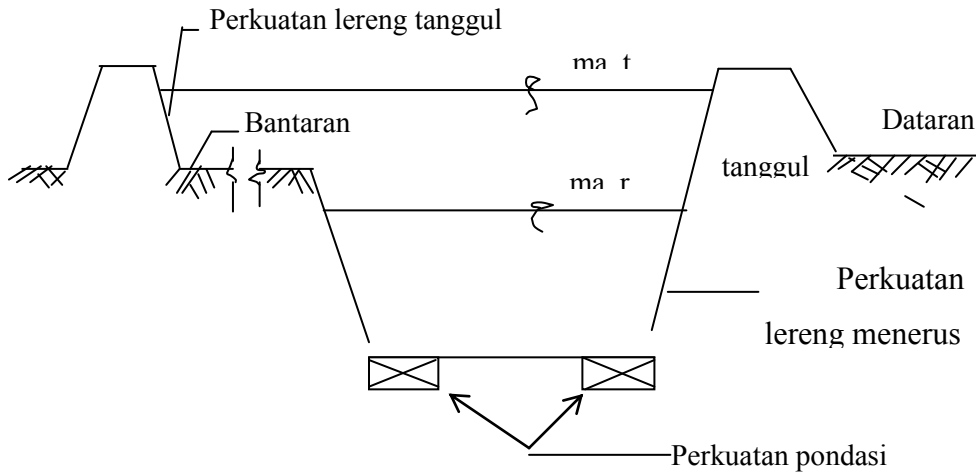
No.	Kombinasi Beban	Kenaikan Tegangan Yang Diijinkan
1	$D + L + K + P + H_n$	0%
2	$D + L + K + P + H_n + G$	20%
3	$D + L + K + P + H_n + G + H_b$	20%
4	$D + L + K + P + H_n + G + H_b + G$	50%
5	$D + L + K + P + H_n + H_b + J$	30%

Pada sub bab dibawah ini akan diuraikan desain struktur pada berbagai komponen sistem drainase yang banyak terdapat di Indonesia dan belum diuraikan di mata kuliah yang lain.

**4.7.2. Perkuatan lereng (Revetments)**

Perkuatan lereng (Revetments) adalah bangunan yang ditempatkan pada permukaan lereng guna melindungi suatu tebing alur sungai atau permukaan lereng tanggul dan secara keseluruhan berperan meningkatkan stabilitas alur sungai atau tubuh tanggul yang dilindungi.

Berdasarkan lokasi, perkuatan lereng dapat dibedakan dalam 3 jenis, yaitu perkuatan lereng tanggul ( Level Revetment ), perkuatan lereng menerus ( High Water Revetment ), perkuatan tebing sungai ( Low Water Revetment ).



Gambar 4.35. Jenis-jenis Perkuatan Lereng

(i). Perkuatan lereng tanggul.

Dibangun pada permukaan lereng tanggul guna melindunginya terhadap gerusan arus sungai dan konstruksi yang kuat perlu dibuat pada tanggul-tanggul yang sangat dekat dengan tebing alur sungai atau apabila diperkirakan terjadi pukulan air ( water hummer ).

(ii). Perkuatan tebing sengai.

Perkuatan semacam ini diadakan pada tebing alur sungai, guna melindungi tebing tersebut terhadap gerusan air sungai dan mencegah proses meander pada alur sungai.

(iii). Perkuatan lereng menerus.

Perkuatan lereng menerus dibangun pada lereng tanggul dan tebing sungai secara menerus ( pada bagian sungai yang tidak ada bantarannya ).

### 4.7.3. Bendungan pengendali sedimen (Check Dam)

Kegunaan dari " check dam " antara lain :

- Mencegah terjadinya erosi pada saluran dengan memperkecil kecepatan aliran air.
- Memberi waktu yang cukup sehingga butiran-butiran sedimen yang terbawa arus dapat mengendap.
- Fasilitas keamanan terhadap aliran air pada lereng yang cukup tajam.

*Checkdam* biasanya dibangun tegak lurus penampang saluran. Kesalahan didalam perencanaan, pembangunan dan pemeliharannya dapat menimbulkan bahaya yang lebih besar dibandingkan dengan bahaya yang ingin dicegah. Bahan material yang dapat digunakan untuk membangun *checkdam*, antara lain : beton, metal, pasangan batu, kayu atau bahan material yang lain tergantung dari situasi dan kondisi lingkungan setempat.

Adapun hal-hal yang perlu diperhatikan :

- Bagian tengah dari " check dam " harus lebih rendah dari pada sisi kiri dan kanan saluran dengan perbedaan minimum 15 cm.
- Jarak maksimum antara "check dam " adalah apabila puncak " check dam " yang berada di bagian hilir mempunyai ketinggian elevasi yang sama dengan kaki " check dam " yang berada di atasnya.
- Untuk mengurangi terhambatnya aliran air, "check dam" harus dibuat tidak lebih tinggi dari 0,6 m.

Pemeliharaan *checkdam* harus dilakukan dengan baik dan terus menerus, karena jika terjadi suatu kerusakan pada satu *checkdam* akan berpengaruh pada *checkdam* lainnya.

Untuk pemeliharannya :

- Setiap terjadi hujan yang cukup deras atau yang cukup lama, sebaiknya dilakukan pemeriksaan *check dam*
- Sedimen harus dibersihkan jika telah mencapai 0,5 kali tinggi mula-mulanya.
- Bagian tengah dari *check dam* sebaiknya lebih rendah dari sisi samping saluran.
- Jika terjadi erosi pada saluran, harus secepatnya dilakukan perbaikan untuk menghindari kerusakan yang lebih parah.

Jenis-jenis *check dam*, antara lain :

- *Check Dam* Pasangan Batu  
Agregat yang digunakan harus bersih dari lumpur dan kotoran lainnya. Berdiameter 5 – 8 cm dan dengan pertimbangan tidak lebih dari 15 persen kadar lumpur dan kotoran serta harus rata, butir memanjang.

Kemiringan sisi "check dam " adalah 1 vertikal : 1,5 horisontan pada bagian hulu dan 1 vartikal : 4 horisontal pada bagian hilir.

- *Check Dam* Kayu Gelondongan

Kayu gelondong yang digunakan untuk " check dam " berdiameter antara 10 – 15 cm dan harus ditanam ke dalam tanah dengan kedalaman tidak kurang dari 0,5 m. Selain itu harus dirancang terhadap gerusan disekitar ujungnya.

#### 4.7.4. Bangunan Terjun

Bangunan terjun pada sungai direncanakan untuk mengubah kemiringan sungai yang pada mulanya cukup curam menjadi landai dimana pada keadaan tersebut kecepatan aliran diubah menjadi kecepatan aliran tidak kritis. Pada kecepatan aliran tersebut, energi kinetik dari aliran menjadi berkurang pada saat apron atau kolam olak.

Selain itu, kegunaan bangunan terjun yang lain adalah :

- Bangunan pengendali erosi pada selokan dan sungai
- Bangunan pengendali kecuraman pada saluran alam/buatan
- Bangunan pengendali ketinggian muka air pada saluran
- Pengendali air yang keluar pada " spillway " atau pipa.

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan bangunan terjun antara lain:

- a. Lokasi : bangunan terjun sebaiknya berada pada jarak yang cukup baik dari terjunan yang sudah ada sehingga nantinya bangunan terjun tersebut dapat menjadi kolam olak.
- b. Sebaiknya tinggi jatuh dari bangunan terjun tidak melebihi 1,5 m
- c. Kemirigan bagian hilir sebaiknya 1 : 0,2 m sehingga tidak mengalami kerusakan akibat adanya aliran air, pasir dan batu yang terbawa arus.
- d. Untuk *appron* harus mempunyai lebar dan ketebalan yang cukup untuk menghindari *piping* dan gaya *uplift*.

Perencanaan bangunan terjun biasanya diperhitungkan sebagai dinding penahan tanah tipe kantilever atau dinding penahan tanah yang kokoh/masif ( *gravity retaining wall* ).

Yang perlu diperhatikan dalam perencanaan struktur adalah :

- bangunan terjun harus dapat menahan gaya gelincir dan gaya guling
- harus direncanakan tahan terhadap gaya desakan air tanah pada pondasi.
- harus diperhatikan stabilitas gaya *uplift* terhadap apron dan kolam olak.
- kekuatan tanah pondasipun harus diperhatikan

Stabilitas terhadap guling dapat dikatakan baik bila momen akibat gaya guling lebih kecil dari pada momen oleh gaya tahan. Yang dimaksud dengan gaya tahan adalah :

- massa dari struktur ( $P_g$ )
- massa air diatas puncak bangunan ( $P_w$ )
- massa air ( $P_w2$ ) dan massa tanah ( $P_t$ ) dibagian hulu dan bagian hilir
- gaya-gaya horisontal  $H_{w_v}$  dan  $H_{t_v}$

Sedangkan yang termasuk gaya guling adalah :

- gaya hidrolis *uplift* ( $S_w$ )
- gaya-gaya horisontal  $H_{w_M}$  dan  $H_{t_M}$
- gaya-gaya lain yang perlu diperhatikan seperti gaya dinamis aliran superkritik, gaya gempa dan lain-lain.

Persamaan stabilitas terhadap guling :

$$S_r = \frac{M_s}{M_r} \quad (4.135)$$

dengan :

$S_r$  : koefisien stabilitas terhadap guling (biasanya  $> 1$ ) untuk struktur yang kecil dianjurkan  $\geq 1,3$

$M_s$  : momen tahan dari gaya-gaya tahan

$M_r$  : momen guling dari gaya-gaya guling

Sedangkan untuk gaya-gaya horisontal :

- **Tekanan hidrostatik**

- $Hw_M = \frac{1}{2}\gamma_w [(h1 + h2 + h3)^2 - h1^2]$

Bekerja di :

$$\frac{h1 + h2 + h3}{3} \quad (4.137)$$

- $Hw_v = \frac{1}{2}\gamma_w (h4 + h5)^2$  (4.138)

Bekerja di :

$$\frac{h4 + h5}{3} \quad (4.139)$$

dengan :

$Hw_M$  : tekanan hidrostatis di bagian hulu (kPa)

$Hw_v$  : tekanan hidrostatis di bagian hilir (kPa)

$h1$  : kedalaman air di atas puncak bangunan (m)

$h2$  : Kedalaman air dari dasar sungai sampai dengan pencak bangunan (m)

$h3$  : kedalaman tanah dari dasar sungai sampai dengan dasar bangunan di bagian hulu (m)

$h4$  : kedalaman air setelah terjunan (m)

$h5$  : kedalaman tanah dari dasar sungai sampai dengan dasar bangunan di bagian hilir (m)

**- Tekanan Aktif Tanah**

**Tekanan aktif tanah di bagian hulu :**

$$Ht_M = \frac{1}{2}\gamma_{tw} (h2 + h3)^2 \cdot \lambda a \quad (4.140)$$

Bekerja di :

$$\frac{h2 + h3}{3} \quad (4.141)$$

dengan :



$H_{tM}$  : tekanan aktif tanah di hulu (kPa)

$\gamma_{tw}$  : berat spesifik tanah terendam ( $\text{kN/m}^3$ )

$$\lambda_a = \text{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \quad (4.142)$$

$$\gamma_{tw} = (\gamma_{ds} - \gamma_w)(1 - n) \quad (4.143)$$

dengan :

$\gamma_{ds}$  : massa jenis bangunan terjun ( $\text{kN/m}^3$ )

$n$  : porositas

$\phi$  : sudut geser dalam (o)

### **Tekanan tanah aktif di bagian hilir**

$$H_{tv} = \frac{1}{2} \gamma_{tw} \cdot h^2 \lambda_a \quad (4.144)$$

Bekerja di :

$$\frac{h_5}{3} \quad (4.145)$$

dengan :  $H_{tv}$  : tekanan tanah aktif di hilir (kPa)

### **- Gaya *Uplift* hidrolis**

Jika gaya *uplift* hidrolis disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja di hulu dan hilir secara bersamaan, maka besarnya gaya *uplift* tersebut sama dengan resultan gaya dari diagram gaya berbentuk trapesium yang besarnya :

Harga maksimum :  $\gamma_w (h_1 + h_2 + h_3)$

Harga minimum:  $\gamma_w (h_4 + h_5)$

### **Stabilitas terhadap Gelincir**

Koefisien stabilitas terhadap gelincir :

$$SS = \frac{\sum VF \cdot \text{tg} \phi}{\sum H} > 1.3 \quad (4.146)$$

Pada kasus-kasus yang umum, bangunan terjun dibangun di atas tanah kohesive sehingga  $\phi$  dapat diasumsikan sebesar 0,7 (sudut geser dalam diasumsikan 35°). Stabilitas terhadap gaya desakan ke atas pada "apron" di kolam olak

$$P = \gamma_w \left[ \left( z_0 - \frac{z_0 \cdot z_3}{L_1} \cdot y \right) - z_x \right] \quad (4.147)$$

dengan :

- P : tekanan *uplift* (kPa)
- $z_0$  : ketinggian air di hulu bendung (m)
- $z_3$  : ketinggian air di hilir bendung (m)
- $z_x$  : ketinggian air pada titik x (m)
- $L_1$  : panjang aliran "seepage" dibawah bendung (m)

Sedangkan koefisien stabilitas terhadap *uplift* di "apron" :

$$S_g = \left( \frac{\gamma_{gi} \cdot s + \gamma_w \cdot h}{P} \right) \quad (4.148)$$

dengan :

- $S_g$  : koefisien stabilitas terhadap *uplift* pada "apron"
- h : kedalaman air di kolam olak (m)
- s : ketebalan "apron" (m)

$$\gamma_{gi} = (\gamma_s (1 - ns) + ns \cdot \gamma_w) \quad (4.149)$$

dengan :

- $\gamma_{gi}$  : *density of gabions saturated with water* (kg/m<sup>3</sup>)
- ns : porositas
- $\gamma_s$  : densitas batu pengisi bronjong (*gabion*)

Besarnya koefisien Sg yang dianjurkan antara 1,1 ~ 1,2.

**Ketahanan Tanah Pondasi**

Disini kita perlu menghitung besarnya resultante gaya R dari gaya-gaya yang ada dan pusat tekanan x. Asumsikan saja permukaan pondasi linear dan pusat tekanan berada di area 2/3 lebar bangunan, besarnya tekanan maksimum :

$$S_B = 6 \cdot \frac{V_F \cdot \overline{XM}}{100 \cdot AB^2} \tag{4.150}$$

dengan :

VF : gaya vertikal dari resultante R (kg)

SB : tekanan maksimum (kg/cm<sup>2</sup>)

Jika pusat tekanan berada pada titik N :

$$S_B = 2 \cdot \frac{V_F}{100 \cdot AB} \tag{4.151}$$

Sedangkan jika pusat tekanan berada di luar 2/3 lebar bangunan:

$$S_B = 2 \cdot \frac{V_F}{3 \cdot XB \cdot 100} \tag{4.152}$$

Syarat yang harus dipenuhi adalah  $\sigma_B < Kt$ , dimana Kt adalah daya dukung tanah ijin pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Daya Dukung Tanah Ijin

No.	<i>Jenis Tanah</i>	Daya Dukung (kg/cm <sup>2</sup> )
-----	--------------------	-----------------------------------

1	Tidak padat	0 –1
2	Tanah tidak kohesif, padat	
	a. Pasir, diameter butir 1 mm	2
	b. Pasir, diameter butir 1 – 3 mm	3
	c. Pasir dan kerikil (min. 1/3 kerikil)	4
3	Tanah kohesif, diklasifikasikan berdasarkan kadar air	
	a. Berair, liat berair	
	b. Liat lunak	0
	c. Liat padat	0.4
	d. Semi padat	0.8
	e. Padat	1.5
	Batu dalam kondisi baik	3.0
4	a. Batu pasir, batu kapur, batu vulkanik dan lain-lain	10 - 15

#### 4.7.5. Bangunan Pelimpah Samping

Tujuan dibangunnya bangunan pelimpah samping adalah sebagai ambang pelimpah untuk mengalirkan kelebihan air yang ada di saluran utama ke saluran pembuang tambahan atau sungai buatan seperti banjir kanal. Dalam hal ini yang diperlukan adalah perencanaan ketinggian muka air maksimum yang diinginkan sehingga jika air yang mengalir melebihi ketinggian maksimum tersebut, maka air akan melimpah ke saluran lain yang ada.

Untuk perencanaan struktur, yang harus diperhitungkan :

- stabilitas terhadap guling
- stabilitas terhadap gelincir
- stabilitas terhadap *uplift*
- ketahanan terhadap *piping*, erosi dan lain-lain.

#### 4.7.6. Sipon

Untuk sungai buatan harus melintas suatu jalan kereta api atau jalan raya diperlukan suatu bangunan sipon agar saluran tersebut dapat mengalirkan air melewati prasarana jalan tersebut.

Sebelum kita merencanakan profil memanjang, ada beberapa hal yang harus diperhatikan :

- Bangunan sipon harus dapat menahan gaya *uplift* dimana keadaan paling kritis jika keadaan muka air tanah cukup tinggi sehingga mencapai bagian-bagian sipon.

$$\text{Gaya uplift} \quad : \quad F_u = \rho_w \cdot g \cdot B_s \cdot H_s \quad (4.153)$$

$$\text{Gaya tahan} \quad : \quad F_1 = \rho_s \cdot g \cdot H_c \quad (4.154)$$

$$F_2 = \rho_c \cdot t \cdot g \cdot V_{cr} \quad (4.155)$$

dengan :

$F_u$  : gaya *uplift* (kN)

$F_1$  : gaya tekanan tanah (kN)

$F_2$  : beban mati (kN)

$\rho_w$  : rapat massa air (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_s$  : rapat massa tanah (kg/m<sup>3</sup>)

$\rho_{ct}$  : rapat massa beton (kg/m<sup>3</sup>)

$B_s$  : lebar sipon (m)

$H_s$  : tinggi sipon (m)

$H_c$  : lapisan pelindung (m)

$V_{cr}$  : volume beton pada sipon (m<sup>3</sup>)

Sedangkan faktor keamanan untuk menahan gaya *uplift*

$$S = \frac{F_1 + F_2}{F_u} \quad (4.156)$$

dengan S adalah faktor keamanan (minimal 1,25)

- Bagian-bagian sipon harus berada di tempat yang cukup dalam untuk menghindari gerusan aliran sungai / drainase.
- Untuk memperkecil gaya radial yang ada, sebaiknya lapisan pelindung (ground cover) dibuat seprlunya

- Untuk mengurangi hilangnya energi akibat adanya gesekan, jumlah patahan/sambungan sebaiknya seminimum mungkin.

#### 4.7.7. Bangunan Pintu

Pintu-pintu biasanya dibuat dari besi/baja tuang, biasa dipakai untuk mengalirkan air pada satu arah saja.

Gaya-gaya yang bekerja pada pintu :

- berat dari pintu itu sendiri
- tekanan hidrostatis pada pintu
- tekanan yang disebabkan oleh sedimen
- *floating strength*
- gaya hidrodinamika dan inersia yang disebabkan oleh gempa.

Distribusi tekanan hidrostatis umum :

$$P = 0,5 \gamma_w H^2 B \quad (4.157)$$

Distribusi tekanan hidrostatis ketinggian tertentu :

$$P = 0,5 \gamma_w (H_1^2 - H_2^2) B \quad (4.158)$$

Tekanan hidrostatis pada pintu pada saat tinggi muka air hilir = H3

$$P = 0,5 \gamma_w \cdot H_2 (H_1 + H_3) B \quad (4.159)$$

$$= \gamma_w H_2 (2H_2 / 2 + H_3) B \quad (4.160)$$

Distribusi tekanan hidrostatis :

$$P = [0,5 \gamma_w H_2 (H_1 + H_3) - 0,5 \gamma_w H_4^2] B \quad (4.161)$$

Tekanan air pada *hinged overshot gate*

$$P = 0,5 \gamma_w B (H_1^2 - H_2^2) \cos \alpha$$

dengan :

- P : resultante tekanan air (kg)  
 $\gamma_w$  : massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)  
 B : lebar pintu (m)  
 Hg : tinggi pintu (m)  
 H1 : tinggi muka air di hulu (m)  
 H2 : perbedaan tinggi muka air di hulu dan di hilir  
 (H1 dan H3)  
 H3 : tinggi muka air di hilir (m)

Pada umumnya bangunan pintu dibuat sebagai balok dari baja. Tekanan pada pelat baja dapat dihitung dengan mempergunakan rumus Bach :

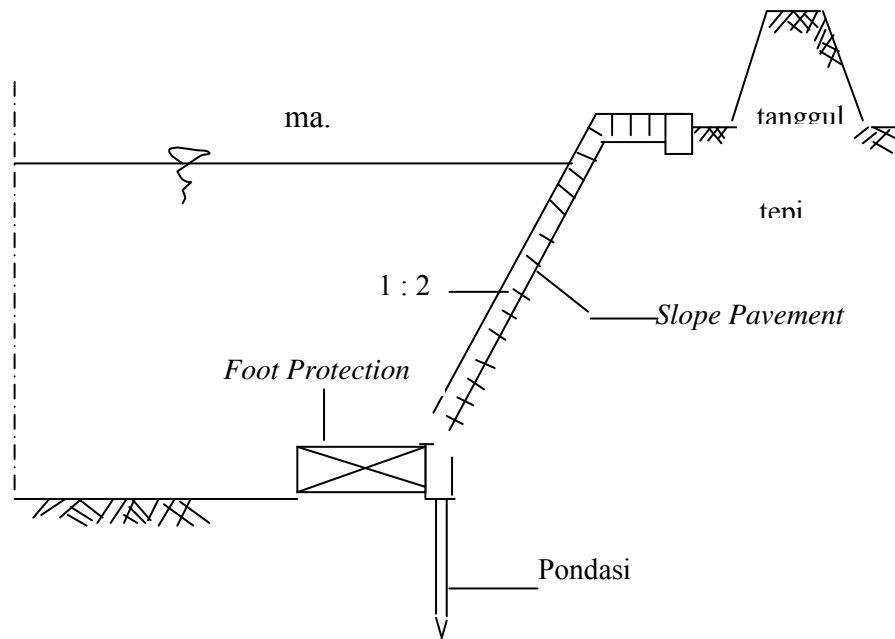
$$f_{\max} = 0,5 k \frac{a^2}{a^2 + b^2} \left( \frac{b}{t} \right)^2 P \quad (4.163)$$

dengan :

- f max : tekanan pada pelat baja  
 a,b : panjang sisi bidang segi empat  
 t : ketebalan baja (m)  
 P : tekanan air (kg/cm<sup>2</sup>)  
 K : koefisien

Detail perkuatan lereng (*Revetment*) terdiri dari beberapa bagian :

- (a). Pelindung lereng (*slope pavement*) / (*slope covering*) yaitu pelapis lereng untuk mencegah lereng terhadap gerusan arus sungai.
- (b). Pondasi (*Toe of slope protect*) yaitu sebagai pendukung.
- (c). Perkuatan kaki (*Foot Protection*) yaitu lantai pelindung untuk mencegah gerusan pada dasar sungai, yang dipasang didepan pondasi.



Gambar 4.36 Bagian-bagian Revetment

Tabel 4.17. Persyaratan Tinggi dan Kemiringan Struktur Lereng

Struktur Lereng		Tinggi Lereng (m)	Kemiringan lereng (Slope gradient)
- Pasangan batu ( <i>Stone Masonry</i> )	Basah	3 – 5	1 : 0,5 (0,4 ~ 0,6)
		< 3	1 : 0,3
- Pas. Blok Beton ( <i>concrete block Masonry</i> )	Kering	< 3	1 : 1 (0,5 ~ 1,5)
- Teras batu kosong ( <i>stone pitching/coble stone</i> )	Basah		1 : 1,5 (1,0 ~ 2,0)
- Teras beton ( <i>Concrete pitching</i> )	Kering	< 3	1 : 2 (1,0 ~ 3,0)
- Lereng rangka beton/beton berkisi ( <i>concrete slope frame</i> )			1 : 2 (1,5 ~ 2,0)
- Bronjong kawat silinder ( <i>wire cylinder pitching</i> )		> 3	1 : 2 (1,5 ~ 2,5)
		< 3	1 : 1,5 (1,0 ~ 2,0)



Sumber: SUGIURA , 1977.

#### 4.7.8. Krib (*Groyne/Spur Dike*)

Menurut K. Sugiura, *krib/groyne* adalah suatu fasilitas untuk mengontrol aliran air dengan aktif dengan mengatur dari tepi hingga pusat arus dengan sudut tertentu.

Tujuan dari pada krib/groyne adalah :

- Untuk merubah arah aliran air
- Mengurangi gaya aliran didekat dasar sungai, mencegah gerusan, menekan pengendapan, mengendalikan pusat arus, melindungi tanggul dan *Revetment*.
- Memelihara lebar dan kedalaman sungai utama.
- Mengkonsentrasikan dan memelihara aliran air, sehingga memudahkan untuk pengambilan (*intake*).

Krib/groyne dapat diklasifikasikan menurut arah dan sifat-sifatnya sebagai berikut :

(1) *Upward Groyne*.

Krib ini menahan aliran dengan kuat dibagian atas dan cenderung menyebabkan scouring dibagian dasar, sehingga menyebabkan penurunan endapan didekat pondasi dan menyebabkan pengendapan dibagian sisi tebing.

Karena itu, type ini sangat layak untuk perlindungan tebing sungai. Sudut yang memadai untuk garis Rectangular dari arus adalah  $10^{\circ} - 15^{\circ}$  pada bagian lurus,  $5^{\circ} - 10^{\circ}$  pada bagian cekung (Concave) dan  $0^{\circ} - 10^{\circ}$  pada bagian cembung (Convex).

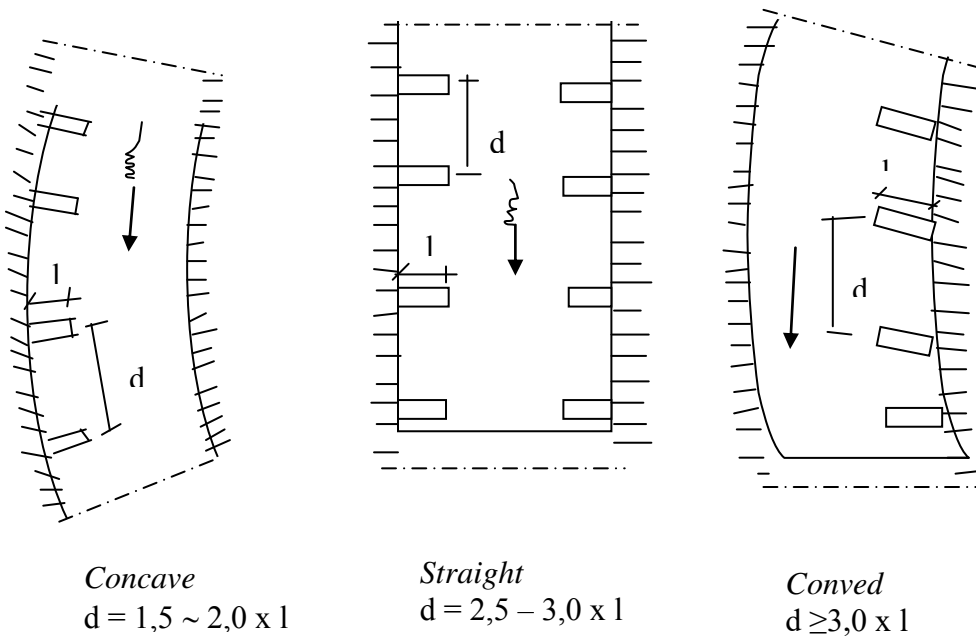
(2) *Donward Groyne*.

Tidak menahan air dengan kuat pada bagian atas dan menyebabkan sedimen. Sehingga menyebabkan scouring didekat sisi tebing sungai, oleh karena itu jarang digunakan terkecuali untuk tujuan khusus.

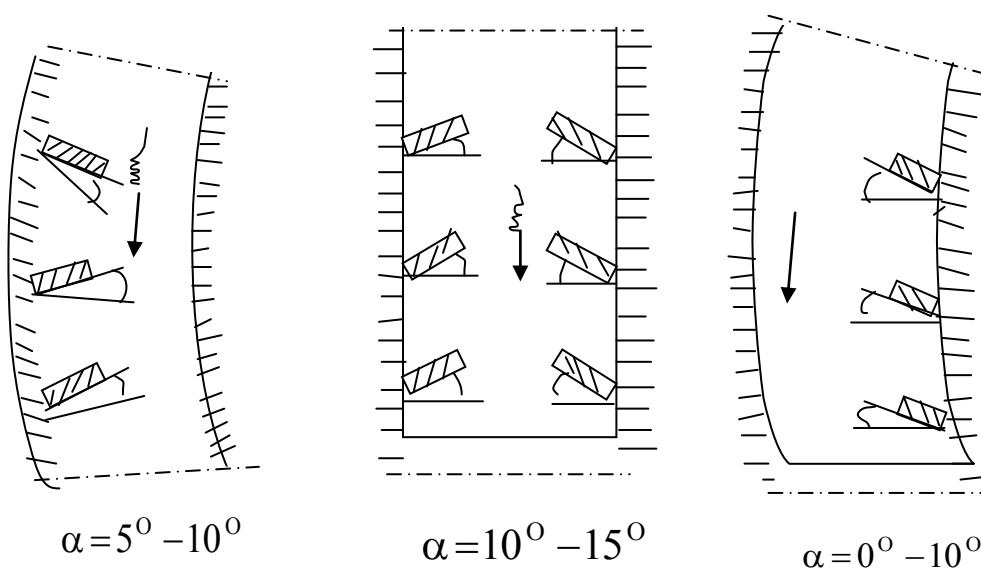
(3) *Perpendicular* (Tegak lurus) *Groyne*.

Type ini dipertimbangkan sebagai penengah atau perantara didalam perancangan.

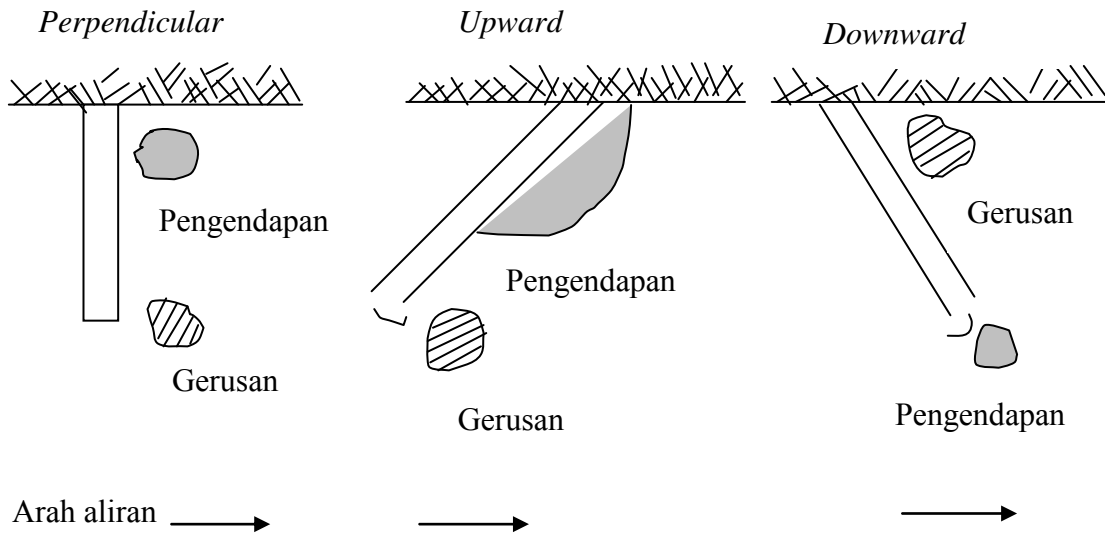
Dari ketiga bentuk krib tersebut, pada pelaksanaannya harus diadakan uji model, hal ini untuk menentukan efektifitas kerja krib.



Gambar 4.37 Interval Krib

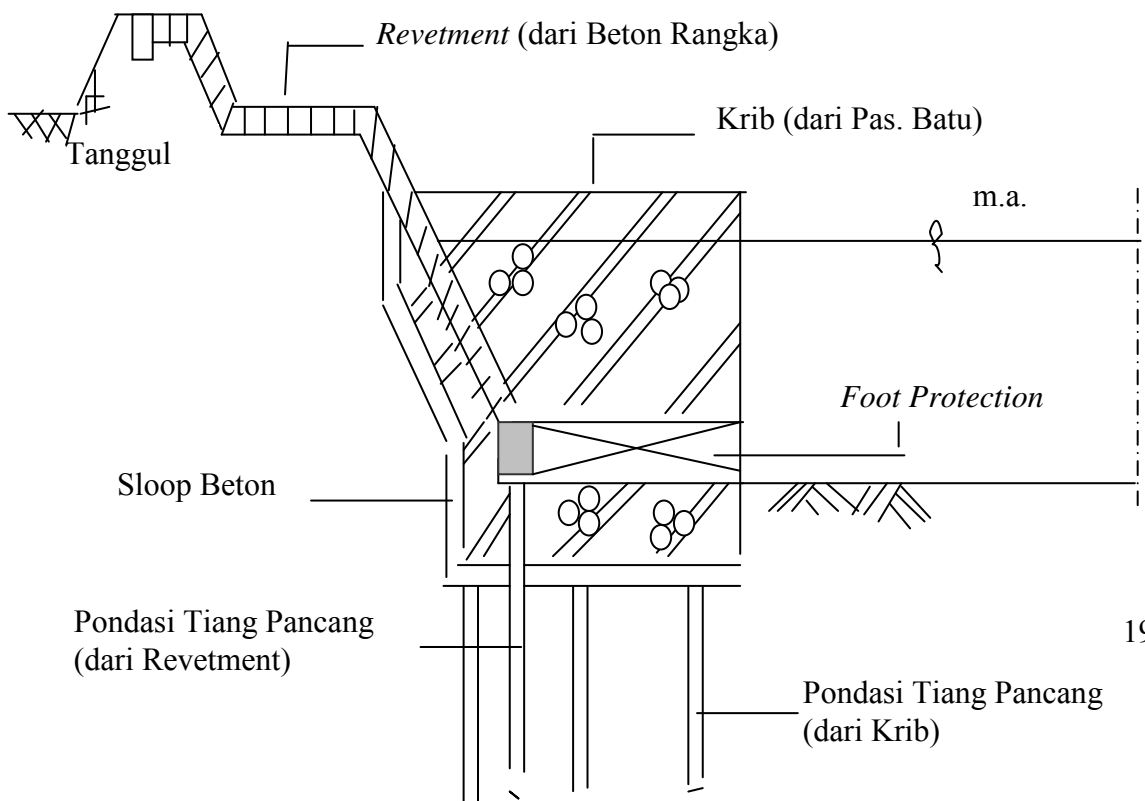


Gambar 4.38 Arah Dari Krib

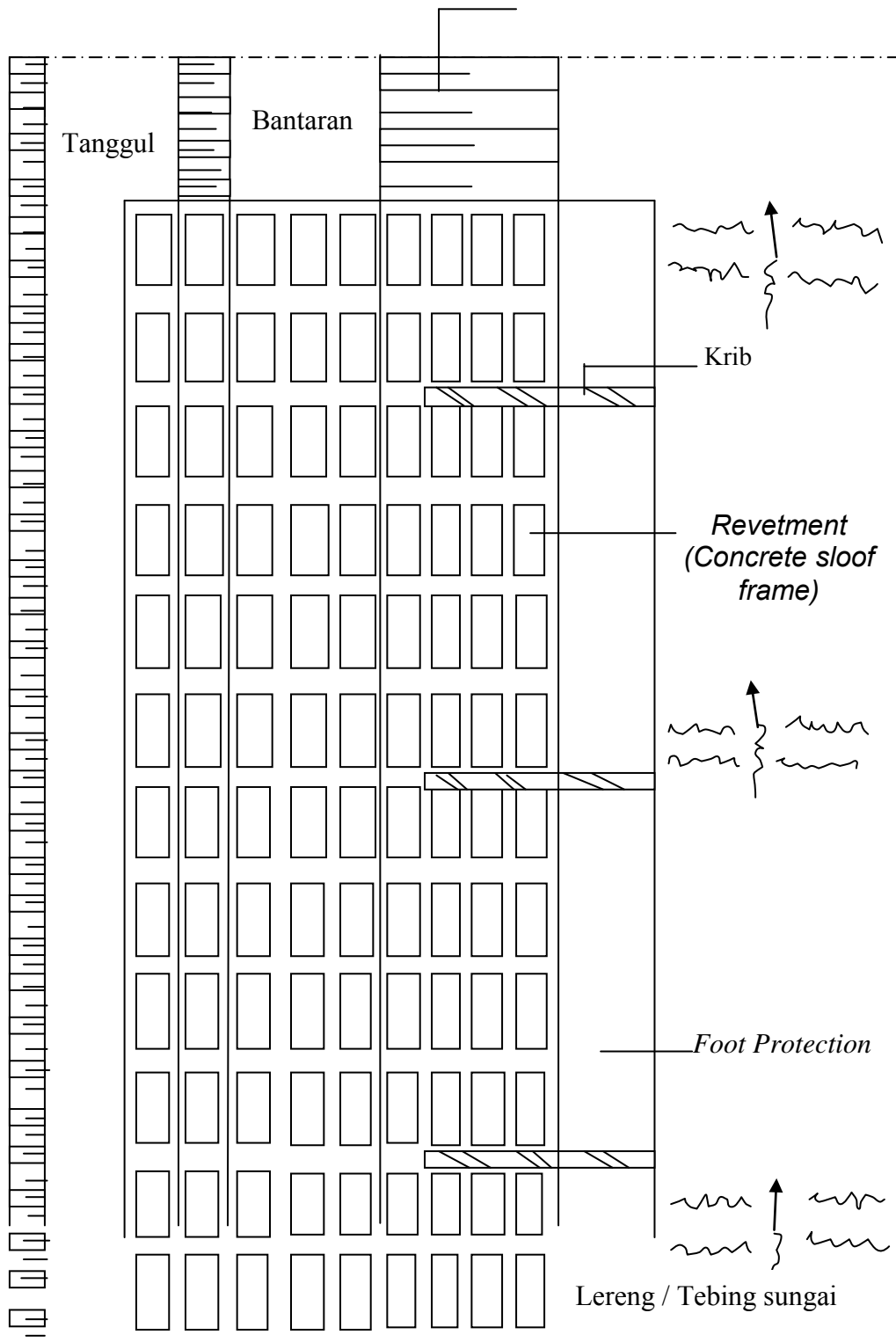


Gambar 4.39 Pengaruh Dari Krib.

### 1. Kombinasi Antara *Revetment* dan Krib



Gambar 4.40 Kombinasi Pengaman.



Gambar 4.40 Tampak Atas

#### **4.7.9. Perbaikan alur sungai**

Pengaturan sungai dan perbaikan alur adalah metode umum untuk menurunkan tinggi muka air banjir pada lokasi sungai dengan cara mereduksi panjang sungai, kekasaran atau elevasi dasar sungai. Pengaturan sungai dan perbaikan alur meliputi *cut off*, pengerukan, pengaturan alinemen sungai. Debit rencana untuk penanganan ini berkisar dari debit dominan (*bankfull*) untuk *cut off* sampai debit rencana untuk pengendalian erosi pada jenis tertentu dari pengaturan sungai dan perbaikan alur. Perencanaan fasilitas-fasilitas ini harus memasukkan pertimbangan-pertimbangan ahli teknik sungai sebagai berikut :

- menentukan kendala geologi yang terdapat disepanjang sungai dan *trase cut off* yang diusulkan,
- identifikasi bahan-bahan alami didalam saluran yang akan digali,
- mencari dimensi yang stabil untuk saluran baru berdasarkan pada hubungan bentukan sungai,
- memperkirakan respon jangka pendek dan jangka panjang dari alur sungai akibat penanganan perbaikan alur,
- menentukan kebutuhan usaha pengendalian untuk mereduksi dampak dari perubahan bentuk alur sungai.

#### **4.7.10. Tanggul dan tembok penahan banjir**

Tanggul dan tembok banjir adalah bangunan memanjang yang dibangun kira-kira sejajar dengan bantaran minimum. Batas bantaran akan ditentukan berdasarkan faktor-faktor berikut ini :

- potensi gerakan alami dari alur sungai,
- kapasitas banjir yang diperlukan,
- dampak yang terjadi pada pengembangan lahan.

Tanggul akan diletakkan disisi alur sungai dan diluar daerah meander sungai. Analisis hidrolika dilakukan untuk mengetahui profil memanjang muka air sungai pada kondisi banjir rencana. Tergantung pada kekomplekan dari suatu regime sungai. Analisis hidrolika digunakan untuk mendapatkan dimensi dan posisi tanggul serta tembok penahan banjir yang aman berdasarkan besarnya debit banjir rencana hasil analisis hidrologi.

## 1. Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan yaitu jarak antara muka air banjir rencana dengan puncak tanggul. Untuk tanggul disyaratkan agar debit banjir tidak melimpas puncak tanggul maka diatas muka air banjir (FWL) disyaratkan masih ada tinggi jagaan untuk menjaga adanya kenaikan muka air akibat gempa, gelombang dan sebagainya. Syarat tinggi jagaan telah dibahas dalam kriteria desain diatas.

## 2. Stabilitas Tanggul

Stabilitas tanggul akan ditinjau terhadap stabilitas lereng tanggul dan, keamanan terhadap bahaya seepage.

### a. Analisis stabilitas lereng

Analisis stabilitas lereng tanggul akan ditentukan dengan metode *Slip circle slice* atau dikenal dengan swedish method. Untuk analisis ini akan digunakan metode *Bishop* dan *Fellenius*.

Prinsip dasar metode ini adalah sebagai berikut

$$F_s = \frac{\sum\{c_l + N - U - N_e\} \tan \phi}{\sum(T + T_e)} \quad (4.164)$$

dengan :

$F_s$  = Faktor aman

$c$  = Nilai kohesi dari material pada permukaan bidang gelincir tiap-tiap pias

$\phi$  = Nilai sudut geser dari material pada permukaan bidang gelincir tiap-tiap pias

$l$  = Panjang permukaan bidang gelincir pada tiap-tiap pias (=  $b/\cos \alpha$ )

$b$  = lebar pias

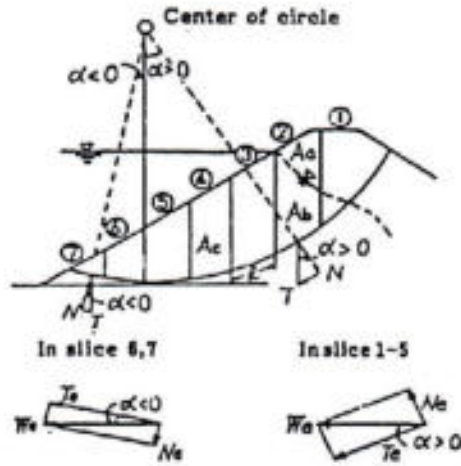
$N$  = Gaya normal pada permukaan bidang gelincir pada tiap-tiap pias

$T$  = Gaya tangensial pada permukaan bidang gelincir pada tiap-tiap pias

$T_e$  = Gaya tangensial akibat gempa pada permukaan bidang gelincir pada tiap-tiap pias

$N_e$  = Gaya normal akibat gempa pada permukaan bidang gelincir pada tiap-tiap pias

$U$  = Tekanan air pori yang bekerja pada permukaan bidang gelincir pada tiap-tiap pias



Gambar 4.41 Analisis Stabilitas Lereng Metode *Slip Circle Slice*

Tinjauan kondisi analisis stabilitas meliputi :

- Kondisi 1 : Setelah konstruksi kondisi tanpa gempa
- Kondisi 2 : Setelah konstruksi kondisi dengan gempa
- Kondisi 3 : Muka air normal kondisi tanpa gempa
- Kondisi 4 : Muka air normal kondisi dengan gempa
- Kondisi 5 : Muka air banjir kondisi tanpa gempa
- Kondisi 6 : Muka air banjir kondisi dengan gempa
- Kondisi 7 : Penurunan muka air tiba-tiba (rapid draw down) kondisi tanpa gempa
- Kondisi 8 : Penurunan muka air tiba-tiba (rapid draw down) kondisi dengan gempa

Dalam analisis rembesan melalui tubuh tanggul langkah pertama yang dan dilakukan adalah dengan menganalisis garis rembesan (*phreatic line*).

Penentuan garis aliran rembesan pada tubuh tanggul menggunakan rumus *Casagrande*. Bersarakan profil garis rembesan selajutnya ditinjau profil aliran rembesan enggan menggunakan metode *flow net*. Berdasarkan jaring-jaring aliran dapat ditentukan debit rembesan. Apabila hasil analisis menunjukkan debit rembesan terlampau besar, maka perlu ditinjau lagi pemilihan material inti dengan memilih material yang lebih kedap air. Selain debit rembesan, keamanan tanggul harus ditinjau terhadap bahaya *piping*, *sufosi* atau sembulan, yaitu terjadinya pipa aliran akibat daya tahan tanah terhadap tekanan air pori lemah, sehingga menimbulkan pipa aliran yang berakibat pada kebocoran bendungan.



Keamanan terhadap *piping* ditinjau melalui analisis kecepatan aliran rembesan atau *hydraulic gradient* yang dibandingkan terhadap kecepatan atau *hydraulic gradient* kritis, yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$i_e = (G_s - 1) / (1 + e) \times g_w \quad (4.165)$$

dengan :

$i_e$  = hidraulik gradien kritis

$g_w$  = berat volume air

$G_s$  = spesifik gravitasi tanah

$e$  = porositas

atau menurut rumus Justin

$$v = \sqrt{(\gamma_s \cdot g) / (A \cdot g_w)} \quad (4.166)$$

dengan :

$v$  = kecepatan kritis

$g$  = percepatan gravitasi

$\gamma_s$  = berat volume tanah kondisi submerged

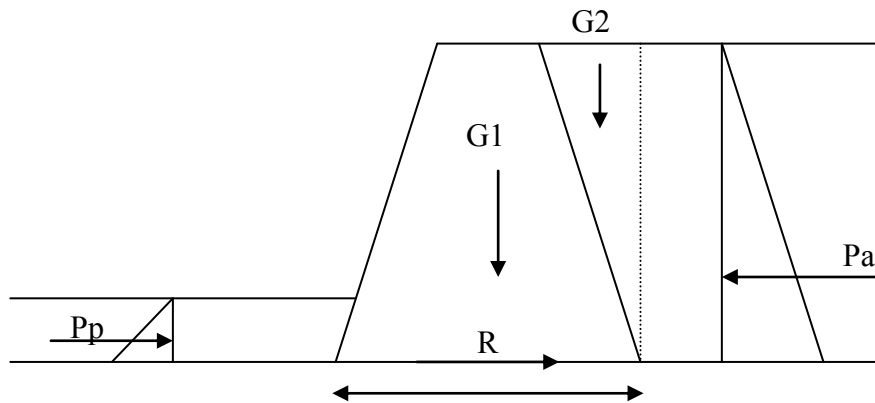
$A$  = luas penampang butiran tanah

$g_w$  = berat volume air

### c. Stabilitas Struktur

Agar suatu struktur dapat mempunyai usia pakai dalam jangka waktu yang panjang, khususnya untuk struktur yang berfungsi sebagai struktur penahan dan langsung berhubungan dengan tanah, maka harus dilakukan pengecekan stabilitas struktur dalam menahan gaya-gaya yang langsung bekerja pada struktur tersebut, yang meliputi:

- Pengecekan terhadap bahaya guling
- Pengecekan terhadap bahaya gelincir
- Pengecekan terhadap kekuatan daya dukung tanah



Gambar 4.42 Skema gaya-gaya yang bekerja pada struktur bangunan air

◆ Stabilitas terhadap momen guling

Faktor keamanan terhadap momen guling ditentukan dengan rumus

$$FS_{guling} = \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_D} \quad (4.167)$$

dengan:

$\Sigma M_R$  = Jumlah momen yang menahan

$\Sigma M_D$  = Jumlah momen yang mengulingkan

◆ Stabilitas terhadap gelincir didasar struktur

Faktor keamanan terhadap gelincir ditentukan dengan rumus

$$FS_{gelincir} = \frac{\Sigma F_R}{\Sigma F_D} \quad (4.168)$$

dengan:

$\Sigma F_R$  = Jumlah gaya horisontal yang menahan

$\Sigma F_D$  = Jumlah gaya horisontal yang mendorong

Kekuatan geser tanah dibawah bangunan atau struktur ditentukan dengan rumus :

$$s = \sigma \tan \phi_2 + c_2 \quad (4.169)$$

Sehingga gaya tahan maksimum yang dapat diturunkan dari kekuatan geser tanah per meter panjang bangunan di sepanjang dasar bangunan adalah

$$R = s \cdot \text{luas dasar} = s (B \cdot 1) = B \cdot \sigma \tan \phi_2 + B \cdot c_2 \quad (4.170)$$

Dengan :

$$B \cdot \sigma = \text{jumlah gaya vertikal} = \Sigma V$$

sehingga

$$R = (\Sigma V) \tan \phi_2 + B \cdot c_2 \quad (4.171)$$

Dari di atas dapat ditentukan gaya pendorong dan gaya penahan adalah:

$$\Sigma F_R = (\Sigma V) \tan \phi_2 + B \cdot c_2 + P_p \quad (4.172)$$

$$F_D = P_a \quad (4.173)$$

$$FS_{gelincir} = \frac{(\Sigma V) \tan \phi_2 + B c_2 + P_p}{P_a} \quad (4.174)$$

◆ Stabilitas terhadap tegangan ijin tanah

Gaya vertikal yang bekerja pada struktur diteruskan ke tanah melalui bagian dasar dari struktur tersebut dan tegangan tanah yang terjadi akibat gaya-gaya tersebut harus dibandingkan dengan kapasitas daya dukung tanah. Pada umumnya tegangan maksimum dan minimum terjadi diujung-ujung dasar struktur dan ditentukan dengan rumus:

$$q_{maks} = \frac{\Sigma V}{B \cdot 1} + \frac{e(\Sigma V)B/2}{(1/12)B^3} = \frac{\Sigma V}{B} + \frac{(1+6e)}{B} \quad (4.175)$$

$$q_{min} = \frac{\Sigma V}{B \cdot 1} + \frac{e(\Sigma V)B/2}{(1/12)B^3} = \frac{\Sigma V}{B} - \frac{(1+6e)}{B} \quad (4.176)$$

dengan :

$\Sigma V$  = Total gaya vertikal

B = Lebar dasar struktur

$$e = \text{eksentrisitas} = (B/2 - (M_R - M_D)/V) < B/6 \quad (4.177)$$

◆ Stabilitas terhadap erosi bawah tanah (piping)

Untuk mengontrol stabilitas bangunan terhadap erosi bawah tanah digunakan metode Lane, atau disebut metode angka rembesan Lane (*Weighted ratio*). Perhitungan adalah sebagai berikut:

$$CL = \frac{\Sigma L_v + 1/3 \Sigma L_h}{\Delta H} \quad (4.178)$$

dengan :

$\Sigma L_v$  = Jumlah panjang vertikal (m)

$\Sigma L_h$  = Jumlah panjang horizontal (m)

$\Delta H$  = Beda tinggi muka air (m)

CL = Angka rembesan Lane

Syarat keamanan :

$$CL < CL \text{ kritis} \quad (4.179)$$

Nilai CL kritis tergantung pada jenis batuan fondasi bangunan, berkisar antar 1,6 (lempung sangat keras) sampai 8,5 pasir

#### 4.7.11. Kolam retensi

Kolam retensi biasa dibangun pada bagian rendah di kanan dan kiri alur sungai. Fungsi kolam retensi adalah untuk menampung sebagian debit banjir. Pengurangan debit ini akan terjadi pada bagian hilir dari kolam retensi.

#### 4.7.12. Saluran bypass/terusan/sudetan

Saluran bypass/terusan (*waterway*) dan saluran pengelak merupakan cara untuk membelokkan aliran sungai dari daerah berkembang guna menghindari atau meminimumkan resiko banjir. Termasuk dalam sistem ini adalah sudetan kelaut, pemidahan aliran sungai antar wilayah dan saluran pengelak yang menerobos gunung

(terowongan). Pemilihan trase untuk bypass / terusan atau pengelak yang lain akan tergantung pada beberapa faktor diantaranya pengembangan tanah yang sudah ada, kondisi topografi dan kendala geologi. Trase sementara dipilih berdasarkan pada informasi yang dan dipastikan berdasar penyelidikan-penyelidikan geologi teknik dan teknik sipil.

Ukuran dan bentuk dari *bypass*/terusan ditentukan oleh suatu analisis yang berdasarkan faktor-faktor sebagai berikut :

- pertimbangan-pertimbangan geologi teknik termasuk material dan statikanya (galian dan timbunan tanggul dan stabilitas lereng),
- analisis hidraulika dan kapasitas saluran, daerah aliran dan transport sedimen,
- pertimbangan sebagai sarana transportasi sungai.

# BAB V

## PERENCANAAN EMBUNG (*SMALLDAM*) SEBAGAI SARANA PEMANFAATAN SUMBER DAYA AIR

**B**ab ini memperkenalkan langkah-langkah perencanaan embung (*smalldam*) sebagai sarana pemanfaatan sumber daya air umumnya di wilayah-wilayah yang mempunyai curah hujan rata-rata tahun kurang dari 2000 mm seperti Nusa Tenggara Barat dan Nusa Tenggara Timur

### 5.1. LATAR BELAKANG

Keterbatasan daerah pertanian di Pulau Sumbawa, Prop. NTB didominasi pada areal yang memiliki curah hujan yang rendah  $\pm 1250$  mm serta terletak pada dataran perbukitan sehingga merupakan blok sistem daerah irigasi yang memiliki sumber air sebagai tangkapan ( *catchment* ) relatif kecil, umumnya kurang dari 10 Km<sup>2</sup>. Embung merupakan sistem atau istilah lokal yang ada pada umumnya sudah dikenal oleh masyarakat Nusa Tenggara Barat didalam mengelola sumber daya air. Konstruksi embung berupa waduk penampungan yang terbuat dari timbunan tanah ataupun dari pasangan batu yang dipakai sebagai sumber air untuk memberi / suplesi terhadap terhadap kebutuhan air irigasi pada areal dibawahnya, dimana pada umumnya sudah dipersiapkan pola tanam tadah hujan ( *Gora* ) sehingga dapat diperoleh kontinuitas pemberian air untuk pertumbuhan tanaman dalam menghindari gagal panen.

Tujuan pembangunan embung tersebut adalah sebagai prasarana konservasi air permukaan yang dapat digunakan di saat tidak ada hujan. Hal ini terutama adalah untuk menyediakan air pertanian. Sehingga dengan embung upaya meningkatkan tarah hidup masyarakat pedesaan melalui penyediaan sarana dan prasarana dasar sektor pertanian dapat terwujud.

Secara konstruksi, embung adalah bendungan kecil (*smalldam*). Hal spesifik mengenai embung adalah dahulu embung dibuat bukan di alur sungai melainkan di suatu lahan cekungan di mana semua air permukaan termasuk drainase akan terkumpul (Sulistiyono, 2003). Pada saat kemarau, air limpasan permukaan yang tertinggal dalam cekungan ini

dimanfaatkan kembali untuk mengairi kebun dan mencukupi kebutuhan air ternak. Kemudian diketahui pula bahwa muka air tanah di sekitar cekungan tidak terlalu dalam dan dapat dimanfaatkan untuk keperluan rumah tangga (domestik). Dengan pemikiran cerdas para leluhur di wilayah Nusa Tenggara, kemudian cekungan dilengkapi fasilitasnya secara sederhana (peninggian tanggul, perbaikan daerah rembesan, fasilitas pengambilan, dan sebagainya) sehingga menjadi embrio embung. Prasarana ini kemudian dapat secara rutin dimanfaatkan setiap datang saat kemarau.

Sekitar tahun 1970-an oleh pemerintah daerah melalui dinas pekerjaan umum mencoba merencanakan dan membuat embung yang lebih permanen untuk dapat dimanfaatkan lebih maksimal dengan cara membuat di alur sungai tidak mempunyai aliran dasar, yaitu sungai yang pada saat kemarau tidak terdapat aliran air. Pembangunan prasarana ini ternyata membuahkan hasil yaitu panen pertanian mencapai 2 (dua) kali sampai 3 (tiga) kali setiap tahun yang dalam istilah teknik pengairan dan pertanian disebut sebagai intensitas tanam 200 % dan 300 %. Dengan keberhasilan ini kemudian dikembangkan lebih lanjut teori perencanaan dan aplikasi pembuatan embung dengan membuat pedoman dan standar-standar kriteria perencanaan embung.

Dalam konsep pembangunan bendungan, dikenal 2 (dua) jenis bendungan berdasarkan besar bangunan dan kapasitasnya, yaitu: Bendungan Besar dan Bendungan Kecil sebagai contoh ditampilkan dalam Gambar 5.1 dan Gambar 5.2. Perbedaan antara keduanya selain bentuk fisik dan kapasitasnya adalah mengenai resiko dan kelengkapan fasilitas instrumentasi. Kriteria bendungan besar diantaranya menurut Suyono adalah

1. Tinggi tubuh mulai dari dasar pondasi sampai tanggul lebih besar atau sama dengan 15 m,
2. Harus dilengkapi dengan jumlah dan jenis instrumentasi bendungan (alat-alat ukur untuk mendeteksi kondisi bendungan berikut tampungannya) yang memadai
3. Perencanaan dan pembangunannya harus dilengkapi dengan sertifikasi dan diawasi oleh Balai Keamanan Bendungan Indonesia.
4. Harus dilengkapi dengan dokumen Amdal
5. Harus dilengkapi Rencana Tindak Darurat

Sedangkan embung termasuk dalam kategori bendungan kecil, dengan tinggi tubuh kurang dari 15 m sehingga persyaratan tersebut diatas menjadi tidak wajib namun akan lebih jika dilengkapi dengan kriteria standar bendungan.



Gambar 5.1 Bendungan Mamak

Gambar 5.1 adalah Bendungan Mamak di Pulau Sumbawa, Kabupaten Sumbawa, Provinsi NTB. Tinggi Bendungan ini 39,50 m. Bendungan ini mempunyai luas genangan 300 Ha dengan volume tampungan 325.000.000 m<sup>3</sup>.



Gambar 5.2 Embung Tundak



Gambar 5.2 adalah Embung Tundak di Pulau Lombok, Kabupaten Lombok Timur, Provinsi NTB. Tinggi embung ini 11,50 m dengan luas genangan 5,20 Ha dan volume tampungan 262.000 m<sup>3</sup>.

## **5.2. LINGKUP PEKERJAAN PERENCANAAN EMBUNG**

Untuk mendapatkan hasil perencanaan yang baik dalam arti tepat guna, tepat mutu, tepat tempat dan tepat sasaran, maka langkah-langkah yang harus dikerjakan dalam merencanakan embung adalah sebagai berikut:

1. Survei awal untuk mengetahui :
  - a. kebutuhan daerah / masyarakat akan berdirinya embung
  - b. menentukan lokasi embung dan daerah layanan
  - c. menentukan trase jalan masuk menuju embung
  - d. menginventarisasi semua yang ada di sekitar as embung dan areal genangan
2. Pengukuran dan penggambaran daerah genangan, situasi site embung serta detail cross section dan long section rencana Tubuh Embung, Spillway, Intake dan bangunan fasilitasnya, Saluran Penghantar ( Headrace Canal ) sampai ke areal irigasi, jalan masuk/ jalan kerja ke lokasi proyek, photo – photo dokumentasi lokasi Proyek dan As Embung.
3. Penyelidikan Geologi Teknik dan Mekanika tanah pada lokasi embung sebagai material bangunan dan treatment – treatment yang diperlukan terhadap rencana pondasi embung dan bangunan fasilitasnya.
4. Mempelajari dokumen studi terdahulu yang ada kaitannya dengan pembangunan embung di daerah studi
5. Mengkaji/ evaluasi water availability, water balance dan melakukan optimasi terhadap tinggi dan isi embung secara detail dengan scenario dan tujuan proyek yang bersifat multi guna.
6. Menganalisa teknik hidrolika bangunan tubuh embung, spillway, intake untuk irigasi, air baku dan bangunan fasilitasnya.
7. Membuat Perencanaan rinci tubuh embung, spillway, intake untuk irigasi, air baku beserta accessoriesnya dan bangunan fasilitasnya, saluran penghantar serta jalan masuk/ jalan kerja ke lokasi proyek.
8. Menghitung Volume Pekerjaan Fisik dan Rencana Anggaran Biaya serta menganalisa aspek ekonomi pembangunan embung dengan mempertimbangkan besarnya nilai benefit-cost ratio, net present value dan EIRR serta tingkat sensitifitas.

9. Menganalisis UKL dan UPL
10. Membuat metode/teknik pelaksanaan embung yang mengacu kepada kondisi topografi, kondisi geologi serta faktor – faktor yang lain yang perlu diperhitungkan, sehingga dapat dijadikan sebagai panduan dalam pelaksanaan pembangunan embung.
11. Membuat Panduan Operasi dan Pemeliharaan Embung
12. Membuat Spesifikasi Teknis Pekerjaan Pembangunan Embung
13. Membuat Gambar Detail Perencanaan Embung

### **5.3. SURVAI TOPOGRAFI**

Kegiatan Survai Topografi dalam rangka pelaksanaan pekerjaan perencanaan embung meliputi kegiatan sebagai berikut :

- Pembuatan Peta Dam Site skala 1 : 500
- Pengukuran daerah genangan (cross dan long section) skala 1 : 1.000 atau skala 1 : 2.000
- Pembuatan Penampang Melintang daerah Dam Site dengan skala 1 : 200
- Pembuatan Penampang Memanjang dengan skala Horisontal 1 : 1.000 dan skala Vertikal 1 : 100

Metode pengukuran yang akan diterapkan agar dicapai hasil yang optimal dapat diuraikan sebagai berikut :

#### **a. Pekerjaan Persiapan**

Pekerjaan persiapan yang dilakukan oleh Konsultan adalah sebagai berikut :

- a) Menyiapkan administrasi yang diperlukan, seperti perijinan, surat jalan dan sebagainya.
- b) Mengumpulkan peta-peta yang ada kaitannya dengan pekerjaan dimaksud, termasuk peta topografi daerah study skala 1 : 25.000 atau 1 : 50.000, tabel deklinasi matahari dan sebagainya.
- c) Melakukan inventarisasi data koordinat titik acuan terdekat atau titik acuan yang diarahkan oleh pihak proyek.
- d) Menyiapkan data-data pendukung lain yang diperlukan.
- e) Menyiapkan sekedul pekerjaan, sekedul peralatan dan sekedul personil.
- f) Menyiapkan peralatan yang diperlukan.

- g) Menyiapkan personil tim yang akan dilibatkan.
- h) Menyiapkan peta kerja, termasuk perencanaan jalur pengukuran dan rencana penempatan titik kontrol.

#### **b. Pemasangan Monumentasi dan Patok Bantu**

Ada 2 ( dua ) jenis monumentasi yang perlu dipasang yaitu :

##### a) Bench Mark ( BM )

Bench Mark yang terbuat dari beton menggunakan tulangan dengan ukuran 20 cm x 20 x cm x 100 cm . BM dilengkapi dengan baud yang diberi tanda silang pada bagian atasnya sebagai titik *centering*, serta diberi penamaan pada bagian samping menggunakan tegel. BM ini dipasang sejumlah 3 (tiga) pada masing-masing embung guna mengikat Poligon. Bagian yang muncul di atas tanah lebih kurang 20 cm.

##### b) Control Point ( CP )

Control Point dengan ukuran 10 cm x 10 cm x 80 cm terbuat dari cor semen, dipasang dengan tujuan untuk memberikan acuan arah azimuth dari BM terpasang. Control point ini dipasang dengan posisi saling terlihat dengan BM terpasang. Pemasangan Bench Mark ini diikuti dengan pemasangan Control Point ( CP ) sebagai arahan untuk menentukan azimuth titik tersebut. BM dan CP dipasang pada tempat yang stabil, aman dan mudah dalam pencariannya.

##### c) Patok Bantu

Patok bantu dipasang pada setiap tempat berdiri alat poligon, situasi, cross section dan diantara tempat berdiri alat waterpas. Patok ini dibuat dari kayu dengan ukuran 3 cm x 5 cm x 40 cm. Patok kayu ini pada bagian atasnya dipasang paku payung sebagai penanda *centering* titik tempat berdiri alat atau titik berdiri rambu pada pengukuran waterpass. Untuk memudahkan penentuan patok, perlu juga diberikan peng-kodean atau penamaan masing-masing patok kayu tersebut dengan nama, huruf atau nomer.

Setiap memasang monumentasi harus dilakukan dokumentasi pada lembar yang mudah dibaca dan dimengerti oleh semua pihak, lembar ini sering disebut sebagai lembar dikripsi BM dan CP seperti ditampilkan pada contoh lembar berikut:

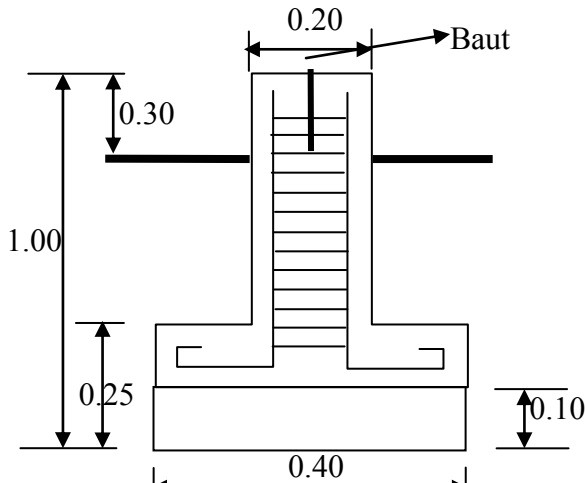
# KOP DAN NAMA INSTANSI PEMILIK PEKERJAAN

## FORMAT DISKRIPSI BENCH MARK (BM)

Konsultan : .....	Kecamatan : .....
Lokasi : .....	Desa/Kampung : .....
Propinsi : .....	Dibuat oleh : .....
Kabupaten : .....	No. Lembar Peta : .....

### DIMENSI BENCH MARK

- BM..... merupakan pilar yang tetap dengan ukuran 1.00 x 0.2 x 0.2 m.
- Tinggi dari atas permukaan tanah  $\pm 0,30$  m

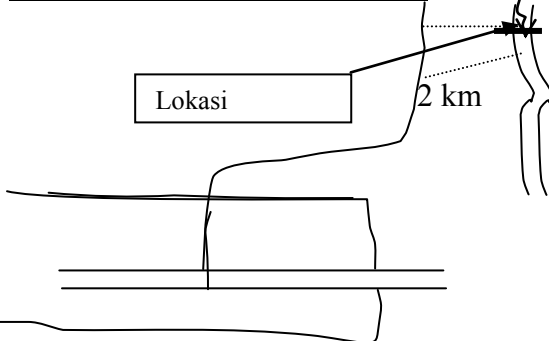


### FOTO BENCH MARK

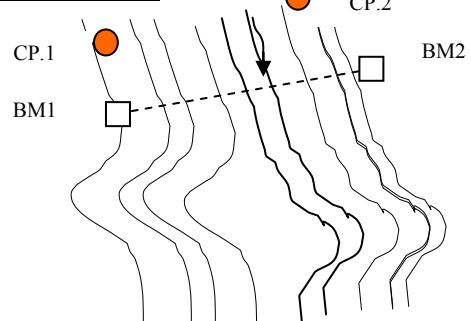


PATOK BENCH MARK	NOMOR BM.....	X ( m )	Y ( m )	ELEVASI (m)
		.....	.....	.....

### SKETSA LOKASI SEKITARNYA



### SKETSA DETAIL



### Diskripsi dan Catatan :

# KOP DAN NAMA INSTANSI PEMILIK PEKERJAAN

## FORMAT DISKRIPSI CONTROL POINT (CP)

Konsultan : _____	Kecamatan : _____
Lokasi : _____	Desa/Kampung : _____
Propinsi : _____	Dibuat oleh : _____
Kabupaten : _____	No. Lembar Peta : _____

**DIMENSI CONTROL POINT**

- CP.1 merupakan pilar yang tetap dengan ukuran 0.75 x 0.1 x 0.1 m.
- Tinggi dari atas permukaan tanah ± 0.,20 m

**CONTROL POINT**

PATOK	NOMOR	X ( m )	Y ( m )	ELEVASI (m)
CONTROL POINT	CP.....	.....	.....	.....

**SKETSA LOKASI SEKITARNYA**

**SKETSA DETAIL**

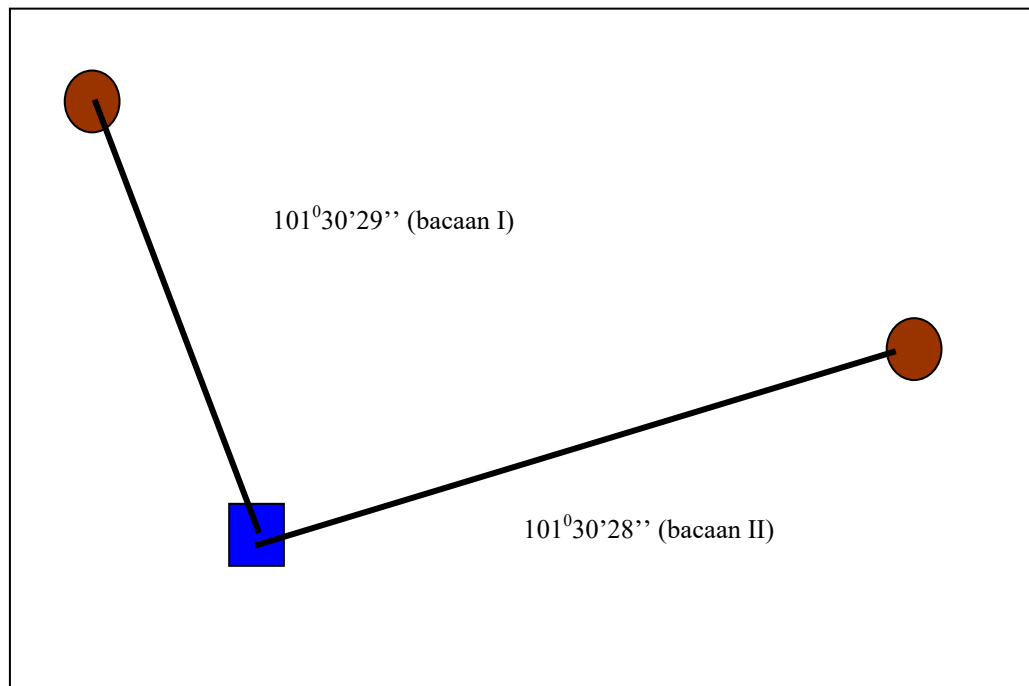
**Diskripsi dan Catatan :**

### c. Pengukuran Poligon

Pengukuran poligon dilakukan dengan mengukur sudut dan jarak beserta azimuth awal sebagai penentu arah Utara.

#### 1). Pengukuran Sudut

Sudut ukur dengan menggunakan alat ukur Theodolith Wild – T2 atau sejenis. Pengukuran sudut dapat dijelaskan dengan Gambar 5.3 berikut ini :



Gambar 5.3. Pengukuran Sudut Poligon

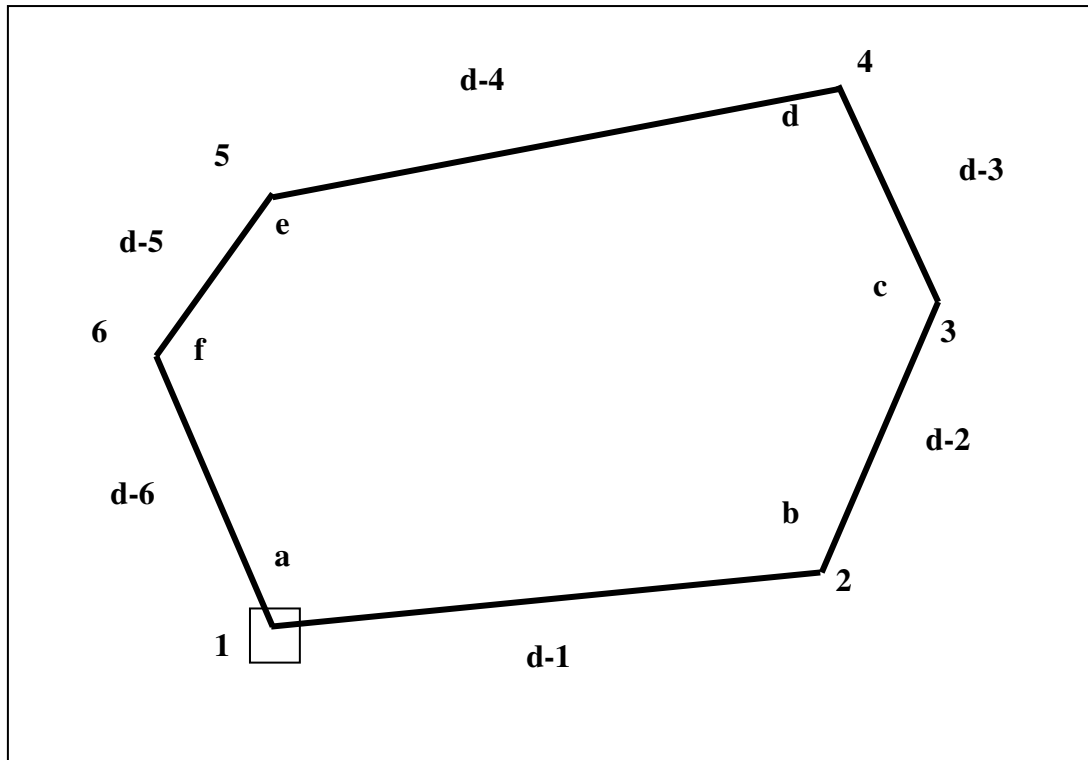
Sudut yang dipakai adalah sudut dalam yang merupakan hasil rata-rata dari pengukuran I dan II.

$$\begin{array}{rcl} \text{Bacaan I} & = & 101^{\circ}30'29'' \\ \text{Bacaan II} & = & 101^{\circ}30'28'' \\ \hline \text{Rata-rata} & = & 101^{\circ}30'28,5'' \end{array}$$

Sedangkan untuk pengukuran jarak dilakukan dengan cara optis dan dicek dengan menggunakan meetband.

2). **Hitungan Poligon**

Poligon dihitung dengan cara sebagai berikut :



Gambar 5.4 Gambar Poligon

Dalam mengukur dan membuat poligon tertutup, maka jumlah sudut poligon dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Sigma \text{ sudut} = (n \pm 2) \times 180^0 \pm f\beta \quad (5.1)$$

dengan :

$\Sigma$  sudut = jumlah sudut dalam / sudut luar

n = jumlah titik Poligon

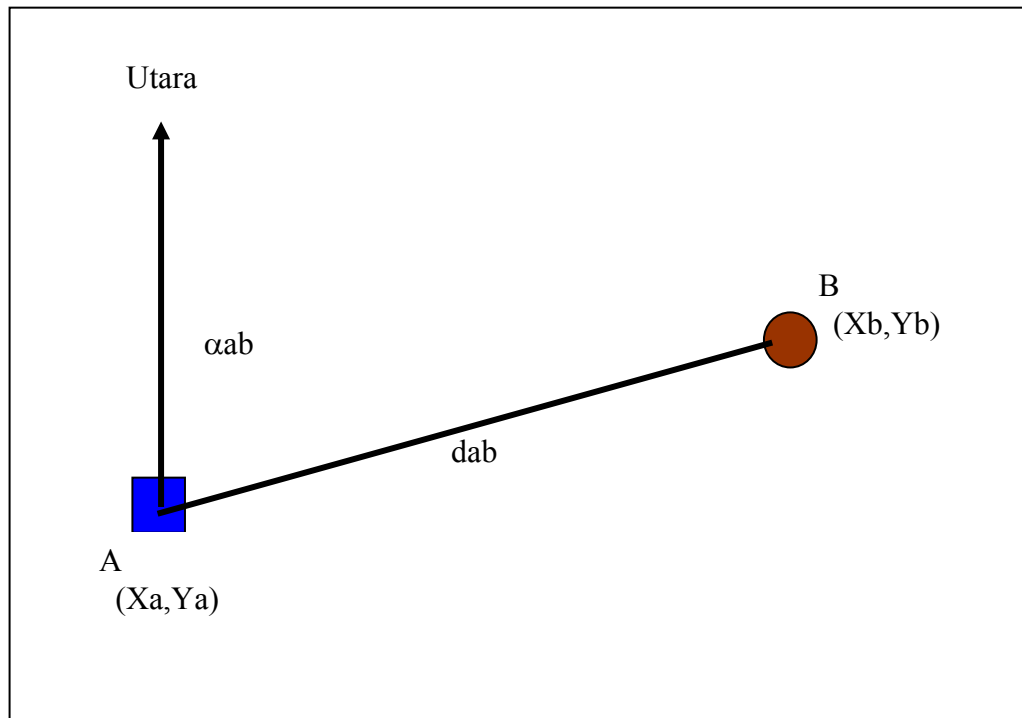
a,b,c,...f = besar sudut

d1,d2,..d6 = jarak antar titik Poligon

$f\beta$  = kesalahan sudut yang besarnya sudah ditentukan ( $10^4 \sqrt{n}$ )

### 3). *Hitungan Koordinat*

Koordinat masing-masing titik Poligon dengan persamaan dari gambar berikut :



Gambar 5.5. Model matematis hitungan koordinat

Dalam menghitung koordinat titik poligon digunakan persamaan sebagai berikut:

$$X = Xa + dab \sin \alpha_{ab} \pm fX \quad (5.2)$$

$$Y = Ya + dab \cos \alpha_{ab} \pm fY \quad (5.3)$$

dengan :

- $Xa, Ya$  = Koordinat titik A
- $Xb, Yb$  = Koordinat titik B
- $dab$  = Jarak datar antara titik A ke titik B
- $\alpha_{ab}$  = Azimuth sisi titik A ke titik B
- $f_x, f_y$  = Koreksi



Sedangkan untuk koreksi Absis dan Ordinat digunakan metode Bouwditch berikut :

$$f(x_i) = \frac{d_i}{\sum d} f(x) \quad (5.4)$$

$$f(y_i) = \frac{d_i}{\sum d} f(y) \quad (5.5)$$

dengan :

$f_{xi}, f_{yi}$  = Koreksi absis dan ordinat masing-masing koordinat

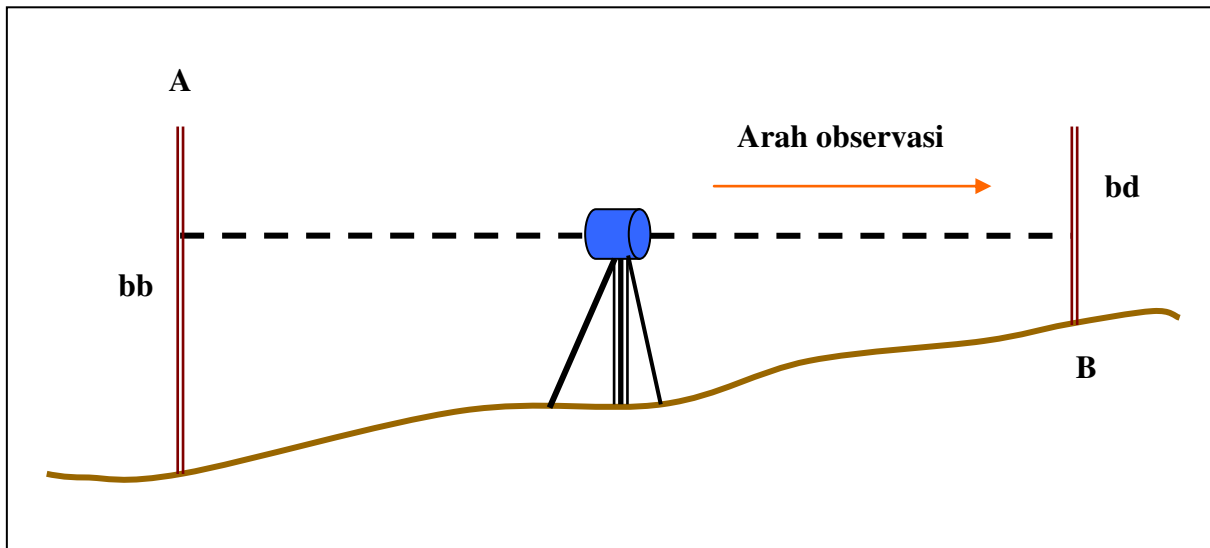
$f_x, f_y$  = Koreksi absis dan ordinat keseluruhan

$d_i$  = Jarak sisi – i

$\Sigma d$  = Jumlah jarak keseluruhan

#### d. Pengukuran Waterpass

Pengukuran Waterpass dilakukan untuk mengetahui perbedaan ketinggian antara dua titik, sehingga apabila salah satu titik diketahui ketinggiannya maka titik selanjutnya dapat diketahui ketinggiannya. Hal tersebut dapat dijelaskan dengan gambar sebagai berikut :



Gambar 5.6 Model Matematis Observasi Beda Tinggi

Perhitungan beda tinggi antara dua tempat atau dua titik dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta H_{A-B} = bb - bd \quad (5.6)$$

dengan :

$\Delta H_{A-B}$	=	Beda tinggi antara titik A dan titik B
bb	=	Bacaan rambu belakang
bd	=	Bacaan rambu depan
A, B	=	Titik yang di Observasi

Sehingga untuk mengetahui tinggi titik B dapat dicari dengan persamaan :

$$H_B = H_A + \Delta H_{A-B} \quad (5.7)$$

dengan :

$H_A$	=	Tinggi titik A
$H_B$	=	Tinggi titik B
$\Delta H_{A-B}$	=	Beda tinggi antara titik A dan titik B

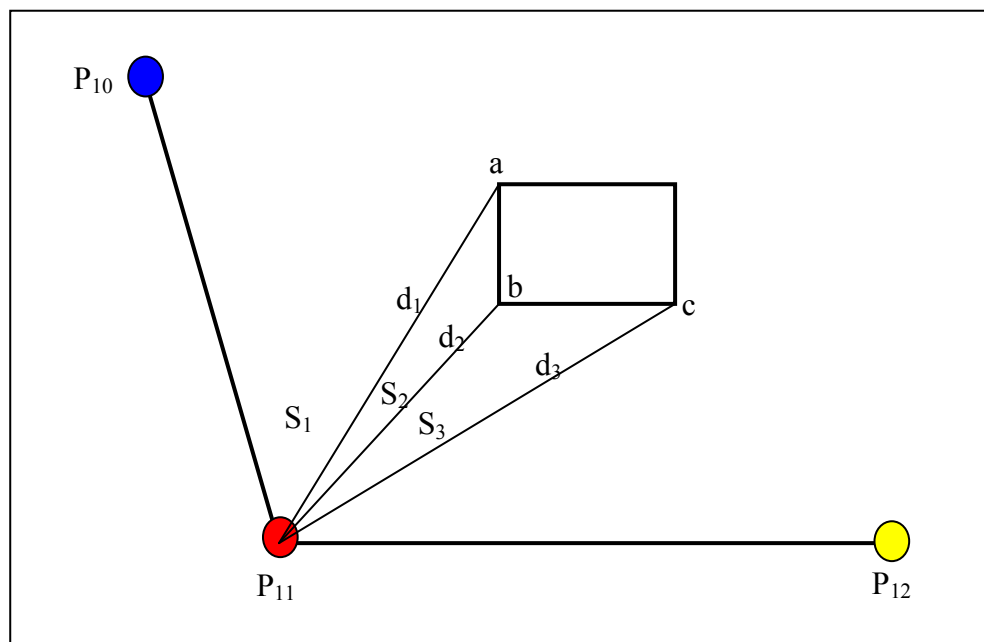
Rute pengukuran waterpass mengikuti rute pengukuran poligon dengan pembagian loop seperti pengukuran poligon. Pengukuran Kerangka Kontrol Vertikal atau waterpass, harus diukur dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Kerangka Kontrol Vertikal harus diukur dengan cara loop, dengan menggunakan alat waterpass Wild Nak-2 atau yang sejenis.
- Jarak antara tempat berdiri alat dengan rambu tidak boleh lebih besar dari 50 meter.
- Baud-baud tripod ( statip ) tidak boleh longgar, sambungan rambu harus lurus betul serta perpindahan skala rambu pada sambungan harus tepat, serta rambu harus menggunakan nivo rambu.
- Sepatu rambu digunakan untuk peletakan rambu ukur pada saat pengukuran.
- Jangkauan bacaan rambu berkisar antara **minimal 0500** sampai dengan **maksimal 2750**.
- Data yang dicatat adalah bacaan ketiga benang yaitu benang atas, benang tengah dan benang bawah.

- g) Pengukuran sipat datar dilakukan setelah BM dipasang, serta semua BM eksisting dan BM baru terpasang harus dilalui pengukuran waterpass.
- h) Slaag per seksi diusahakan genap dan jumlah jarak muka diusahakan sama dengan jarak belakang.
- i) Pada jalur terikat, pengukuran dilakukan pergi-pulang dan pada jalur terbuka pengukuran dilakukan pergi-pulang dan double stand.
- j) Kesalahan beda tinggi yang dicapai harus lebih kecil dari  $7 \text{ mm} \sqrt{D}$ , dimana D adalah jumlah panjang jalur pengukuran dalam kilometer.
- k) Semua data lapangan dan hitungan harus dicatat secara jelas dan sistematis, jika ada kesalahan cukup dicoret dan ditulis kembali didekatnya, serta tidak diperbolehkan melakukan koreksi menggunakan tinta koreksi.
- l) Pekerjaan hitungan waterpass harus diselesaikan di lapangan, agar bila terjadi kesalahan dapat segera diketahui dan dilakukan pengukuran kembali hingga benar.
- m) Perataan hitungan waterpass dilakukan dengan perataan metode Bouwditch.

**e. Pengukuran Detail Situasi**

Pengukuran detail situasi untuk mengetahui kondisi daerah sekitar, sehingga dari gambar yang dihasilkan dapat direncanakan dan dihitung tampungan embung tersebut, detail situasi diukur dengan metode sudut kutub sebagai berikut :

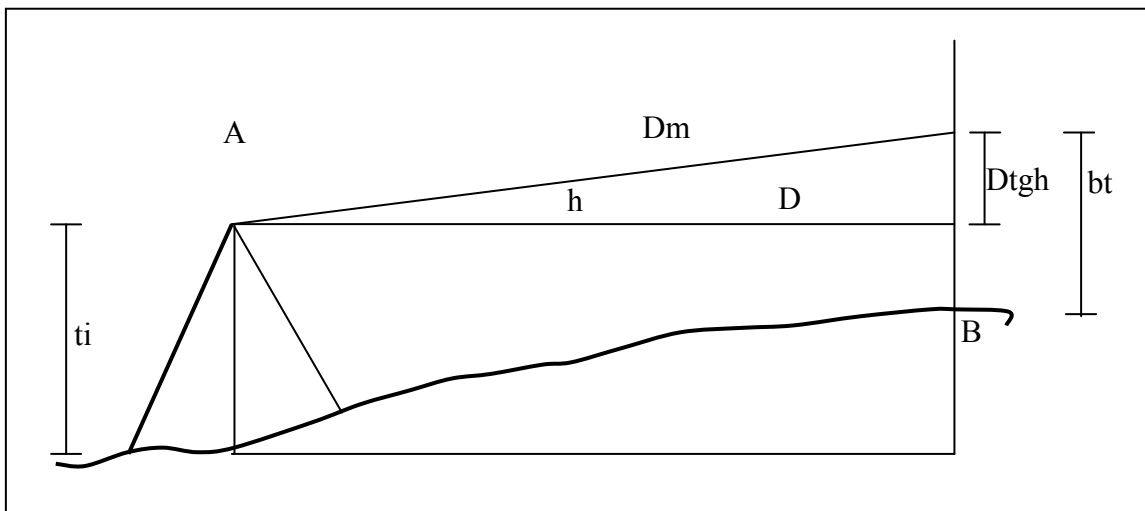


Gambar 5.7 Metode Sudut Kutub

Keterangan gambar

- $P_{10}, P_{11}, P_{12}$  = titik-titik poligon
- $S_1, S_2, S_3$  = sudut ikat masing-masing titik detil
- $d_1, d_2, d_3$  = jarak sisi masing-masing titik detil
- $a, b, c$  = titik-titik detil

Detil-detil tersebut diukur dengan menggunakan alat Theodolith Wild T<sub>0</sub>. Jarak dan beda tinggi masing-masing sisi dan titik detil diukur dengan metode Tachimetry seperti gambar berikut :



Gambar 5.8 Metode Tachimetry

Perhitungan beda tinggi masing-masing titik dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta H_{AB} = bb - bd \quad (5.8)$$

dengan :

- $D$  = jarak datar
- $h$  = sudut vertical
- $bt$  = bacaan benang tengah
- $ti$  = tinggi instrumen
- $\Delta H_{AB}$  = beda tinggi antara titik A dan B

Sedangkan besaran jarak (D) diperoleh dengan persamaan :

$$D = AY \cos^2 h \quad (5.9)$$

dengan :

D	=	jarak datar
A	=	besaran konstanta alat (100)
Y	=	benang atas – benang bawah
h	=	sudut vertikal

#### **f. Pengukuran Cross Section**

Pengukuran Cross section pada daerah Dam Site dimaksudkan untuk mengetahui kondisi tampang permukaan tanah pada posisi tegak lurus terhadap as sungai cross section, yang diukur dengan menggunakan alat Theodolite Wild T<sub>0</sub>.

Pada perencanaan ini pengukuran cross section dilakukan pada lokasi rencana Embung, pada daerah genangan dan pada daerah trase saluran dengan uraian kriteria sebagai berikut :

- a) Cross section diukur dengan interval 500 m sepanjang alinemen saluran, interval 100 m untuk daerah genangan.
- b) Penampang melintang diukur dengan mengambil detil yang mewakili dan sesuai dengan skala yang digunakan.
- c) Lebar pengukuran cross section diukur 50 meter ke kiri dan 50 meter ke kanan dari rencana as saluran dan lebar pengukuran cross section untuk daerah genangan adalah sampai pada elevasi crest Embung.
- d) Pada setiap titik cross section dipasang patok kayu ukuran 3 cm x 5 cm x 40 cm dan di atasnya diberi paku sebagai titik acuan pengukuran.
- e) Setiap center line titik cross section dipakai juga sebagai pengukuran long section.
- f) Pengukuran cross section dilakukan dengan menggunakan alat theodolite Wild T-0.

#### **g. Pengukuran Profil Memanjang**

Profil memanjang diukur sepanjang as sungai rencana daerah genangan dan lay out alinemen yang direncanakan, elevasi profil yang diambil adalah elevasi centerline sungai daerah genangan.

Spesifikasi dari pengukuran profil memanjang ini dapat diuraikan sebagai berikut :

- a) Pengukuran profil dilakukan dengan interval 50 meter untuk daerah genangan.
- b) Setiap perubahan detil yang memungkinkan untuk digambar berdasarkan skala diukur untuk penentuan profil memanjang.
- c) Setiap center line cross section juga merupakan elevasi pada profile memanjang.
- d) Pengukuran dilakukan dengan menggunakan theodolite Wild-To.
- e) Semua titik berdiri alat harus terikat pada poligon utama.
- f) Semua data lapangan dan hitungan harus dicatat secara jelas dan rapi.

#### **h. Pekerjaan Kantor (Perencanaan)**

Pekerjaan kantor atau perencanaan dapat diuraikan sebagai berikut :

##### **1). Pekerjaan Hitungan**

Setelah hitungan awal pekerjaan pengukuran dilapangan terutama hitungan kerangka kontrol horizontal dan vertical diselesaikan, maka proses selanjutnya adalah penghitungan data secara simultan. Hitungan-hitungan yang dilakukan adalah hitungan untuk data cross section dan detail situasi. Pekerjaan ini dapat dilakukan dengan menggunakan calculator maupun dengan menggunakan bantuan Personal Computer. Tahapan pekerjaan perhitungan ini meliputi :

- (a) Pekerjaan hitungan sementara harus selesai di lapangan, sehingga kalau ada kesalahan dapat segera diulang untuk segera dapat diperbaiki.
- (b) Stasiun pengamatan matahari (jika ada) dicantumkan dalam seketsa.
- (c) Hitungan poligon dan sipat datar menggunakan metode perataan bowditch.
- (d) Pada gambar seketsa dicantumkan pula salah penutup sudut poligon beserta jumlah titik, salah linier poligon beserta harga toleransi, serta jumlah jarak.
- (e) Perhitungan koordinat dilakukan dengan proyeksi UTM.

##### **2). Pekerjaan Penggambaran**

Pengukuran poligon dilakukan dengan mengukur sudut dan jarak beserta azimuth awal sebagai penentu arah Utara. Penggambaran umumnya dilakukan pada Kertas Kalkir ukuran A1 dan A3, sebaiknya menggunakan Program Auto Cad, karena akan lebih mudah dilakukan revisi jika terdapat koreksi dan penambahan. Gambar-gambar harus dilengkapi dengan penunjuk arah Utara, Legenda, Skala, Kop, Judul gambar, disertai dengan kelengkapan yang diperlukan lainnya.

#### **5.4. INVESTIGASI GEOLOGI**

Kegiatan Investigasi Geologi dalam rangka pelaksanaan pekerjaan perencanaan embung meliputi kegiatan sebagai berikut :

- Pemetaan geologi teknik detail skala 1 : 100 di lokasi tapak (as embung).
- Pemetaan geologi teknik skala 1 : 1000, di lokasi daerah genangan
- Pemboran inti di lokasi rencana embung. Pemboran ini minimal harus dilakukan di titik-titik yang mewakili: sepanjang as embung (tebing kiri, tebing kanan dan dasar sungai), rencana kolam olak, rencana intake, dan di calon lokasi genangan embung.
- Pembuatan sumur uji (Test Pit) dilokasi borrow area, dan lokasi penting lainnya meliputi: pembuatan sumur uji dan pengambilan contoh tanah terganggu untuk lokasi borrow area, dan pembuatan sumur uji, pengambilan contoh tanah tidak terganggu dan uji kelulusan air untuk lokasi test pit di trase saluran utama.
- Pengujian tranches dengan beberapa parit di tebing kanan dan tebing kiri sungai serta dari satu lubang bor ke lubang bor yang lain. Uji tranches ini berguna untuk mengetahui kondisi geologi sepanjang penampang sungai dari tebing kiri sampai tebing kanan dengan cara prediksi dan interpolasi.
- Pengujian Laboratorium, contoh tanah undisturbed dan disturbed hasil pemboran inti dan tes pit,

Metode investigasi geologi yang akan diterapkan agar dicapai hasil yang optimal dapat diuraikan sebagai berikut :

##### **a. Pemetaan Geologi**

###### **1). Lingkup Pekerjaan**

Pekerjaan ini mencakup pemetaan Geologi teknik, dengan mengikutsertakan lokasi-lokasi pengamatan eksplorasi geologi teknik seperti titik-titik bor, sumuran uji dan lain - lain.

###### **2). Pelaksanaan Pemetaan Geologi**

###### **(A) Pemetaan Geologi Teknik Detail Tapak Embung**

###### **a. Pemetaan geologi teknik detail tapak Embung,**

Menentukan jalur-jalur pengamatan geologi pada lokasi tapak Embung, pada peta skala 1 : 100. Jalur pengamatan dibuat tegak lurus poros rencana Embung dengan interval 10 meter.

- b. Melakukan pengamatan dan mencatat data-data geologi lapangan seperti singkapan batuan, stratigrafi dan struktur geologinya serta kondisi geologi teknik seperti potensi gerakan tanah.
- c. Menyiapkan peta geologi teknik lengkap dengan penampang geologinya.

(B) Pemetaan Geologi Teknik Daerah Genangan

- a. Pemetaan geologi teknik daerah genangan seluas.
- b. Melakukan pengamatan geologi lapangan pada daerah genangan dan sekitarnya pada peta skala 1: 1000, seperti singkapan batuan, stratigrafi dan struktur geologinya.
- c. Pengamatan dilakukan dengan membuat lintasan pengamatan yang relatif tegak lurus dengan jurus (strike) batuan, sehingga diketahui variasi batuan dan penyebarannya pada daerah genangan.
- d. Pengamatan juga dilakukan pada proses geologi muda yang ada di lapangan, seperti potensi gerakan tanah atau tanah longsor.

(C) Hasil Pekerjaan

Hasil pemetaan geologi teknik akan berupa Peta Geologi Teknik Detail Tapak Embung dengan skala 1 : 100, dan Peta Geologi Teknik Daerah Genangan dengan peta skala 1 : 1000.

**b. Pemboran Inti**

Dalam pekerjaan ini mencakup pemboran inti dengan total kedalaman 100 meter, yang telah dilengkapi dengan pengujian-pengujian dalam lubang bor. Pekerjaan ini meliputi :

- a. Melakukan pemboran inti pada titik-titik bor yang telah mendapat persetujuan dari Direksi Pekerjaan.
- b. Menyusun perencanaan kerja secara rinci, termasuk daftar peralatan yang dipakai beserta personilnya.
- c. Perijinan penggunaan lahan lokasi titik bor, mobilisasi alat serta persiapan kerja di lapangan.
- d. Melaksanakan pemboran inti, termasuk pengambilan sampel, pemerian titik bor, pengujian-pengujian seperti uji SPT dan kelulusan air.
- e. Menyiapkan peti contoh batuan atau Core Box.
- f. Lubang bor yang sudah selesai diberi tanda dengan patok beton.



Beberapa hal yang perlu diperhatikan saat pelaksanaan pemboran adalah sebagai berikut:

- a. Core Barrel yang dipakai minimum  $H \times = 76 \text{ mm}$ .
- b. Jika menjumpai tanah lepas atau tanah kohesif, supaya diambil contoh undisturbed (tak terganggu).
- c. Air pembilas yang dipakai supaya yang bersih, agar perubahan warna selama pemboran bisa teramati dengan baik.
- d. Jumlah pemboran dengan total kedalaman 100 m.

Deskripsi Inti Bor dilakukan pada log bor yang sudah terlebih dahulu disiapkan, deskripsi ini mencakup hal-hal sebagai berikut:

- a. Semua informasi yang tercakup dalam laporan harian pemboran.
- b. Ketebalan untuk setiap lapisan atau batuan, ketebalan yang didapat ini masih merupakan ketebalan semu, sedangkan untuk mendapatkan ketebalan sesungguhnya perlu dikoreksi dengan mengetahui kedudukan batuan di sekitar lokasi pemboran.
- c. Elevasi lubang bor dengan koordinatnya, didapat dari hasil pengukuran tim topografi, dengan menggunakan alat ukur T0 atau T2, oleh karena itu perlu koordinasi dengan tim topografi .
- d. Simbol dari satuan tanah atau batuan disesuaikan dengan kaidah-kaidah yang berlaku dalam pemboran geologi teknik.
- e. Deskripsi terhadap inti bor sesuai dengan British Standard (BS) 5930, 1981 atau ASTM D 2488-69 (1925).
- f. Core recovery dihitung saat pengambilan sampel dari core barrel, sedangkan R Q D dihitung pada batuan yang memiliki panjang lebih dari 10 cm.

Peti penyimpanan contoh batuan (Core Box) dibuat dengan ukuran baku yaitu  $1 \times 0,5 \times 0,10 \text{ m}^3$ . Pada tutup peti diberi identifikasi lubang bor seperti nama proyek, nomor lubang bor, nomor peti dan kedalaman. Sebelum dimasukkan kedalam peti, semua contoh inti yang terambil begitu keluar dari core barrel harus dimasukkan kedalam kantong plastik terlebih dahulu.

Selama pelaksanaan pemboran inti, laporan harian pemboran dibuat dalam kolom laporan harian yang sudah disediakan. Laporan harian ini mencakup antara lain :

- a. Nama Pekerjaan
- b. Nama Konsultan
- c. Jenis pekerjaan dan lokasi
- d. Tanggal dan kedalaman yang dicapai
- e. Kedalaman lubang bor
- f. Kedudukan muka air tanah
- g. Keterangan / perincian lapisan
- h. Keadaan cuaca
- i. Kedalaman contoh yang diambil dan semua pengujian-pengujian
- j. Waktu pemboran setaip run panjang, contoh inti yang diambil
- k. Data lain-lain yang perlu berhubungan dengan pemboran.

Setiap kali melaksanakan pemboran inti harus dilakukan dokumentasi pada lembar yang mudah dibaca dan dimengerti oleh semua pihak, lembar ini sering disebut sebagai lembar Borehole Log seperti ditampilkan pada contoh lembar pada halaman berikut.

### **c. Pengujian Lapangan**

#### **1). Standard Penetration Test (SPT)**

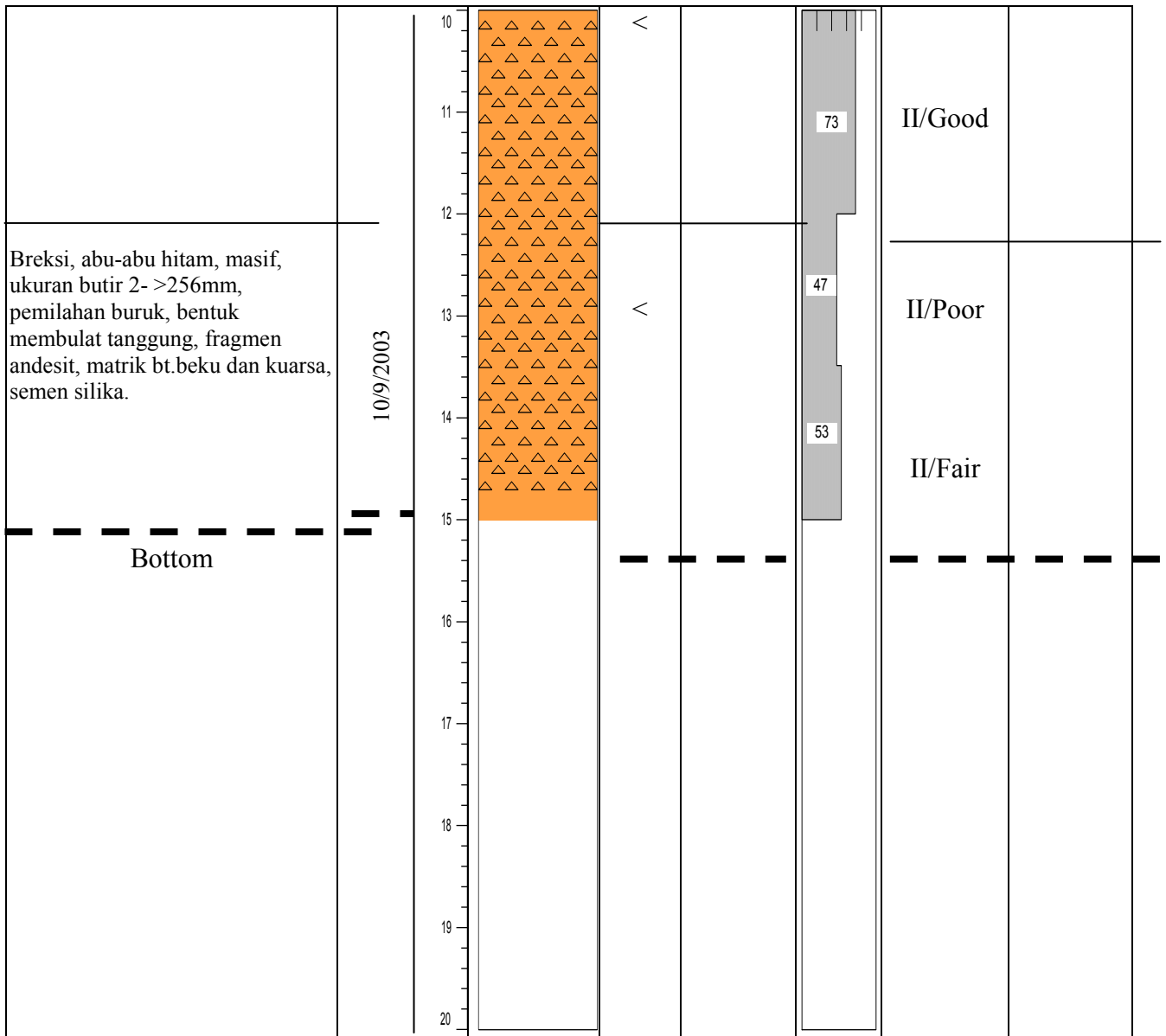
SPT dilakukan dengan memakai “Split Spoon Sampler Driver” dengan palu seberat 63,5 kg dan tinggi jatuh 75 cm. Beberapa ketentuan yang harus diperhatikan dalam pelaksanaan SPT ini adalah :

- a. SPT dilakukan pada dasar lubang bor pada kedalaman tertentu dengan interval 5 meter dan dasar lubang harus bersih dari kotoran-kotoran (cutting).
- b. Pengujian menggunakan jatuhan otomatis, maksudnya adalah sewaktu palu tersebut jatuh dengan tinggi jatuh sebesar 75 cm, palu tersebut tidak terhalang oleh apapun.
- c. Pencatatan banyaknya pukulan dilakukan setiap masuk 15 cm sampai 45 cm. Jika banyaknya pukulan sudah mencapai 50 pukulan atau lebih sebelum mencapai 45 cm, pengujian dihentikan.

Pencatatan hasil pengujian SPT mencakup :

- a. Kedalaman setiap pengujian
- b. Banyaknya pukulan untuk setiap 15 cm kemajuan.
- c. Perhitungan N untuk 30 cm terakhir.
- d. Kedudukan muka air tanah pada waktu pengujian berlangsung dicatat.

<p style="text-align: center;"><b>SAMPLE FORMAT Geotechnical BOREHOLE LOG</b> (Geotechnical Borehole Log)</p>							Borehole no.
Project site: Embung ..... Client: ..... Drilling machine: Rotary drilling Koken KT3 Borehole orientation: vertical Single tube up to 1m, core bit up to 15m Date:					Coordinates -		Trend/Plunge -
Description of rock material	Drilling progress & water levels	Graphic log		Sampling	RQD (%)	Weathering/Rock class	Test results $\sigma_k \times 10^{-5}  _{10/0} \text{ SPT } 50$
		Rock mat.	Disc.				
Top soil, pasir lanauan, coklat-kuning, ukuran butir 0.5-20mm, seragam, lunak, plastisitas tinggi.		0	=			VI/-	
Breksi, abu-abu hitam, masif, ukuran butir 2- >256mm, pemilahan buruk, bentuk membulat tanggung, fragmen andesit, matrik bt.beku dan kuarsa, semen silika.	1/9/2003	1	<		57	III/Fair	17
Breksi, abu-abu hitam, masif, ukuran butir >256mm, pemilahan buruk, bentuk membulat tanggung, fragmen andesit, matrik bt.beku dan kuarsa, semen silika. Dijumpai muka air tanah.		2	<		70	II/Fair	35
Breksi, abu-abu hitam, masif, ukuran butir 2- >256mm, pemilahan buruk, bentuk membulat tanggung, fragmen andesit, matrik bt.beku dan kuarsa, semen silika.	2-9/9/2003	3	<		50	II/Fair	1.98
Breksi, abu-abu hitam, masif, ukuran butir 2- >256mm, pemilahan buruk, bentuk membulat tanggung, fragmen andesit, matrik bt.beku dan kuarsa, semen silika.		4	<		60	II/Fair	>50
Breksi, abu-abu hitam, masif, ukuran butir 2- >256mm, pemilahan buruk, bentuk membulat tanggung, fragmen andesit, matrik bt.beku dan kuarsa, semen silika.		5	<		53	II/Fair	3.1
Breksi, abu-abu hitam, masif, ukuran butir 2- >256mm, pemilahan buruk, bentuk membulat tanggung, fragmen andesit, matrik bt.beku dan kuarsa, semen silika.		6	<		73	II/Fair	
		7	<				
		8	<				
		9	<				
		10	<				



(Tanpa skala)

RQD = *Rock Quality Designation*  
k = koefisien permeabilitas  
▼ = Muka air tanah  
N = Jumlah pukulan per 30 cm

**KEY:**

- Top soil: [Horizontal lines pattern]
- Breksi: [Orange triangles pattern]
- Sifat fisik: [Vertical lines pattern]

Sifat fisik & mekanik [Symbol]

Driller: DSA  
Logger: DA  
Digambar: DSA  
Ref : -  
Lembar 1 dari 2

## 2). Uji Kelulusan Air

Uji kelulusan air dilaksanakan untuk mengetahui tingkat permeabilitas atau nilai lugeon dari batuan atau koefisien permeabilitas tanah pada kedalaman tertentu. Interval untuk pengujian kelulusan air ini maksimum adalah 5 meter. Sedangkan metode pelaksanaannya dengan menggunakan salah satu dari metoda berikut ini :

### a. Constant Head

Constant Head digunakan jika lubang bor atau dinding lubang bor mudah runtuh, sehingga pelaksanaan dengan menggunakan tekanan tidak mungkin dilakukan. Caranya adalah dengan memasukkan casing kedalam lubang bor sampai batas atas bagian yang akan di test. Alirkan air ke dalam casing dan perhatikan supaya *level* air dalam casing konstan. Catat banyaknya air yang dialirkan dan lamanya waktu yang diperlukan.

### b. Falling Head

Falling Head dipilih jika Constant head sulit dilaksanakan ketika air mengalir cepat menekan lubang bor. Dalam kasus ini, isi casing dengan air. Kemudian biarkan air turun 5 cm dan catat waktu yang diperlukan. Laju turunnya air setiap 5 cm dan volume yang diperlukan harus dicatat.

### c. Metode Packer Test

Metoda Packer Test umumnya digunakan untuk mengetahui permeabilitas pada batuan yang kompak. Caranya adalah sebagai berikut:

- Setelah pengeboran diselesaikan sampai batas yang akan di test, lubang bor harus dibersihkan dengan air sirkulasi dengan tekanan rendah.
- Packer ditempatkan pada batas atas dari bagian yang akan di test, dan bagian atas ini dihubungkan dengan pipa penginjeksi air yang akan mengalir dari sumber air.
- Tekanan air harus disesuaikan dengan kedalaman batuan yang akan di test. Untuk batuan yang keras dan sedikit memiliki rekahan, tekanan maksimum adalah  $0.21 \text{ kg/cm}^2$  , harus digunakan untuk setiap kemajuan pemboran tiap 1 meter , sedangkan untuk batuan keras dan banyak memiliki rekahan, maksimum tekanan yang digunakan adalah  $0.11 \text{ kg/cm}^2$ .

- Untuk setiap tahap test 5(lima) pengamatan dilakukan dengan tekanan yang berbeda yaitu 33% P max, 66% P max, 100% Pmax, 66% P max and 33% P max.
- Pengukuran dan pencatatan yang dilakukan adalah sebagai berikut: tinggi muka air tanah, Kedalaman bagian yang di test, jari-jari pipa casing, tinggi permukaan air dari dasar lubang bor dan panjang bagian yang di test.
- Pemilihan terhadap metode yang akan digunakan, sangat bergantung kepada kondisi tanah / batuan serta muka air tanahnya.

#### **d. Pengambilan Contoh**

##### **1). Contoh Tak Terganggu (Undisturbed Sample)**

Pengambilan contoh tanah tak terganggu diambil setiap interval 2,0 m memakai tabung contoh (thin wall tube sampler) dengan panjang kurang lebih 50 cm. Setelah tabung diisi tanah contoh, maka kedua ujungnya ditutup dengan parafin, kemudian diberi label yang memuat lokasi pengambilan, kode lubang bor, kedalaman.

##### **2). Contoh Terganggu (Disturbed Sample)**

Contoh terganggu diambil dari hasil SPT supaya disimpan dalam plastik, dengan diberi keterangan kedalaman SPT dan nilai SPT.

#### **e. Sumuran Uji ( Test Pit )**

##### **1). Lingkup Pekerjaan**

Pembuatan sumuran uji (Test Pit) bertujuan, untuk penyelidikan kualitas borrow area, dan lokasi lain yang dianggap perlu. Termasuk dalam pekerjaan ini adalah pengambilan sampel serta pengujian kelulusan air pada titik sumuran uji sepanjang rencana saluran utama.

##### **2). Pelaksanaan Pekerjaan**

Sumuran uji digali secara manual dengan mempergunakan tenaga manusia. Ukuran sumuran uji adalah 1.0 m x 1.0 m dengan kedalaman 3.00 m. Setelah selesai kemudian dilakukan pemotretan dari berbagai arah, lengkap dengan nomor galian, lahan serta alat pembanding bila diperlukan. Photo ini merupakan lampiran dalam penyusunan laporan.

##### **3). Pengambilan Contoh**

Pengambilan contoh sumuran uji menggunakan log sumuran uji yang telah disediakan, sedangkan pengambilan contoh meliputi:

a. Contoh Tak Terganggu

Contoh ini diambil setiap ada perubahan, baik perubahan lapisan, tekstur maupun warna, pengambilan contoh ini menggunakan tabung sampel, dan setelah sampel terambil kedua sisi tabung sampel ditutup dengan parafin untuk menjaga kondisi aslinya, dan diberi keterangan lokasi pengambilan sampel dan kedalamannya dan segera di kirim ke laboratorium.

b. Contoh Terganggu

Contoh ini bisa diambil dari dinding galian atau dasar galian,. sampel dimasukkan ke dalam karung sampel dan diberi keterangan lokasi pengambilan sampel dan kedalamannya.

**f. Pemasangan Pipa PVC untuk Pengamatan Air Tanah**

Untuk observasi air tanah perlu dilaksanakan pengkajian dengan pengadaan dan pemasangan pipa PVC diameter 4", pemasangan pipa PVC dilakukan begitu pemboran inti pada suatu titik pemboran telah selesai dilakukan tanpa terlebih dahulu mencabut casing yang ada, untuk menjaga kondisi sumur dan memudahkan pemasangan PVC.

**g. Pengujian Laboratorium**

**1. Tanah**

**Sifat Fisik** ( Specific gravity, moisture content, atterberg limits, sieve analysis, sieve analysis & hydrometer ) : Pengujian ini dilakukan untuk melihat sifat dasar tanah. Sifat dasar tanah. Sifat dasar ini diperlukan untuk mengetahui jenis tanah yang akan mendukung tubuh embung.

**Compaction Test ( Standard )** : Kepadatan maksimum tanah akan diketahui dalam pengujian ini.

**Permeability compacted soil** : Kemampuan dalam meloloskan air dari tanah yang sudah dipadatkan secara maksimum akan diketahui dalam pengujian ini. Hal ini terutama untuk mengetahui seberapa jauh daya lolos tanah terhadap air yang merembes.

**Consolidation test** : Uji penurunan tanah terhadap beban yang diberikan dilakukan untuk mengetahui laju penurunan tanah.

**Triaxial Tests** : Kuat geser tanah akan diketahui dari pengujian ini. Pengujian dengan cara ini akan **diperoleh** data mengenai kekuatan tanah terhadap tegangan vertical dan radial. Dari data pengujian ini akan dihitung daya dukung tanah.

## 2. Batuan

**Sifat fisik ( Density, water absorption ) :** Pengujian ini untuk mengetahui sifat dasar batuan, terutama untuk kekompakan dan respon terhadap air.

**Soundness :** Uji ini biasanya dilakukan untuk mengetahui kemampuan material batuan dengan cara merambatkan gelombang. Dari gelombang panjang dan gelombang pendek akan diketahui kekompakan batuan dengan melihat kecepatan rambatan gelombangnya. Pengujian ini bias digantikan oleh uji Schmidt hammer test, yaitu pengujian dengan palu khusus dimana batuan akan memberikan respon pantulan. Semakin kompak ( mampat ) batuan, pantulan akan semakin besar pantulan akan diukur dengan skala sampai dengan 100 yang kemudian akan dikonversikan untuk mengetahui UCS-nya.

**UCS ( Unconfined compressive strength ) :** Uji ini untuk mengetahui kuat tekan batuan. Data kuat tekan akan digunakan untuk menghitung daya dukung batuan.

**Los Angeles abrasion/ Slake – durability :** Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui derajat pelapukan batuan dengan cara penggerusan material batuan. Akan tetapi pengujian ini bisa diganti oleh pengujian slake – durability. Tujuan kedua pengujian ini adalah sama, yaitu menguji material batuan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh benturan dan penggerusan oleh air.

**Modulus elatisity :** Uji modulus kekakuan dilakukan untuk melihat sifat elastisitas material batuan, terutama data ini dipakai untuk analisis penurunan pada batuan.

Pengujian laboratorium dilakukan baik terhadap contoh tanah terganggu ataupun contoh tanah tak terganggu, dari hasil pemboran inti maupun sumuran uji pada borrow area. Pemeriksaan laboratorium meliputi:

### 1. Mekanika Tanah :

- Spesifikasi Grafity : 6 test
- Moisture Content : 6 test
- Atterberg : 6 test
- Sieve Analisis & Hydrometer : 6 test
- Compaction Standart : 6 test
- Triaxial CU Compact Soil : 6 test
- Triaxial UU Compac Soil : 6 test
- Permeability Compact Soil : 6 test
- Consolidasi Compact Soil : 6 test



## **2. Core Sand And Gravel**

- Specific Gravity : 6 test
- Density & Water Absorption : 6 test
- Soundness : 6 test
- Screen Gradation : 6 test
- Unconfined Compression : 6 test
- Modulus Elasticity : 6 test

## **3. Core Rock**

- Density & Water Absorption : 6 test
- Soundness : 6 test
- Unconfined Compression : 6 test
- Los Angeles Absorption : 6 test

### **5.5. SURVAI SOSIO-AGRO-EKONOMI**

Untuk memahami kondisi Sosio-Agro-Ekonomi penduduk yang ada di area Perencanaan, maka perlu dilakukan survai dan pengumpulan data dengan sosialisasi/ wawancara langsung kepada responden dengan menggunakan questioner/ daftar pertanyaan. Adapun survai Agronomi yang dilakukan dengan rincian kegiatan sebagai berikut :

#### **a. Agronomi**

Kajian potensi dan pengembangan di daerah perencanaan dilakukan dengan menganalisa data sekunder yang didapatkan melalui laporan perencanaan, data statistik, kebijaksanaan pemerintah dan literatur lain yang berkaitan dengan perencanaan. Analisa data yang digunakan untuk menggambarkan kondisi dan potensi pengembangan pertanian adalah dengan analisis diskriptif dengan kriteria pokok yang menyangkut kondisi fisik dan sosial budaya masyarakat setempat, kebijaksanaan pemerintah dalam bidang pertanian, kegiatan pembangunan terutama diarahkan untuk memenuhi kebutuhan pokok masyarakat yaitu pangan dengan memperhatikan kecukupan gizi, disamping juga sebagai usaha untuk meningkatkan pendapatan petani, penciptaan lapangan kerja, pemanfaatan secara lestari sumber daya alam yang tersedia dan sebagai sumber devisa negara. Kegiatan bidang pertanian tersebut mencakup pengembangan tanaman pangan, perkebunan, peternakan, perikanan dan kehutanan.

Kriteria penentuan kegiatan pengembangan kawasan budidaya pertanian adalah sebagai berikut :

**a) Kawasan tanaman pangan**

- Pengairan diperoleh secara alamiah dan teknis
- Ketinggian sampai 1000 m diatas permukaan laut
- Kemiringan medan/lahan < 40%
- Kedalaman efektif lapisan tanah atas > 30 cm

**b) Kawasan tanaman pangan lahan kering**

- Pengairan tidak dapat diperoleh secara alamiah
- Ketinggian sampai 1000 m diatas permukaan laut
- Kemiringan medan < 40%
- Kedalaman efektif lapisan tanah atas > 30 cm

**c) Kawasan tanaman tahunan / perkebunan**

- Ketinggian sampai 2000 m diatas permukaan laut
- Kemiringan medan < 40%
- Kedalaman efektif lapisan tanah atas > 30 cm

**d) Kawasan peternakan**

- Ketinggian < 1000 m diatas permukaan laut
- Kemiringan medan < 15%
- Jenis tanah dan iklim sesuai untuk padang rumput alamiah

**e) Kawasan perikanan**

- Kemiringan medan < 8%
- Pengairan dapat diperoleh secara alamiah dan teknis
- Persediaan air cukup

Sedangkan survai agronomi terhadap budidaya pertanian yang telah ada, secara umum dapat dianalisa dan direkomendasikan untuk pengembangannya. Beberapa hal yang perlu diamati terhadap budidaya pertanian yang telah ada meliputi :

**a) Teknologi pengolahan lahan**

- Cara pengolahan tanah
- Saat bertanam
- Cara pemberian air

- Pola tanam yang bertujuan mengurangi resiko kegagalan
- Cara pemeliharaan tanaman
- Cara pengendalian hama dan penyakit secara tradisional, secara budidaya maupun dengan cara penggunaan pestisida
- Masukan sarana budidaya (pupuk, bahan amelioran, pembenihan tanah dsb)

**b) *Budidaya agronomi***

- Jenis dan varietas tanaman yang biasa dibudidayakan masyarakat setempat
- Jenis tumbuhan baru yang mungkin dapat dipakai sebagai pengganti tanaman budidaya yang gagal
- Pengamatan pada usaha perlindungan tanaman
- Luas daerah pertumbuhan dan produksi
- Ketersediaan sarana produksi pertanian, misalnya ketersediaan bibit dan benih, pupuk kimia, pupuk organik, amelioran buatan dan alami
- Pertumbuhan dan daya hasil
- Harga sarana produksi pertanian dan hasil pertanian

## **5.6. SURVAI DAN KAJIAN PEMANTAUAN DAN PENGELOLAAN LINGKUNGAN**

### **a. Latar Belakang**

Untuk menunjang program-program pembangunan yang berwawasan lingkungan dan pembangunan yang berkelanjutan (sustainable), maka kegiatan Detail Desain Embung perlu dilengkapi dengan Dokumen UKL dan UPL. Pada dasarnya mengkaji hubungan antara komponen kegiatan dan komponen lingkungan dimana kajiannya diarahkan untuk mengukur tingkat dampak yang terbawa serta oleh kegiatan proyek dan merumuskan jalan keluarnya yang paling baik sesuai dengan kondisi lapangannya. UKL dan UPL (atau bisa juga RKL dan RPL jika ada dampak penting) yang disusun berdasarkan temuan dan rekomendasi Kajian Lingkungan akan mencakup pengelolaan dampak terhadap lingkungan biogeofisik, sosial ekonomi dan budaya yang terkait dengan kegiatan proyek.

### **b. Peranan Informasi Lingkungan dalam perencanaan pembangunan**

Adanya pembangunan ialah karena adanya kebutuhan untuk menaikkan kesejahteraan rakyat. Pembangunan itu dijabarkan ke dalam program dalam berbagai bidang yang selanjutnya dirinci kedalam berbagai proyek.

**c. Peraturan-Perundang-undangan yang mendasari**

Peraturan – peraturan dasar yang mendasari proses kegiatan Detail Desain Embung adalah :

**a) Undang-Undang**

- Undang-Undang RI Nomor 11 Tahun 1974, tentang Pengairan
- Undang-Undang RI Nomor 5 Tahun 1990, tentang Konservasi Sumberdaya Alam Hayati dan Ekosistemnya
- Undang-Undang RI Nomor 4 Tahun 1992, tentang Perumahan dan Permukiman
- Undang-Undang RI Nomor 24 Tahun 1992, tentang Penataan Ruang
- Undang-Undang RI Nomor 23 Tahun 1997, tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup
- Undang-Undang RI Nomor 22 Tahun 1999, tentang Pemerintahan Daerah

**b) Peraturan Pemerintah**

- Peraturan Pemerintah RI Nomor 20 Tahun 1990 tentang Pengendalian Pencemaran Air
- Peraturan Pemerintah RI Nomor 35 Tahun 1991 tentang Sungai
- Peraturan Pemerintah RI Nomor 27 Tahun 1999 tentang Analisis Mengenai dampak Lingkungan

**c) Keputusan/ Peraturan Menteri**

- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No Kep. 16/MENLH/3/Tahun 1994 tentang Pedoman Umum Penyusunan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan
- Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No 58/KPTS/1995 tentang Petunjuk Tata Laksana AMDAL Departemen Pekerjaan Umum
- Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No 69/KPTS/1995 tentang Pedoman Teknis AMDAL Proyek Bidang Pekerjaan Umum
- Keputusan Menteri Pekerjaan Umum No 148/KPTS/1995 tentang Petunjuk Teknis Penyusunan Rencana Pengelolaan Lingkungan dan Rencana Pemantauan Proyek Bidang Pekerjaan Umum
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No Kep-39/MENLH/8/1996 tentang Jenis Usaha atau Kegiatan yang Wajib Dilengkapi dengan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan

- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No Kep-48/MENLH/11/1996 tentang Baku Mutu Tingkat Kebisingan
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No Kep-49/MENLH/11/1996 tentang Baku Mutu Tingkat Getaran
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No Kep-50/MENLH/11/1996 tentang Baku Mutu Tingkat Kebauan
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No Kep-299/MENLH/11/1996 tentang Pedoman Teknis Kajian Aspek Sosial dalam Penyusunan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan
- Keputusan Bapedal No Kep-056 tahun 1994 tentang Pedoman Mengenai Ukuran dampak Penting
- Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 528/MENKES/Per/XII/1982 tentang Kualitas Air Tanah yang berhubungan dengan Kesehatan

**Tujuan pekerjaan UKL dan UPL antara lain adalah sebagai berikut :**

- Mengidentifikasi kegiatan proyek, khususnya kegiatan yang menyebabkan dampak negatif bagi lingkungan,
- Mengidentifikasi kondisi lingkungan yang ada sebelum konstruksi,
- Memprediksi dampak lingkungan,

**Aspek Dampak Lingkungan**

Aspek lingkungan yang dipertimbangkan untuk dikaji, antara lain:

- a). Komponen (aspek) Fisik dan Kimia
  - tataguna lahan,
  - sistem drainasi,
  - limpasan permukaan (kualitas dan kuantitas),
  - sumur dangkal (kualitas dan kuantitas),
  - kualitas air (jika perlu)
  - kualitas udara (jika perlu),
  - kebisingan (jika perlu).
- b). Komponen (aspek) Biologi
  - flora (dominasi dan keragaman),
  - fauna (dominasi dan keragaman).

- c). Komponen (aspek) Sosial-Ekonomi
  - sumber pendapatan,
  - kesempatan kerja
  - pendidikan.
- d). Komponen (aspek) Sosial-Budaya
  - sosial-lingkungan dan konfliknya (jika ada),
  - fasilitas umum
  - kepadatan penduduk
  - tradisi.

### Prediksi Dampak Lingkungan

Prediksi aspek lingkungan dilaksanakan dengan identifikasi dampak penting yang mungkin muncul, seperti menggunakan tabel matriks yang mampu menunjukkan hubungan diantara proyek dan seluruh aspek lingkungan. Proses probabilitas yang mungkin dipakai untuk identifikasi dampak disajikan dalam lembar matriks. Matriks tersebut dibuat dalam rangka kemampuannya untuk menunjukkan secara jelas dampak secara langsung dan tidak langsung, serta keterkaitan satu dengan yang lain. Matriks identifikasi dampak Sebelum-Konstruksi, Selama-Konstruksi dan Setelah-Konstruksi.

Tabel 5.1. Matriks interaksi untuk identifikasi dampak Sebelum-Konstruksi, Selama-Konstruksi dan Setelah-Konstruksi

Kegiatan Proyek	Pra Konstruksi		Konstruksi			Pasca Konstruksi		
	Land Acquisition	Survey and Investigation	Mob. Of Equipment	Mob. Of Man	Earth Work	Transport of M	O and M	Regulation and Legislation
<b>Komponen Lingkungan</b>								
<b>Kualitas Air</b>								
Sungai, limpasan air								
Sumur, air tanah								
Sedimen								
Tataguna lahan								
<b>Biotik</b>								
Flora								
Dataran tinggi								
Sawah								
<b>Lingkungan Fauna</b>								
Diversifikasi								
Spesies langka								
<b>Sosial Ekonomi</b>								
Pendidikan								
Pendapatan								
Kesempatan Kerja								
<b>Sosial Budaya</b>								
Kepadatan								
Tradisi								
Fasilitas umum								

## **Evaluasi Aspek Lingkungan**

Untuk melaksanakan analisa dan evaluasi dampak komponen lingkungan, dapat digunakan pendekatan berikut. Aktivitas proyek diasumsikan menyebabkan dampak bagi komponen lingkungan tertentu, dan komponen lingkungan dapat berubah kualitasnya.

Analisa dan evaluasi dampak lingkungan dilakukan menurut langkah-langkah berikut :

- a). mengukur dan menganalisa kualitas lingkungan saat ini (jika perlu),
- b). pengukuran kualitas lingkungan saat ini dilakukan dengan menerapkan standar formal kualitas menurut peraturan Indonesia (jika perlu),
- c). Mempelajari dampak terpenting yang disebabkan proses alam,
- d). Mempelajari potensi dampak yang mungkin terjadi pada masa mendatang (setelah proyek selesai).

Berdasarkan Peraturan Republik Indonesia (Peraturan Pemerintah No.51 Tahun 1993, tentang AMDAL) mengenai Analisa Dampak Lingkungan, dikeluarkan oleh Menteri Negara Lingkungan Hidup tahun 1993, identifikasi dampak harus difokuskan pada ketentuan berikut, antara lain :

- a). jumlah orang yang akan terkena dampak,
- b). daerah setempat penyebaran dampak,
- c). durasi terjadinya dampak,
- d). intensitas dampak,
- e). jumlah komponen lain yang terkena dampak,
- f). kumulatif properti dampak,
- g). reversibilitas dampak.

## **Komponen Lingkungan dan Kegiatan Proyek**

Kegiatan proyek yang diperkirakan menimbulkan dampak adalah:

### ***a. Fase Pra-Konstruksi***

Pada fase ini, kegiatan utama yang dapat menyebabkan dampak adalah :

1. Survei dan penyelidikan
2. Pembebasan lahan yang terdiri atas penawaran dan kompensasi yang harus dibayarkan.

### ***b. Fase Konstruksi***

Pada fase ini, kegiatan yang dapat menyebabkan dampak penting adalah :

1. Pembangunan sebuah dam yang menghasilkan debu, gangguan kebisingan dan meningkatnya kekeruhan sungai,
2. Mobilisasi material dan peralatan yang menghasilkan debu dan gangguan kebisingan di lokasi proyek,
3. Mobilisasi tenaga kerja yang menghasilkan kesempatan kerja, sebagai efek bersatunya dengan lingkungan dan masalah kecemburuan,
4. Penggalian di lokasi dam yang menghasilkan debu, gangguan kebisingan, longsor batu dan tanah,
5. Semua kegiatan tersebut juga dapat mengancam keamanan dan keselamatan seluruh pekerja.

### ***c. Fase Pasca-Konstruksi***

Pada fase ini, dampak-dampak yang potensial terjadi adalah :

Dengan adanya suatu dam yang menyimpan volume sedimentasi dalam jumlah yang besar, dampak yang mungkin terjadi adalah masalah keamanan dan keselamatan semua penduduk dan material di daerah hilir.

### ***Fase Pra-Konstruksi***

#### ***Survai dan Penyelidikan***

Pada fase Pra-Konstruksi, diprediksikan hanya akan ada dampak minor, sebab pada periode ini kegiatan proyek terfokus pada masalah survai dan penyelidikan. Penyelidikan fisik yang menghasilkan dampak minor , antara lain seperti sampel air dan kegiatan lain yang terkait. Bagaimanapun akan terjadi hubungan, antara pegawai proyek dengan penduduk setempat di daerah lokasi proyek. Jika tidak diarahkan dengan baik, hubungan tersebut dapat menjadi suatu kecemburuan sosial.

#### ***Pembebasan Lahan***

Pembebasan lahan harus dilaksanakan oleh proyek secara hati-hati. Prosedur pelaksanaan harus disiapkan oleh proyek untuk mengantisipasi masalah yang akan timbul.



## ***Fase Konstruksi***

### ***Prosedur Pelaksanaan Pekerjaan***

Secara umum, prosedur pelaksanaan pekerjaan adalah sebagai berikut :

- 1). Perjanjian kerjasama
- 2). Lokasi lapangan
- 3). Mobilisasi peralatan dan tenaga kerja
- 4). Pembangunan jalan akses
- 5). Pembersihan lahan *quarry*
- 6). Survai
- 7). Pelaksanaan pekerjaan
- 8). Penyelesaian dan pengembalian
- 9). Pemeliharaan

### ***Fase Pasca-Konstruksi***

Pada fase ini, kegiatan utama adalah manajemen dan pemantauan lingkungan seperti :

- 1). Umur konstruksi
- 2). Inventarisasi konstruksi
- 3). Operasi dan estetika
- 4). Membuat peraturan dengan institusi terkait

### ***Aspek Fisik dan Kimia***

Beberapa deskripsi pelaksanaan pekerjaan yang telah dilaksanakan didasarkan pada pengumpulan data sekunder (studi terdahulu) dan data primer termasuk survai lapangan, analisis laboratorium dan kuesioner disajikan sebagai berikut.

#### **(1) Kualitas Air**

Untuk menyelidiki kualitas air dari beberapa sungai pada lokasi rencana bangunan sabo, beberapa sampel air diambil dan dianalisis di laboratorium untuk mengetahui kesesuaian untuk tujuan air irigasi. Untuk mengidentifikasi tingkat polusi dari beberapa air sungai dimaksud untuk tujuan perikanan, digunakan indeks diversitas sebagai tolok ukur, antara lain jumlah dan jenis spesies plankton. Indeks diversitas ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Lee, dkk., 1978).

$$ID = -\sum_{i=1}^n \frac{n_i}{N} \log_2 \left( \frac{n_i}{N} \right) \quad (5.10)$$

dengan,

- ID : indeks diversitas  
n : jumlah spesies  
n<sub>i</sub> : jumlah individu tiap spesies  
N : jumlah total seluruh individu

Dengan membandingkan nilai ID hasil analisis plankton dengan klasifikasi air tercemar menurut Lee, dkk., 1978 (Tabel 5.2) dapat diketahui tingkat pencemaran yang terjadi.

Tabel 5.2 Klasifikasi Air Tercemar (Lee, dkk., 1978)

No.	Nilai ID	Keterangan
1.	= 2.00	Belum tercemar
2.	1.60 – 2.00	Tercemar ringan
3.	1.00 – 1.59	Tercemar sedang
4.	< 1.00	Sangat berat

## (2) Kualitas Udara

Pengujian kualitas udara dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar dampak yang mungkin timbul akibat adanya suatu proyek terhadap lingkungan, terutama debu, kandungan kimia dan kebisingan akibat mobilisasi kendaraan proyek terhadap aktifitas lingkungan sekitar proyek.

## (3) Lingkungan

Meliputi tataguna lahan dan sistem drainasi

Tata Guna Lahan

Tataguna lahan adalah bentuk yang dihasilkan oleh aktivitas manusia terhadap sumber daya alam untuk memenuhi keperluan hidupnya. Diantara dua unsur tersebut, yakni manusia dan sumber daya alam terdapat suatu interaksi yang saling mempengaruhi, sehingga sesuai dengan keperluan dan keadaannya dapat mengakibatkan perubahan terhadap bentuk tataguna lahan.

Pengertian yang lain tentang tataguna lahan adalah semua campur tangan manusia terhadap sekelompok sumber daya alam dan sumber daya binaan, secara keseluruhan disebut lahan, baik secara tetap atau secara siklus dengan tujuan untuk memenuhi keperluannya baik kebendaan, spiritual atau kedua-duanya. Untuk itu dapat disimpulkan bahwa tataguna lahan adalah bentuk tataguna yang terbaik dalam mengusahakan lahan untuk memenuhi keperluannya, yang sudah barang tentu juga disesuaikan dengan kondisi yang berpengaruh seperti lereng, ketinggian tempat, dan tata air.

### ***Aspek Biologi***

#### **(1) Flora**

Kondisi flora di daerah rencana lokasi pekerjaan antara lain sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah.

#### **(2) Fauna**

Keragaman fauna di daerah rencana pekerjaan sebagian besar berupa hewan piaraan oleh penduduk setempat, disamping hewan liar.

### ***Aspek Sosial-Ekonomi***

Kondisi sosial-ekonomi di daerah rencana pekerjaan diketahui dari survai lapangan dan kuesioner (jika perlu) serta data sekunder (Statistik Dalam Angka), antara lain berkaitan dengan pendidikan, pendapatan, populasi; kepadatan dan pertumbuhan penduduk dan mata pencaharian penduduk.

### ***Aspek Sosial-Budaya***

Kondisi lingkungan eksisting berkaitan dengan aspek sosial-budaya, antara lain, kegiatan tradisional, fasilitas umum dan peninggalan sejarah.

### ***Identifikasi dan Prediksi Dampak***

Identifikasi dan prediksi dilakukan terhadap kondisi fisiografi yang dapat berubah sedikit demi sedikit bertepatan dengan perubahan dalam kandungan kelembaban tanah sebagai hasil pemanfaatan air untuk tujuan irigasi pada fase (tahap) pasca konstruksi embung.

### ***Evaluasi dan Mitigasi Dampak***

Dampak eksisting perlu dievaluasi sejauh mana memberikan dampak negatif. Teknik evaluasi dampak dilakukan dengan pemakaian matriks yang disebut Upaya Pengelolaan Lingkungan (UKL) dan Upaya Pemantauan Lingkungan (UPL).

## **5.7. SURVAI HIDROMETRI**

### **a. Umum**

Survai Hidrometri akan dilakukan pada Sungai di lokasi rencana Embung. Kegiatan survai hidrometri terdiri atas :

- Pengamatan tinggi muka air
- Pengukuran debit sungai
- Pengukuran sedimen sungai
- Analisis kualitas air

### **b. Metode Pelaksanaan Pekerjaan**

#### **a) Pengamatan Tinggi muka air**

Pengamatan tinggi muka air akan dilaksanakan setiap hari pada pagi hari, siang hari dan sore hari, yang akan dilaksanakan secara visual dan selanjutnya akan dicatat dalam form yang telah ditentukan. Dalam form tersebut selain mencantumkan tinggi muka air akan dicantumkan juga waktu pengamatan, dan cuaca saat pengamatan.

#### **b) Pengukuran debit sungai**

Pengukuran debit sungai akan dilakukan pada kondisi tinggi muka air yang berbeda-beda, sehingga didapat debit sungai pada saat aliran rendah, menengah dan tinggi. Pengukuran kecepatan aliran sungai menggunakan alat pengukur kecepatan aliran (Current meter). Lokasi pengukuran berada pada posisi tampang sungai dimana staff gauge dipasang. Metode pengukuran akan menggunakan metode pias, jadi penampang sungai akan dibagi menjadi beberapa pias. Pada setiap pias akan diadakan pengukuran kecepatan pada 3 (tiga) titik, yaitu 0,2 h ; 0,6 h dan 0,8 h sehingga didapat kecepatan rata-rata pada setiap pias.

Pada setiap pias debit sungai dihitung sebagai berikut :

$$Q_i = A_i \times V_{ri} \quad (5.11)$$

dengan :

$Q_i$  = debit pada setiap pias m<sup>3</sup>/dt

$A_i$  = luas pias ke I, m<sup>2</sup>

$V_{ri}$  = kecepatan rata-rata pada pias I, m/dt

Debit sungai dihitung dengan rumus berikut :

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (5.12)$$

### c) Pengukuran Sedimen

Contoh sedimen dasar sungai diambil untuk mengetahui volume transportasi sedimen yang mengalir di sungai. Sample sedimen diambil dengan peralatan gravel sampler untuk bedload dan grab sampler tipe USDH-50 untuk suspended load. Lokasi pengambilan sedimen akan diadakan pada lokasi pengukuran debit sungai, sehingga akan didapat korelasi antara sediment transport dengan debit aliran sungai.

### d) Analisis kualitas Air

Kualitas air sungai akan dianalisis sehubungan dengan kelayakannya untuk air minum, tetapi pengujian ini dilakukan apabila fungsi Embung juga direncanakan untuk penyediaan air minum. Uji kualitas air terdiri atas uji kimia dan uji fisik ini dilakukan di laboratorium. Sehingga dengan pengujian tersebut dapat diketahui kandungan air embung dan dapat direncanakan atau direkomendasikan sistem pengolahan air yang tepat.

## 5.8. ANALISIS HIDROLOGI

### 5.8.1. Analisis Aliran Puncak (Peak Flow) pada Berbagai Kala Ulang

Terdapat beberapa teori yang dapat digunakan untuk menentukan aliran puncak (dengan metode Hidrograf Satuan Sintetik), antara lain: HSS GAMA I, HSS Nakayasu, HSS Snyder dan lain sebagainya. Dalam pemakaian metode ini, yang perlu diperhatikan adalah indeks infiltrasi ( $\phi$  indeks) dan aliran dasar (*baseflow*).

**a). Indeks infiltrasi**

Indeks infiltrasi dipergunakan dengan asumsi bahwa tidak semua curah hujan yang terjadi melimpas menjadi aliran permukaan, tetapi sebagian mengalami proses infiltrasi atau penyerapan kedalam tanah yang dianggap sebagai kehilangan air. Beberapa metode untuk mengetahui besarnya  $\phi$  indeks diantaranya adalah sebagai berikut:

- Metode sintetis:

$$\phi \text{ indeks} = 10,4903 - 3,859 \times 10^{-6} \times A^2 + 1,6985 \times 10^{-13} \times (A/SN)^4 \quad (5.13)$$

dengan;

- $\phi$  indeks : indeks infiltrasi (mm)
- A : luas DAS (km<sup>2</sup>)
- SN : perbandingan antara jumlah sungai-sungai tingkat satu dengan jumlah sungai-sungai semua tingkat

- Metode hipotetis:

Langkah-langkah penyelesaiannya:

1. Catatan tinggi hujan yang menyebabkan banjir
2. Catatan tinggi muka air sungai dari AWLR diubah menjadi debit terukur =  $Q_T$  (m<sup>3</sup>/dt)
3. Pemisahan aliran langsung (*runoff*) akibat hujan dengan cara debit terukur dikurangi aliran dasar (*baseflow*)

$$Q_{Ri} = Q_{Ti} - Bf_i \quad (5.14)$$

dengan:

- $Q_{Ri}$  = debit aliran langsung (m<sup>3</sup>/dt)
- $Q_{Ti}$  = debit terukur (m<sup>3</sup>/dt)
- $Bf$  = aliran dasar sungai (m<sup>3</sup>/dt)

4. Menghitung total aliran langsung

$$\sum Q = \sum_{i=1}^n Q_{Ri} \quad (5.15)$$

dengan:

- $\Sigma Q$  = total debit aliran langsung ( $m^3/dt$ )
- $Q_{Ri}$  = debit aliran langsung tercatat setiap jam ( $m^3/dt$ )
- $n$  = jumlah jam dimana debit tercatat

5. Menghitung volume air akibat aliran langsung dengan persamaan:

$$V = \sum Qx(3600) \quad (5.16)$$

dengan:

- $V$  = volume air akibat aliran langsung ( $m^3$ )
- $\Sigma Q$  = total debit aliran langsung ( $m^3/dt$ )
- 3600 = jumlah detik dalam 1 jam

6. Menghitung tinggi limpasan yang terjadi

$$RO = \frac{V}{A} \quad (5.17)$$

dengan:

- $RO$  = tinggi limpasan aliran langsung (mm)
- $V$  = volume air akibat aliran langsung ( $mm^3$ )
- $A$  = luas DAS ( $mm^3$ )

7. Mendapatkan  $\phi$  indeks dengan mencoba-coba melalui persamaan

$$\phi_{index} = \frac{P_T - RO}{N} \quad (5.18)$$

dengan:

- $\phi$  indeks = indeks infiltrasi (mm)
- $P_T$  = total hujan yang diperkirakan menyebabkan aliran langsung (mm)
- $RO$  = tinggi limpasan aliran langsung (mm)
- $N$  = jumlah interval waktu hujan

Catatan: umumnya lebih mudah jika diasumsi awal semua hujan menyebabkan aliran langsung atau dengan kata lain  $\phi$  indeks lebih kecil dari hujan terrendah. Contoh perhitungan menggunakan metode hipotetis disajikan sebagai berikut:

Misalkan terjadi hujan selama 3 jam dengan masing-masing tinggi hujan 20 mm, 16 mm dan 5 mm. Luas DAS 20 km<sup>2</sup> (= 20.000.000 mm<sup>2</sup>) dan tercatat debit sebagai berikut:

Tabel 5.3 Contoh Debit Terukur

T	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Q (m <sup>3</sup> /dt)	3,5	6,5	15,5	27,7	23,9	20,4	15,4	11,9	9,2	7,1	5,1	4,2	3,5

- Pemisahan RO dari debit terukur dan perhitungan total aliran langsung:

Tabel 5.4. Contoh Perhitungan Pemisahan Aliran Langsung

T	Q (m <sup>3</sup> /dt)	Bf (m <sup>3</sup> /dt)	RO (m <sup>3</sup> /dt)
0	3,50	3,50	0,00
1	6,50	3,50	3,00
2	15,50	3,50	12,00
3	27,70	3,50	24,20
4	23,90	3,50	20,40
5	20,40	3,50	16,90
6	15,40	3,50	11,90
7	11,90	3,50	8,40
8	9,20	3,50	5,70
9	7,10	3,50	3,60
10	5,10	3,50	1,60
11	4,20	3,50	0,70
12	3,50	3,50	0,00
Total			106,4

- Perhitungan volume air akibat aliran langsung

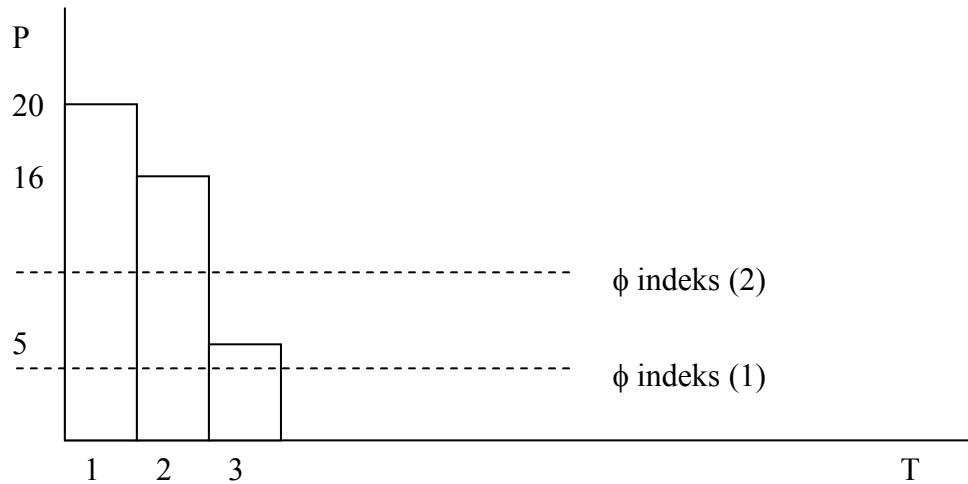
$$\begin{aligned}
 V &= 106,4 \text{ m}^3/\text{dt} \times 3600 \text{ detik} = 383.040 \text{ m}^3 \\
 &= 383.040.000 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$



- Perhitungan tinggi limpasan

$$RO = 383.040.000 \text{ mm}^3 / 20.000.000 \text{ mm}^2 = 19,152 \text{ mm}$$

- Mencoba-coba  $\phi$  indeks



- Anggapan awal  $\phi$  indeks (1) lebih kecil dari 5 mm :  
 Total hujan = 20 + 16 + 5 = 41 mm  
 Jumlah interval hujan = 3  
 $\phi$  indeks =  $(41 - 19,152) / 3 = 7,283 \text{ mm} > 5 \text{ mm}$ .....berarti anggapan awal **salah!**
- Anggapan awal  $\phi$  indeks (2) antara 5 mm dan 16 mm:  
 Total hujan = 20 + 16 = 36 mm  
 Jumlah interval hujan = 2  
 $\phi$  indeks =  $(36 - 19,152) / 2 = 8,424 \text{ mm}$  berada antara 5mm dan 16 mm.....  
**benar!**
- Jadi,  $\phi$  indeks = 8,424 mm.

Untuk memperkirakan aliran dasar, yaitu aliran yang melimpas pada permukaan sungai dimana lapisan dasar sungai sudah mencapai keadaan jenuh, dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$Q_B = 0,4751 \times A^{0,6444} \times D^{0,9430} \quad (5.19)$$

dengan;

- $Q_B$  : aliran dasar (m<sup>3</sup>/det)  
 $A$  : luas DAS (km<sup>2</sup>)  
 $D$  : kerapatan jaringan kuras, yaitu jumlah panjang sungai semua tingkat tiap luasan DAS.

### b). Hidrograf Satuan Sintetik GAMA I

Hidrograf satuan GAMA I dibentuk berdasarkan persamaan yang disajikan berikut ini.

1. Waktu Naik, TP

$$TR = 0,43 \times (L/100/SF)^3 + 1,0665 \times SIM + 1,2775 \quad (5.20)$$

2. Debit Puncak, QP

$$QP = 0,1836 \times A^{0,5886} \times JN^{0,2381} / TR^{0,4008} \quad (5.21)$$

3. Waktu Dasar, TB

$$TB = 27,4132 \times TR^{0,4157} \times SN^{0,7344} \times RUA^{0,2574} / S^{0,0986} \quad (5.22)$$

4. Koefisien Tampung, K

$$K = 0,5617 \times A^{0,1798} \times D^{0,0452} / S^{0,1446} / SF^{1,0897} \quad (5.23)$$

dengan;

- $TR$  : waktu naik hidrograf (jam)  
 $L$  : panjang sungai utama (km)  
 $SF$  : faktor sumber  
 $SIM$  : faktor simetri  
 $QP$  : debit puncak hidrograf (m<sup>3</sup>/jam)  
 $A$  : luas DAS (km<sup>2</sup>)

JN	:	jumlah pertemuan sungai semua pangsa
TB	:	waktu dasar hidrograf (jam)
SN	:	frekuensi sumber
RUA	:	faktor luas DAS hulu
S	:	landai sungai rerata
K	:	koefisien tampung (jam)
D	:	kerapatan jaringan kuras.

Sisi naik dari hidrograf satuan mengikuti persamaan garis lurus, sedangkan sisi resesi merupakan eksponensial dengan persamaan sebagai berikut.

$$Q_t = Q_p \cdot e^{\left(\frac{-t}{K}\right)} \quad (5.24)$$

### c). Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Perhitungan debit banjir rancangan menggunakan metode HSS Nakayasu telah dijelaskan dalam Bab III

## 5.8.2. Penelusuran Hidraulika Pelimpah

### a). Persamaan Dasar

Penelusuran (routing) hidraulika pelimpah untuk aliran puncak dihitung dengan menggunakan persamaan dasar peluapan melalui pelimpah (Persamaan Harold) untuk pelimpah embung tipe “Ogee” (USB, Design of Small Dams, 1987), yang ditulis dalam persamaan berikut.

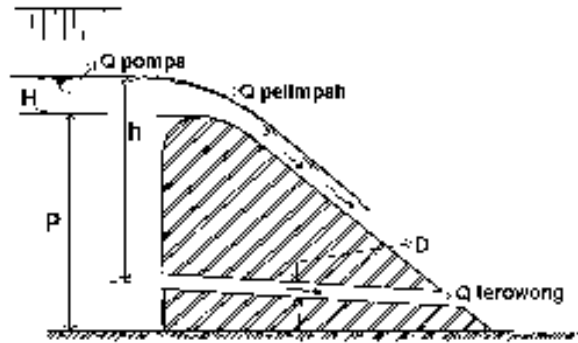
$$Q = C \cdot B \cdot H^{\frac{3}{2}} \quad (5.25)$$

dengan,

Q	:	debit melalui mercu pelimpah (m <sup>3</sup> /detik),
C	:	koefisien peluapan,
B	:	lebar mercu pelimpah (m),
H	:	tinggi peluapan di sebelah hulu pelimpah (m)

Nilai koefisien peluapan C tergantung pada tinggi mercu pelimpah serta tinggi peluapan H, dimana pada sistem “meter-kilogram-second” (mks), nilai C berkisar antara 2,00 - 2,10. Selain melalui pelimpah, juga dimungkinkan/ditawarkan melalui “*bottom outlet*” berupa

terowong/pipa dengan sembarang diameter, serta pengambilan bebas melalui sistim pipa dengan debit tertentu Pada Gambar 5.9 disajikan sketsa tampang pelimpah yang memberikan gambaran mengenai proses aliran keluar sebagai dasar model penelusuran hidraulik.



Gambar 5.9 Sketsa Aliran Keluar dari Bendung

Keterangan gambar :

- P : tinggi peluap,  
h : tinggi air dihitung dari pusat terowong,  
H : tinggi peluapan (m) elevasi muka air di dekat sebelah hulu pelimpah.

Persamaan umum aliran keluar melalui terowong ditulis seperti berikut :

$$Q_{\text{terowong}} = A \times V \quad (5.26)$$

dengan,

$Q_{\text{terowong}}$  : debit melalui terowong ( $\text{m}^3/\text{det}$ )

A : luas tampang terowong ( $\text{m}^2$ )  $= \frac{\pi}{4} D^2$

D : diameter terowong (m)

V : kecepatan aliran dalam terowong

$$= \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (\text{untuk aliran permukaan bebas}) \quad (5.27)$$

$$= \sqrt{\frac{2gh}{(1+k)}} \quad (\text{untuk aliran tertekan}) \quad (5.28)$$

n : koefisien Manning ( $\text{m}^{-1/2}/\text{det}$ )

- R : radius hidraulik (m)  
 I : kemiringan memanjang terowong pipa  
 g : gravitasi (m/det<sup>2</sup>)  
 k : koefisien kehilangan melalui terowong diperkirakan = 4,60

Penelusuran embung memerlukan beberapa data masukan, antara lain :

- karakteristika embung,
- hidrograf aliran masuk berupa aliran kontinyu pada tingkat keandalan,
- elevasi muka air awal penelusuran,
- geometri bangunan pelimpah (lebar bangunan pelimpah, elevasi mercu pelimpah) dan terowong.

#### b) Hidraulika Aliran Keluar

Aliran keluar melalui terowong dapat bersifat sebagai aliran permukaan bebas (*“free surface flow”*) maupun aliran tertekan (*“presurized flow”*) tergantung pada posisi elevasi muka air di sebelah hulu dan hilir embung. Penelusuran aliran masuk dan aliran keluar pada Embung dilakukan dengan dasar persamaan penelusuran volume menurut Muskingum, yang ditulis ke dalam persamaan berikut :

$$\left(\frac{I_1 + I_2}{2}\right)\Delta t - \left(\frac{O_1 + O_2}{2}\right)\Delta t = S_2 - S_1 \quad (5.29)$$

dengan,

- I : aliran masuk atau inflow (m<sup>3</sup>),  
 O : aliran keluar atau outflow (m<sup>3</sup>),  
 Δt : deskrit waktu (jam),  
 S : volume tampungan (m<sup>3</sup>).

Subskrip 1 dan 2 berturut-turut menunjukkan awal periode penelusuran t. Aliran keluar terdiri dari aliran melalui terowong, pelimpah, serta pengambilan bebas. Penyelesaian persamaan diatas harus memperhitungkan karakteristik embung berupa hubungan antara elevasi muka air - luas permukaan embung – volume tampungan embung. Elevasi mercu embung ditentukan sedemikian rupa, sehingga akan menjamin keamanan timbunan dari terjadinya limpasan air. Dalam pelaksanaannya akan ditetapkan lebih tinggi dari hasil perhitungan. Keamanan dam utama direncanakan berdasarkan debit banjir Q<sub>100</sub> dan diperiksa dengan debit banjir Q<sub>1000</sub>.

### 5.8.3. Penelusuran Hidraulika Pengelak

#### a. Umum

Pekerjaan bangunan pengelak terdiri atas 2 bagian yaitu bendung pengelak di bagian hulu dan bagian hilir embung, serta terowongan pengelak dengan inlet dan outlet di bagian hulu dan hilir bendung pengelak. Parameter yang digunakan dalam penentuan desain untuk masing-masing bangunan adalah :

- terowongan pengelak, kondisi geologis dan kemampuan kontraktor
- bendung pengelak, kondisi geologis, lokasi dan volume timbunan
- pertimbangan banjir maksimum selama masa konstruksi
- biaya dan waktu pelaksanaan

Dengan parameter di atas maka ditetapkan kriteria bangunan pengelak sebagai berikut ini:

- ukuran diameter galian (*B line*) terowongan 1,5 m dengan diameter bagian dalam 1,4 m.
- banjir maksimum menggunakan kala ulang lima tahunan ( $Q_5$ )
- tinggi limpasan di atas bendung pengelak diijinkan terjadi jika debit banjir  $> Q_{10}$ .
- Pengalihan banjir selama masa konstruksi perlu memperhatikan kemungkinan terjadinya gerusan dan erosi di dasar sungai bagian hilir.

#### b. Penelusuran Aliran Puncak Bendung Pengelak

Dengan kriteria dasar diatas, untuk merencanakan bendung pengelak didasarkan pada debit dengan kala ulang 5 tahun ( $Q_5$ ) terlampaui dan sebagai kontrol tinggi embung pengelak adalah dengan debit  $Q_{10}$ .

Bendung pengelak dibangun dengan tujuan antara lain :

- a. melindungi area pekerjaan embung utama dan fasilitas penunjangnya agar tetap dalam kondisi kering,
- b. mampu dilimpasi tanpa mengalami kerusakan total,
- c. selama operasional (hanya “cofferdam” hulu) dapat membatasi debit air yang dipompa keluar jika diinginkan ketinggian tertentu antara tinggi *intake* dan *river bed*.

Desain bendung pengelak dapat menggunakan bentuk konvensional (struktur batu) dengan inti lempung kedap air dengan jenis material yang sama digunakan pada embung utama.

Pembangunan “*cofferdam*” dapat dimulai sesudah ekskavasi dan “*grouting*” di terowongan selesai sehingga air dapat dialirkan kedalam terowongan.

**c. Terowong Pengelak (Diversion Tunnel)**

Diameter galian rencana terowongan sekurang-kurangnya adalah sebesar 1,5 m. Konstruksi terowongan adalah bulat dan harus dapat berfungsi sebagai aliran muka air bebas ataupun tertekan. Pelaksanaan konstruksi memerlukan peledakan ringan dan perlu perhatian terhadap patahan-patahan ataupun sesar yang dijumpai. Dalam hal ini penggunaan sabuk pelat baja (*steel support*) mungkin diperlukan pada tempat-tempat tertentu. Terowongan ini setelah masa konstruksi akan digunakan sebagai bangunan pengambilan untuk penggelontoran yang diatur oleh pintu dan *stoplog* melalui *tower intake*. Untuk memudahkan pelaksanaan penggalian maka disusun klasifikasi batuan dan tipe perkuatan (*support system*) berdasarkan referensi “*Geomechanic Rock Mass Classification*”(RMR System) 1989, disajikan pada Tabel 5.5 berikut ini.

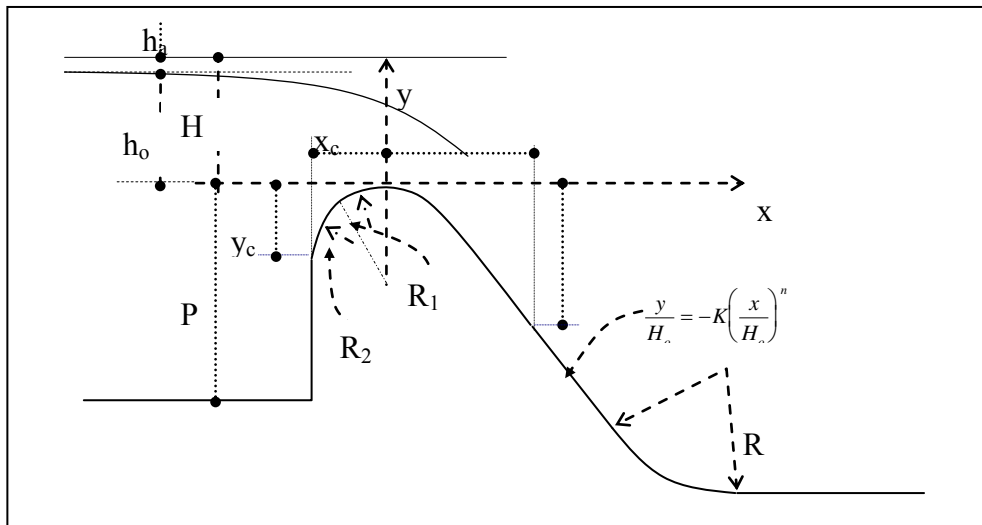
Tabel 5.5 Klasifikasi batuan dan tipe perkuatan (“support system”)

Kelas Batuan	Rock Quality Designation (RQD)	Rock Mass Rating (RMR)	Support Type	Jenis Support
I	> 75 %	>80	I	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ tanpa support,</li> <li>▪ Jika perlu ditambah :               <ol style="list-style-type: none"> <li>a. spot rock bolt</li> <li>b. consolidation grouting, tergantung kondisi batuan</li> </ol> </li> </ul>
II	50-75 %	40-80	II	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ shotcrete</li> <li>▪ jika perlu ditambah :               <ol style="list-style-type: none"> <li>a.spot rock bolt</li> <li>b. consolidation grouting</li> <li>c.steellagging, tergantung kondisi batuan</li> </ol> </li> </ul>
III	< 50 %	<40	III	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ shotcrete</li> <li>▪ steel rib</li> <li>▪ jika perlu ditambah :               <ol style="list-style-type: none"> <li>a.invert strut</li> <li>b. steellangging</li> <li>c.spot rock bolt</li> <li>d. forepoling</li> <li>e.consolidation, tergantung kondisi batuan</li> </ol> </li> </ul>

#### 5.8.4. Analisis Mercu Pelimpah dan Peredam Energi

##### a. Mercu Pelimpah

Bangunan pelimpah yang digunakan pada embung umumnya adalah tipe pelimpah bebas (“*overflow/ogee*”). Mercu pelimpah merupakan salah satu bagian yang penting dan perlu direncanakan secara baik. Persamaan dasar untuk merencanakan lengkung mercu pelimpah. Skema lengkung mercu pelimpah ditunjukkan pada Gambar berikut ini.



Gambar 5.10 Sketsa Mercu Pelimpah

Lengkung pada bagian hilir diberikan oleh persamaan berikut.

$$\frac{y}{H_o} = -K\left(\frac{x}{H_o}\right)^n \quad (5.30)$$

Debit yang melewati pelimpah per satuan lebar pelimpah ( $q$ ) adalah sebagai berikut ini.

$$q = C.H_o^{3/2} \quad (5.31)$$

Dari persamaan diatas dan dengan menggunakan grafik (“*Design of Small Dams*”, p.374-375) yang dibuat oleh USBR, akan diperoleh nilai-nilai parameter lengkung mercu pelimpah adalah sebagai berikut ini.

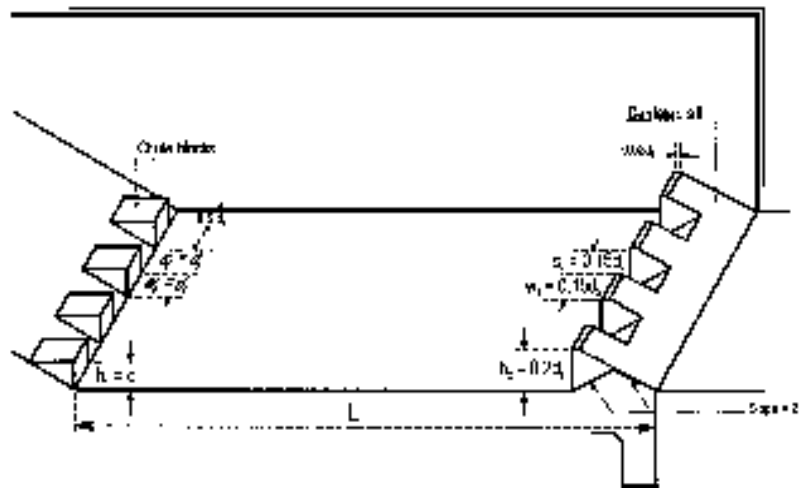


Tabel 5.6 Contoh Parameter Lengkung Mercu

K	n	$x_c$ (m)	$y_c$ (m)	$R_1$ (m)	$R_2$ (m)	R (m)
0,508	1,802	0,750	0,250	1,908	0,689	3,240

**b. Bangunan Peredam Energi**

Energi akibat “*hydraulic jump*” yang melalui pelimpah harus diredam sebelum menuju kembali ke hilir sungai. Untuk meredam energi tersebut perlu disediakan kolam olak (“*hydraulic jump basin*”), agar kecepatan air yang akan menuju hilir sungai tidak terlalu tinggi. Penentuan tipe kolam olak oleh USBR dikelompokkan berdasarkan nilai *Froude number* (FR).



Gambar 5.11 Detail Bangunan Peredam Energi

Analisis Hidraulik digunakan untuk dimensi pelimpah dari tinggi jagaan ( freeboard ). Sedangkan dimensi struktur akhir ditentukan berdasarkan optimasi lebar pelimpah yang dihungkan dengan biaya dan timbunan.

Dimana type bangunan pelimpah umumnya terdiri dari empat bagian utama yaitu ;

- a. Saluran pengarah aliran
- b. Saluran pengatur aliran
- c. Saluran peluncur
- d. Peredam energi

**c. Saluran Pengarah Aliran :**

Bagian ini berfungsi sebagai penuntun dan pengarah aliran agar tetap dalam kondisi hidrolika yang baik . Pada saluran ini kecepatan masuk air supaya tidak melebihi 4 m3/dt lebar saluran mengecil kearah hilir, kedalaman dasar saluran pengarah aliran biasanya diambil lebih besar 1/5 x tinggi rencana limpasan diatas mercu ambang pelimpah.

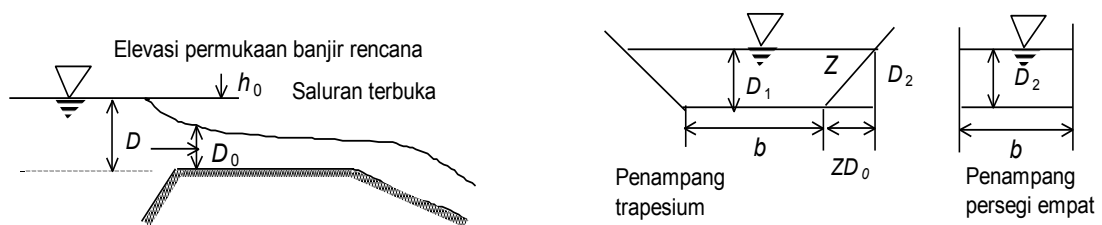
**d. Saluran Pengatur Aliran**

Bagian ini berfungsi sebagai pengatur kapasitas aliran (debit ) air yang melintasi bangunan pelimpah . Ada beberapa type yang biasa digunakan yaitu :

1. Type ambang bebas ( flowing into canal type )
- Untuk ambang berbentuk persegi empat

$$h_o = D/3 \tag{5.30}$$

$$b = \frac{Q}{1,704C} D^{\frac{3}{2}} \tag{5.31}$$



Gambar 5.12 Saluran Pengatur aliran

- Untuk ambang berbentuk trapesium

$$h_o = \frac{3 ( 2ZD + b ) - 16 Z^2 D^2 + 9 b^2}{10 Z} \tag{5.32}$$

$$Q = A V_o = C \quad 2gh_o ( D - h_o ) ab + Z ( D - h_o ) U \tag{5.33}$$

dengan :

Q = Kedalaman air tertinggi di dalam saluran pengarah aliran (m)

C = Koefisien pengaliran ( C = 1, 00 untuk setengah lingkaran dan C 0,82 untuk persegi empat)

- $H_o$  = Tinggi penurunan permukaan air didalam saluran pengarah (m)  
 $A$  = Penampang basah ( $m^2$ )  
 $V_o$  = kecepatan rerata aliran (m/dt)

## 2. Type Embung pelimpah ( over flow weir type )

Embung pelimpah sebagai salah satu komponen dari saluran pengatur aliran dibuat untuk lebih meningkatkan pengaturan serta pembesar debit air yang akan melintasi pelimpah. debit yang melalui pelimpah dengan ambang tetap dihitung berdasar rumus :

$$Q = C \cdot L \cdot H^{3/2} \quad (5.34)$$

Dengan :

- $Q$  = Debit yang lewat pelimpah ( $m^3/dt$ )  
 $C$  = Koefisien aliran  
 $L$  = Lebar efektif ambang pelimpah (m)  
 $H$  = Tinggi air diatas ambang pelimpah (m)

## 3. Type pelimpah samping ( Sideward over flow type )

Suatu bangunan pelimpah yang saluran peluncurnya berposisi menyamping terhadap saluran pengatur aliran diudiknya disebut bangunan pelimpah samping. Aliran yang melintas bangunan pelimpah samping tersebut seolah-olah terbagi menjadi dua tingkatan dengan dua buah peredam energi yaitu pertama terletak pada begian akhir saluran pengatur yang disebut saluran samping (side ditch) dan yang kedua adalah peredam energi di bagian akhir bangunan pelimpah.

Rumus dasar yang biasa dipakai ( I. Hinds )

$$Q_x = q \cdot x \quad (5.35)$$

$$v = a \cdot x^n \quad (5.36)$$

$$y = \frac{n+1}{n} \cdot h \cdot v \quad (5.37)$$

dengan :

$Q_x$  = Debit pada titik X ( $m^3/dt$ )

$q$  = Debit perunit lebar ( $m^3/dt$ )

$x$  = Jarak tepi udik dengan titik pada mercu Embung (m)

$v$  = Kecepatan rerata dalam saluran samping pada titik tertentu ( $m^3/dt$ )

$a$  = Koefisien yang berhubungan dengan kecepatan air

$n$  = Eksponen kecepatan air di saluran samping ( 0,4-0,8 )

$y$  = Perbedaan elevasi mercu Embung dengan permukaan air

$h_o$  = Tinggi takanan kecepatan aliran (  $h_v = v^2/2g$  )

Dimana saluran samping pada bangunan pelimpah samping biasanya berpenampang berbentuk trapesium, sedang penampang lintang saluran peluncur biasanya berbentuk empat persegi panjang, karena untuk menghubungkan keduanya diperlukan adanya saluran transisi.

#### **e. Saluran Peluncur ( Flood way )**

Saluran peluncur berguna agar air yang melimpah mengalir lancar tanpa hambatan hidrolik, rumus umum yang dipakai adalah rumus Bernoulli :

$$Z_1 + d_1 + h_{v1} = Z_2 + d_2 + h_{v2} + h_L \quad (5.38)$$

dengan :

$z$  = Elevasi dasar saluran pada suatu bidang vertikal

$d$  = Dalam air pada bidang tersebut

$h_v$  = Tinggi tekanan kecepatan pada bidang tersebut

$h_L$  = Kehilangan tinggi tekanan antara dua bidang vertikal

#### **f. Peredam Energi**

Guna meredusir energi yang terdapat didalam aliran tersebut maka diujung hilir saluran peluncur biasanya dibuat suatu bangunan yang disebut peredam energi ( scour protection stilling basin ), adapun type secara umum adalah :

1). Type loncatan ( water jump type )

2). Type kolam olakan ( stilling basin type )

3). Type bak pusaran ( roller bucket type )

### g. Saluran Pelepas

Bentuk saluran pelepas ( “ escape canal “ ) direncanakan menurut type trapesium. Debit yang lewat penampang tersebut dihitung dengan rumus Manning sebagai berikut :

$$Q = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} A \quad (5.39)$$

dengan :

Q = Debit (m<sup>3</sup>/dt)

n = Koefisien Manning

R = Jari-jari hidrolis (m)

S = Kemiringan dasar saluran

A = Luas penampang aliran (m<sup>2</sup>)

### 5.8.5. Rembesan (Seepage)

#### Rembesan melalui tubuh bendung

Debit rembesan yang lewat tubuh Embung dihitung berdasarkan :

1. Rembesan yang melewati inti (q<sub>c</sub>)
2. Rembesan yang melewati pondasi (q<sub>f</sub>)

#### Rembesan Melalui Tanah Dasar Fondasi

Rembesan pada embung perlu juga dikontrol terhadap rembesan yang melalui tanah dasar fondasi embung. Bila tanah dasar fondasi embung berupa batuan yang kedap air maka tidak akan terjadi rembesan atau sangat kecil sekali. Bila sebaliknya rembesan melalui tanah dasar fondasi dapat dihitung dengan menggunakan jaring alir (*flownet*). Adapun persamaan-persamaan yang digunakan adalah:

$$y = \sqrt{(2y_0x + y_0^2)} \quad (5.40)$$

$$y_0 = \sqrt{(h^2 + d^2)} - d \quad (5.41)$$

dengan :

$h$  = Jarak vertikal antara titik A dan B

$d$  = Jarak horisontal antara titik B2 dan A

$l_1$  = Jarak horisontal antara titik B dan E

$l_2$  = Jarak horisontal antara titik B dan A

A = Ujung tumit hilir Embung

B = Titik perpotongan antara permukaan air Embung dan lereng udik Embung

$A_1$  = Titik berpotongan antara parabola bentuk besar garis depresi dengan garis vertikal melalui titik B

$B_2$  = Titik yang terletak sejauh 0,3 1 horisontal kearah udik dari titik B

Besarnya rembesan :

$$q = kl \sin^2 \beta \quad (5.42)$$

dengan,

$q$  : debit rembesan per m' ( $m^3/detik/m'$ ),

$k$  : koefisien permeabilitas tubuh embung (m/detik),

$H$  : beda tinggi air (m),

$L$  : panjang pias tinjauan (m),

$\beta$  : sudut lereng bagian hilir,

Volum rembesan dihitung dengan rumus berikut ini :

$$q_c = k \frac{n_f}{n_d} H \quad (5.43)$$

dengan :

$k$  = Koefisien permeabilitas inti

$H$  = Beda tinggi tekanan air

$n_f$  = Jumlah garis aliran

$n_d$  = Jumlah garis potensial pada jaring-jaring aliran.

Rembesan melalui pondasi dibawah prit inti dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut :

$$q_r = k \frac{T}{B} H \quad (5.44)$$

Dengan :

$q_r$  = Rembesan yang lewat pondasi

$k$  = Koefisien permabilitas bahan pondasi

$T$  = Tebal lapisan pondasi

$B$  = Lebar dasar inti

$H$  = Beda tinggi tekanan air

Garis rembesan digambarkan dengan anggapan bahwa bentuk garis rembesan berupa parabola dan menurut Casagrande (1937) garis rembesan mengikuti persamaan dibawah

$$y = \sqrt{2y_o x + y^2} \quad (5.45)$$

$$y_o = \sqrt{H^2 + d^2} - d \quad (5.46)$$

Rembesan melalui tubuh bendung dapat dihitung dengan metode *Casagrande* (1937), sebagai berikut ini.

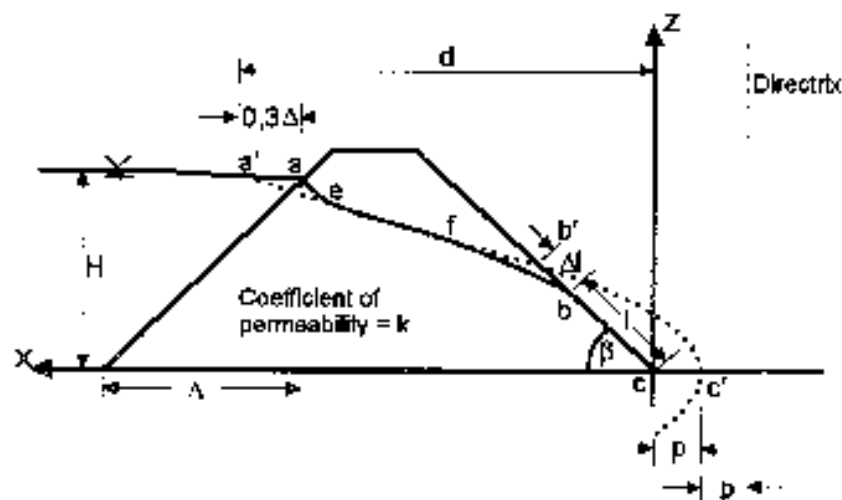
$$q = k.i.A \quad (5.47)$$

$$q = k \frac{dz}{ds} (l \sin \beta) = k (\sin \beta) l \sin \beta \quad (5.48)$$

$$l = \sqrt{(d^2 + H^2)} - \sqrt{(d^2 - H^2 \cot \beta)} \dots \text{ untuk } \beta < 30^\circ \quad (5.49)$$

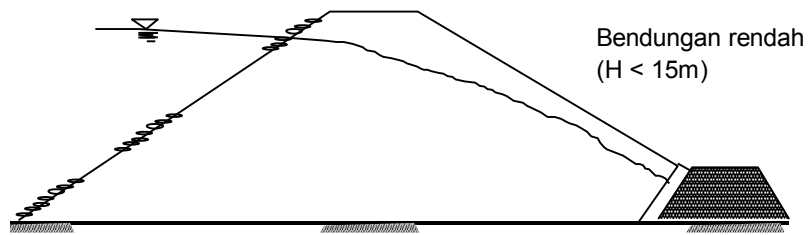
sedangkan untuk  $\beta > 30^\circ$  digunakan cara grafis, berdasarkan hubungan antara  $\beta$  dan

$$\frac{\Delta l}{l + \Delta l}$$

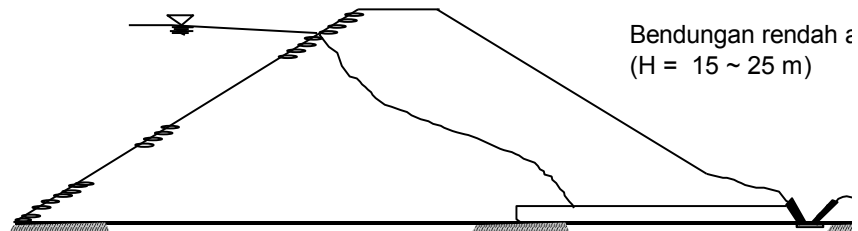


Gambar 5.13 Sketsa Analisis Rembesan Melalui Tubuh Embung

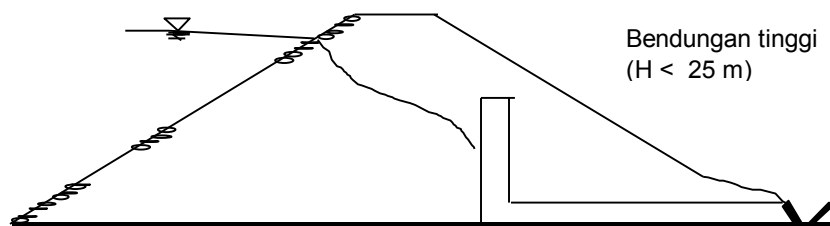
Beberapa langkah untuk memperbaiki rembesan antara lain:



(a) Konstruksi drainage pada tumit bendungan



(b) Konstruksi drainage di atas permukaan pondasi



(c) Konstruksi drainage vertikal dalam tubuh bendungan

Gambar 5.14 Garis Depresi Pada bendungan Homogen dengan konstruksi drainase pada tumit



## Piping

Angka aman untuk tidak terjadi bahaya “piping” dihitung berdasarkan formula Harza (1935).

$$(FS) = \frac{i_{cr}}{i_{keluar}} \quad (5.50)$$

dengan,

$i_{cr}$  : hidraulik gradien kritis

$$i_{cr} = \frac{\gamma'}{\gamma_w} \quad (5.51)$$

$\gamma'$  : berat volume tanah terendam air =  $\gamma_{sat} - \gamma_w$

$\gamma_{sat}$  : berat volume tanah kenyang air ( $\text{kN/m}^3$ )

$i_{keluar}$  : maksimum hidraulik gradien keluar

$$i_{keluar} = \frac{H}{L} \quad (5.52)$$

H : perbedaan tinggi muka air di hulu dan hilir

L : panjang lintasan air

### 5.8.6. Keseimbangan Air (Water Balance )

#### a. Aliran Andalan

Keseimbangan air dimaksud adalah perbandingan antara ketersediaan air aliran rendah dalam hal ini aliran kontinyu terhadap kebutuhan air irigasi eksisting maupun yang akan direncanakan. Perhitungan untuk mengetahui besarnya hujan efektif, evapotranspirasi potensial, aliran rendah dan aliran andalan telah dijelaskan dalam Bab II dan Bab III.

#### b. Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air untuk irigasi didasarkan pada luas lahan yang diairi, kebutuhan tanaman dan faktor-faktor lain yang mempengaruhinya. Kebutuhan air irigasi dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu :

- kebutuhan air konsumtif untuk tanaman (Etc),
- kebutuhan air untuk penyiapan lahan (IR)
- kebutuhan air untuk penggantian lapisan air (RW),
- perkolasi (P),
- hujan efektif (ER),

- efisiensi air irigasi (IE)
- luas areal irigasi (A)

Besar kebutuhan air irigasi dihitung menurut persamaan sebagai berikut ini.

$$\text{Kebutuhan air irigasi} = \frac{(Etc + IR + RW + P - ER)}{IE} \times A \quad (5.53)$$

➤ Kebutuhan Air Konsumtif (Etc)

Kebutuhan air untuk tanaman di lahan diartikan sebagai kebutuhan air konsumtif dengan memasukkan faktor efisiensi tanaman (kc). Persamaan umum yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Etc = Et_0 \times kc \quad (5.54)$$

dengan :

- Etc : kebutuhan air konsumtif
- Et<sub>0</sub> : evapotranspirasi
- Kc : koefisien tanaman

Evapotranspirasi dapat dihitung dengan **METODE PENMAN**, metode ini telah dijelaskan dalam Bab III dan Bab IV. Nilai kc mengikuti cara FAO seperti yang tercantum dalam Standar Perencanaan Irigasi (1986).

➤ Kebutuhan Air untuk Penyiapan Lahan

Untuk perhitungan kebutuhan air irigasi selama penyiapan lahan, perlu diperhatikan hal-hal seperti jenis tanaman, usia tanaman sampai dengan panen, pola tanam, efisiensi irigasi, lama penyinaran matahari dan lain-lain. Kebutuhan air untuk penyiapan lahan umumnya menentukan kebutuhan maksimum air irigasi. Untuk perhitungan kebutuhan air irigasi selama penyiapan lahan dapat digunakan metode yang dikembangkan oleh *Van de goor* dan *Zijlstra*, yaitu mengikuti persamaan berikut:

$$IR = M \left( \frac{e^k}{e^k - 1} \right) \quad (5.55)$$

dengan:

- IR : kebutuhan air irigasi di tingkat persawahan  
M : kebutuhan air untuk mengganti/ mengkonsumsi kehilangan air akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang telah dijenuhkan.

$$E_0 + P, E_0 = 1.1 \times Et_0 ; \quad (5.56)$$

- P : perkolasi  
k : jangka waktu penyiapan lahan (hari), dan

$$M \times (T/S) ; T \quad (5.57)$$

- S : kebutuhan air untuk penjenuhan ditambah dengan lapisan air 50 mm.

Dalam hitungan kebutuhan air untuk penyiapan lahan digunakan  $T = 30$  hari dan  $S = 250$  mm untuk penyiapan lahan padi pertama dan  $S = 200$  mm untuk penyiapan lahan padi kedua.

➤ Kebutuhan Air untuk Mengganti Lapisan Air (RW)

Kebutuhan air untuk mengganti lapisan air ditetapkan berdasarkan Standar Perencanaan Irigasi. Besar kebutuhan air untuk penggantian lapisan air adalah 50 mm/bulan selama 2 bulan.

➤ Perkolasi

Laju perkolasi sangat tergantung pada sifat tanah, dan sifat tanah umumnya sangat tergantung pada kegiatan pemanfaatan lahan atau pengolahan tanah, serta sifat geomorfologi secara alami. Dalam analisis ini, besarnya perkolasi berkisar antara 2 – 4 mm/hari.

➤ Hujan Efektif (ER)

Curah hujan efektif dihitung dengan menggunakan pendekatan intersepsi atau curah hujan merupakan fungsi dari intersepsi. Intersepsi ialah jumlah air hujan yang tertahan atau tidak

sampai ke tanah (zone perakaran tanaman) dan selanjutnya dianggap hilang. Untuk tanaman padi besarnya nilai intersepsi diambil reratanya, sehingga persamaannya adalah sebagai berikut:

$$IC = 0,5 \cdot e^{0,48} \cdot [hujan_{(t)}]^{0,85} \cdot 0,93242 \quad (5.58)$$

Untuk tanaman palawija intersepsi akan tergantung pada vegetasi penutup areal, dan dengan memperkirakan besarnya nilai intersepsi adalah setengah dari rerata intersepsi untuk tanaman padi, maka persamaannya adalah sebagai berikut:

$$IC = 0,25 \cdot e^{0,48} \cdot [hujan_{(t)}]^{0,85} \cdot 0,93242 \quad (5.59)$$

Hujan efektif dasar dimaksudkan sebagai curah hujan netto yang jatuh di petak sawah setelah mengalami intersepsi dan penguapan sebelum mencapai permukaan lahan. Rumusan untuk besaran ini adalah sebagai berikut :

$$ER_{(t)} = hujan_{(t)} - IC_{(t)}, \text{ bila } hujan_{(t)} \geq IC_{(t)} \quad (5.60)$$

$$ER_{(t)} = 0, \text{ bila } hujan_{(t)} \leq IC_{(t)} \quad (5.61)$$

dengan :

$ER_{(t)}$  : hujan efektif dasar tiap satuan waktu.

$Hujan_{(t)}$  : tinggi hujan (mm).

$IC_{(t)}$  : kapasitas intersepsi tiap satuan waktu.

#### ➤ Efisiensi Irigasi (EI)

Efisiensi irigasi merupakan faktor penentu utama dari unjuk kerja suatu sistem jaringan irigasi.

Efisiensi irigasi terdiri atas efisiensi pengaliran yang pada umumnya terjadi di jaringan utama dan efisiensi di jaringan sekunder (dari bangunan pembagi sampai petak sawah). Efisiensi irigasi didasarkan asumsi sebagian dari jumlah air yang diambil akan hilang baik di saluran maupun di petak sawah. Kehilangan ini disebabkan oleh kegiatan eksploitasi, evaporasi dan rembesan. Kehilangan air akibat evaporasi dan rembesan pada umumnya relatif kecil jika dibandingkan dengan kehilangan air akibat eksploitasi, sehingga pemberian di intake harus lebih besar dari kebutuhan air di sawah. Oleh karenanya, efisiensi irigasi (EI) yang digunakan adalah perkalian masing-masing efisiensi item yang direncanakan. Perhitungan mengenai efisiensi irigasi telah dijelaskan dalam Bab III.

### **5.8.7. Perancangan Struktur Embung Utama**

#### **a. Pondasi**

Pondasi embung secara umum harus terbebas dari kebocoran akibat tingginya nilai permeabilitas batuan pondasi pendukungnya. Kondisi permeabilitas yang berpotensi bocor disepanjang joint, diperlukan *curtain grouting* dan *consolidation grouting*. Permukaan batuan sebagai fondasi dam tidak boleh terdapat tanaman menjalar/akar-akar tanaman yang akan meninggalkan lubang-lubang di permukaan. Kedalaman batuan yang rusak karena pengaruh cuaca (*weathered rock*) diperkirakan setebal 1 m, harus dikupas (*stripping*).

#### **b. Tipe Tubuh Embung**

Tubuh embung dapat dibuat menurut beberapa tipe yaitu urugan homogen, urugan majemuk, pasangan batu/beton, komposit atau kombinasi urugan homogen tanah/batu dengan geosintetik/geomembran. Pemilihan tipe-tipe ini tergantung dari jenis tanah dasar fondasi, panjang dan bentuk lembah, bahan bangunan yang tersedia. Tubuh embung tipe urugan (homogen atau majemuk) dapat dibangun di atas tanah dasar fondasi batuan. Tubuh embung dengan tipe urugan homogen adalah bahan pembentuk tubuh embung yang digunakan seluruhnya berupa tanah urugan dan sebagian besar atau seluruhnya menggunakan satu macam material saja berupa tanah lempung atau tanah berlempung. Tubuh embung dengan tipe ini harus memperhatikan kemiringan lereng dan muka garis rembesan pada tubuh embung. Kemiringan lereng umumnya cukup landai terutama untuk menghindari terjadinya longsoran di lereng sebelah hulu pada kondisi muka air surut secara cepat (*Sudden draw down*) serta menjaga stabilitas lereng urugan tanah di hilir untuk kondisi terjadinya rembesan dalam jangka waktu lama. Untuk melakukan kontrol rembesan diperlukan pembuatan konstruksi drain agar bentuk garis rembesan tidak keluar lewat lereng hilir.

Embung urugan secara umum dibagi menjadi 3 yaitu:

##### **(a). Embung Homogen**

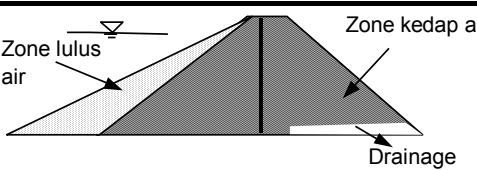
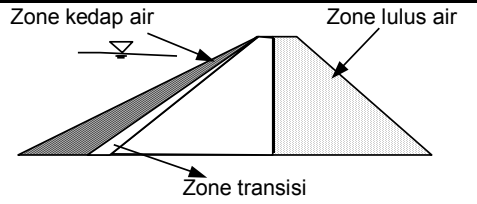
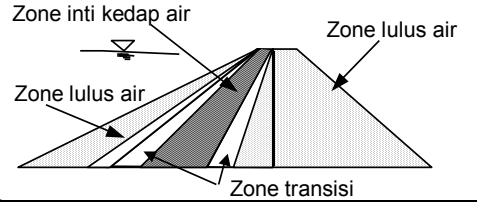
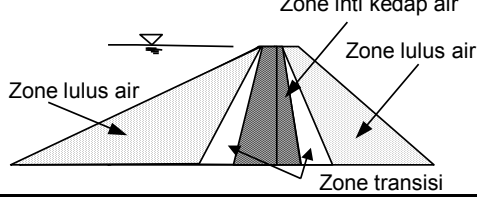
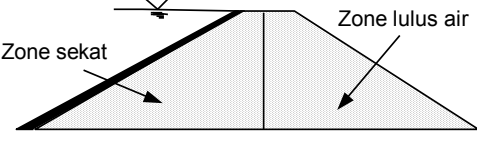
Apabila bahan membentuk tubuh Embung terdiri dari tanah yang hampir sejenis dan gradasinya hampir seragam. Tubuh Embung berfungsi ganda yaitu sebagai bangunan penyangga dan penahan rembesan air.

(b). **Embung Zonal**

Apabila timbunan yang membentuk tubuh Embung terdiri dari batuan dengan gradasi yang berbeda-beda dalam urutan pelapisan tertentu.

(c). **Embung Bersekat**

Digolongkan bersekat (facing) apabila di lereng udik tubuh Embung dilapisi dengan sekat tidak lulus air seperti lembaran baja, beton bertulang, plastik, susunan blok beton dan lainnya.

Type	Skema Umum	Keterangan
Bendungan Homogen		Apabila 80% dari seluruh bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang bergradasi hampir sama
Bendungan Zonal	Bendungan Tirai 	Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan tirai kedap air di udiknya
	Bendungan Inti Miring 	Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan tirai kedap air yang berkedudukan miring ke hilir
	Bendungan Inti Vertikal 	Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan tirai kedap air yang berkedudukan vertikal
Bendungan Sekat		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan dinding tidak lulus air di lereng udiknya, yang biasanya terbuat dari lembaran baja tahan karat, lembaran beton bertulang, aspal beton, lembaran plastik dll

Gambar 6.15 Klasifikasi Umum Embung Urugan.

c. **Lebar Puncak**

Lebar puncak untuk tipe urugan ditentukan berdasarkan pertimbangan sebagai berikut :

1. bahan timbunan alam dan jarak lintasan rembesan melalui tubuh embung pada muka air normal,
2. tekanan gelombang di bagian permukaan lereng hulu,

3. tinggi dan sifat konstruksi,
4. kemungkinan dibutuhkan untuk jalan,
5. konstruksinya bersifat praktis.

Berdasarkan asumsi tersebut di atas, maka lebar puncak untuk tipe urugan, ditentukan sebagai berikut :

$$w = \frac{z}{5} + 10 \quad (5.62)$$

dengan,

- w : lebar puncak (feet),  
z : tinggi embung (feet).

atau,

$$w = 3,6 H^{1/3} - 3,0 \quad (5.63)$$

dengan,

- w : lebar puncak (m),  
H : tinggi embung (m).

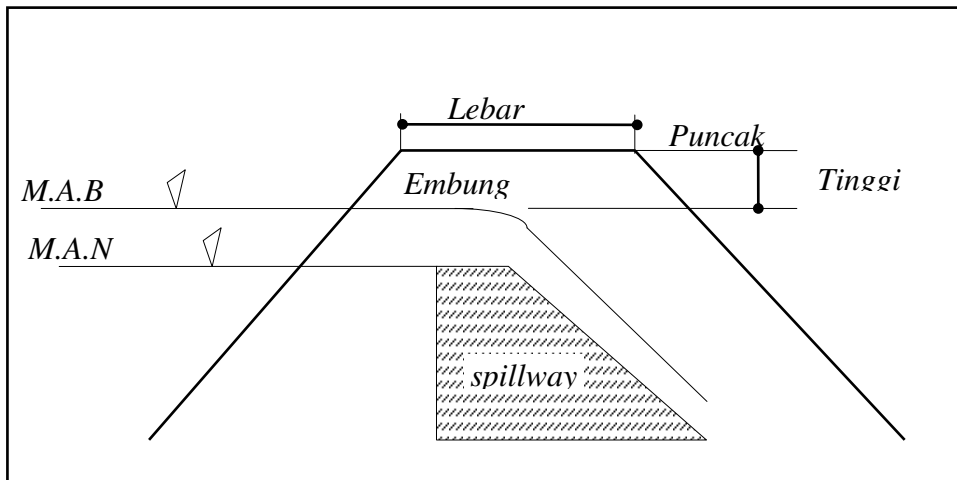
#### **d. Kemiringan Lereng Urugan**

Kemiringan lereng urugan diperhitungkan terhadap :

1. jenis material urugan yang digunakan,
2. kestabilan lereng akibat muka air kolam turun secara mendadak,
3. kestabilan lereng akibat terjadinya rembesan melalui tubuh embung pada kondisi muka air normal,
4. tahan terhadap pengaruh gempa.

#### **e. Tinggi Jagaan**

Tinggi jagaan adalah jarak vertikal dari puncak urugan dan permukaan air di kolam. Tinggi jagaan pada tubuh embung dimaksudkan untuk memberikan keamanan tubuh embung terhadap peluapan akibat banjir. Apabila hal tersebut terjadi, erosi akan terjadi pada tubuh embung tipe urugan di bagian hilir.



Gambar 5.16 Skema Tinggi Jagaan

Perencanaan tinggi jagaan dipertimbangkan terhadap beberapa faktor yaitu:

2. Kondisi dan situasi tempat kedudukan calon embung,
3. Karakteristik banjir abnormal
4. Tinggi ombak akibat angin, semakin luas genangan akan semakin tinggi gelombang yang diakibatkan angin
5. Tinggi ombak akibat gempa, semakin luas genangan akan semakin tinggi gelombang yang diakibatkan gempa
6. Kenaikan permukaan air jika terjadi kemacetan fungsi pintu dan pelimpah

Tinggi Jagaan dapat dihitung dengan persamaan (Sosradarsono dan Takeda, 1977):

$$H_f \geq \Delta h + \left( h_w \text{ atau } \frac{h_e}{2} \right) + h_a + h_i \quad (5.64)$$

atau

$$H_f \geq h_w + \frac{h_e}{2} + h_a + h_i \quad (5.65)$$

dengan,

$H_f$  : tinggi jagaan (m)

$h_w$  : tinggi ombak akibat angin (m)

$h_e$  : tinggi ombak akibat gempa (m)



$h_a$  : tinggi ombak akibat kemacetan fungsi pintu dan pelimpah (m)

$h_i$  : tinggi tambahan yang didasarkan tingkat urgensi embung (m)

#### **f. Tinggi Tubuh Embung**

Tinggi tubuh embung ditentukan berdasarkan pertimbangan kebutuhan tampungan air dan keamanan tubuh embung terhadap peluapan banjir. Jadi tinggi tubuh embung adalah tinggi muka air kolam pada kondisi penuh (kapasitas tampung rencana) ditambah tinggi tampungan banjir dan tinggi jagaan.

$$H_d = H_k + H_b + H_f (+ H_s) \quad (5.66)$$

dengan,

$H_d$  : tinggi tubuh embung rancangan (m),

$H_k$  : tinggi muka air kolam pada kondisi penuh (m),

$H_b$  : tinggi tampungan banjir (m),

$H_f$  : tinggi jagaan (m),

$H_s$  : cadangan akibat embung mengalami penurunan (m).

$$H_s = 0,001 (H_d)^{1,5} \quad (5.67)$$

Umumnya secara praktis diambil  $H_s = 0,25$  m.

#### **g. Ketersediaan Material**

Bahan untuk tubuh embung merupakan hasil galian bahan tanah di dasar kolam embung atau lokasi disekitar tempat kedudukan calon tubuh embung. Bahan material untuk timbunan harus memperhatikan tentang kualitas dan kuantitas dari bahan material tersebut serta kemudahan dalam pengolahan dan pengangkutan ke lokasi penimbunan.

#### **h. Selimut Kedap Air Kolam Embung**

Kehilangan air yang cukup besar akibat infiltrasi yang berupa rembesan atau bocoran di bagian dinding atau dasar kolam tampungan embung sangat mempengaruhi nilai ekonomis dari ketersediaan airnya. Pada kolam embung dengan kondisi geologi yang kurang menguntungkan dilihat dari segi kelulusan airnya, diperlukan selimut rapat air agar tidak terjadi infiltrasi atau kehilangan air yang berlebihan. Jenis atau tipe selimut kedap air yang akan digunakan tergantung dari macam material/bahan alami yang tersedia di tempat.

Apabila bahan alami tidak tersedia di tempat atau sulit dikerjakan di dalam pelaksanaan pekerjaan, dapat digunakan bahan buatan, antara lain : semen-tanah, membran sintesis.

1. Selimut kedap air dari bahan alami (lempung)

Material lempung yang digunakan sebagai selimut kedap air paling baik termasuk klasifikasi CH (USCS). Tebal selimut lempung minimal 50 cm, terdiri atas tiga lapis yang dipadatkan dalam kondisi basah. Untuk melindungi selimut terhadap retakan pada waktu kering, perlu dilindungi dengan hamparan pasir kerikil setebal 30 cm di atasnya (Pedoman kriteria desain embung kecil untuk daerah semi kering di Indonesia, Puslitbang PU, 1994).

2. Selimut semen-tanah

Selimut kedap air kolam tampungan dapat juga dibuat dengan menggunakan material setempat yang tersedia dicampur dengan semen (semen-tanah). Untuk menentukan semen yang akan digunakan dan ketebalan yang diperlukan, perlu dilakukan percobaan terlebih dahulu.

3. Selimut bahan sintesis

Jenis bahan ini, sekarang banyak di pasaran adalah tipe geomembran. Geomembran sangat fleksibel dan tipis dengan tebal sampai beberapa mm. Pemasangan geomembran harus ditempatkan pada permukaan tanah yang sudah rata, tidak dijumpai bahan-bahan runcing (tunggul-tunggul kayu) yang menyebabkan membran sobek. Untuk pemasangan membran terbuka dibutuhkan kemiringan 1 (vertikal) : 1 (horisontal) dan untuk membran dengan lapisan pelindung dibutuhkan kemiringan 1 (vertikal) : 3 (horisontal) untuk mencegah runtuhnya sistem pelindung. Geomembrane ini, sebelum ditempatkan perlu dipasang pipa-pipa drainase untuk mengurangi tekanan pori yang terjadi.

**i. Pelindung Lereng (*rip-rap*)**

1. Lereng hulu

Konstruksi rip-rap diperlukan untuk melindungi lereng hulu tubuh embung akibat pengaruh gelombang. Batuan untuk konstruksi rip-rap harus aman atau didasarkan pada :

- a) Ukuran batu untuk rip-rap dan berat volume bahan batu,
- b) Ketahanan terhadap keausan akibat cuaca.

Ukuran konstruksi rip-rap dan tebal yang dibutuhkan didasarkan pada perkiraan tinggi gelombang, tergantung pada kecepatan angin dan jarak antara kedua sisi tebing kolam tampungan (embung). Ukuran batu rerata dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$W_{50} = \frac{62,4 \cdot S \cdot H^3}{2,63 (S-1)^3} \cot \alpha \quad (5.69)$$

Tabel 5.7 Tebal dan Ukuran Minimal Batu untuk Konstruksi Rip-rap

Reservoir fetch (km)	Ketebalan vertikal hamparan (cm)	% Gradasi batu-batu hamparan dalam ukuran berat			
		Berat ukuran maksimum	25 % lebih besar dari	45 - 75 % terletak antara	25 % lebih ringan dari
1,5	40	500 kg	150 kg	150 - 5,0 kg	5,0 kg

Pasir dan hancuran batu harus kurang dari 5% dari berat total bahan konstruksi rip-rap. Daerah rip-rap terdiri dari dua lapis, yaitu:

- a). Lapisan luar tebal 0,60 m dari bahan batuan lurus dengan ukuran batu
- b). Lapis dalam tebal 0,40 m sebagai lapis filter yang merupakan campuran pasir dan pecahan batu.

## 2. Lereng Hilir

Pada embung tipe urugan, permukaan lereng harus dilindungi terhadap erosi yang disebabkan oleh angin dan hujan. Pelindung lereng sebelah hulu untuk tipe urugan dengan menempatkan gebalan rumput.

### 5.8.8. Menara (Intake Tower)

*Intake tower* berada di atas *intake* terowongan. *Intake tower* ini dibangun sesudah *diversion inlet* dan terowongan selesai pembangunannya. Perlu diperhatikan bahwa tidak boleh ada penempatan material, beton dan sebagainya di terowongan pengelak untuk menghindari sumbatan.

### 5.8.9. Analisis Struktur Bangunan

**a. Koefisien Gempa Rancangan**

Pada bangunan-bangunan air, selalu diperhitungkan terhadap pengaruh gempa, terutama bangunan-bangunan yang didirikan di wilayah rawan gempa seperti di Pulau Jawa. Umumnya pengaruh gempa di perhitungkan dengan menentukan koefisien gempa (k) yang digunakan untuk analisis bangunan-bangunan tersebut. Analisis koefisien gempa menurut metode Standar Rancangan Bangunan-Bangunan Irigasi (KP 06, 1986) didasarkan hubungan sebagai berikut:

$$a_d = n(a_c.z)^m \tag{5.70}$$

$$k_g = \frac{a_d}{g} \tag{5.71}$$

dengan,

- $a_d$  : percepatan gempa rancangan (gal -  $cm/s^2$ ),
- $n, m$  : koefisien berdasarkan tipe tanah fondasi,
- $a_c$  : percepatan gempa dasar,
- $z$  : koefisien gempa berdasarkan lokasi,
- $g$  : percepatan gravitasi ( $981\text{ cm/detik}^2$ )
- $k_g$  : koefisien gaya gempa arah horisontal.

Dua tipe tanah fondasi yang digunakan untuk pertimbangan yaitu lapisan tanah alluvial dan batuan.

**b. Parameter Gempa Rancangan**

Percepatan gempa ( $a_d$ ) dan koefisien gaya gempa horisontal ( $k_g$ ) dihitung berdasarkan hubungan KP-06 diperoleh sebagai berikut ini.

Tabel 5.8 Percepatan Gempa dan Koefisien Gempa

Tanah	Periode ulang (T) - tahun				Parameter
	20	50	100	200	
Dasar fondasi					
Alluvial	49,000	63,000	143,000	146,000	$a_d$
	0,049	0,064	0,146	0,149	$k_g$
Aluvial lembek	48,000	69,000	109,000	124,000	$a_d$
	0,048	0,071	0,112	0,127	$k_g$

Tabel 5.9 Koefisien Gempa Berdasarkan Tipe Tanah

Tipe tanah	n	m
Batu	2,76	0,71
Dilluvium	0,87	1,05
Alluvium	1,56	0,89
Aluvium lembek/lunak	0,29	1,32

Tabel 5.10 Percepatan Gempa Dasar ( $a_c$ )

Kala ulang (tahun)	$a_c$ (cm/s <sup>2</sup> - gal)
20	85
50	117
100	160
200	176

### 5.8.10. Analisis Stabilitas Lereng

#### a. Metode Analisis

Analisis stabilitas lereng di bagian hulu maupun hilir dari pada embung dapat dihitung dengan menggunakan beberapa metode yaitu :

1. Bidang luncur dengan bentuk lingkaran.
2. Irisan Bidang Luncur

#### 1. Metode Bidang Luncur

Andaikan bidang luncur bundar dibagi dalam beberapa irisan vertikal, maka faktor keamanan diperoleh dari rumus:

$$F_s = \frac{\sum eC + (N - U - Ne)\tan \theta}{\sum (T + Te)} \quad (5.71)$$

Dimana :

$F_s$  : Faktor keamanan

$N$  : Beban komponen vertikal yang timbul dari setiap irisan bidang luncur

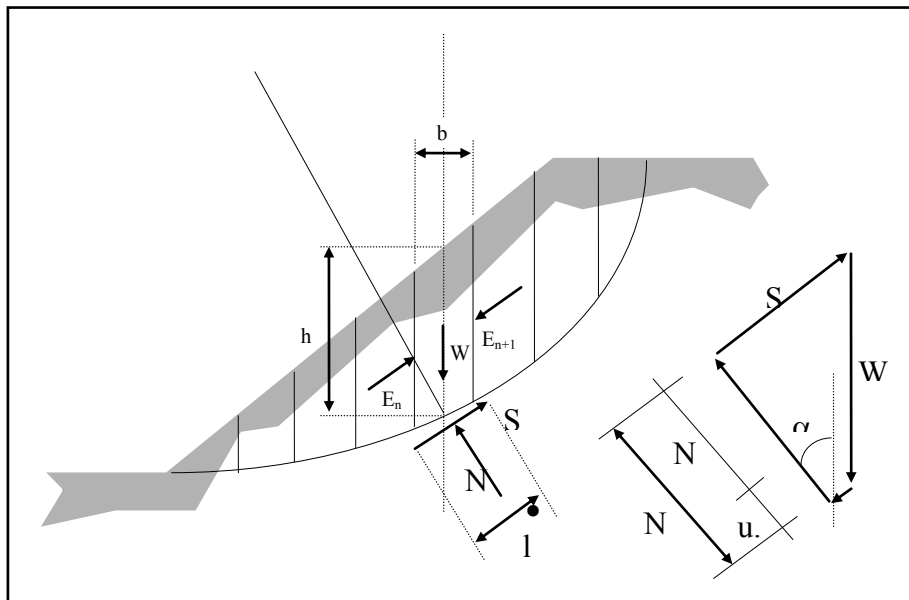
$T$  : Beban komponen tangensial yang timbul dari setiap luncur

- U : Tekanan air yang bekerja pada setiap irisan bidang lurus
- N<sub>e</sub> : Komponen vertikal beban seismic yang bekerja pada setiap irisan bidang lurus
- T<sub>e</sub> : Komponen tangensial beban seismic yang bekerja pada setiap irisan bidang lurus
- C : Angka kohesi bahan yang membentuk dasar setiap irisan
- e : Intensitas seismic horizontal
- θ : Sudut geser dalam bahan

**2. Metode Irisan Bidang Luncur Kombinasi**

Pada metode ini garis lurus tidak berbentuk lingkaran, tetapi terdiri dari garis yang patah-patah

Metode ini dikembangkan oleh Wedge dan Fellenius dengan masing-masing karakteristik sendiri.



Gambar 5.17. Metode bidang gelincir bentuk lingkaran.

Angka keamanan dari stabilitas lereng dihitung berdasarkan formula :

**Simplified Bishop :**

$$SF = \sum \frac{1}{(T + T_e)} \frac{c \cdot b + W(1 - r_u) \tan \phi}{\cos \alpha \left( 1 + \frac{\tan \phi \tan \alpha}{FS} \right)} \quad (5.72)$$

**Fellenius :**

$$SF = \sum \frac{(c \cdot L + (N - U - N_e) \tan \phi)}{(T + T_e)} \quad (5.73)$$

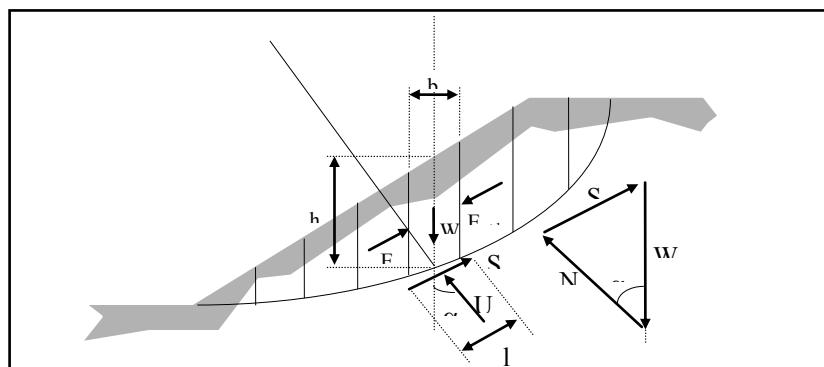
dengan

- FS : angka keamanan,
- c : kohesi,
- $\phi$  : sudut gesek internal tanah,
- L : panjang bidang gelincir,
- N : gaya normal,
- T : gaya tangensial,
- $N_e$  : komponen normal gaya gempa,
- $T_e$  : komponen tangensial gaya gempa,
- U : gaya akibat tekanan air pori.

Dalam hal ini N, T,  $N_e$ ,  $T_e$  dan U ditentukan berdasarkan kondisi stabilitas lereng sebagai berikut ini. Simbul-simbul yang digunakan dalam persamaan di bawah ini adalah

- |  |  |
|--|--|
| W : berat pias,                                  | $k_g$ : koefisien gempa,               |
| $\gamma_w$ : berat volume air,                   | h : tinggi pias,                       |
| $\gamma_t$ : berat volume tanah basah,           | b : lebar pias,                        |
| $\gamma_{sat}$ : berat volume tanah kenyang air, | $h_t$ : tinggi pias tanah basah,       |
| $\gamma_{sub}$ : berat volume tanah terendam,    | $h_s$ : tinggi pias tanah kenyang air, |
| u : tekanan air pori,                            | $h_u$ : tinggi pias tanah tergenang,   |
|  | $h_w$ : tinggi pias air.               |

### 1) Kondisi selesai dibangun



Gambar 5.18. Analisis angka keamanan (SF) untuk kondisi lereng selesai dibangun.

Persamaan-persamaan yang digunakan adalah:

$$N = W \cdot \cos\alpha = (h \cdot \gamma_t \cdot b) \cos\alpha \quad (5.74)$$

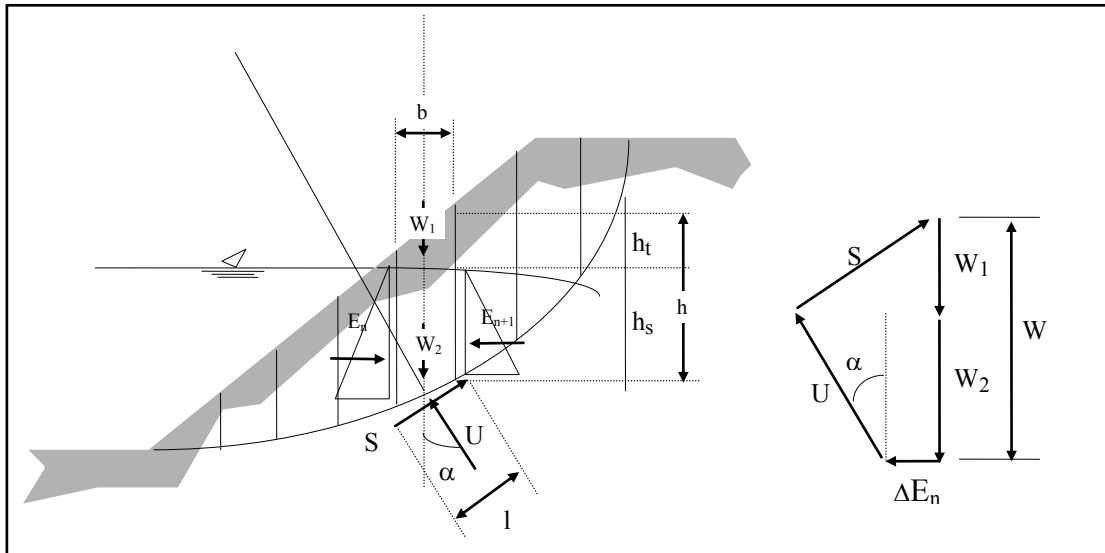
$$N_e = k_g \cdot W \sin\alpha = k_g (h \cdot \gamma_t \cdot b) \sin\alpha \quad (5.75)$$

$$U = u \cdot l = u \cdot b / \cos\alpha \quad (5.76)$$

$$T = W \cdot \sin\alpha = (h \cdot \gamma_t \cdot b) \sin\alpha \quad (5.77)$$

$$T_e = k_g W \cdot \cos\alpha = k_g (h \cdot \gamma_t \cdot b) \cos\alpha \quad (5.78)$$

## 2) Kondisi steady seepage



Gambar 5.19 Analisis angka keamanan (SF) pada kondisi lereng dengan pengaliran steady seepage.

Persamaan-persamaan yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} N &= (W_t + W_{sat}) \cos\alpha + \Delta F \sin\alpha \\ &= (h_t \cdot \gamma_t + h_s \cdot \gamma_{sat}) b \cos\alpha + (h_s \cdot \gamma_w \cdot b) \sin^2\alpha / \cos\alpha \end{aligned} \quad (5.79)$$

$$N_e = k_g (h_t \cdot \gamma_t + h_s \cdot \gamma_{sat}) b \sin\alpha \quad (5.80)$$

$$U = u \cdot l = (h_w \cdot \gamma_w) b / \cos\alpha \quad (5.81)$$

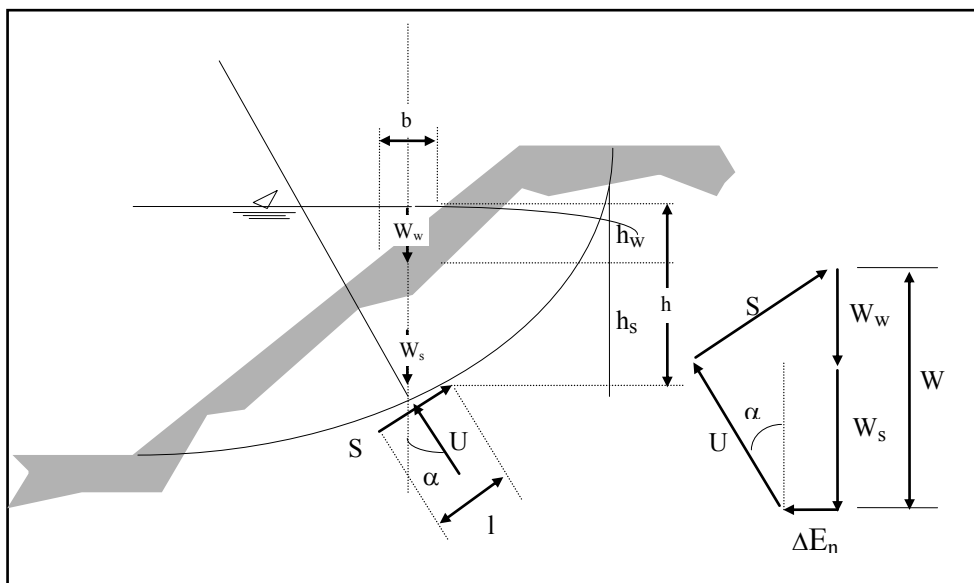


$$\begin{aligned}
T &= (W_t + W_{sat})\sin\alpha - \Delta F \cos\alpha \\
&= (h_t \cdot \gamma_t + h_s \cdot \gamma_{sat})b \sin\alpha - (h_s \cdot \gamma_w \cdot b)\sin\alpha \\
&= (h_t \cdot \gamma_t + h_s \cdot \gamma_{sub})b \sin\alpha
\end{aligned} \tag{5.82}$$

$$\begin{aligned}
T_e &= k_g \cdot (W_t + W_{sat})\cos\alpha \\
&= k_g \cdot (h_t \cdot \gamma_t + h_s \cdot \gamma_{sat})b \cos\alpha
\end{aligned} \tag{5.83}$$

$$\begin{aligned}
\Delta F &= \text{gaya horisontal akibat tekanan air,} \\
&= u \cdot b \tan\alpha
\end{aligned} \tag{5.84}$$

### 3) Kondisi kolam tampungan penuh



Gambar 5.20 Analisis angka keamanan (SF) pada kondisi lereng tergenang air (kolam tampungan terisi air penuh).

Persamaan-persamaan yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned}
N &= (W_s + W_w)\cos\alpha + \Delta F \sin\alpha \\
&= (h_s \cdot \gamma_{sat} + h_w \cdot \gamma_w)b \cos\alpha + (h_w \cdot \gamma_w \cdot b)\sin^2\alpha/\cos\alpha \\
&= (h_s \cdot \gamma_{sub})b \cos\alpha + (h_w \cdot \gamma_w \cdot b)/\cos\alpha
\end{aligned} \tag{5.85}$$

$$\begin{aligned}
N_e &= k_g W_s \sin\alpha \\
&= k_g \cdot (h_s \cdot \gamma_{sat})b \sin\alpha
\end{aligned} \tag{5.86}$$

$$U = u \cdot l = (h_w \cdot \gamma_w) b / \cos\alpha \tag{5.87}$$

$$\begin{aligned}
T &= (W_s + W_w)\sin\alpha - \Delta F \cos\alpha \\
&= (h_s \cdot \gamma_{\text{sat}} + h_w \cdot \gamma_w)b \sin\alpha - (h \cdot \gamma_w \cdot b)\sin\alpha \\
&= (h_s \cdot \gamma_{\text{sub}})b \sin\alpha
\end{aligned} \tag{5.88}$$

$$\begin{aligned}
T_e &= k_g \cdot (W_s) \cos\alpha \\
&= k_g \cdot (h_s \cdot \gamma_{\text{sat}})b \cos\alpha
\end{aligned} \tag{5.89}$$

$$\begin{aligned}
\Delta F &= \text{gaya horisontal akibat tekanan air,} \\
&= u \cdot b \tan\alpha
\end{aligned} \tag{5.90}$$

### 5.8.11. Tinjauan Hidrologi

Tujuan dan metode pendekatan dapat diuraikan sebagai berikut :

a. Data hujan bulanan

- Test Homogenitas data dengan Fisher Test
- Mengisi data kosong dengan metode rasional
- Uji konsistensi data dengan kurva massa ganda

b. Data Debit

- Metode Mock dan NRECA untuk menganalisa debit andalan
- Regresi Linier antara data hujan dengan data debit sesuai yang ada

c. Data Evapotranspirasi

Data evapotranspirasi digunakan sebagai masukan dalam menghitung debit aliran rendah dan menghitung kebutuhan air tanaman

d. Data Kehilangan Air dan infiltrasi

Menghitung Losses pada bendung dengan metode Casagrande & jaringan trayektori aliran filtrasi menggunakan data geologi

e. Hujan Efektif

Hujan efektif digunakan untuk menghitung banjir puncak dan merencanakan pola tanaman. Perhitungan hujan efektif telah dijelaskan dalam Bab II dan BAB III.

- f. Debit Banjir Rencana, urutan perhitungannya adalah:
- Cek distribusi data hujan
  - Analisa frekwensi data hujan
  - Uji analisa frekwensi Smirnov-Kolmogorov dan Chi Square
  - Hidrograf banjir metode Nakayasu

g. Water Balance

Perhitungan water balance untuk mengetahui kemampuan air yang tersedia mesuplai kebutuhan total air. Perhitungan ini telah dijelaskan dalam BAB III.

h. Kapasitas Waduk

Perhitungan kapasitas embung berdasarkan data topografi dan data debit hasil perhitungan hidrologi. Contoh perhitungan ditampilkan pada Tabel 5.11 sebagai berikut:

Misalkan hasil perhitungan elevasi dan luas tampungan seperti di tampilkan dalam Tabel 5.11

Tabel 5.11 Contoh Hubungan Elevasi – Luas Genangan Embung Krida

	ELEVA SI m	VOLUME TAMPUNGA N $\times 10^3 \text{ m}^3$	LUAS TAMPUNGA N Ha		ELEVASI m	VOLUME TAMPUNGA N $\times 10^3 \text{ m}^3$	LUAS TAMPUNGA N Ha
1	24.00	0.0000	0.0000	15	38.00	1,449.7881	24.0838
2	25.00	0.0840	0.0252	16	39.00	1,930.8825	26.1332
3	26.00	4.0295	0.9997	17	40.00	2,201.7645	28.0546
4	27.00	18.3214	1.9071	18	41.00	2,491.8641	29.9760
5	28.00	43.9706	3.2848	19	42.00	2,802.5023	32.1645
6	29.00	83.5063	4.6625	20	43.00	3,135.0304	34.3531
7	30.00	143.7896	7.5066	21	44.00	3,489.0811	36.4675
8	31.00	232.6957	10.3507	22	45.00	3,864.2791	38.5820
9	32.00	346.5772	12.4582	23	46.00	4,260.5601	40.6835
10	33.00	481.5591	14.5657	24	47.00	4,681.3142	43.4829
11	34.00	637.4525	16.6359	25	48.00	5,130.0671	46.2823
12	35.00	814.0618	18.7062	26	49.00	5,606.8183	49.0817
13	36.00	1,008.3582	20.1622	27	50.00	6,111.5671	51.8811
14	37.00	1,219.2723	22.0345				

Maka volume tampungan embung dapat dihitung dengan menggunakan persamaan ConIc sebagai berikut:

$$\Delta V_{12} = \frac{h}{3} (A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 A_2}) \quad (5.90)$$

dengan:

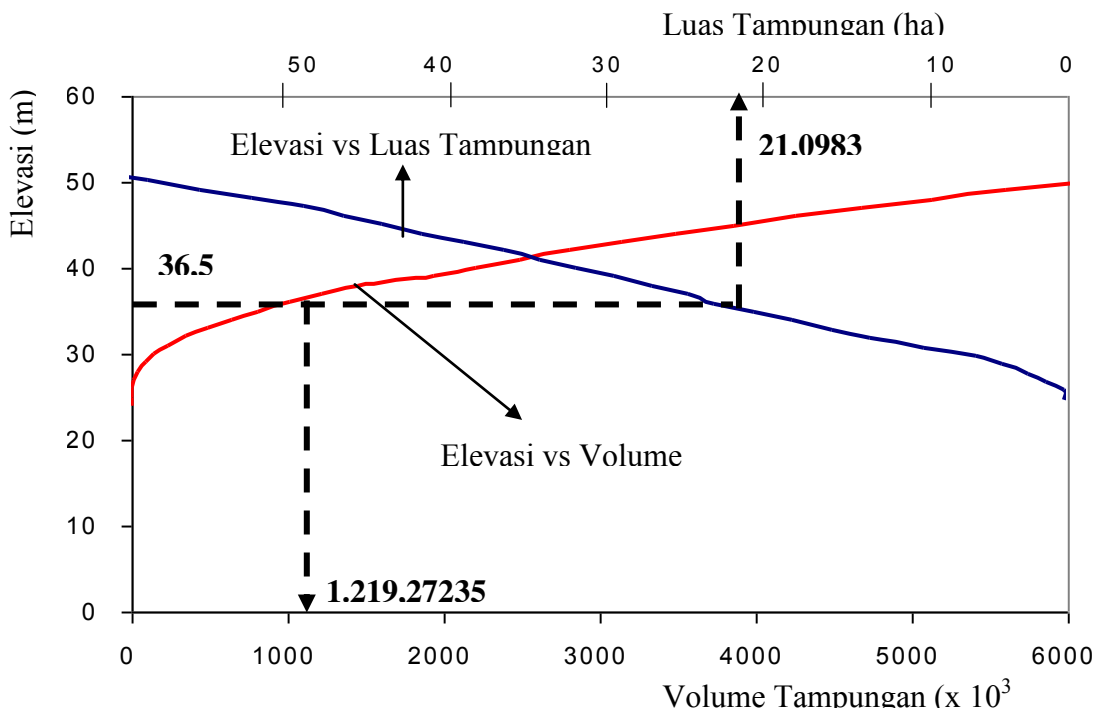
$\Delta V_{12}$  : perbedaan Volume

h : perbedaan tinggi genangan antara 1 dan 2

$A_1$  : Luas genangan pada elevasi 1

$A_2$  : Luas genangan pada elevasi 2

Setelah volume tampungan embung dihitung dan ditabelkan, kemudian dapat dibuat grafik hubungan antara elevasi, volume tampungan dan luas genangan seperti ditampilkan pada Gambar 5.21



Gambar 5.21. Contoh Grafik Hubungan Elevasi, Volume dan Luas Genangan

Sehingga dengan melihat grafik tersebut, dari ketinggian mercu yang memungkinkan untuk dibangun, misalkan 14,93 m, didapat elevasi mercu + 36,5. Dari grafik hubungan elevasi, volume dan luas genangan diketahui bahwa volume tampungan normal Embung adalah 1.219.272,35 m<sup>3</sup> dan luas genangan diestimasikan mencapai 21,0983 Ha.

Debit yang melimpah di atas bendung dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q = CxBxH^{3/2} \quad (5.91)$$

dengan:

Q = debit ( m<sup>3</sup>/dt)

C = Koefisien pelimpah, menurut Suyono nilai ini berkisar antara 1 ~ 3

B = lebar pelimpah (m)

Tabel 5.12 Contoh Perhitungan Debit Melalui Pelimpah

Koef. Debit ( c )	:	2,45
Lebar pelimpah ( b )	:	35 m
Elevasi pelimpah	:	36,5 m

Elevasi	H	B	c	Q	Elevasi	H	B	c	Q
	m	m		m <sup>3</sup> /dt		m	m		m <sup>3</sup> /dt
36.50	0.00	35	2.45	0.00	39.00	2.50	35	2.45	338.957
36.60	0.10	35	2.45	2.71	39.10	2.60	35	2.45	359.496
36.70	0.20	35	2.45	7.67	39.20	2.70	35	2.45	380.434
36.80	0.30	35	2.45	14.09	39.30	2.80	35	2.45	401.764
36.90	0.40	35	2.45	21.69	39.40	2.90	35	2.45	423.478
37.00	0.50	35	2.45	30.32	39.50	3.00	35	2.45	445.570
37.10	0.60	35	2.45	39.85	39.60	3.10	35	2.45	468.033
37.20	0.70	35	2.45	50.22	39.70	3.20	35	2.45	490.862
37.30	0.80	35	2.45	61.36	39.80	3.30	35	2.45	514.050
37.40	0.90	35	2.45	73.21	39.90	3.40	35	2.45	537.592
37.50	1.00	35	2.45	85.75	40.00	3.50	35	2.45	561.482
37.60	1.10	35	2.45	98.93	40.10	3.60	35	2.45	585.717
37.70	1.20	35	2.45	112.72	40.20	3.70	35	2.45	610.291
37.80	1.30	35	2.45	127.10	40.30	3.80	35	2.45	635.199
37.90	1.40	35	2.45	142.05	40.40	3.90	35	2.45	660.436
38.00	1.50	35	2.45	157.53	40.50	4.00	35	2.45	686.000
38.10	1.60	35	2.45	173.55	40.60	4.10	35	2.45	711.885
38.20	1.70	35	2.45	190.07	40.70	4.20	35	2.45	738.088
38.30	1.80	35	2.45	207.08	40.80	4.30	35	2.45	764.604
38.40	1.90	35	2.45	224.58	40.90	4.40	35	2.45	791.431
38.50	2.00	35	2.45	242.54	41.00	4.50	35	2.45	818.564
38.60	2.10	35	2.45	260.95	41.10	4.60	35	2.45	846.001
38.70	2.20	35	2.45	279.81	41.20	4.70	35	2.45	873.737
38.80	2.30	35	2.45	299.11	41.30	4.80	35	2.45	901.770
38.90	2.40	35	2.45	318.82	41.40	4.90	35	2.45	930.097
					41.50	5.00	35	2.45	958.714

### 5.8.12. Tinjauan Kebutuhan Air

Tinjauan ini dapat diperhitungkan dengan melihat tata guna lahan yang ada dan demografi daerah tersebut. Kebutuhan untuk lahan persawahan, perkotaan dan kebutuhan air untuk penduduk tergantung dari kondisi proyek yang ada. Kebutuhan air merupakan kebutuhan air untuk tata guna lahan ditambah kebutuhan air untuk penduduk.

#### a) *Optimasi Embung*

Optimasi pada kajian ini bertujuan untuk mencari hubungan antara :

- Volume tampungan Embung dengan memperhitungkan kehilangan air karena evaporasi dan rembesan
- Daerah irigasi
- Pola tanam
- Kebutuhan Domestik Penduduk
- Kebutuhan peternakan
- Analisa ekonomi yang paling menguntungkan.

Analisis pendekatan untuk keseimbangan simulasi dari kemampuan air untuk kebutuhan irigasi didasarkan pada daerah irigasi dan pola tanam. Prinsip dasar dari kajian optimasi dengan simulasi merupakan pengembangan dari persamaan kontinuitas yaitu :

$$I - O = \frac{ds}{dt} \quad (5.92)$$

dengan :

I = Inflow dalam (m<sup>3</sup>/dt)

O = Outflow dalam (m<sup>3</sup>/dt)

$\frac{ds}{dt}$  = Perubahan tampungan yang merupakan fungsi dari waktu dan dapat dikembangkan

sebagai berikut :

$$I_t - L_{t-1} - S_t - SP_t - O_t = (W_t - W_{t-1}) / dt \quad (5.93)$$

dengan :

$I_t$  = Rata-rata inflow di Embung dalam setengah bulan dalam ( $m^3/dt$ )

$L_t$  = Kehilangan air pada Embung oleh evapotranspirasi dalam setengah bulan ( $m^3/dt$ )

$St$  = Kehilangan air akibat rembesan melalui pondasi Embung dalam setengah bulan ( $m^3/dt$ )

$S_{Pt}$  = Air yang melalui pelimpah dalam setengah bulanan ( $m^3/dt$ )

$O_t$  = Outflow yang dibutuhkan untuk daerah irigasi proyek dalam setengah bulanan ( $m^3/dt$ )

$W_t$  = Volume Embung dalam setengah bulanan ( $m^3$ )

$dt$  = Periode operasi dari Embung adalah setengah bulanan

Inflow untuk analisis Embung proyek digunakan metode pendekatan, dengan data debit sepanjang 25 tahun atau yang sesuai dengan umur efektif Embung.

Faktor pembatas dari simulasi ini adalah :

- a. Maksimum area yang akan diairi
- b. Kapasitas Embung yang tergantung pada keadaan topografi
- c. Laju sedimentasi di Embung
- d. Kebutuhan air bersih dari target sasaran.
- e. Material yang tersedia

Langkah-langkah dari optimasi proyek akan dilakukan sesuai dengan prosedur dibawah :

- a. Pertama mencari hubungan antara tinggi Embung (ada beberapa alternatif as dan elevasinya ) dan biaya dari bangunan ( biaya ini hanya biaya Embung, tidak termasuk biaya pelimpah dan bangunan lain-lainnya).
- b. Kedua mencari hubungan antara lebar pelimpah dengan perkiraan biaya Embung dalam ketinggian air normal (puncak pelimpah), perkiraan biaya termasuk biaya pelimpah.
- c. Ketiga mencari hubungan antara tinggi Embung ( dengan lebar pelimpah yang optimum dengan perkiraan biaya Embung, termasuk biaya pelimpah.
- d. Keempat mencari hubungan antara tinggi Embung ( tinggi air normal ) dengan produksi pertanian & paternakan dan energi.
- e. Kelima mencari hubungan antara B/C Rasio atau IERR dengan tinggi dari Embung.

Dari hasil perencanaan optimasi proyek ini akan memberikan hasil desain optimum dan rekomendasi yang terdiri atas :

- Tata letak Embung ( site Embung, pelimpah, outlet dan lainnya )
- Tipe dari Embung
- Tinggi Embung
- Lebar pelimpah
- Kebutuhan Air Total
- Perkiraan biaya
- Perkiraan keuntungan

### **5.8.13. Analisis Kelayakan Ekonomi Embung**

#### **a). Umum**

Hasil perencanaan kelayakan Embung sangat tergantung pada data-data pendukung yang telah dikerjakan pada tahap-tahap sebelumnya, seperti hasil survei topografi dan geologi, hidrometri, kualitas dan kelengkapan data yang telah dikumpulkan. Beberapa aspek sebagai dasar pemikiran perencanaan kelayakan Embung dapat diuraikan sebagai berikut :

- Melakukan evaluasi makro manfaat (benefit), yaitu prasarana pengendalian banjir, irigasi dan pengadaan air baku serta PLTM.
- Memformulasikan proyek atas dasar analisa demand-supply serta elastisitasnya. Optimalisasi fungsi serbaguna masing-masing komponen fungsi waduk.
- Melaksanakan survai dampak lingkungan pada tingkat AMDAL, sesuai ketentuan Undang-undang Lingkungan untuk proyek serta AMDAL daerah sekitarnya yang berpengaruh / berdampak dengan dibangunnya Embung / waduk tersebut seperti Desa, Kecamatan hinterlandnya.
- Menganalisa hasil survai dan investigasi lapangan menjadi parameter rancang bangun konstruksi Embung pelengkapannya (appurtenant).
- Merencanakan disain dasar (basic design) bangunan Embung beserta pelengkapannya lengkap dengan dasar perhitungan dan gambar-gambar tipikalnya.
- Menghitung biaya (cost) dari proyek baik dari komponen bangunan-bangunan sipil maupun mesin listrik, termasuk biaya perbaikan dampak negatif lingkungan.



- Mempersiapkan metode pelaksanaan, jadwal implementasi proyek dan alokasi pendanaan proyek.
- Menganalisa tingkat kelayakan proyek secara tekno-ekonomis baik dalam bentuk analisa break-even point, benefit cost ratio maupun internal rate of return (IRR)nya untuk berbagai kondisi.
- Mempersiapkan saran-saran/rekomendasi untuk program kelanjutan perencanaan menuju detailed design level lengkap dengan kebutuhan pelayanan jasa rekayasa (engineering service).
- Menyajikan produk akhir perencanaan kelayakan dalam laporan-laporan yang diperlukan seperti terlihat dalam sub bab berikut.

### b). Benefit Cost Ratio

Dalam menentukan tinggi Embung yang optimum, digunakan analisis ekonomi, yang dikenal dengan istilah nisbah B/C ( B/C ratio ). Perhitungan nisbah B/C didasarkan pada awal tahun perencanaan ( Present value ). Sedangkan nilai manfaat ( benefit ) per-tahun bisa dirumuskan sebagai berikut :

$$B_t = L_t^{P1} \cdot H_t^{P1} \cdot L_t^{P2} \cdot H_t^{P2} \cdot L_t^{P3} \cdot H_t^{P3} - B_{lama} \quad (5.94)$$

dan

$$PBt = B_t \cdot ( P/F , tb \% , t ) \quad (5.95)$$

$$P / F = \left[ \frac{1}{1 + tb} \right]^t \quad (5.96)$$

$$PBT = \sum_{t=1}^n B_t \quad (5.97)$$

dengan :

$B_t$  = Benefit karena adanya proyek tahun ke- t ( rupiah )

$L^{P1}$  = Luas areal pertanian musim-1 yang dapat diiri pada tahun ke-t (ha)

$L^{P2}$  = luas areal pertanian musim-2 yang dapat diairi pada tahun ke-t (ha)

$L^{P3}$  = Luas areal pertanian musim-3 yang dapat diiri pada tahun ke-t (ha)

$H^{P1}$  = Besar keuntungan karena panen pertanian musim-1 yang diperoleh petani dengan adanya proyek ( rupiah )

$H^{P2}$  = Besar keuntungan karena panen pertanian musim-2 yang diperoleh petani dengan adanya proyek ( rupiah )

$H^{P3}$  = Besar keuntungan karena panen pertanian musim -3 yang diperoleh petani dengan adanya proyek. ( rupiah )

$B_{lama}$  = Total besar keuntungan petani tiap tahun bila tanpa proyek

$Pbt$  = Present value benefit, didasarkan tahun awal perencanaan ( rupiah)

$P/F$  = Tingkat produksi mata uang dengan tingkat bunga  $tb$  % dan  $T$  tahun dari perhitungan

$PBT$  = Present value benefit total dengan tingkat bunga  $tb$  % (rupiah)

$$PCT = C_1 \cdot (P/F, tb \%, 1) + C_2 \cdot (P/F, tb \%, 2) + C_3 \cdot (P/F, tb \%, 2) + C_4 \cdot (P/F, tb \%, 32) + \sum_{t=1}^n OM_t \quad (5.98)$$

dengan :

$PCT$  = Present Value cost total dengan tingkat bunga  $tb$  % ( rupiah )

$C_1$  = Biaya konstruksi pada tahun pertama

$C_2$  = Biaya konstruksi pada tahun kedua

$C_3$  = Biaya pembangunan jaringan irigasi, yang dilaksanakan tahun kedua

$C_4$  = Biaya overhaul dari jaringan irigasi pada pertengahan umur proyek (30 Tahun)

$OM_t$  = Biaya operasi dan pemeliharaan pada tahun ke- $t$  ( rupiah )

Dari data diatas dihitung  $B / C$  Ratio, dengan persamaan :

$$\frac{B}{C} = \frac{PBT}{PCT} \quad (5.99)$$

Hasil perhitungan diatas dengan berbagai ketinggian operasi Embung ditunjukkan pada tabel berikut. Sedangkan nilai EIRR diperoleh dengan mencari tingkat bunga bila  $B/C = 1$ .

# DAFTAR PUSTAKA

1. Abbott, M.B., Bathurst, J.C., Cunge, J.A., O'Connell, P.E., and Rasmussen, J., 1986. An introduction to the Hydrological System - Système Hydrologique, 'SHE'. 2: Structure of a physically based, distributed modelling system, *Journal of Hydrology* 87, pp.61-77.
2. Abdurrasyid, J. 1990. Gerusan (Scouring) Pada Belokan Sungai. Skripsi. Universitas Sebelas Maret.
3. Al-Abbas, I.S., Pradjoko, E., Sulistiyono, H. 2021. Flood discharge analysis of Brang Ode River as a disaster mitigation effort in Kalimango Village. *E3S Web of Conferences*. ICDMM. Vol 331, pages 08004. [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/107/e3sconf\\_icdmm2021\\_08004.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/107/e3sconf_icdmm2021_08004.pdf)
4. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith. M. 1998. Crop Evapotranspiration – Guidelines for Computing Crop Water requirement, FAO Irrigation and Drainage. Rome, Italy.
5. Amitaba, I.W., Sulistiyono, H., Suroso, A. 2018. Relationship between discharge and backward bucket dimensions of undershot waterwheel. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. Vol 9, Issue 10 (Oktober, 2018), pages 102-106. [IJCIET\\_09\\_10\\_012.pdf \(iaeme.com\)](http://www.iaeme.com/IJCIET/09_10_012.pdf)
6. Anonim, 1992. Cara Menghitung Design Flood, Balitbang SDA, Kimpraswil, Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
7. Aryanto, B.P., Murtiadi, S., Sulistiyono, H. 2016. Pemilihan Penanganan Keamanan Struktur Jembatan Dengan Metode AHP (Studi Kasus Jembatan Sulin - Lombok Barat). *Spektrum Sipil*. Vol 3, No 2 (2016), hal 167-176. <http://www.spektrum.unram.ac.id/index.php/Spektrum/article/download/89/75/163>
8. Bradbrook, K.F., Biron, P.M., Lane, S.N., Richards, K.S., and Roy, A.G., 1998. "Investigation of controls on secondary circulation in a simple confluence geometry using a three-dimensional numerical model", *Hydrological Processes* 12, pp.1371-1396.
9. Chow, V.T. 1959. *Open Chanel Hydraulics* . New York : Mc. Graw Hill Book Company, Inc.

10. Fibrianti, B.S., Sulistiyono, H., dan Hartana. 2018. A Feasibility Study for Social and General Facilities. *International Journal of Physical Sciences and Engineering (IJPSE)*. Vol 2, Issue 1 (April 2018), pages 57-70. [View of A feasibility study for social and general facilities \(sciencescholar.us\)](#)
11. Hamzanwadi, R., Sulistiyono, H., dan Setiawan, E. 2021. Analysis of Water Balance at Headwork in the Rabalaju Watershed on Sumbawa River Basin. *Media Bina Ilmiah*. Vol 15, No 7 (Februari 2021), hal 4867-4876. <http://ejurnal.binawakya.or.id/index.php/MBI/article/view/966/pdf>
12. Harto, S. 1993. *Analisis Hidrologi*. Gramedia.
13. Huntsberger, D.V. dan Billingsley, P. 2002. *Element of Statistical Inference*. Allyn and Bacon, USA.
14. JICA, 1985. *Hidrologi Terapan: Observasi Hidrologi, Statistik Hidrologi, Perhitungan Aliran*. VSTC
15. Legates, D.R., and McCabe, G.J. Jr., 1999. "Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation", *Water Resources Research* 35(1), pp.233-241.
16. Linsley, R.K. and Paulhus, 1996. *Hydrology For Engineers*. McGraw-Hill.
17. Linsley, R.K., Franzini, J.B., Sasongko, D. 1989. *Teknik Sumber Daya Air*. Erlangga, Jakarta.
18. Lye, L.M. 2003. *An Introduction to Hydrology and Design Flood Estimation*. MUN.
19. Marjikus, P. 1984. *Transportasi Sedimen*, FT. Sipil – UGM.
20. Mays, L.W. 2002, *Water Resources Handbook*, Mc Graw-Hill, USA.
21. Nandari, T.A., Sulistiyono, H., dan Setiawan, E. 2020. Analysis Land Use Changes In Mila Dam Using Software Arcswat. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*. Vol 10, Issue 1 Series II (Januari 2020), pages 32-37. [G1001023237.pdf \(ijera.com\)](#)
22. Prihatin, Y.S., Hariyadi, Sulistiyono, H. 2017. Aplikasi Analytic Hierarchy Process (AHP) Dalam Asesmen Risiko Proyek Konstruksi di Pulau Lombok. *Spektrum Sipil*. Vol 4, No 1 Maret 2017), hal 23-34. <http://spektrum.unram.ac.id/index.php/Spektrum/article/view/101/81>
23. Putra, I.B.G., Sulistiyono, H dan Jayanegara, I.D.G. 2001. Karakteristik Angkutan Sedimen Dalam Rangka Pengaturan Bahan Galian C Pada Sub Daerah Satuan Wilayah Sungai (SWS) Dodokan. Laporan Hibah Penelitian Program Due-Like.

24. Rahmanadi, L. dan Sulistiyono, H. 2018. Hybrid technique between design of experiments and artificial neural networks for rainfall-runoff model calibration method. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*. Vol 9, Issue 1 (Januari 2018), pages 11-21. [https://iaeme.com/Home/article\\_id/IJCIET\\_09\\_01\\_002](https://iaeme.com/Home/article_id/IJCIET_09_01_002)
25. Raju, K.G. R. 1986. *Aliran Saluran Terbuka*. Terj. Yan Peter, Jakarta : Erlangga.
26. Rintis, R. 2006. Presentasi Pengembangan Sumber Daya Air. [mail.uns.ac.id/~rintis/psa/presentasi.html](mailto:mail.uns.ac.id/~rintis/psa/presentasi.html)
27. Saidah, H., Budianto, M.B., Yasa, I.W., Hidayat, S., Negara, I.D.G.J., dan Sulistiyono, H. 2022. Assessment of Duration and Frequency of Drought by Percent Normal Precipitation Index (PNPI) for Lombok Island. *Journal of Science and Science Education (JOSSED)*. Vol 3, Issue 1 (April 2022), pages 22-29. [View of Assessment of Duration and Frequency of Drought by Percent Normal Precipitation Index \(PNPI\) for Lombok Island \(unram.ac.id\)](#)
28. Salas, Delleur, Yevjevich, and Lane, 2003. *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*. Water Resources Publications (WRP).
29. Sasongko, D. 1991. *Teknik Sumber Daya Air*, Erlangga, Jakarta.
30. Setiawan, E., Sasmito, Sulistiyono, H., Budianto, M.B., dan Hidayat, S. 2022. Sistem Monitoring Peringatan Dini Banjir Untuk Mendukung Mitigasi Bencana di Desa Kuta, Kabupaten Lombok Tengah. *Jurnal PEPADU*. Vol 3, No 1 (31 Januari 2022), hal 76-81. <https://jurnal.lppm.unram.ac.id/index.php/jurnalpepadu/article/view/465/454>
31. Setiawan, E., Sulistiyono, H., Budianto, M.B., dan Amirullah. 2005. Efek Pemberian Nilai Awal Parameter Model Nreca Terhadap Konsistensi Hasil Kalibrasi dan Verifikasi. *Jurnal Rekayasa, Fakultas Teknik. Universitas Mataram*.
32. Soemarto, C.D. 1995. *Hidrologi Teknik*. Erlangga.
33. Sosrodarsono, S. dan Takeda, K. 1977. *Bendungan Tipe Urugan*. Pradya Paramita.
34. Sosrodarsono, S. dan Takeda, K. 1993. *Hidrologi untuk Pengairan*. Pradya Paramita.
35. Sudjarwadi, 1988. *Teknik Sumber Daya Air*. Diktat Kuliah S1. PAU Ilmu Teknik. Universitas Gadjah Mada.
36. Sugiura, K. 1977. *Rivers*. Colombo planexpert.
37. Sulistiyono, H., 1990. *Normalisasi Alur Sungai Bengawan Solo Hulu*. Laporan PKL. Universitas Sebelas Maret

38. Sulistiyono, H., 1999. Rainfall Runoff Calibration Using Response Surface Methodology, Thesis. Memorial University of Newfoundland, Canada.
39. Sulistiyono, H., 2003. Prasarana Drainasi Kawasan Tradisional Limbungan, Kabupaten Lombok Timur. Prosiding Kolokium Penanganan Kawasan Permukiman Tradisional Kabupaten Lombok Timur.
40. Sulistiyono, H. dan Mudiyo, 2001. Runoff Model Parameter Estimation Using Experimental Design Method. Jurnal Rekayasa, Fakultas Teknik, Universitas Mataram.
41. Sulistiyono, H. dan Saidah, H., 2004. Pengaruh Durasi Hujan Terhadap Bentuk Dan Puncak Hidrograf Nakayasu, Jurnal Rekayasa, Fakultas Teknik. Universitas Mataram.
42. Sulistiyono, H., Khan, F.I., Saidah, H., Setiawan, E., Yasa, I.W., Suteja, I.W., dan Negara, I.D.G.J. 2022a. The Development of the SARIMA Model for Flood Disaster Resilience. The First Mandalika International Multi-Conference on Science and Engineering 2022, MIMSE 2022 (Civil and Architecture). Vol. 1. 23 December 2022, pages 211-222. <https://www.atlantis-press.com/proceedings/mimse-c-a-22/125979681>
43. Sulistiyono, H., Setiawan, A., dan Salehuddin, 2000 Optimasi Penatagunaan Sumber Daya Air di NTB . Laporan Penelitian. Laporan Hibah Penelitian Program Due-Like.
44. Sulistiyono, H., Yasa, I.W., Setiawan, E., Ahyadi, H., Supardi, Bajsair, H. 2022b. The Modification of Chi-Square Tests for the Identification of Rainfall and River Flow Data Distribution. Civil Engineering and Architecture. Vol. 11, No. 3.
45. Supardi and Sulistiyono, H. 2018. Development of watershed assessment procedure: A new approach. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). Vol 9, Issue 1 (Januari 2018), pages 550-561. [DEVELOPMENT OF WATERSHED ASSESSMENT PROCEDURE: A NEW APPROACH | Source Details | Scope Database \(sdbindex.com\)](#)
46. Sunardi, J.B. 1986. Transportasi Sedimen. FT. Sipil UNS.
46. Surahman, W., Sulistiyono, H., dan Hartana. 2022. Analysis of the Drought Distribution of the Palmer Drought Severity Index (PDSI) Method in the Irrigation Jurang Sate on Lombok River Basin. Media Bina Ilmiah. Vol 16, No 9 (April 2022), hal 7465-7470. [ANALYSIS OF THE DROUGHT DISTRIBUTION OF THE PALMER DROUGHT SEVERITY INDEX \(PDSI\) METHOD IN THE IRRIGATION JURANG SATE ON LOMBOK RIVER BASIN | Surahman | MEDIA BINA ILMIAH \(binawakya.or.id\)](#)
47. Wiest, 2005. Geohydrology. John Wiley & Son.

48. Wijngaard, J.B. and Klein Tank, A.M.G. 2006. Homogeneity of the ECA Temperature Data, Royal Netherlands.
49. Wilson, 1993. Hidrologi Teknik. ITB.

## INDEKS

Akuifer; 7  
Aliran air tanah; 8, 58, 61, 63  
Analisis Kelayakan Ekonomi; 288  
Bendung; 75, 110, 134,  
Bendungan; 4, 21, 69, 75, 113, 117, 134, 144, 181, 200  
*Benefit Cost Ratio*; 289  
Bero; 76  
Durasi hujan; 50, 54, 117  
Durasi hujan kritis; 117  
Embung besar; 57  
Embung kecil; 57, 274  
Faktor Resesi; 63  
*Global Positioning System*; 75  
Hidrograf; 19  
Hidrograf debit; 20  
Hidrograf muka air; 20  
Hidrograf naik; 19, 20  
Hidrograf sedimen; 20  
Hidrograf banjir satuan sintetik; 21  
Hujan efektif; 20, 51, 52, 54, 64, 76, 79, 81, 82, 83, 84  
Hujan konvektif; 17  
Hujan orografik; 18  
Hujan siklon; 17  
*Hydrological cycle*; 2  
*Hydro-power*; 69, 70  
Indeks Kekritisian Air; 93  
Indeks infiltrasi; 245, 246, 247, 273, 282  
Infiltrasi; 8, 63, 64, 78, 118, 119  
Intensitas hujan; 18, 19, 50, 51  
Konservasi; 1, 4, 7, 68, 69, 74, 99, 100, 101,



Kurva naik; 50  
Kurva turun; 50  
*Low flow*; 7,  
Metode Ishiguro; 19  
Metode Mononobe; 19  
Metode *Penman Modified by FAO*; 10, 14  
Metode Sherman; 18  
Metode Talbot; 18  
*Nakayasu*; 49, 50, 51, 120, 121, 245, 251, 283  
Neraca Air; 59, 62, 70, 90  
*Normal Ratio Method*; 31  
Normalisasi; 100, 124, 133, 136, 152, 176  
*One river one plan*; 5  
Optimasi embung; 286  
*Peak flow* ; 7, 35, 245  
Periode Ulang ; 7, 16, 20, 21, 35, 43, 44, 46, 47, 52, 113, 276  
Perkolasi; 8, 76, 77, 78, 265, 267  
Pintu pengambilan embung; 79  
Presipitasi; 1, 7, 8, 17,  
*Reciprocal Method*; 31, 32  
Rencana tindak darurat; 207  
*Return flow* ; 75  
*Return period* ; 17, 42, 114,  
Siklus hidrologi ; 1, 2, 3, 7, 60,  
Tinggi hujan; 17, 51, 52, 117, 246, 248, 268  
Uji Fisher; 22, 23  
Uji abnormalitas; 22, 27  
Uji Rescaled Adjusted Partial Sums; 22, 29

## BIOGRAFI

---



**Ir. Heri Sulistiyono, M.Eng., Ph.D** lahir di Manokwari 13 November 1965. Menyelesaikan pendidikan sarjana (S1) Teknik Sipil bergelar Insinyur (Ir.) dari Universitas Sebelas Maret, Surakarta pada tahun 1991, pendidikan S2 Teknik Sipil bergelar Master of Engineering (M.Eng.) dari Memorial University of Newfoundland, Canada pada tahun 1999, dan pendidikan S3 Teknik Sipil bergelar Philosophy Doctor (Ph.D) dari Memorial University of Newfoundland, Canada pada tahun 2013.

Penulis menjadi dosen di Fakultas Teknik, Universitas Mataram sejak tahun 1993. Pengalaman kerja penulis di bidang Pengembangan Sumber Daya Air selama lebih dari 30 tahun mencakup 1) Pengajaran mata kuliah-mata kuliah: Hidrologi, Hidrologi Lanjut, Irigasi, Drainase, Pengembangan Sumber Daya Air, Operasi Pemeliharaan dan Rehabilitasi Bangunan Air; 2) Pembimbingan Tugas-Tugas Besar: Perhitungan Hidrologi, Perancangan Bangunan Irigasi, Perancangan Bangunan Air; 3) Supervisi-supervisi: Rehabilitasi Bendung, Rehabilitasi Jaringan Irigasi, dan Pembangunan Jaringan Tersier; 4) Perencanaan-perencanaan: Detail Disain Bendungan dan Embung, Pembuatan Manual Operasi dan Pemeliharaan Bendungan, dan Penataan Kawasan Bendungan; 5) Menjadi juri lomba Rancang Bendungan Nasional yang diadakan oleh Fakultas Teknik Sipil-Universitas Mataram; dan aktif sebagai reviewer untuk jurnal Spektrum yang dimiliki oleh Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik-Universitas Mataram serta menjadi reviewer di beberapa konferens internasional, seperti: International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering (ICRMCE) dan Mandalika International Multi Conference on Science and Engineering (MIMSE).