

MODEL FISIK BANGUNAN PENGAMAN PILAR JEMBATAN AKIBAT ALIRAN DEBRIS

Anwar¹⁾

Abstract

Debris flow generally occurs in rivers in mountainous areas. This flows is a very dangerous and destructive. This happens because the debris flow has a high speed and carry a mixture of sediment and other materials. Of infrastructure is built on rivers area flow pattern makes the need for special handling to maintain the protected structure with a substantial investment. This study focuses on the modeling and observation influence debris flow on bridge piers with three (3) conditions: unprotected bridge piers, using gabion protection, and bored pile protection on the model.

By using a discharge of 1.54 liters/sec on a scale model of the maximum scours depth is obtained that occurred on bridge piers unprotected condition, that is equal to 1.7 cm and the minimum scours occurs in conditions of safety piers the bored pile is equal to 1.48 cm. The maximum scours volume occurs in the downstream bridge using gabion protected, amounting to 400 cm², while the minimum volume of sediment scours occurs by using a safety bored pile 257.5 cm³. By the using protected piers bored pile more effective to resist scours due to debris flows. This is due to the construction of bored pile does not impede the flows that occurs so that the effect scours will reach a point of equilibrium.

Keywords: *Debris flow, bridge piers, bored pile protection*

Abstrak

Aliran debris pada umumnya terjadi pada sungai – sungai di daerah pegunungan. Tipe aliran ini merupakan aliran yang sangat berbahaya dan bersifat merusak. Hal ini terjadi karena aliran debris mempunyai kecepatan yang tinggi serta membawa campuran sedimen dan material lainnya. Banyaknya infrastruktur yang dibangun pada daerah sungai dengan pola aliran ini menjadikan perlunya penanganan khusus untuk menjaga keamanan struktur yang dibangun dengan investasi yang cukup besar. Penelitian ini menitikberatkan pada pembuatan model dan pengamatan pengaruh aliran debris pada pilar jembatan dengan 3(tiga) kondisi, yaitu: konstruksi pilar tanpa pengaman, menggunakan pengaman bronjong, dan menggunakan pengaman *bored pile* pada model tersebut.

Dengan menggunakan debit sebesar 1,54 liter/detik pada skala model diperoleh bahwa kedalaman gerusan maksimum terjadi pada kondisi pilar jembatan tanpa pengaman, yaitu sebesar 1,7 cm dan gerusan minimum terjadi pada kondisi pilar dengan pengaman *bored pile* yaitu sebesar 1,48 cm. Volume gerusan maksimum terjadi pada bagian hilir jembatan dengan menggunakan pengaman bronjong, yaitu sebesar 400 cm², sedangkan volume gerusan sedimen minimum terjadi dengan menggunakan pengaman *bored pile*, yaitu sebesar 257,5 cm³. Dengan demikian, dengan menggunakan pengaman pilar bored pile lebih efektif untuk menahan gerusan akibat aliran debris. Hal ini disebabkan konstruksi bored pile tidak menghambat aliran yang terjadi sehingga efek gerusan akan mencapai titik equilibrium.

Kata kunci: Aliran debris, pilar jembatan, pengaman *bored pile*

¹ Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jl. Prof. Sumantri Brojonegoro No 1 Gedong Meneng, Bandar Lampung.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Aliran debris atau lahar dingin yang dikenal pada sungai-sungai gunung berapi merupakan aliran dari dari campuran air dan sedimen dengan berbagai ukuran. Aliran ini dikenal mempunyai kekuatan untuk menghancurkan dan kecepatan alirnya sangat cepat (Kuridin, 1973). Peristiwa meletusnya gunung merapi tahun 2010 di Daerah Istimewa Yogyakarta mengakibatkan banyak infrastruktur seperti jembatan, sabo dam, rumah, dan infrastruktur lainnya mengalami kerusakan (Kusumosubroto,2006). Di Indonesia, aliran debris (*debris flow*) dikenal sebagai Banjir Bandang, merupakan bencana alam yang sangat berbahaya dan bersifat merusak. Kecepatan aliran debris tergantung materialnya, debit air dan gradien dari dasar sungai(Takahashi dan Nakagawa, 1991).

Pada lokasi – lokasi tertentu, infrastruktur jembatan dibangun melintasi sungai yang memiliki pola aliran debris telah menyebabkan kerugian akibat ambruknya struktur jembatan yang disebabkan oleh gerusan pada bagian pangkal dan pilar jembatan. Dengan demikian dibutuhkan sebuah penelitian yang mempelajari tentang aliran debris dan konstruksi pengaman pilar jembatan yang tepat untuk melindungi jembatan yang berada di kawasan sungai. Dengan demikian, investasi besar yang telah dikeluarkan pemerintah untuk pembangunan jembatan di daerah sungai yang memiliki pola aliran debris dapat dilindungi.

Tujuan dari penelitian adalah melakukan Studi Konstruksi Pengamanan Pilar Jembatan pada Aliran Sungai dengan Pola Aliran Debris dengan metode sebagai berikut: Mengidentifikasi pola hidrolis aliran debris dengan menggunakan skala model fisik. Menentukan besarnya gerusan yang terjadi pada pilar dan hilir pilar jembatan dengan konstruksi pengaman yang berbeda – beda, dan mengetahui konstruksi pengaman pilar jembatan yang tepat pada daerah sungai yang memiliki pola aliran debris.

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut: Pemodelan konstruksi pengamanan pilar jembatan dengan bronjong dan bored pile pada Aliran Sungai dengan Pola Aliran Debris. Pembuatan model fisik sungai, konstruksi jembatan dan melakukan kajian pola aliran dengan sruktur pengaman pilar jembatan.

Penelitian ini diharapkan bermanfaat untuk: Memberikan perlindungan bangunan pilar jembatan dari bahaya banjir debris. Sebagai bahan perencanaan konstruksi beberapa alternatif pengamanan pilar jembatan yang berada di sungai dengan pola aliran debris. Sebagai bahan masukan bagi instansi terkait untuk mengurangi kerugian akibat aliran debris dan dapat memanfaatkan bangunan pengaman pilar untuk mengatasi permasalahan tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Model Fisik

Model merupakan benda tiruan dari prototipe dengan skala atau dimensi hidrauliknya diperkecil atau diperbesar dengan skala model tertentu dan terhadap model tersebut akan dilakukan penyelidikan atau penelitian-penelitian hidraulik dengan melakukan percobaan-percobaan pengaliran dengan air. Secara umum, langkah-langkah atau persiapan pembuatan model meliputi :

- Mengkaji prototype
- Penentuan jangkauan penyelidikan dan model test yang diperlukan
- Penentuan prototipe yang akan di-modeltest

- Penentuan jenis dan banyaknya model dan dan batas bagian prototype yang akan di-modeltest
- Penentuan lokasi atau tempat model dan batas model
- Penentuan skala model
- Penentuan tenaga laboran dan tenaga pembantu penyelidikan

2.2. Skala Model

2.2.1. Sebangun Geometrik

Sebangun geometrik dipenuhi apabila model dan prototip mempunyai bentuk yang sama tetapi berbeda ukuran. Hal ini berarti bahwa perbandingan antara semua ukuran panjang yang bersangkutan termasuk kekasaran antara model dan prototip adalah sama.

2.2.2. Sebangun Kinematik

Sebangun kinematik terjadi antara prototip dan model jika prototip dan model sebangun geometrik dengan perbandingan kecepatan dan percepatan di dua titik yang bersangkutan pada prototip dan model untuk seluruh pengaliran adalah sama.

2.2.3. Sebangun Dinamik

Jika prototip model sebangun geometrik dan kinematik, dan gaya-gaya yang bersangkutan pada model dan prototip untuk seluruh pengaliran mempunyai perbandingan yang sama dan bekerja pada arah yang sama, maka dikatakan sebagai sebangun dinamik.

2.2.4. Penjabaran skala besaran-besaran

Tabel 1. Besaran antara Model dengan Prototype (Thomas, 2008).

No	B e s a r a n	Notasi	Skala besaran
	Besaran geometris		
1	- Panjang, lebar - Dalam, tinggi	L	n_L
2	Kecepatan Aliran	H	n_h
3	Waktu Aliran	V	
4	D e b i t	T	$n_v = n_h^{1/2}$
5	Kekasaran	Q	$n_t = n_h^{1/2}$
6	Butir material dasar	K	$n_Q = n_h^{1/2}$
7	Koefesien Chezy	d	$n_k = n_h^{1/2}$
8	Koefesien Manning	C	$n_d = n_h$
9	V o l u m e	N	$n_v = 1$
10	G a y a	V	$n_v = n_h^{1/6}$
	Bedload transport rate	G	
11	E n e r g y	S	$n_v = n_h^s$
	Percepatan grafitasi	E	$n_G = n_h^3$
			$n_s = \frac{p}{S_m}$
12	Specific density	G	n_E
			$n_g = 1$
			$n_\tau = \left(\frac{n_s}{n_h^3} \right)^2$
13	Skala waktu Pergerakan Bedload	T	

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu yang di butuhkan dalam penelitian ini adalah selama 6 (enam) bulan terhitung mulai penyetujuan judul penelitian tesis ini hingga seminar hasil penelitian. Test model hasil desain akan dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3.2. Pemodelan

Secara umum, langkah-langkah atau persiapan pembuatan model meliputi:

1. Mengkaji prototipe
2. Penentuan jangkauan penyelidikan dan model test yang diperlukan
3. Penentuan prototipe yang akan dibuat modeltest
4. Penentuan jenis dan banyaknya model dan batas bagian prototype yang akan dibuat test model
5. Penentuan lokasi atau tempat model dan batas model
6. Penentuan skala model
7. Penentuan tenaga laborandan tenaga pembantu penyelidikan

3.3. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi: Pengamatan lokasi sebagai gambaran umum serta pengumpulan data sekunder. Data sekunder yang dimaksud adalah data hasil pengukuran topografi dan data curah hujan dilokasi penelitian. Data tersebut diharapkan dapat di peroleh melalui instansi yang terkait dengan penelitian ini.

Pengumpulan data model juga dilakukan antara lain pengambilan data Contur dasar saluran untuk setiap debit atau kecepatan aliran yang diberikan pada model pilar jembatan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pemodelan dan Analisis

4.1.1. Spesifikasi Model

Spesifikasi model yang digunakan dalam penelitian ini disesuaikan dengan kondisi sungai yang memiliki pola aliran debris yang menjadi prototip dalam penelitian ini. Lokasi sungai yang dikaji adalah sungai Bumiayu di Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah. Gambar di bawah ini menunjukkan kondisi sungai prototip yang akan dikaji.



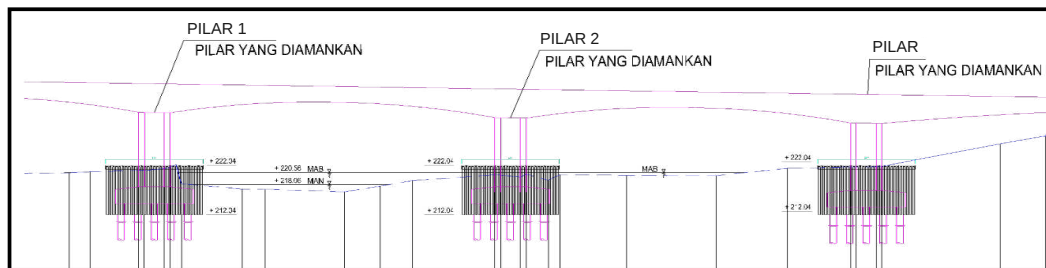
Gambar 1. Kondisi lokasi sungai Bumiayu dengan pola aliran debris.



Gambar 2. Pemodelan pilar jembatan pada sungai dengan pola aliran debris.

4.1.2. Debit Model

Debit model yang dikaji dalam penelitian ini didasarkan pada perkiraan kondisi banjir di sungai yang dikaji berdasarkan tinggi muka air banjir berdasarkan pengamatan di lapangan dan diterapkan dalam model.



Gambar 3. Muka Air Banjir Sungai yang direncanakan pada Model

Dengan tinggi muka air banjir yang dikaji, kemudian dilaksanakan pengukuran kecepatan dengan menggunakan current meter seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Pengukuran Debit Banjir dengan Menggunakan Current Meter.

Tabel di bawah ini menunjukkan besarnya kecepatan aliran hasil pengujian current meter

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kecepatan Aliran dengan Current Meter.

STA	Segmen	Putaran	Waktu	0,2 h	V	V rata – rata
0+000	1	50	7,34	6,811989	1,824757	2,011136147
	2	50	6,65	7,518797	2,013263	
	3	50	5,88	8,503401	2,275857	
	4	50	6,59	7,587253	2,03152	
	5	50	7,01	7,132668	1,910282	

Tabel 3. Penentuan Skala Besaran Model.

Besaran	Dimensi Distorsi	Skala Model	Skala Prototipe	Skala Besaran
Lebar	Nl	120	30000	250
Tinggi	Nh	10	2200	220
Distorsi	$r = nL/nh$	30	60	1,136
Kecepatan	$nv = nh^{1/2}$	3,162	4,472	14,832
Debit	$nQ = nL.nh^{3/2}$	1,548	1263,45	815,78

4.1.3. Kedalaman Gerusan Tanpa Pengaman Pilar

Gerusan yang terjadi pada daerah pilar jembatan setelah terjadi aliran turbulen sangat dalam dan lebar yang membentuk tapal kuda, dan terjadi penumpukan sedimen diantara pilar jembatan. Jika terjadi pengerusan secara terus menerus maka pada daerah sekitar pilar jembatan akan terjadi pengerusan yang makin dalam, yang akan mengakibatkan tergulingnya pilar jembatan tersebut.

Dari hasil kajian yang dilakukan, kedalaman gerusan yang terjadi pada pilar jembatan pada kondisi tanpa pengaman disajikan sebagai berikut :



Gambar 5. Pola Gerusan yang Terjadi Pada Pilar Tanpa Pengaman.

4.1.4. Kedalaman Gerusan Dengan Pengaman Pilar Bronjong

Secara umum gerusan paling dalam terjadi pada daerah sekitar bronjong. Sedangkan sedimentasi tertinggi terjadi di hilir pilar. Bentuk pengaman pilar dengan bronjong ini merupakan salah satu faktor yang menyebabkan perbedaan posisi dan besarnya gerusan maksimum dan sedimentasi tertinggi, bila dibandingkan dengan model tanpa pengaman pilar.

Dari hasil kajian yang dilakukan, kedalaman gerusan yang terjadi pada pilar jembatan pada kondisi pilar dengan pengaman bronjong disajikan sebagai berikut :



Gambar 6. Pola gerusan yang terjadi pada pilar dengan pengaman bronjong.

Tabel 4. Kedalaman gerusan pilar dengan pengaman bronjong pada seluruh STA.

Potongan Melintang	Sta 0	Sta 10	Sta 15	Sta 20	Sta 30	Sta 40
0	1,50	1,50	1,90	2,30	1,50	1,50
5	2,30	2,80	1,90	2,10	2,10	2,10
10	2,70	2,50	1,90	2,20	2,00	1,60
15	3,00	3,00	2,50	2,30	2,50	2,00
20	2,80	3,00	2,80	2,20	3,00	2,00
25	1,80	1,90	1,90	1,90	2,50	1,60
30	2,60	2,80	1,90	2,40	2,50	2,00
35	2,00	2,20	2,20	2,00	1,90	1,90

4.1.5. Kedalaman Gerusan Dengan Pengaman Pilar Bored Pile.

Dari hasil kajian yang dilakukan, kedalaman gerusan yang terjadi pada pilar jembatan pada kondisi pilar dengan pengaman bored pile disajikan sebagai berikut :



Gambar 7. Pola Gerusan yang Terjadi Pada Pilar Dengan Pengaman Bored Pile.

Tabel 5. Kedalaman Gerusan Pilar dengan Pengaman Bored Pile Pada Seluruh STA.

Potongan Melintang	STA 0+00	STA 0+10	STA 0+15	STA 0+20	STA 0+30	STA 0+40
0,00	1,90	1,90	1,90	1,90	1,60	1,60
5,00	2,80	2,85	2,70	2,70	2,10	2,10
10,00	2,80	2,80	2,20	2,50	2,50	2,40
15,00	2,70	2,80	2,70	2,80	2,50	2,50
20,00	2,70	2,70	2,70	2,70	2,40	2,40
25,00	2,70	2,80	2,50	2,70	2,50	2,40
30,00	2,80	2,80	2,70	2,60	2,20	2,20
35,00	1,90	1,90	1,48	1,90	2,40	2,10

4.1.6. Analisis Perbandingan Volume Gerusan

Secara umum gerusan yang paling dalam terjadi pada daerah tengah pilar, Sedangkan sedimentasi terjadi di hilir jembatan, Dari hasil pengamatan dan perhitungan dengan menggunakan metode Laursen dan Froehlich kemudian dibandingkan dengan hasil pengamatan di lapangan, Dari hasil kajian terlihat bahwa kedalaman gerusan maksimum terjadi pada kondisi pilar tanpa pengaman sebesar 3,396 cm, sedangkan gerusan minimum terjadi pada saat kondisi pilar menggunakan pengaman bored pile yaitu 1,5 cm, Se-

cara sederhana, rekapitulasi analisis kedalaman gerusan dapat dilihat pada Tabel di bawah ini.

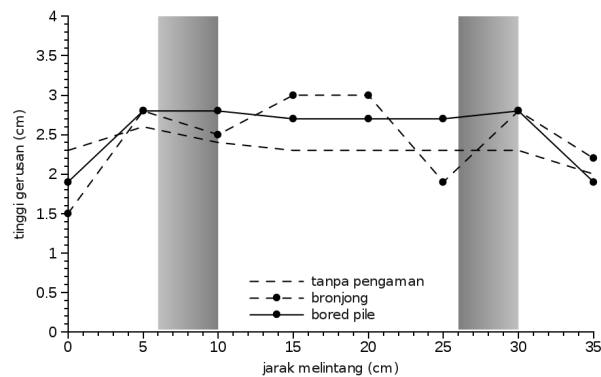
Tabel 6. Kedalaman gerusan dengan berbagai metode dan kondisi pengaman.

Kondisi	Debit	Segmen	Kedalaman Gerusan			Model		Prototipe	
			Froehlich	Laursen	Penggamatan	Gerusan Max	Gerusan Min	Gerusan Max	Gerusan Min
						(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
Tanpa Pengaman Pilar (YK1)	0,625	0+00	3,038	2,871	2,600	3,038	2,600	66,830	57,200
		0+10	3,296	2,871	3,000	3,296	2,871	72,509	63,162
		0+15	2,902	3,104	2,400	3,104	2,400	68,287	52,800
		0+20	2,902	2,943	2,400	2,943	2,400	64,737	52,800
		0+30	2,902	2,871	2,400	2,902	2,400	63,849	52,800
		0+40	2,833	2,871	2,300	2,871	2,300	63,162	50,600
Pengaman Pilar Bronjong (YK2)	0,625	0+00	2,928	2,647	2,463	2,928	2,463	64,411	54,175
		0+10	2,928	2,647	2,463	2,928	2,463	64,411	54,175
		0+15	2,700	2,810	2,125	2,810	2,125	61,814	46,750
		0+20	2,957	2,598	2,488	2,957	2,488	65,064	54,725
		0+30	2,784	2,752	2,250	2,784	2,250	61,252	49,500
		0+40	2,488	3,006	1,838	3,006	1,838	66,131	40,425
Pengaman Pilar Bored Pile (YK3)	0,625	0+00	2,540	2,584	1,900	2,584	1,900	56,846	41,800
		0+10	2,540	2,563	1,900	2,563	1,900	56,391	41,800
		0+15	2,220	2,486	1,500	2,486	1,500	54,689	33,000
		0+20	2,540	2,443	1,900	2,540	1,900	55,889	41,800
		0+30	2,902	2,579	2,275	2,902	2,275	63,849	50,050
		0+40	2,833	2,579	1,600	2,833	1,600	62,319	35,200

Untuk besarnya volume gerusan yang terjadi dapat dilihat pada Tabel dan Gambar di bawah ini,

Tabel 7. Volume sedimen yang tergerus dan kondisi pengaman pada STA 0+00.

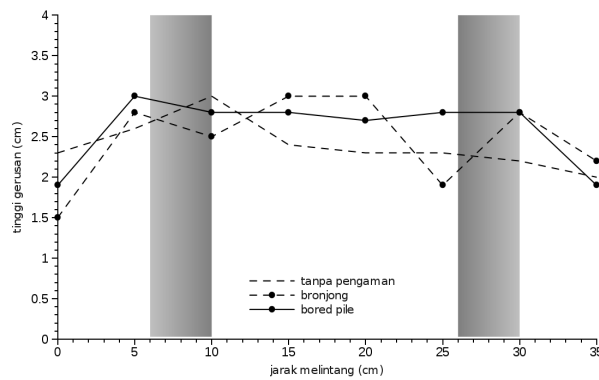
x0	YK1	YK2	YK3	Elevasi Acuan	Sed_YK 1	Vol Sed_YK1	Sed_YK 2	Vol Sed_YK2	Sed_Y K3	Vol Sed_Y K2
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm ³	cm	cm ³	cm	cm ³
0	2,3	1,50	1,9	3,00	0,70	27,5	1,500	42,5	1,1	32,5
5	2,6	2,80	2,8	3,00	0,40	25	0,200	17,5	0,2	10
10	2,4	2,50	2,8	3,00	0,60	32,5	0,500	12,5	0,2	12,5
15	2,3	3,00	2,7	3,00	0,70	35	0,000	0	0,3	15
20	2,3	3,00	2,7	3,00	0,70	35	0,000	27,5	0,3	15
25	2,3	1,90	2,7	3,00	0,70	35	1,100	32,5	0,3	12,5
30	2,3	2,80	2,8	3,00	0,70	42,5	0,200	25	0,2	32,5
35	2	2,20	1,9	3,00	1,00		0,800		1,1	
Volume Total						232,5		157,5		130



Gambar 8. Grafik gerusan dengan pengaman pilar pada STA 0+00.

Tabel 8. Volume sedimen yang tergerus dan kondisi pengaman pada STA 0+10.

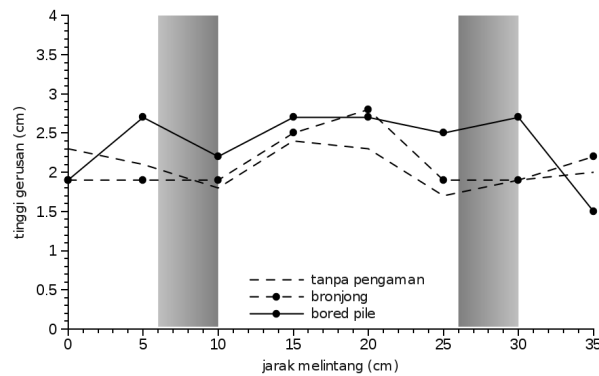
x0	YK1	YK2	YK3	Elevasi Acuan	Sed_Y K1	Vol Sed_Y K1	Sed_Y K2	Vol Sed_Y K2	Sed_Y K3	Vol Sed_Y K2
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm ³	cm	cm ³	cm	cm ³
0	2,3	1,5	1,9	3	0,70	27,5	1,500	42,5	1,1	27,5
5	2,6	2,8	3	3	0,40	10	0,200	17,5	0	5
10	3	2,5	2,8	3	0,00	15	0,500	12,5	0,2	10
15	2,4	3	2,8	3	0,60	32,5	0,000	0	0,2	12,5
20	2,3	3	2,7	3	0,70	35	0,000	27,5	0,3	12,5
25	2,3	1,9	2,8	3	0,70	37,5	1,100	32,5	0,2	10
30	2,2	2,8	2,8	3	0,80	45	0,200	25	0,2	32,5
35	2	2,2	1,9	3	1,00		0,800		1,1	
Volume Total						202,5		157,5		110



Gambar 9. Grafik gerusan dengan berbagai jenis Pengaman pada STA 0+10.

Tabel 9. Volume sedimen yang tergerus dan kondisi pengaman pada STA 0+15.

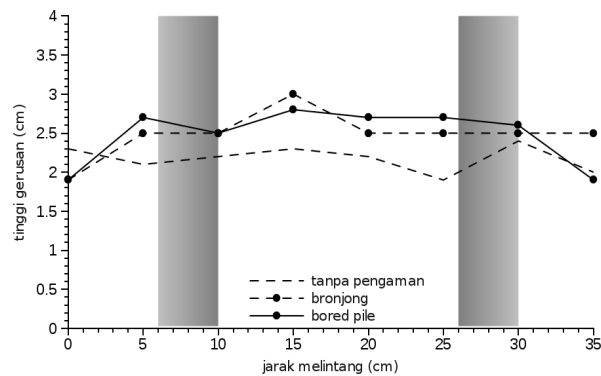
x0	YK1	YK2	YK3	El Acuan	Sed_Y K1	Vol Sed_Y K1	Sed_Y K2	Vol Sed_Y K2	Sed_Y K3	Vol Sed_Y K2
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm ³	cm	cm ³	cm	cm ³
0	2,3	1,9	1,9	3	0,70	40	1,100	55	1,1	35
5	2,1	1,9	2,7	3	0,90	52,5	1,100	55	0,3	27,5
10	1,8	1,9	2,2	3	1,20	45	1,100	40	0,8	27,5
15	2,4	2,5	2,7	3	0,60	32,5	0,500	17,5	0,3	15
20	2,3	2,8	2,7	3	0,70	50	0,200	32,5	0,3	20
25	1,7	1,9	2,5	3	1,30	60	1,100	55	0,5	20
30	1,9	1,9	2,7	3	1,10	52,5	1,100	47,5	0,3	45
35	2	2,2	1,5	3	1,00		0,800		1,5	
Volume Total						332,5		302,5		190



Gambar 10. Grafik gerusan dengan berbagai jenis pengaman pada STA 0+15.

Tabel 10. Volume sedimen yang tergerus dan kondisi pengaman pada STA 0+20.

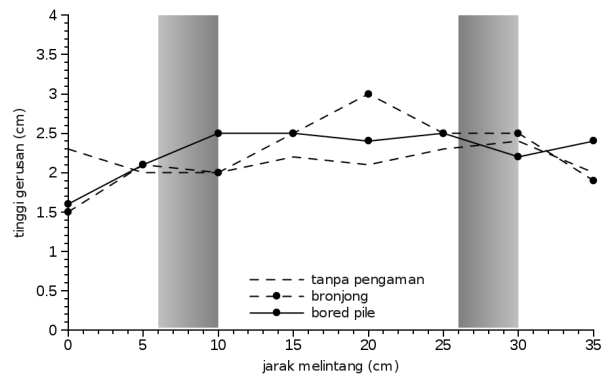
x0	YK1	YK2	YK3	El. Acuan	Sed_Y K1	Vol Sed_Y K1	Sed_Y K2	Vol Sed_Y K2	Sed_Y K3	Vol Sed_Y K2
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm ³		cm ³		cm ³
0	2,3	1,9	1,9	3	0,70	40	1,100	40	1,1	35
5	2,1	2,5	2,7	3	0,90	42,5	0,500	25	0,3	20
10	2,2	2,5	2,5	3	0,80	37,5	0,500	12,5	0,5	17,5
15	2,3	3	2,8	3	0,70	37,5	0,000	12,5	0,2	12,5
20	2,2	2,5	2,7	3	0,80	47,5	0,500	25	0,3	15
25	1,9	2,5	2,7	3	1,10	42,5	0,500	25	0,3	17,5
30	2,4	2,5	2,6	3	0,60	40	0,500	25	0,4	37,5
35	2	2,5	1,9	3	1,00		0,500		1,1	
Volume Total						287,5		165		155



Gambar 11. Grafik gerusan dengan berbagai jenis pengaman pada STA 0+20.

Tabel 11. Volume sedimen yang tergerus dan kondisi pengaman pada STA 0+30.

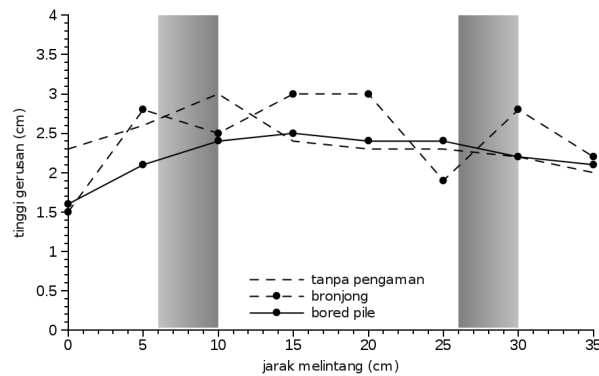
x0	YK1	YK2	YK3	El. Acuan	Sed_YK1	Vol Sed_Y K1	Sed_YK 2	Vol Sed_YK2	Sed_YK 3	Vol Sed_YK 2
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm ³		cm ³		cm ³
0	2,3	1,5	1,6	3	0,70	42,5	1,500	60	1,4	57,5
5	2	2,1	2,1	3	1,00	50	0,900	47,5	0,9	35
10	2	2	2,5	3	1,00	45	1,000	37,5	0,5	25
15	2,2	2,5	2,5	3	0,80	42,5	0,500	12,5	0,5	27,5
20	2,1	3	2,4	3	0,90	40	0,000	12,5	0,6	27,5
25	2,3	2,5	2,5	3	0,70	32,5	0,500	25	0,5	32,5
30	2,4	2,5	2,2	3	0,60	40	0,500	40	0,8	35
35	2	1,9	2,4	3	1,00		1,100		0,6	
Volume Total						292,5		235		240



Gambar 12. Grafik gerusan dengan berbagai jenis pengaman pada STA 0+30.

Tabel 12. Volume sedimen yang tergerus dan kondisi pengaman pada STA 0+40.

x0 cm	YK 1 cm	YK 2 cm	YK3 cm	El. Acuan cm	Sed_Y K1 cm	Vol Sed_YK1 cm ³	Sed_Y K2	Vol Sed_YK2 cm ³	Sed_YK3	Vol Sed_YK2 cm ³
0	2,3	1,5	1,6	3	0,70	42,5	1,500	60	1,4	57,5
5	2	2,1	2,1	3	1,00	50	0,900	57,5	0,9	37,5
10	2	1,6	2,4	3	1,00	45	1,400	60	0,6	27,5
15	2,2	2	2,5	3	0,80	42,5	1,000	50	0,5	27,5
20	2,1	2	2,4	3	0,90	40	1,000	60	0,6	30
25	2,3	1,6	2,4	3	0,70	37,5	1,400	60	0,6	35
30	2,2	2	2,2	3	0,80	45	1,000	52,5	0,8	42,5
35	2	1,9	2,1	3	1,00		1,100		0,9	
Volume Total						302,5		400		257,5



Gambar 13. Grafik gerusan dengan berbagai jenis pengaman pada STA 0+40.

Dari hasil kajian di atas diperoleh volume gerusan maksimum terjadi pada bagian pilar jembatan (STA 0+15) adalah tanpa menggunakan pengaman, yaitu sebesar 332,5 cm³ atau jika dikonversi ke skala prototipe adalah sebesar 7,315 m³, dan gerusan sedimen minimum pada bagian hilir jembatan adalah sebesar 190 cm³ atau jika dikonversi ke skala prototipe adalah sebesar 4,18 m³ dengan menggunakan pengaman *bored pile*. Selain itu, volume gerusan maksimum terjadi pada bagian hilir jembatan, Volume terbesar sedimen yaitu 400 cm³ terjadi pada STA 0+040 dengan pengaman pilar bronjong. Hal ini dijelaskan dengan teori bahwa dengan menggunakan pengaman beronjong dengan sifat yang massif, kontraksi yang ditimbulkan akibat tumbukan dengan struktur pengaman akan menyebabkan kecepatan aliran bertambah besar, sehingga terjadi peningkatan gerusan di hilir pilar. Sama seperti penjelasan sebelumnya, apabila kecepatan kritis sedimen untuk bergerak lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan aliean pada saat itu, maka akan terjadi perpindahan sedimen.

Sedimen untuk yang menggunakan pengaman bronjong menunjukkan nilai volume yang paling besar dibandingkan dengan volume sedimen untuk pilar dengan pengaman bor pile. Nilai volume sedimen yang paling besar menggambarkan gerusan yang paling besar dan nilai volume sedimen yang paling kecil menunjukkan gerusan yang paling kecil. Dari hasil ini menunjukkan bahwa pilar dengan pengaman menggunakan beronjong akan lebih besar terjadi gerusan yang terjadi dibandingkan dengan pengaman dengan menggunakan bor pile.

Hasil kajian juga menunjukkan gerusan sedimen minimum yang terjadi pada posisi pilar adalah dengan menggunakan pengaman bored pile yaitu sebesar 110 cm³ atau atau jika dikonversi ke skala prototipe adalah sebesar 2,42 m³. Hal ini disebabkan sifat pengaman bored pile tidak massif dan berfungsi sebagai penyeimbang kecepatan aliran, sehingga pada saat kondisi banjir, turbulensi yang diakibatkan oleh hantaman air menyebabkan

kondisi kecepatan aliran tidak berubah menjadi kritis, sehingga gerusan lokal terjadi secara terus menerus dan transportasi sedimen tidak akan terjadi.

5. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Dari hasil kajian dan analisis data dapat disimpulkan bahwa:

1. Kecepatan aliran yang terjadi pada saat kondisi muka air banjir pada model 2,01 m/dtk dengan debit banjir model sebesar 1,54 liter/dtk atau dengan skala prototipe sebesar 1263,45 m³/dtk.
2. Prosentase kesalahan maksimum model dengan prototip adalah sebesar 4,262%, maka kebenaran data sudah memenuhi kriteria ($\leq 5\%$).
3. Gerusan maksimum yang terjadi pada kondisi pilar tanpa pengaman adalah sebesar 3,00 cm pada STA 0+10, sedangkan gerusan minimum sebesar 1,7 cm pada STA 0+15.
4. Gerusan maksimum yang terjadi pada kondisi pilar dengan pengaman bronjong adalah sebesar 3,00 cm pada STA 0+00, STA 0+10, dan STA 0+20 sedangkan gerusan minimum sebesar 1,5 cm pada STA 0+00, STA 0+10, STA 0+30, dan STA 0+40.
5. Gerusan maksimum yang terjadi pada kondisi pilar dengan pengaman *bored pile* adalah sebesar 2,85 cm pada STA 0+10, sedangkan gerusan minimum sebesar 1,48 cm pada STA 0+35.
6. Gerusan maksimum terjadi pada bagian hilir jembatan dengan menggunakan pengaman bronjong sebesar 400 cm atau jika dikonversi ke skala prototipe adalah sebesar 8,80 m, dan gerusan sedimen minimum pada bagian hilir jembatan adalah sebesar 257,5 cm atau jika dikonversi ke skala prototipe adalah sebesar 5,665 m dengan menggunakan pengaman *bored pile*.
7. Gerusan maksimum terjadi pada bagian pilar jembatan (STA 0+15) adalah tanpa menggunakan pengaman, yaitu sebesar 332,5 cm, atau jika dikonversi ke skala prototipe adalah sebesar 7,315 m dan gerusan sedimen minimum pada bagian hilir jembatan adalah sebesar 190 cm atau jika dikonversi ke skala prototipe adalah sebesar 4,18 m dengan menggunakan pengaman *bored pile*.
8. Dari ketiga kondisi pengaman pilar yang paling efektif adalah menggunakan pengaman pilar *bored pile*. Hal ini disebabkan sifat pengaman *bored pile* tidak massif dan berfungsi sebagai penyeimbang kecepatan aliran.

5.2. Saran

Saran-saran yang disampaikan penulis terkait dengan penelitian ini untuk penyempurnaan di masa yang akan datang adalah:

1. Perlu dikaji pola gerusan sungai dengan menggunakan debit yang berbeda-beda.
2. Perlu dilakukan kajian pola aliran sungai debris pada kondisi tikungan sungai.

DAFTAR PUSTAKA

- Kurdir, R. D. 1973, *Classification of mudflows*, Soviet Hydrology, no. 4, p 310-316.
- Kusumosubroto, Kusumosubroto, 2006, *Penomona Aliran Debrin dan Fakto Pembentukannya*, Seminar Diesimenasi Teknologi Sabu, Semarang.
- Takahashi, T. Nakagawa, H. 1991, *Prediction Of Story Debris Flow Induced By Severe Rainfall* Journal Of The Japan Society Of Erosi Control Engineering 144 (3) 12-19
- Thomas, Blanc, 2008, *Numeral Simulation Of Debris Flows The Wit The 2D-SPH depth integrated model*, Thesis (Master), The Institute for Mountain Risk Engineering University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna.