

ANALISIS PENGARUH DEBIT DAN KEDALAMAN ALIRAN TERHADAP POLA GERUSAN DI SEKITAR ABUTMEN DENGAN TIPE PONDASI YANG BERBEDA

Baiq Weny Anggun Ratna Sari¹, Anid Supriyadi², Yusron Saadi³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik, ²Dosen Pembimbing Pertama, ³Dosen Pembimbing Jurusan Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

ABSTRAK

Gerusan merupakan fenomena alam yang disebabkan oleh aliran air yang mengikis dasar saluran. Keberadaan jembatan pada badan sungai dapat mengganggu kestabilan sungai itu sendiri. Abutmen merupakan bangunan jembatan yang terletak di pinggir sungai, yang dapat mengakibatkan perubahan pola aliran. Bangunan seperti abutmen jembatan selain dapat merubah pola aliran juga dapat menimbulkan perubahan bentuk dasar saluran seperti penggerusan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh bentuk pondasi abutmen terhadap kedalaman gerusan yang terjadi di sekitar abutmen jembatan. Penelitian ini menggunakan skala laboratorium. Percobaan dilakukan dengan menggunakan satu debit dan tiga variasi kedalaman aliran. Sedangkan untuk model abutmen, digunakan tiga bentuk variasi. Abutmen yang memiliki gerusan paling dalam adalah abutmen kedua dan abutmen ketiga memiliki kedalaman gerusan terkecil. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa abutmen dengan tipe pondasi ketiga merupakan abutmen yang terbaik karena memiliki kedalaman gerusan terkecil untuk tiap variasi kedalaman aliran dibandingkan dengan tipe abutmen pertama dan kedua.

Kata Kunci : Kedalaman Gerusan, Kedalaman Aliran dan Bentuk Abutmen

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sungai memiliki peran yang penting bagi kehidupan manusia. Hal ini dapat kita lihat dari pemanfaatan sungai yang makin lama makin kompleks seiring dengan perkembangan jumlah penduduk yang berarti bertambah pula kebutuhan, mulai dari sarana transportasi, sumber air baku, sumber tenaga listrik dan sebagainya.

Sungai dapat mengalami perubahan morfologi pada bentuk tampang aliran yang disebabkan oleh faktor alam seperti tikungan dan faktor manusia seperti pembangunan bangunan air. Salah satu bangunan yang terdapat di sungai adalah jembatan yang merupakan sarana transportasi yang menghubungkan daerah yang terpisah oleh sungai. Jembatan umumnya terdiri dari dua bangunan penting, yaitu struktur bangunan atas dan struktur bangunan bawah (Halim, 2014).

Salah satu struktur utama bangunan bawah jembatan adalah abutmen jembatan yang selalu berhubungan langsung dengan aliran sungai. Abutmen merupakan bangunan

jembatan yang terletak di pinggir sungai, yang dapat mengakibatkan perubahan pola aliran. Bangunan seperti abutmen jembatan selain dapat merubah pola aliran juga dapat menimbulkan perubahan bentuk dasar saluran seperti penggerusan. Gerusan lokal yang terjadi pada abutmen biasanya terjadi pada bagian hulu abutmen dan proses deposisi pada bagian hilir abutmen (Hanwar, 1999).

Menurut Rawiyah dan Yulistiyanto (2007), gerusan yang terjadi di sekitar abutmen merupakan akibat dari sistem pusaran (*vortex system*) yang timbul karena aliran dirintangi oleh bangunan tersebut. Sistem pusaran yang menyebabkan lubang gerusan (*scour hole*) berawal dari sebelah hulu abutmen yaitu pada saat mulai timbul komponen aliran dengan arah aliran ke bawah. Karena aliran yang datang dari hulu dihalangi oleh abutmen, maka aliran akan berubah arah menjadi arah vertikal menuju dasar saluran dan sebagian berbelok arah menuju depan abutmen selanjutnya diteruskan ke hilir. Aliran arah vertikal ini akan terus menuju dasar yang selanjutnya akan membentuk pusaran. Di dekat dasar saluran komponen

aliran berbalik arah vertikal ke atas, peristiwa ini diikuti dengan terbawanya material dasar sehingga terbentuk aliran spiral yang akan menyebabkan gerusan dasar. Hal ini akan terus berlanjut hingga tercapai keseimbangan.

Proses gerusan bisa menyebabkan erosi dan degradasi di sekitar jembatan. Degradasi ini berlangsung secara terus menerus hingga dicapai keseimbangan antara suplai dan angkutan sedimen yang saling memperbaiki. Apabila suplai sedimen dari hulu berkurang atau jumlah angkutan sedimen lebih besar daripada suplai sedimen, maka bisa menyebabkan terjadinya kesenjangan yang begitu menyolok antara degradasi dan aggradasi di daerah fondasi jembatan sehingga lubang gerusan (*scour hole*) pada abutmen maupun pilar jembatan akan lebih dalam bila tidak terdapat atau kurangnya suplai sedimen. Hal ini bisa menyebabkan rusaknya abutmen maupun pilar jembatan (Abdurrosyid dan Fatchan, 2007).

Kedalaman aliran merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi besarnya gerusan lokal yang terjadi di sekitar abutmen jembatan. Kedalaman aliran akan sangat berpengaruh terhadap kecepatan aliran yang terjadi. Semakin dalam aliran yang terjadi maka kecepatan semakin berkurang, apabila kedalaman aliran berkurang maka kecepatan akan bertambah, sehingga besarnya gerusan yang diakibatkan adanya pengaruh kedalaman aliran akan berbeda pula (Affandi, 2007). Oleh karena itu perlu adanya penelitian tentang gerusan di sekitar abutmen jembatan akibat parameter aliran sungai seperti debit, kedalaman aliran serta bentuk pondasi abutmen yang dapat mempengaruhi besarnya gerusan yang terjadi di sekitar abutmen jembatan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang, maka yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh debit dan kedalaman aliran terhadap kedalaman gerusan lokal?
2. Bagaimana pengaruh kecepatan aliran terhadap kedalaman gerusan yang terjadi pada dasar saluran ?
3. Abutmen manakah yang memiliki kedalaman gerusan terbesar karena pengaruh debit dan kedalaman aliran ?

4. Bagaimana pola gerusan yang terjadi di sekitar abutmen karena pengaruh debit dan kedalaman aliran?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai dalam penelitian ini yaitu untuk :

1. Mengetahui pengaruh debit dan kedalaman aliran terhadap kedalaman gerusan lokal.
2. Mengetahui pengaruh kecepatan terhadap kedalaman gerusan.
3. Mengetahui tipe abutmen yang memiliki kedalaman gerusan yang terbesar.
4. Mengetahui pengaruh tipe abutmen terhadap pola gerusan di sekitar abutmen.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah dapat memberikan masukan pengetahuan dan pengembangannya pada bidang studi hidrolika yang berkaitan dengan gerusan lokal di sekitar abutmen jembatan. Hasil penelitian ini juga diharapkan dapat sebagai masukan bagi konsultan perencana dalam konstruksi bangunan air dalam hal ini adalah pembangunan abutmen dan juga sebagai informasi untuk penelitian lebih lanjut.

2. Dasar Teori

2.1. Tinjauan Pustaka

Affandi (2007) melakukan penelitian dengan judul Pengaruh Kedalaman Aliran Terhadap Perilaku Gerusan Lokal Di Sekitar Abutmen Jembatan dengan tipe abutmen yang digunakan adalah *semi circular-end abutment*. Variasi kedalaman yang digunakan adalah 0,09 m; 0,10 m; 0,11 m dan 0,12 m. Dari hasil penelitian tersebut ditemukan hasil bahwa kedalaman gerusan maksimum terjadi pada kedalaman aliran 0,09 m sedangkan kedalaman gerusan minimum terjadi pada kedalaman 0,12 m. Semakin bertambah kedalaman aliran maka gerusan yang terjadi semakin kecil. Pola gerusan yang terjadi di semua abutmen dengan berbagai kedalaman aliran relatif sama meskipun dengan lebar dan kedalaman gerusan yang berbeda.

Mulyandari (2010) melakukan penelitian dengan judul Kajian Gerusan Lokal Pada Ambang Dasar Akibat Variasi Q (Debit), I (Kemiringan) dan T (Waktu) menyatakan bahwa berdasarkan hasil penelitian, adanya pelindung sedimen atau ambang dasar saluran menimbulkan gerusan yang besar dibandingkan dengan tanpa adanya ambang dasar sehingga adanya ambang dasar saluran berpengaruh terhadap adanya gerusan lokal. Adanya variasi antara Q (debit), I (kemiringan), dan T (waktu) sangat berpengaruh terhadap terjadinya gerusan lokal sehingga adanya variasi antara Q (debit), I (kemiringan), dan T (waktu) berpengaruh terhadap terjadinya gerusan lokal di hilir ambang dasar saluran.

Daties (2012) dalam penelitiannya yang berjudul Kajian Pola Gerusan Pada Tikungan Sungai Akibat Penambahan Debit menyimpulkan bahwa aliran pada dinding tebing mengakibatkan keruntuhan tebing dan angkutan material. Semakin tinggi debit aliran yang diberikan, semakin besar kerusakan dinding yang terjadi.

Rizal (2012) dalam penelitiannya yang berjudul Pola Gerusan Lokal Di Sekitar Abutmen Jembatan Tipe *Spill-Through* (Model Eksperimental) menyimpulkan dengan debit yang sama, kedalaman gerusan lokal di sekitar abutmen tipe *spill-through* berbanding terbalik dengan kedalaman aliran, semakin besar kedalaman maka kedalaman gerusan akan semakin kecil dengan kemiringan yang sama. Kedalaman aliran berbanding lurus dengan kecepatan geser butiran dan kedalaman aliran berbanding terbalik dengan kecepatan aliran.

Halim (2014) dalam jurnalnya yang berjudul Pengaruh Debit terhadap Pola Gerusan Di Sekitar Abutmen Jembatan (Uji Laboratorium Dengan Skala Model Jembatan Megawati) menyatakan semakin besar debit yang melewati abutmen jembatan, maka pola gerusan yang terbentuk semakin mengecil, kedalaman gerusan di sekitar abutmen jembatan semakin dalam dan jarak atau panjang gerusan semakin jauh ke arah hilir. Sebaliknya semakin kecil debit aliran yang melewati abutmen jembatan maka pola gerusan yang terbentuk semakin melebar,

kedalamannya semakin kecil dengan jarak atau panjang gerusan ke arah hilir semakin pendek. Dengan perlakuan 2 variasi debit yang berbeda menunjukkan bahwa semakin besar debit maka waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi keseimbangan gerusan semakin lama.

2.2. Landasan Teori

2.2.1 Gerusan

Proses erosi dan deposisi umumnya terjadi karena perubahan pola aliran terutama pada sungai alluvial. Perubahan pola aliran terjadi karena adanya halangan pada aliran sungai tersebut, berupa bangunan sungai seperti pilar jembatan dan abutmen. Bangunan semacam ini dipandang dapat merubah geometri alur dan pola aliran yang selanjutnya diikuti gerusan lokal di sekitar bangunan (Legono (1990) dalam Abdurrosyid dan Fatchan (2007)).

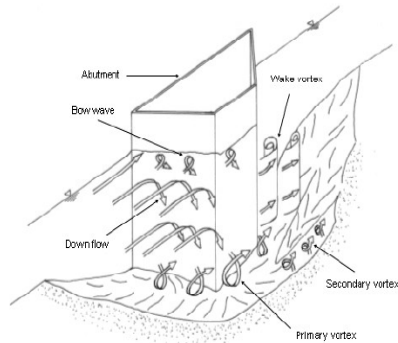
Legono (1990) dalam Abdurrosyid dan Fatchan (2009) membedakan tipe gerusan adalah sebagai berikut :

1. Gerusan umum di alur sungai, tidak berkaitan sama sekali dengan ada atau tidak adanya bangunan sungai.
2. Gerusan di lokalisasi di alur sungai, terjadi karena penyempitan aliran sungai menjadi terpusat.
3. Gerusan lokal di sekitar bangunan, terjadi karena pola aliran lokal di sekitar bangunan sungai.

2.2.2 Mekanisme Gerusan

, Gerusan yang terjadi di sekitar abutmen jembatan adalah akibat sistem pusaran (*vortex system*) yang timbul karena aliran dirintangi oleh bangunan tersebut. Sistem pusaran yang menyebabkan lubang gerusan (*scour hole*), berawal dari sebelah hulu abutmen yaitu pada saat mulai timbul komponen aliran dengan arah aliran ke bawah, karena aliran yang datang dari hulu dihalangi oleh abutmen, maka aliran akan berubah arah menjadi arah vertikal menuju dasar saluran dan sebagian berbelok arah menuju depan abutmen selanjutnya diteruskan ke hilir. Aliran arah vertikal ini akan terus menuju dasar yang selanjutnya akan membentuk pusaran (Legono (1990) dalam Fitriana (2012)).

Di dekat dasar saluran komponen aliran berbalik arah vertikal ke atas, peristiwa ini diikuti dengan terbawanya material dasar sehingga terbentuk aliran spiral yang akan menyebabkan gerusan dasar. Hal ini akan terus berlanjut hingga tercapai keseimbangan.



Gambar 1 Pola aliran dan gerusan di sekitar abutmen
(Sumber : Breuser dan Raudkivi, (1991))

2.2.3 Awal Gerak Butiran

Pada aliran seragam (*uniform*), tegangan geser material dasar (*bed load*) dapat dinyatakan sebagai berikut

$$\tau_0 = \rho_w \cdot g \cdot h \cdot I \quad 2-1$$

Kecepatan geser :

$$U_* = \sqrt{g \cdot h \cdot I} \quad 2-2$$

Kecepatan geser kritis diberikan:

$$U_{*c} = \sqrt{\theta_c \cdot g \cdot \Delta \cdot d} \quad 2-3$$

Tegangan geser kritis:

$$\tau_c = \rho_w \cdot \theta_c \cdot g \cdot \Delta \cdot d \quad 2-4$$

dengan :

- τ_0 = tegangan geser (N/m^2)
- ρ_w = berat jenis air (kg/m^3)
- ρ = rapat massa (kg/m^3)
- g = percepatan gravitasi (m/dt^2)
- I = kemiringan dasar sungai
- Δ = *relatif densiti*
- τ_c = tegangan geser kritis (N/m^2)
- U_{*c} = kecepatan geser kritis (m/dt)
- U_* = kecepatan geser (m/dt)
- d = diameter butiran (m)

Hubungan antara persamaan di atas ditunjukkan dengan suatu eksperimen oleh *Shields*, sehingga menghasilkan grafik pergerakan awal (grafik *Shields*). Melalui grafik *Shields* dengan

mengetahui bilangan *Reynolds* (Re) atau diameter butiran (d), maka nilai tegangan kritis (τ_c) dapat diketahui. Bila tegangan geser aliran berada dibawah nilai kritisnya maka butiran sedimen tidak bergerak. Sebaliknya bila tegangan geser aliran melebihi nilai kritisnya maka butiran sedimen bergerak, dengan kata lain :

- $\tau_0 < \tau_c$ butiran dasar tidak bergerak,
- $\tau_0 = \tau_c$ butiran dasar saat mulai bergerak,
- $\tau_0 > \tau_c$ butiran dasar bergerak,

2.2.4. Program Surfer

Surfer merupakan suatu perangkat lunak yang digunakan untuk menggambarkan peta kontur dan permodelan tiga dimensi yang berdasarkan pada *grid*. Dalam penelitian ini, *surfer* digunakan untuk menggambarkan pendekatan pola gerusan akibat abutmen pada saluran. Input atau masukan data ke *worksheet* dalam program *surfer* berupa data dari suatu koordinat x, y, z . Data dalam *worksheet* diplot dalam *surfer* sehingga output atau keluaran yang dihasilkan berupa gambar dengan dua dimensi dan tiga dimensi dalam *filesurfer*.

3. Metodologi Penelitian

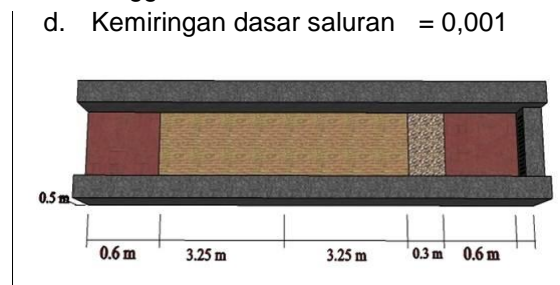
3.1. Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidraulika dan Pantai, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram.

3.2 Model Fisik Saluran

Model fisik saluran berbentuk persegi panjang dengan dimensi saluran sebagai berikut :

- a. Panjang saluran beton = 8 m
- b. Lebar = 0,50 m
- c. Tinggi = 0,50 m
- d. Kemiringan dasar saluran = 0,001



Gambar 2. model fisik saluran

3.3 Model Fisik Abutmen

Model abutmen terbuat dari kaca berbentuk *wing-wall abutment* dengan variasi bentuk pondasi yang berbeda.



Gambar 3. Bentuk tiga model abutmen

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Analisa gerusan pada dasar saluran ini dilakukan dalam beberapa model sampel. Dengan beberapa variabel yaitu berupa 3 model abutmen, kemudian untuk tiap model dicoba dengan 3 model kedalaman aliran yang berbeda dengan satu kondisi debit aliran. Setiap model dilakukan *running* sebanyak 3 kali untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Berikut model

rancangan percobaan dapat dilihat pada tabel **Tabel 1**. Model rencana penelitian

Model Abutmen (A)	Debit (Q), m ³ /dt	Kedalaman (h), m	Running	Kode Percobaan
A ₁	Q	h ₁	1	A1h1.1
			2	A1h1.2
			3	A1h1.3
		h ₂	1	A1h2.1
			2	A1h2.2
			3	A1h2.3
		h ₃	1	A1h3.1
			2	A1h3.2
			3	A1h3.3
A ₂	Q	h ₁	1	A2h1.1
			2	A2h1.2
			3	A2h1.3
		h ₂	1	A2h2.1
			2	A2h2.2
			3	A2h2.3
		h ₃	1	A2h3.1
			2	A2h3.2
			3	A2h3.3
A ₃	Q	h ₁	1	A3h1.1
			2	A3h1.2
			3	A3h1.3
		h ₂	1	A3h2.1
			2	A3h2.2
			3	A3h2.3
		h ₃	1	A3h3.1
			2	A3h3.2
			3	A3h3.3

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Berat Jenis

Pengujian berat jenis material dasar dilakukan di Laboratorium Geoteknik dan Geodesi, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir lolos saringan no.10 dan tertahan pada no. 200. Untuk mencari berat jenis angkutan material dasar (*bed load*), digunakan tiga sampel material dasar. Hasil analisa berat jenis ini dapat dilihat pada Tabel.2

Tabel 2. Pengujian berat jenis material dasar (*bed load*)

No. Piknometer		I	II	III
Berat Piknometer	(W1) (gram)	30,63	29,72	30,34
Berat Piknometer + Tanah Kering	(W2) (gram)	40,63	39,72	40,34
Berat Tanah Kering	(W _t = W2 - W1) (gram)	10	10	10
Berat Piknometer + Tanah Kering + Air	(W3) (gram)	86,16	85,72	85,97
Berat Piknometer + Air	(W4) (gram)	79,25	79,25	79,25
Temperatur	(C)	25	25	25
Faktor Koreksi Temperatur	(K)	1	1	1
Berat Piknometer + Air Terkoreksi	(W5) (gram)	79,25	79,25	79,25
Berat Jenis Tanah	$(W2-W1)/[(W5-W1)-(W3-W2)]$ (gram/cm ³)	3,236	2,833	3,049
Berat Jenis Tanah Rerata	(gram/cm ³)	3,039		

(Sumber: Hasil perhitungan)

Dari hasil pemeriksaan berat jenis material dasar ini, diperoleh nilai rerata berat jenis material yaitu sebesar $3,039 \text{ gram/cm}^3$ atau 3039 kg/m^3 .

4.2. Karakteristik Aliran

Data karakteristik aliran pada tahap running dilakukan dengan satu variasi debit dengan tiga variasi kedalaman aliran dengan satu kemiringan dasar saluran tertentu. Karakteristik aliran meliputi debit (Q), kecepatan aliran (U) dan kecepatan geser buiran (U_*). Untuk mendapatkan variabel tersebut dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Perhitungan debit aliran (Q)

Perhitungan debit yang melewati ambang tajam digunakan cara manual yaitu dengan menampung air yang keluar melewati ambang persegi ke dalam wadah berbentuk silinder dengan ukuran diameter 28,5 cm dan tinggi 32,5 cm dengan catatan ukuran waktu sampai air di dalam wadah tersebut penuh. Pencatatan waktu dilakukan sebanyak lima kali. Dari hasil pengukuran dan perhitungan diperoleh besarnya nilai debit sebesar $7,161 \text{ liter/dt}$ atau $7,161 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$.

2. Perhitungan luas penampang basah saluran (A)

Untuk mendapatkan luas penampang basah saluran berbentuk persegi digunakan Persamaan (2-3). Dari hasil pengukuran diperoleh lebar saluran (B) = 50 cm dan tinggi muka air pada saluran (h) = 4 cm.

$$\begin{aligned} A &= B \cdot h \\ &= 50 \text{ cm} \times 4 \text{ cm} \\ &= 200 \text{ cm}^2 \\ &= 0,02 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

3. Perhitungan kecepatan aliran (U)

Kecepatan aliran diperoleh dengan menggunakan Persamaan (2-2).

$$U = Q/A$$

$$= 7,161 \times 10^{-3} / 0,02$$

$$= 0,3581 \text{ m/s}$$

4. Perhitungan keliling basah saluran (P)

$$\begin{aligned} P &= B + 2h \\ &= 50 + (2 \times 4) \\ &= 58 \text{ cm} \\ &= 0,58 \text{ m} \end{aligned}$$

5. Perhitungan jari-jari hidrolis (R)

$$\begin{aligned} R &= A/P \\ &= 0,02/0,58 \\ &= 0,0345 \text{ m} \end{aligned}$$

6. Perhitungan kecepatan geser butiran (U_*)

$$\begin{aligned} U_* &= (g \cdot h \cdot I)^{0,5} \\ &= (9,81 \cdot 0,04 \cdot 0,001)^{0,5} \\ &= 0,0198 \text{ m/s} \end{aligned}$$

7. Perhitungan bilangan Reynold (Re)

$$\begin{aligned} Re &= (U \cdot h) / \nu \\ &= (0,3581 \cdot 0,04) / 1 \times 10^{-6} \\ &= 14324 \end{aligned}$$

$Re = 14820 > 1000$, maka aliran adalah aliran turbulen

8. Perhitungan bilangan Froude (Fr)

$$\begin{aligned} Fr &= U/(g \cdot h)^{0,5} \\ &= 0,3581 / (9,81 \cdot 0,04)^{0,5} \\ &= 0,5717 \end{aligned}$$

$Fr = 0,5717 < 1$, maka aliran adalah sub kritis

Untuk perhitungan karakteristik aliran untuk variasi kedalaman aliran 0,04 m; 0,06 m dan 0,08 m selanjutnya dapat dilihat pada tabel

Tabel 3. Karakteristik aliran pada kedalaman 0,04 m

Abutmen 1

Running ke	Q (10^{-3} m ³ /dt)	H (m)	A (m ²)	U (m/dt)	P (m)	R (m)	U* (m/dt)	Re	Fr
1	7.161	0.04	0.02	0.3581	0.58	0.0345	0.0198	14324	0.5717
2	7.161	0.04	0.02	0.3581	0.58	0.0345	0.0198	14324	0.5717
3	7.161	0.04	0.02	0.3581	0.58	0.0345	0.0198	14324	0.5717

Abutmen 2

Running ke	Q (10^{-3} m ³ /dt)	H (m)	A (m ²)	U (m/dt)	P (m)	R (m)	U* (m/dt)	Re	Fr
1	7.161	0.04	0.02	0.3581	0.58	0.0345	0.0198	14324	0.5717
2	7.161	0.04	0.02	0.3581	0.58	0.0345	0.0198	14324	0.5717
3	7.161	0.04	0.02	0.3581	0.58	0.0345	0.0198	14324	0.5717

Abutmen 3

Running ke	Q (10^{-3} m ³ /dt)	H (m)	A (m ²)	U (m/dt)	P (m)	R (m)	U* (m/dt)	Re	Fr
1	7.161	0.04	0.02	0.3581	0.58	0.0345	0.0198	14324	0.5717
2	7.161	0.04	0.02	0.3581	0.58	0.0345	0.0198	14324	0.5717
3	7.161	0.04	0.02	0.3581	0.58	0.0345	0.0198	14324	0.5717

Tabel 4. Karakteristik aliran pada kedalaman 0,06 m

Abutmen 1

Running ke	Q (10^{-3} m ³ /dt)	H (m)	A (m ²)	U (m/dt)	P (m)	R (m)	U* (m/dt)	Re	Fr
1	7.161	0.06	0.03	0.2387	0.62	0.04839	0.0243	14322	0.3111
2	7.161	0.06	0.03	0.2387	0.62	0.04839	0.0243	14322	0.3111
3	7.161	0.06	0.03	0.2387	0.62	0.04839	0.0243	14322	0.3111

Abutmen 2

Running ke	Q (10^{-3} m ³ /dt)	H (m)	A (m ²)	U (m/dt)	P (m)	R (m)	U* (m/dt)	Re	Fr
1	7.161	0.06	0.03	0.2387	0.62	0.04839	0.0243	14322	0.3111
2	7.161	0.06	0.03	0.2387	0.62	0.04839	0.0243	14322	0.3111
3	7.161	0.06	0.03	0.2387	0.62	0.04839	0.0243	14322	0.3111

Abutmen 3

Running ke	Q (10^{-3} m ³ /dt)	H (m)	A (m ²)	U (m/dt)	P (m)	R (m)	U* (m/dt)	Re	Fr
1	7.161	0.06	0.03	0.2387	0.62	0.04839	0.0243	14322	0.3111
2	7.161	0.06	0.03	0.2387	0.62	0.04839	0.0243	14322	0.3111
3	7.161	0.06	0.03	0.2387	0.62	0.04839	0.0243	14322	0.3111

Tabel 5. Karakteristik aliran pada kedalaman 0,08 m**Abutmen 1**

Running ke	Q (10 ⁻³ m ³ /dt)	H (m)	A (m ²)	U (m/dt)	P (m)	R (m)	U* (m/dt)	Re	Fr
1	7.161	0.08	0.04	0.1790	0.66	0.0606	0.0280	14320	0.2021
2	7.161	0.08	0.04	0.1790	0.66	0.0606	0.0280	14320	0.2021
3	7.161	0.08	0.04	0.1790	0.66	0.0606	0.0280	14320	0.2021

Abutmen 2

Running ke	Q (10 ⁻³ m ³ /dt)	H (m)	A (m ²)	U (m/dt)	P (m)	R (m)	U* (m/dt)	Re	Fr
1	7.161	0.08	0.04	0.1790	0.66	0.0606	0.0280	14320	0.2021
2	7.161	0.08	0.04	0.1790	0.66	0.0606	0.0280	14320	0.2021
3	7.161	0.08	0.04	0.1790	0.66	0.0606	0.0280	14320	0.2021

Abutmen 3

Running ke	Q (10 ⁻³ m ³ /dt)	H (m)	A (m ²)	U (m/dt)	P (m)	R (m)	U* (m/dt)	Re	Fr
1	7.161	0.08	0.04	0.1790	0.66	0.0606	0.0280	14320	0.2021
2	7.161	0.08	0.04	0.1790	0.66	0.0606	0.0280	14320	0.2021
3	7.161	0.08	0.04	0.1790	0.66	0.0606	0.0280	14320	0.2021

Daritabel di atas dapat dilihat nilai $Re > 1000$ maka dinyatakan jenis aliran yang terjadi pada saluran adalah aliran turbulen. Sedangkan bila dilihat dari Angka *Froude* hasil analisa nilai *Fr* yang diperoleh lebih kecil dari 1 sehingga diketahui jenis aliran yang terjadi pada saluran adalah sub kritis

4.3. Gradasi Material Dasar

Adapun hasil dari analisa gradasi material dasar dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

Tabel 6. Distribusi ukuran butiran material dasar (*bed load*)

Sampel A

No. Ayakan	Ukuran Ayakan (mm)	Berat Tanah Tertahan (gram)	Berat Tanah Kumulatif Lolos Ayakan (gram)	Persen Lolos Saringan (%)
10	2	9,3	490,7	98,14
20	0,85	120,1	370,6	74,12
40	0,425	221,2	149,4	29,88
60	0,25	91	58,4	11,68
80	0,18	32,2	26,2	5,24
100	0,15	7,4	18,8	3,76
140	0,106	14,2	4,6	0,92
200	0,075	4,6	0	0
Total		500		

Sampel B

No. Ayakan	Ukuran Ayakan (mm)	Berat Tanah Tertahan (mm)	Berat Tanah Kumulatif Lolos Ayakan (gram)	Persen Lolos Saringan (%)
10	2	5,9	494,1	98,82
20	0,85	143,3	350,8	70,16
40	0,425	235,9	114,9	22,98
60	0,25	69,1	45,8	9,16
80	0,18	22,5	23,3	4,66
100	0,15	6,9	16,4	3,28
140	0,106	12,9	3,5	0,7
200	0,075	3,5	0	0
Total		500		

Sampel C

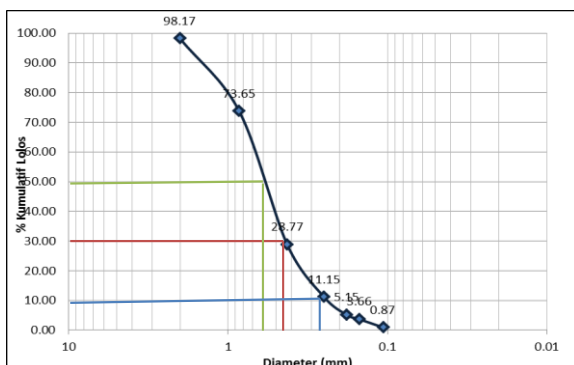
No, Ayakan	Ukuran Ayakan (mm)	Berat Tanah Tertahan (mm)	Berat Tanah Kumulatif Lolos Ayakan (gram)	Persen Lolos Saringan (%)
10	2	12,2	487,8	97,56
20	0,85	104,4	383,4	76,68
40	0,425	216,2	167,2	33,44
60	0,25	104,1	63,1	12,62
80	0,18	35,3	27,8	5,56
100	0,15	8,1	19,7	3,94
140	0,106	14,8	4,9	0,98
200	0,075	4,9	0	0
Total		500		

Kemudian berat dan persentase butiran material dasar dari ketiga sampel, dicari nilai rata-rata yang dapat dilihat pada Tabel 7 dibawah ini:

Tabel 7. Rerata persentase butiran material dasar (*bed load*)

No. Ayakan	Ukuran Ayakan (mm)	% Kumulatif Lolos Saringan			Rerata % Kumulatif Lolos Saringan
		sampel A	sampel B	sampel C	
10	2	98,14	98,82	97,56	98,17
20	0,85	74,12	70,16	76,68	73,65
40	0,425	29,88	22,98	33,44	28,77
60	0,25	11,68	9,16	12,62	11,15
80	0,18	5,24	4,66	5,56	5,15
100	0,15	3,76	3,28	3,94	3,66
140	0,106	0,92	0,7	0,98	0,87
200	0,075	0	0	0	0

Kemudian dari tabel rerata persentase butiran material dasar di atas, dimasukkan dalam bentuk kurva frekuensi kumulatif. Hasilnya seperti tampak pada gambar di bawah ini :



Gambar 4. Grafik distribusi ukuran butiran

Berdasarkan grafik distribusi ukuran butiran di atas, maka diperoleh nilai d_{10} , d_{30} dan d_{50} dengan cara menarik garis pada % kumulatif lolos saringan yang dibatasi oleh kurva. Maka diperoleh $d_{10} = 0,25$ mm, $d_{30} = 0,43$ mm dan nilai $d_{50} = 0,59$ mm

4.4. Gerak Butiran Sedimen

Analisa gerak butir sedimen dilakukan dengan grafik Shield dengan data sebagai berikut :

$\rho_s = 3.039 \text{ kg/m}^3$

$\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$

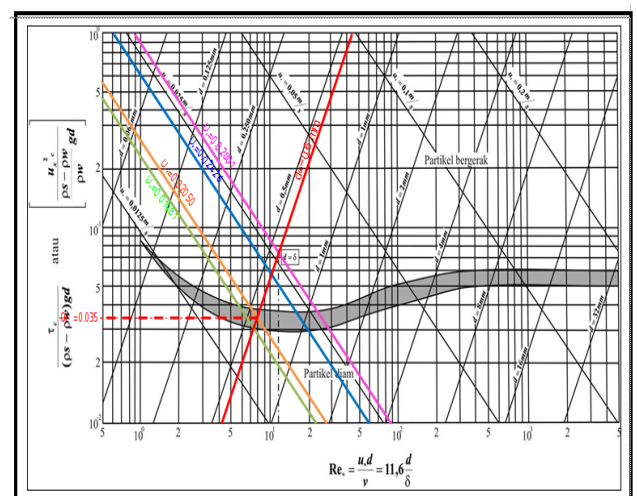
$d_{50} = 0,59 \text{ mm} = 0,59 \times 10^{-3} \text{ m}$

$U_{*1} = 0,0198 \text{ m/dt}$

$U_{*2} = 0,0243 \text{ m/dt}$

$U_{*3} = 0,0280 \text{ m/dt}$

Dari data di atas kemudian dimasukkan ke dalam Grafik Shield untuk mendapatkan nilai parameter mobilitas (θ_c) dengan cara sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 5 berikut:



Gambar 5. Plot Grafik Shields

Dari grafik Shields diatas dengan diameter butiran $d_{50} = 0.6$ mm, kemudian diperoleh nilai

parameter mobilitas $\theta_c = 0.035$, dari nilai parameter mobilitas (θ_c) dapat dihitung kecepatan geser kritis (U_{*c})

$$U_{*cr} = (\theta_c \cdot g \cdot \Delta \cdot d_{50})^{0,5}$$

$$= (0,035 \cdot 9,81 \cdot [(3039-1000)/1000] \cdot 0,59 \times 10^{-3})^{0,5}$$

$$= 0,0203 \text{ m/dt}$$

$U_{*cr} > U_* = 0,0203 \text{ m/dt} > 0,0198 \text{ m/dt}$ (butiran diam).

Untuk analisa selanjutnya dengan kecepatan geser yang berbeda dari ke 3 jenis abutmen dengan kedalaman aliran 0,04m, 0,06m, dan 0,08m dapat dilihat pada Tabel 4.8 sebagai berikut:

Tabel 8.Analisa kecepatan geser kritis material

Tipe Abutmen	Q (10 ⁻³) m ³ /dt	h (m)	running ke-	l (%)	d ₅₀ (10 ⁻³) (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	U _* (m/dt)	θ _c	U _{*c} (m/dt)	keterangan
Abutmen I	7.16057	0.04	1	0.1	0.59	0.02	0.58	0.0345	0.0198	0.035	0.02032	Butiran diam
	7.16057		2	0.1	0.59	0.02	0.58	0.0345	0.0198	0.035	0.02032	
	7.16057		3	0.1	0.59	0.02	0.58	0.0345	0.0198	0.035	0.02032	
	7.16057	0.06	1	0.1	0.59	0.03	0.62	0.0484	0.0243	0.035	0.02032	Butiran bergerak
	7.16057		2	0.1	0.59	0.03	0.62	0.0484	0.0243	0.035	0.02032	
	7.16057		3	0.1	0.59	0.03	0.62	0.0484	0.0243	0.035	0.02032	
	7.16057	0.08	1	0.1	0.59	0.04	0.66	0.0606	0.0280	0.035	0.02032	Butiran bergerak
	7.16057		2	0.1	0.59	0.04	0.66	0.0606	0.0280	0.035	0.02032	
	7.16057		3	0.1	0.59	0.04	0.66	0.0606	0.0280	0.035	0.02032	
Abutmen II	7.16057	0.04	1	0.1	0.59	0.02	0.58	0.0345	0.0198	0.035	0.02032	Butiran diam
	7.16057		2	0.1	0.59	0.02	0.58	0.0345	0.0198	0.035	0.02032	
	7.16057		3	0.1	0.59	0.02	0.58	0.0345	0.0198	0.035	0.02032	
	7.16057	0.06	1	0.1	0.59	0.03	0.62	0.0484	0.0243	0.035	0.02032	Butiran bergerak
	7.16057		2	0.1	0.59	0.03	0.62	0.0484	0.0243	0.035	0.02032	
	7.16057		3	0.1	0.59	0.03	0.62	0.0484	0.0243	0.035	0.02032	
	7.16057	0.08	1	0.1	0.59	0.04	0.66	0.0606	0.0280	0.035	0.02032	Butiran bergerak
	7.16057		2	0.1	0.59	0.04	0.66	0.0606	0.0280	0.035	0.02032	
	7.16057		3	0.1	0.59	0.04	0.66	0.0606	0.0280	0.035	0.02032	
Abutmen III	7.16057	0.04	1	0.1	0.59	0.02	0.58	0.0345	0.0198	0.035	0.02032	Butiran diam
	7.16057		2	0.1	0.59	0.02	0.58	0.0345	0.0198	0.035	0.02032	
	7.16057		3	0.1	0.59	0.02	0.58	0.0345	0.0198	0.035	0.02032	
	7.16057	0.06	1	0.1	0.59	0.03	0.62	0.0484	0.0243	0.035	0.02032	Butiran bergerak
	7.16057		2	0.1	0.59	0.03	0.62	0.0484	0.0243	0.035	0.02032	
	7.16057		3	0.1	0.59	0.03	0.62	0.0484	0.0243	0.035	0.02032	
	7.16057	0.08	1	0.1	0.59	0.04	0.66	0.0606	0.0280	0.035	0.02032	Butiran bergerak
	7.16057		2	0.1	0.59	0.04	0.66	0.0606	0.0280	0.035	0.02032	
	7.16057		3	0.1	0.59	0.04	0.66	0.0606	0.0280	0.035	0.02032	

(Sumber: Hasil perhitungan)

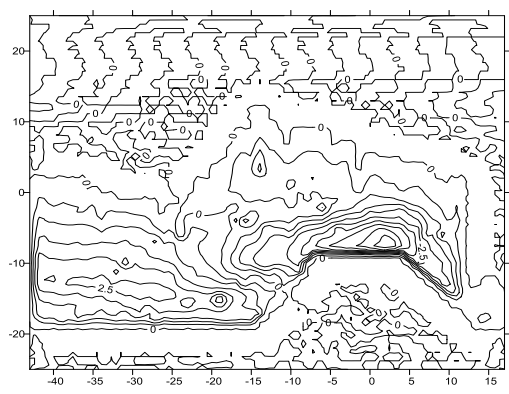
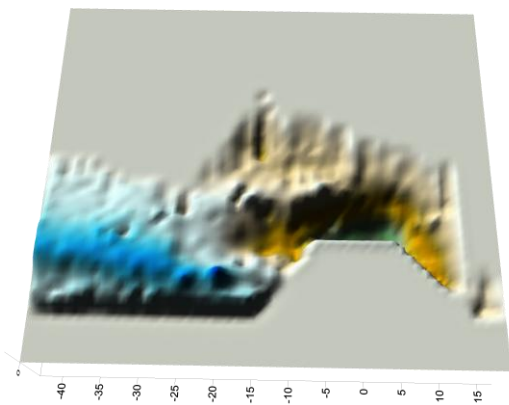
4.5. Pengukuran Topografi Gerusan Lokal

Kedalaman gerusan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kecepatan aliran, kedalaman aliran, ukuran butiran dan bentuk abutmen. Pola gerusan yang terjadi kemudian diukur dengan menggunakan *point gauge* yang kemudian dimasukkan ke dalam form grid.

Selanjutnya untuk mendapatkan gambar bentuk gerusan yang terjadi digunakan alat bantu program *surfer* yaitu salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk pembuatan peta kontur dan permodelan tiga dimensi yang berdasarkan pada grid.

Tabel 9 Hasil pengukuran topografi dasar saluran setelah proses *running* A1h1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----



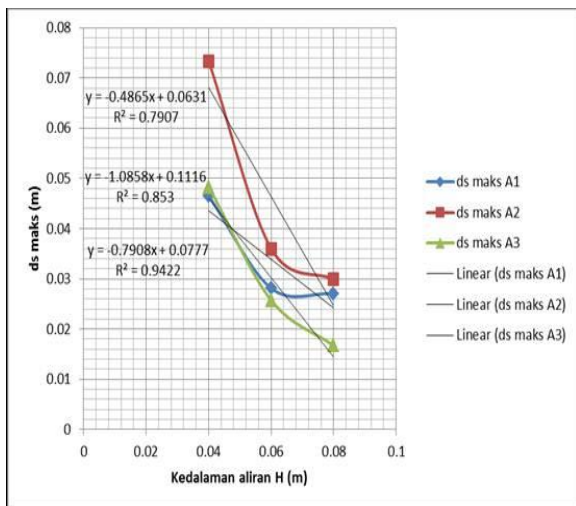
Gambar 6. Hasil pengukuran topografi saluran setelah proses *running* model A1h1.1

Dari hasil pengukuran topografi dasar saluran setelah proses *running*, akan diketahui kedalaman serta dimensi gerusan yang terjadi pada tiap-tiap model sampel akibat dari pengaruh bentuk pilar, perubahan karakteristik

aliran, dan pengaruh material dasar. Maka analisa kedalaman dan dimensi gerusan yang terjadi pada tiap model percobaan dapat dilihat pada Tabel 10.berikut:

model	Running	h	Q *10 ³	I	U	ds	Ws	Ls	ds rerata	Ws rerata	Ls rerata			
Abutmen	ke-	(m)	(m ³ /dt)	(%)	(m/dt)	m	m	m	m	m	m			
Abutmen 1	1	0.04	7.161	0.1	0.3581	0.0469	0.230	0.370	0.047	0.2400	0.3900			
	2	0.04	7.161	0.1	0.3581	0.0462	0.260	0.390						
	3	0.04	7.161	0.1	0.3581	0.0465	0.230	0.410						
	Abutmen 2	1	0.06	7.161	0.1	0.2387	0.0306	0.140	0.180	0.028	0.1233	0.2233		
		2	0.06	7.161	0.1	0.2387	0.0247	0.130	0.290					
		3	0.06	7.161	0.1	0.2387	0.0291	0.100	0.200					
		Abutme 3	1	0.08	7.161	0.1	0.1790	0.0262	0.110	0.200	0.027	0.1233	0.2367	
			2	0.08	7.161	0.1	0.1790	0.0272	0.120	0.280				
			3	0.08	7.161	0.1	0.1790	0.0278	0.140	0.230				
Abutmen 2			1	0.04	7.161	0.1	0.3581	0.0736	0.290	0.430	0.073	0.3033	0.4900	
			2	0.04	7.161	0.1	0.3581	0.0734	0.300	0.560				
			3	0.04	7.161	0.1	0.3581	0.0730	0.320	0.480				
	Abutme 3		1	0.06	7.161	0.1	0.2387	0.0367	0.130	0.140	0.036	0.1433	0.1567	
			2	0.06	7.161	0.1	0.2387	0.0358	0.150	0.170				
			3	0.06	7.161	0.1	0.2387	0.0355	0.150	0.160				
		Abutme 3	1	0.08	7.161	0.1	0.1790	0.0280	0.190	0.380	0.030	0.1567	0.3500	
			2	0.08	7.161	0.1	0.1790	0.0327	0.130	0.350				
			3	0.08	7.161	0.1	0.1790	0.0290	0.150	0.320				
			Abutme 3	1	0.04	7.161	0.1	0.3581	0.0468	0.210	0.380	0.045	0.2333	0.3967
				2	0.04	7.161	0.1	0.3581	0.0402	0.240	0.350			
				3	0.04	7.161	0.1	0.3581	0.0480	0.250	0.460			
Abutme 3				1	0.06	7.161	0.1	0.2387	0.0257	0.100	0.180	0.026	0.1333	0.1900
				2	0.06	7.161	0.1	0.2387	0.0253	0.160	0.190			
				3	0.06	7.161	0.1	0.2387	0.0262	0.140	0.200			
	Abutme 3			1	0.08	7.161	0.1	0.1790	0.0149	0.900	0.140	0.017	0.3767	0.1200
				2	0.08	7.161	0.1	0.1790	0.0189	0.100	0.100			
				3	0.08	7.161	0.1	0.1790	0.0163	0.130	0.120			

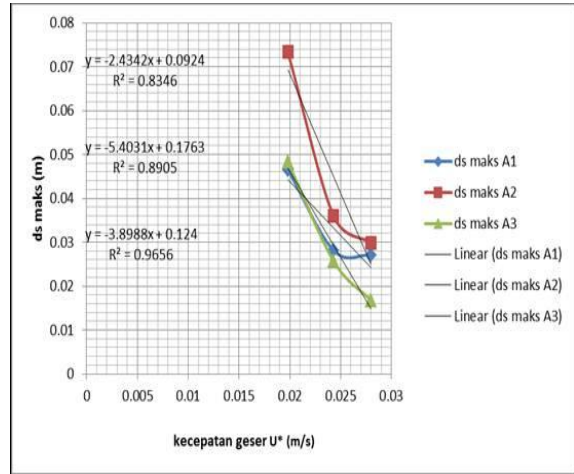
Melalui diatas dapat ditarik hubungan antara kedalaman aliran (h) dengan kedalaman gerusan maksimum (d_{s maks}) seperti pada Gambar 7.berikut:



Gambar 7 Grafik hubungan kedalaman aliran (h) dengan kedalaman gerusan maksimum (d_{s maks})

Dari Gambar 7 diketahui hubungan nilai kedalaman aliran (h) berbanding terbalik terhadap nilai kedalaman gerusan (d_{s maks}), dimana semakin kecil nilai kedalaman aliran pada saluran maka kedalaman gerusan yang terbentuk justru semakin besar pada kondisi debit (Q) yang tetap/konstan.

Kemudian dari Tabel 10.dapat diketahui juga hubungan antara kecepatan aliran (U₀) dengan kedalaman gerusan maksimal (d_{s maks}) seperti yang terlihat pada Gambar 8.berikut:



Gambar 8.Grafik hubungan antara kecepatan aliran (U₀) dengan kedalamangerusan maksimum (d_{s maks})

Dari tabel dan grafik di atas dapat kita lihat bahwa panjang dan lebar gerusan yang terjadi di sekitar abutmen untuk kedalaman aliran 0,06 m adalah yang terkecil dibandingkan pada kondisi aliran 0,04 m dan 0,08 m. Panjang dan gerusan yang terbesar terjadi pada kondisi kedalaman aliran 0,04 m untuk setiap jenis abutmen yang digunakan dalam penelitian. Hal ini bisa di akibatkan adanya kesalahan atau perbedaan perlakuan yang tak disengaja pada saat proses *running* seperti kurangnya ketelitian baik saat pengukuran ataupun pengaturan besar debit yang keluar dari pompa air yang digunakan.

5. Penutup

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisis tentang pengaruh debit dan kedalaman aliran terhadap pola gerusan di sekitar abutmen dengan tipe pondasi yang berbeda, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan debit yang sama, semakin besar kedalaman aliran maka kedalaman gerusan di sekitar abutmen semakin kecil. Pada kedalaman 0,08 m, besarnya kedalaman gerusan maksimal

- yang terjadi pada tiga tipe abutmen dengan jumlah *running* tiap abutmen adalah tiga kali secara berturut-turut adalah sebagai berikut : 2,62 cm ; 2,72 cm dan 2,78 cm, 2,8 cm ; 3,27 cm dan 2,9 cm, 1,49 cm ; 1,89 cm dan 1,63 cm. Selanjutnya pada kedalaman 0,06 m, besarnya kedalaman gerusan yang terjadi adalah 3,06 cm ; 2,47 cm dan 2,91 cm, 3,67 cm ; 3,58 cm dan 3,55 cm, 2,57 cm ; 2,53 cm dan 2,62 cm. Kemudian pada kedalaman 0,04 m besarnya kedalaman gerusan di sekitar abutmen adalah 4,69 cm ; 4,62 cm dan 4,65 cm, 7,36 cm ; 7,34 cm dan 7,3 cm, 4,68 cm ; 5,02 cm dan 4,8 cm. Dapat dilihat bahwa dengan debit yang sama, besarnya gerusan berbanding terbalik dengan kedalaman aliran. Semakin kecil kedalaman aliran maka semakin besar kedalaman gerusan yang terjadi dan sebaliknya.
2. Kecepatan aliran berbanding lurus dengan kedalaman gerusan di sekitar abutmen. Semakin besar kecepatan maka semakin besar kedalaman gerusan dan sebaliknya.
 3. Dalam kedalaman dan debit yang sama, kedalaman gerusan yang terjadi pada tiga bentuk abutmen menunjukkan hasil yang berbeda. Dalam hal ini abutmen tipe kedua memiliki kedalaman gerusan yang paling besar yaitu 3,27 cm pada kedalaman 0,08 m, 3,67 cm pada kedalaman 0,06 m dan 7,36 cm pada kedalaman 0,04 m. Sedangkan abutmen ketiga memiliki kedalaman yang paling kecil.
 4. Pola gerusan yang terjadi di sekitar abutmen adalah erosi pada sisi abutmen bagian hulu dan endapan terjadi di bagian hilir abutmen. Pola gerusan yang terjadi pada ketiga abutmen untuk berbagai kedalaman aliran relative sama namun memiliki panjang gerusan
1. Penelitian sebaiknya menggunakan variasi debit yang berbeda untuk mendapatkan hasil yang lebih beragam.
 2. Ketelitian dalam proses pengukuran topografi, analisa hasil penelitian dan kegiatan yang berkaitan dengan proses penelitian harus lebih ditingkatkan untuk mengurangi adanya kesalahan.
 3. Referensi yang digunakan sebaiknya lebih beragam baik dari buku pedoman ataupun hasil penelitian sebelumnya.

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian ini untuk dijadikan masukan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrosyid,J dan Fatchan, AK. 2007. *Gerusan Di Sekitar Abutmen Dan Pengendaliannya Pada Kondisi Ada Angkutan Sedimen Untuk Saluran Berbentuk Majemuk*. Dinamika TEKNIK SIPIL, Volume 7, Nomor 1, Januari 2007 : 20 –29. Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Abdurrosyid,J dan Fatchan, AK. 2009. *Scour Near Spill-Through Type Abutment On Clear-Water Scour For Multi-Section Channels*. Jurnal of Civil Engineering, Volume 29 no. 1, May 2009. Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Affandi, MR. 2007. *Pengaruh Kedalaman Aliran Terhadap Perilaku Gerusan Lokal Di Sekitar Abutmen Jembatan*. Universitas Negeri Semarang
- Daties, YC. 2012. *Kajian Perubahan Pola Gerusan Pada Tikungan Sungai Akibat Penambahan Debit*. Universitas Hasanudin
- Fitriana, AR. 2012. *Pengaruh Debit Aliran Terhadap Gerusan Di Sekitar Abutmen Jembatan*. Universitas Negeri Yogyakarta
- Halim, F. 2014. *Pengaruh Debit Terhadap Pola Gerusan Di Sekitar Abutmen Jembatan (Uji Laboratorium Dengan Skala Model Jembatan Megawati)*. Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol.4 No.1, Maret 2014. Universitas Sam Ratulangi Manado
- Hanwar, S. 1999. *Gerusan Lokal di Sekitar Abutment Jembatan*. Tesis. Yogyakarta : PPS UGM
- Mulyandari, R. 2010. *Kajian Gerusan Lokal Pada Ambang Dasar Akibat Variasi Q (Debit), I (Kemiringan) dan T (Waktu)*. Universitas Sebelas Maret Surakarta
- Rawiyah dan Yulistiyanto.2007. *Gerusan Lokal di Sekitar Dua Abutmen dan Upaya Pengendaliannya*, Jurnal Dinamika Teknik Sipil Vol. 7 No. 2 - Juli 2007, Penerbit Jurusan Teknik Sipil UMS, Surakarta.
- Rizal, S. 2012. *Pola Gerusan Lokal Di Sekitar Abutmen Jembatan Tipe Spill-Through (Model Eksperimental)*. Universitas Mataram
- Sucipto.2004. *Analisis Gerusan Lokal di Hilir Bed Protection*. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan. Nomer 1 Volume 6. Januari 2004. Semarang : UNNES
- Triatmodjo, B. 2003. *Hidrolika II*. Yogyakarta. Beta Offset