

LAPORAN PENELITIAN



Judul Penelitian

PENGARUH PERUBAHAN IKLIM DAN TATAGUNA LAHAN TERHADAP SISA UMUR BENDUNGAN BATUJAI

Oleh

Ir. Heri Sulistiyono, M.Eng., Ph.D. (NIDN: 0013116502)

Yusron Saadi, ST., M.Sc., Ph.D. (NIDN: 0020106607)

I Wayan Yasa, ST., MT. (NIDN: 0018996802)

Dibiayai dari Sumber Dana DIPA BLU (PNBP) Universitas Mataram

Tahun Anggaran 2015

KELOMPOK PENELITIAN BIDANG ILMU

SUMBER DAYA AIR

PROGRAM PASCASARJANA

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

LEMBAGA PENELITIAN

UNIVERSITAS MATARAM

TAHUN 2015

LAPORAN PENELITIAN



Judul Penelitian

PENGARUH PERUBAHAN IKLIM DAN TATAGUNA LAHAN TERHADAP SISA UMUR BENDUNGAN BATUJAI

Oleh

Ir. Heri Sulistiyono, M.Eng., Ph.D. (NIDN: 0013116502)

Yusron Saadi, ST., M.Sc., Ph.D. (NIDN: 0020106607)

I Wayan Yasa, ST., MT. (NIDN: 0018096802)

Dibiayai dari Sumber Dana DIPA BLU (PNBP) Universitas Mataram

Tahun Anggaran 2015

KELOMPOK PENELITIAN BIDANG ILMU

SUMBER DAYA AIR

PROGRAM PASCASARJANA

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

LEMBAGA PENELITIAN

UNIVERSITAS MATARAM

TAHUN 2015



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS MATARAM
LEMBAGA PENELITIAN

Jl. Pendidikan No.37 Mataram NTB, Tlp.(0370) 641552, 638265
Fax. (0370) 638265, e-mail: lemlit_unram@yahoo.com

**SURAT PERJANJIAN PELAKSANAAN PENUGASAN PENELITIAN
BAGI DOSEN DI LINGKUNGAN UNIVERSITAS MATARAM
SUMBER DANA DIPA BLU UNIVERSITAS MATARAM
TAHUN ANGGARAN 2015**

Nomor : 304.A/SP-BLU/UN18.12.2/PL/2015

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ir. H. Amiruddin, M.Si
Jabatan : Ketua Lembaga Penelitian Universitas Mataram
Alamat : Jln. Pendidikan No. 37 Mataram

Bertindak dan untuk atas nama Lembaga Penelitian Universitas Mataram selanjutnya dalam Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini disebut PIHAK PERTAMA;

dan

1. Nama : Ir. Heri Sulistyono, M.Eng., Ph.D.
2. Nama : Yusron Saadi, ST., M.Sc., Ph.D.
3. Nama : I Wayan Yasa, ST., MT.
Alamat : Program Studi Magister Teknik Sipil, UNRAM. Jl. Majapahit 62 Mataram

Masing-masing bertindak untuk dan atas nama dirinya sendiri serta sekaligus sebagai keseluruhan dalam team kerja yang selanjutnya dalam Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan ini disebut PIHAK KEDUA.

Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini berdasarkan kepada:

1. Keputusan Rektor Universitas Mataram Nomor: 4863/UN18/HK.00.01/2015 tentang Nama-nama dan Judul Penelitian Dosen di Lingkungan Universitas Mataram Tahun Anggaran 2015;
2. Keputusan Pejabat Pembuat Komitmen Universitas Mataram Nomor: 4946/UN18/PPK-BLU/KU/2015 tentang Nama dan Besaran Dana Penelitian Dosen di Lingkungan Universitas Mataram Tahun 2015;
3. Keputusan Rektor Universitas Mataram Nomor: 841/PT21.H/HK.01.06/1994 tentang Pembentukan Lembaga Penelitian UNRAM; dan
4. Keputusan Rektor Universitas Mataram Nomor: 1290/UN18/KP/2012 tentang Pengangkatan Ketua Lembaga Pengabdian kepada Masyarakat, Ketua Lembaga Penelitian serta Ketua dan Sekretaris Lembaga Pengembangan Pendidikan Universitas Mataram Periode Tahun 2012 – 2016.

Pada hari ini **Senin** tanggal **Empat** bulan **Mei** tahun **dua ribu lima belas** kedua belah pihak telah setuju dan bersepakat untuk mengikatkan diri satu kepada yang lain dalam Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian bagi Dosen di Lingkungan Universitas Mataram, Sumber Dana DIPA BLU Universitas Mataram Tahun Anggaran 2015, dengan ketentuan dan syarat-syarat sebagaimana diatur dalam pasal-pasal sebagai berikut:

Pasal 1

LINGKUP KEGIATAN

- (1) PIHAK PERTAMA memberi tugas kepada PIHAK KEDUA dan PIHAK KEDUA menerima tugas tersebut untuk melaksanakan dan sebagai penanggungjawab pelaksanaan penelitian yang berjudul: "Pengaruh perubahan iklim dan tataguna lahan terhadap sisa umur bendungan batujai".
- (2) Pelaksanaan penelitian sebagaimana dimaksud pada ayat (1), mengacu pada Proposal Penelitian yang telah disetujui oleh Lembaga Penelitian Universitas Mataram sebagaimana tercantum dalam lampiran dan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini.

Pasal 2

PEMBIAYAAN

- (1) PIHAK PERTAMA memberikan dana untuk kegiatan sebagaimana dimaksud pada pasal 1 sebesar Rp 15.000.000,- (Lima belas juta rupiah) yang dibebankan pada DIPA BLU Universitas Mataram Tahun Anggaran 2015;
- (2) Pembayaran dana penelitian sebagaimana dimaksud pada pasal 2 ayat (1) oleh PIHAK PERTAMA kepada PIHAK KEDUA dilakukan secara berangsur melalui 2 (dua) tahap sebagai berikut:
 - a. Tahap pertama $80\% \times \text{Rp } 15.000.000,- = \text{Rp } 12.000.000,-$ (Dua belas juta rupiah) setelah Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini ditanda tangani oleh kedua belah pihak;
 - b. Tahap kedua $20\% \times \text{Rp } 15.000.000,- = \text{Rp } 3.000.000,-$ (Tiga juta rupiah) setelah PIHAK KEDUA menyerahkan laporan-laporan pelaksanaan kegiatan dan dokumen-dokumen lain sebagaimana disebutkan dalam Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini kepada PIHAK PERTAMA.

Pasal 3

KEWAJIBAN PAJAK

Segala sesuatu yang berkaitan dengan Pajak berupa PPh dan/atau PPh menjadi tanggungjawab PIHAK KEDUA dan harus disetorkan ke Kas Negara sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Pasal 4

JANGKA WAKTU PELAKSANAAN KEGIATAN

Jangka waktu pelaksanaan kegiatan penelitian sampai selesai 100%, terhitung sejak ditandatangani Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini pada tanggal 04 Mei 2015 dan berakhir sampai dengan tanggal 05 Desember 2015.

Pasal 5

TATA CARA PENGELOLAAN KEUANGAN HIBAH PENELITIAN

- (1) Pengelolaan keuangan hibah penelitian dilakukan secara swakelola oleh PIHAK KEDUA dan berpedoman pada prinsip-prinsip pengelolaan *block grant*, yaitu:
 - a. Menerapkan prinsip keterbukaan, jujur, demokratis, akuntabel, efektif dan efisien;
 - b. Pertanggungjawaban keuangan harus sesuai dengan peraturan yang berlaku;

- c. Pembukuan keuangan penelitian harus tersendiri yang tidak disatukan dengan pembukuan keuangan lainnya;
 - d. Pembukuan keuangan penelitian berisi semua transaksi keuangan menurut urutan tanggal transaksi;
 - e. Menyusun rekapitulasi penggunaan keuangan, termasuk pajak-pajak yang harus dibayarkan kepada kas Negara, dalam bentuk Laporan Penggunaan Keuangan Penelitian disertai bukti-bukti pembayaran kuitansi yang asli dan syah; dan
 - f. Laporan Penggunaan Keuangan Penelitian harus ditandatangani oleh PIHAK KEDUA dan diketahui/disyahkan oleh PIHAK PERTAMA.
- (2) Laporan Penggunaan Keuangan Penelitian harus disampaikan kepada PIHAK PERTAMA dengan pengaturan sebagai berikut:
- a. Laporan penggunaan keuangan penelitian 80% (tahap pertama), yang berisi rekapitulasi dan rincian penggunaannya dalam bentuk *soft copy* format pdf, serta dalam bentuk *hard copy* yang disertai **fotocopy** bukti pembayaran/kuitansi pembayaran yang syah, diserahkan kepada PIHAK PERTAMA sebanyak 3 (tiga) eksemplar selambat-lambatnya **07 September 2015**; dan
 - b. Laporan penggunaan keuangan penelitian 100%, yang berisi rekapitulasi dan rincian penggunaannya dalam bentuk *soft copy* format pdf, serta dalam bentuk *hard copy* yang disertai bukti pembayaran/kuitansi yang asli dan syah, diserahkan kepada PIHAK PERTAMA sebanyak 3 (tiga) eksemplar (**satu yang asli dan dua fotocopy**) selambat-lambatnya **05 Desember 2015**.

Pasal 6

HAK DAN KEWAJIBAN

(1) Hak dan Kewajiban PIHAK PERTAMA

1. Hak PIHAK PERTAMA

- a. Memperoleh data dan informasi yang diperoleh dari hasil kegiatan penelitian yang dilaksanakan oleh PIHAK KEDUA;
- b. Meminta dan menerima laporan-laporan secara periodik mengenai pelaksanaan kegiatan penelitian yang dilakukan oleh PIHAK KEDUA.

2. Kewajiban PIHAK PERTAMA

- a. Menyalurkan bantuan dana penelitian kepada PIHAK KEDUA, sesuai Pasal 2 Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini;
- b. Mengawasi, memantau dan mengevaluasi kegiatan penelitian yang dilaksanakan oleh PIHAK KEDUA.

(2) Hak dan Kewajiban PIHAK KEDUA

- 1. Hak PIHAK KEDUA adalah menerima bantuan dana/uang dari PIHAK PERTAMA sesuai Pasal 2 Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini dan kesepakatan kedua belah pihak;

2. Kewajiban PIHAK KEDUA

- a. Melaksanakan dan menyelesaikan kegiatan sesuai dengan jadwal dan batas waktu yang telah ditetapkan dalam Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini;
- b. Bertanggungjawab penuh terhadap pembelanjaan dana/uang bantuan penelitian yang telah diterima dari PIHAK PERTAMA sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini dan peraturan perundangan yang berlaku;
- c. Berkewajiban membayar pajak berupa:

- 1) Pembelian barang dan jasa dikenakan PPN sebesar 10% dan PPh Pasal 22 sebesar 1,5%;
 - 2) Belanja honorarium dikenakan PPh Pasal 21, dengan ketentuan untuk golongan III 5% bagi yang memiliki NPWP dan 6% bagi yang tidak memiliki NPWP, serta untuk golongan IV sebesar 15%;
 - 3) Pajak-pajak lain sesuai ketentuan yang berlaku;
- d. Berkewajiban mengembalikan sisa dana/uang yang tidak dibelanjakan kepada PIHAK PERTAMA untuk kemudian disetorkan ke Kas BLU Universitas Mataram;
 - e. Menyerahkan kepada PIHAK PERTAMA bukti fisik luaran penelitian yang dijanjikan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 7 Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini;
 - f. Melaporkan kepada PIHAK PERTAMA tentang perkembangan publikasi artikel ilmiah dan/atau perolehan paten secara berkala pada setiap akhir tahun anggaran berjalan;
 - g. Mempresentasikan hasil penelitiannya pada seminar yang akan dilaksanakan oleh Lembaga Penelitian Universitas Mataram dan/atau Fakultas/Program Studi dan/atau Program Pascasarjana;
 - h. Memberikan data, informasi, dan keterangan secara benar dan jujur kepada Tim Monitoring dan Evaluasi (monev) yang berasal dari Lembaga Penelitian Universitas Mataram dan/atau yang ditunjuk oleh PIHAK PERTAMA;
 - i. Menaati teguran/peringatan tertulis yang disampaikan oleh PIHAK PERTAMA;
 - j. Membuat Buku Catatan Harian Penelitian (*logbook*) sesuai ketentuan pada Pasal 9 ayat (3) Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan ini; dan
 - k. Menyampaikan laporan-laporan kepada PIHAK PERTAMA sesuai yang termaktub dalam Pasal 9 Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini.

Pasal 7 LUARAN PENELITIAN

(1) PIHAK KEDUA harus menghasilkan luaran penelitian berupa:

No.	Jenis Luaran Penelitian	Bukti Fisik
Luaran Wajib:		
a	Bahan Ajar	Bahan ajar/draft buku ajar
b	Publikasi Ilmiah	Arikel ilmiah yang dimuat minimal dalam jurnal lokal/proceeding seminar nasional.

- (2) Bukti fisik luaran penelitian sebagaimana tercantum pada ayat (1), harus diserahkan oleh PIHAK KEDUA kepada PIHAK PERTAMA selambat-lambatnya **05 Desember 2015**.
- (3) Apabila PIHAK KEDUA tidak menyerahkan luaran penelitian sebagaimana disebutkan pada ayat (1) dan ayat (2) kepada PIHAK PERTAMA, maka dikenakan sanksi berupa:
 - a. PIHAK KEDUA tidak lagi berhak menerima dana penelitian tahap kedua (20%) dari PIHAK PERTAMA, sebagaimana telah disebutkan dalam Pasal 2 ayat (2) butir b, dan dana tersebut akan dikembalikan ke Kas BLU UNRAM; dan
 - b. PIHAK KEDUA tidak diperkenankan mengajukan usulan penelitian melalui Lembaga Penelitian Universitas Mataram berturut-turut selama 2 (dua) tahun.

Pasal 8 MONITORING

- (1) Monitoring dan evaluasi pelaksanaan penelitian dilakukan oleh PIHAK PERTAMA kepada PIHAK KEDUA dan/atau oleh Tim Monitoring dan Evaluasi (Monev) yang ditunjuk oleh PIHAK PERTAMA;
- (2) Hasil monitoring menjadi acuan untuk pertimbangan pendanaan bagi usulan penelitian tahun berikutnya.

Pasal 9 PELAPORAN

- (1) Laporan terdiri atas:
 - a. Laporan Penggunaan Keuangan Penelitian;
 - b. Buku Catatan Harian Penelitian (*logbook*); dan
 - c. Laporan Penelitian.
- (2) Laporan Penggunaan Keuangan Penelitian:
 - a. Laporan disusun dengan berpedoman pada prinsip-prinsip pengelolaan *block grant* sebagaimana disebutkan dalam Pasal 5 ayat (1) Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini;
 - b. Laporan diserahkan kepada PIHAK PERTAMA sebanyak 3 (tiga) eksemplar;
 - c. Waktu penyerahan laporan oleh PIHAK KEDUA kepada PIHAK PERTAMA sebagaimana diatur pada Pasal 5 ayat (2) Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini; dan
 - d. Apabila PIHAK KEDUA tidak melakukan sebagaimana disebutkan pada Pasal 9 ayat (2) butir a, b dan c di atas, maka PIHAK PERTAMA berhak memotong 15% dari total dana penelitian PIHAK KEDUA untuk pembayaran pajak yang akan disetorkan ke kas Negara.
- (3) Buku Catatan Harian Penelitian (*logbook*):
 - a. Disusun berdasarkan tahapan-tahapan pelaksanaan kegiatan penelitian;
 - b. Ditulis tangan asli menurut urutan: tanggal dan bulan, nama kegiatan, hasil kegiatan, kendala, dan lain-lain yang dianggap penting;
 - c. Buku Catatan Harian Penelitian (*logbook*) tentang perkembangan kegiatan penelitian tahap pertama (80%), diserahkan kepada PIHAK PERTAMA sebanyak 3 (tiga) eksemplar (fotocopy) selambat-lambatnya **07 September 2015**;
 - d. Buku Catatan Harian Penelitian (*logbook*) keseluruhan (100%) kegiatan penelitian, diserahkan kepada PIHAK PERTAMA sebanyak 3 (tiga) eksemplar (fotocopy) selambat-lambatnya **05 Desember 2015**, sedangkan *logbook* yang asli disimpan oleh peneliti sebagai dokumen.
- (4) Laporan Penelitian:
 - a. Disusun berdasarkan hasil pelaksanaan kegiatan penelitian;
 - b. Laporan harus menggambarkan tentang keseluruhan proses pelaksanaan kegiatan dan hasil-hasil penelitian yang telah dicapai;
 - c. Laporan yang disampaikan harus sesuai dengan proposal yang sudah disetujui oleh PIHAK PERTAMA;
 - d. Laporan disusun sesuai dengan format dan sistematika Laporan Penelitian, sebagaimana telah ditentukan dalam buku Panduan Pelaksanaan Penelitian Sumber Dana PNB dan Swadana Universitas Mataram Edisi III, yang diterbitkan oleh Lembaga Penelitian Universitas Mataram Tahun 2014.
 - e. Laporan harus diserahkan oleh PIHAK KEDUA dalam bentuk *hard copy* sebanyak 6 (enam) eksemplar disertai *soft copy*nya (1 keping CD) kepada PIHAK PERTAMA selambat-lambatnya **05 Desember 2015**; dan

- f. Penyerahan Laporan Penelitian oleh PIHAK KEDUA kepada PIHAK PERTAMA, harus disertai dengan dokumen lain berupa:
- 1) Bukti fisik luaran penelitian, sebagaimana dimaksud pada Pasal 7 Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini;
 - 2) Laporan penggunaan keuangan penelitian 100%, dalam bentuk *hard copy* sebanyak 3 (tiga) eksemplar (satu yang asli dan dua fotocopy), sebagaimana dimaksud dalam Pasal 5 ayat (2) butir b Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini;
 - 3) Buku Catatan Harian Penelitian (*logbook*) sebanyak 3 (tiga) eksemplar (*fotocopy*), sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (3) butir d Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini; dan
 - 4) Satu keping CD yang berisi file elektronik (format "pdf") Laporan Penelitian (butir e) dan butir 1), 2), serta 3) di atas.

Pasal 10

PERUBAHAN PENELITIAN

- (1) Apabila PIHAK KEDUA, karena satu dan lain hal bermaksud merubah pelaksanaan, judul, jangka waktu, lokasi penelitian, dan/atau Tim Peneliti pada pelaksanaan penelitian yang telah disepakati dalam Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini, maka PIHAK KEDUA harus mengajukan permohonan perubahan tersebut secara tertulis kepada PIHAK PERTAMA.
- (2) Perubahan pelaksanaan penelitian sebagaimana dimaksud dalam Pasal 10 ayat (1) di atas, dapat dibenarkan bila telah mendapat persetujuan lebih dahulu secara tertulis dari PIHAK PERTAMA.
- (3) Dalam hal Ketua Pelaksana Penelitian tidak dapat menyelesaikan pelaksanaan penelitian ini sepenuhnya, maka PIHAK KEDUA harus menyepakati dan menunjuk penggantinya yang berasal dari anggota tim peneliti yang berkompoten dalam bidang penelitian tersebut atas persetujuan PIHAK PERTAMA.

Pasal 11

HAK ATAS KEKAYAAN INTELEKTUAL

- (1) Hak Kekayaan Intelektual yang dihasilkan dari pelaksanaan penelitian ini, diatur dan dikelola sesuai dengan peraturan dan perundang-undangan yang berlaku dan dimanfaatkan sebesar-besarnya untuk pelaksanaan tridharma perguruan tinggi di Universitas Mataram.
- (2) Dalam hal terjadi tuntutan dari pihak lain atas penggunaan suatu teknologi tertentu oleh PIHAK KEDUA dalam rangka pekerjaan berdasarkan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini, maka PIHAK PERTAMA terbebas dari segala tuntutan pihak lain tersebut.

Pasal 12

PERALATAN ILMIAH DAN BARANG INVENTARIS

- (1) Peralatan ilmiah dan barang inventaris, pengadaannya dilaksanakan oleh PIHAK KEDUA, yang berpedoman pada Peraturan Perundangan yang berlaku.
- (2) Semua hasil penelitian berupa peralatan dan/atau barang inventaris yang diperoleh melalui anggaran penelitian ini adalah milik Universitas Mataram yang dapat dihibahkan kepada institusi/lembaga/masyarakat melalui Surat Keterangan Hibah.

Pasal 13

KEADAAN KAHAR (*FORCE MAJEURE*)

- (1) Keadaan kahar (*force majeure*) adalah suatu keadaan yang terjadi di luar kehendak kedua belah pihak yang mempengaruhi pelaksanaan Surat Perjanjian ini sehingga pekerjaan yang telah ditentukan dalam Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini menjadi tidak dapat dipenuhi.

- (2) Hal-hal yang termasuk keadaan kahar (*force majeure*) sebagaimana tercantum pada ayat (1) Pasal ini adalah peperangan, kerusuhan, revolusi, bencana alam (banjir, gempa bumi, badai, gunung meletus, tanah longsor, wabah penyakit dan angin topan), pemogokan, kebakaran dan gangguan industri lainnya, serta keadaan lainnya sesuai dengan Peraturan Perundangan yang berlaku.
- (3) Keterangan tentang kebenaran adanya keadaan kahar (*force majeure*) sebagaimana tercantum pada ayat (1) dan ayat (2) Pasal ini harus dibuat oleh instansi/pejabat yang berwenang.
- (4) Apabila terjadi keadaan kahar (*force majeure*) sebagaimana tercantum pada ayat (1) dan ayat (2) Pasal ini, maka PIHAK KEDUA wajib memberikan laporan tertulis kepada PIHAK PERTAMA paling lambat 14 (empat belas) hari kalender setelah terjadinya keadaan kahar tersebut, untuk kemudian ditindaklanjuti oleh PIHAK PERTAMA.

Pasal 14

SANKSI

- (1) Apabila batas waktu habisnya masa penelitian ini PIHAK KEDUA belum juga menyerahkan hasil pekerjaan seluruhnya kepada PIHAK PERTAMA, maka PIHAK KEDUA dikenakan denda sebesar 1/1000 (satu permil) setiap hari keterlambatan terhitung dari tanggal jatuh tempo yang telah ditetapkan (tanggal 05 Desember 2015) sampai setinggi-tingginya 5% (lima persen) dari nilai Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini.
- (2) Apabila PIHAK KEDUA tidak menyerahkan laporan hasil penelitian dalam akhir tahun anggaran yang sedang berjalan dan waktu proses pencairan biayanya telah berakhir, maka sisa biaya yang bersangkutan, yang belum sempat dicairkan dinyatakan hangus dan dikembalikan ke kas BLU UNRAM.
- (3) Dalam hal PIHAK KEDUA tidak dapat memenuhi Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini hingga tanggal **15 Desember 2015**, maka PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana penelitian yang telah diterimanya kepada PIHAK PERTAMA untuk selanjutnya disetorkan kembali ke Kas BLU UNRAM.
- (4) Apabila jangka waktu pelaksanaan kegiatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 4 Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini tidak dapat dipenuhi, maka untuk selanjutnya PIHAK PERTAMA akan mempertimbangkan usul-usul penelitian berikutnya yang berasal dari PIHAK KEDUA.
- (5) Apabila di kemudian hari terbukti bahwa judul penelitian sebagaimana tersebut dalam Pasal 1 terdapat indikasi duplikasi dan/atau ketidakjujuran/itikad kurang baik yang tidak sesuai dengan kaidah ilmiah, maka penelitian tersebut dinyatakan batal dan PIHAK KEDUA wajib mengembalikan dana penelitian yang telah diterimanya kepada PIHAK PERTAMA untuk selanjutnya disetor kembali ke Kas BLU UNRAM.

Pasal 15

PERUBAHAN ISI SURAT PERJANJIAN

Perubahan isi Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini dapat dilakukan sesuai kesepakatan kedua belah pihak, yang akan dituangkan dalam suatu Amendemen, yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini.

Pasal 16

PENUTUP

- (1) Surat Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini dibuat rangkap 3 (tiga), 2 (dua) rangkap dibubuhi meterai Rp 6.000,- (enam ribu rupiah) yang biaya meterainya dibebankan kepada PIHAK KEDUA.

2) Hal-hal yang belum diatur dalam Surat Perjanjian Pelaksanaan Penugasan Penelitian ini, akan diatur kemudian oleh kedua belah pihak secara musyawarah.

PIHAK PERTAMA
Kebudayaan Penelitian UNRAM



[Signature]
Ir. Amiruddin, M.Si.
NIP. 19621231 198703 1 024

Mengetahui :
Rektor Universitas Mataram,



[Signature]
Prof. Ir. Sunarpi, Ph.D
NIP. 19620804 198609 1 001

PIHAK KEDUA
Tim Pelaksana Penelitian
Kelas



[Signature]
Ir. Heri Sulistyono, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19651113 199403 1 001

Anggota 1,

[Signature]

Yusron Saadi, ST., M.Sc., Ph.D.
NIP. 19661020 199303 1 003

Anggota 2,

[Signature]

I Wayan Yasa, ST., MT.
NIP. 19680918 199512 1 001

HALAMAN PENGESAHAN

1	Judul Penelitian	:	Pengaruh Perubahan Iklim Dan Tataguna Lahan Terhadap Sisa Umur Bendungan Batujai
2	Topik Unggulan	:	Perubahan Iklim dan Keragaman Hayati
3	Kelompok Peneliti Bidang Ilmu	:	Sumber Daya Air
4	Ketua Peneliti a. Nama Lengkap b. NIP c. NIDN d. Jabatan Fungsional e. Fakultas/Jurusan f. Alamat Institusi g. Telepon/e-mail	:	Ir. Heri Sulistiyono, M.Eng., Ph.D. 196511131994031001 0013116502 Lektor Kepala Teknik/Teknik Sipil Jl. Majapahit 62 Mataram 081907593105/h.sulistiyono@unram.ac.id
5	Waktu Penelitian	:	8 bulan
6	Pembiayaan a. PNBP UNRAM b. Biaya dari Instansi lain c. Biaya dari peneliti sendiri	:	Rp. 15.000.000,00 - -

Mataram, Desember 2015

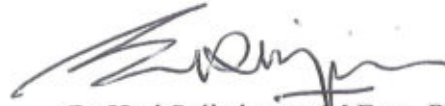
Mengetahui:

Ketua Kelompok Peneliti Bidang Ilmu,



(I Wayan Yasa, ST., MT.)
NIP: 196809181995121001

Ketua Peneliti,



(Ir. Heri Sulistiyono, M.Eng., Ph.D.)
NIP: 196511131994031001

Mengetahui:

Direktur Program Pascasarjana
Universitas Mataram



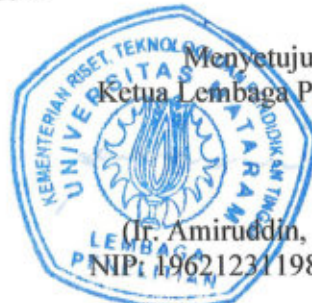
(Prof. Ir. T Komang Damar Jaya, M.Sc.Agr., Ph.D.)
NIP: 196212311987031394

Mengetahui:

Ketua Program Studi
Magister Teknik Sipil



(Ir. Heri Sulistiyono, M.Eng., Ph.D.)
NIP: 196511131994031001



Menyetujui:
Ketua Lembaga Penelitian

(Ir. Amiruddin, M.Si.)
NIP: 196212311987031024

ABSTRAK

Permasalahan kekurangan air di NTB secara umum diatasi dengan pembuatan embung dan bendungan. Dalam perencanaan bendungan, umur rencana bendungan diestimasi berdasarkan laju sedimentasi yang mengisi kantong endapan sedimen dalam bendungan. Bendungan menjadi tidak berfungsi lagi atau dikatakan telah mati jika volume kantong endapan sedimen telah penuh. Permasalahan yang sering terjadi pada embung dan bendungan dalam operasionalnya adalah terjadinya pengurangan sisa umur bendungan yang ditandai dengan menurunnya kemampuan bendungan menyediakan air. Hal ini disebabkan, antara lain oleh perubahan iklim dan perubahan tataguna lahan. Informasi perubahan iklim global dapat diperoleh dari hasil simulasi General Circulation Model (GCM) dengan menskalakecilkan informasi tersebut menggunakan model iklim local. Informasi mengenai perubahan tataguna lahan dapat diperoleh dari instansi-instansi setempat.

Bendungan Batujai di Praya, Lombok Tengah yang telah beroperasi mulai 1982 akan digunakan sebagai kasus studi penelitian ini. Terpilihnya Bendungan Batujai untuk kasus studi berdasarkan indikasi terjadi penurunan kemampuan Bendungan Batujai untuk mengairi lahan pertanian. Data-data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data GCM dari tahun 1900 sampai 2100 dari Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), data sekunder iklim setempat dari tahun 1982 sampai 2014 didapat dari Stasiun Klimatologi Kediri, data sedimentasi Bendungan Batujai dari pengelola Bendungan Batujai, dan data tataguna lahan mulai tahun 1982 sampai 2014 dari berbagai instansi terkait di Lombok Tengah.

Hasil pengukuran menunjukkan sedimentasi yang terjadi di Bendungan Batujai pada tahun 2015 atau pada umur 33 tahun yaitu $1.398.000 \text{ m}^3$. Selanjutnya, diketahui bahwa perubahan kapasitas tampungan Bendungan Batujai akibat sedimentasi umur 23 tahun yaitu sebesar $23.620.000 \text{ m}^3$ dengan volume sedimen sebesar $1.200.000 \text{ m}^3$, umur 33 tahun yaitu $23.422.000 \text{ m}^3$ dengan volume sedimen sebesar $1.398.000 \text{ m}^3$, umur 35 tahun yaitu $23.337.000 \text{ m}^3$ dengan volume sedimen sebesar $1.482.705 \text{ m}^3$ dan umur 50 tahun yaitu $22.702.000 \text{ m}^3$ dengan volume sedimen sebesar $2.118.150 \text{ m}^3$. Laju sedimentasi yang sangat besar ini terbukti dalam penelitian ini dipacu oleh perubahan iklim dan perubahan tataguna lahan. Dari hasil evaluasi tersebut, maka diketahui bahwa umur guna Bendungan Batujai hanya mencapai umur 35 tahun yaitu mulai dari tahun 1982 sampai tahun 2017, sisa umur guna Bendungan Batujai yaitu 2 tahun atau sampai pada tahun 2017 dari tahun 2015 dengan besarnya volume sedimentasi yaitu $1.482.705 \text{ m}^3$ karena telah menutupi volume tampungan mati (*dead storage*) sebesar $1.400.000 \text{ m}^3$. Untuk menambah umur Bendungan ini, maka dapat dilakukan usaha pengerukan sedimen dan untuk menurunkan laju sedimentasi dapat dibuat checkdam di sungai-sungai di hulu Bendungan batujai.

DAFTAR ISI

COVER.....	1
ABSTRAK.....	2
DAFTAR ISI.....	3
BAB I. PENDAHULUAN.....	4
1.1. Latar Belakang.....	4
1.2. Permasalahan.....	4
1.3. Tujuan dan Keutamaan Penelitian.....	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Umum.....	6
2.2. Landasan Teori	9
BAB III. METODE PENELITIAN	29
3.1. Metode dan Tahapan Pelaksanaan.....	29
3.2. Lokasi Penelitian	33
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1. Data Teknis Bendungan	34
4.2. Lengkung Kapasitas Bendungan	35
4.3. Tata Guna Lahan Daerah Aliran Bendungan Batujai.....	40
4.4. Permodelan Sedimen Bendungan.....	40
4.5. Permodelan Iklim	41
4.6. Perkiraan Usia Guna Waduk Berdasarkan Metode The Empirical Area Reduction.....	49
4.7. Pengaruh Sedimentasi Terhadap Umur Bendungan.....	80
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	83
5.1. Kesimpulan.....	83
5.2. Saran	83
DAFTAR PUSTAKA	84

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Secara umum permasalahan kekurangan air di Nusa Tenggara Barat diatasi dengan pembuatan embung dan bendungan. Embung dan bendungan adalah bangunan air yang digunakan untuk menampung dan menyimpan air [Surahman et al., 2005] Volume tampungan bendungan terbagi atas 2 bagian yaitu volume tampungan air dan volume tampungan sedimen. Dimana volume tampungan sedimen menentukan umur operasi bendungan atau dikenal dengan istilah umur bendungan. Jika volume tampungan sedimen di suatu embung atau bendungan telah penuh, maka umur operasi bendungan tersebut telah habis. Umur embung atau bendungan direncanakan berdasarkan laju sedimentasi dan volume tampungan sedimen. Sisa umur embung atau bendungan dipengaruhi oleh laju pengisian sedimen pada tampungan sedimen di suatu embung atau bendungan.

Umur bendungan direncanakan sedemikian rupa sehingga bendungan tersebut dapat bermanfaat secara ekonomi. Namun saat beroperasi, sering didapat bahwa laju sedimentasi menjadi lebih cepat dibandingkan dengan laju sedimentasi rencana sehingga dikhawatirkan umur rencana embung atau bendungan tidak dapat tercapai.

Bendungan Batujai dibangun pada Brang Penujak dengan luas Daerah Aliran Sungai (DAS) 169 km². Bendungan ini mulai beroperasi sejak 1982 untuk menampung kelebihan air pada musim penghujan dan digunakan secara periodic dan terkontrol pada musim kemarau untuk mengairi lahan pertanian penujak, Setanggor, Darek, Ungga, Ranggagata, dan sekitar Kecamatan Praya Barat Kabupaten Lombok Tengah seluas 3.350 ha, dan untuk pembangkit listrik tenaga microhydro dengan daya maksimum terpasang sebesar 150 KW [Raiz, 2013].

1.2. PERMASALAHAN

Permasalahan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh dari perubahan iklim dan perubahan tataguna lahan terhadap peningkatan laju sedimentasi Bendungan Batujai,

2. Bagaimana hubungan persamaan antara peningkatan laju sedimentasi dan pengurangan sisa umur Bendungan Batujai yang ditandai dengan semakin berkurangnya kemampuan mengairi lahan pertanian.

1.3. TUJUAN DAN KEUTAMAAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Membuat permodelan yang mampu mensimulasi kinerja iklim lokal untuk mendapatkan besaran-besaran perubahan elemen-elemen iklim lokal akibat perubahan iklim global,
2. Membuat permodelan untuk memprediksi lebih lanjut laju perubahan tataguna lahan berdasarkan laju peningkatan jumlah penduduk,
3. Membuat permodelan hubungan antara perubahan tataguna lahan dan perubahan iklim terhadap perubahan laju sedimentasi Bendungan Batujai,
4. Mengestimasi pengurangan sisa umur Bendungan Batujai menggunakan permodelan yang telah dibuat pada poin 3,
5. Merekomendasi usaha-usaha yang signifikan untuk memperlambat pengurangan bahkan memperpanjang sisa umur Bendungan Batujai.

Keutamaan penelitian ini adalah mendapatkan ilmu pengetahuan baru di bidang pengelolaan sumberdaya air mengenai pengaruh faktor perubahan iklim dan tataguna lahan terhadap perencanaan umur bendungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Banyak orang mencemaskan terjadinya perubahan iklim karena unsur-unsur iklim memainkan peran penting dalam berbagai aspek kehidupan manusia [Sulistiyono,2013]. Perubahan iklim adalah perubahan secara permanen karakteristik-karakteristik statistik dari elemen-elemen iklim seperti radiasi matahari, temperature udara, kecepatan angin, kelembaban udara, presipitasi, dan tekanan udara untuk periode waktu yang panjang, seperti puluhan sampai jutaan tahun [IPCC, 2001; dan Pryor, 2009]. Perubahan iklim ini disebabkan oleh variasi radiasi matahari, variasi putaran bumi, aktivitas gunung api, pergerakan lempengan bumi, varibilitas pergerakan air laut, dan akibat kegiatan manusia [IPCC, 2007]. Banyak pengaruh akibat perubahan iklim yang diprediksi menyebabkan kerugian, termasuk diantaranya adalah melelehnya es di kutub yang menyebabkan kenaikan muka air laut, perubahan pola dan curah hujan yang menjadi ekstrim [IPCC, 2007].

Di masa lalu, desain teknik sipil didasarkan pada asumsi bahwa unsur-unsur iklim tidak akan berubah. Namun, menurut catatan sampai dengan saat ini diketahui bahwa iklim dan kondisi hidrologi menunjukkan perubahan [IPCC, 2007]. Oleh karena itu, desain teknik sipil di masa depan harus mempertimbangkan kemungkinan efek perubahan iklim [Sulistiyono, 2013]. Dalam Pengembangan Sumber Daya Air, perencanaan bangunan air didasarkan pada unsur-unsur iklim, yaitu: curah hujan, suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin, dan radiasi matahari. Unsur-unsur iklim ini berpengaruh terhadap ketersediaan air dan laju sedimentasi [Dingman, 2002; Viessman, 2003; Tallaksen and Van Lanen, 2004; Majone et al., 2012; dan Sulistiyono, 2011]. Sulistiyono (2013) telah berhasil membuat permodelan hybrid antara metode aljabar dan metode stokastik untuk mengetahui perubahan unsur-unsur iklim lokal di Sungai Jangkok mengikuti perubahan iklim global.

Informasi mengenai perubahan iklim secara global dapat diperoleh dari simulasi General Circulation Models (GCMs), atau disebut juga Global Climate Models. GCM adalah model matematik yang dikembangkan menggunakan high-level supercomputers atau massively parallel computers untuk mensimulasi secara global fungsi kinerja bumi dan system iklim yang merepresentasi circulation global dari atmosphere and ocean

dalam hubungannya dengan scenario emisi [IPCC, 2001]. Namun, hasil simulasi GCM tidak dapat digunakan secara langsung untuk keperluan informasi iklim local, karena resolusi GCM sangat kasar yaitu meliputi wilayah 10.000 km² sampai 360.000 km². Oleh karenanya informasi dari GCM harus diskalakecilkan untuk mendapatkan informasi perubahan iklim dalam skala local yang dapat digunakan untuk keperluan analisis dan perencanaan teknik sipil [Lopes, 2009; Sulistiyono, 2012].

Sampai saat ini model untuk menskalakecilkan informasi perubahan iklim dari GCM dikelompokkan menjadi dua, yaitu: model dinamik dan model statistik [Wilby et al., 2004]. Model dinamik membutuhkan perangkat computer yang sangat massif dan mahal. Umumnya model-model ini hanya mampu dikembangkan oleh lembaga-lembaga dengan sumber dana pemerintah. Namun dari hasil penelitian para ahli statistik, Hay and Clark, 2003; Wilby et al., 2004; McDaniels dan Dowlatabadi, 2008; dan Sulistiyono, 2012 diketahui bahwa model statistik mampu menskalakecilkan informasi perubahan iklim dari GCM dengan cukup akurat. Selain mempengaruhi pola dan curah hujan, perubahan iklim juga dikuatirkan ikut berperan mengubah keadaan lahan menjadi ekstrik [US. EPA, 2010].

Sedimentasi merupakan proses kelanjutan dari peristiwa erosi atau terkikisnya permukaan akibat air hujan. Tanah tersebut mengalir melalui cekungan-cekungan, Saluran-saluran air kemudian masuk ke sungai. Sungai selain berfungsi sebagai sarana mengalirkan air juga berfungsi sebagai bahan-bahan pengangkut material yang berupa sedimen (Qohar, 2002).

Proses sedimentasi meliputi erosi, transportasi, pengendapan dan pemadatan dari sedimentasi itu sendiri. Proses tersebut berjalan sangat kompleks dimulai dari jatuhnya air hujan yang menghasilkan energi kinetik yang merupakan permulaan dari proses erosi. Begitu tanah menjadi partikel halus, lalu menggelinding bersama aliran, sebagian akan tertinggal di atas tanah sedangkan bagian lainnya masuk ke sungai terbawa aliran menjadi angkutan sedimen (Suroso dkk, 2007).

Sedimen adalah hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya. Sedimen umumnya mengendap di bagian bawah kaki bukit, di daerah genangan banjir, di saluran air, sungai dan bendungan. Hasil sedimen (*sediment yield*) adalahnya besarnya sedimen yang berasal dari erosi yang terjadi di daerah tangkapan air yang diukur pada periode waktu dan tempat tertentu. Hasil sedimen

biasanya diperoleh dari pengukuran sedimen terlarut (*suspended sediment*) atau dengan pengukuran langsung di dalam bendungan atau waduk (Asdak, 2010).

Kapasitas angkutan sedimen pada penampang memanjang sungai adalah besaran sedimen yang lewat penampang tersebut dalam satuan waktu tertentu. Sungai disebut dalam keadaan seimbang jika kapasitas sedimen yang masuk pada suatu penampang memanjang sungai sama dengan kapasitas sedimen yang keluar dalam satuan waktu tertentu. Proses penggerusan, pengendapan atau mengalami angkutan seimbang pada sungai perlu diketahui kuantitas sedimen yang terangkut. Pengendapan akan terjadi saat kapasitas sedimen yang masuk lebih besar dari kapasitas sedimen seimbang dalam satuan waktu. Sedangkan penggerusan adalah suatu keadaan dimana kapasitas sedimen yang masuk lebih kecil dari kapasitas sedimen seimbang dalam satuan waktu (Saud, 2008).

Hal yang tidak mungkin dihindari adalah masuknya aliran sungai ke dalam bendungan membawa angkutan sedimen dan mengendap sehingga menyebabkan pendangkalan bendungan. Akumulasi sedimen sungai yang terendap di dalam bendungan akan mengurangi kapasitas dan masa operasi bendungan. Sehingga dalam menentukan laju sedimen bendungan perlu diperhatikan debit sedimen yang masuk ke bendungan dan berat spesifik dari endapan sedimen. Selain itu, jika jumlah sedimen yang masuk melewati suatu penampang tetap sama dengan jumlah sedimen yang keluar pada satu satuan waktu tertentu. Pengetahuan transportasi sedimen bertujuan untuk mengetahui suatu sungai dalam keadaan penggerusan, pengendapan atau mengalami seimbang (Priyantoro dalam Suhudi, 2008).

Menurut Kironoto (2001), penentuan masa operasi bendungan didasarkan pada berbagai faktor yang terkait, seperti besar angkutan sedimen (*suspended* dan *bed load*) di alur sungai, nilai erosi DAS, nilai *trap efficiency* bendungan, dan data fisik bendungan. Semua faktor-faktor tersebut erat kaitannya dengan permasalahan sedimentasi bendungan dengan penekanan pada masalah umur ekonomi bendungan.

2.2 Landasan Teori

2.2.1. Sedimentasi

Sedimen yang sering dijumpai di dalam sungai, baik terlarut atau tidak terlarut, adalah merupakan produk dari pelapukan batuan induk yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan, terutama perubahan iklim. Hasil pelapukan batuan induk tersebut kita kenal sebagai partikel-partikel tanah. Pengaruh tenaga kinetis air hujan dan aliran air permukaan

(untuk kasus di daerah tropis), partikel-partikel tanah tersebut dapat terkelupas dan terangkut ke tempat yang lebih rendah untuk kemudian masuk ke dalam sungai dan dikenal sebagai sedimen. Oleh adanya transpor sedimen dari tempat yang lebih tinggi ke daerah hilir dapat menyebabkan pendangkalan waduk, sungai, saluran irigasi, dan terbentuknya tanah-tanah baru di pinggir-pinggir sungai (Asdak, 2010).

Proses sedimentasi meliputi proses erosi, angkutan (transportasi), pengendapan (*deposition*), dan pemadatan (*compaction*) dari sedimen itu sendiri. Proses ini berjalan sangat kompleks, dimulai dari jatuhnya hujan yang menghasilkan energi kinetik yang merupakan permulaan dari proses erosi. Begitu tanah menjadi partikel halus lalu menggelinding bersama aliran, sebagian tertinggal di atas tanah sedangkan bagian lainnya masuk ke sungai terbawa aliran menjadi angkutan sedimen. Sedimentasi menjadi penyebab utama berkurangnya produktivitas lahan pertanian, dan berkurangnya kapasitas saluran, sungai atau bendungan akibat pengendapan material hasil erosi. Seiring berjalannya waktu, aliran air terkonsentrasi kedalam suatu lintasan-lintasan yang agak dalam dan mengangkut partikel tanah dan diendapkan ke daerah di bawahnya yang mungkin berupa sungai, waduk, saluran irigasi, ataupun area pemukiman penduduk (Hardiyatmo, 2006).

Jumlah dan besarnya sedimen yang berasal dari suatu lahan dipengaruhi oleh beberapa komponen yaitu (Kironoto, 2003):

1. Besarnya curah hujan

Besarnya curah hujan maka kecepatan atau laju air tanah membawa sedimen juga semakin besar sehingga proses pendangkalan juga akan semakin cepat terjadi.

2. Geologi dan sifat tanah permukaan

Jenis lapisan tanah dan batuan penyusunnya juga mempengaruhi besarnya jumlah komponen sedimen. Berdasarkan susunan batuan dan tanah yang padat akan lebih sulit mengalami erosi serta terbawa oleh aliran air dibandingkan dengan permukaan tanah yang memiliki butiran halus dan lunak atau tidak padat.

3. Kemiringan tanah dan sungai.

Kemiringan tanah pada sungai akan mempengaruhi laju aliran air dalam membawa komponen yang menyebabkan sedimentasi, hal ini dikarenakan energi kinetik pada tanah dengan kemiringan yang tinggi akan lebih kecil dan lebih mudah berkumpul pada daerah yang lebih rendah akibat gaya gravitasi.

4. Tata guna lahan

Lahan merupakan bagian dari bentang alam (*landscape*) yang mencakup pengertian lingkungan fisik termasuk iklim, topografi/relief, hidrologi dan bahkan keadaan vegetasi alami yang secara potensial akan berpengaruh terhadap penggunaan lahan. Namun, adanya erosi serta sedimentasi pada suatu bendungan atau penggunaan lahan yang berkaitan dengan perairan seperti sungai akan menyebabkan efektifitas penggunaan lahan berkurang akibat penurunan tampungan debit air yang semakin sedikit dari pendangkalan bendungan atau sungai. Semakin luas dan dalam lahan yang digunakan sebagai bendungan maka semakin besar pula volume sedimen yang dapat ditampung dari proses sedimentasi.

5. Luas daerah tangkapan

Berkaitan dengan luas bendungan atau sungai yang dapat menampung sedimen selama proses sedimentasi. Besarnya jumlah sedimen berbanding lurus dengan luas dari bendungan atau sungai.

Dari kelima faktor di atas yang paling berpengaruh terhadap besarnya sedimen di bendungan adalah curah hujan tahunan. Namun demikian pengetahuan mengenai kelima faktor tersebut tidak menjamin ketepatan perkiraan volume sedimen yang masuk ke bendungan, sehingga perlu juga di tinjau jumlah dan besarnya sedimen yang berasal dari suatu transport sedimen pada alur sungai antara lain yaitu :

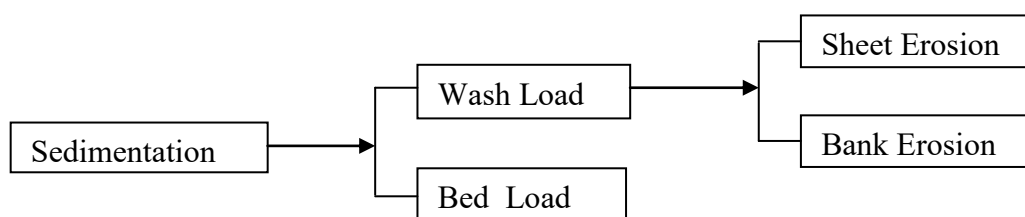
- a. Kemiringan (*slope*) sungai
- b. Material dasar sungai (gradasi butiran)
- c. Dimensi penampang sungai
- d. Debit sungai
- e. Kecepatan aliran

Eksplorasi lahan secara besar-besaran yang dilakukan di daerah tangkapan air dan mengabaikan aspek konservasi lahan dapat merupakan penyebab terjadinya erosi tanah yang menjadi sumber bahan sedimen yang akhirnya akan terbawa oleh aliran air sampai di suatu lokasi, sehingga terjadinya sedimentasi tidak sesuai dengan tata guna lahan yang seharusnya (Suripin, 2004). Adapun faktor yang mempengaruhi volume sedimen yang masuk ke bendungan di tinjau dari 2 (dua) aspek yaitu (Kironoto, 2003):

- a. Produksi sedimen dari lahan
- b. Transport sedimen pada alur sungai

Terjadinya muatan sedimen pada badan air diawali dengan proses butiran dan masa tanah oleh pukulan air hujan, selanjutnya butiran-butiran tanah tersebut di bawa oleh aliran permukaan ke dalam saluran hingga menuju alur sungai. Pada kondisi saat energi aliran yang tersedia tidak lagi cukup untuk mengangkut partikel maka akan terjadi pengendapan baik pada permukaan tanah, alur saluran dan sungai maupun muara. Aliran permukaan dalam perjalannya menuju saluran juga akan mengikis permukaan tanah sesampainya di sungai, partikel-partikel tanah tersebut bergerak didalam aliran menuju daerah hilir yang dapat berupa bendungan danau atau laut.

Sedimen yang terbawa oleh aliran air secara umum terdiri dari dua model "*wash load*" yang berasal dari daerah aliran sungai (DAS) dan "*bed load*" yang berasal dari alur dasar sungai. *Wash load* dapat dibagi menjadi dua bagian" yaitu yang berasal dari erosi permukaan (*sheet erosion*) dan yang berasal dari erosi pada dinding alur sungai (*bank erosion*) seperti yang tergambar pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Skema Asal Sedimentasi
(Sumber : Jansen et al dalam Widalia, 2014)

Berdasarkan Gambar 2.1 diatas menjelaskan bahwa sedimen merupakan proses terkikisnya butiran tanah yang berpengaruh penting terhadap perencanaan, pengembangan, pemanfaatan dan pemeliharaan sumber daya air. Angkutan sedimen yang terdapat di dalam waduk dapat diuraikan berdasarkan klasifikasi sebagai berikut :

- a. *Wash load* adalah muatan partikel-partikel halus berupa lempung (*Silt*), dan debu (*Dust*), yang terbawa oleh aliran sungai (Rouf, 2004). Partikel-partikel ini akan terbawa oleh aliran sampai laut, atau dapat mengendap pada aliran yang tenang atau yang tergenang. *Wash load* biasanya berupa butiran halus dan berlindung diantara butir-butir yang lebih besar, baru terangkat jika tidak mempengaruhi dasar sungai. Sumber *wash load* berasal dari hasil pelapukan lapisan atas batuan atau tanah di daerah aliran sungai, hasil tersebut akan dibawa oleh hujan atau angin ke dalam sungai atau alur-alur kecil didalam daerah aliran sungai (DAS) (Dicky, 2006).

- b. *Suspended load* sedimen melayang dapat dikatakan sebagai material dasar sungai (*bed load*) yang bergerak melayang di dalam aliran sungai yang terdiri dari angkutan sedimen berdasarkan sumber asal sedimen angkutan material dasar *Wash load* *Suspended load* *Bed load*, angkutan sedimen digolongkan berdasarkan mekanisme Pengangkutan sebagian besar butiran-butiran pasir halus yang senantiasa didukung oleh air dan hanya jarang ekali interaksinya dengan dasar sungai, karena selalu terdorong ke atas oleh turbulensi air. Pada sungai pendek *suspended load* dapat dianggap tetap konsentrasinya, tetapi pada seluruh alur sungai konsentrasinya dapat bervariasi (Kironoto, 2001).
- c. *Bed load* merupakan partikel-partikel kasar yang bergerak sepanjang dan dekat dengan dasar sungai secara keseluruhan. *Bed load* ini dapat ditunjukkan oleh gerakan-gerakan partikel-partikel dasar, gerakan tersebut dapat bergeser, menggelinding, atau meloncat-loncat, akan tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai. Sedimen sangat tergantung pada debit aliran yang terjadi di daerah aliran sungai (Dicky, 2006). Aliran pada sungai, secara umum membawa sejumlah sedimen, baik sedimen suspensi (*suspended load*) maupun sedimen dasar (*bed load*). Adanya perubahan angkutan sedimen dasar (*bed load*) akan disertai dengan perubahan konsentrasi sedimen suspensi. Konsentrasi sedimen suspensi dan distribusi kecepatan diketahui berubah dari tengah ke arah tepi saluran. Zainuddin serta Kironoto (2003), melaporkan bahwa adanya sedimen suspensi dapat mempengaruhi bentuk distribusi kecepatan, yang akan mempengaruhi besaran kecepatan gesek yang ditimbulkannya. Adanya *bed load* yang diketahui mempengaruhi kandungan konsentrasi sedimen suspensi, dan juga mempengaruhi bentuk distribusi kecepatan, diperkirakan juga mempengaruhi besarnya kecepatan gesek.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Aryo (2005), faktor yang mempengaruhi adanya sedimentasi berdasarkan analisis regresi yaitu perubahan tata guna lahan dengan koefisien korelasi (r) sebesar 0,66 antara luasan lahan dengan sedimen dan 0,68 antara luasan lahan dengan erosi, sehingga dapat memperkirakan efisiensi serta umur guna suatu lahan. Perhitungan umur guna bendungan juga dapat dilakukan dengan metode regresi linier yaitu dengan mengolah data umur bendungan serta hasil pengukuran volume sedimentasi yang kemudian dapat diprediksikan sisa umur guna bendungan. Selain itu, pada penelitian yang dilakukan oleh Susanti dan

Hendrie (2006) dengan menggunakan metode analisa regresi terhadap waduk Selorejo menghasilkan laju sedimentasi pada umur layanan ke-28 tepatnya pada tahun 1998, volume sedimen menunjukkan angka sebesar 12,324 juta m³ dan sudah melebihi kapasitas tampungan mati waduk sebesar 12,2 juta m³.

Penelitian yang telah dilakukan oleh Kristanto (2006) mengenai analisis sedimen terhadap usia guna bendungan Sempor”, menyimpulkan bahwa usia guna bendungan Sempor dapat diprediksi dengan menggunakan dua metode, yaitu berdasarkan kapasitas tampungan mati dengan memperhitungkan besarnya berat volume kering serta kapasitas tampungan yang tersedia, dan berdasarkan besarnya distribusi sedimen yang mengendap di tampungan dengan menggunakan *the empirical area reduction method* yang menghasilkan tidak adanya penyimpangan yang berarti. Selain itu, dari penelitian Widalia (2014) menggunakan metode yang sama seperti diatas pada bendungan Pengga dapat memperkirakan usia bendungan tersebut hanya mencapai umur 40 yaitu mulai dari tahun 1994 sampai tahun 2034 dengan besarnya volume sedimentasi yaitu 16.786.750 m³, dimana sisa umur Bendungan Pengga setelah lamanya beroperasi sekitar 21 tahun.

Proses sedimentasi bendungan tersebut menimbulkan banyaknya bangunan-bangunan air yang telah terbangun kurang dapat berfungsi secara optimal dikarenakan adanya laju erosi dan sedimentasi yang tinggi serta sering terjadinya penurunan kapasitas tampung suatu bendungan yang berakibat pada menurunnya fungsi dari bendungan (Priyantoro dalam Widalia, 2014) serta berkurangnya produktivitas lahan pertanian, dan berkurangnya kapasitas saluran (Hardiyatmo, 2006). Maka dari itu, untuk dapat meningkatkan efisiensi umur layanan bendungan perlu diketahui besarnya laju sedimentasi sehingga dapat dicarikan solusinya.

2.2.2 Bendungan

Bendungan merupakan suatu bangunan air yang dilengkapi dengan tampungan yang bisa dimanfaatkan baik itu bersifat *multi purpose* maupun *single purpose*. Suatu bendungan yang dibangun dengan cara menimbulkan bahan-bahan seperti batu, krakal, kerikil, pasir dan tanah pada komposisi tertentu dengan fungsi sebagai pengangkat permukaan air yang terdapat didalam waduk di hulu disebut bendungan tipe urugan. Berdasarkan ukuran butiran dari bahan timbunan yang digunakan secara umum dapat dibedakan menjadi dua tipe bendungan urugan yaitu bendungan urugan batu (*rock fill dam*) dan bendungan urugan tanah (*earth fill dam*). Selain kedua jenis tersebut terdapat pula bendungan urugan campuran, terdiri dari timbunan batu dibagian hilirnya yang

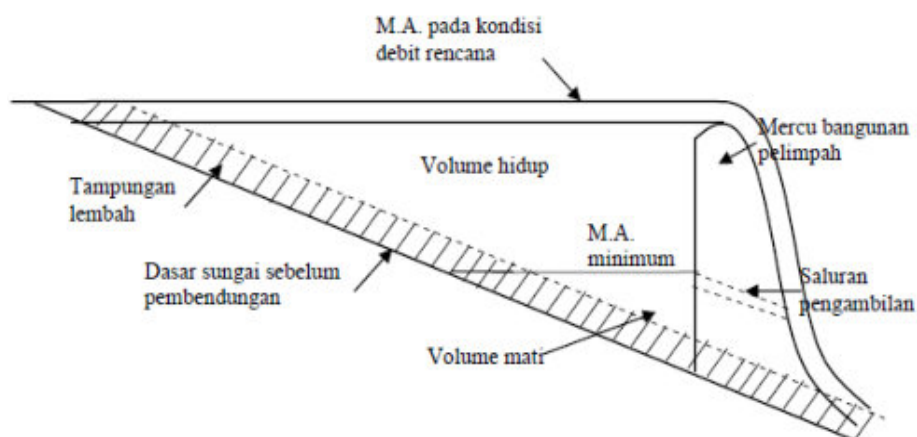
berfungsi sebagai penyangga sedangkan bagian udiknya terdiri dari timbunan tanah yang juga berfungsi sebagai penyangga tambahan serta tirai kedap air (Sosrodarsono, 2002).

Tujuan akhir dari semua bendungan adalah sebagai tempat penyimpanan air yang dijadikan sebagai sumber irigasi serta sebagai pembangkit listrik tenaga air dan sebagainya. Selain itu, dapat diisi dengan sedimen yang jika sedimen inflow besar dibandingkan dengan kapasitas bendungan, umur guna bendungan mungkin menjadi lebih singkat (Anonim, 2015).

Menurut Kasiro *et al.*,(2003), kapasitas bendungan secara umum dibedakan menjadi tiga yaitu:

- a. Kapasitas Mati (*Dead Storage*)
- b. Kapasitas pelayanan (*Active Storage*)
- c. Kapasitas total

Keandalan suatu bendungan didefinisikan oleh Linsley (2005) sebagai besarnya peluang bahwa bendungan tersebut mampu memenuhi kebutuhan yang direncanakan sesuai dengan usia layannya tanpa adanya kekurangan. Usia layan bendungan dapat diperhitungkan dengan menetapkan seluruh jumlah waktu yang diperlukan oleh sedimen untuk mengisi volume tampungan matinya. Volume mati bersama-sama dengan volume hidup, tinggi muka air minimum, tinggi mercu pelimpah, dan tinggi muka air maksimum merupakan bagian-bagian pokok karakter fisik suatu bendungan yang akan membentuk zona-zona volume suatu bendungan seperti yang terlihat pada Gambar 2.2.

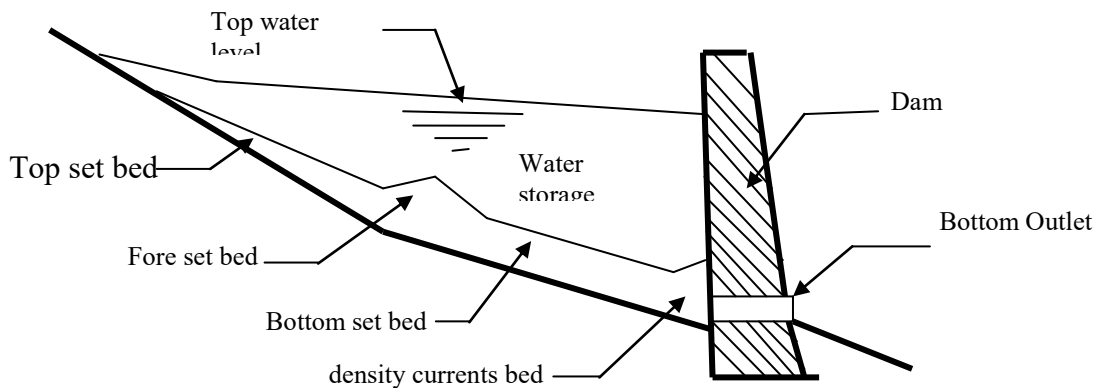


Gambar 2.2 Zona-zona Volume Suatu Bendungan
(Sumber : Jansen *et al.*, dalam Widalia, 2014)

Seiring berjalannya waktu pengoperasian bendungan, terjadi sedimentasi di area genangan sehingga menyebabkan berkurangnya kapasitas tampungan. Deskripsi

berkurangnya kapasitas bendungan ditunjukkan dalam Gambar 2.3. Endapan tersebut terdiri dari empat lapisan yaitu:

- a. *Top set beds*
- b. *Fore set beds*
- c. *Bottom set beds* dan
- d. *Densiti current sed beds*



Gambar 2.3 Deskripsi Berkurangnya Kapasitas Waduk karena Sedimentasi
(Sumber : Mays et al.,2004)

Top set beds dan *fore set beds* adalah yang disebut “delta “ dan di bentuk oleh partikel yang relatif kasar yang bergerak sepanjang dasar sungai. Diantara lapisan tersebut, *fore set beds* dibentuk oleh *bed load* yang di endapkan tepat setelah bagian hilir dari bagian atas delta dan pengendapan dari pada *suspended load* dan *wash load*

Keadaan slopenya relatif curam. *Bottom set beds*, adalah bagian endapan dari *suspended load* dan *wash load*. *Density current sed beds*, adalah lapisan dengan partikel-partikel halus yang di angkat sepanjang dasar sungai dan diendapkan dekat bendungan. Pola distribusi sedimen dibendungan dipengaruhi oleh :

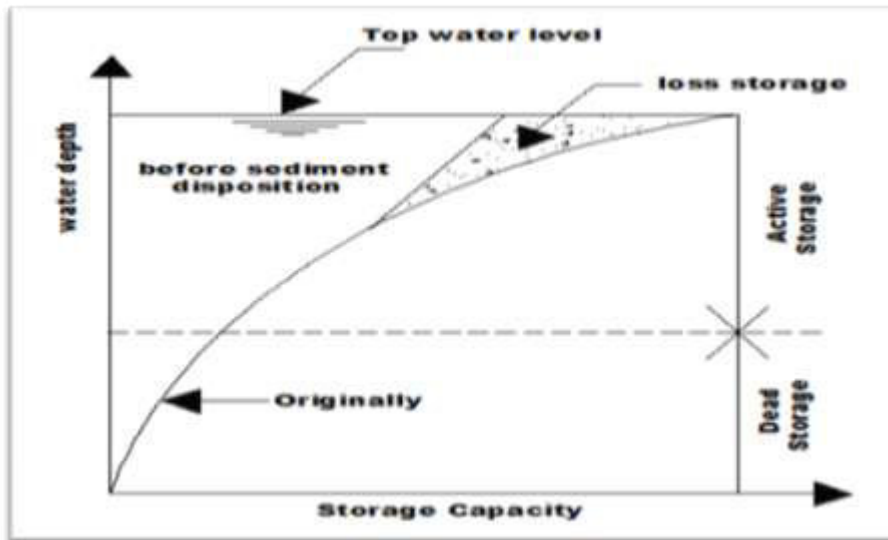
- a. Jenis muatan sedimen
- b. Ukuran dan bentuk bendungan
- c. Lokasi dan ukuran outlet

Secara umum ada tiga kemungkinan untuk mengatasi sedimentasi waduk, yaitu :

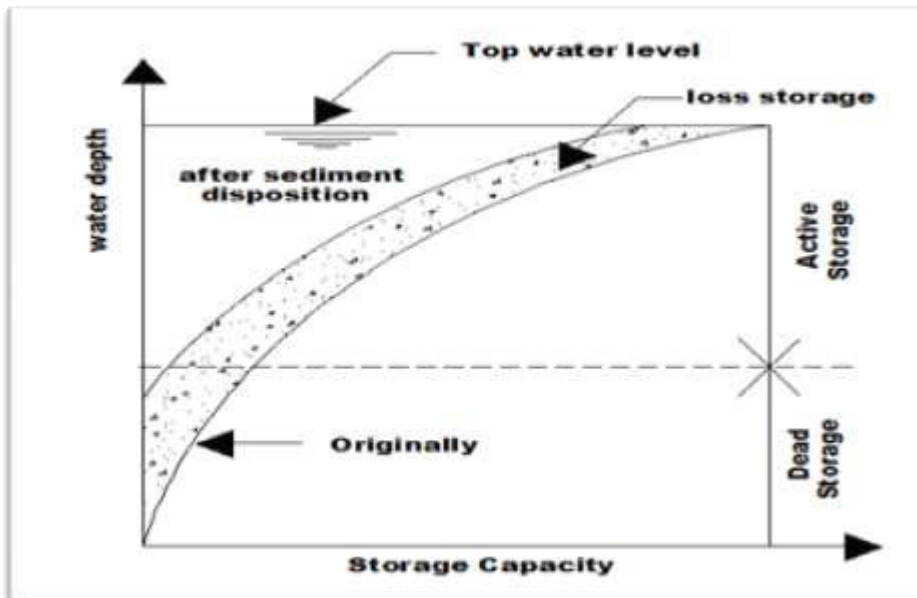
1. Menjaga/mempertahankan agar sedimen yang masuk waduk serendah mungkin (*minimization of sediment inflow*)

2. Menjaga agar sedimen yang masuk tetap dalam suspensi dan melepaskannya ke hilir sebelum sedimen sempat mengendap (*sediment sluicing*).
3. Mengeluarkan sedimen yang telah mengendap (*sediment extraction*)

Bila dijelaskan dalam bentuk grafik, maka dapat digambarkan pada Gambar 2.4 yaitu grafik berkurangnya kapasitas bendungan karena sedimentasi.

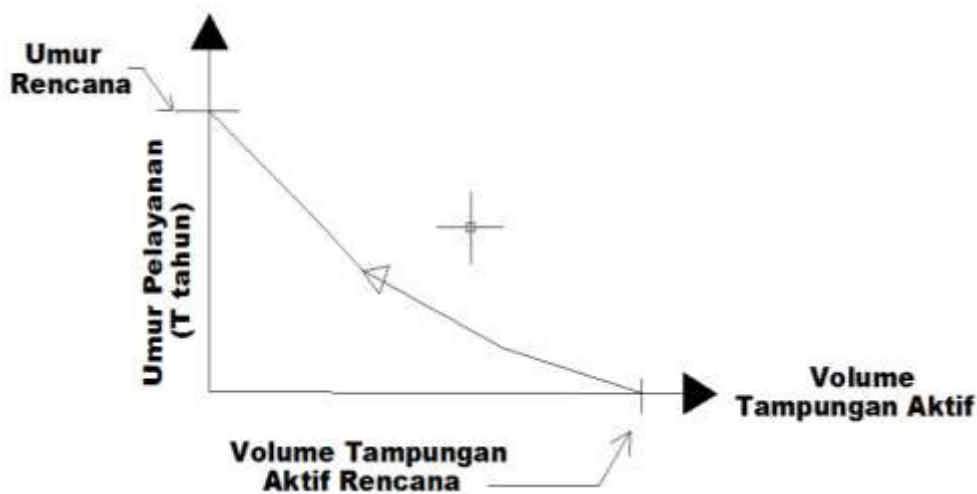


Gambar 2.4a Grafik Berkurangnya Kapasitas Bendungan Karena Sedimentasi
(Sumber : Mays et al., 2004)



Gambar 2.4b Grafik Berkurangnya Kapasitas Bendungan Karena Sedimentasi
(Sumber : Mays et al., 2004)

Umur pelayanan bendungan merupakan fungsi dari volume tampungan aktif (Ilyas et al., dalam Kurnia, 2015). Semakin menyusut volume tampungan aktif menandakan semakin pendek umur pelayanan bendungan. Penyusutan volume tampungan aktif lebih banyak disebabkan karena bertambahnya volume sedimen yang masuk ke dalam bendungan. Hubungan antara umur pelayanan dengan volume tampungan aktif dalam m^3 dapat digambarkan pada Gambar 2.5. Pada awal umur pelayanan diperoleh volume tampungan aktif rencana, saat tampungan aktif 0 didapat umur rencana waduk.



Gambar 2.5 Hubungan antara Umur Pelayanan dan Volume Tampungan Aktif

(Sumber : Mays et al., 2004)

Untuk mengeluarkan sedimen dari dalam waduk, ada beberapa metode yang telah digunakan, namun dalam pelaksanaannya perlu dipertimbangkan baik secara ekonomis dan teknis menguntungkan. Pada prinsipnya terdapat dua kondisi sedimen yang akan dikeluarkan dari dalam waduk yaitu :

- a. Sedimen belum mengendap dalam waduk (masih melayang)

Untuk kondisi-kondisi khusus yakni kandungan sedimen sangat tinggi sehingga menyebabkan *high density gradient* dan dasar sungai asli lurus dengan kemiringan tajam, aliran masuk tidak terdistribusi secara merata ke seluruh waduk, tetapi akan mengalir dibawah air waduk yang relatif jernih, mengikuti dasar sungai asli. Aliran ini biasa dinamakan *density current* yang dapat dimanfaatkan untuk *flushing sediment*. Maka pada kondisi sedimen belum mengendap didasar waduk, untuk mengeluarkan sedimen dari waduk dapat menggunakan cara klasik tersebut diatas, yaitu dengan

memanfaatkan density current. Cara ini hanya dapat dilakukan jika tersedia *bottom outlet* dengan kapasitas yang memadai.

b. Sedimen sudah mengendap dalam waduk.

Fakta menunjukkan bahwa sedimen yang telah mengendap tidak mudah untuk dibuat melayang kembali (*resuspension*), terutama material berkohesi. Untuk itu, akan sangat menguntungkan kalau dapat memperlambat proses pengendapan dan mencoba untuk membuangnya keluar dari waduk sebelum sedimen sempat mengendap. Pada kondisi sedimen sudah mengendap dalam waduk, secara umum pengeluaran sedimen dari waduk dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu :

1. Tanpa bantuan energi dari luar yaitu dengan memanfaatkan energi potensial air waduk untuk menggelontor sedimen (*flushing*)
2. Dengan bantuan energi dari luar yaitu dilakukan dengan memanfaatkan alat-alat mekanik (*mechanical excavation*) atau yang umum kita kenal dengan istilah *dredging*.

Sedimentasi pada bendungan dihitung dengan perhitungan sedimen yang meliputi debit sedimen yang masuk, debit sedimen yang keluar dan pengendapan sedimen di dalam bendungan. Sedimen yang mengendap di dalam bendungan dapat dihitung dengan salah satu cara :

- a. Melakukan dua kali pengukuran volume tampungan bendungan pada waktu yang berbeda dengan pendekatan survey hidrologi. Pengukuran dapat dilakukan sebelum dan setelah pengenangan, atau kedua pengukuran tersebut dilakukan setelah bendungan di operasikan. Selisih kapasitas hasil pengukuran merupakan volume sedimen yang mengendap selama dalam selang waktu kedua pengukuran tersebut. Metode ini menghasilkan pengukuran yang lebih pasti dibandingkan dengan cara lain. Metode ini, mengukur bendungan dengan volume genangan dan pantulan suara (*echosounding*), daerah genangan bendungan dibagi menjadi beberapa penampang melintang pada lokasi yang sesuai dengan kondisi lapangan dan dianggap dapat mewakili untuk perhitungan volume. Lokasi penampang ini akan digunakan pada pengukuran bentuknya. Pada setiap penampang lintang dilakukan pengukuran kedalaman terhadap suatu titik ikat. Dari hasil pengukuran ini, dibuat peta kontur dengan dasar elevasi tertentu, misalnya 2,5 m dengan skala peta 1: 10.000 perhitungan volume dengan menggunakan metode luasan kontur peta genangan. metode ini dapat menghasilkan volume waduk yang benar baik pada kondisi

sebelum maupun setelah mengalami sedimentasi. Hasil perhitungan luasan kontur yang diperoleh merupakan hasil luas pada elevasi tertentu di area genangan bendungan. Volume genangan di antara 2 buah garis kontur dapat di hitung dengan rumusan (Chow V.T., dalam Widalia, 2014) :

$$V = \frac{1}{3} (H_{i+1} - H_i)(A_i + A_{i+1} + \sqrt{A_i \times A_{i+1}}) \dots\dots\dots(2.1)$$

$$C = \sum V \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana :

V = volume tampungan antara garis kontur ke I dan I + (m³)

C = Volume Tampungan Waduk (m³)

H_i = elevasi garis kontur ke-I (m)

H_{i+1} = elevasi garis kontur ke i+1 (m)

A_i = luas bidang kontur ke i (m²)

A_i = luas bidang kontur ke i+1 (m²)

Volume genangan seluruhnya dihitung dengan menjumlahkan seluruh volume di antara garis kontur ke-I dan garis kontur i+1. Perhitungan volume dilakukan sebelum dan setelah bendungan mengalami sedimentasi, misalkan dalam selang waktu ΔT. Volume sedimen yang diendapkan di dalam bendungan pada selang waktu (ΔT) adalah selisih volume genangan sebelum dan setelah waktu ΔT tersebut.

$$V_{\Delta T} = V_{T1} - V_{T2} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

V_{ΔT} = volume sedimen dalam selang waktu V_{ΔT} (m³)

V_{T1} = volume genangan pada pengukuran T₁ (m³)

V_{T2} = volume genangan pada pengukuran T₂ (m³)

Hasil perolehan pengukuran bendungan dengan pendekatan survey hidrologi berupa volume sedimen, sedangkan hasil perhitungan sedimen yang masuk berupa berat untuk merubah volume menjadi berat perlu dihitung kepadatan endapan sedimen dari waktu ke waktu akibat pengaruh konsolidasi. Dengan pengukuran sedimen yang masuk (*inflow*) dan sedimen yang keluar dari bendungan (*outflow*). Sedimen yang masuk ke dalam bendungan dihitung dengan sedimentologi atau hidrologi (*hydrological study*)

2.2.2.1 Perkiraan Usia Guna (*Useful Life*) Bendungan

Usia guna bendungan adalah masa manfaat bendungan dalam menjalankan fungsinya sampai terisi penuh oleh sedimen kapasitas tampungan matinya. Dalam hal ini untuk memprediksikan usia guna bendungan berdasarkan pada dua cara, yaitu (Qohar, 2002):

a. Perkiraan usia guna berdasarkan kapasitas tampungan mati (*dead storage*).

Perhitungan ini berdasarkan pada berapa waktu yang dibutuhkan oleh sedimen untuk mengisi kapasitas tampungan mati. Dengan diketahui besarnya kapasitas tampungan mati dan besarnya kecepatan laju sedimen yang mengendap, maka akan diketahui waktu yang dibutuhkan sedimen untuk mengisi pada daerah tampungan mati. Semakin bertambah umur maka semakin berkurang kapasitas tampungan matinya, yang kemudian akan mengganggu pelaksanaan operasional bendungan. Sehingga hal ini merupakan acuan untuk memprediksikan kapan kapasitas tampungan mati tersebut akan penuh. Sisa umur bendungan dihitung melalui besarnya rata-rata masukan sedimen ke bendungan dikurangi pengeluaran sedimen dalam satu tahun, kemudian dikalikan jumlah tahun operasi bendungan sehingga diketahui volume *sediment yield* saat ini. Setelah itu hubungkan dengan rencana umur bendungan yang diperkirakan ketika akan membangun bendungan. Dari hasil perhitungan data-data itu kita akan memperoleh perkiraan sisa umur bendungan dengan mengetahui besar kapasitas volume tampungan mati bendungan dengan volume sedimen yang masuk ke tampungan mati bendungan dalam satu tahun.

b. Perkiraan usia guna berdasarkan besarnya distribusi sedimen yang mengendap di tampungan dengan menggunakan “*The Empirical Area Reduction Method*”.

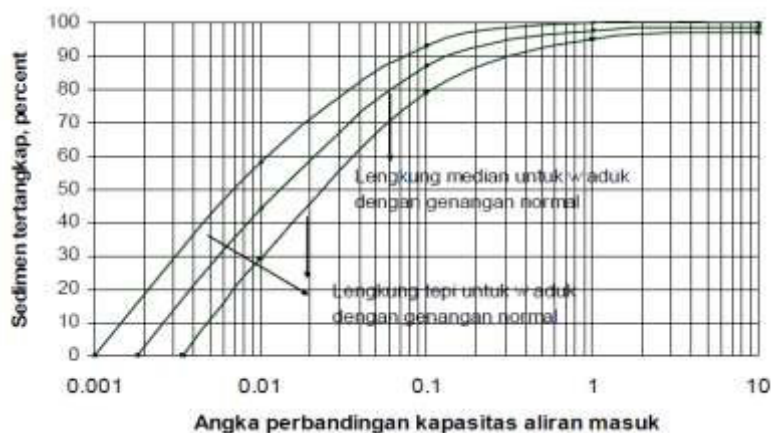
Metode ini pertama kali diusulkan oleh Lane dan Koezler (1935), yang kemudian dikembangkan oleh Borland Miller (1958, dalam USBR,1973) dan Lara (1965, dalam USBR,1973). Metode ini dapat memprediksikan bagaimana sedimen terdistribusi di dalam bendungan pada masa-masa yang akan datang. Dalam perhitungan ini sebagai acuan untuk menentukan usia guna bendungan berdasar pada hubungan fungsi antara luas genangan dengan elevasi genangan dan kapasitas tampungan. Sebagai patokan elevasi pintu pengambilan sebagai acuannya. Sehingga apabila elevasi pintu pengambilan akan dicapai oleh elevasi endapan sedimen, maka kegiatan operasional bendungan akan terganggu, yang pada akhirnya secara teknis akan mengakibatkan tidak berfungsinya bendungan .

2.2.2.2 Pengendapan sedimen di bendungan

Nasib akhir dari semua bendungan adalah terisi penuh oleh sedimen pada kapasitas tampungan matinya. Bila sedimen yang masuk lebih besar dibandingkan kapasitas tampungan mati bendungannya, maka masa manfaat bendungan tersebut akan pendek. Perencanaan bendungan haruslah meliputi pertimbangan tentang kemungkinan laju pengendapan, untuk menetapkan apakah masa manfaat bendungan yang direncanakan cukup untuk menjamin pembangunannya. Pengendapan sedimen yang terjadi di suatu bendungan dipengaruhi oleh (Qohar, 2002):

a. Efisiensi tangkapan sedimen (*Trap Efficiency*)

Untuk menghitung jumlah sedimen yang tertahan atau mengendap di dalam bendungan, yaitu dengan mencari besarnya *trap efficiency* yang didefinisikan sebagai perbandingan antara jumlah sedimen yang mengendap di bendungan dengan total angkutan sedimen yang masuk ke dalam bendungan. Dalam menggunakan metode ini dapat diperkirakan besarnya *trap efficiency* secara empiris didasarkan pada pengukuran endapan sedimen di beberapa bendungan besar, bahwa besarnya *trap efficiency* tergantung dari perbandingan antara kapasitas tampung bendungan dan jumlah air yang masuk ke bendungan dalam setahun. Untuk perhitungan ini dalam menentukan besarnya *trap efficiency*, terlebih dahulu ditentukan perbandingan antara kapasitas tampungan dengan inflow aliran tahunan. Setelah diperoleh nilai perbandingan antara C/I , maka besarnya *trap efficiency* dapat dicari dengan menggunakan grafik, hubungan antara *ratio of reservoir capacity to annual inflow* (sumbu x) dengan *sediment trapped percent* (sumbu y), lihat pada Gambar 2.6. Nilai *trap efficiency* akan berkurang sejalan dengan operasional bendungan karena kapasitas bendungan akan terus berkurang akibat sedimen.



Gambar 2.6 Grafik Hubungan Capacity – Inflow Ratio(Sumber : Linsley, 2005)

b. Berat Volume Kering

Besarnya angkutan sedimen yang masuk ke dalam bendungan dinyatakan dalam satuan berat per satuan waktu yang dikonversikan kedalam satuan volume per satuan waktu. Berat volume kering adalah masa sedimen kering dalam satuan volume. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi berat volume kering di bendungan, antara lain:

1. Cara pengoperasian bendungan.
2. Tekstur atau ukuran partikel sedimen.
3. Tingkat pemadatan
4. Kemiringan dasar sungai.

Menurut Yang bahwa penggolongan jenis bendungan berdasarkan operasi bendungan dapat diklasifikasikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Pembagian Tipe Bendungan Berdasarkan Cara Operasinya

Tipe Bendungan	Operasi Bendungan
1	Sedimen selalu terendam atau hampir terendam
2	Umumnya draw down bendungan sedang sampai besar
3	Bendungan umumnya kosong
4	Sedimen dasar sungai

(Sumber : Dicky, 2006)

2.2.3 Distribusi sedimen di dasar bendungan.

Aliran air sungai yang membawa sedimen menuju ke bendungan dengan kecepatan turbelensi yang besar dari aliran akan berangsur-angsur berkurang. Partikel melayang (*suspended load*) dengan partikel ukuran yang cukup besar dan sebagian dari muatan dasar (*bed load*) akan mengendap membentuk delta di bagian hulu bendungan, partikel yang lebih kecil akan tetap melayang terangkut oleh aliran dan akan mengendap lebih jauh di bagian hilirnya. Partikel-partikel yang lebih kecil lagi dapat tetap melayang dan sebagian darinya mungkin akan melewati bendungan bersama-sama dengan aliran yang melalui alur buangan, turbin-turbin, atau pelimpah. Dengan adanya pengendapan sedimen karena proses tersebut, terbentuklah distribusi endapan sedimen di dalam bendungan.

Disini distribusi endapan akan ditentukan dengan suatu metode yang dikenal dengan *the empirical area reduction method* sebagai dasar untuk menghitung besarnya distribusi sedimen. Data yang diperlukan adalah volume sedimen yang mengendap dan data hubungan elevasi dengan luas dan kapasitas bendungan. Data tersebut dapat diperoleh melalui informasi tentang pengukuran langsung di lapangan yang berupa pengukuran *echosounding*.

Adapun tahapan yang dilakukan antara lain :

- a. Klasifikasi waduk di tentukan ke dalam salah satu tipe standar yang ada
- b. Luas area di hitung dengan cara coba-coba hingga didapatkan volume hasil perhitungan (Q_s) sama dengan (Q_s')

Distribusi endapan sedimen di dalam bendungan dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu :

1. Cara pengoperasian bendungan.
2. Tekstur atau ukuran partikel sedimen.
3. Bentuk bendungan.
4. Volume sedimen yang diendapkan di dalam bendungan.

Dari empat faktor di atas, faktor bentuk bendungan dianggap sebagai faktor yang paling penting dalam menentukan distribusi endapan sedimen dalam bendungan. Bentuk bendungan ditentukan berdasarkan hubungan antara parameter m seperti diperlihatkan dalam Tabel 2.2. Nilai m didefinisikan sebagai kemiringan (*slope*) dari garis yang diperoleh dari plot data antara data kedalaman dengan data kapasitas bendungan pada kertas logaritmik.

Tabel 2.2 Klasifikasi Bendungan Berdasarkan Nilai m

Bentuk Bendungan	Klasifikasi	m
1	Lake	3,5 - 4,5
2	Flood plain - Foot hill	2,5 - 3,5
3	Hill	1,5 - 2,5
4	Normality empty	1,0 - 1,5

(Sumber : Dicky, 2006)

Nilai m dapat ditentukan dengan persamaan garis linier atau dengan menggunakan perumusan seperti di bawah ini.

$$m = \frac{\log C}{\log D} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

C = Kapasitas tampungan bendungan (m³)

D = Kedalaman bendungan (m)

Nilai m dapat digunakan antara lain :

Pada *empirical area-reduction method*, persamaan dasar yang digunakan adalah :

$$S = \int_0^\infty A dy + \int_\infty^H K a dy \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan :

S = volume sedimen total yang diendapkan di bendungan,

0 = elevasi dasar (asli) bendungan,

Y₀ = elevasi dasar bendungan setelah terjadi endapan sedimen (setelah T tahun),

A = luas genangan,

H = kedalaman total bendungan (pada muka air normal),

K = konstanta untuk mengkonversikan luas sedimen relatif (a) kedalam luas sedimen sebenarnya,

a = luas sedimen relatif.

Dengan berdasar persamaan tersebut dan data empirik, diperoleh suatu persamaan sebagai berikut :

$$F = \frac{S - Vh}{H.Ah} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan :

F = Fungsi tanpa dimensi

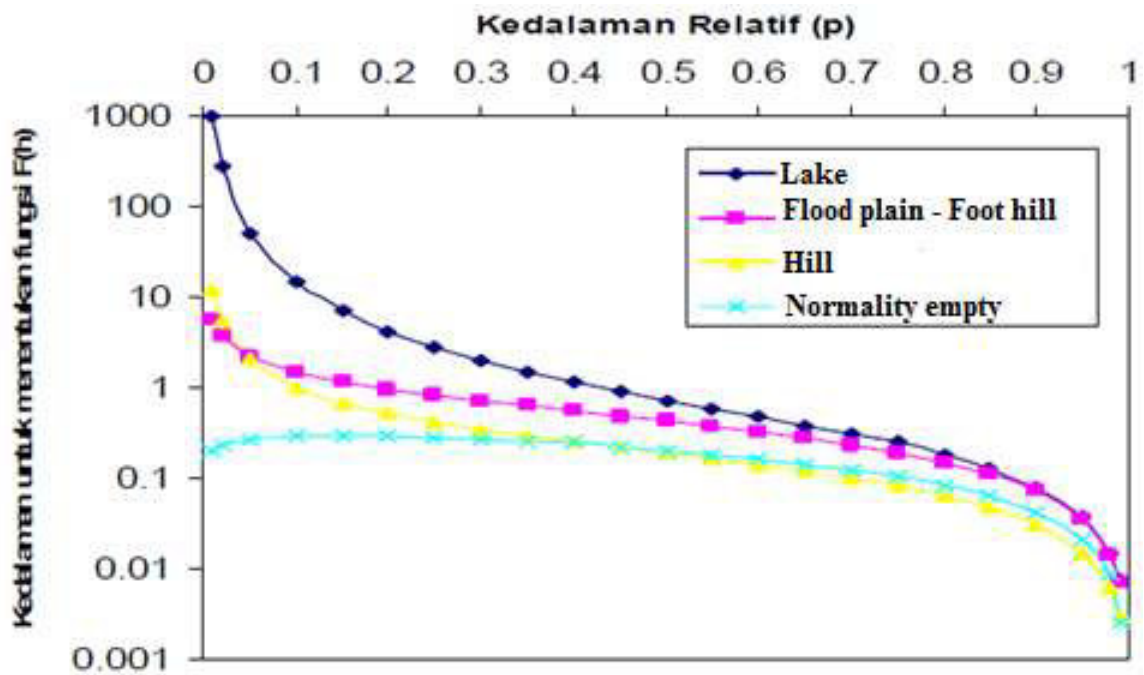
S = Volume sedimen total

Vh = Volume bendungan pada elevasi h

Ah = Luas bendungan pada elevasi h.

Sejak bendungan beroperasi sampai dengan sekarang telah dilakukan pengukuran *echosounding*. Data hasil pengukuran ini digunakan dalam penentuan distribusi sedimen dan dianggap bahwa besar endapan sedimen yang masuk bendungan pada tahun-tahun yang akan datang adalah tetap.

Elevasi *intake* digunakan sebagai acuan untuk menentukan umur guna bendungan. Setelah jumlah endapan sedimen mencapai elevasi *intake* yang diketahui, kemudian melakukan hitungan untuk menentukan nilai fungsi tanpa dimensi $F(h)$, sehingga didapat grafik hubungan kedalaman relatif dengan nilai $F(h)$ sampai berpotongan dengan grafik pada Gambar 2.8 dengan kedalaman relatifnya sama dengan kedalaman relatif pada elevasi *intake*.



Gambar 2.7 Grafik untuk elevasi dasar bendungan setelah T tahun
(Sumber : Priyantoro dalam Widalia, 2014)

Tabel 2.3 Nilai Fh masing-masing tipe bendungan menurut Borland-Miller

Kedalaman Relatif (p)	Nilai F Untuk Tiap Tipe Bendungan			
	1	2	3	4
0,00	∞	∞	∞	0,0000
0,01	996,7000	5,5680	12,0300	0,2023
0,02	277,5000	3,7580	5,5440	0,2330
0,05	51,4900	2,2330	2,0570	0,2716
0,10	14,5300	1,4950	1,0130	0,2911
0,15	6,6710	1,1690	0,6821	0,2932
0,20	4,1450	0,9706	0,5180	0,2878
0,25	2,7660	0,8299	0,4178	0,2781
0,30	1,9800	0,7212	0,3486	0,2656
0,35	1,4850	0,6323	0,2968	0,2513
0,40	1,1490	0,5565	0,2555	0,2355
0,45	0,9076	0,4900	0,2212	0,2187
0,50	0,7267	0,4303	0,1917	0,2010
0,55	0,5860	0,3758	0,1657	0,1826
0,60	0,4732	0,3253	0,1422	0,1637
0,65	0,3805	0,2780	0,1207	0,1443
0,70	0,3026	0,2333	0,1008	0,1245
0,75	0,2359	0,1907	0,0820	0,1044
0,80	0,1777	0,1500	0,0643	0,0840
0,85	0,1262	0,1107	0,0473	0,0633
0,90	0,0801	0,0728	0,0310	0,0424
0,95	0,0383	0,0359	0,0153	0,0213
0,98	0,0149	0,0143	0,0061	0,0085
0,99	0,0074	0,0071	0,0030	0,0025
1,00	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

(Sumber : USBR dalam Widalia, 2014)

Setelah penentuan elevasi, dilakukan konversi dari kurva tipe standar terhadap kurva luas rencana diberikan oleh Moody dengan persamaan :

$$A_p = C \cdot P^m \cdot (1 - P)^n \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana:

A_p = luas relatif (m^2)

P = kedalaman relatif (0,0 – 1,0)

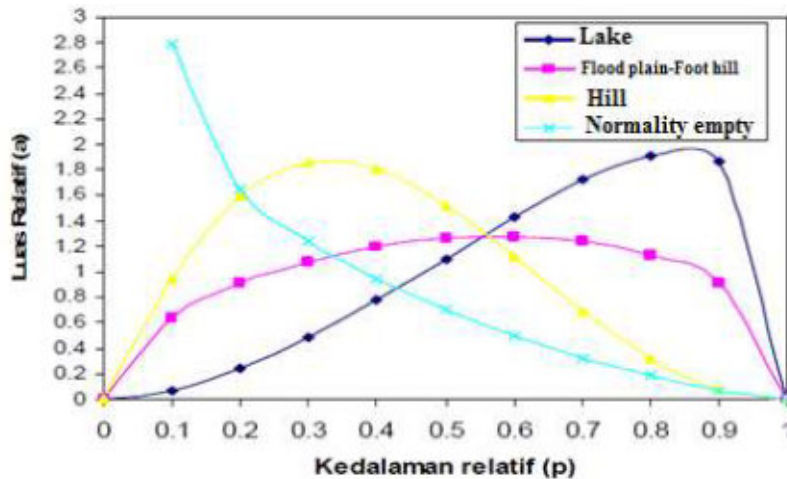
c, m dan n = konstanta karakteristik yang ditentukan berdasarkan pada tipe waduk seperti pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2.4 Konstanta Karakteristik Untuk Berbagai Tipe Bendungan

Tipe	C	M	n	Sedimen Storage Near
I	5,047	1,85	0,36	Top
II	2,467	0,57	0,41	Upper middle
III	16,967	-1,15	2,32	Lower middle
VI	1,486	-0,25	1,34	Bed

(Sumber : Priyantoro dalam Widalia, 2014)

Untuk menentukan luas sedimen relatif (A_p), menurut metode Lara diusulkan sebuah grafik *area design curve* pada Gambar 2.7 berikut.



Gambar 2.8 Grafik Area Design Curve (Sumber : Priyantoro dalam Widalia, 2014)

Atau dengan menggunakan persamaan yang diperlihatkan pada Tabel 2.5 di bawah ini sesuai dengan bentuk masing-masing bendungan.

Tabel 2.5 Persamaan Untuk Mencari Nilai A_p

Bentuk Bendungan	A_p (Borland dan Miller)	A_p (Lara)
I	$3,417 p^{1,5} (1 - p)^{0,2}$	$5,074 p^{1,85} (1 - p)^{0,35}$
II	$2,324 p^{0,50} (1 - p)^{0,40}$	$2,48 p^{0,57} (1 - p)^{0,41}$
III	$15,882 p^{1,10} (1 - p)^{2,30}$	$16,967 p^{1,15} (1 - p)^{2,32}$
IV	$4,232 p^{0,10} (1 - p)^{1,50}$	$1,486 p^{0,25} (1 - p)^{1,34}$

(Sumber : USBR dalam Widalia, 2014)

dengan :

A_p = Luas sedimen relatif (m²)

P = Kedalaman relatif bendungan diukur dari dasar (m)

Tabel 2.6 Nilai persamaan antara nilai p dengan nilai a masing- masing tipe bendungan metode Lara

P Kedalaman	Tipe Bendungan			
	1	2	3	4
0,0	∞	∞	∞	0
0,1	0,06908	0,64108	0,94069	2,29458
0,2	0,23897	0,90684	1,58839	1,64779
0,3	0,48285	1,08175	1,85747	1,24500
0,4	0,77896	1,19644	1,80836	0,94238
0,5	1,10429	1,26086	1,53120	1,69807
0,6	1,43104	1,27663	1,12527	0,49459
0,7	1,72097	1,23880	0,68927	0,32366
0,8	1,91173	1,13203	0,31372	0,18181
0,9	1,85609	0,91116	0,07194	0,06974
1,0	0	0	0	0

(Sumber : USBR dalam Widalia, 2014)

Tabel 2.7 Nilai persamaan antara nilai p dengan nilai a masing- masing tipe bendungan metode Borland-Miller

P Kedalaman	Tipe Bendungan			
	1	2	3	4
0,0	∞	∞	∞	0
0,1	0,10251	0,70458	0,99006	2,58316
0,2	0,27336	0,95058	1,61862	2,06240
0,3	0,46976	1,10366	1,85979	1,53816
0,4	0,66956	1,19819	1,79027	1,07679
0,5	0,85425	1,24540	1,50454	0,69802
0,6	1,00439	1,24777	1,10055	0,40692
0,7	1,09611	1,20125	0,67281	0,20131
0,8	1,09344	1,09193	0,30667	0,07403
0,9	0,92259	0,87772	0,07089	0,01324
1,0	0	0	0	0

(Sumber : USBR dalam Widalia, 2014)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. METODE DAN TAHAPAN PELAKSANAAN

Penelitian ini akan dilaksanakan dalam 4 pekerjaan yaitu pekerjaan pengumpulan data sekunder dan survey lapangan, pekerjaan permodelan, simulasi model, interpretasi hasil, dan pekerjaan pembuatan artikel ilmiah berupa laporan penelitian, makalah seminar, dan jurnal. Adapun rincian penjelasan masing-masing pekerjaan adalah sebagai berikut:

1. Pekerjaan Pengumpulan Data Sekunder dan Survey Lapangan

Kegiatan : Pengumpulan data sekunder seperti karya ilmiah, laporan pekerjaan, laporan studi, peta lokasi penelitian dan lain-lain dikumpulkan terutama untuk menunjang pembuatan simulasi dan analisa hasil. Bersamaan dengan kegiatan di atas, survei lapangan dilaksanakan pula sesuai dengan metode yang telah ditetapkan. Kegiatan survei akan dilakukan dengan alat.

Waktu : 2 bulan

2. Pembuatan Model Matematik dan Statistik hubungan antara Variabel-Variabel Lokal Perubahan Iklim, Perubahan Tataguna Lahan, Peningkatan Laju Sedimentasi, dan Pengurangan Sisa Umur Bendungan

Kegiatan : Tiga macam model matematik dan statistik akan dibuat dalam penelitian ini. Pertama adalah permodelan iklim lokal yang bertujuan mendapatkan hasil-hasil simulasi variabel-variabel perubahan iklim lokal. Kedua adalah permodelan perubahan laju sedimentasi berdasarkan perubahan iklim dan perubahan tataguna lahan. Ketiga adalah permodelan perubahan laju sedimentasi terhadap perubahan sisa umur rencana bendungan.

Waktu : 4 bulan

3. Interpretasi Hasil Simulasi

Kegiatan : Interpretasi hasil simulasi ini bertujuan untuk mendapatkan informasi penting pengetahuan ilmiah hasil-hasil simulasi dari permodelan-permodelan yang dikembangkan dalam penelitian ini. Informasi ini sangat penting untuk menambah kasanah ilmu teknik sipil di bidang perencanaan bangunan air.

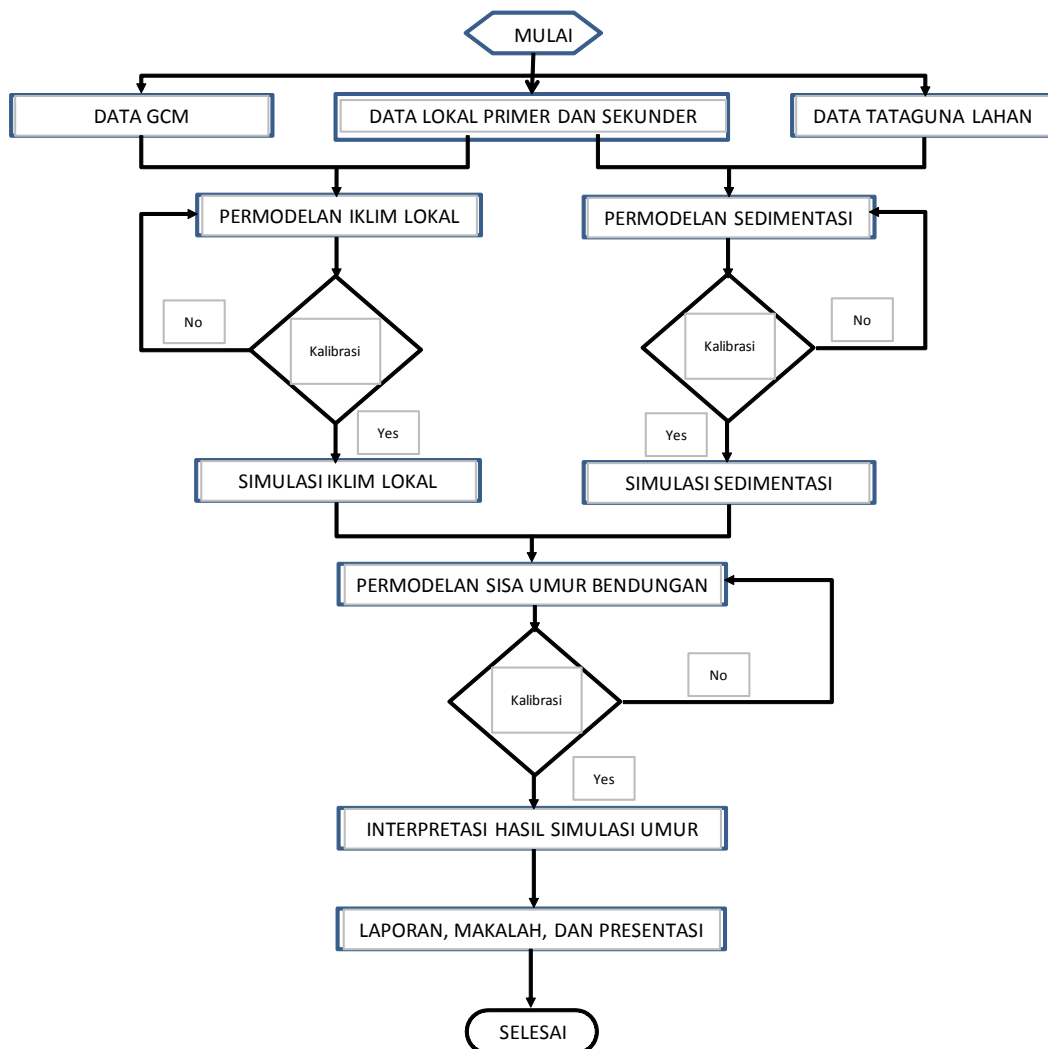
Waktu : 3 bulan

4. Pembuatan laporan dan presentasi hasil penelitian

Kegiatan : Pembuatan laporan yang berisi data-data, hasil survei, hasil simulasi, hasil analisis dan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Pada tahap ini disusun pula makalah ilmiah dan materi presentasi sebagai upaya sosialisasi hasil penelitian ke masyarakat dan kalangan ilmiah. Bahan ajar juga dapat disusun pada tahap ini dari hasil-hasil penelitian yang telah didapatkan.

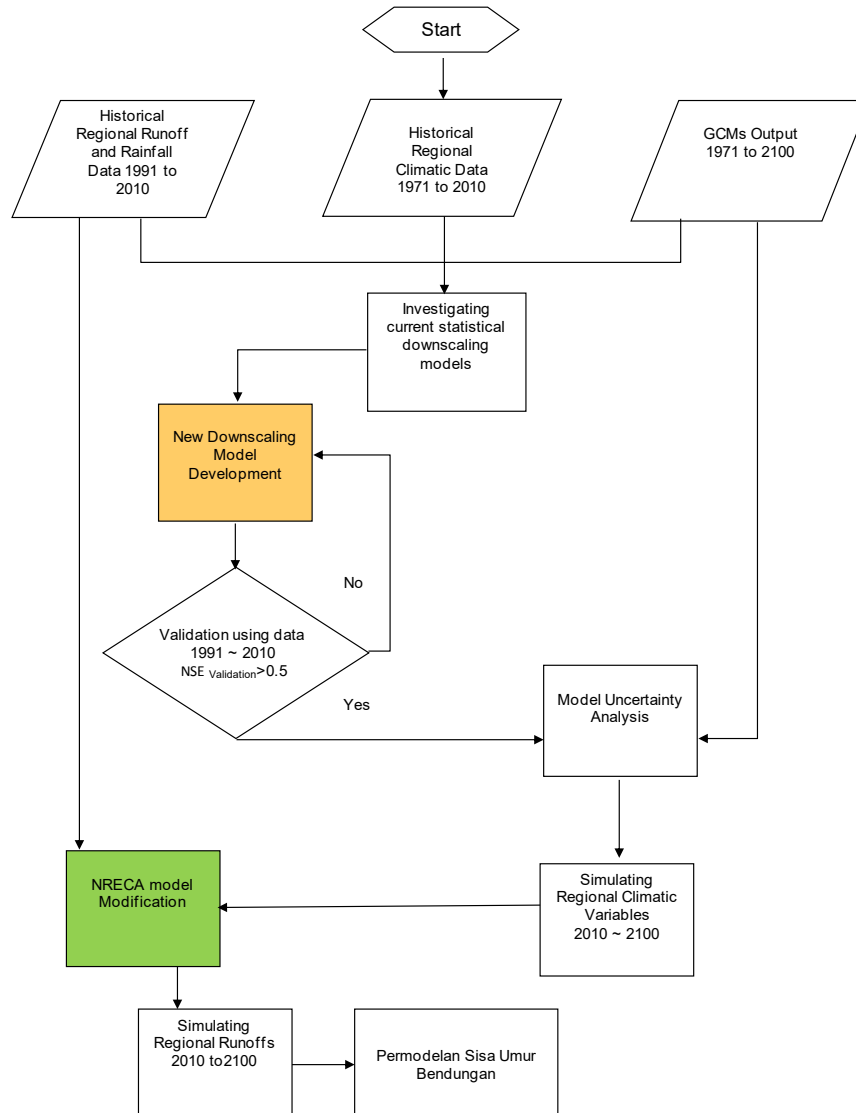
Waktu : 2 bulan

Bagan alir dari tahapan penelitian di atas adalah sebagai berikut:

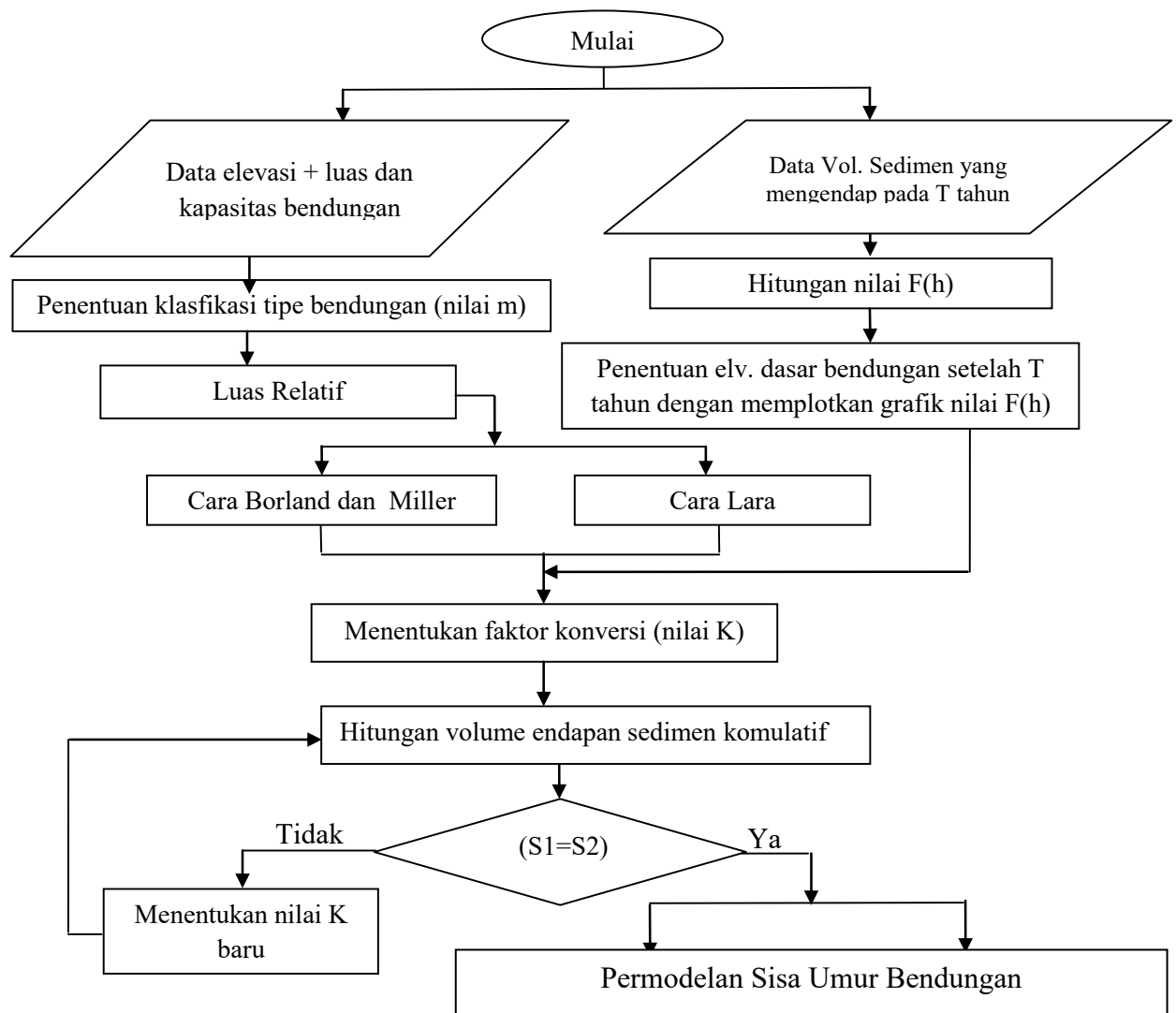


Gambar 3.1. Bagan alir penelitian

Bagan alir pada Gambar 3.1 menjelaskan bahwa pekerjaan penelitian ini dibagi menjadi 4 tahap pekerjaan, yaitu pengumpulan data, permodelan dan analisis, dan interpretasi hasil dan pembuatan laporan, makalah dan presentasi. Selanjutnya dalam permodelan iklim lokal dan permodelan sedimentasi bagan alir yang dipergunakan adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3.



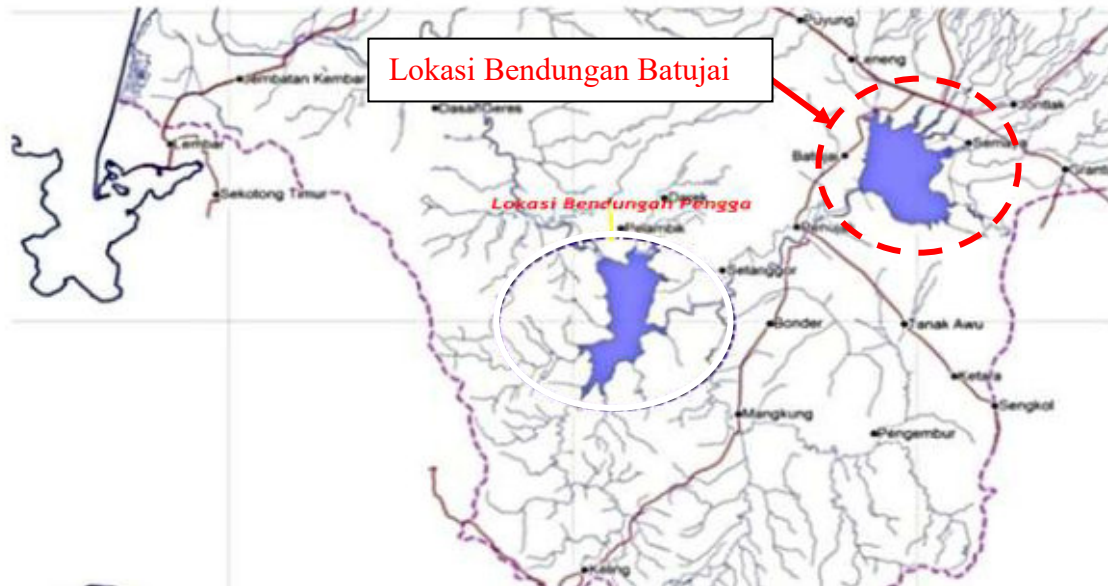
Gambar 3.2. Bagan alir permodelan iklim lokal



Gambar 3.3. Bagan alir permodelan sedimentasi

3.2. LOKASI PENELITIAN

Lokasi penelitian yaitu Bendungan Batujai ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Lokasi Bendungan Batujai

Bendungan Batujai terletak di Desa Batujai, Kabupaten Lombok Tengah. Pada Gambar 3.4, Bendungan Batujai ditunjukkan dengan lingkaran merah. Bendungan ini berada di sebelah hulu Bendungan Pengga yang pada Gambar 3.4 ditunjukkan dengan lingkaran biru. Kedua bendungan ini merupakan satu sistem interkoneksi (interconnection) untuk mengatasi permasalahan kekeringan di Lombok Tengah.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Teknis Bendungan

Adapun data-data teknis Bendungan Batujai adalah sebagai berikut :

A. Waduk

- Luas daerah tangkapan (DAS) : 169 km²
- Muka Air Tertinggi (MAT) : El. 92.50 m
- Muka Air Terendah (MAR) : El. 87.00 m
- Kapasitas Waduk pada (MAT) : 24.820.000 m³
- Luas Daerah Tenggelam : 8,9 km²
- Debit Banjir Perencanaan (10.000 th): 1.332 m³ /detik

B. Bendungan

- Tipe Bendungan : Urugan tanah
- Elevasi Puncak : El. 94,00 m
- Tinggi Bendungan : 16 m
- Panjang Bendungan : 1.100 m
- Lebar Puncak Bendungan : 8 m
- Sisi Tubuh Bendungan : 130.000 m³

C. Bangunan Pelimah

- Tipe Pelimpah : Vertikal ogee dengan pintu
- Elevasi Puncak Ambang : El. + 89,00 m
- Elevasi Dasar Sungai : El. + 79,00 m

D. Bangunan Sadap Utama

- Elevasi Dasar Pengambilan : El. + 85,00 m
- Ukuran : Bujur Sangkar 1x1 m

4.2 Lengkung Kapasitas Bendungan

Berdasarkan data hubungan antara elevasi, kapasitas dan luas genangan Bendungan Batujai pada tahun 1982 (data awal) sampai dengan tahun 2005 (selama bendungan operasi) terjadi perubahan kapasitas dari tampungan bendungan Batujai. Hal ini menunjukkan terjadinya pengendapan atau proses sedimentasi pada dasar Bendungan Batujai yang diperlihatkan oleh perbandingan antara grafik lengkung kapasitas bendungan pada saat awal perencanaan (tahun 1982) dan setelah bendungan beroperasi (tahun 2005). Berikut adalah data hubungan antara elevasi dengan luas dan volume bendungan pada tahun 1982 dan 2005 seperti yang terlihat pada Tabel 4.1 dan 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.1 Hubungan Antara Elevasi Dengan Luas dan Volume Bendungan Batujai Tahun 2015

Elevasi	Luas Genangan	Volume Genangan
(m)	(m²)	(jt m³)
84.50	0.00	0.00
85.00	1.06	0.002
85.50	2.80	0.012
86.00	5.70	0.033
86.50	12.00	0.075
87.00	29.57	0.180
87.50	60.10	0.390
88.00	120.30	0.850
88.50	136.33	1.500
89.00	139.20	2.000

Tabel 4.2 Hubungan Antara Elevasi Dengan Luas dan Volume Bendungan Batujai Tahun 2005

NO	EL. (m)	LUAS (ha)	VOLUME KUMULATIF (jt. m³)
1	82.50	0.35	-
2	83.00	0.48	0.00
3	83.50	0.63	0.00
4	84.00	0.93	0.01
5	84.50	2.30	0.02
6	85.00	3.23	0.03
7	85.50	4.10	0.05
8	86.00	5.43	0.07
9	86.50	10.18	0.11
10	87.00	32.90	0.22
11	87.50	43.73	0.41
12	88.00	81.18	0.72
13	88.50	119.10	1.22
14	89.00	190.73	2.00
15	89.50	264.35	3.14
16	90.00	359.73	4.70
17	90.50	424.45	6.66
18	91.00	511.90	9.00
19	91.50	573.28	11.71
20	92.00	670.58	14.82
21	92.50	688.84	18.22

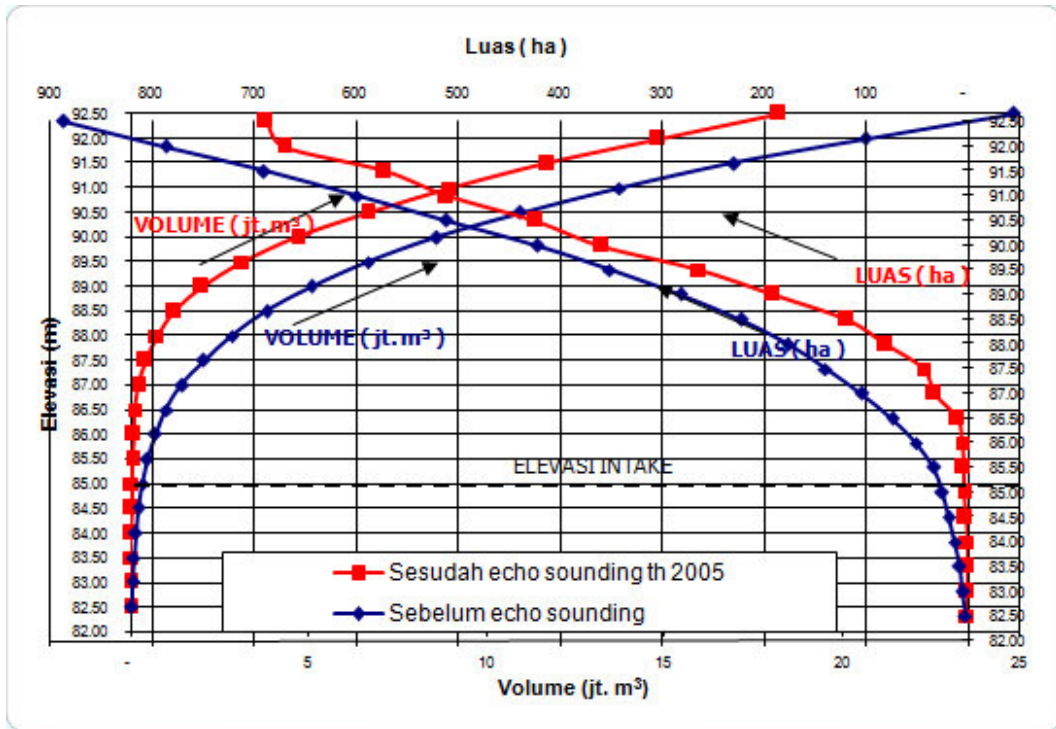
Sumber : Studi Optimalisasi Sedimen Waduk Batujai, 2005, CV. Karya Utama Jaya.

Tabel 4.3 Hubungan Antara Elevasi Dengan Luas dan Volume Bendungan Batujai tahun 1982

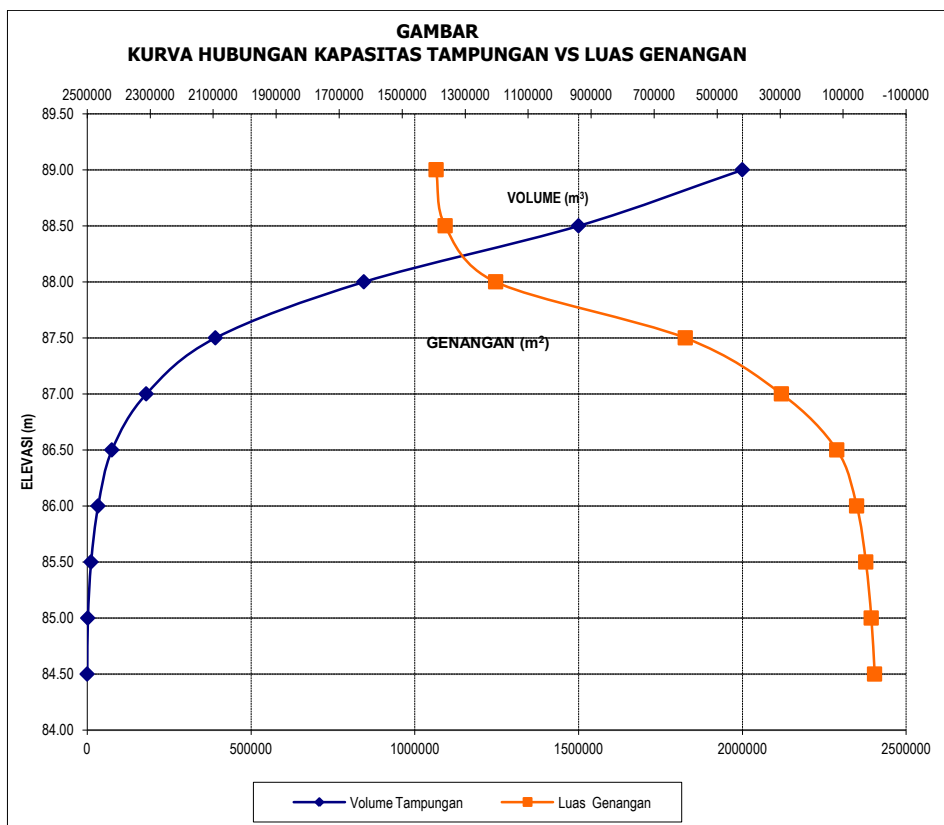
NO	EL. (m)	LUAS (ha)	VOLUME KUMULATIF (jt. m³)
1	79.00	0.10	-
2	79.50	0.20	0.00
3	80.00	0.30	0.00
4	80.50	0.45	0.00
5	81.00	0.60	0.01
6	81.50	0.75	0.01
7	82.00	0.90	0.01
8	82.50	2.40	0.02
9	83.00	5.00	0.04
10	83.50	8.50	0.07
11	84.00	13.00	0.13
12	84.50	18.60	0.21
13	85.00	25.50	0.32
14	85.50	33.50	0.47
15	86.00	50.90	0.68
16	86.50	74.30	0.99
17	87.00	104.20	1.43
18	87.50	139.20	2.04
19	88.00	177.20	2.83
20	88.50	222.20	3.82
21	89.00	282.20	5.08
22	89.50	351.70	6.66
23	90.00	421.60	8.61
24	90.50	511.20	10.95
25	91.00	598.90	13.73
26	91.50	690.80	16.95
27	92.00	786.90	20.64
28	92.50	887.60	24.82

(Sumber : "Tabel Inflow Outflow Bendungan Batujai, BWS Nusa Tenggara I")

Selanjutnya berdasarkan Tabel 4.1 dan 4.2 dibuat lengkung kapasitas bendungan Batujai pada tahun 1982 dan 2005 seperti yang terlihat pada gambar 4.1 dan 4.2 lengkung kapasitas pada tahun 2015 berikut.



Gambar 4.1 Lengkung Kapasitas Bendungan Batujai Tahun 1982 dan 2005



Gambar 4.2 Lengkung Kapasitas Bendungan Batujai Tahun 2015

4.3 Tata Guna Lahan Daerah Aliran Bendungan Batujai

Berdasarkan Laporan BWS-NT1 (2014), luas Daerah Aliran Sungai (DAS) Bendungan Batujai adalah 169 km². Menurut Putri (2011) jenis tata guna lahan yang berpengaruh terhadap sedimentasi adalah Hutan, Belukar, Permukiman, Perkebunan, Pertanian Lahan Kering, dan Sawah. Sesuai dengan persamaan Universal Soil Loss Equation (USLE), maka di dalam penelitian ini, digunakan jenis tata guna lahan tersebut sebagai variabel untuk menghitung besarnya laju sedimentasi yang masuk ke dalam Bendungan Batujai. Namun persamaan USLE tidak digunakan dalam penelitian ini, sebagai gantinya digunakan pendekatan statistik untuk mendapatkan hubungan antara variabel DAS dan laju sedimentasi. Perubahan tata guna lahan yang terjadi di DAS Bendungan Batujai adalah seperti ditampilkan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perubahan tata guna lahan yang terjadi di DAS Bendungan Batujai

No	Keterangan	1982	2005	2015
1	Hutan	1,602.20	505.20	461.80
2	Belukar	386.05	429.10	1,287.30
3	Permukiman	975.30	1,300.40	3,901.20
4	Perkebunan	6.45	9.30	15.99
5	Pertanian Lahan Kering	4,983.00	4,314.00	2,960.11
6	Sawah	8,947.00	10,342.00	8,273.60
7	Volume Sedimen	-	1,200,000	1,398,000
8	Luas DAS	16,900.00	16,900.00	16,900.00
9	Sumber Info:	Google, 2015	Saputra, 2008	Google, 2015

4.4 Permodelan Sedimen Bendungan

Berdasarkan hasil perhitungan volume endapan sedimen selama 33 tahun pada elevasi +85 yaitu mulai dari data kapasitas awal bendungan pada elevasi +85 (tahun 1982) sampai dengan data kapasitas bendungan setelah beroperasi pada elevasi +85 (tahun 2015) diperoleh volume endapan sedimen pada tampungan mati yaitu sebesar 1.398.000 m³ dengan volume endapan pertahunnya yaitu 42.363 m³. Untuk lebih

jelasanya berikut contoh perhitungan besarnya volume endapan sedimen yang terjadi setiap tahunnya.

a. Data teknis bendungan :

$$\begin{aligned} \text{Volume tampungan sedimen pada tahun 1982} &= 1.400.000 \text{ m}^3 \\ \text{Volume tampungan sedimen pada tahun 2005} &= 1.200.000 \text{ m}^3 \\ \text{Volume tampungan sedimen pada tahun 2015} &= 2.000 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

b. Volume sedimen selama 33 tahun :

Volume bendungan tahun 1982–2015

$$V = 1.400.000 - 2.000$$

$$V = 1.398.000 \text{ m}^3$$

c. Pertambahan volume sedimen dari hasil pengukuran *echo-sounding* tahun 2005 dan 2015 pada tampungan mati.

$$V = 1.398.000 - 1.200.000$$

$$V = 198.000 \text{ m}^3$$

d. Debit sedimen pertahun :

Volume sedimen selama 33 tahun / 33

$$Q = \frac{1.398.000}{33} = 42.363 \text{ m}^3/\text{tahun}$$

Besarnya volume sedimen pertahunnya digunakan sebagai acuan untuk memperkirakan umur bendungan dengan menggunakan metode *The Empirical Area Reduction*. Dimana yang digunakan sebagai acuan awal untuk menentukan usia guna bendungan adalah umur operasioanl selama 33 tahun dan umur rencana selama 50 tahun.

4.5 Permodelan Iklim

4.5.1 Pemilihan Skenario Perubahan Iklim

IPCC (1992) menjelaskan scenario-skenario perubahan iklim global berdasarkan asumsi pertumbuhan penduduk dunia, pertumbuhan ekonomi, dan perkembangan pemakaian teknologi dunia yang akan datang. Table 4.4 menunjukkan analisis koefisien korelasi dari 67 negara yang mewakili pertumbuhan di dunia di masa depan.

Tabel 4.5 Hasil Analisis Korelasi Koefisien Dari 67 Negara

Corr. Coeff	# Corr. Coeff.	Percentage
< 0.6	1590	74.23 %
> 0.6	552	25.77 %
total	2142	100.00 %

Table 4.5 menunjukkan bahwa di dunia ini sebagian besar atau 74.23 % dari negara-negara tersebut memiliki nilai koefisien korelasi lebih kecil dari 0.6 yang berarti pertumbuhan ekonomi negara-negara tersebut tidak saling berhubungan. Oleh karenanya diketahui bahwa perkiraan skenario perubahan iklim yang paling dekat dengan keadaan masa mendatang adalah Skenario B2. Seperti yang dijelaskan juga dalam Sulistiyono (2013) yaitu asumsi dunia adalah

- Jumlah penduduk masih terus berkembang, tapi sudah banyak Negara-negara yang berusaha menekan pertumbuhan tersebut hingga dibawah 2% pertahun,
- Pertumbuhan perekonomian dunia sampai tahun 2050 masih belum merata diseluruh dunia, namun stabilitas sosial dan lingkungan cukup kondusif,
- Perkembangan teknologi cukup cepat namun masih ada negara-negara yang belum menikmati banyak perkembangan teknologi tersebut.

4.5.2 Variabel General Circulation Model (GCM) yang digunakan

Didalam penelitian ini digunakan 9 (Sembilan) variabel GCM, yang selanjutnya dicari 3 (tiga) variabel dari 9 (Sembilan) variable tersebut yang paling berpengaruh terhadap sumber daya air. Di dalam Sulistiyono (2013) diketahui 3 (tiga) model statistik yaitu: Artificial Neural Networks (ANN) method, Standardized Regression Coefficient (SRC) and correlation Coefficient (CC) yang dapat digunakan untuk mencari variable yang berhubungan. Hasil analisis ditunjukkan dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Analisis Koefisien Korelasi Variabel GCM

Inputs	ANN		SRC		CC		Average	Rank of
	Importance	Ranking	Coefficient	Ranking	Coefficient	Ranking	Ranking	Av. Rank
X1	0.027	4	-0.353	6	-0.091	6	5.33333	4
X2	0.019	5	0.412	5	-0.023	8	6	6.5
X3	0.004	8	0.0508	9	0.149	5	7.33333	8
X4	0.319	2	1.85	2	0.222	2	2	2
X5	0.127	3	0.935	3	0.231	1	2.33333	3
X6	0.005	6	0.449	4	-0.088	7	5.66667	5
X7	0.493	1	-2.64	1	0.215	3	1.66667	1
X8	0.001	9	-0.0849	8	-0.08	9	8.66667	9
X9	0.004	7	-0.314	7	-0.17	4	6	6.5

Dari Tabel 4.5 diketahui bahwa variable-variabel Screen (2m) Temperature, Screen Specific Humidity, dan Skin (surface) Temperature adalah merupakan variable GCM yang sangat berpengaruh terhadap perubahan variable Sumber Daya Air di Pulau Lombok.

4.5.3 Permodelan Iklim Lokal

Dengan menggunakan model yang dikembangkan oleh Sulistiyono (2013) yaitu model hybrid of algebraic and stochastic approaches (HYAS) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\hat{Y}_i = Y_i + sign[r] * K * \frac{\sum_{j=1}^n (Z_{j(i)} - Z_{j(y)})}{n} + \delta * \epsilon_{(i)} \dots\dots\dots (4.1)$$

Dimana:

- \hat{Y}_i = variabel iklim lokal,
- δ = koefisien skala residual,
- Y_i = baseline variabel lokal,
- r = tanda korelasi antara baseline GCM dan variabel lokal,
- K = koefisien skala variabel standardized GCM,
- $Z_{j(i)}$ = variabel standardized GCM pada tahun yang akan datang,

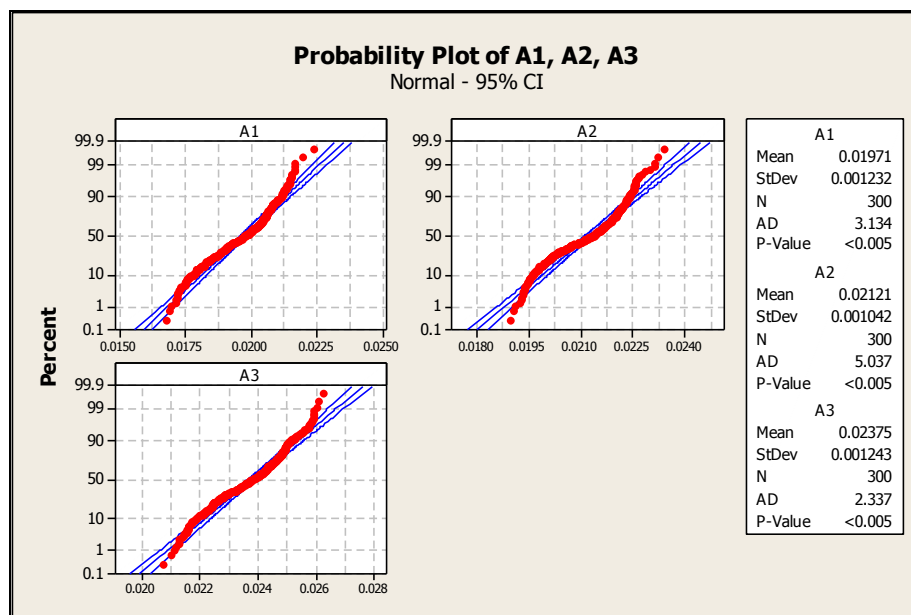
$Z_{j(n)}$ = variabel standardized GCM pada periode baseline,

ε_i = residuals yang dibangkitkan berdasarkan rata-rata dan standar deviasi yang sesuai dengan variabel GCM,

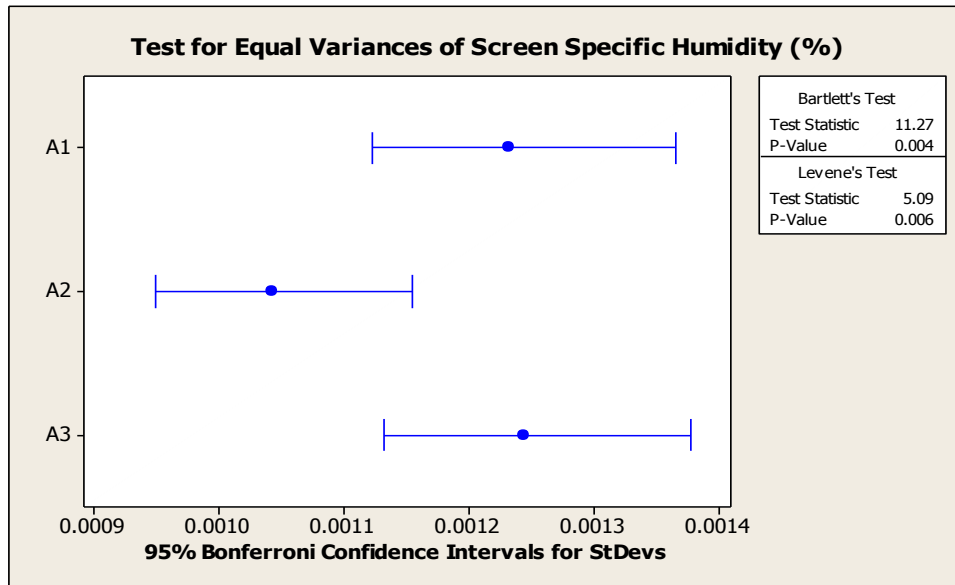
n = jumlah variabel GCM yang digunakan.

4.5.4 Pembangkitan Residuals

Jenis distribusi residuals dari variabel GCM dianalisis menggunakan metode statistik yaitu Normality, Kruskal-Wallis, dan Equal Variance. Pembagian tahun yang digunakan adalah A1 dari 1971~1995, A2 dari 2019~2043, dan A3 dari 2067~2091. Hasil analisis ditunjukkan pada Gambar 4.3, Gambar 4.4, serta Tabel 4.7.



Gambar 4.3 Hasil Normality Test



Gambar 4.4 Hasil Equal Variance Test

Tabel 4.7 Hasil Analysis Kruskal-Wallis Test

Kruskal-Wallis Test:				
Kruskal-Wallis Test				
Subscripts	N	Median	Ave Rank	Z
A1	300	27.34	221.9	-18.65
A2	300	28.46	413.9	-2.99
A3	300	30.15	715.6	21.64
Overall	900		450.5	
H = 549.99 DF = 2 P = 0.000				
H = 549.99 DF = 2 P = 0.000 (adjusted for ties)				

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa jenis distribusi variabel GCM tidak mengikuti jenis distribusi normal, sehingga pembangkitan data residuals menggunakan non-parametrik model ANN berdasarkan median dan range (bukan rata-rata dan standar deviasi). Selanjutnya Gambar 4.4 menunjukkan range variabel GCM yang digunakan untuk membangkitkan data residuals. Tabel 4.7 menunjukkan besarnya nilai-nilai median dan rata-rata rank variabel GCM secara keseluruhan pada periode A1, A2, dan A3 yang harus digunakan.

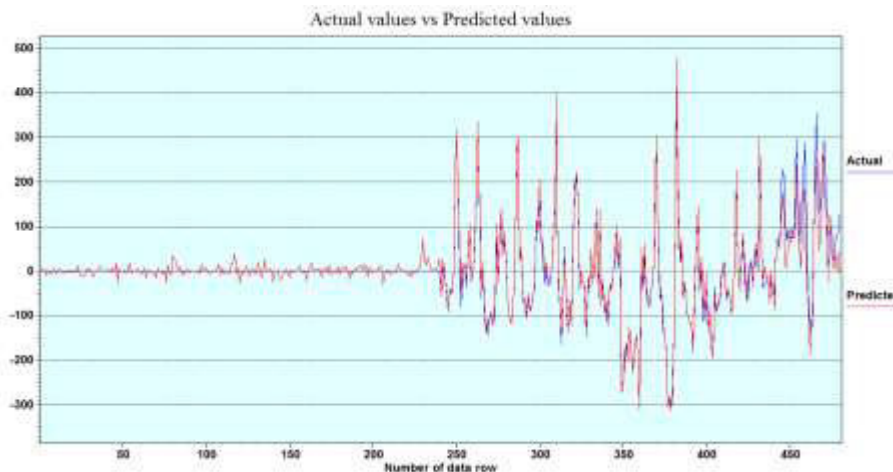
4.5.5 Pembangkitan Residuals Menggunakan ANN

Pembangkitan residuals menggunakan model ANN berdasarkan variabel GCM: , yang dikembangkan oleh Sulistiyono (2013) yaitu variable-variabel Screen (2m) Temperature, Screen Spesifik Humidity, dan Skin (surface) Temperature seperti ditunjukkan dalam Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Variabel-variabel GCM yang digunakan untuk pembangkitan residuals

	X4	X5	X7	NR	Y*	Res
1	-0.157675338	-0.40283	-0.102777725	0.276440545	82	0
2	-0.28448299	-0.37327	-0.371944268	-0.820454276	85	0
3	-0.440619971	-0.66748	-0.378412563	0.61898607	83	0
4	-0.350657223	-0.54776	-0.284247595	-0.760963927	84	0
5	-0.941953581	-1.16034	-0.861620796	-1.343989508	81	0
6	-1.551873374	-1.62661	-1.492568541	-1.428225882	80	0
7	-1.889734451	-1.98632	-1.889595367	0.895418059	79	0
8	-2.311894412	-2.23832	-2.271353154	1.087833849	76	0
9	-1.852236381	-2.04701	-1.980911582	-0.119046825	78	0
10	-1.180290448	-1.71876	-1.317307902	2.87354285	78	0
...
475	-1.556801781	-1.25832	-1.577658598	1.66517321	78	2
476	-1.711339383	-1.38585	-1.737768957	-1.571706796	80	4
477	-1.521039115	-1.33717	-1.512324871	2.446771408	80	2
478	-1.050074669	-0.87912	-1.053512751	-0.181375775	81	-1
479	-0.334132131	-0.39011	-0.270595625	0.146419902	79	9
480	0.170297593	0.025094	0.208803222	-0.318549449	81	5
481	0.293973623	-0.23856	0.14393561	0.592277467	82	
482	0.247336656	0.241922	0.096935723	0.048170275	85	
483	-0.002236211	-0.02263	0.011792126	0.535213846	83	
484	-0.091528007	-0.12852	-0.06713661	1.25987918	84	
485	-0.200041278	-0.47799	-0.084149792	0.555329989	81	
...
1559	2.061660177	2.359719	2.087478044	0.716761834	82	
1560	2.393402938	2.446708	2.430383005	-1.628804185	81	

Proses running ANN ditunjukkan pada Gambar 4.5



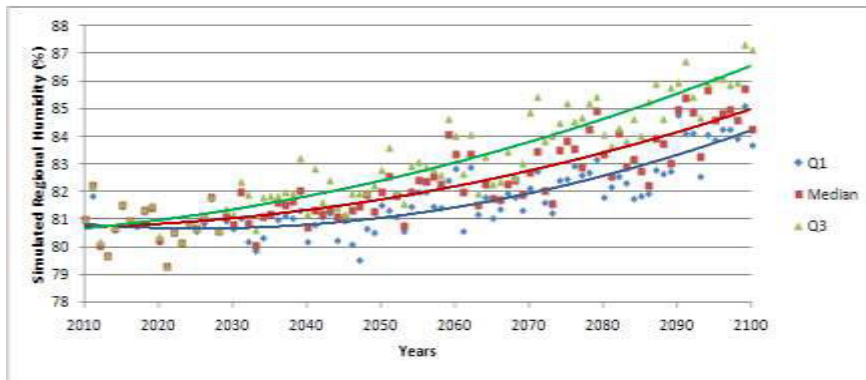
Gambar 4.5 Proses Running ANN

Hasil Analisis ANN ditunjukkan pada Table 4.9

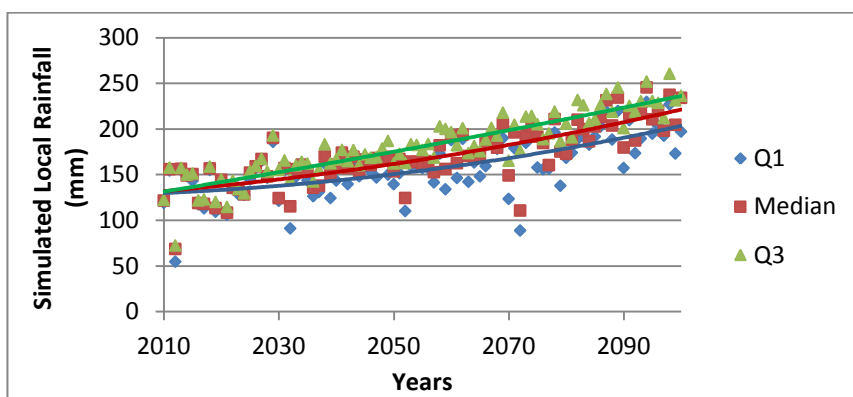
Tabel 4.9 Hasil Pembangkitan Residuals Menggunakan ANN

No	Simulated Residuals
1	-0.372316
2	-0.012521
3	-0.521682
4	-0.599105
5	-0.205851
6	-0.213866
7	-0.282264
8	0.646114
9	0.317468
10	-0.383155
...	...
1551	9.361881
1552	11.74759
1553	8.597907
1554	13.21694
1555	7.692856
1556	7.655729
1557	8.235731
1558	10.70147
1559	10.67492
1560	14.78044

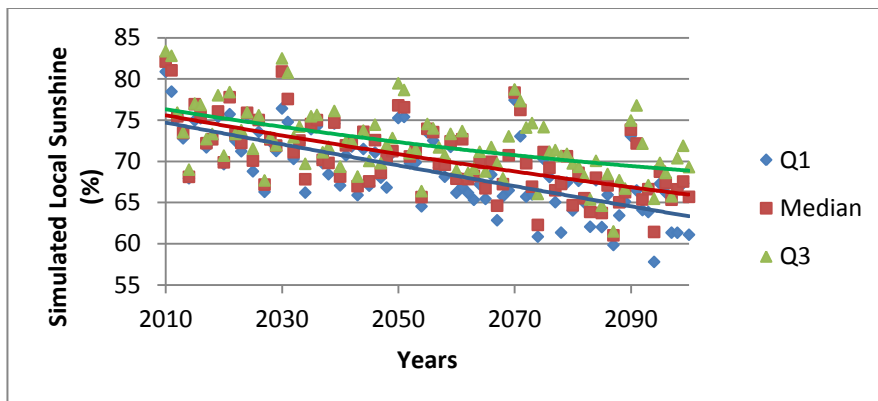
Dengan mengaplikasikan residuals hasil pembangkitan kedalam persamaan HYAS, maka didapat hasil variabel-variabel iklim lokal akibat perubahan iklim global berdasarkan scenario B2 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.6 sampai Gambar 4.9



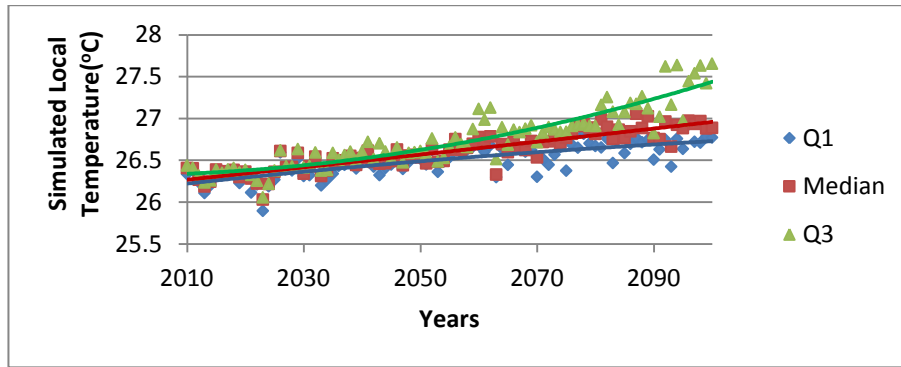
Gambar 4.6 Plot Variabel Kelembaban Udara Lokal



Gambar 4.7 Plot Variabel Curah hujan Lokal



Gambar 4.8 Plot Variabel Penyinaran Matahari Lokal

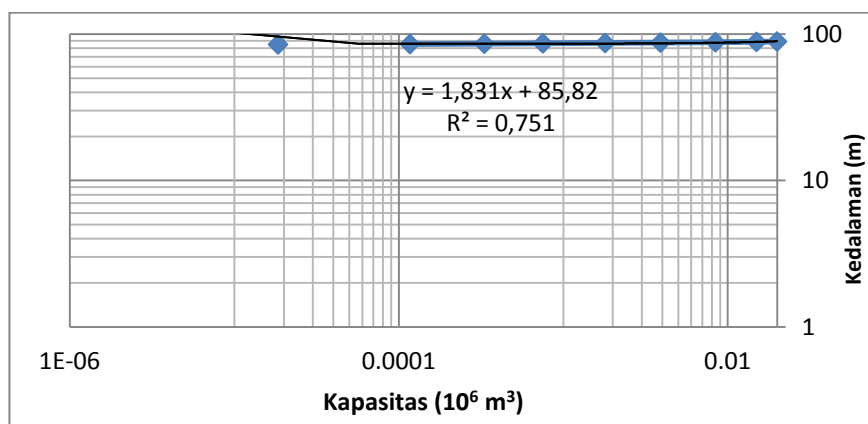


Gambar 4.6 Plot Variabel Temperatur Udara Lokal

4.6 Perkiraan Usia Guna Waduk Berdasarkan Metode *The Empirical Area Reduction*

4.6.1 Menentukan Klasifikasi Bendungan

Penentuan klasifikasi bendungan dapat ditentukan dengan membuat hubungan antara kapasitas dengan kedalaman Bendungan Batujai yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 dengan persamaan yang dibentuk oleh garis regresi yaitu $y = 1,831x + 85,82$ yang merupakan persamaan linear, dimana pada persamaan tersebut didapatkan nilai *slope* (m) sebesar 1,831, dimana berdasarkan Tabel 2.2 maka bendungan dengan *slope* (m) 1,831 termasuk tipe bendungan III yaitu *hill* (bukit) dengan nilai m diantara 1,5 - 2,5 yang berarti bendungan tersebut selalu terisi air, sedangkan menurut Lane-Kolzler dalam USBR (1973) tipe bendungan tersebut pengoprasianya pada umurnya sedimen selalu terendam atau hampir terendam dan menurut Yang (1999) sedimen dalam bendungan didominasi oleh partikel *clay*.



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Kapasitas dengan Kedalaman Bendungan Batujai

4.6.2 Penentuan Elevasi Dasar Baru

a. Umur Rencana bendungan (50 Tahun)

Berdasarkan analisa distribusi sedimen pada umur operasional 50 tahun (umur rencana) diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} S &= 42.363 \times 50 \\ &= 2.118.150 \text{ m}^3 > 1.400.000 \text{ m}^3 \text{ (Volume tampungan mati)} \\ \frac{2.118.150}{x} &= \frac{1.398.000}{5,5} \\ x &= 8,00 \text{ m} \end{aligned}$$

Menghitung nilai kedalaman relatif (p)

$$p = 0 + \frac{(1 - 0)}{(92,5 - 79)} \times (87 - 79) = 0,592 \text{ m}$$

Elevasi dasar barunya yaitu + 87,00 m dan kedalaman relatifnya (p) yaitu 0,592 m hal tersebut menunjukkan pertambahan yang lebih besar dari elevasi awal bendungan yaitu + 79 m. Kenaikan elevasi dasar tersebut, mengakibatkan pertambahan volume sedimen selama 50 tahun yaitu sebesar $2.118.150 \text{ m}^3 > 1.400.000 \text{ m}^3$ (Volume tampungan mati). Sedangkan berdasarkan data teknis, diperoleh kapasitas sisa volume sedimen sebesar $22.702.000 \text{ m}^3$ pada tampungan aktif. sehingga mencapai *intake* yang berada pada elevasi +85 dengan perkiraan laju sedimen pertahun tetap yaitu $42,363 \text{ m}^3/\text{tahun}$

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan umur rencana 50 tahun terdapat perbedaan yang sangat tinggi antara elevasi dasar baru dengan *level intake*, sehingga perlu dilakukan analisa ulang dengan memperkirakan umur bendungan diantara 35-50 tahun sampai didapat elevasi dasar baru menutup *level intake*. Dalam hal ini diperkirakan pada umur 35 tahun.

b. Umur Layanan bendungan selama 23 tahun (hasil *echo sounding* 2005)

Berdasarkan hasil analisa distribusi sedimen pada umur operasional bendungan selama 23 tahun yaitu dari 1982-2005, diperoleh elevasi dasar baru sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Elevasi} &= + 82,5 \text{ m} \\ ,H &= 3,5 \text{ m} \end{aligned}$$

Adapun besarnya volume endapan sedimen selama 23 tahun adalah $1.200.000 \text{ m}^3$. Sedangkan berdasarkan data teknis, diperoleh kapasitas sisa volume sedimen sebesar

23.620.000 m³ akibat terjadinya pengendapan sedimen di bendungan baik pada tampungan mati maupun tampungan aktif dengan kedalaman relatifnya (p) sebesar 0,259 m pada Elevasi + 82,5.

Berdasarkan hasil dari perhitungan dengan menggunakan metode *the empirical area reduction* pada umur 23 tahun ini belum diperoleh volume sedimen yang menutup volume matinya karena elevasi dasar baru akibat sedimen ini masih di bawah *level intake*, sehingga perlu dicoba-coba lagi sampai dengan umur ke-50 (umur rencana) untuk menentukan kelayakan Bendungan Batujai.

c. Umur Layanan bendungan selama 33 tahun (hasil *echo sounding* 2015)

Berdasarkan hasil analisa distribusi sedimen pada umur operasional bendungan selama 33 tahun yaitu dari 1982-2015, diperoleh elevasi dasar baru sebagai berikut :

$$\text{Elevasi} = + 84,5 \text{ m}$$

$$,H = 5,5 \text{ m}$$

Adapun besarnya volume endapan sedimen pada tampungan mati selama 33 tahun adalah 1.398.000 m³. Sedangkan berdasarkan data teknis, diperoleh kapasitas sisa volume sedimen sebesar 23.422.000 m³ pada tampungan aktif dan tampungan mati. Akibat terjadinya pengendapan di bendungan, didapatkan kedalaman relatifnya (p) sebesar 0,407 m pada Elevasi + 84,5.

Berdasarkan hasil dari perhitungan dengan menggunakan metode *the empirical area reduction* pada umur 33 tahun ini belum diperoleh volume sedimen yang menutup volume matinya karena elevasi dasar baru akibat sedimen ini masih di bawah *level intake*, sehingga perlu dicoba-coba lagi sampai dengan umur ke-50 (umur rencana) untuk menentukan kelayakan Bendungan Batujai.

d. Perkiraan Umur Layanan Bendungan 35

Berdasarkan hasil analisa distribusi sedimen dengan perkiraan umur 35 tahun diperoleh elevasi dasar baru yaitu + 85 m dengan kedalaman relatif bendungan sebesar 0,440 m. Elevasi dasar baru ini menunjukkan terjadinya pertambahan sebesar 6,0 m dari elevasi awal bendungan dengan besarnya volume sedimen yang mengendap sebesar 1.482705 m³. Sedangkan berdasarkan data teknis, diperoleh kapasitas sisa volume sedimen sebesar 23.337.000 m³ pada tampungan aktif dan tampungan mati. Bendungan pada elevasi ini sudah tidak dapat berfungsi lagi karena mencapai elevasi *intake*. Dengan demikian pada umur 35 tahun yaitu pada tahun 2017 bendungan tersebut tidak dapat digunakan.

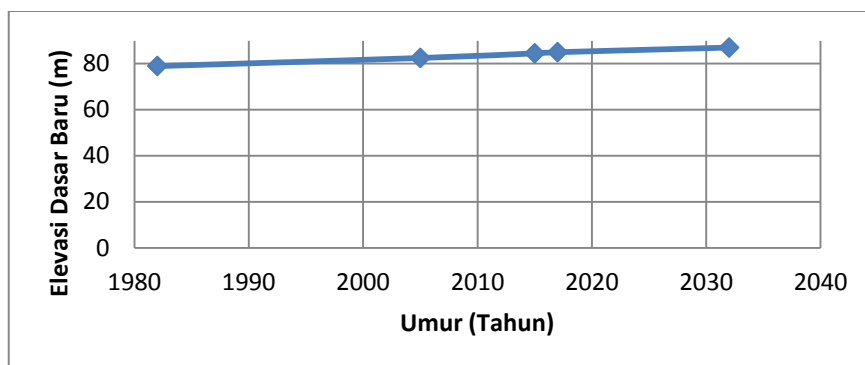
Berikut adalah perubahan elevasi pada setiap tahunnya akibat sedimentasi seperti yang terlihat pada Tabel 4.10 di bawah ini.

Tabel 4.10 Perubahan Elevasi Dasar Baru Pada Setiap Tahunnya

Umur Bendungan (Tahun)	Tahun umur Bendungan (Tahun)	Elevasi Dasar Baru (m)
0	1982	79,00
23	2005	82,50
33	2015	84,50
35	2017	85,00
50	2032	87,00

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Berdasarkan Tabel 4.10 di atas dibuat grafik perubahan elevasi dasar baru bendungan berdasarkan hasil perhitungan pada setiap tahunnya dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 Grafik Perubahan Elevasi Dasar Baru Bendungan

Untuk lebih jelasnya, berikut contoh perhitungan penentuan elevasi dasar baru dan perubahan kapasitas tampung akibat sedimentasi dengan menggunakan *The Empirical Area Reduction* pada umur bendungan 23 tahun.

1. Perhitungan penentuan elevasi dasar baru
 - a. Kolom 1, 2 dan 3

Data elevasi, luas dan volume genangan bendungan pada tahun 1982 (awal perencanaan).

b. Kolom ke-4

Menghitung kedalaman relatif untuk elevasi yang dicari dengan cara interpolasi, dimana kedalaman relatif berkisar antara interval 0 sampai dengan 1 m. Untuk elevasi + 92,00 besarnya kedalaman relatif (p) yaitu :
Diketahui :

Elevasi + 92,50 m Kedalaman relatif = 1 m

Elevasi + 79,00 m Kedalaman relatif = 0 m

Untuk elevasi + 92,00 m dihitung dengan cara interpolasi :

$$p = 0 + \frac{(1 - 0)}{(92,5 - 79)} \times (92 - 79) = 0,963 \text{ m}$$

c. Kolom ke-5

Menghitung volume genangan pada setiap perubahan elevasi yaitu dengan mengalikan luas genangan dengan kedalaman. Untuk elevasi + 92,00 m besarnya volume genangan yaitu :

$$= H \times A$$

$$= 92 \times 8876000 = 821030000 \text{ m}^3$$

d. Kolom ke-6

Menghitung selisih volume pengendapan sedimen dengan kapasitas tampung bendungan pada setiap elevasi. Dimana besarnya volume sedimen yang mengendap pada umur bendungan 33 tahun adalah $1.398.000 \text{ m}^3$. Untuk elevasi + 92,00 m besarnya volume yaitu :

$$= S - V$$

$$= 1.398.000 - 20.640.000 = -19.242.000 \text{ m}^3$$

Karena hasil yang didapat bernilai negatif maka besarnya volume diasumsikan nol.

e. Kolom ke-7

Menghitung nilai fungsi tak berdimensi (F) pada setiap perubahan elevasi. Untuk elevasi + 92,00 diperoleh nilai F yaitu :

$$F = \frac{(S - V)}{(H \times A)}$$

$$F = \frac{0}{821030000} = 0$$

Untuk perhitungan pada elevasi dan tahun berikutnya, selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.11 - 4.14 berikut.

Tabel 4.11 Perhitungan Fh Umur 23 Tahun

Elevasi (m)	Data Original		Kedalaman relatif (P)	H x A (m ³)	S 23 tahun =1.200.000	
	Luas (A)	Volume (V)			S - V	F = S - V / H x A
	(m ²)	(m ³)			(m ³)	
1	2	3	4	5	6	7
92.50	8876000.00	24820000.00	1.000	821030000.00	-	-
92.00	7869000.00	20640000.00	0.963	723948000.00	-	-
91.50	6908000.00	16950000.00	0.926	632082000.00	-	-
91.00	5989000.00	13730000.00	0.889	544999000.00	-	-
90.50	5112000.00	10950000.00	0.852	462636000.00	-	-
90.00	4216000.00	8610000.00	0.815	379440000.00	-	-
89.50	3517000.00	6660000.00	0.778	314771500.00	-	-
89.00	2822000.00	5080000.00	0.741	251158000.00	-	-
88.50	2222000.00	3820000.00	0.704	196647000.00	-	-
88.00	1772000.00	2830000.00	0.667	155936000.00	-	-
87.50	1392000.00	2040000.00	0.630	121800000.00	-	-
87.00	1042000.00	1430000.00	0.593	90654000.00	-	-
86.50	743000.00	990000.00	0.556	64269500.00	210000.00	0.003
86.00	509000.00	680000.00	0.519	43774000.00	520000.00	0.012
86.00	509000.00	680000.00	0.519	43774000.00	520000.00	0.012
85.50	335000.00	470000.00	0.481	28642500.00	730000.00	0.025
85.00	255000.00	320000.00	0.444	21675000.00	880000.00	0.041
84.50	186000.00	210000.00	0.407	15717000.00	990000.00	0.063
84.00	130000.00	130000.00	0.370	10920000.00	1070000.00	0.098
83.50	85000.00	70000.00	0.333	7097500.00	1130000.00	0.159
83.00	50000.00	40000.00	0.296	4150000.00	1160000.00	0.280
82.50	24000.00	20000.00	0.259	1980000.00	1180000.00	0.596
82.00	9000.00	10000.00	0.222	738000.00	1190000.00	1.612
81.50	7500.00	10000.00	0.185	611250.00	1190000.00	1.947
81.00	6000.00	10000.00	0.148	486000.00	1190000.00	2.449
80.50	4500.00	0.00	0.111	362250.00	1200000.00	3.313
80.00	3000.00	0.00	0.074	240000.00	1200000.00	5.000
79.50	2000.00	0.00	0.037	159000.00	1200000.00	7.547
79.00	1000.00	0.00	0.000	79000.00	1200000.00	15.190

Tabel 4.12 Perhitungan Fh Umur 33 Tahun

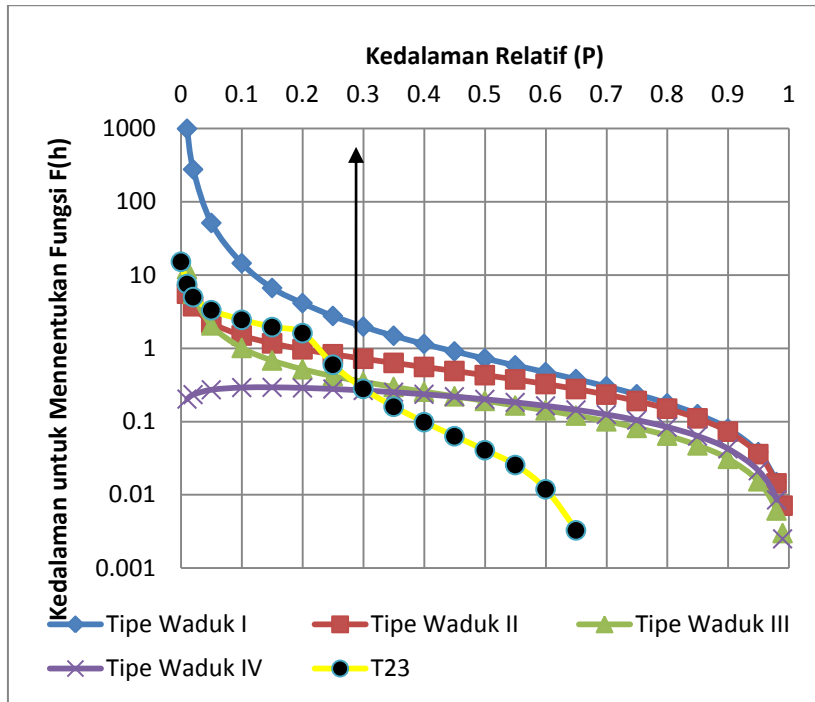
Elevasi (m)	Data Original		Kedalaman relatif (P)	H x A (m ³)	S 33 tahun =1398000	
	Luas (A)	Volume (V)			S - V	F = S - V / H x A
	(m ²)	(m ³)			(m ³)	
1	2	3	4	5	6	7
92.50	8876000.00	24820000.00	1.000	821030000.00	-	-
92.00	7869000.00	20640000.00	0.963	723948000.00	-	-
91.50	6908000.00	16950000.00	0.926	632082000.00	-	-
91.00	5989000.00	13730000.00	0.889	544999000.00	-	-
90.50	5112000.00	10950000.00	0.852	462636000.00	-	-
90.00	4216000.00	8610000.00	0.815	379440000.00	-	-
89.50	3517000.00	6660000.00	0.778	314771500.00	-	-
89.00	2822000.00	5080000.00	0.741	251158000.00	-	-
88.50	2222000.00	3820000.00	0.704	196647000.00	-	-
88.00	1772000.00	2830000.00	0.667	155936000.00	-	-
87.50	1392000.00	2040000.00	0.630	121800000.00	-	-
87.00	1042000.00	1430000.00	0.593	90654000.00	-	-
86.50	743000.00	990000.00	0.556	64269500.00	408000.00	0.006
86.00	509000.00	680000.00	0.519	43774000.00	718000.00	0.016
85.50	335000.00	470000.00	0.481	28642500.00	928000.00	0.032
85.00	255000.00	320000.00	0.444	21675000.00	1078000.00	0.050
84.50	186000.00	210000.00	0.407	15717000.00	1188000.00	0.076
84.00	130000.00	130000.00	0.370	10920000.00	1268000.00	0.116
83.50	85000.00	70000.00	0.333	7097500.00	1328000.00	0.187
83.00	50000.00	40000.00	0.296	4150000.00	1358000.00	0.327
82.50	24000.00	20000.00	0.259	1980000.00	1378000.00	0.696
82.00	9000.00	10000.00	0.222	738000.00	1388000.00	1.881
81.50	7500.00	10000.00	0.185	611250.00	1388000.00	2.271
81.00	6000.00	10000.00	0.148	486000.00	1388000.00	2.856
80.50	4500.00	0.00	0.111	362250.00	1398000.00	3.859
80.00	3000.00	0.00	0.074	240000.00	1398000.00	5.825
79.50	2000.00	0.00	0.037	159000.00	1398000.00	8.792
79.00	1000.00	0.00	0.000	79000.00	1398000.00	17.696

Tabel 4.13 Perhitungan Fh Umur 35 Tahun

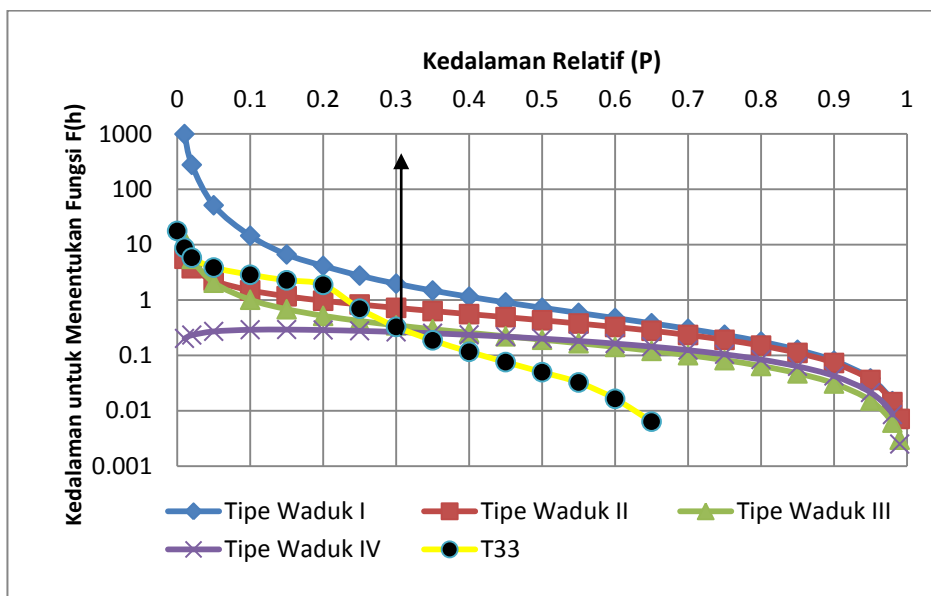
Elevasi (m)	Data Original		Kedalaman relatif (P)	H x A	S 35 tahun =1.482705	
	Luas (A)	Volume (V)			S - V	F = S - V / H x A
	(m ²)	(m ³)				
1	2	3	4	5	6	7
92.50	8876000.00	24820000.00	1.000	821030000.00	-	-
92.00	7869000.00	20640000.00	0.963	723948000.00	-	-
91.50	6908000.00	16950000.00	0.926	632082000.00	-	-
91.00	5989000.00	13730000.00	0.889	544999000.00	-	-
90.50	5112000.00	10950000.00	0.852	462636000.00	-	-
90.00	4216000.00	8610000.00	0.815	379440000.00	-	-
89.50	3517000.00	6660000.00	0.778	314771500.00	-	-
89.00	2822000.00	5080000.00	0.741	251158000.00	-	-
88.50	2222000.00	3820000.00	0.704	196647000.00	-	-
88.00	1772000.00	2830000.00	0.667	155936000.00	-	-
87.50	1392000.00	2040000.00	0.630	121800000.00	-	-
87.00	1042000.00	1430000.00	0.593	90654000.00	52705.00	0.001
86.50	743000.00	990000.00	0.556	64269500.00	492705.00	0.008
86.00	509000.00	680000.00	0.519	43774000.00	802705.00	0.018
85.50	335000.00	470000.00	0.481	28642500.00	1012705.00	0.035
85.00	255000.00	320000.00	0.444	21675000.00	1162705.00	0.054
84.50	186000.00	210000.00	0.407	15717000.00	1272705.00	0.081
84.00	130000.00	130000.00	0.370	10920000.00	1352705.00	0.124
83.50	85000.00	70000.00	0.333	7097500.00	1412705.00	0.199
83.00	50000.00	40000.00	0.296	4150000.00	1442705.00	0.348
82.50	24000.00	20000.00	0.259	1980000.00	1462705.00	0.739
82.00	9000.00	10000.00	0.222	738000.00	1472705.00	1.996
81.50	7500.00	10000.00	0.185	611250.00	1472705.00	2.409
81.00	6000.00	10000.00	0.148	486000.00	1472705.00	3.030
80.50	4500.00	0.00	0.111	362250.00	1482705.00	4.093
80.00	3000.00	0.00	0.074	240000.00	1482705.00	6.178
79.50	2000.00	0.00	0.037	159000.00	1482705.00	9.325
79.00	1000.00	0.00	0.000	79000.00	1482705.00	18.768

Tabel 4.14 Perhitungan Fh Umur 50 Tahun

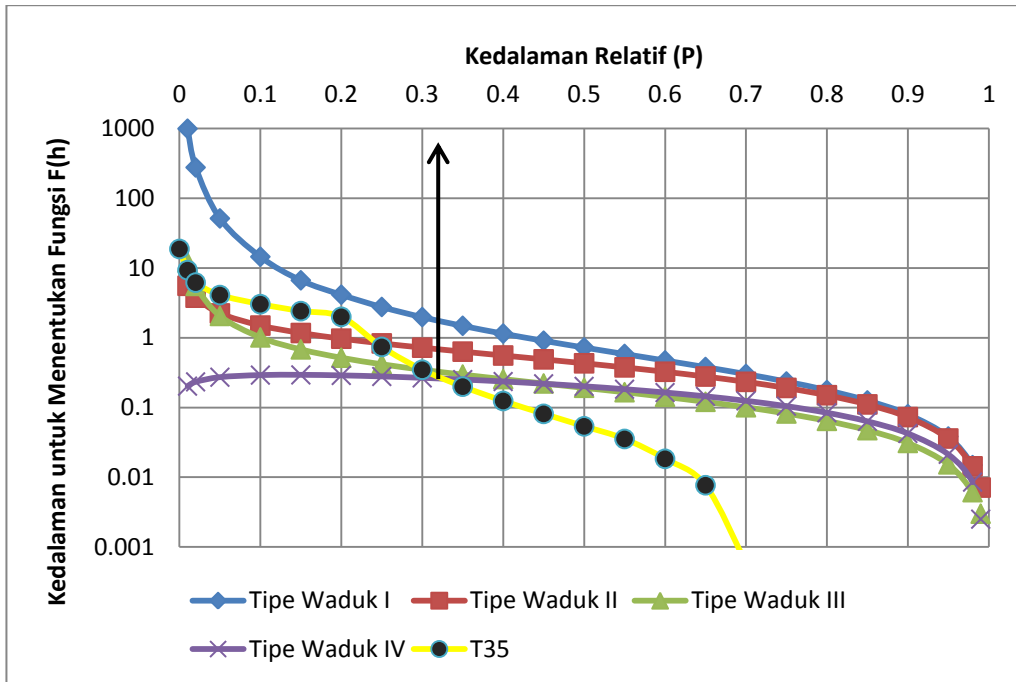
Elevasi (m)	Data Original		Kedalaman relatif (P)	H x A	S 50 tahun = 2.118.150 m ³	
	Luas (A)	Volume (V)			S - V	F = S - V / H x A
	(m ²)	(m ³)			(m ³)	
1	2	3	4	5	6	7
92.50	8876000.00	24820000.00	1.000	821030000.00	-	-
92.00	7869000.00	20640000.00	0.963	723948000.00	-	-
91.50	6908000.00	16950000.00	0.926	632082000.00	-	-
91.00	5989000.00	13730000.00	0.889	544999000.00	-	-
90.50	5112000.00	10950000.00	0.852	462636000.00	-	-
90.00	4216000.00	8610000.00	0.815	379440000.00	-	-
89.50	3517000.00	6660000.00	0.778	314771500.00	-	-
89.00	2822000.00	5080000.00	0.741	251158000.00	-	-
88.50	2222000.00	3820000.00	0.704	196647000.00	-	-
88.00	1772000.00	2830000.00	0.667	155936000.00	-	-
87.50	1392000.00	2040000.00	0.630	121800000.00	78150.00	0.001
87.00	1042000.00	1430000.00	0.593	90654000.00	688150.00	0.008
86.50	743000.00	990000.00	0.556	64269500.00	1128150.00	0.018
86.00	509000.00	680000.00	0.519	43774000.00	1438150.00	0.033
85.50	335000.00	470000.00	0.481	28642500.00	1648150.00	0.058
85.00	255000.00	320000.00	0.444	21675000.00	1798150.00	0.083
84.50	186000.00	210000.00	0.407	15717000.00	1908150.00	0.121
84.00	130000.00	130000.00	0.370	10920000.00	1988150.00	0.182
83.50	85000.00	70000.00	0.333	7097500.00	2048150.00	0.289
83.00	50000.00	40000.00	0.296	4150000.00	2078150.00	0.501
82.50	24000.00	20000.00	0.259	1980000.00	2098150.00	1.060
82.00	9000.00	10000.00	0.222	738000.00	2108150.00	2.857
81.50	7500.00	10000.00	0.185	611250.00	2108150.00	3.449
81.00	6000.00	10000.00	0.148	486000.00	2108150.00	4.338
80.50	4500.00	0.00	0.111	362250.00	2118150.00	5.847
80.00	3000.00	0.00	0.074	240000.00	2118150.00	8.826
79.50	2000.00	0.00	0.037	159000.00	2118150.00	13.322
79.00	1000.00	0.00	0.000	79000.00	2118150.00	26.812



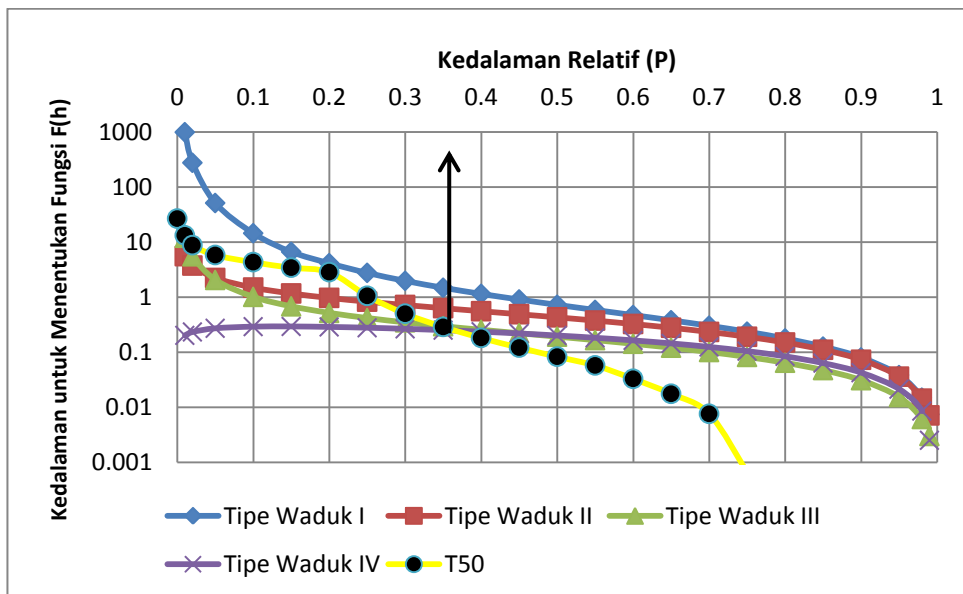
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Kedalaman Relatif dengan Nilai Fungsi Fh Pada Umur 23 Tahun



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Kedalaman Relatif dengan Nilai Fungsi Fh Pada Umur 33 Tahun



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Antara Kedalaman Relatif dengan Nilai Fungsi Fh Pada Umur 35 Tahun



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Antara Kedalaman Relatif dengan Nilai Fungsi Fh Pada Umur 50 Tahun

Berdasarkan Gambar 4.5 - 4.8 di atas perpotongan grafik pada tipe bendungan III menunjukkan elevasi dasar baru pada umur 23, 33, 35 dan 50 tahun yaitu dengan kedalaman relatif berturut-turut yaitu 0,28 m, 0,3 m 0,31 m, dan 0.35 m

2. Perhitungan distribusi sedimen

a. Kolom 1, 2 dan 3

Data elevasi, luas dan volume genangan bendungan pada tahun 1982 (awal perencanaan).

b. Kolom ke-4

Menghitung kedalaman relatif untuk elevasi yang dicari dengan cara interpolasi, dimana kedalaman relatif berkisar antara interval 0 sampai dengan 1 m. Untuk elevasi + 92,00 besarnya kedalaman relatif (p) yaitu :

Diketahui :

Elevasi + 92,50 m Kedalaman relatif = 1 m

Elevasi + 79,00 m Kedalaman relatif = 0 m

Untuk elevasi + 92,00 m dihitung dengan cara interpolasi :

$$p = 0 + \frac{(1 - 0)}{(92,5 - 79)} \times (92 - 79) = 0,963 \text{ m}$$

c. Kolom ke-5

Menghitung luas relatif (A_p) dengan menggunakan persamaan Lara dan Miller pada setiap elevasi. Untuk elevasi + 92,00 m besarnya luas relatif (A_p) dengan persamaan borland dan Lara yaitu :

Diketahui :

$$A_p = 15,882 \times p^{1,1} \times (1 - p)^{2,3}$$

$$A_p = 15,882 \times 0,963^{1,1} \times (1 - 0,963)^{2,3}$$

$$A_p = 0,008 \times 10^6 \text{ m}^2$$

$$A_p = 16,967 \times p^{1,15} \times (1 - p)^{2,32}$$

$$A_p = 16,967 \times 0,963^{1,15} \times (1 - 0,963)^{2,32}$$

$$A_p = 0,008 \times 10^6 \text{ m}^2$$

d. Kolom ke-6

Menghitung luas endapan sebenarnya dengan mengalikan luas relatif (A_p) dengan nilai K . Dimana K merupakan faktor konversi yaitu luas bendungan asli pada elevasi dasar baru dibagi luas relatif pada elevasi tersebut.

$$K = \frac{\text{Luas bendungan asli pada elevasi dasar baru}}{\text{Luas relatif pada elevasi tersebut}}$$

$$K = \frac{7,869 \times 10^6}{0,008 \times 10^6 \text{ m}^2} = 1.012$$

e. Kolom ke-7

Maka besarnya luas endapan sebenarnya pada elevasi + 92,00 m yaitu :

$$\begin{aligned} &= A_p \times K \\ &= 0.008 \times 10^6 \times 1.012 = 7,869 \times 10^6 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

f. Kolom ke-8

Menghitung volume komulatif endapan sedimen pada setiap elevasi.

Untuk elevasi + 91,50 m besarnya volume endapan komulatif yaitu :

Diketahui :

$$\begin{aligned} A_1 &= 7,869 \times 10^6 \text{ m}^2 & H_1 &= + 92,00 \text{ m} \\ A_2 &= 6,908 \times 10^6 \text{ m}^2 & H_2 &= + 91,50 \text{ m} \end{aligned}$$

Maka besarnya volume endapan komulatif yaitu :

$$\begin{aligned} &= \frac{(A_1 + A_2)}{2} \times \Delta \text{ Elevasi} \\ &= \frac{(7,869 \times 10^6 + 6,908 \times 10^6)}{2} \times (92 - 91.5) \\ &= 1,967 \times 10^6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

g. Kolom ke-9

Jika volume komulatif endapan sedimen hasil prediksi (S_2) pada elevasi maksimum tidak sama dengan volume endapan sedimen sebenarnya (S_1), maka harus dicari nilai K_2 sampai besarnya volume endapan komulatif hasil prediksi pada elevasi maksimum sama dengan volume endapan sebenarnya. Besarnya nilai K_2 dapat dihitung dengan rumus :

$$K_2 = K_1 \times \left(\frac{S_1}{S_2} \right)$$

$$K_2 = 1.012 \times \left(\frac{1,200 \times 10^6 \text{ m}^3}{1,967 \times 10^6 \text{ m}^3} \right)$$

$$K_2 = 617,308 \times 10^6 \text{ m}^3$$

h. Kolom ke-10

Maka besarnya luas endapan sebenarnya pada elevasi + 92,00 m yaitu :

$$= A_p \times K_2$$

$$= 0.008 \times 10^6 \times 617,308 \times 10^6 = 4,800 \times 10^6 \text{ m}^2$$

i. Kolom ke-11

Menghitung volume komulatif endapan sedimen pada setiap elevasi.

Untuk elevasi + 91,50 m besarnya volume endapan komulatif yaitu :

Diketahui :

$$A_1 = 4,800 \times 10^6 \text{ m}^2 \qquad H_1 = + 92,00 \text{ m}$$

$$A_2 = 2,244 \times 10^6 \text{ m}^2 \qquad H_2 = + 91,50 \text{ m}$$

Maka besarnya volume endapan komulatif yaitu :

$$= \frac{(A_1 + A_2)}{2} \times \Delta \text{ Elevasi}$$

$$= \frac{(4,800 \times 10^6 + 2,244 \times 10^6)}{2} \times (92 - 91.5)$$

$$= 1,18 \times 10^6 \text{ m}^3$$

j. Kolom ke-12

Setelah nilai $S_1=S_2$ didapat, selanjutnya menghitung luas bendungan baru pada setiap elevasi, dimana untuk elevasi + 92,00 m luas bendungan baru (hasil hitungan) yaitu :

$$\begin{aligned} &= 7,869 \times 10^6 \text{ m}^2 - 4,800 \times 10^6 \text{ m}^2 \\ &= 3,069 \times 10^6 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

k. Kolom ke-13

Menghitung volume bendungan baru pada setiap elevasi, dimana untuk elevasi + 92,00 m volume bendungan baru yaitu :

$$\begin{aligned} &= \text{Volume sebenarnya} - \text{Volume hasil prediksi} \\ &= 20,640 \times 10^6 - 1,200 \times 10^6 \\ &= 19,440 \times 10^6 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

l. Kolom ke-14

Keterangan elevasi *intake* dan elevasi dasar baru akibat penambahan volume sedimen.

Untuk perhitungan pada elevasi dan tahun berikutnya, selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4.15 Distribusi Sedimen Pada Umur Layanan Waduk 23 Tahun Untuk Nilai Ap Metode Borland dan Miller Dengan Nilai K1 Dan K2													keterangan	
Elevasi (m)	Data Tahun 1982		Kedalaman relatif (P) (m)	Luas Relatif (Ap) (10 ⁶ m ²)	faktor konversi (K1)	S 23 tahun =1.200.000		faktor konversi (K2)	S 23 tahun =1.200.000		hasil hitungan 23 tahun dengan K2			
	Luas (A) (10 ⁶ m ²)	Volume (V) (10 ⁶ m ³)				luas (10 ⁶ m ²)	volume (10 ⁶ m ³)		luas (10 ⁶ m ²)	volume (10 ⁶ m ³)	luas (10 ⁶ m ²)	volume (10 ⁶ m ³)		
	1	2				3	4		5	6	7	8		9
92.500	8.876	24.820	1.000	0.000	0.000	0.000	1.200	0.000	0.000	1.200	8.880	23.620	14	
92.000	7.869	20.640	0.963	0.008	1012.000	7.869	1.967	617.308	4.800	1.200	3.069	19.440		
91.500	6.908	16.950	0.926	0.037	188.357	6.908	3.694	61.184	2.244	1.118	4.664	15.832		
91.000	5.989	13.730	0.889	0.089	67.216	5.989	3.224	25.017	2.229	1.110	3.760	12.620		
90.500	5.112	10.950	0.852	0.165	31.023	5.112	2.775	13.414	2.210	1.095	2.902	9.855		
90.000	4.216	8.610	0.815	0.262	16.082	4.216	2.332	8.275	2.169	1.088	2.047	7.522		
89.500	3.517	6.660	0.778	0.379	9.284	3.517	1.933	5.762	2.183	1.080	1.334	5.580		
89.000	2.822	5.080	0.741	0.512	5.514	2.822	1.585	4.175	2.137	1.063	0.685	4.017		
88.500	2.222	3.820	0.704	0.658	3.379	2.222	1.261	3.215	2.115	1.061	0.107	2.759		
88.000	1.772	2.830	0.667	0.813	2.181	1.772	0.999	2.621	2.130	1.060	-0.358	1.770		
87.500	1.392	2.040	0.630	0.972	1.432	1.392	0.791	2.172	2.112	1.042	-0.720	0.998		
87.000	1.042	1.430	0.593	1.132	0.920	1.042	0.609	1.815	2.055	1.069	-1.013	0.361		
86.500	0.743	0.990	0.556	1.289	0.577	0.743	0.446	1.551	2.221	1.162	-1.478	-0.172		
86.000	0.509	0.680	0.519	1.436	0.355	0.509	0.313	1.359	2.429	1.096	-1.920	-0.416		
85.500	0.335	0.470	0.481	1.569	0.213	0.335	0.211	1.214	1.954	1.083	-1.619	-0.613		
85.000	0.255	0.320	0.444	1.684	0.151	0.255	0.110	1.648	2.379	1.187	-2.124	-0.867		Level intake
84.500	0.186	0.210	0.407	1.775	0.105	0.186	0.079	1.591	2.368	1.180	-2.182	-0.970		
84.000	0.130	0.130	0.370	1.838	0.071	0.130	0.054	1.579	2.351	1.167	-2.221	-1.037		

83.500	0.085	0.070	0.333	1.867	0.046	0.085	0.034	1.619	2.315	1.157	-2.230	-1.087	Elevasi dasar baru
83.000	0.050	0.040	0.296	1.857	0.027	0.050	0.019	1.747	2.312	1.106	-2.262	-1.066	
82.500	0.024	0.020	0.259	1.804	0.013	0.024	0.008	1.935	2.111	1.122	-2.087	-1.102	
82.000	0.009	0.010	0.222	1.703	0.005	0.009	0.004	1.537	2.378	1.186	-2.369	-1.176	
81.500	0.008	0.010	0.185	1.551	0.005	0.008	0.003	1.719	2.366	1.177	-2.359	-1.167	
81.000	0.006	0.010	0.148	1.344	0.004	0.006	0.003	2.040	2.341	1.185	-2.335	-1.175	
80.500	0.005	0.000	0.111	1.080	0.004	0.005	0.002	2.666	2.400	1.050	-2.396	-1.050	
80.000	0.003	0.000	0.074	0.760	0.004	0.003	0.001	3.791	1.800	1.150	-1.797	-1.150	
79.500	0.002	0.000	0.037	0.388	0.005	0.002	0.001	12.375	2.800	0.700	-2.798	-0.700	
79.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	

Tabel 4.16 Distribusi Sedimen Pada Umur Layanan Waduk 33 Tahun Untuk Nilai Ap Metode Borland dan Miller Dengan Nilai K1 Dan K2													keterangan	
Elevasi (m)	Data Tahun 1982		Kedalaman relatif (P) (m)	Luas Relatif (Ap) (10 ⁶ m ²)	faktor konversi (K1)	S 33 tahun =1.398.000		faktor konversi (K2)	S 33 tahun =1.398.000		hasil hitungan 33 tahun K2			
	Luas (A) (10 ⁶ m ²)	Volume (V) (10 ⁶ m ³)				luas (10 ⁶ m ²)	volume (10 ⁶ m ³)		luas (10 ⁶ m ²)	volume (10 ⁶ m ³)	luas (10 ⁶ m ²)	volume (10 ⁶ m ³)		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13
92.500	8.876	24.820	1.000	0.000	0.000	0.000	1.398	0.000	0.000	1.398	8.880	23.422	14	
92.000	7.869	20.640	0.963	0.008	1012.000	7.869	1.967	719.164	5.592	1.398	2.277	19.242		
91.500	6.908	16.950	0.926	0.037	188.357	6.908	3.694	71.279	2.614	1.303	4.294	15.647		
91.000	5.989	13.730	0.889	0.089	67.216	5.989	3.224	29.144	2.597	1.293	3.392	12.437		
90.500	5.112	10.950	0.852	0.165	31.023	5.112	2.775	15.627	2.575	1.276	2.537	9.674		
90.000	4.216	8.610	0.815	0.262	16.082	4.216	2.332	9.641	2.527	1.268	1.689	7.342		
89.500	3.517	6.660	0.778	0.379	9.284	3.517	1.933	6.713	2.543	1.258	0.974	5.402		
89.000	2.822	5.080	0.741	0.512	5.514	2.822	1.585	4.864	2.489	1.238	0.333	3.842		
88.500	2.222	3.820	0.704	0.658	3.379	2.222	1.261	3.746	2.463	1.236	-0.241	2.584		
88.000	1.772	2.830	0.667	0.813	2.181	1.772	0.999	3.053	2.481	1.235	-0.709	1.595		
87.500	1.392	2.040	0.630	0.972	1.432	1.392	0.791	2.531	2.460	1.214	-1.068	0.826		
87.000	1.042	1.430	0.593	1.132	0.920	1.042	0.609	2.114	2.394	1.180	-1.352	0.250		
86.500	0.743	0.990	0.556	1.289	0.577	0.743	0.446	1.806	2.328	1.150	-1.585	-0.160		
86.000	0.509	0.680	0.519	1.436	0.355	0.509	0.313	1.583	2.273	1.123	-1.764	-0.443		
85.500	0.335	0.470	0.481	1.569	0.213	0.335	0.211	1.414	2.220	1.248	-1.885	-0.778		
85.000	0.255	0.320	0.444	1.684	0.151	0.255	0.110	1.920	2.771	1.382	-2.516	-1.062		Level intake
84.500	0.186	0.210	0.407	1.775	0.105	0.186	0.079	1.854	2.758	1.374	-2.572	-1.164		Elevasi dasar baru

84.000	0.130	0.130	0.370	1.838	0.071	0.130	0.054	1.840	2.739	1.359	-2.609	-1.229
83.500	0.085	0.070	0.333	1.867	0.046	0.085	0.034	1.886	2.697	1.348	-2.612	-1.278
83.000	0.050	0.040	0.296	1.857	0.027	0.050	0.019	2.035	2.693	1.365	-2.643	-1.325
82.500	0.024	0.020	0.259	1.804	0.013	0.024	0.008	2.254	2.765	1.384	-2.741	-1.364
82.000	0.009	0.010	0.222	1.703	0.005	0.009	0.004	1.791	2.770	1.382	-2.761	-1.372
81.500	0.008	0.010	0.185	1.551	0.005	0.008	0.003	2.003	2.757	1.371	-2.749	-1.361
81.000	0.006	0.010	0.148	1.344	0.004	0.006	0.003	2.377	2.728	1.381	-2.722	-1.371
80.500	0.005	0.000	0.111	1.080	0.004	0.005	0.002	3.105	2.796	1.223	-2.792	-1.223
80.000	0.003	0.000	0.074	0.760	0.004	0.003	0.001	4.416	2.097	1.299	-2.094	-1.299
79.500	0.002	0.000	0.037	0.388	0.005	0.002	0.001	14.417	3.100	0.775	-3.098	-0.775
79.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000

Tabel 4.17 Distribusi Sedimen Pada Umur Layanan Waduk 35 Tahun Untuk Nilai Ap Metode Borland dan Miller Dengan Nilai K1 Dan K2

Elevasi (m)	Data Tahun 1982		Kedalaman relatif (P) (m)	Luas Relatif (Ap) (10 ⁶ m ²)	faktor konversi (K1)	S 35 tahun =1.482.705		faktor konversi (K2)	S 35 tahun =1.482.705		hasil hitungan 35 tahun K2		keterangan
	Luas (A) (10 ⁶ m ²)	Volume (V) (10 ⁶ m ³)				luas (10 ⁶ m ²)	volume (10 ⁶ m ³)		luas (10 ⁶ m ²)	volume (10 ⁶ m ³)	luas (10 ⁶ m ²)	volume (10 ⁶ m ³)	
	1	2				3	4		5	6	7	8	
92.500	8.876	24.820	1.000	0.000	0.000	0.000	1.483	0.000	0.000	1.483	8.880	23.337	14
92.000	7.869	20.640	0.963	0.008	1012.000	7.869	1.967	762.890	5.932	1.483	1.937	19.157	
91.500	6.908	16.950	0.926	0.037	188.357	6.908	3.694	75.613	2.773	1.382	4.135	15.568	
91.000	5.989	13.730	0.889	0.089	67.216	5.989	3.224	30.916	2.755	1.372	3.234	12.358	
90.500	5.112	10.950	0.852	0.165	31.023	5.112	2.775	16.578	2.732	1.353	2.380	9.597	
90.000	4.216	8.610	0.815	0.262	16.082	4.216	2.332	10.227	2.681	1.345	1.535	7.265	
89.500	3.517	6.660	0.778	0.379	9.284	3.517	1.933	7.121	2.698	1.335	0.819	5.325	
89.000	2.822	5.080	0.741	0.512	5.514	2.822	1.585	5.160	2.641	1.313	0.181	3.767	
88.500	2.222	3.820	0.704	0.658	3.379	2.222	1.261	3.973	2.613	1.311	-0.391	2.509	
88.000	1.772	2.830	0.667	0.813	2.181	1.772	0.999	3.239	2.632	1.310	-0.860	1.520	
87.500	1.392	2.040	0.630	0.972	1.432	1.392	0.791	2.684	2.610	1.287	-1.218	0.753	
87.000	1.042	1.430	0.593	1.132	0.920	1.042	0.609	2.243	2.540	1.252	-1.498	0.178	
86.500	0.743	0.990	0.556	1.289	0.577	0.743	0.446	1.916	2.469	1.220	-1.726	-0.230	
86.000	0.509	0.680	0.519	1.436	0.355	0.509	0.313	1.680	2.412	1.192	-1.903	-0.512	
85.500	0.335	0.470	0.481	1.569	0.213	0.335	0.211	1.500	2.355	1.324	-2.020	-0.854	
85.000	0.255	0.320	0.444	1.684	0.151	0.255	0.110	2.037	2.940	1.466	-2.685	-1.146	Level intake dan elevasi dasar baru
84.500	0.186	0.210	0.407	1.775	0.105	0.186	0.079	1.967	2.926	1.458	-2.740	-1.248	

84.000	0.130	0.130	0.370	1.838	0.071	0.130	0.054	1.952	2.906	1.442	-2.776	-1.312
83.500	0.085	0.070	0.333	1.867	0.046	0.085	0.034	2.001	2.861	1.323	-2.776	-1.253
83.000	0.050	0.040	0.296	1.857	0.027	0.050	0.019	2.158	2.430	1.385	-2.380	-1.345
82.500	0.024	0.020	0.259	1.804	0.013	0.024	0.008	2.391	3.110	1.512	-3.086	-1.492
82.000	0.009	0.010	0.222	1.703	0.005	0.009	0.004	1.899	2.939	1.466	-2.930	-1.456
81.500	0.008	0.010	0.185	1.551	0.005	0.008	0.003	2.124	2.924	1.454	-2.917	-1.444
81.000	0.006	0.010	0.148	1.344	0.004	0.006	0.003	2.521	2.894	1.465	-2.888	-1.455
80.500	0.005	0.000	0.111	1.080	0.004	0.005	0.002	3.294	2.966	1.298	-2.962	-1.298
80.000	0.003	0.000	0.074	0.760	0.004	0.003	0.001	4.685	2.225	1.084	-2.222	-1.084
79.500	0.002	0.000	0.037	0.388	0.005	0.002	0.001	15.293	2.110	0.528	-2.108	-0.528
79.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000

Tabel 4.18 Distribusi Sedimen Pada Umur Layanan Waduk 50 Tahun Untuk Nilai Ap Metode Borland dan Miller Dengan Nilai K1 Dan K2													keterangan
Elevasi (m)	Data Tahun 1982		Kedalaman relatif (P) (m)	Luas Relatif (Ap) (10 ⁶ m ²)	faktor konversi (K1)	S 50 tahun =2.118.150		faktor konversi (K2)	S 50 tahun =2.118.150		hasil hitungan 50 tahun K2		
	Luas (A)	Volume (V)				luas	volume		luas	volume	luas	volume	
	(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)				(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)		(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)	(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
92.500	8.876	24.820	1.000	0.000	0.000	0.000	1.483	0.000	0.000	2.118	8.880	22.702	
92.000	7.869	20.640	0.963	0.008	1012.000	7.869	1.967	1089.549	8.472	2.118	-0.603	18.522	
91.500	6.908	16.950	0.926	0.037	188.357	6.908	3.694	107.989	3.961	1.974	2.947	14.976	
91.000	5.989	13.730	0.889	0.089	67.216	5.989	3.224	44.154	3.934	1.959	2.055	11.771	
90.500	5.112	10.950	0.852	0.165	31.023	5.112	2.775	23.676	3.901	1.933	1.211	9.017	
90.000	4.216	8.610	0.815	0.262	16.082	4.216	2.332	14.606	3.829	1.921	0.387	6.689	
89.500	3.517	6.660	0.778	0.379	9.284	3.517	1.933	10.171	3.853	1.906	-0.336	4.754	
89.000	2.822	5.080	0.741	0.512	5.514	2.822	1.585	7.369	3.772	1.876	-0.950	3.204	
88.500	2.222	3.820	0.704	0.658	3.379	2.222	1.261	5.675	3.732	1.873	-1.510	1.947	
88.000	1.772	2.830	0.667	0.813	2.181	1.772	0.999	4.626	3.759	1.871	-1.987	0.959	
87.500	1.392	2.040	0.630	0.972	1.432	1.392	0.791	3.834	3.727	1.839	-2.335	0.201	
87.000	1.042	1.430	0.593	1.132	0.920	1.042	0.609	3.203	3.627	1.788	-2.585	-0.358	Elevasi dasar baru
86.500	0.743	0.990	0.556	1.289	0.577	0.743	0.446	2.737	3.526	1.743	-2.783	-0.753	
86.000	0.509	0.680	0.519	1.436	0.355	0.509	0.313	2.399	3.444	1.702	-2.935	-1.022	
85.500	0.335	0.470	0.481	1.569	0.213	0.335	0.211	2.143	3.363	1.890	-3.028	-1.420	
85.000	0.255	0.320	0.444	1.684	0.151	0.255	0.110	2.909	4.198	2.094	-3.943	-1.774	Level intake
84.500	0.186	0.210	0.407	1.775	0.105	0.186	0.079	2.809	4.179	2.082	-3.993	-1.872	
84.000	0.130	0.130	0.370	1.838	0.071	0.130	0.054	2.787	4.150	2.059	-4.020	-1.929	

83.500	0.085	0.070	0.333	1.867	0.046	0.085	0.034	2.858	4.087	2.042	-4.002	-1.972
83.000	0.050	0.040	0.296	1.857	0.027	0.050	0.019	3.083	4.080	2.050	-4.030	-2.010
82.500	0.024	0.020	0.259	1.804	0.013	0.024	0.008	3.415	4.120	2.079	-4.096	-2.059
82.000	0.009	0.010	0.222	1.703	0.005	0.009	0.004	2.713	4.197	2.093	-4.188	-2.083
81.500	0.008	0.010	0.185	1.551	0.005	0.008	0.003	3.034	4.176	2.077	-4.169	-2.067
81.000	0.006	0.010	0.148	1.344	0.004	0.006	0.003	3.601	4.133	2.092	-4.127	-2.082
80.500	0.005	0.000	0.111	1.080	0.004	0.005	0.002	4.705	4.236	1.853	-4.232	-1.853
80.000	0.003	0.000	0.074	0.760	0.004	0.003	0.001	6.691	3.177	2.175	-3.174	-2.175
79.500	0.002	0.000	0.037	0.388	0.005	0.002	0.001	21.841	5.521	1.380	-5.519	-1.380
79.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000

Tabel 4.19 Distribusi Sedimen Pada Umur Layanan Waduk 23 Tahun Untuk Nilai Ap Metode Lara Dengan Nilai K1 Dan K2													keterangan
Elevasi (m)	Data Tahun 1982		Kedalaman relatif (P) (m)	Luas Relatif (Ap) (10 ⁶ m ²)	faktor konversi (K1)	S 23 tahun =1.200.000		faktor konversi (K2)	S 23 tahun =1.200.000		hasil hitungan 23 tahun dengan K2		
	Luas (A)	Volume (V)				luas	volume		luas	volume	luas	volume	
	(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)				(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)		(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)	(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
92.500	8.876	24.820	1.000	0.000	0.000	0.000	1.200	0.000	0.000	1.200	8.880	23.620	
92.000	7.869	20.640	0.963	0.008	1013.742	7.869	1.967	618.371	4.800	1.200	3.069	19.440	
91.500	6.908	16.950	0.926	0.037	186.449	6.908	3.694	60.564	2.244	1.118	4.664	15.832	
91.000	5.989	13.730	0.889	0.091	66.133	5.989	3.224	24.613	2.229	1.110	3.760	12.620	
90.500	5.112	10.950	0.852	0.168	30.412	5.112	2.775	13.150	2.210	1.095	2.902	9.855	
90.000	4.216	8.610	0.815	0.268	15.730	4.216	2.332	8.094	2.169	1.088	2.047	7.522	
89.500	3.517	6.660	0.778	0.388	9.069	3.517	1.933	5.629	2.183	1.080	1.334	5.580	
89.000	2.822	5.080	0.741	0.524	5.382	2.822	1.585	4.076	2.137	1.063	0.685	4.017	
88.500	2.222	3.820	0.704	0.674	3.298	2.222	1.261	3.138	2.115	1.061	0.107	2.759	
88.000	1.772	2.830	0.667	0.832	2.130	1.772	0.999	2.559	2.130	1.060	-0.358	1.770	
87.500	1.392	2.040	0.630	0.995	1.399	1.392	0.791	2.123	2.112	1.042	-0.720	0.998	
87.000	1.042	1.430	0.593	1.158	0.900	1.042	0.609	1.775	2.055	1.069	-1.013	0.361	
86.500	0.743	0.990	0.556	1.315	0.565	0.743	0.446	1.519	2.221	1.162	-1.478	-0.172	
86.000	0.509	0.680	0.519	1.463	0.348	0.509	0.313	1.334	2.429	1.096	-1.920	-0.416	
85.500	0.335	0.470	0.481	1.595	0.210	0.335	0.211	1.194	1.954	1.083	-1.619	-0.613	
85.000	0.255	0.320	0.444	1.708	0.149	0.255	0.110	1.625	2.379	1.187	-2.124	-0.867	Level intake
84.500	0.186	0.210	0.407	1.794	0.104	0.186	0.079	1.574	2.368	1.180	-2.182	-0.970	
84.000	0.130	0.130	0.370	1.851	0.070	0.130	0.054	1.568	2.351	1.167	-2.221	-1.037	
83.500	0.085	0.070	0.333	1.872	0.045	0.085	0.034	1.614	2.315	1.157	-2.230	-1.087	

83.000	0.050	0.040	0.296	1.854	0.027	0.050	0.019	1.750	2.312	1.106	-2.262	-1.066	Elevasi dasar baru
82.500	0.024	0.020	0.259	1.791	0.013	0.024	0.008	1.949	2.111	1.122	-2.087	-1.102	
82.000	0.009	0.010	0.222	1.680	0.005	0.009	0.004	1.559	2.378	1.186	-2.369	-1.176	
81.500	0.008	0.010	0.185	1.517	0.005	0.008	0.003	1.758	2.366	1.177	-2.359	-1.167	
81.000	0.006	0.010	0.148	1.301	0.005	0.006	0.003	2.108	2.341	1.185	-2.335	-1.175	
80.500	0.005	0.000	0.111	1.032	0.004	0.005	0.002	2.792	2.400	1.050	-2.396	-1.050	
80.000	0.003	0.000	0.074	0.712	0.004	0.003	0.001	4.048	1.800	1.150	-1.797	-1.150	
79.500	0.002	0.000	0.037	0.351	0.006	0.002	0.001	13.669	2.800	0.700	-2.798	-0.700	
79.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	

Tabel 4.20 Distribusi Sedimen Pada Umur Layanan Waduk 33 Tahun Untuk Nilai Ap Metode Lara Dengan Nilai K1 Dan K2													keterangan
Elevasi (m)	Data Tahun 1982		Kedala man relatif (P) (m)	Luas Relatif (Ap) (10 ⁶ m ²)	faktor konversi (K1)	S 33 tahun =1.398.000		faktor konversi (K2)	S 33 tahun =1.398.000		hasil hitungan 33 tahun K2		
	Luas (A)	Volume (V)				luas	volume		luas	volume	luas	volume	
	(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)				(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)		(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)	(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
92.500	8.876	24.820	1.000	0.000	0.000	0.000	1.398	0.000	0.000	1.398	8.880	23.422	
92.000	7.869	20.640	0.963	0.008	1013.742	7.869	1.967	720.402	5.592	1.398	2.277	19.242	
91.500	6.908	16.950	0.926	0.037	186.449	6.908	3.694	70.557	2.614	1.303	4.294	15.647	
91.000	5.989	13.730	0.889	0.091	66.133	5.989	3.224	28.674	2.597	1.293	3.392	12.437	
90.500	5.112	10.950	0.852	0.168	30.412	5.112	2.775	15.320	2.575	1.276	2.537	9.674	
90.000	4.216	8.610	0.815	0.268	15.730	4.216	2.332	9.430	2.527	1.268	1.689	7.342	
89.500	3.517	6.660	0.778	0.388	9.069	3.517	1.933	6.558	2.543	1.258	0.974	5.402	
89.000	2.822	5.080	0.741	0.524	5.382	2.822	1.585	4.748	2.489	1.238	0.333	3.842	
88.500	2.222	3.820	0.704	0.674	3.298	2.222	1.261	3.656	2.463	1.236	-0.241	2.584	
88.000	1.772	2.830	0.667	0.832	2.130	1.772	0.999	2.982	2.481	1.235	-0.709	1.595	
87.500	1.392	2.040	0.630	0.995	1.399	1.392	0.791	2.473	2.460	1.214	-1.068	0.826	
87.000	1.042	1.430	0.593	1.158	0.900	1.042	0.609	2.068	2.394	1.180	-1.352	0.250	
86.500	0.743	0.990	0.556	1.315	0.565	0.743	0.446	1.770	2.328	1.150	-1.585	-0.160	
86.000	0.509	0.680	0.519	1.463	0.348	0.509	0.313	1.554	2.273	1.123	-1.764	-0.443	
85.500	0.335	0.470	0.481	1.595	0.210	0.335	0.211	1.391	2.220	1.248	-1.885	-0.778	
85.000	0.255	0.320	0.444	1.708	0.149	0.255	0.110	1.894	2.771	1.382	-2.516	-1.062	Level intake
84.500	0.186	0.210	0.407	1.794	0.104	0.186	0.079	1.834	2.758	1.374	-2.572	-1.164	Elevasi dasar baru

84.000	0.130	0.130	0.370	1.851	0.070	0.130	0.054	1.827	2.739	1.359	-2.609	-1.229
83.500	0.085	0.070	0.333	1.872	0.045	0.085	0.034	1.880	2.697	1.348	-2.612	-1.278
83.000	0.050	0.040	0.296	1.854	0.027	0.050	0.019	2.038	2.693	1.365	-2.643	-1.325
82.500	0.024	0.020	0.259	1.791	0.013	0.024	0.008	2.271	2.765	1.384	-2.741	-1.364
82.000	0.009	0.010	0.222	1.680	0.005	0.009	0.004	1.816	2.770	1.382	-2.761	-1.372
81.500	0.008	0.010	0.185	1.517	0.005	0.008	0.003	2.048	2.757	1.371	-2.749	-1.361
81.000	0.006	0.010	0.148	1.301	0.005	0.006	0.003	2.456	2.728	1.381	-2.722	-1.371
80.500	0.005	0.000	0.111	1.032	0.004	0.005	0.002	3.252	2.796	1.223	-2.792	-1.223
80.000	0.003	0.000	0.074	0.712	0.004	0.003	0.001	4.716	2.097	1.299	-2.094	-1.299
79.500	0.002	0.000	0.037	0.351	0.006	0.002	0.001	15.924	3.100	0.775	-3.098	-0.775
79.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000

Tabel 4.21 Distribusi Sedimen Pada Umur Layanan Waduk 35 Tahun Untuk Nilai Ap Metode Lara Dengan Nilai K1 Dan K2													keterangan
Elevasi (m)	Data Tahun 1982		Kedalaman relatif (P) (m)	Luas Relatif (Ap) (10 ⁶ m ²)	faktor konversi (K1)	S 35 tahun =1.482.705		faktor konversi (K2)	S 35 tahun =1.482.705		hasil hitungan 35 tahun K2		
	Luas (A)	Volume (V)				luas	volume		luas	volume	luas	volume	
	(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)				(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)		(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)	(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
92.500	8.876	24.820	1.000	0.000	0.000	0.000	1.483	0.000	0.000	1.483	8.880	23.337	
92.000	7.869	20.640	0.963	0.008	1013.742	7.869	1.967	764.203	5.932	1.483	1.937	19.157	
91.500	6.908	16.950	0.926	0.037	186.449	6.908	3.694	74.847	2.773	1.382	4.135	15.568	
91.000	5.989	13.730	0.889	0.091	66.133	5.989	3.224	30.418	2.755	1.372	3.234	12.358	
90.500	5.112	10.950	0.852	0.168	30.412	5.112	2.775	16.251	2.732	1.353	2.380	9.597	
90.000	4.216	8.610	0.815	0.268	15.730	4.216	2.332	10.003	2.681	1.345	1.535	7.265	
89.500	3.517	6.660	0.778	0.388	9.069	3.517	1.933	6.956	2.698	1.335	0.819	5.325	
89.000	2.822	5.080	0.741	0.524	5.382	2.822	1.585	5.037	2.641	1.313	0.181	3.767	
88.500	2.222	3.820	0.704	0.674	3.298	2.222	1.261	3.878	2.613	1.311	-0.391	2.509	
88.000	1.772	2.830	0.667	0.832	2.130	1.772	0.999	3.163	2.632	1.310	-0.860	1.520	
87.500	1.392	2.040	0.630	0.995	1.399	1.392	0.791	2.623	2.610	1.287	-1.218	0.753	
87.000	1.042	1.430	0.593	1.158	0.900	1.042	0.609	2.194	2.540	1.252	-1.498	0.178	
86.500	0.743	0.990	0.556	1.315	0.565	0.743	0.446	1.877	2.469	1.220	-1.726	-0.230	
86.000	0.509	0.680	0.519	1.463	0.348	0.509	0.313	1.649	2.412	1.192	-1.903	-0.512	
85.500	0.335	0.470	0.481	1.595	0.210	0.335	0.211	1.476	2.355	1.324	-2.020	-0.854	
85.000	0.255	0.320	0.444	1.708	0.149	0.255	0.110	2.009	2.940	1.466	-2.685	-1.146	Level intake dan elevasi dasar

													baru
84.500	0.186	0.210	0.407	1.794	0.104	0.186	0.079	1.946	2.926	1.458	-2.740	-1.248	
84.000	0.130	0.130	0.370	1.851	0.070	0.130	0.054	1.938	2.906	1.442	-2.776	-1.312	
83.500	0.085	0.070	0.333	1.872	0.045	0.085	0.034	1.995	2.861	1.323	-2.776	-1.253	
83.000	0.050	0.040	0.296	1.854	0.027	0.050	0.019	2.162	2.430	1.385	-2.380	-1.345	
82.500	0.024	0.020	0.259	1.791	0.013	0.024	0.008	2.409	3.110	1.512	-3.086	-1.492	
82.000	0.009	0.010	0.222	1.680	0.005	0.009	0.004	1.926	2.939	1.466	-2.930	-1.456	
81.500	0.008	0.010	0.185	1.517	0.005	0.008	0.003	2.172	2.924	1.454	-2.917	-1.444	
81.000	0.006	0.010	0.148	1.301	0.005	0.006	0.003	2.605	2.894	1.465	-2.888	-1.455	
80.500	0.005	0.000	0.111	1.032	0.004	0.005	0.002	3.450	2.966	1.298	-2.962	-1.298	
80.000	0.003	0.000	0.074	0.712	0.004	0.003	0.001	5.002	2.225	1.084	-2.222	-1.084	
79.500	0.002	0.000	0.037	0.351	0.006	0.002	0.001	16.892	2.110	0.528	-2.108	-0.528	
79.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	

Tabel 4.22 Distribusi Sedimen Pada Umur Layanan Waduk 50 Tahun Untuk Nilai Ap Metode Lara Dengan Nilai K1 Dan K2													keterangan
Elevasi (m)	Data Tahun 1982		Kedalaman relatif (P) (m)	Luas Relatif (Ap) (10 ⁶ m ²)	faktor konversi (K1)	S 50 tahun =2.118.150		faktor konversi (K2)	S 50 tahun =2.118.150		hasil hitungan 50 tahun K2		
	Luas (A)	Volume (V)				luas	volume		luas	volume	luas	volume	
	(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)				(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)		(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)	(10 ⁶ m ²)	(10 ⁶ m ³)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
92.500	8.876	24.820	1.000	0.000	0.000	0.000	1.483	0.000	0.000	2.118	8.880	22.702	
92.000	7.869	20.640	0.963	0.008	1013.742	7.869	1.967	1091.425	8.472	2.118	-0.603	18.522	
91.500	6.908	16.950	0.926	0.037	186.449	6.908	3.694	106.895	3.961	1.974	2.947	14.976	
91.000	5.989	13.730	0.889	0.091	66.133	5.989	3.224	43.442	3.934	1.959	2.055	11.771	
90.500	5.112	10.950	0.852	0.168	30.412	5.112	2.775	23.210	3.901	1.933	1.211	9.017	
90.000	4.216	8.610	0.815	0.268	15.730	4.216	2.332	14.287	3.829	1.921	0.387	6.689	
89.500	3.517	6.660	0.778	0.388	9.069	3.517	1.933	9.935	3.853	1.906	-0.336	4.754	
89.000	2.822	5.080	0.741	0.524	5.382	2.822	1.585	7.193	3.772	1.876	-0.950	3.204	
88.500	2.222	3.820	0.704	0.674	3.298	2.222	1.261	5.539	3.732	1.873	-1.510	1.947	
88.000	1.772	2.830	0.667	0.832	2.130	1.772	0.999	4.517	3.759	1.871	-1.987	0.959	
87.500	1.392	2.040	0.630	0.995	1.399	1.392	0.791	3.746	3.727	1.839	-2.335	0.201	
87.000	1.042	1.430	0.593	1.158	0.900	1.042	0.609	3.133	3.627	1.788	-2.585	-0.358	Elevasi dasar baru
86.500	0.743	0.990	0.556	1.315	0.565	0.743	0.446	2.681	3.526	1.743	-2.783	-0.753	

86.000	0.509	0.680	0.519	1.463	0.348	0.509	0.313	2.355	3.444	1.702	-2.935	-1.022	
85.500	0.335	0.470	0.481	1.595	0.210	0.335	0.211	2.108	3.363	1.890	-3.028	-1.420	
85.000	0.255	0.320	0.444	1.708	0.149	0.255	0.110	2.869	4.198	2.094	-3.943	-1.774	Level intake
84.500	0.186	0.210	0.407	1.794	0.104	0.186	0.079	2.779	4.179	2.082	-3.993	-1.872	
84.000	0.130	0.130	0.370	1.851	0.070	0.130	0.054	2.767	4.150	2.059	-4.020	-1.929	
83.500	0.085	0.070	0.333	1.872	0.045	0.085	0.034	2.849	4.087	2.042	-4.002	-1.972	
83.000	0.050	0.040	0.296	1.854	0.027	0.050	0.019	3.088	4.080	2.050	-4.030	-2.010	
82.500	0.024	0.020	0.259	1.791	0.013	0.024	0.008	3.441	4.120	2.079	-4.096	-2.059	
82.000	0.009	0.010	0.222	1.680	0.005	0.009	0.004	2.751	4.197	2.093	-4.188	-2.083	
81.500	0.008	0.010	0.185	1.517	0.005	0.008	0.003	3.102	4.176	2.077	-4.169	-2.067	
81.000	0.006	0.010	0.148	1.301	0.005	0.006	0.003	3.720	4.133	2.092	-4.127	-2.082	
80.500	0.005	0.000	0.111	1.032	0.004	0.005	0.002	4.927	4.236	1.853	-4.232	-1.853	
80.000	0.003	0.000	0.074	0.712	0.004	0.003	0.001	7.144	3.177	2.175	-3.174	-2.175	
79.500	0.002	0.000	0.037	0.351	0.006	0.002	0.001	24.125	5.521	1.380	-5.519	-1.380	
79.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 4.15 – 4.22 di atas berikut adalah perbandingan hasil perhitungan kapasitas tampungan berdasarkan *The Empirical Area Reduction* pada setiap tahunnya seperti yang terlihat pada Tabel 4.23 berikut.

Tabel 4.23 Hasil Perhitungan Kapasitas Tampungan Berdasarkan Metode *The Empirical Area Reduction*

Volume (m ³)			
23 Tahun	33 Tahun	35 Tahun	50 Tahun
(10 ⁶ m ³)	(10 ⁶ m ³)	(10 ⁶ m ³)	(10 ⁶ m ³)
23.620	23.422	23.337	22.702
19.440	19.242	19.157	18.522
15.832	15.647	15.568	14.976
12.620	12.437	12.358	11.771
9.855	9.674	9.597	9.017
7.522	7.342	7.265	6.689
5.580	5.402	5.325	4.754
4.017	3.842	3.767	3.204
2.759	2.584	2.509	1.947
1.770	1.595	1.520	0.959
0.998	0.826	0.753	0.201
0.361	0.250	0.178	-0.358
-0.172	-0.160	-0.230	-0.753
-0.416	-0.443	-0.512	-1.022
-0.613	-0.778	-0.854	-1.420
-0.867	-1.062	-1.146	-1.774
-0.970	-1.164	-1.248	-1.872
-1.037	-1.229	-1.312	-1.929
-1.087	-1.278	-1.253	-1.972
-1.066	-1.325	-1.345	-2.010
-1.102	-1.364	-1.492	-2.059
-1.176	-1.372	-1.456	-2.083
-1.167	-1.361	-1.444	-2.067
-1.175	-1.371	-1.455	-2.082
-1.050	-1.223	-1.298	-1.853
-1.150	-1.299	-1.084	-2.175
-0.700	-0.775	-0.528	-1.380
0.000	0.000	0.000	0.000

4.7 Pengaruh Sedimentasi Terhadap Umur Bendungan

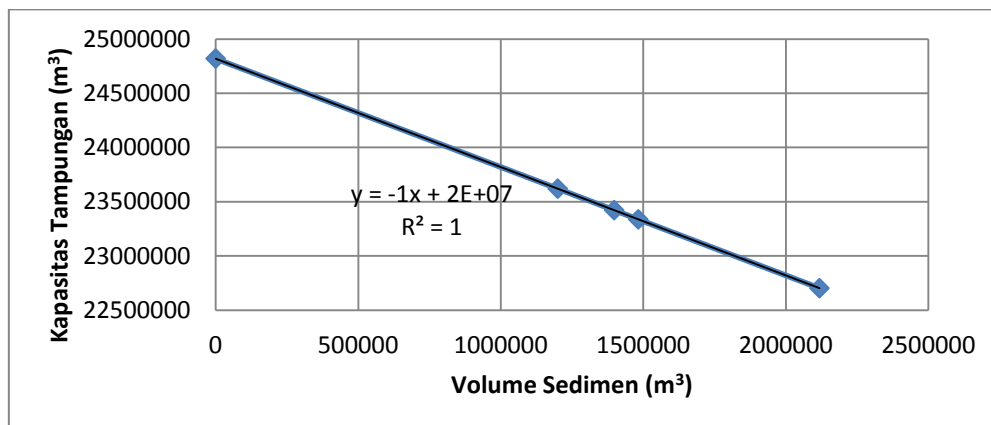
Berdasarkan hasil analisa dengan menggunakan metode *The Empirical Area Reduction* dengan perkiraan volume sedimen yang mengendap pada bendungan disetiap tahunnya yang semakin meningkat seiring dengan bertambahnya tahun beroperasinya bendungan diperoleh umur bendungan hanya mencapai umur 35 tahun dengan besarnya volume sedimen yang mengendap di bendungan yaitu 1.482.705 m³ yang mengakibatkan elevasi dasar waduk menjadi + 85.00 m dengan kapasitas volume tampungan sebesar 23.337.000 m³ pada elevasi maksimum. Berikut rekapitan hasil perhitungan sedimentasi pada berbagai umur yang ditinjau seperti yang terlihat pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Rekapitan Hasil Perhitungan Sedimentasi Pada Setiap Tahun

Umur Bendungan (Tahun)	Volume Sedimentasi (m ³)	Elevasi Dasar Baru (m)	Kapasitas Tampungan (m ³)
0	0	+ 79,00	24.820.000
23	1.200.000	+ 82,50	23.620.000
33	1.398.000	+ 84,50	23.422.000
35	1.482.705	+ 85,00	23.337.000
50	2.118.150	+ 87,00	22.702.000

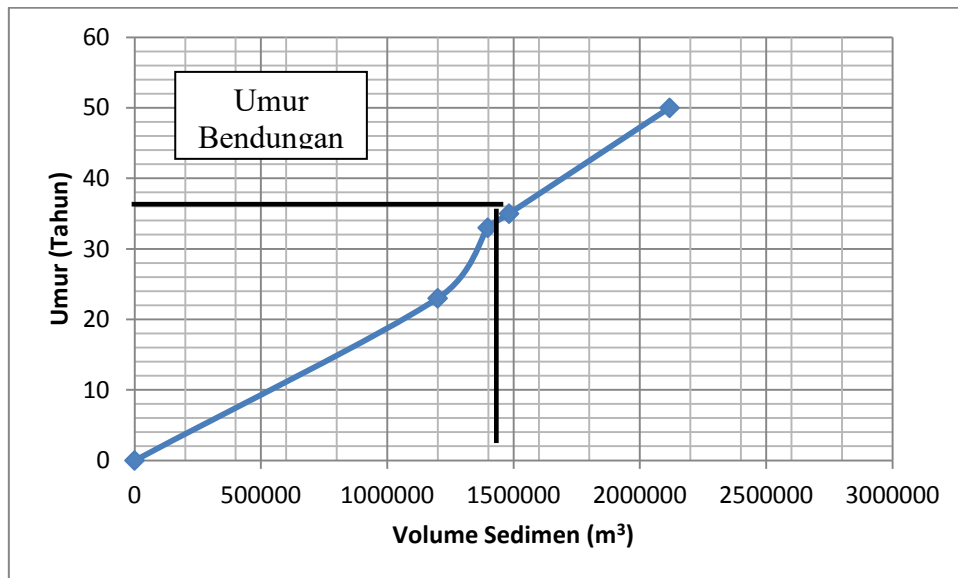
(Sumber : Hasil Perhitungan)

Berikut pengaruh volume sedimentasi terhadap perubahan kapasitas tampungan bendungan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Antara Volume Sedimentasi Terhadap Perubahan Kapasitas Tampungan

Sedangkan pengaruh volume sedimentasi terhadap umur bendungan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 berikut.



Gambar. 4.10 Grafik Pengaruh Volume Sedimentasi Terhadap Umur Bendungan

Berdasarkan Gambar 4.10 memperlihatkan hubungan yang linier antara volume sedimentasi pada bendungan terhadap perubahan kapasitas tampungan sedimen, dimana apabila volume sedimen bertambah besar maka akan mengakibatkan kapasitas tampungan dari bendungan akan semakin berkurang begitu pula sebaliknya apabila volume sedimen berkurang maka volume kapasitas tampungan bendungan akan meningkat. Sedangkan berdasarkan pada Gambar 4.10 memperlihatkan hubungan linier yang berbanding terbalik antara volume sedimen terhadap umur dari bendungan, dimana volume sedimen akan semakin meningkat seiring dengan bertambahnya waktu. Dalam hal ini kapasitas volume yang dapat ditampung pada bendungan Batujai hanya sampai umur 35 tahun yaitu mulai dari tahun 1982-2017 dengan sisa umur bendungan Batujai setelah lamanya beroperasi yaitu 2 tahun.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan sedimentasi untuk memperkirakan umur bendungan menggunakan *the empirical area reduction method* dapat disimpulkan bahwa :

1. Penelitian ini telah berhasil memodelkan besaran-besaran variabel iklim lokal akibat perubahan iklim global,
2. Besarnya sedimentasi yang terjadi di Bendungan Batujai pada tahun 2015 atau pada umur 33 tahun yaitu 1.398.000 m³.
3. Perubahan kapasitas tampungan Bendungan Batujai akibat sedimentasi umur 23 tahun yaitu sebesar 23.620.000 m³ dengan volume sedimen sebesar 1.200.000 m³, umur 33 tahun yaitu 23.422.000 m³ dengan volume sedimen sebesar 1.398.000 m³, umur 35 tahun yaitu 23.337.000 m³ dengan volume sedimen sebesar 1.482.705 m³ dan umur 50 tahun yaitu 22.702.000 m³ dengan volume sedimen sebesar 2.118.150 m³.
4. Umur guna Bendungan Batujai hanya mencapai umur 35 tahun yaitu mulai dari tahun 1982 sampai tahun 2017, sisa umur guna Bendungan Batujai yaitu 2 tahun atau sampai pada tahun 2017 dari tahun 2015 dengan besarnya volume sedimentasi yaitu 1.482.705 m³ karena telah menutupi volume tampungan mati (*dead storage*) sebesar 1.400.000 m³.

5.2 Saran

Adapun saran berdasarkan hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengukuran *Echo-Sounding* pada elevasi yang sama dengan pengukuran pada tahun 2005 untuk mengetahui peningkatan sedimen pada tampungan aktif maupun pada tampungan mati (*dead storage*).
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan memperhitungkan jenis, bahan, dan asal terjadinya sedimentasi.
3. Sebaiknya dilakukan penanganan sedini mungkin terkait masalah sedimentasi pada Bendungan Batujai oleh pihak terkait agar bendungan tersebut dapat berfungsi sampai umur rencana, melihat fungsi dan manfaat Bendungan Batujai yang sangat Vital bagi masyarakat di daerah Praya Kabupaten Lombok Tengah.

4. Usaha-usaha yang dapat dilakukan untuk memperpanjang umur Bendungan Batujai adalah dengan pengerukan sedimen serta membuat checkdam di sungai-sungai di hulu Bendungan Batujai untuk menahan sedimen agar tidak masuk kedalam Bendungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2015. *Waduk Jatigede : Dampak Sosial dan Lingkungan Bendungan Raksasa*. Di unduh di <http://www.wikipedia/waduk-jatigede/Goldsmith-1993/pukul-11.04/21-10-2015>.
- Asdak, C. 2010. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- BWS. 2015. *Data Teknis Bendungan Batujai 1982-2005*. Mataram : CV. Karya Utama Jaya.
- Dicky, J. M. 2006. *Perkiraan Umur Layanan Waduk Mrica Banjarnegara Jawa Tengah dengan Metode Kapasitas Tampung Mati (Dead Storage) dan Distribusi Sedimen (The Empirical Area Reduction)*. Tugas Akhir, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil. Purwokerto: Universitas Jenderal Soedirman.
- Dingman, S. L., 2002: *Physical Hydrology*. ISBN: 0-13-099695-5. Prentice Hall. USA.
- Hardiyatmo, C. 2006. *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*. Yogyakarta : UGM Press.
- Intergovernmental Panel On Climate Change (IPCC), 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis; Impacts, Adaptation, and Vulnerability; Mitigation; and Model Evaluation. The Third Assessment Report (TAR) of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, U.K. and New York, N.Y., U.S.A.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Synthesis Report and The Physical Science Basis - Summary for Policymakers*. IPCC Plenary XXVII. Valencia, Spain.
- Kasiro, Ibnu - Adidharma, Wanny - Rusli, Bhre Susantini - Nugroho, CL – Sunarlo. 2003. *Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil untuk Daerah Semi Kering di Indonesia*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2013. *Bendungan Batujai*. <http://www.pu.go.id> diunduh pukul 14.00 WITA, pada tanggal 28 Mei 2015.
- Kimpraswil. 2015. *Peta Daerah Aliran Sungai Sub SWS Lombok*. Mataram : CV. Duta Perdana.
- Kironoto, B.A. 2001. *Kajian Angkutan Sedimen pada Saluran Curam dengan Material Dasar Halus*. Forum Teknik Sipil No. X, pp 13 – 21. Yogyakarta :Jurusan Teknik Sipil FT UGM.
- Kironoto, B.A. 2003. *Diktat Hidraulika Transpor Sedimen*. Yogyakarta : Program Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada.
- Kristanto, Agus., 2006. *Analisis Sedimentasi Terhadap Usia Guna Waduk Sempor Kabupaten Kebumen*. Tugas Akhir Fakultas Teknik. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Kurnia, Abdullah Arif. 2015. *Pola Perubahan Ketersediaan Air Waduk Menggunakan Citra Landsat*. Malang : IPB.
- Linsley, R. K. 2005. *Teknik Sumber Daya Air Jilid I dan II*. Jakarta : Erlangga.

- Lopes, P., 2009: Assessment of statistical downscaling methods - application and comparison of two statistical methods to a single site in Lisbon. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 6.
- Majone, B., C. I. Bovolo, A. Bellin, S. Blenkinsop, and H. J. Fowler, 2012: Modeling the impacts of future climate change on water resources for the Gállego river basin (Spain), *Water Resour. Res.*, 48, W01512, doi:10.1029/2011WR010985.
- Mays, Larry, W., dan Tung, Yeou Koung. 2004. *Hydrosystems Engineering and Management*. New York : Mc Graw Hill.
- Mays, Larry, W, editor in chief. 2004. *Water Resources Handbook*. Singapore : Mc Graw Hill.
- McDaniels, T. and H. Dowlatabadi, 2008: How does downscaling work?. University of British Columbia. Canada.
- Negara I.D.G. Jaya, Pracoyo A., Suroso A., 2003, Pengaruh Limbah Batu Apung terhadap Laju Erosi Dasar Sungai, *Jurnal Penelitian Universitas Mataram*, Edisi A : Sains dan Teknologi, Vol. 2 No. 3 Pebruari 2003
- Nugroho, Aryo. 2005. *Tinjauan Solusi Pemodelan dengan Analisa Regresi dan Jaringan Saraf Tiruan*. Surabaya : Universitas Narotama.
- Pryor, S. C., 2009: Understanding Climate Change: Climate Variability, Predictability, and Change in the Midwestern United States. Bloomington : Indiana University Press.
- Qohar, Abdul. 2002. *Prediksi Umur Layanan Waduk Kedungombo Akibat Sedimen*. Tugas Akhir. Purwokerto : Fakultas Teknik Universitas Jenderal Soedirman.
- Rouf, A. 2004. *Metode Pengukuran Sediment Transfort Dan Analisa Sedimen Di Laboratorium*. Semarang : Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.
- Raiz, F.J., 2013. Bendungan Batujai. Kementerian Pekerjaan Umum, Dirjen. Sumber daya Air, Balai Wilayah Sungai NT 1.
- Saud, Ismail. 2008. *Prediksi Sedimentasi Kali Mas Surabaya*. Surabaya : Jurnal Aplikasi ITS.
- Sosrodarsono, Suyono. 2002. *Bendungan Tipe Urugan*. Jakarta : PT. Pradnya Pramita.
- Suhudi. 2008. *Kajian Hidrolisi Penurunan Elevasi Dasar Sungai terhadap Bendung Karet Jatimlerek Kabupaten Jombang*. Malang : Universitas Trubhuwana Tunggadewi.
- Sulistiyono, H., 2011. Predicted Regional Hydrologic and Climatic Variables under Climate Change Scenarios using Statistical Downscaling Techniques for Future Water Resource Studies in Lombok, Indonesia. The 64th Canadian Water Resources Association (CWRA) National Conference.
- Sulistiyono, H., 2012. A Proposed Downscaling Model for Climate Change Studies. Canadian Society for Civil Engineering (CSCE) 2012.
- Sulistiyono, H., 2013. Potential Impacts of Climate Change On Water Resources in Lombok, Indonesia. Doctoral Thesis. Memorial University of Newfoundland.
- Surahman,A., I. M. Wisnu W dan Sasongko, 2005. Optimalisasi Embung Dalam Pengembangan Usahatani Lahan Kering Di NTB. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Nusa Tenggara Barat.
- Suripin. 2004. *Konservasi Tanah dan Air*. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Suroso, dkk. 2007. *Studi Pengaruh Sedimentasi Kali Brantas terhadap Kapasitas dan Usia Rencana Waduk Sutami Malang*. Malang : Universitas Brawijaya.
- Susanti, Triana dan Muh. Henrdie S. 2006. *Evaluasi Sedimen di Waduk Selorejo dan Alternatif Penanganannya*. Malang : Universitas Diponegoro.
- Tallaksen, L.M. and H.A.J. Van Lanen, 2004: Developments in Water Science 48. Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. ELSEVIER. ISBN: 0-444-51688-3.
- US. EPA, 2010: Climate Change. <http://www.epa.gov/climatechange/>

- Viessman, W. Jr., 2003: Introduction to Hydrology, Fifth Edition. ISBN: 0-67-399337-X. Prentice Hall. NJ 07458.
- Widalia, Baiq Utami. 2014. *Analisis Sedimentasi terhadap Umur Guna Bendungan Pengga Kabupaten Lombok Tengah*. Skripsi : Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- Widyaningsih, I.W., 2008. Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Di Sub Das Keduang Ditinjau Dari Aspek Hidrologi. Master Thesis. Program Pascasarjana Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Wilby, R.L., Charles, S.P., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P., Mearns, L.O., 2004: Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Downscaling Methods. Supporting Material of the IPCC. http://www.ipcc-data.org/guidelines/dgm_no2_v1_09_2004.pdf
- Zainuddin, M., dan Kironoto, BA. 2003. *Distribusi Sedimen Suspensi pada Aliran Seragam dengan dan Tanpa Angkutan Sedimen Dasar*. Journal Teknosains, Jilid 16, No.1, Januari, Berkala Penelitian Pascasarjana. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada.