

**MODEL LABORATORIUM GERUSAN LOKAL
PADA PILAR JEMBATAN TIPE *CYLINDER GROUPED*
DENGAN PENGAMAN PILAR TIPE TIRAI PADA SUNGAI BERBELOK**

Michael Chrisyie Daniel Bintang¹⁾ Mudjiatko²⁾ Rinaldi²⁾
¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil ²⁾ Dosen Jurusan Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru 28293
Kampus Bina Widya J. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode Pos 28293
E-mail : michael.bintang@gmail.com

Abstrack

Cylinder grouped pillars on meander experienced hydrodynamic and helicoidal force. Laboratory model with 7 testing variations wick are the test withouth pillars (Fr_2Tp), 3 variations without curtains (Fr_1P , Fr_2P , Fr_3P) dan 3 variations using curtains (Fr_1Pp , Fr_2Pp , Fr_3Pp) are used to identify the phenomenon of local scouring of grouped cylinder type pillar with curtain protector on meander. The materials used in this research are Kampar River's sand passing no.10 shieve with G_s value of 2,66 and grain size of $d_{35} = 0,247$ mm; $d_{50} = 0,298$ mm; dan $d_{65} = 0,352$ mm as well as flume with meander index of 1,009. Shield graphic of subcritical flow with characteristic froude numbers 0,4249; 0,6460; and 0,6981 and reynolds numbers Fr_1 , Fr_2 , Fr_3 wick are 1658,416 (transition), 3081,683 (turbulence) and 4381,188 (turbulence) showed that the grain moved. The equilibrium of scouring occured on 75th minutes for Fr_1 and Fr_2 , and 150th minutes for Fr_3 . The bigger of froude number showed helicoidal force that occured was smaller, and the grain size wick is transported was also bigger. The result of this research showed that the curtains can reduce local scouring on Fr_1 , Fr_2 , and Fr_3 at about 53,33 %, 45,55%, and 60,00% respectively.

Keyword : Local Scouring, Cylinder Grouped Pillars, Curtain Protector, Depth Ratio.

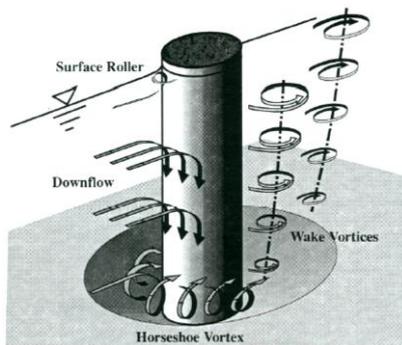
I. PENDAHULUAN

Sungai yang ada di alam memiliki 3 macam bentuk sungai yaitu, sungai lurus, sungai berbelok (*meander*), dan sungai menganyam (*braided*). Air yang mengalir melewati suatu belokan akan mengalami suatu gaya sentrifugal yaitu gaya yang menyebabkan air bergerak keluar belokan (Mudjiatko, 2000). Gaya sentrifugal pada belokan akan menyebabkan timbulnya arus melintang sungai, dan bersama-sama dengan aliran utama membentuk aliran helikoidal. Aliran helikoidal adalah gerakan spiral air sungai yang menyebabkan terkikisnya sisi luar sungai dan pengendapan pada sisi dalam sungai. Fenomena yang terjadi pada tikungan sungai yaitu, perubahan distribusi kecepatan dan tegangan geser, dan terjadi

sedimentasi berupa erosi dan endapan. Erosi dan endapan sungai karena aliran helikoidal ini menyebabkan terbentuknya liku sungai. Dampak utama akibat aliran helikoidal ini adalah terjadinya serangan pada tebing sungai pada sisi luar belokan, serta pengendapan pada dasar sungai di dekat sisi dalam belokan.

Pilar adalah bagian jembatan yang berhubungan secara langsung dengan dasar sungai. Pilar yang ditanam pada dasar sungai mengalami gerusan lokal. Jembatan yang menggunakan pilar pada belokan sungai memerlukan kriteria disain sedemikian sehingga bila dasar saluran disekitar jembatan tersebut tergerus, maka gerusan tersebut tidak mencapai kedalaman yang membahayakan kestabilan pilar. Ilustrasi gerusan lokal

pada pilar *cylinder* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Ilustrasi gerusan lokal di sekitar pilar jembatan
(Sumber : Melville & Coleman, 2000 dalam Alabi, 2006)

Gaya yang terjadi pada sungai yang berbelok mengakibatkan erosi pada sisi belokan luar sungai dan endapan pada sisi dalam belokan sungai. Pilar *cylinder grouped* jembatan sudah mengalami gerusan lokal akibat aliran sungai. Sehingga kombinasi gaya helikoidal dan gerusan lokal pilar jembatan pada sungai yang berbelok menjadi sebuah fenomena yang menarik untuk dikaji pada penelitian ini.

Jembatan Teratak Buluh merupakan salah satu jembatan yang memiliki pilar *cylinder grouped* dan tepat berada pada belokan Sungai Kampar. Jembatan Teratak Buluh sudah memiliki pelindung tirai untuk melindungi pilar jembatan ini dari gerusan yang terjadi di belokan Sungai

Kampar. Posisi tirai pelindung pilar jembatan ini menghadap pada belokan sungai Kampar. Jembatan ini menjadi sebuah contoh fenomena yang dapat ditiru untuk model pilar jembatan yang berada pada sungai yang berbelok. Untuk lebih jelasnya mengenai Jembatan Teratak Buluh, dapat dilihat pada gambar 2.

Penelitian sejenis telah dilakukan sebelumnya oleh Arie Perdana Putra, 2014 tentang “Model laboratorium gerusan lokal Pada pilar jembatan tipe *Grouped cylinder*”. Penelitian tersebut meneliti tentang fenomena gerusan lokal pada jembatan tipe *Grouped cylinder* pada sungai yang lurus. Sedangkan penelitian yang akan dilakukan adalah untuk mengetahui fenomena gerusan lokal pada jembatan tipe *Grouped cylinder* pada sungai yang berbelok.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui fenomena gerusan lokal pada pilar jembatan tipe *cylinder grouped* pada sungai berbelok. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai salah satu sumber referensi pada pihak terkait untuk mempelajari fenomena gerusan lokal pada pilar jembatan tipe *cylinder grouped* akibat dari belokan sungai dan dapat dijadikan referensi pada penelitian berikutnya yang berkaitan dengan pilar jembatan yang berada pada sungai berbelok.



Gambar 2 Gambar Pilar Jembatan Teratak Buluh yang Berada di Belokan Sungai Kampar
(Sumber : Google Earth dan Dokumentasi Tugas Akhir)

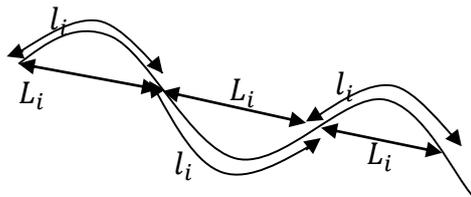
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Belokan Sungai

Belokan sungai (*meander*) adalah bentuk sungai yang berbelok yang terjadi akibat adanya pengikisan dan pengendapan. Sungai alami cenderung membentuk suatu seri *meander*, sedangkan aspek geometri dari sungai *meander* diperjelas dengan suatu *indeks* karakteristik yang mencatat seberapa besar perluasan saluran sungai menyimpang dari *centreline* suatu *meander*. Indeks *meander* (*M*) merupakan perbandingan dari panjang total alinemen saluran dengan panjang total kurvatur saluran, yang dinyatakan sebagai :

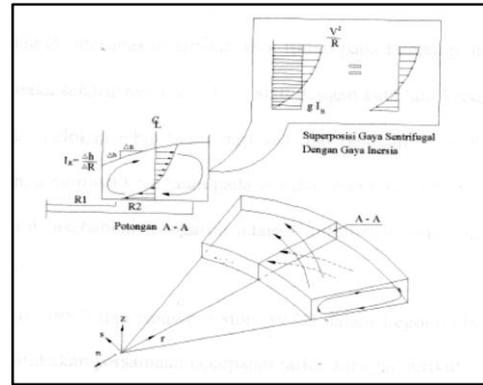
$$M = \frac{\sum l_i}{\sum L_i} \geq 1$$

Indeks *meander* dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3 Bentuk Saluran *Meander*
(Sumber : Mudjiatko, 2000)

Mudjiatko (2000) menyatakan bahwa sungai-sungai ber*meander* mempunyai kemiringan dasar yang sangat landai dan dasar sungai pada sisi luar biasanya lebih dalam dari sisi dalam. Hal ini disebabkan karena kecepatan aliran pada sisi luar lebih besar dari sisi dalam belokan. Gaya sentrifugal pada belokan akan menyebabkan timbulnya arus melintang yang selanjutnya bersama-sama dengan aliran utamanya membentuk aliran helikoidal. Aliran helikoidal diperlihatkan pada Gambar 4 dibawah ini.



Gambar 4 Perilaku belokan sungai
(Sumber : Mudjiatko, 2000)

Besarnya arus sekunder yang terjadi di belokan akan dipengaruhi oleh:

- Perbandingan lebar dan kedalaman air sungai, h/B
- Bilangan Reynold, Re
- Perbandingan jari-jari belokan dengan lebar sungai, R/B
- Posisi pada belokan, diawal belokan atau diakhir belokan.

Kinori (1984) menyatakan pada saat perbandingan kedalaman dengan lebar saluran kecil maka gaya-gaya yang menghasilkan aliran spiral di belokan, menghasilkan gaya sebesar gaya gesek dari dinding dan dasar saluran, sehingga gerak spiral memotong saluran tidak terjadi.

B. Mekanisme Gerusan Lokal

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 (*down flow*), 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 diikuti dengan terbawanya material dasar sehingga terbentuk aliran spiral yang akan menyebabkan gerusan dasar dan akan terus berlanjut hingga tercapai kesetimbangan.

Interaksi aliran dan pilar akan membentuk busur ombak (*bow wave*) yang disebut *surface roller* yang kemudian bergerak kesamping dan terjadi pemisahan aliran yang selanjutnya membentuk *wake vortex* dibagian belakang pilar jembatan.

Breusers *et al.* (1977) dan Ansari *et al.* (2002) dalam Alabi (2006) menyebutkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi kedalaman gerusan lokal dapat dikelompokkan dalam beberapa parameter, antara lain :

- Parameter aliran sungai : Kecepatan aliran, kedalaman aliran, kecepatan geser, distribusi kecepatan dan kekasaran dasar sungai.
- Parameter pilar : Dimensi pilar, bentuk pilar, posisi pilar, jumlah pilar dan sudut pilar terhadap arah aliran.
- Parameter sedimen dasar : Distribusi ukuran butiran, rapat massa butiran, bentuk butiran, kekohesif-an tanah dasar sungai.
- Parameter fluida : Rapat massa, percepatan gravitasi dan kekentalan kinematik.

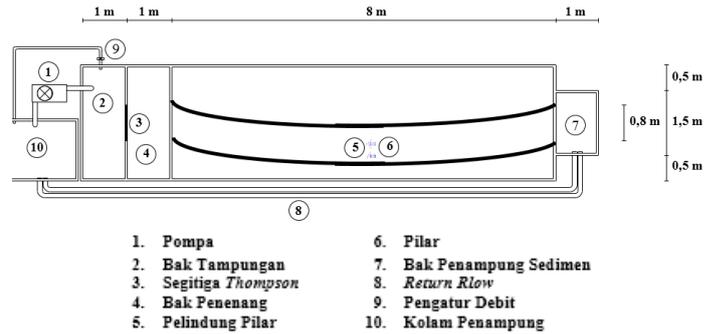
III. METODE PENELITIAN

A. Bahan

Bahan yang dibutuhkan dalam pemodelan ini ialah pasir sungai Kampar lolos saringan No. 10 dengan ukuran gradasi butiran $d_{35} = 0,247$ mm, $d_{50} = 0,298$ mm, $d_{65} = 0,352$ mm, $G_s = 2,66$ dan tanah liat sebagai pembentuk dasar model sungai.

B. Model Saluran

Sirkulasi Aliran *flume* ini dilengkapi dengan pompa, bak penenang, bak penampung sedimen dan saluran model sungai berdimensi panjang 8,5 m dan lebar 0,8 m seperti diperlihatkan pada Gambar 5.

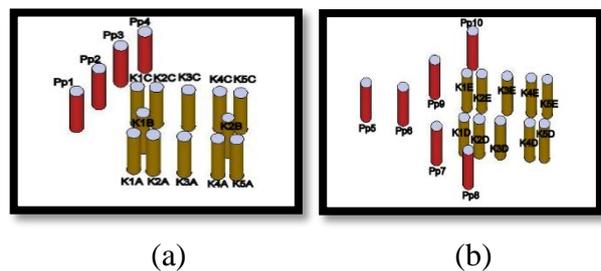


Gambar 5 Sirkulasi Aliran *flume*

C. Model Pilar Jembatan

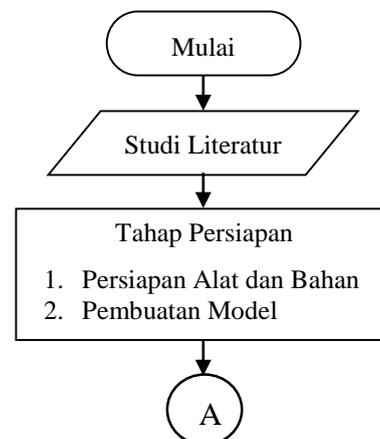
Model pilar jembatan digunakan berbentuk kumpulan tiang silinder (*cylinder grouped*) sebanyak 2 buah *grouped pile*, yang terdiri dari 10 tiang pada *grouped pile I* dan 12 tiang pada *grouped pile II*.

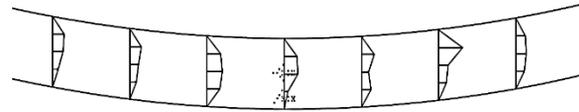
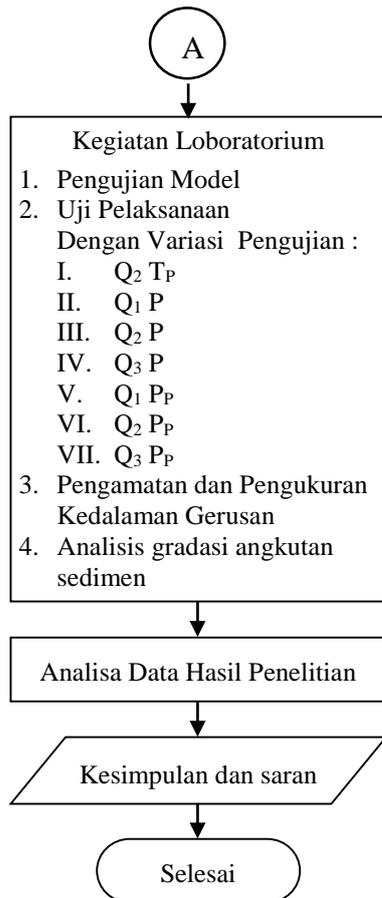
Model pilar seperti ini diadopsi dari bentuk pilar yang terdapat pada jembatan Teratak Buluh kabupaten Kampar. Model pilar jembatan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Model dan Penamaan Grup Pilar I (a) dan Grup Pilar II (b)

D. Diagram Alir Penelitian

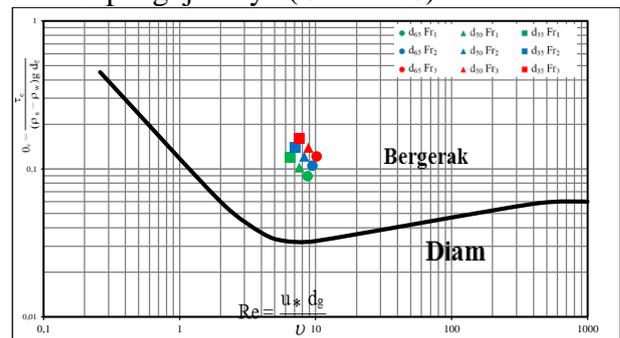




Gambar 7 Distribusi kecepatan permukaan Fr_1

B. Gerak Awal Butiran

Butiran sedimen dasar yang diwakili oleh nilai diameter d_{35} , d_{50} dan d_{65} berada di atas zona bergerak pada setiap variasi pengujiannya (Gambar 8).



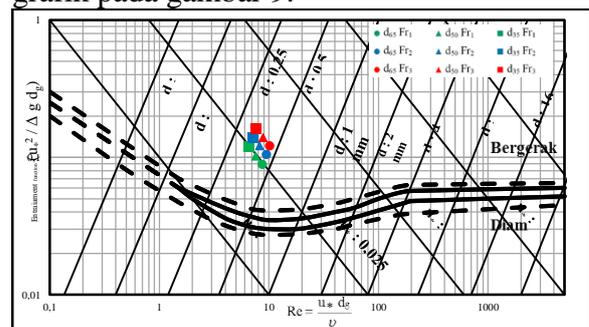
Gambar 8 Grafik gerak awal butiran Shields

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Distribusi Kecepatan Permukaan Aliran

Kecepatan pada belokan *Flume* bagian dalam mempunyai nilai kecepatan yang lebih besar dibandingkan nilai kecepatan pada sisi luar maupun tengah. Besarnya nilai kecepatan akan mempengaruhi besar-kecilnya kedalaman gerusan yang terjadi, sehingga gerusan akan bernilai maksimum pada bagian dalam saluran. Sedangkan untuk sisi luar belokan justru mengalami kecepatan yang lebih kecil. Hal ini menyebabkan gerusan bagian sisi luar belokan tidak terlalu besar. Sehingga berdasarkan pola distribusi kecepatan tersebut, maka model pilar jembatan yang berada di dekat sisi dalam saluran akan mengalami gerusan maksimum yang terjadi pada penampang saluran model. Hasil plot dari nilai perbandingan distribusi kecepatan untuk Fr_1 dapat dilihat pada Gambar 7.

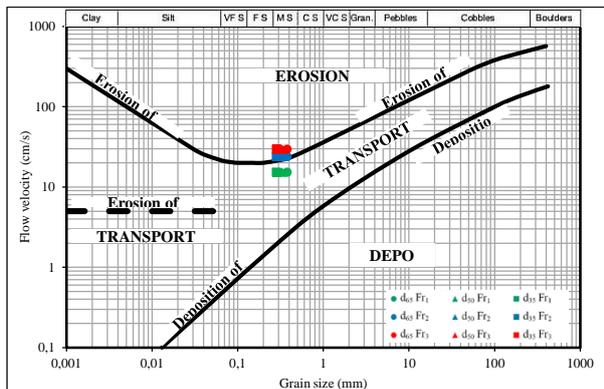
Selain itu, butiran sedimen dasar juga masuk ke dalam kriteria yang dikemukakan oleh Breusers dan Raudkivi, dimana nilai diameter butiran dan kecepatan geser yang terjadi sesuai dengan yang terdapat pada grafik pada gambar 9.



Gambar 9 Grafik Shields modifikasi Breusers dan Raudkivi

Hjulstorm mengemukakan sebuah grafik seperti terlihat Gambar 10 yang membandingkan antara ukuran butiran dasar dengan kecepatan aliran yang terjadi dalam aliran. Grafik ini memberikan hasil yang sama dari apa yang dihasilkan pada grafik *Shields* dimana semua butiran sedimen dasar yang digunakan berada pada

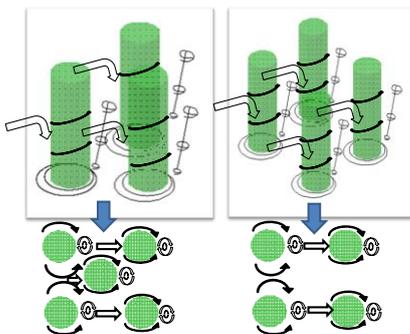
zona bergerak. Menurut grafik ini pengujian pada Fr_1 kecepatan aliran yang terjadi membuat material dasar saluran berada pada zona bergerak tapi masih dalam kondisi menggelinding atau menggeser atau gabungan keduanya dengan selalu bertumpu pada dasar saluran (*rolling and sliding*).



Gambar 10 Grafik gerak awal butiran *Hjulstorm*

C. Hubungan Pola Aliran Terhadap Pola Gerusan

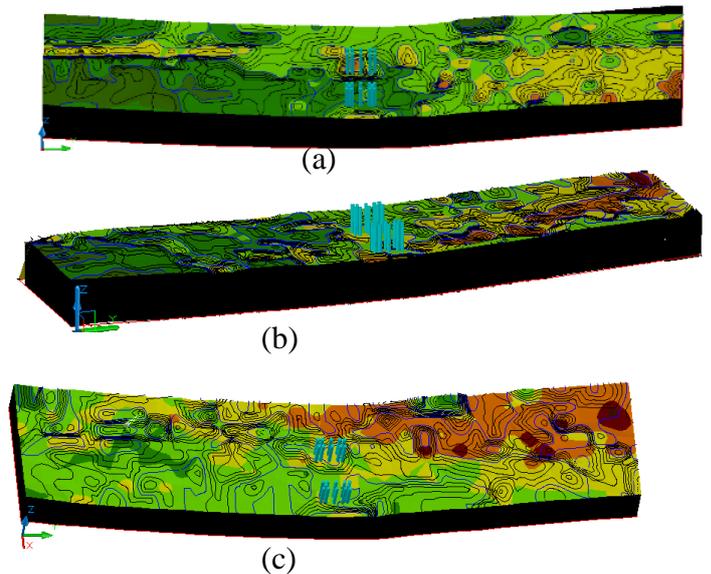
Pada bagian permukaan aliran yang berinteraksi dengan pilar jembatan akan terjadi *surface roller* yang terjadi akibat aliran dengan kecepatan tinggi pada permukaan terhalang oleh adanya model pilar jembatan, dengan adanya proses pembendungan ini tekanan pada aliran semakin bertambah sehingga air yang bertekanan akan bergerak arah vertikal dan sebagian lagi mengalir terus searah horizontal melalui sisi model pilar berupa aliran samping (*side flow*). Ilustrasi pola aliran pada pilar silinder dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11 Ilustrasi pola aliran pada pilar silinder

D. Perubahan Topografi Dasar Terhadap Kondisi Permukaan Awal

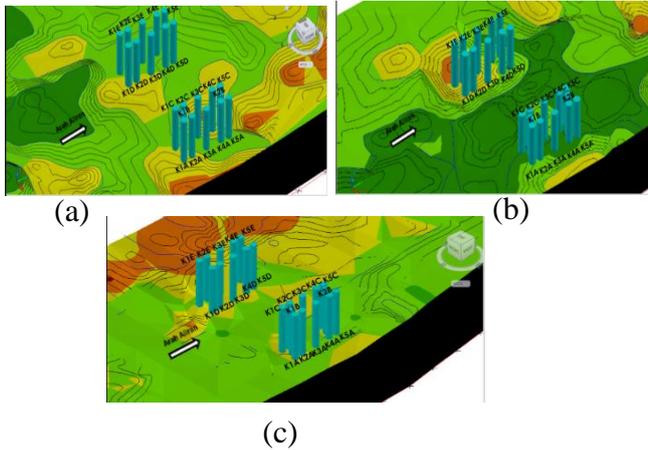
Gerusan yang terjadi pada pengujian Fr_1 masih tergolong kecil, hal itu terlihat dari citra warna yang dihasilkan. Konfigurasi dasar mulai berubah secara ekstrim pada daerah sekitar grup pilar bagian depan, bagian belokan luar sungai dan pada bagian mendekati hilir. Hal ini terjadi karena berubahnya pola aliran yang disebabkan oleh adanya benda atau struktur yang menghalanginya. Sisi luar belokan mengalami gerusan yang lebih dibandingkan sisi dalam. Sehingga dapat disimpulkan bahwa gaya helikoidal bekerja pada Fr_1 . Sedangkan pada pengujian Fr_2 dan Fr_3 gerusan terdalam terjadi di sisi dalam belokan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar bilangan *froude* maka gaya helikoidal tidak bekerja. Untuk lebih jelasnya pola gerusan dapat dilihat pada gambar 12 dibawah ini.



Gambar 12 Pola gerusan pengujian Fr_1P (a), Fr_2P (b), dan Fr_3P (c)

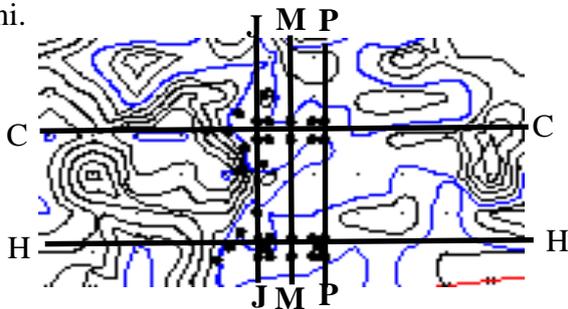
Sementara itu, hal yang menjadi perhatian khusus adalah kondisi gerusan pilar pada bagian luar belokan sungai. Pada Fr_1 , bagian depan, tengah hingga belakang pilar mengalami gerusan yang lebih besar daripada *grouped pile* pada bagian tengah *flume*. Pada pengujian Fr_2 bagian luar belokan terjadi deposisi yang menyebabkan

elevasi pada bagian pilar luar belokan lebih tinggi dari elevasi awal. Gerusan yang terjadi menyebabkan gerusan lokal pada grup pilar yang berada di belokan bagian dalam. Sedangkan pada Fr_3 , gerusan pada sisi luar belokan juga mengalami gerusan yang besar sama seperti pengujian Fr_2 seperti terlihat pada gambar 13.

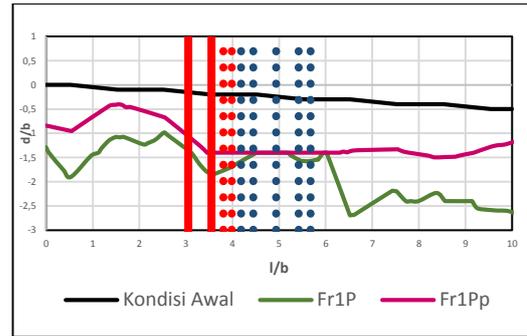


Gambar 13 Gerusan yang terjadi pada pilar pada pengujian Fr_1P (a), Fr_2P (b), dan Fr_3P (c)

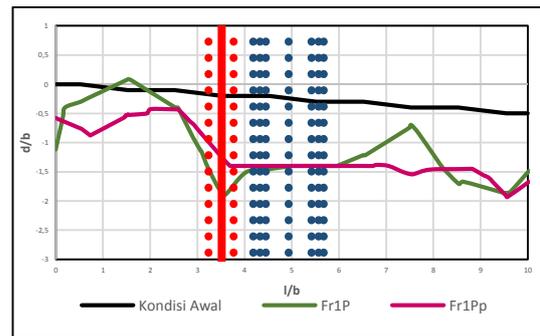
Pelindung pilar pada grup *pile* sisi luar belokan mampu mengurangi kedalaman gerusan lokal yang terjadi di sekitar pilar. Hal ini kita lihat pada perubahan gerusan yang terjadi pada sekitar pilar jika dibandingkan dengan sebelum memakai pelindung pilar tipe tirai. Gerusan yang terjadi pada pengujian ini tersebar secara merata pada daerah sekitar tiang pilar jembatan. Untuk lebih jelasnya, pilar yang menggunakan pelindung tipe tirai dapat dilihat pada gambar 14, 15 dan 16 dibawah ini.



Gambar 14 Gerusan yang terjadi pada pilar pada pengujian Fr_1P



Gambar 15 Potongan memanjang C-C pada Fr_1

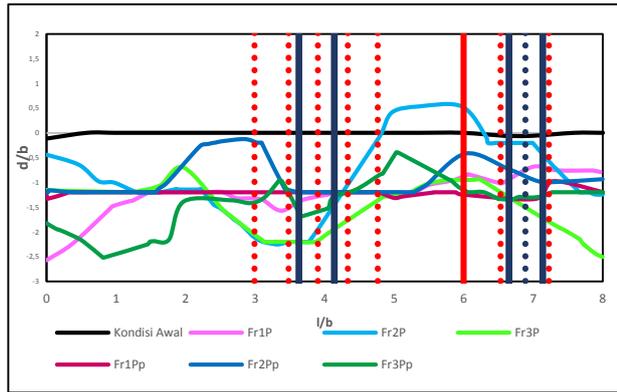


Gambar 16 Potongan memanjang H-H pada Fr_1

E. Profil Melintang Dasar Saluran Pada Gerusan Lokal

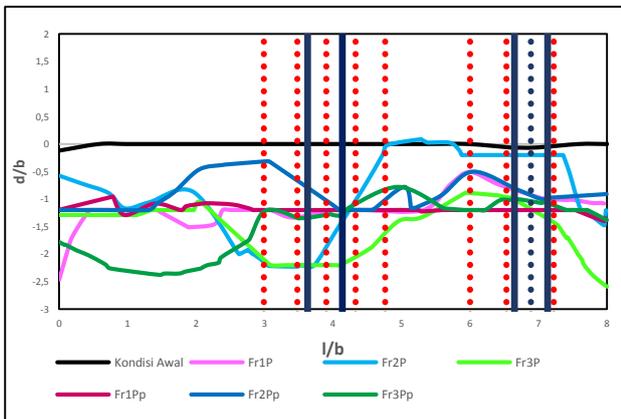
Dilihat dari bentuk pola gerusan yang terjadi pada grup pilar dalam arah memanjang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka untuk melihat fenomena tersebut secara detail dibuat suatu garis perpotongan arah melintang yang terletak pada bagian depan, tengah dan belakang dari pilar grup silinder tersebut.

Gerusan maksimum pada tiap pengujian terletak pada posisi pilar bagian depan, maka dapat dilihat pada gambar 17 di bawah ini besarnya kedalaman gerusan yang terjadi pada pilar bagian depan.



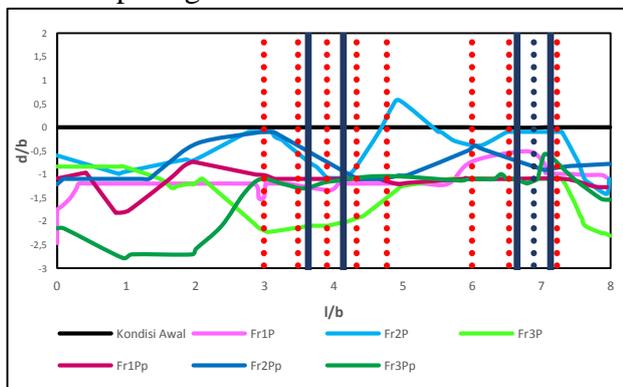
Gambar 17 Potongan melintang J-J

Pada sisi tengah grup pilar, pola gerusan tidak terlalu jauh berbeda dengan pada potongan J-J. Pola gerusan melintang pada tengah grup pilar dapat dilihat pada potongan M-M pada gambar 18 di bawah ini.



Gambar 18 Potongan melintang M-M

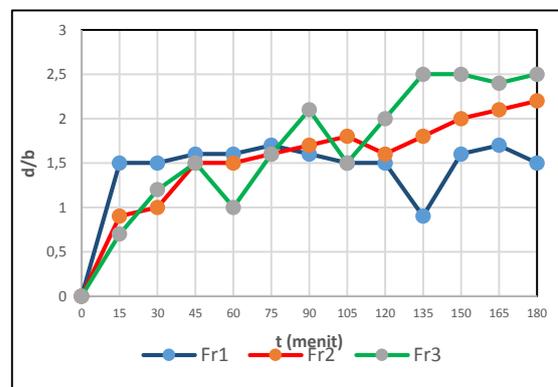
Pada sisi belakang grup pilar, gerusan terbesar juga diakibatkan oleh Fr_{3P}. Gerusan yang terjadi pada sisi luar belokan juga masih merata. Potongan P-P dapat dilihat pada gambar 19.



Gambar 19 Potongan melintang P-P

F. Perkembangan Kedalaman Gerusan Berdasarkan Fungsi Waktu

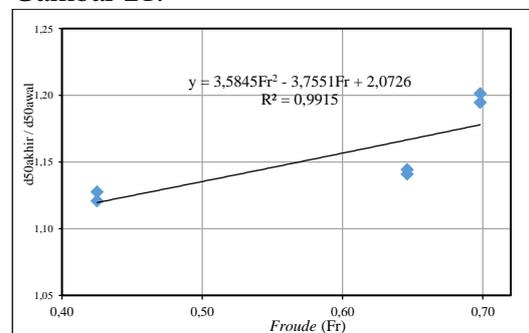
Dari hasil pengukuran pada saat pengujian Fr_{1Pp} kedalaman gerusan yang terjadi pada pilar sebesar 0,7 kali diameter pilar tunggal (b) dan pada tirai pengaman sebesar 1,6 kali diameter pilar tunggal. Jika dibandingkan dengan Fr_{1P}, maka keberadaan tirai pengaman mampu mengurangi kedalaman gerusan yang terjadi pada Fr₁, Fr₁, dan Fr₁ masing-masing sebesar 53,33%, 45,55% dan 60,00%. Rasio kedalaman terhadap waktu dapat dilihat di gambar 20.



Gambar 20 Hubungan rasio kedalaman terhadap waktu pada Fr_{1P}, Fr_{2P} dan Fr_{3P}

G. Analisis Angkutan Sedimen

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. Hubungan antara butiran dengan bilangan *froude* dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21 Hubungan d_{50} akhir/ d_{50} awal terhadap bilangan *Froude*

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan penelitian ini adalah:

1. Rasio kedalaman gerusan lokal terhadap lebar pilar (d_s/b) paling besar pada pengujian tanpa pengaman ialah sebesar 2,3 yang terjadi pada pengujian Fr_3P . Kemampuan pengaman tipe tirai mereduksi kedalaman gerusan yang terjadi pada pengujian dengan menggunakan Fr_1 sebesar 53,33 %, pada pengujian dengan Fr_2 mampu mereduksi sebesar 45,55% dan pada uji dengan menggunakan Fr_3 mereduksi sebesar 60,00 %.
2. Gerusan mencapai titik kesetimbangan (*equilibrium scour depth*) pada menit ke-75 untuk Fr_1 dan Fr_2 , sedangkan pada Fr_3 titik kesetimbangan terjadi di menit ke-150.
3. Gaya Helikoidal terjadi pada pengujian Fr_1 saja, sedangkan pada pengujian Fr_2 dan Fr_3 gaya helikoidal tidak terjadi. Semakin besar bilangan *froude* maka semakin kecil gaya helikoidal yang terjadi.
4. Hasil analisa angkutan sedimen membuktikan bahwa dengan semakin besar bilangan *Froude* yang digunakan maka semakin besar pula butiran yang terangkut.

B. Saran

Fenomena gerusan lokal pilar pada sungai yang berbelok yang terjadi saat ini semakin berkembang maka disarankan melakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan indeks *meander* yang lebih besar, serta memperhitungkan pengaman tebing dan variasi bentuk pilar.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, Tri. 2001. *Model Hidraulik Gerusan Pada Pilar Jembatan*. Tesis. Semarang : Universitas Diponegoro.
- Alabi, P.D. 2006. *Time Development of Local Scour at A Bridge Pier Fitted With A Collar*. Tesis. Canada : University of Saskatchewan.

- Breusers, H.N.C. and Raudkivi, A.J. 1991. *Scouring*. IAHR Hydraulic Structure Design Manual. Rotterdam : A.A. Belkema.
- Legono. 1988. *Diktat Teknik Sungai*. Yogyakarta : UGM Press
- Mudjiatko. 2000. Pengaruh Meander terhadap konfigurasi dasar dan seleksi butiran dasar. Tesis. Yogyakarta : UGM Press
- Nichols, Gary. 2009. *Sedimentology and Stratigraphy*. United Kingdom : Wiley-Blackwell.
- Rinaldi. 2002. *Model Fisik Pengendalian Gerusan di Sekitar Abutmen Jembatan*. Tesis S2 Program Pasca Sarjana. Yogyakarta : UGM Press
- Sucipto dan Nur Qudus. 2004. *Analisis Gerusan Lokal di Hilir Bed Protection*. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan . Nomer 1 Volume 6. Januari 2004. Semarang : UNNES