ANALISA MODEL FISIK PENGARUH *DEBRIS* TERHADAP GERUSAN LOKAL YANG TERJADI DI PILAR JEMBATAN
(Studi Pilar Persegi dan Pilar Lingkaran, Aliran Superkritik)

Hernawan Fajar Sulisriyanto

ABSTRAK

Pilar merupakan struktur bawah jembatan yang keberadaannya dapat mempengaruhi perubahan pola aliran sungai dan terjadi gerusan lokal yang akan mengganggu kestabilan pilar. Gerusan lokal terjadi oleh perubahan angkutan sedimen yang disebabkan dari perubahan kecepatan aliran akibat adanya pilar jembatan. Aliran yang terjadi pada sungai disertai proses penggerusan dan deposisi dapat diakibatkan kondisimorfologi sungai dan adanya bangunan sungai yang menghalangi aliran. Disisi lain juga terdapat fenomena sedimen transport, perpindahan material sedimen melalui aliran air. Kondisi sedimen transport ini disimulasikan dengan cara sedimen feeding, menambahkan sejumlah *sediment* yang terlarut pada waktu dan jumlah tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sedimen feeding terhadap gerusan dasar permukaan saluran. Pentingnya mengetahui bentuk pilar jembatan dan sedimen feeding yang dapat meminimalisir gerusan lokal diharapkan mampu menjadi tolok ukur dalam perencanaan bentuk pilar jembatan

Berdasarkan pengamatan simulasi laboratorium dilakukan pengujian dengan menggunakan sedimen feeding dan tanpa sedimen feeding pada pilar persegi maupun pilang lingkaran. Dalam pengamatan digunakan software pendukung yaitu SMS dan surfer 13 untuk membantu pengamatan visual data elvasi.

Hasil simulasi menggunakan sedimen feeding pada tinjauan kecepatan aliran *(velocity)*, pada pilar lingkaran terjadi perubahan kecepatan paling pendek daripada pilar persegi. Ditinjau dari pola gerusan, pilar lingkaran memberikan dampak perubahan yang lebih kecil dibandingkan pilar persegi, baik dari segi luasan perubahan maupun elevasi. Nilai gerusan paling sedikit adalah 8 mm dengan sedimentasi 5mm yang terjai saat simulasi saluran pilar lingkaran dengan sedimen feeding.

Melalui pengamatan mengunakan bantuan SMS dan surfer 13 diketahui bahwa sedimen feeding mampu membantu mengurangi dampak perubahan elevasi dalam saluran. Pada pilar persegi dengan sedimen feeding, gerusan maksimal sebesar 13 mm dan sedimen maksimal 4 mm. Sedangkan tanpa sedimen feeding, gerusan maksimal sebesar 31 mm dan sedimen maksimal 5 mm. Pada pilar lingkaran dengan sedimen feeding, gerusan maksimal sebesar 8 mm dan sedimen maksimal 5 mm. Sedangkan tanpa sedimen feeding, gerusan maksimal sebesar 33 mm dan sedimen maksimal 1 mm.

Kata kunci: elevasi gerusan, pilar, pola aliran, *sedimen feeding*

A. PENDAHULUAN

Jembatan merupakan sebuah konstruksi yang berguna untuk menghubungkan jalan yang terdapat rintangan dibawahnya, baik berupa sungai, lembah, laut, maupun jalan lain yang permukaannya lebih rendah. Pilar merupakan struktur bawah jembatan yang keberadaannya dapat mempengaruhi perubahan pola aliran sungai dan terjadi gerusan lokal yang akan mengganggu kestabilan pilar. Gerusan lokal terjadi oleh perubahan angkutan sedimen yang disebabkan dari perubahan kecepatan aliran akibat adanya pilar jembatan.

Gerusan merupakan proses alam yang dapat mengakibatkan gerusan lokal (local scouring) yang merupakan proses alamiah yang terjadi di sungai akibat pengaruh morfologi sungai (kemiringan dasar sungai) atau adanya bangunan air yang menghalangi aliran. Adanya bangunan air tersebut menyebabkan perubahan karakteristik seperti kecepatan aliran dan turbulensi, sehingga menimbulkan perubahan transpor sedimen dan terjadinya gerusan. Adanya halangan pada alur sungai akan menyebabkan perubahan pola aliran.

Adapun bangunan yang sering menghalangi aliran sungai adalah pilar jembatan.

Di Indonesia, aliran debris (*debris flow*) dikenal sebagai Banjir Bandang, aliran debris merupakan bencana alam yang sangat berbahaya dan bersifat merusak.Sungai Progo adalah sebuah sungai yang mengalir di Provinsi Jawa Tengah dan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta di Indonesia yang merupakan salah satu sungai yang terkena dampak banjir lahar dingin. Sebagian anak-anak Sungai Progo memiliki hulu di Gunung Merapi. Akibat erupsi Merapi pada Oktober-November 2010, terjadi kelebihan sedimen suplai dari hulu yang menyebabkan perubahan morfologi Sungai Progo menjadi lebih cepat. Perubahan morfologi dasar sungai mengakibatkan perubahan parameter hidrolika sepanjang aliran.

Untuk itu perlu penangan yang dapat memperkecil gerusan atau setidaknya dapat membuat sedimen yang terangkut masih berada dalam kondisi equilibriumnya. Pada penelitian kali ini dilakukan analisa model fisik untuk penambahan sedimen atau *sediment feeding*, yaitu penambahan sedimen sejumlah sedimen yang terangkut dalam waktu tertentu dan selama waktu tertentu.

Pentingnya mengetahui bentuk pilar yang dapat meminimalisir terjadinya gerusan lokal pada pilar jembatan diharapkan dapat menjadi tolak ukur dalam perencanaan bentuk pilar jembatan. Pengamatan gerusan lokal yang dilakukan di lapangan secara langsung sulit dilakukan karena berada di bawah permukaan air. Pada penelitian ini simulasi dilakukan dengan menggunakan permodelan fisik berupa flume. Flume merupakan permodelan fisik dari sungai dalam skala yang lebih kecil. Pilar yang disimulasikan pada flume menggunakan pilar berbentuk lingkaran dan segiempat yang merupakan bentuk dasar pilar jembatan yang sering digunakan.

B. TUJUAN PENELITIAN

Adapun maksud dan tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pola gerusan yang terjadi di sekitar pilar bentuk lingkaran dan bentuk persegi dengan sedimen feeding?
2. Mengetahui pengaruh penambahan sedimen feeding pada pemodelan analisis pola gerusan yang terjadi di sekitar pilar bentuk lingkaran dan bentuk persegi?
3. Mengetahui pola aliran yang terjadi di sekitar pilar bentuk lingkaran dan bentuk persegi?
4. Mengetahui pengaruh penambahan sedimen feeding pada pemodelan analisis pola aliran yang terjadi di sekitar pilar bentuk lingkaran dan bentuk persegi?

C. BATASAN MASALAH

1. Penelitian ini menggunakan permodelan fisik dengan aliran superkritik, debit 0,005 m^3/s, waktu 3 menit, aliran seragam, slope 0,0358, diameter material dasar 1 mm, geometri penampang lebar 0,46 m dan panjang 5 m.
2. Sedimen yang digunakan adalah pasir dengan diameter tidak seragam.
3. Simulasi yang akan dilaksanakan adalah bentuk penampang yang diberi pengahalang di tengahnya (pilar jembatan).
4. Bentuk pilar yang akan disimulasikan adalah bentuk segiempat dan lingkaran
5. Pilar yang digunakan untuk satu kali simulasi berjumlah satu.
6. Penelitian ini hanya melihat fenomena perubahan aliran yang terjadi pada sekitar pilar jembatan dengan pengamatan visual dan pengukuran.
7. Pengamatan kecepatan aliran dilakukan dengan metode PIV (*Particle Image Velocimetry*).

8. Analisis kedalaman gerusan sekitar pilar menggunakan *software Surface Modelling System* (SMS).

D. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Istiarto (2002) menjelaskan bahwa proses erosi dan deposisi di sungai pada umumnya terjadi karena adanya perubahan pola aliran, terutama pada sungai alluvial. Perubahan pola aliran dapat terjadi karena adanya rintangan atau halangan pada aliran sungai tersebut yaitu berupa bangunan sungai misal: pangkal jembatan, krib sungai, revetment, dan sebagainya. Bangunan semacam ini dilihat dapat merubah geometri alur serta pola aliran, yang selanjutnya diikuti dengan timbulnya gerusan lokal di sekitar bangunan

Bila struktur ditempatkan pada suatu arus air, aliran air di sekitar struktur akan berubah dan gradien kecepatan vertikal (vertical velocity gradient) dari aliran akan berubah menjadi gradien tekanan (pressure gradient) pada ujung permukaan struktur tersebut. Gradien tekanan (pressure gradient) merupakan hasil dari aliran bawah yang membentur bed. Pada dasar struktur, aliran bawah ini membentuk pusaran yang pada akhirnya menyapu sekeliling dan bagian bawah struktur dengan memenuhi seluruh aliran (Miller 2003:6)

1. Sungai

   Sungai memiliki aliran yang kompleks untuk diprediksi, tetapi dengan pengamatan dan penelitian jangka waktu yang panjang, sungai dapat diartikan sebagai sistem yang teratur yaitu bahwa semua jenis komponen penyusun sungai adalah sistem yang teratur atau dapat diprediksi. Sistem sungai merupakan sistem yang teratur dan kompleks yang saling mempengaruhi satu sama lain terhadap setiap komponennnya. Komponen penyusun sungai yaitu berbentuk alur percabangan sungai, morfologi sungai (*river morphology*), formasi sungai (*river bed form*), dan ekosistem sungai (*river ecosystem*). Bentuk alur meander dipengaruhi oleh kemiringan memanjang bentang alam, jenis material dasar sungai, dan vegetasi di daerah bersangkutan (Maryono, 2007).

2. Pilar

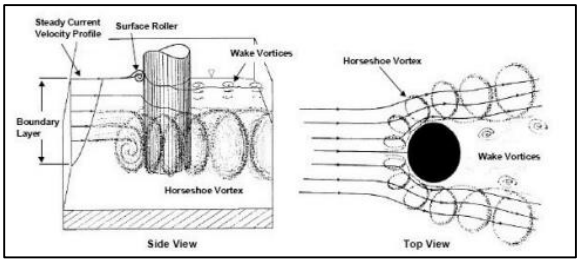
   Pilar merupakan bagian dari struktur bawah jembatan yang terletak di tengah-tengah bentang antara dua abutmen yang berfungsi memikul beban bangunan atas dan bangunan lainnya, beban tersebut selanjutnya disalurkan ke tanah yang keras oleh pondasi.

   Pada umumnya pilar jembatan dipengaruhi oleh aliran (arus) sungai, sehingga dalam perencanaan perlu diperhatikan dari segi keamanan dan kekuatan bahan-bahan hanyutan dan aliran sungai itu sendiri. Maka bentuk dan penempatan pilar tidak boleh menghalangi aliran air terutama pada saat terjadi banjir

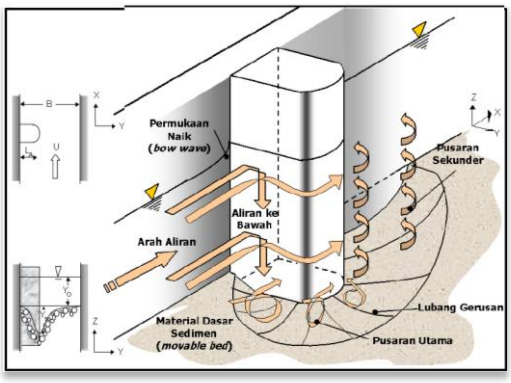
3. Gerusan

   Gerusan merupakan proses alam yang dapat mengakibatkan kerusakan pada struktur bangunan di daerah aliran air. Penambahan gerusan akan terjadi dimana ada perubahan setempat dari geometri sungai seperti karakterstik tanah dasar setempat dan adanya halangan pada aliran sungai berupa bangunan air. Perubahan pola aliran tersebut menyebabkan gerusan lokal di sekitar bangunan tersebut. Bangunan bagian bawah jembatan (pangkal dan pilar jembatan) sebagai suatu struktur bangunan tidak lepas pula dari pengaruh gerusan lokal tersebut (Ikhsan dan Hidayat, 2006).

   Mekanisme gerusan disekitar pilar jembatan menurut Hanwar (1999:9) adalah ketika partikel sedimen yang menutupi pilar mulai berpindah, maka proses gerusan mulai terbentuk. Partikel yang tererosi ini akan mengikuti pola aliran dan terbawa dari dekat pilar kearah dasar sungai. Selanjutnya jika partikel-partikel sedimen lebih banyak tererosi, maka bentuk gerusan akan mencapai kedalaman gerusan maksimum



Gambar 1 Mekanisme gerusan pada dasar pilar



Gambar 2 Mekanisme gerusan lokal pada abutment (Modifikasi dari Breusers dan Raudkivi, 1991) dalam (Husnan dan Yulistiyanto,2007)

4. Debris

Aliran debris adalah suatu massa yang dipicu oleh curah hujan tinggi berdurasi panjang dipengaruhi oleh gaya grvitasi yang memadai. 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. Aliran ini sangat bersifat abrasif dan memiliki energi impak yang tinggi serta dapat membahayakan bangunan-bangunan yang dilaluinya.

5. *Sedimen Feeding*

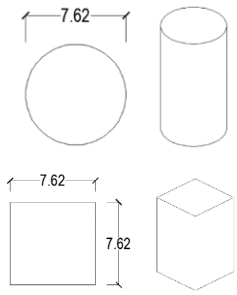
Sediment feeding adalah suatu metode perbaikan dasar sungai dimana perbaikan tersebut dilakukan dengan menambahkan sejumlah sediment yang terlarut pada waktu dan jumlah tertentu untuk mencapai kondisi equilibrium.

Pada penelitian tentang *sediment feeding* pernah dilakukan oleh Puji Harsanto dalam *erosion Characteristics of cohesive sediment bed and bank, and their effects on river morphology*, menyatakan bahwa pemberian *sediment feeding* dilakukan dengan melepaskan *sediment* dari sisi bagian hulu, dimana lokasi pemberian *sediment* dilakukan 15 cm dari jarak awal pegukuran. Penelitian dilakukan selama 6 menit. Selama 6 menit, *sediment* diberikan secara terus menerus untuk menghasilkan perpindahan pada dasar sungai dengan kecepatan yang konstan. *Sediment* diberikan dengan volume tertentu menggunakan tangan. Interval waktu pemberian *sediment* adalah setiap 10 detik

E. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

Alat yang digunakan adalah alat pemodelan saluran berupa flume dan kelengkapannya untuk memodelkan saluran terbuka.Model pilar yang digunakan terbuat dari plat besi dengan bentuk persegi dan lingkaran.



Gambar 3 sketsa pilar lingkaran dan persego

1.Pelaksanaan

a. Pompa dihidupakan dengan debit yang telah ditentukan.
b. Kamera yang terpasang pada bagian peluap segitiga, bagian atas saluran, dan dinding saluran siap dihidupkan
c. Memastikan tinngi muka air pada saluran dan tinggi air pada peluap segitiga stabil pada menit ke-1, kemudian menaburkan sediment feeding selama 2 menit, lalu menaburkan manik-manik (sediment

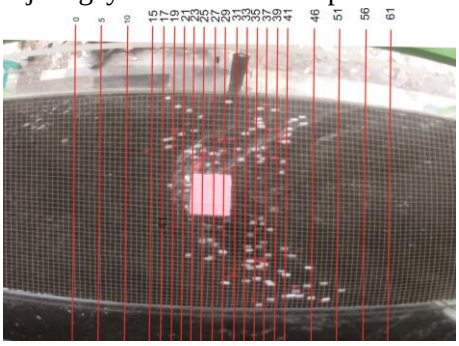
tracking) pada menit pertama dan kedua setelah stabil.

d. Running dihentikan pada menit ketiga.
e. Percobaan dilanjutkan kembali dengan setting awal

F. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisa Pola Gerusan

Pola gerusan di sekitar pilar berasal dari aliran yang berasal dari hulu yang terhalang oleh pilar. Hal ini menyebabkann aliran air terganggu dan menjadi tidak stabil sehingga menimbulakan pusaran yang terjadi akibat kecepatan aliran yang membentur pilar depan menjadi gaya tekan di sekitar pilar

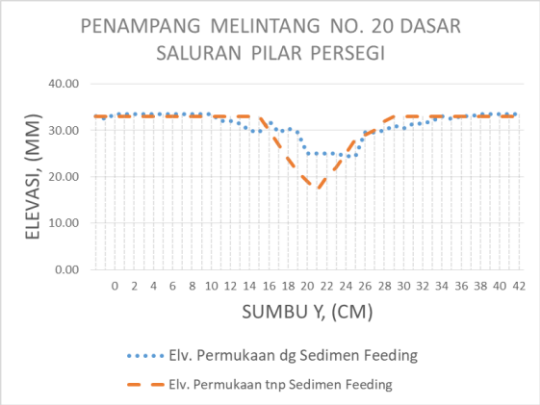


Gambar 4 Tampak atas saluran pilar persegi dengan potongan melintang

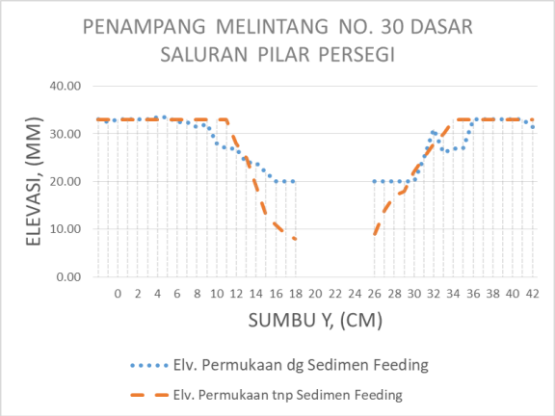
Pengamatan terhadap elevasi permukaan potongan melintang dilakukan dengan membandingkan elevasi potongan melintang dengan kondisi running tanpa sediment feeding dan kondisi running dengan sediment feeding.

Dari perbandingan tersebut diperoleh pola gerusan sedimen dan penumpukan sedimen pada saluran.

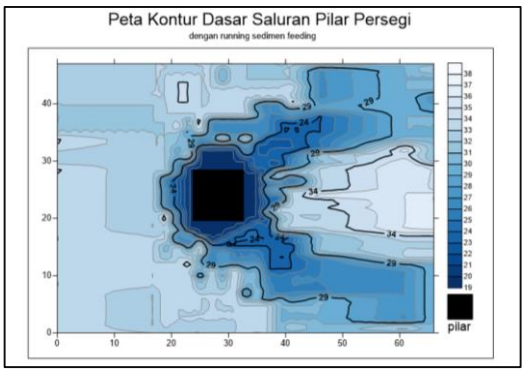
Pada Gambar 6 menunjukan kondisi potongan melintang no.20 saluran pilar persegi. Pada grafik dapat diketakui bahwa pada saat running pengujian gerusan tanpa sediment feeding (ditunjukan dengan garis lurus) diperoleh nilai gerusan dengan elevasi dasar saluran 17 cm, kedalaman gerusan maksimal 16 cm dengan tanpa menunjkan penumpukan material sedimen. Sedangkan saat running menggunakan sedimen feeding diperoleh nilai elevasi terdalam 24,5 cm, kedalaman gerusan maksimal 8,5 cm dan penumpukan sedimen setebal 0,5 dengan puncak sedimen pada elevasi 33,5 cm.



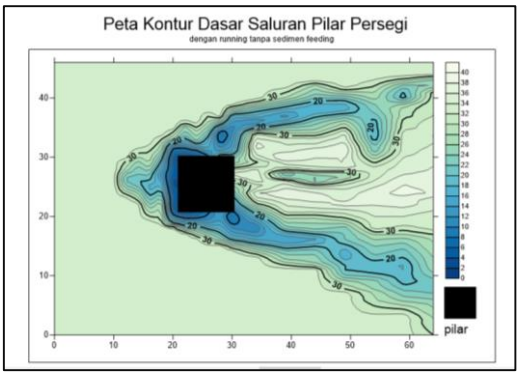
Gambar 5 Pot melintang no 20 sal pilar persegi



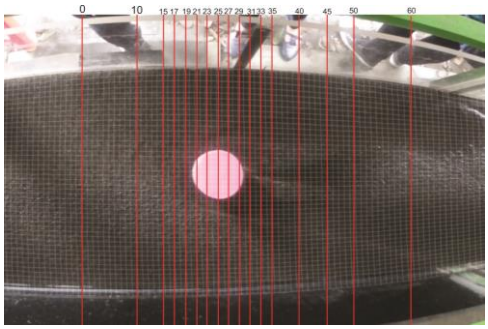
Gambar 6 Pot. melintang no 30 sal. pilar persegi



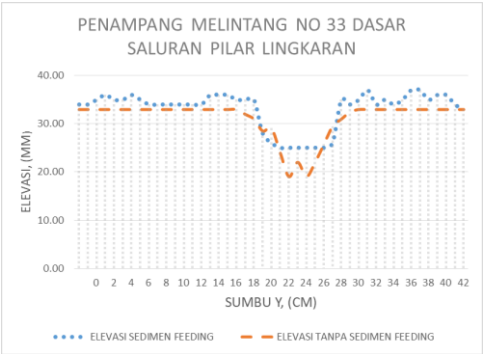
Gambar 7 Hasil penggambaran Surfer 13, peta kontur saluran pilar persegi dengan sedimen feeding



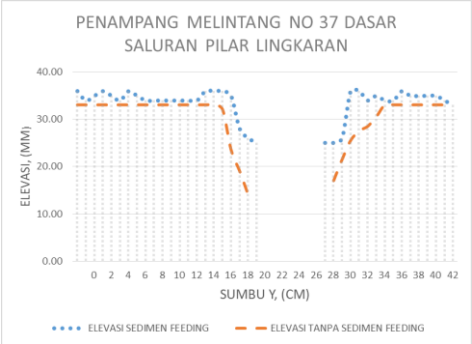
Gambar 8 Hasil penggambaran Surfer 13, peta kontur saluran pilar persegi tanpa sedimen feeding



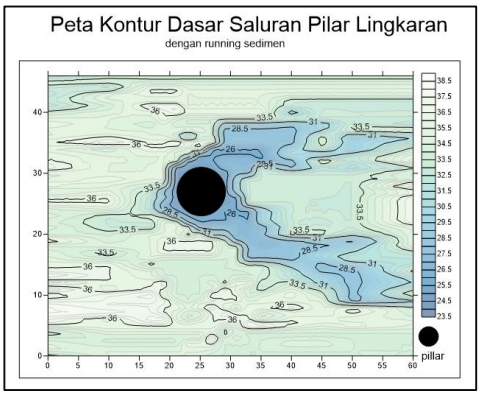
Gambar 9 Tampak atas pengamatan gerusan pilar Lingkaran



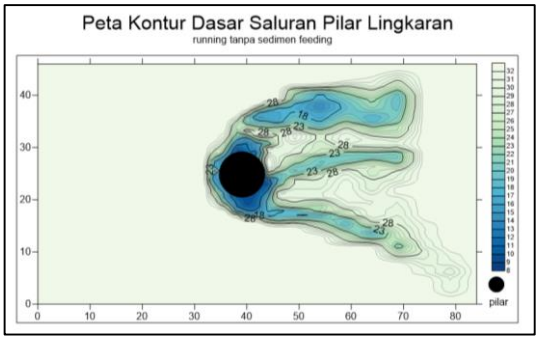
Gambar 10 Pot. melintang no 33 sal. pilar linngkaran



Gambar 11 Pot. melintang no 37 sal. pilar linngkaran



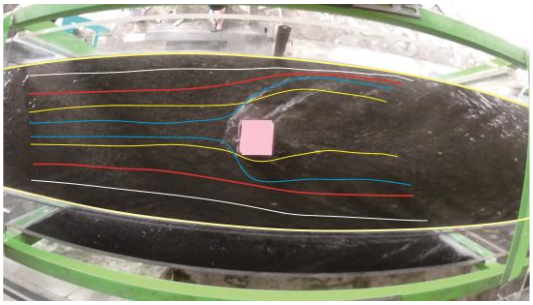
Gambar 12 Hasil penggambaran Surfer 13, peta kontur saluran pilar lingkaran dengan sedimen feeding



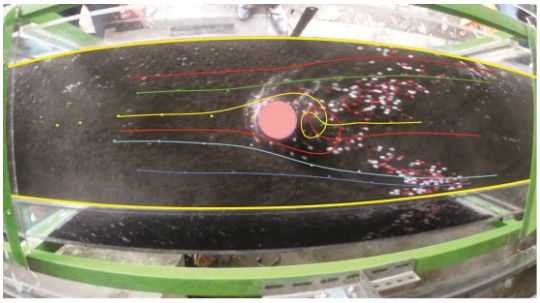
Gambar 13 Hasil penggambaran Surfer 13, peta kontur saluran pilar lingkaran tanpa sedimen feeding

2. Analisa Pola Aliran

Pergerakan aliran air diamanati dengan menggunakan bantuan sediment tracking, butiran plastik dengan diameter 5,00 milimeter, yang ditaburkan ke dalam area flume dalam interval waktu tertentu. Pergerakan aliran air secara lateral atau memanjang dan secara cross sectional atau melintang diamati menggunakan kamera yang diletakkan di atas area observasi untuk merekam dan mengambil gambar pergerakan sediment tracking selama pengujian dilakukan. Pergerakan sediment tracking tersebut kemudian menjadi dasar dalam analisa untuk vektor kecepatan aliran air dalam dua dimensi



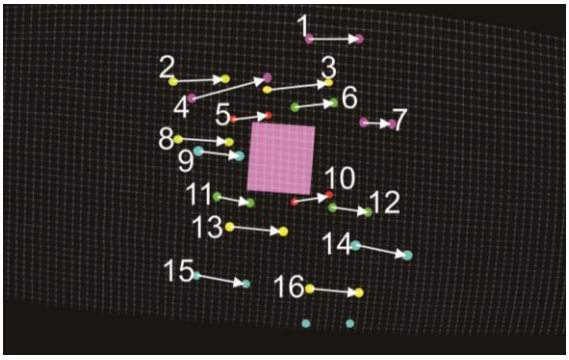
Gambar 14 Pola aliran saluran pilar persegi



Gambar 15 Pola aliran saluran pilar lingkaran

3. Analisa Kecepatan

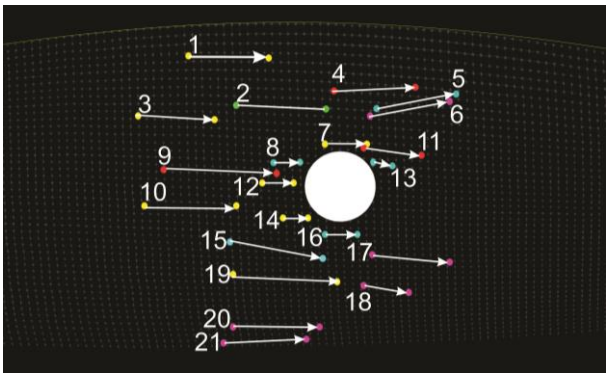
Simulasi dilakukan pada flume test menggunakan sediment tracking untuk mengetahui pergerakan kecepatan aliran serta dilakukan dua kali yaitu menggunakan pilar dengan bentuk lingkaran dan persegi. Setelah pergerakan sediment tracking ditandai maka dapat diketahui perubahan kecepatan aliran



Gambar 16 vektor kecepatan pilar persegi

Tabel 1 perhitungan Vektor kecepatan saluran pilar persegi

Kode	Jarak x	Jarak y	Perpindahan	Kecepatan, V	
	cm	cm	Cm	cm/s	m/s
1	7	0.5	7.01	91.14	0.91
2	7	1	7.07	91.83	0.91
3	8	1.5	8.13	105.70	1.05
4	10	4.5	10.96	142.41	1.42
5	4	0.5	4.03	52.35	0.52
6	5.5	1	5.59	72.59	0.72
7	4	0	4.00	51.94	0.51
8	6.5	0	6.50	84.41	0.84
9	5	0	5.00	64.93	0.64
10	4	1	4.12	53.54	0.53
11	4	1	4.12	53.54	0.53
12	5	0	5.00	64.93	0.64
13	7	0	7.00	90.90	0.90
14	7	1	7.071	91.83	0.91
15	7	0.5	7.01	91.14	0.91
16	6	0.5	6.02	78.19	0.78



Gambar 17 Vektor kecepatan saluran pilar lingkaran

Tabel 2 perhitungan Vektor kecepatan saluran pilar persegi

Kode	Jarak X	Jarak Y	Perpindahan	V	
			mm	mm/s	m/s
10	125.96	1.1465	125.9679102	887.098	0.887098
11	76.319	10.903	77.09367664	542.9132	0.542913
12	42.947	0.0487	42.94656602	302.4406	0.302441
13	24.137	5.5127	24.75807475	174.3526	0.174353
14	36.044	0.0487	36.0440713	253.8315	0.253831
15	128.4	24.431	130.7010753	920.4301	0.92043
16	43.526	0.0487	43.52618104	306.5224	0.306522
17	105.53	10.082	106.0064797	746.5245	0.746525
18	60.003	10.461	60.90787988	428.9287	0.428929
19	151.05	6.3504	151.1824706	1064.665	1.064665
20	119.01	1.5717	119.0198014	838.1676	0.838168
21	113.3	5.3287	113.4210116	798.7395	0.79874

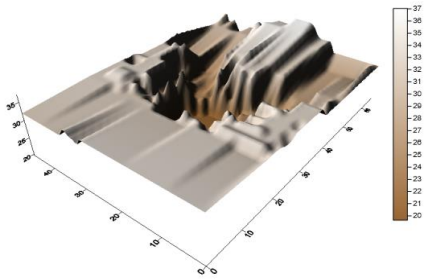
(*Sumber : hasil perhitungan*)

4. Perbandingan Saluran Pilar Lingkaran dan Persegi dengan kondisi running sedimen feeding

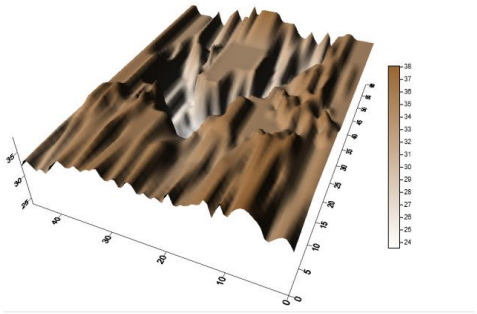
Dari hasil pengmatan, pola aliran mengalami turbulen dan membentuk vortex saat mendekali dan berada disekitar pilar. Pada pilar persegi, aliran cendering menyebar setelah menabrak pilar, sedangkan pada pilar lingkaran cenderung membelok melewati pilar.

Dari pola gerusan yang dapat diamati pada peta kontur, pilar persegi memberikan dampak gerusan yang lebih banyak daripada pilar lingkaran. Hal ini di sebabkan karena pilar persegi membentuk sudut yang memotong aliran, sehingga menimbukan gerakan vortek. Vortek ini lah yang kemudian mengerus dasar saluran.

Selain fenomena gerusan, terdapat juga fenomena sedimen. Sedimen dominan terbentuk dibagian hilir. Sedimen ini beriisi hasil gerusan dan sedimen feeding yang tdak terbewa oleh aliran alir



Gambar 18 Hasil penggambaran Surfer 13, saluran pilar persegi



Gambar 19 Hasil penggambaran Surfer 13, saluran pilar lingkaran

5. Perbandingan Saluran pilar dengan menggunakan sedimen feeding dan tanpa sedimen feeding

Penggunaan sedimen feeding saat running percobaan laboratorium dilakukan untuk menggambarkan kondisi aliran debris di lapangan. Aliran debris ini membawa material berupa pasir, sehingga dalam percobaan laboratorium peru di beri tambahan sedimen feeding di hulu saluran.

Dari parameter yang ada, hal yang paling menunjukan perbedaan adalah parameter gerusan, dalam hal ini adalah elevasi gerusan. Pada masing masing saluran dengan pilar persegi maupun pilar lingkaran, menunjukan bahwa elevasi gerusan saluran dengan sedimen feeding lebih tinggi dari pada elevasi saluran tanpa sedimen feeding

Tabel 3 Hasil pengamatan saluran pilar lingkaran dan persegi

	Sedimen Feeding		Tanpa sedimen Feeding	
Nilai maksimal	Gerusan	Sedimen	Gerusan	Sedimen
Pilar persegi	13 mm	4 mm	31 mm	6 mm
Pilar Lingkaran	8 mm	5 mm	33 mm	1 mm

G. PENUTUP

KESIMPULAN

1. Pola gerusan memmbentuk busur, gerusan paling dalam terdapat tepat disamping pilar. Sedangkan dibagian setelah pilar mengalami gerusan yang lebih kecil. Sedimentasi paling dominan terletak di ujung hilir lokasi pengamatan. Hal ini disebabkan efek terusan mulai berkurang. Perubahan elevasi lebih dominan pada pilar persegi, sedangkan pada pilar lingkaran elevasi cenderung stabil meskipun tetap mengalami gerusan dan sedimentasi.
2. Sedimen feeding yang dilakukan saat pengujian memberikan pengaruh terhadap elevasi. Elevasi kondisi penambahan sedimen feeding saat running menunjukkan perubahan elevasi yang tidak ekstrim, baik itu berupa gerusan ataupun sedimentasi.
   a. Pada pilar persegi dengan sedimen feeding, gerusan maksimal sebesar 13 mm dan sedimen maksimal 4 mm. Sedangkan tanpa sedimen feeding, gerusan maksimal sebesar 31 mm dan sedimen maksimal 5mm.
   b. Pada pilar lingkaran dengan sedimen feeding, gerusan maksimal sebesar 8 mm dan sedimen maksimal 5 mm. Sedangkan tanpa sedimen feeding, gerusan maksimal sebesar 33 mm dan sedimen maksimal 1 mm.
3. Pada aliran dengan sedimen feeding, aliean membentuk pola seperti busur setelah aliran menabrak pilar. Pada efek dengan bentuk busur ini lebih besar pada pilar persegi dari pada pilar lingkaran.
4. Secara umum, pola aliran pilar lingkaran dan pilar persegi dengan sedimen feeding atau tanpa sedimen feeding tidak ada perbedaan.

SARAN

1. Untuk pemberian sediment feeding, perlu diberikan menggunakan alat khusus yang bisa menyebarkan sediment secara merata dalam waktu yang ditentukan untuk menghindari ketidakseragaman timbunan dan gerusan yang terjadi.
2. Untuk ukuran gradasi butiran sediment feeding, perlu diuji menggunakan sediment dengan gradasi yang lebih besar,mengingat aliran debris terjadi pada bagian hulu sungai gunung berapi, dimana dapat memodelkan apabila terjadi banjir lahar dingin