POLA GERUSAN LOKAL PADA MODEL PILAR JEMBATAN LINGKARAN GANDA (*DOUBLE CIRCULAR*)

M.Tony Iskandar, Mudjiatko, Trimaijon

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293
E-mail : m.tony.iskandar@gmail.com

ABSTRACT

Pillar of the bridge on the stream causes changes flow patterns and local scour. Local scour will decrease the power of pillar to sustaining bridge load. Laboratory model was conducted to determine the model of local scour phenomena double circular pillar with or without protector curtain type. Basic canal model is using kampar sand with grain size d_{35} = 0,285 mm, d_{50} = 0,330 mm and d_{65} = 0,380 mm and spesific weight is 2,64.Froude number that used is Fr_1=0,464, Fr_2=0,670 and Fr_3=0,769. Reynold number Fr_1 scored 1658,42 is classified as transitional flow, Fr2 scored 3081,68 and Fr3 scored 4381,19 is classified as turbulent flow. Shield shows the use of gradation in moving zone. Hydrodynamic flow in pillar causes down flow that showed by scour in upstream pillar. Scour rech the equilibrium stage at minute 75. The ratio of scour depth ds/b is range from 0,03 – 0,46. The use of swivel can reduce the scours depth until 44,44%. Sediment transport analysis prove that the higher Froude is used the bigger the granules are transported.

Key word : *scour, model laboratory, double circular, froude, reynold, Shields, hydrodynamic flow, sediment transport* .

I. PENDAHULUAN

Sungai adalah suatu saluran terbuka terbentuk secara alami yang mempunyai fungsi sebagai saluran drainase alami. Air yang mengalir di dalam sungai akan mengakibatkan proses penggerusan tanah dasarnya. Peristiwa gerusan (*scouring*) merupakan suatu proses alamiah yang terjadi di sungai sebagai akibat pengaruh morfologi sungai. Kasus tentang runtuhnya bangunan jembatan biasanya di kaitkan dengan masalah konstruksi jembatan itu sendiri, namun jembatan yang memiliki pilar pada badan sungai tentunya akan merubah pola gerusan yang akan mengakibatkan terpecahnya aliran sungai dan mendorong terjadinya gerusan lokal di sekitar pilar jembatan. Gerusan lokal pada pilar jembatan ini yang akan mengurangi kekuatan pilar untuk menopang beban jembatan yang mengakibatkan

keruntuhan struktur pada jembatan tersebut.

Ada beberapa macam type pilar jembatan yang biasa digunakan seperti: *circular*, *eliptical*, *square*, *double circular* dan lain-lain. Pemilihan type pilar jembatan tentu dilakukan setelah dilakukan beberapa studi mengenai gerusan yang akan terjadi akibat type pilar tersebut. Studi tentang bentuk pilar *circular*, *eliptical*, *square* telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Sedangkan penelitian tentang model gerusan pada pilar jembatan type *double circular* masih dirasa kurang, dan perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang gerusan lokal pada pilar jembatan model lingkaran ganda (*double circular*). Penelitian tentang fenomena gerusan dan fenomena hidrodinamika aliran disekitar pilar jembatan yang terjadi pada pilar jembatan type ligkaran ganda (*double circular*) dengan pemodelan di laboratorium nantinya didapat pendekatan fenomena yang terjadi di sungai pada umumnya dan alternatif pengendalian secara teknis dari bangunan-bangunan sungai terhadap kemungkinan keruntuhan/penurunan akibat gerusan lokal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Untuk membedakan perilaku aliran yang terjadi di gunakan persamaan *Reynold* dan persamaan *Froude*. Bilangan *Reynolds* dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\mathrm{Re} = \frac{\mathrm{U\,R}}{\upsilon}$$

Nilai bilangan *Reynolds* yang kurang dari ±500, aliran yang terjadi adalah laminer, sedangkan bila lebih dari ±2000 aliran yang terjadi adalah turbulen dan liran yang bilangan *Reynolds* diantara ±500 dan ±2000 jenis alirannya disebut aliran transisi (Nichols, 2009).

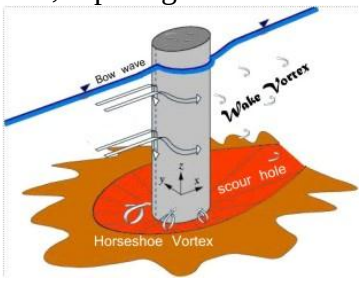
Sedangkan bilangan Froude akan membagi aliran menjadi aliran sub kritis (mengalir) jika *Fr* <1, super kritis (meluncur) jika *Fr* >1, dan aliran disebut kritis jika nilai *Fr* =1. Persamaan untuk menghitung bilangan Froude adalah :

$$\mathrm{Fr} = \frac{\mathrm{U}}{\sqrt{\mathrm{g\,y}}}$$

Breusers dan Raudkivi (1991) mendefinisikan gerusan sebagai fenomena alam yang disebabkan oleh aliran air di sungai. Ini adalah konsekuensi dari aktifitas erosi yang disebabkan oleh aliran yang melakukan penggerusan dan pengikisan material dasar dan tebing sungai serta di sekitar pilar dan abutment jembatan.

Menurut Richardson dkk. (1990) dalam Achmadi (2001), gerusan yang terjadi di sekitar pilar jembatan ialah akibat sistem pusaran (*horseshoe vortex*) yang timbul karena aliran dirintangi oleh suatu bangunan. Sistem pusaran yang menyebabkan lubang gerusan (*scour hole*), berawal dari sebelah hulu pilar, yaitu pada saat mulai timbul komponen aliran dengan arah aliran ke bawah (*downflow*), karena aliran yang datang dari hulu dihalangi oleh pilar. Aliran arah vertikal ini akan terus menuju dasar yang selanjutnya akan membentuk pusaran. Pada dasar saluran komponen aliran berbalik arah vertikal ke atas, peristiwa ini terjadi terus menerus hingga tercapai kesetimbangan. Interaksi aliran dan pilar akan membentuk busur ombak

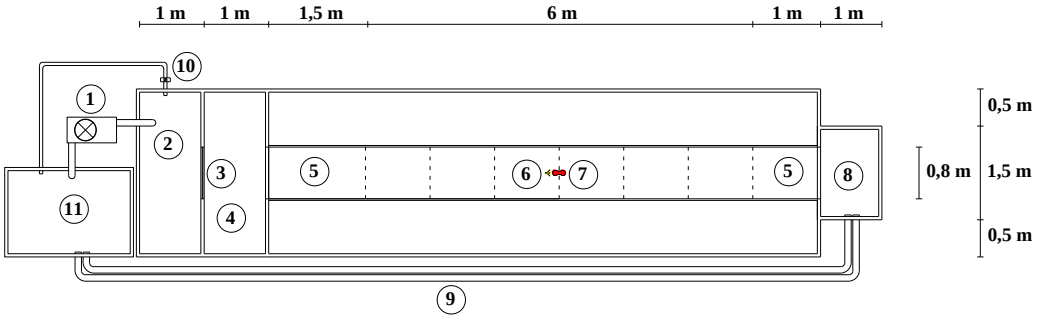
(*bow wave*) yang kemudian bergerak kesamping dan terjadi pemisahan aliran yang selanjutnya membentuk *wake vortex* dibagian belakang pilar jembatan, seperti gambar berikut :



Gambar 1. Ilustrasi gerusan lokal di sekitar pilar jembatan
Sumber: Istiarto 2012

III. METODOLOGI PENELITIAN

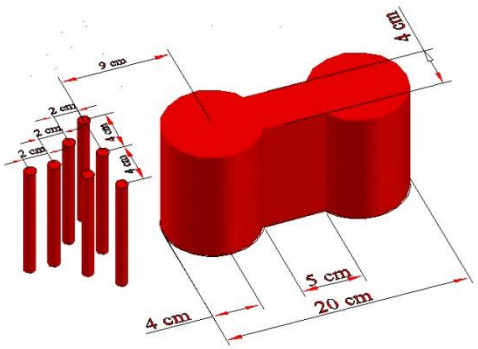
Penelitian dilakukan dengan berbasis laboratorium, bahan yang dibutuhkan dalam pemodelan ini ialah pasir sungai Kampar lolos saringan No. 10 dan tanah liat sebagai pembentuk dasar model sungai. Peralatan utama yang dipakai ialah *Recirculating sediment flume* (Gambar 2). Alat ini dilengkapi dengan pompa dengan kapasitas 1100 ltr/mnt, bak penenang, bak penampung sedimen dan saluran model sungai berdimensi panjang 8,5 m, lebar 0,8 m dan tinggi 0,02 m.



1. Pompa
2. Bak Tampungan
3. Segitiga *Thomson*
4. Bak Penenang
5. Peredam Energi
6. Pelindung Pilar
7. Pilar
8. Bak Penampung Sedimen
9. *Return Rlow*
10. Pengatur Debit
11. Kolam Penampungan

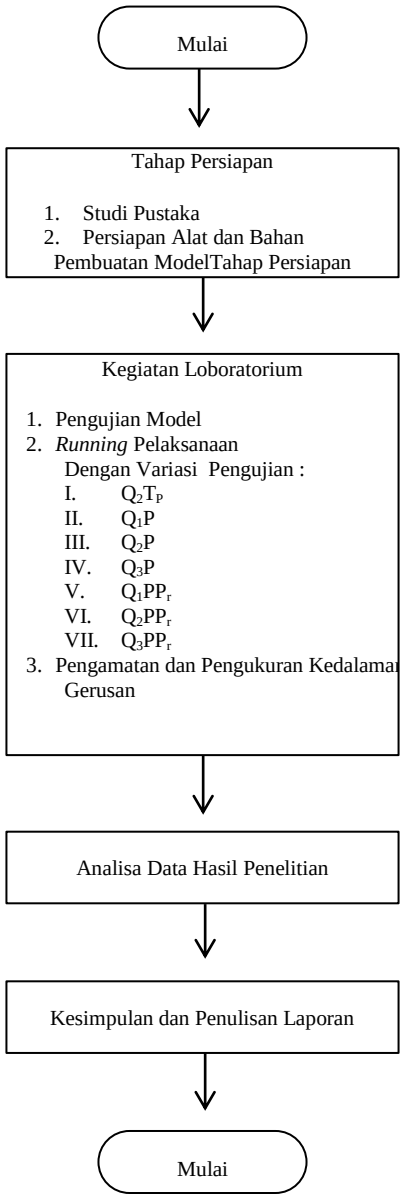
Gambar 2. *Recirculating Sediment Flume*

Pilar yang digunakan berbentuk lingkaran ganda (*double circular*) dan model proteksi pilar digunakan proteksi jenis tirai atau susunan tiang yang diletakkan di hulu pilar yang disusun berbentuk triangular dengan jarak 5 cm dari pilar jembatan. dengan detail seperti gambar dibawah ini.



Gambar 3. Ilustrasi 3D model pilar dan pengaman pilar jembatan

Tahapan penelitian dapat dijelaskan pada diagram alir penelitian seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Aliran

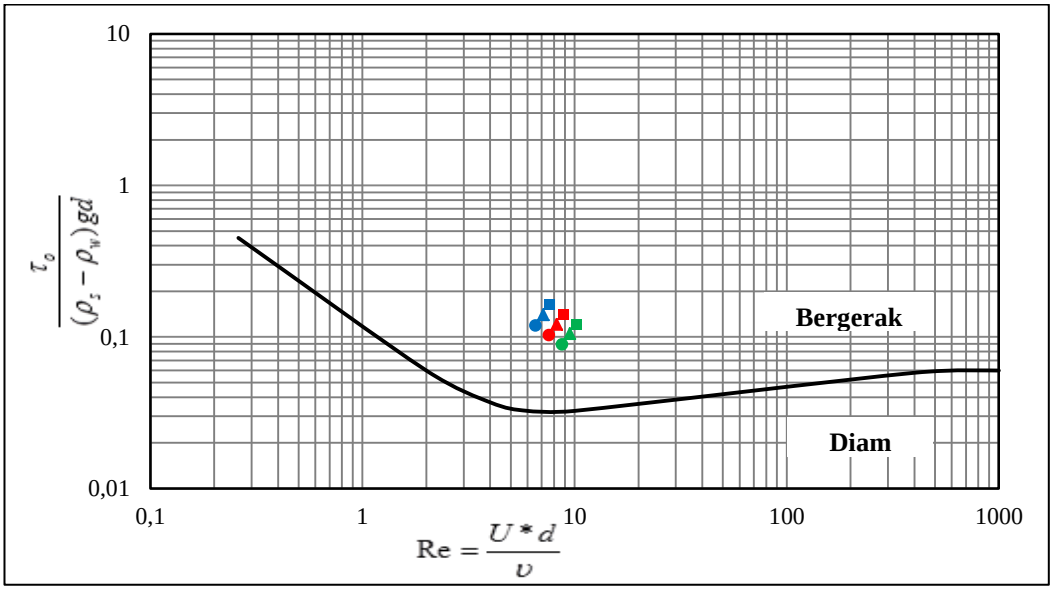
Karakteristik aliran berdasarkan bilangan *Froude* aliran diklasifikasikan pada jenis subkritis memiliki nilai Fr < 1. Sedangkan berdasarkan nilai *Reynolds* jenis aliran pada Fr_1 masuk pada jenis transisi dimana nilai 500 < Re < 2000. Pada Fr_2 dan Fr_3 aliran tersebut termasuk pada jenis aliran turbulen dengan nilai Re > 2000 klasifikasi ini berdasarkan paparkan oleh Nichols 2009 seperti terlihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Karakteristik aliran

Kode	*Froude*	Klasifikasi	*Reynold*	Klasifikasi
Fr_1	0,4635	Subkritis	1658,416	Transisi
Fr_2	0,6704	Subkritis	3081,683	Turbulen
Fr_3	0,7690	Subkritis	4381,188	Turbulen

Gerak Awal Butiran

Awal pergerakan butiran dasar saluran terjadi karena besarnya nilai tegangan gesek (τ_o) aliran lebih besar dari nilai tegangan gesek kritis (τ_c) butiran, $\tau_o > \tau_c$. Dari hasil perhitungan, besarnya nilai tegangan gesek (τ_o) aliran lebih besar dari nilai tegangan gesek kritis (τ_c) butiran. Hal ini menegaskan bahwa material dasar saluran yang diwakili oleh d_{35}, d_{50} dan d_{65}, bergerak pada nilai *Froude* yang digunakan. Hubungan antara tegangan gesek aliran dan tegangan gesek kritis butiran di plot kan kedalam grafik *Shield* dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 5. Grafik gerak awal butiran *Shields*

Hubungan Pola Aliran Terhadap Pola Gerusan

Pola aliran sangat berpengaruh terhadap pola gerusan yang terjadi. Fenomena pusaran air ini merupakan hasil dari tumbukan oleh partikel aliran yang berinteraksi pada pilar jembatan yang terjadi akibat aliran dengan kecepatan tinggi pada permukaan terhalang oleh adanya model pilar jembatan.

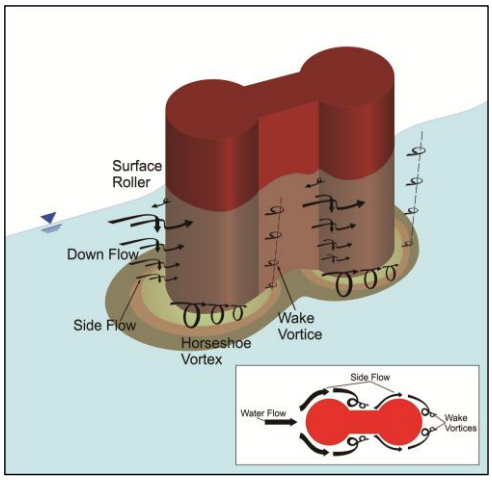
Permukaan aliran yang berinteraksi dengan pilar mengakibatkan terjadinya fenomena pembendungan muka air atau dikenal dengan gulungan permukaan (*surface roller*). Proses pembendungan ini menyebabkan sebagian dari aliran akan bergerak vertikal kebawah (*down flow*) dan sebagian lagi mengalir terus searah horizontal melalui sisi dari pada model pilar tersebut (*side flow*).

Pada aliran yang mengarah vertikal akan bergerak kebawah dari permukaan mencapai dasar saluran. Selanjutnya menekan air yang berada di bawahnya dan menciptakan pusaran pada bagian depan pilar, pusaran ini akan menggerus endapan dasar yang berada di sekitar pilar tersebut atau disebut juga dengan fenomena pusaran tapal kuda (*horseshoe vortex*). Sedangkan aliran yang bergerak arah horizontal yang melewati sisi dari pilar jembatan akan membentuk pusaran belakang (*wake vortices*) yang terjadi pada bagian belakang pilar, hal ini disebabkan karena adanya perbedaan kecepatan aliran yang terjadi antara bagian belakang pilar dengan aliran yang mengalir melewati sisi pilar.

Pusaran belakang (*wake vortices*) yang terjadi mengakibatkan butiran yang tergerus pada dasar saluran akan terangkat oleh adanya gaya *vortex* yang terjadi pada bagian belakang pilar, butiran yang telah terangkat selanjutnya akan terbawa oleh air menuju hilir saluran dan akan terus berlanjut hingga tercapainya kesetimbangan.

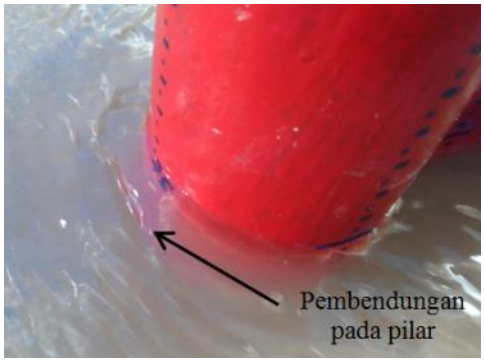
Berdasarkan tipe pilar jembatan yang digunakan tipe lingkaran ganda (*double circular*)

yang memiliki badan penghubung, fenomena aliran yang terjadi hampir menyerupai aliran yang terjadi pada tipe pilar tunggal. Tipe *double circular* memiliki dua buah *down flow* dan *side flow* juga memiliki dua *horseshoe vortex* yang menyebabkan terjadinya dua buah gerusan yang menerupai gerusan yang terjadi pada pilar silinder tunggal. Ilustrasi dari hubungan pola aliran terhadap gerusan lokal yang terjadi pada akan diperlihatkan pada gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Ilustrasi pola aliran pada model pilar jembatan.

Fenomena pembendungan aliran terjadi pada hulu pilar dan pelindung pilar. Fenomena yang terjadi pada pilar saat penelitian dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini.

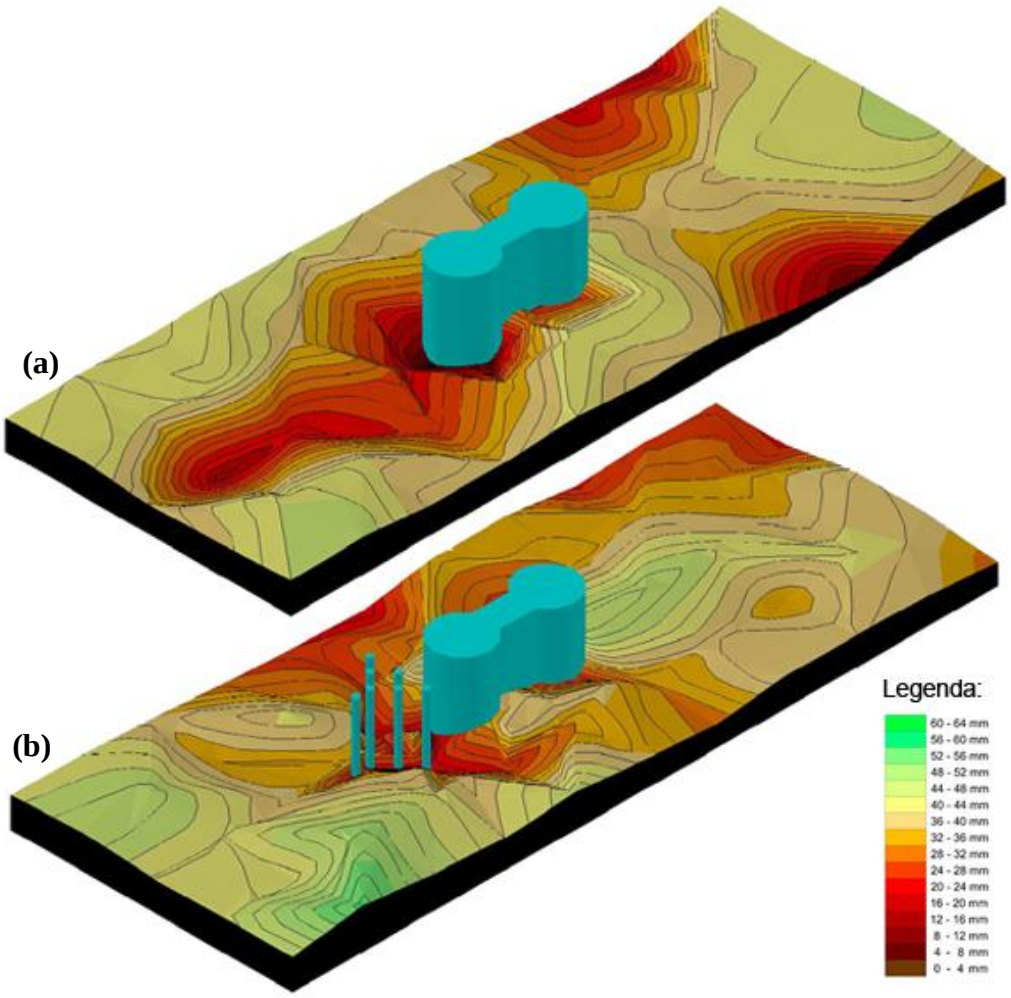


Gambar 7. Fenomena hidrodinamika aliran pada pilar

Perubahan Topografi Dasar Terhadap Kondisi Permukaan Awal

Hidrodinamika aliran yang terjadi karena adanya pilar jembatan mengakibatkan terjadinya gerusan pada material dasar saluran. Gerusan yang terjadi pada dasar saluran ini terjadi terus menerus sampai terjadinya kesetimbangan pada waktu tertentu dimana gerusan yang terjadi cenderung kecil. Gerusan yang terjadi pada dasar saluran menyebabkan perubahan topografi dasar saluran disekitar pilar.

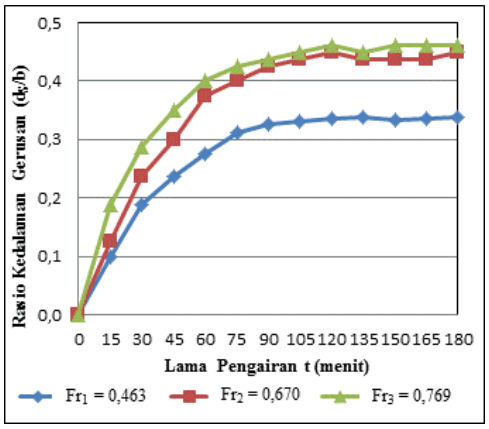
Terjadi penurunan kedalaman gerusan akibat adanya pelindung pilar pada hulu pilar. Gerusan yang terjadi pada pengujian diwakili dengan citra warna yang dihasilkan (Gambar 8). Hal ini membuktikan bahwa penggunaan pelindung pilar mampu mengurangi kedalaman gerusan yang terjadi pada pilar jembatan.



Gambar 8. Pola gerusan lokal tanpa pelindung pilar (a) pola gerusan menggunakan pelindung pilar (b)

Perkembangan Kedalaman Gerusan Berdasarkan Fungsi Waktu

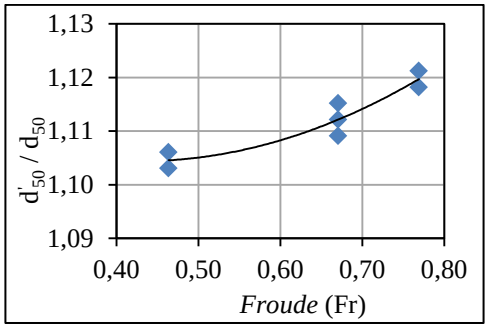
Rasio perubahan kedalaman semakin meningkat terhadap waktu pengujian. Rasio kedalaman semakin besar seiring semakin besarnya nilai Fr yang digunakan (Gambar 9). Gerusan mencapai titik kesetimbangan pada menit ke-75.



Gambar 9. Hubungan rasio gerusan terhadap waktu pengujian Q_1P, Q_2P, Q_3P

Analisis Angkutan Sedimen

Analisa gradasi butiran dilakukan untuk mengetahui diameter butiran sedimen yang terangkut oleh aliran pada tiap pengujiannya. Gradasi butiran dari hasil analisa saringan selanjutnya dibandingkan dengan gradasi butiran pada awal pengujian (d_g'/d_g) untuk selanjutnya dihubungkan terhadap bilangan *Froude* yang terjadi pada tiap pengujiannya, seperti pada gambar berikut :



Gambar 10. Hubungan d'_{50}/d_{50} terhadap bilangan *Froude*

Hasil perbandingan yang dilakukan disimpulkan bahwa semakin besar bilangan *Froude* yang digunakan maka semakin besar pula butiran yang terangkut. Hal ini membuktikan bahwa ukuran butiran yang digunakan dalam penelitian akan mempengaruhi dari hasil kedalaman gerusan lokal yang terjadi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1) Bilangan *Froude* mengklasifikasikan aliran dalam jenis subkritis dengan nilai Fr < 1. Bilangan *Reynolds* mengklasifikasikan jenis aliran yang terjadi pada Fr_1 ialah jenis aliran transisi dengan nilai Re = 1658,416, sedangkan pada Fr_2 dan Fr_3 jenis aliran yang terjadi ialah turbulen dimana nilai Re > 2000.
2) Gerusan lokal bertambah dalam seiring dengan besarnya nilai *Froude* yang digunakan. Pengaman pilar berupa tirai berbentuk segitiga dapat memperkecil gerusan lokal karena adanya reduksi tekanan hidrodinamika aliran yang terjadi pada pilar jembatan.
3) Kemampuan tirai pengaman mereduksi kedalaman gerusan yang terjadi pada pengujian dengan menggunakan Fr_1 sebesar 44,12 %, pada pengujian dengan Fr_2 mampu mereduksi sebesar 44,44 % dan pada uji dengan menggunakan Fr_3 mereduksi sebesar 36,96 %.
4) Fenomena *horseshoe vortex* yang terjadi pada model pilar membentuk gerusan dasar di bagian depan pilar dan sisi pilar. Hal ini terjadi disebabkan karena fenomena *surface roller* dan *side flow* yang terjadi mengikuti bentuk pilar.
5) Bentuk pilar *double circular* memiliki 2 *horseshoe vortex* dan terjadi *wake vortice* di bagian sisi pilar dan hilir pilar yang mengakibatkan terjadinya sedimentasi pada bagian sisi pilar.
6) Gerusan mencapai titik kesetimbangan (*equilibrium scour depth*) pada menit ke-75, selanjutnya pengaruh kecepatan aliran akan mempengaruhi proses masuk dan keluarnya sedimen pada lubang gerusan, akan tetapi kedalaman gerusan pada dasarnya tetap konstan.

7) Hasil perhitungan kedalaman gerusan berdasarkan formula gerusan Froehlich memberikan hasil yang paling mendekati dengan kedalaman gerusan lokal yang terjadi pada model penelitian.
8) Hasil analisa angkutan sedimen membuktikan bahwa dengan semakin besar bilangan *Froude* yang digunakan maka semakin besar pula butiran yang terangkut.

Saran

1) Untuk penelitian lebih lanjut perlunya pengukuran secara elektronik, sehingga data yang terukur lebih teliti.
2) Variasi jarak tirai pengaman terhadap model pilar bisa dijadikan penelitian berikutnya untuk mengetahui jarak optimum pengaruh tirai pengaman terhadap gerusan yang terjadi pada pilar.

DAFTAR PUSTAKA

Achmadi, Tri. 2001. *Model Hidraulik Gerusan Pada Pilar Jembatan*. Tesis. Semarang : Universitas Diponegoro.

Breusers, H.N.C. and Raudkivi, A.J. 1991. *Scouring*. IAHR Hydraulic Structure Design Manual. Rotterdam : A.A. Belkema.

Ikhsan, C dan Solichin. 2008. *Analisis Susunan Tirai Optimal Sebagai Proteksi Pada Pilar Jembatan Dari Gerusan Lokal*. Media Teknik Sipil/Juli 2008 : 85–90.

Istiarto. 2012. *Materi Kuliah Transport Sedimen*. Yogyakarta : UGM.

Laursen, E.M. and Toch A. 1956. *Scour Around Bridge Piers And Abutments*. Iowa Highway Research Board Bulletin No. 4 :1-60.

Melville, B.W. 1975. *Local Scour At Bridge Sites*. Tesis. New Zealand : University of Auckland.

Nichols, Gary. 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*. United Kingdom : Wiley-Blackwell.

Alabi, P.D. 2006. *Time Development Of Local Scour At A Bridge Pier Fitted With A Collar*. Tesis. Canada : University of Saskatchewan.

Rinaldi dan Yulistiyanto, B. 2001. *Model Fisik Pengendalian Gerusan Di Sekitar Abutmen Jembatan*. Forum Teknik Sipil No. X/2-Agustus 2001 : 139–149.

Triatmodjo, B. 1996. *Hidraulika I*. Yogyakarta : Beta Offset.

Triatmodjo, B. 1996. *Hidraulika II*. Yogyakarta : Beta Offset.

Wibowo, O.M. 2007. *Pengaruh Aliran Terhadap Gerusan Lokal Di Sekitar Pilar Jembatan*. Skripsi.