MODEL LABORATORIUM PENGARUH DEBIT TERHADAP PERUBAHAN MORFOLOGI PADA SUNGAI BERBELOK GANDA

Vita Dwi Febriani [1)] Mudjiatko [2)] Siswanto [2)]
[1)] Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil [2)] Dosen Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Riau, Pekanbaru 28293
E-mail : vitadwifebriani0807113455@gmail.com

ABSTRACT

A series of meanders of natural river, cause helicoidal force. It's causes bed erosion and attack the river bank on the outside of meander. The laboratory model used to determine the phenomenon of morphological changes in double meandering river with M = 1,2. The bed of model used Kampar sand with grain size d_{35} = 0,285 mm, d_{50} = 0,330 mm and d_{65} = 0,380 mm and Gs = 2,63. The froude number flow used 0,670 and 0,769, while the Reynolds number used 3081,683 and 4381,188 then it's classified in turbulent flow. The flow pattern on this double meandering channel cause the establishment of a bed configuration uneven on the channal width, as a result of $H_0/B < 0.05$, so that the phenomenon of helicoidal flow cross the channel does not happen and does not add the velocity on the outside of the bend. The bed configuration is formed to follow the direction of a trend of U_{maks} or on each side of meander. Sediment transport analysis result prove that the higher Froude number is used the bigger the granules are transported.

Key word : *laboratory model, morphological changes, helicoidal force, velocity distribution, flow pattern, turbulent flow, basic configuration.*

I. PENDAHULUAN

Sungai adalah salah satu ekosistem perairan yang dipengaruhi oleh banyak faktor, baik oleh aktivitas alam maupun aktivitas manusia di Daerah Aliran Sungai (DAS). Sungai merupakan jaringan alur-alur pada permukaan bumi yang terbentuk secara alamiah, mulai dari bentuk kecil di bagian hulu sampai besar di bagian hilir. Sungai juga merupakan bagian dari muka bumi yang karena sifatnya menjadi tempat air mengalir. Sifat yang dimaksud adalah bagian permukaan bumi yang paling rendah jika dibandingkan dengan daerah sekitarnya. Sungai dibentuk dengan dua hal yaitu air dan sedimentasi. 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* karakteristik dari sungai *meander*, *Indeks meander* (M) merupakan perbandingan dari panjang total alinemen saluran dengan panjang total kurvatur saluran. (Mudjiatko,2000).

Belokan sungai merupakan fenomena yang spesifik untuk dikaji, karena pada belokan sungai sering terjadi permasalahan erosi dasar dan tebing sungai sebagai akibat terjadinya gaya helikoidal. Gaya

helikoidal ini menyebabkan distribusi kecepatan pada sisi luar belokan lebih besar sisi dalam pada belokan. Fenomena ini mengakibatkan kerusakan pada infrastruktur yang ada dan terjadinya serangan pada tebing sungai pada sisi luar belokan, serta pengendapan pada sisi dalam belokan. Fenomena ini jika berlangsung secara terus-menerus, maka akan menyebabkan terjadinya perubahan morfologi sungai.

Fenomena sungai ber*meander* ini merupakan fenomena yang sangat kompleks yang dipengaruhi oleh parameter-parameter seperti sedimen dasar dan geometric sungai serta debit aliran. Guna mengetahui fenomena sungai ber*meander* dilaboratorium, maka dilakukan penelitian model eksperimen yang menggunakan variasi debit aliran pada belokan sungai dengan nilai indeks *meander* tertentu.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi sungai debit pada sunagi ber*meander* terhadap perubahan morfologi.

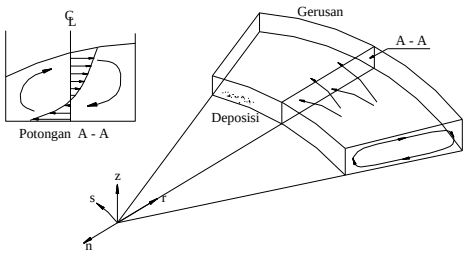
Sementara itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa memberikan informasi tentang pola aliran,dan kedalaman gerusan di sekitar belokan sungai dan sebagai salah satu masukan bagi paraperencana dalam kaitannya dengan perencanaan bangunan air serta menjadi salah satu sumber informasi untuk pengembangan penelitian lebih lanjut.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Perilaku Aliran Pada Belokan Sungai

Mudjiatko (2000) menyatakan bahwa air yang mengalir melewati suatu belokan akan mengalami suatu gaya sentrifugal yaitu gaya yang menyebabkan air bergerak keluar belokan. Gaya sentrifugal akan bekerja jika tidak terjadi transfer massa air ke arah transversal. Akibat adanya distribusi kecepatan aliran terhadap kedalaman dimana kecepatan pada permukaan lebih besar dari kecepatan di dekat dasar, maka akan berpengaruh pada distribusi gaya sentrifugal tersebut. Gaya sentrifugal akan lebih besar di permukaan dari pada di dekat dasar.

Interaksi aliran dan pilar akan Aliran helikoidal adalah gerakan spiral air sungai yang menyebabkan terkikisnya sisi luar sungai dan pengendapan pada sisi dalam sungai. Besarnya kecepatan arus melintang berkisar antara 10-15% dari kecepatan pada arah utama aliran dengan ciri bahwa di dekat permukaan, arus melintang bergerak kearah belokan dalam. Gaya sentrifugal pada belokan akan menyebabkan timbulnya arus melintang sungai, dan bersama-sama dengan aliran utama membentuk aliran helikoidal. Aliran helikoidal diperlihatkan pada gambar 1.



Gambar 1. Perilaku belokan sungai
(Sumber : Mudjiatko, 2000)

B. Pola Aliran

Berdasarkan referensi "Interpretasi beragam pola pengaliran, Agung Agustian", dalam Mathias (2011), Kegiatan erosi dan tektonik yang menghasilkan bentuk-bentuk lembah sebagai tempat pengaliran air, selanjutnya akan membentuk pola-pola tertentu yang disebut sebagai pola aliran. Pola aliran ini sangat berhubungan dengan jenis batuan, struktur geologi kondisi erosi dan sejarah bentuk bumi. Sistem pengaliran yang berkembang pada permukaan bumi secara regional dikontrol oleh kemiringan lereng, jenis dan ketebalan lapisan batuan, struktur geologi, jenis dan kerapatan vegetasi serta kondisi iklim. Pola pengaliran sangat mudah dikenal dari peta topografi atau foto udara, terutama pada skala yang besar. Percabangan-percabangan dan erosi yang kecil pada permukaan bumi akan tampak dengan jelas, sedangkan pada skala menengah akan menunjukkan pola yang menyeluruh sebagai cerminan jenis batuan, struktur geologi dan erosi. Pola pengaliran pada batuan yang berlapis sangat tergantung pada jenis, sebaran, ketebalan dan bidang perlapisan batuan serta geologi struktur seperti sesar, kekar, arah dan bentuk perlipatan.

Howard (1967) dalam Robianto (2011) membedakan pola pengaliran menjadi pola pengaliran dasar dan pola pengaliran modifikasi. Definisi pola pengaliran yang digunakan adalah sebagai berikut:

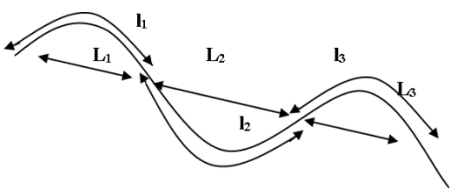
1. Pola pengaliran adalah kumpulan dari suatu jaringan pengaliran di suatu daerah yang dipengaruhi atau tidak dipengaruhi oleh curah hujan, alur pengaliran tetap pengali. Biasanya pola pengaliran yang demikian disebut sebagai pola pengaliran permanen (tetap).
2. Pola dasar adalah salah satu sifat yang terbaca dan dapat dipisahkan dari pola dasar lainnya.
3. Perubahan (modifikasi) pola dasar adalah salah satu perbedaan yang dibuat dari pola dasar setempat.

C. Indeks *Meander*

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* karakteristik dari sungai *meander*, *Indeks meander* (M) merupakan perbandingan dari panjang total alinemen saluran dengan panjang total kurvatur saluran, yang dinyatakan sebagai :

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

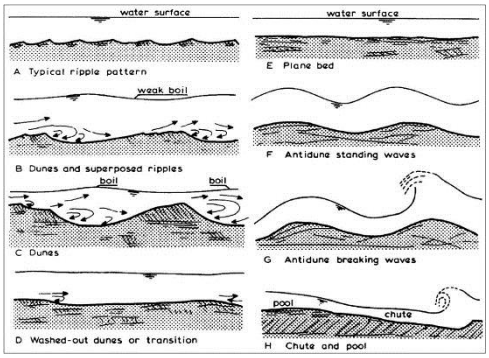
Indeks *meander* mempunyai nilai lebih dari satu. Nilai M = 1 berarti sungai lurus. Semakin besar nilai indek *meander* dari satu, memperlihatkan bahwa semakin besar penyimpangan saluran yang terbentuk terhadap *centreline* saluran.



Gambar 2. Bentuk Saluran *Meander*
Sumber : Mudjiatko, 2000

D. Mekanisme Pembentukan Konfigurasi Dasar

Albert, Simons dan Richardson (1958), Simon & Richardson (1962) dalam Garde dan Ranga raju (1987), Mardjikoen (1987), Graf (1984), Ranga Raju (1981), Kironoto (1997) menggambarkan secara lengkap perbedaan konfigurasi dasar yang terjadi pada saluran. Secara garis besar konfigurasi dasar dibagi menjadi empat kategori yakni : *plane bed* (tidak terjadi pergerakan butiran sedimen), *ripples*, *dunes* dan *antidunes*. Tahap perubahan konfigurasi dasar dibagi menjadi 2 tahap yakni perubahan dari kondisi dasar *plane bed* sampai ke *dunes* disebut dengan *Lower Flow Regime*, dan perubahan dari kondisi *sheet bed* ke *antidunes* disebut dengan *Upper Flow Regime*.



Gambar 3. Bentuk Konfigurasi Dasar (Jensen, 1979)

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Bahan

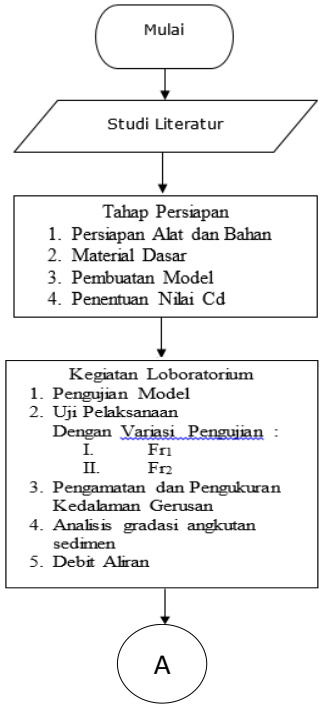
Bahan yang dibutuhkan dalam pemodelan ini ialah pasir sungai Kampar lolos saringan No. 10 dengan ukuran gradasi butiran d_{35} = 0,285 mm, d_{50} = 0,330 mm, d_{65} = 0,380 mm dan Gs = 2,63 dan tanah liat sebagai pembentuk dasar model sungai.

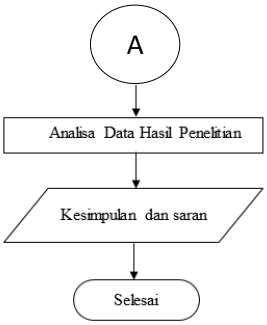
B. Model Saluran

Flume yang digunakan dalam penelitian ini memiliki dimensi panjang 8 m, lebar 0,8 m dan tinggi 0,15 m. Dengan material dasar saluran berupa tanah liat.

Gambar 4. *Flume*

C. Bagan Alir Penelitian





Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Aliran

Berdasarkan bilangan *Froude* yang terjadi pada ketiga variasi debit bernilai Fr_1 = 0,67044 dan Fr_2 = 0,76903 bernilai < 1, maka jenis aliran yang terjadi ialah aliran subkritis. Berdasarkan bilangan *Reynolds* yang terjadi sebesar 3081,683 dan 4381,188 maka tergolong dalam aliran turbulen.

Pengukuran kecepatan permukaan yang dibandingkan dengan kecepatan gesernya menghasilkan kecepatan pada bagian tengah saluran *meander* mempunyai nilai kecepatan yang lebih besar dibandingkan nilai kecepatan pada sisi kanan maupun kiri dari hulu saluran, sehingga dinding berpengaruh terhadap gerusan yang terjadi.

B. Gerak Awal Butiran

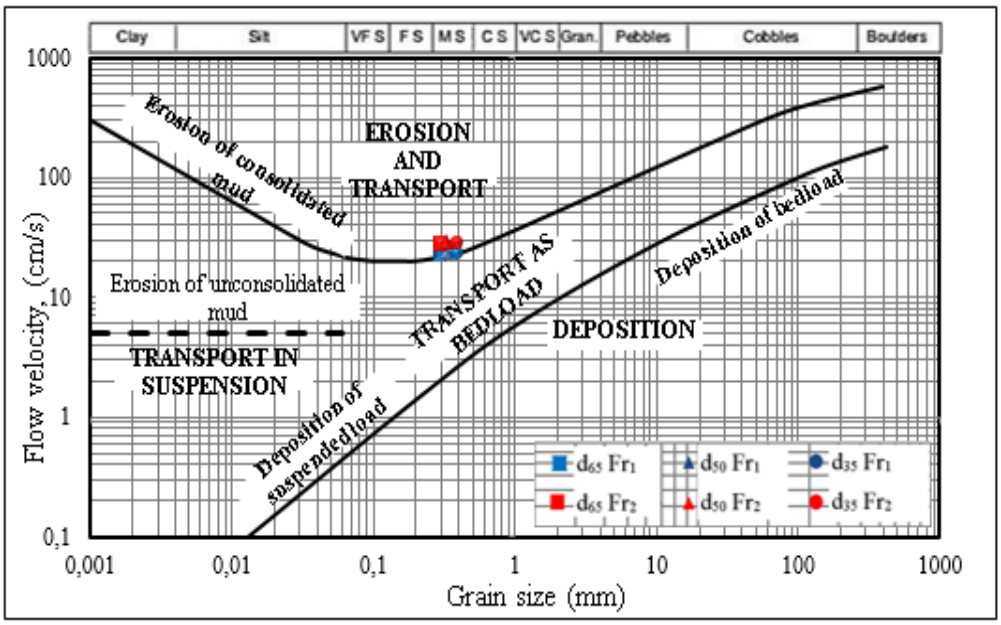
Gerak awal butiran ditandai dengan besarnya parameter tegangan gesek awal aliran lebih besar dari tegangan gesek kritisnya, $\tau_o > \tau_c$. Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan didapat nilai tegangan gesek kritis (τ_c) yang terjadi dalam aliran lebih kecil dari pada tegangan gesek awalnya, sehingga menyebabkan butiran dasar yang diwakili oleh d_{35}, d_{50} dan d_{65} dalam keadaan bergerak. Hjulstorm mengemukakan sebuah grafik seperti terlihat Gambar 6 yang membandingkan antara ukuran butiran dasar dengan kecepatan aliran yang terjadi dalam aliran.

Menurut grafik *Hjulstorm* ini Pada pengujian Fr_1 kecepatan aliran yang ada membuat butiran dasar d_{35} bergerak sepanjang dasar dengan cara meloncat-loncat (*saltation*) namun untuk butiran d_{50} dan d_{65} masih bisa dikatakan bergerak dengan kondisi menggelinding, sedangkan untuk pengujian pada Fr_2 kecepatan aliran yang semakin bertambah besar dan melampaui kecepatan jatuh dari partikel sedimen menyebabkan partikel bergerak dengan cara terangkat/melayang (*suspended*).

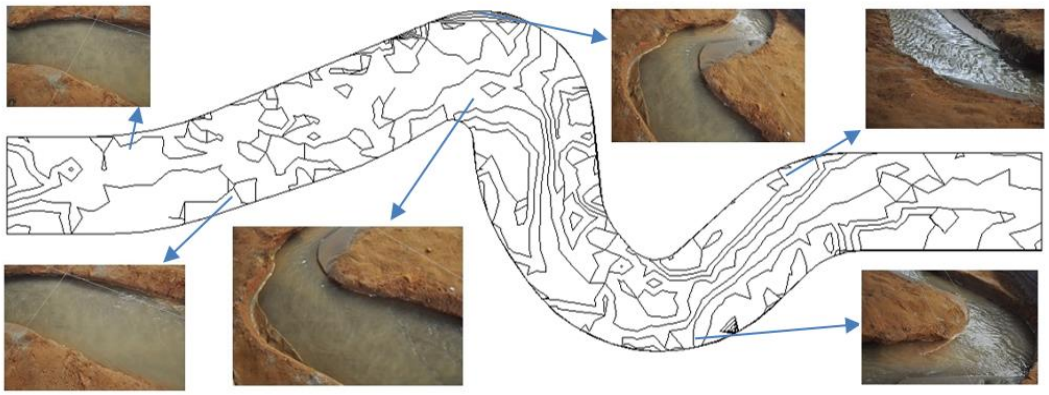
Fenomena cara bergeraknya butiran dasar ini dapat dikaitkan pada kondisi jenis aliran yang terjadi pada pengujian, dimana bilangan *Reynolds* pada Fr_1 dan Fr_2 berjenis aliran turbulen (Re > 2000). Grafik ini juga memperlihatkan bahwa butiran dasar yang digunakan termasuk dalam golongan *Medium Sand* (MS), dimana ukuran butiran yang termasuk dalam jenis ini berada dalam rentang 0,25 – 0,50 mm.

C. Distribusi Kecepatan

Aliran sekunder menyebabkan serangan terhadap tebing saluran dan membentuk kerusakan pada tebing di sisi luar belokan, sedangkan pada sisi dalam belokan, aliran mengalami endapan, tetapi pada kenyataannya, pada model sungai pada penelitian ini, kedalaman aliran yang kecil menyebabkan kekasaran dasar dominan mereduksi gaya helikoidal yang terjadi, seperti pada gambar 7.



Gambar 6. Ilustrasi pola aliran pada model pilar jembatan



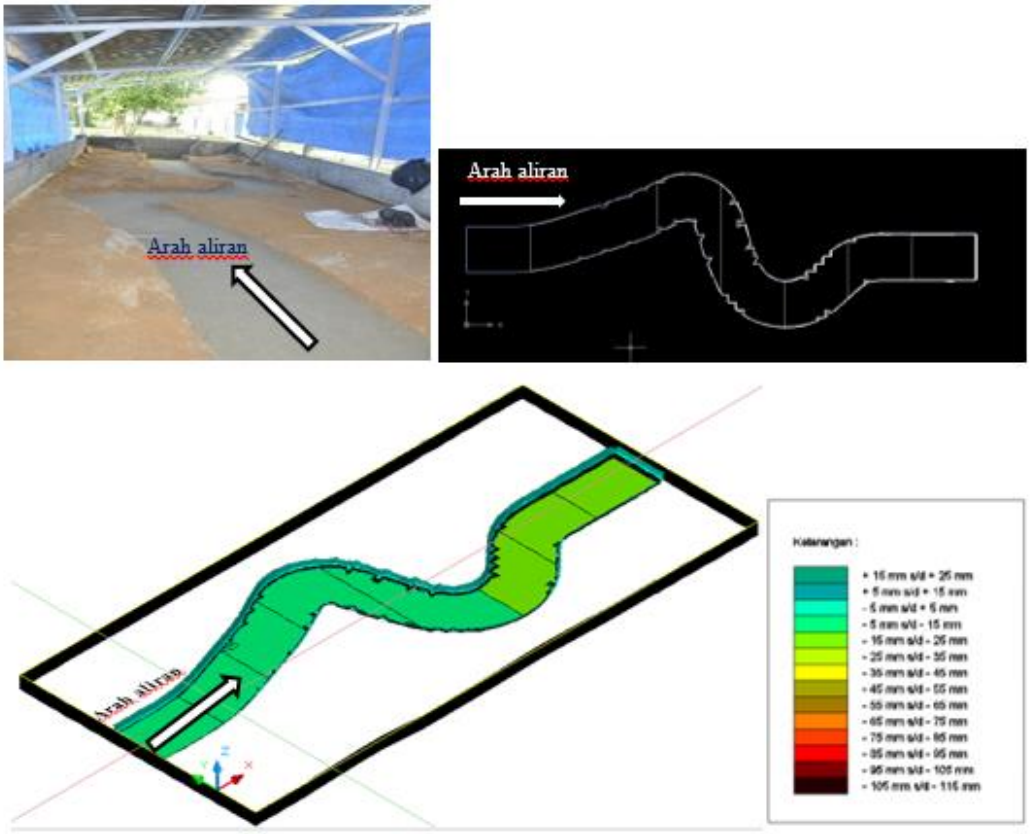
Gambar 7. Fenomena Distribusi Kecepatan Radial

D. Pengaruh Meander Terhadap Pergerakan Sedimen

Adanya gaya hidrodinamika aliran yang terjadi pada suatu bentuk belokan akan menyebabkan terjadinya gerusan pada material dasar. Aktifitas gerusan ini terjadi secara terus menerus sampai dicapai suatu kesetimbangan pada fungsi waktu tertentu. Pada saat kesetimbangan ini terjadi maka aktifitas gerusan akan semakin kecil sehingga bentuk gerusan yang terjadi cenderung tetap. Gerusan ini secara langsung menyebabkan perubahan topografi dasar di sekitar *meander*.

❖ **Perubahan Topografi Dasar Pada Pengujian Sebelum Running**

Gambar berikut menampilkan hasil pengukuran yang telah diolah menjadi peta kontur yang terjadi pada pengujian dalam kondisi *flume* sebelum runing.

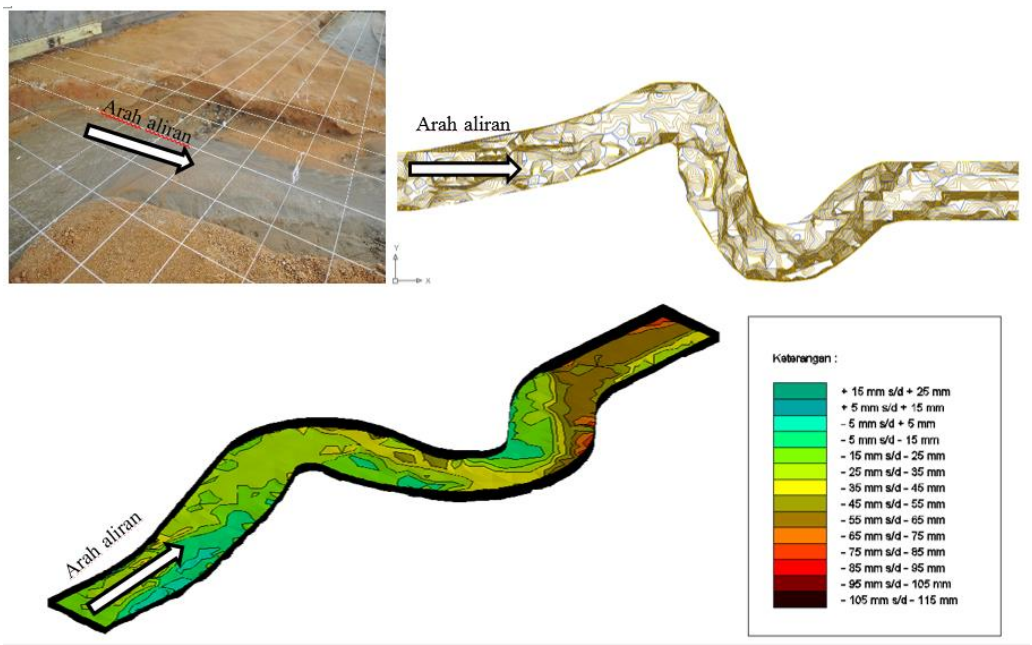


Gambar 8. Pola gerusan umum dan sedimentasi pada pengujian sebelum running

Pada gambar kontur di atas diperlihatkan bahwa pada saat pengujian model sungai yang dilakukan saat kondisi tanpa adanya aliran, butiran dasar belum bergerak membentuk konfigurasi dasar akibat adanya gaya-gaya hidrolika yang terjadi pada sedimen. Ini membuktikan bahwa ukuran butiran yang digunakan bergerak dan membentuk *dunes* pada dasar saluran atau kondisi seperti ini disebut dengan pola gerusan umum. Gerusan umum ialah gerusan yang terjadi pada suatu alur sungai yang tidak dipengaruhi oleh adanya bangunan sungai yang menghalangi pola aliran yang terjadi pada sungai (Cheremisinoff, 1987 dalam Alabi, 2006).

❖ **Perubahan Tofografi Dasar Pada Pengujian Fr_1**

Ilustrasi menggambarkan bentuk dari permukaan dasar saluran pada saat setelah dilakukan pengujian, dimana butiran dasar saluran bergerak dan membentuk konfigurasi dasar saluran secara alamiah selama proses pengaliran dilakukan. Dari ilustrasi dapat juga dijelaskan bahwa gerusan yang terjadi pada model sungai masih tergolong kecil, hal itu terlihat dari citra warna yang dihasilkan. Konfigurasi dasar mulai berubah secara ekstrim pada daerah sekitar *meander* sungai, itu terjadi karena berubahnya pola aliran yang disebabkan oleh adanya *meander* yang menghalanginya.

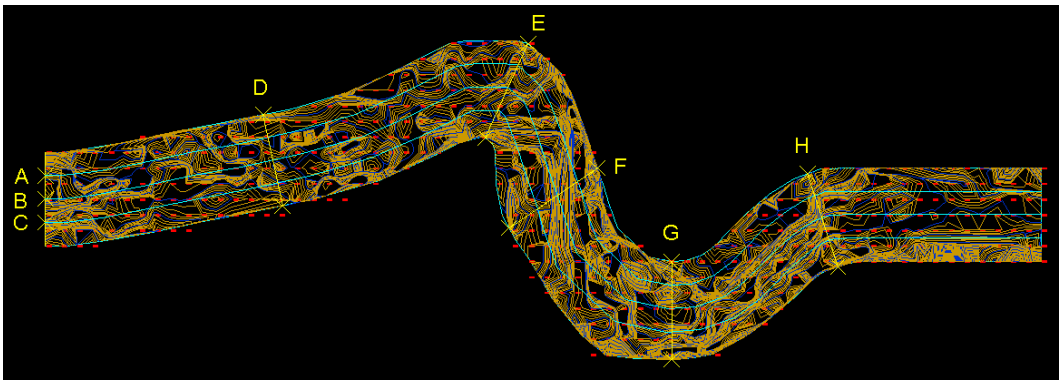


Gambar 9. Pola gerusan dan sedimentasi pengujian Fr_1

Dari hasil perbandingan kedalaman gerusan terhadap *meander*, maka nilai gerusan maksimum yang terjadi pada *meander*, yang terletak pada posisi sisi dalam belokan 3 dan sisi dalam belokan 4. Jika dilihat dari posisi gerusan maksimum yang terjadi terletak tidak pada pusat tekanan aliran atau tidak berada pada bagian pinggir *meander*, hal ini mungkin terjadi karena adanya ketidakseragaman persentase gradasi butiran dasar pada tiap daerah sekitar *meander*.

E. Profil Memanjang dan Melintang Saluran

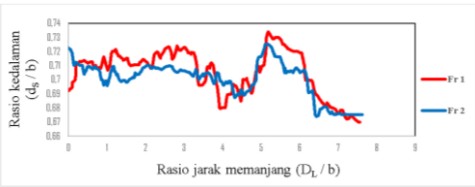
Fenomena gerusan umum yang terjadi pada model *flume* secara detail dapat dilihat dengan cara membuat garis perpotongan memanjang dan melintang pada daerah sekitar model *meander* sungai. Posisi dari garis-garis perpotongan dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 11. Posisi profil memanjang dan melintang pada *flume*

Besarnya kedalaman gerusan yang terjadi pada *meander* akan bertambah nilainya seiring dengan meningkatnya nilai *Froude* aliran dalam pengujian, sehingga dengan memplotkan seluruh hasil pengujian dalam satu gambar akan terlihat perbedaan pola gerusan yang terjadi pada suatu titik perpotongan yang sama.

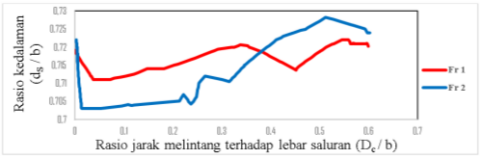
Fenomena gerusan yang terjadi pada sisi kiri model *meander* sungai diperlihatkan pada Gambar 12, dimana terlihat gerusan terdalam terjadi pada Fr_1, sedangkan untuk pengujian pada *meander* terlihat gerusan terbesar berada pada sebelah kiri potongan dan mulai berkurang kedalamannya ketika mendekati daerah *meander*. Deposisi cenderung terjadi pada pengujian Fr_1 baik pada daerah hulu maupun hilir *meander* sungai.



Gambar 12 Potongan memanjang A-A

Dilihat dari bentuk pola gerusan yang terjadi pada *meander* dalam arah memanjang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka untuk melihat fenomena tersebut secara detail dibuat suatu garis perpotongan arah melintang yang terletak pada bagian potongan pada setiap belokan dari *meander* tersebut.

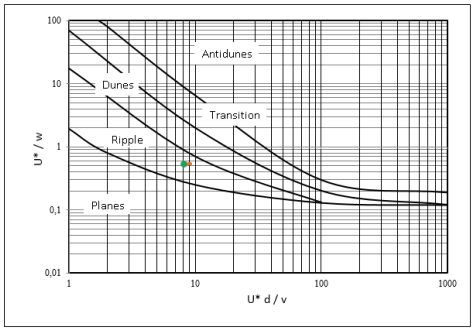
Sesuai pada pernyataan sebelumnya yang menyatakan bahwa gerusan maksimum pada tiap pengujian terletak pada posisi belokan *meander*, maka dapat dilihat pada gambar berikut ini besarnya kedalaman gerusan yang terjadi pada belokan *meander* pengujian Fr_1.



Gambar 13. Potongan melintang D-D

F. Pengaruh Meander Terhadap Pembentukan Konfigurasi Dasar

Hasil pengamatan konfigurasi dasar yang terbentuk pada meander dengan debit dan gradasi yang sama secara visual mempunyai *trend* yang sama di setiap indeks *meander*, sedangkan berdasarkan material dasar yang dipergunakan konfigurasi dasar yang terbentuk pada gradasi butiran ini adalah *dunes* dan *sheet*, Perbedaan ini disebabkan karna penyebaran butiran pada gradasi lebih tidak seragam, sehingga butiran gradasi ini lebih mudah bergerak dan membentuk konfigurasi dasar.



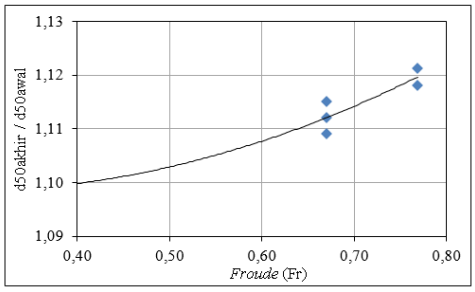
Gambar 14. Bentuk Konfigurasi Dasar

Pengaruh *meander* terhadap pola arus yang terjadi menyebabkan terjadinya distribusi kecepatan yang tidak merata selebar saluran,

sehingga pergerakan sedimen dasar yang membentuk konfigurasi dasar tertentu menjadi tidak merata selebar saluran. Pada perhitungan penelitian ini konfigurasi dasar yang terjadi berupa *ripples* dengan U*/w sebesar 0,51 dan 0,53 sedangkan U*.d/υ sebesar 8,25 dan 8,86.

G. Analisa 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 15. Hubungan d'_{50}/d_{50} terhadap bilangan *Froude*

Hasil perbandingan yang dilakukan pada tiap ukuran butiran memberikan *trend* garis regresi yang sama, dimana semakin besar bilangan *Froude* yang digunakan maka semakin besar pula butiran yang terangkut. Hal ini membuktikan bahwa ukuran butiran yang digunakan dalam memperhitungkan kedalaman gerusan lokal memiliki hubungan yang sangat erat, dimana ukuran butiran yang digunakan dalam penelitian akan mempengaruhi dari hasil kedalaman gerusan lokal yang terjadi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang dilakukan terhadap model laboratorium pengaruh debit terhadap perubahan morfologi pada sungai berbelok ganda, diambil beberapa simpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan bilangan *Froude*, jenis aliran termasuk dalam jenis aliran subkritis dengan nilai Fr < 1. Berdasarkan bilangan *Reynolds* jenis aliran yang terjadi pada Fr_1 dan Fr_2 ialah turbulen dimana nilai Re > 2000 yaitu sebesar 3081,683 dan 4381,188.
2. *Meander* sungai berpengaruh terhadap pola arus yang menyebabkan terjadinya distribusi kecepatan yang tidak merata selebar saluran dan berpengaruh terhadap kecepatan yang terjadi.
3. Pola aliran pada saluran ber*meander* menyebabkan pembentukan konfigurasi dasar tidak merata selebar saluran, karena saluran mempunyai H_0/B < 0,05, maka aliran spiral memotong saluran tidak terjadi dan tidak menambah kecepatan pada sisi luar belokan, sehingga konfigrasi dasar yang terbentuk cenderung mengikuti arah *trend* U_{maks} atau pada setiap sisi dalam belokan.
4. Distribusi kecepatan berpengaruh pada tegangan gesek dasar radial, dimana lebih besar sisi dalam dari pada sisi luar belokan. Tegangan gesek ini dihitung untuk menunjukkan arah pergerakan

sedimen dan lokasi desposisi material terangkut.

5. Hasil analisa angkutan sedimen membuktikan bahwa dengan semakin besar bilangan *Froude* yang digunakan maka semakin besar pula butiran yang terangkut.

B. Saran

Sebagai saran atau penelitian yang dapat dikembangkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Akibat pentingnya pola arus terhadap pembentukan konfigurasi dasar, maka disarankan untuk mengembangkan penelitian pola arus pada *meander* dengan menggunakan variasi nilai indeks *meander* yang lebih ekstrim, sehingga *trend* pengaruh bentuk geometric terhadap pembentukan konfigurasi dasar dapat diketahui dengan baik.
2. Untuk mengetahui pengaruh pembelokan arah pergerakan butiran sedimen secara kuantitatif, maka sebaiknya dilakukan penelitian dengan karakteristik material dasar tertentu dengan memvariasikan bentuk geometrik saluran.

DAFTAR PUSTAKA

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

ASCE. 1989. *Engineer Manual of Engineering and Design Sedimentation Investigations of Rivers and Reservoir*s. Washington, D.C. : Department of The Army.

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

Boss SMS, 2003. *User's Manual Surface water Modelling System, version 8.1*, Environmental Modeling Research Laboratory, Brigham Young University.

Garde, Ranga Raju. 1987. *Mechanics Of Sediment Transportation and Allvial Stream Problems*. Sec. Edition, Willey Estern Limited. New Delhi

Graf, Walter Hans. 1984. *Hydraulics of Sediment Transport*. Chelsea: Water Resources Publications.

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

Jensen. 1979. *Principles Of River Engineering, The Non Tidal Alluvial River*. Pitman. London.

Kironoto. 1997. *Diktat Kuliah Transpor Sedimen*. Pasca Sarjana UGM. Yogyakarta.

Kironoto. 1997. *Diktat Kuliah Hidraulika Lanjut*. Pasca Sarjana UGM. Yogyakarta.

Mardjikoen, 1987. *Transport Sedimen*. Biro KMTS UGM. Yogyakarta

Mudjiatko. 2000. *Pengaruh Meander Sungai Terhadap Perubahan Konfigurasi Dasar dan Seleksi Butiran Sedimen.* Yogyakarta

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

Pzedwosjski dkk. 1995. *River Training Technique*. A.A Balkema, Rotterdam. Netherlands.

Robianto, Mathias. 2011. *Pemodelan sedimentasi pada tampungan Bendung Tibun kabupaten kampar*. Pekanbaru.

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