

HASIL

**STUDI PENGARUH KECEPATAN TERHADAP
VOLUME BUTIRAN TERDAPAT PENGELOTORAN
PADA MODEL FLUM LABORATORIUM**



DI SUSUN OLEH :

1. **ABDUL GAFUR** (105 81 01469 11)
2. **WAHYUDDIN** (105 81 01493 11)

**PROGRAM STUDI PENGAIRAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
2018**

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadirat Allah SWT. Karena berkat Rahmat dan Hi dayat NYA lah sehingga kami dapat menyusun dan menyelesaikan proposal hasil untuk jian seminar ini dengan baik.

Tugas skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka menyelesaikan program studi pada jurusan Teknik Sipil (pengairan) Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul dan tugas skripsi kami adalah :
“STUDI PENGARUH KECEPATAN TERHADAP VOLUME BUTIRAN TERDAPAT PENGELONTORAN PADA MODE FLUM LABORATORIUM”.

Kami menyadari sepenuhnya didalam penulisan skripsi hasil ini masih terdapat kekurangan – kekurangan, baik dari segi teknis penulisan maupun dari perhitungan – perhitungannya. Oleh karena itu kami sebagai penyusun skripsi ini menerima segala koreksi dan saran sehingga kami dapat memperbaiki penyempurnaan skripsi sehingga kelak dapat bermanfaat bagi orang banyak.

Tugas skripsi ini dapat terwujud berkata dan bantuannya, arahan serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, kami mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan setinggi tingginya kepada:

1. **Bapak Dr. H. Abd Rahman Rahim, MM** Sebagai Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar
2. **Bapak Hamzah Al Imran, S.T., M.T** Sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. **Bapak Muh. Syafaat S. Kuba, S.T** Sebagai Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. **Bapak Muh. Amir Zainuddin, S.T.,M.T** Sebagai Wakil Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. **Ibu Dr. Ir. Hj.Fenty Daud S, MT** Selaku pembimbing I dan **Ibu Dr.Ir Nenny T Karim, ST.,MT** Selaku Pembimin II, yang telah banyak meluangkan waktu, memberikan bimbingan dan pengarahan sehingga tugas skripsi untuk ujian seminar ini dapat terselesaikan dengan baik.
6. Bapak ibu dosen serta staff pegawai pada fakultas Teknikatas segala waktunya telah membimbin dan melayani kami selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
7. Ayahanda dan ibunda dan saudara saudara tercinta kami banyak mengucap kan terima kasih yang sebesar besarnya atas segala kelimpahan kasih sayang dan doa serta dorongan dan pengorbanannya selama ini.
8. Rekan - rekan Mahasiswa Teknik , Saudara Seperjuanganku **Mahasiswa Sipil Reg 2011** yang dengan ke akrabannya, doa serta bantuan dan dukungannya sangat membantu dalam menyelesaikan tugas skripsi ini.

Semoga semua pihak tersebut mendapatkan pahala yang berlipat ganda disisi ALLAH SWT . dan tugas skripsi hasil ini yang sederhana dapat bermanfaat bagi kami khususnya, rekan rekan masyarakat bangsa dan Negara.

Makassar,.....mei 2018

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
KATA PENGANTAR	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Tujuan Penelitian.....	2
D. Manfaat Peneletian	2
E. Batasan Masalah.....	3
F. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TUJUAN PUSTAKA	5
A. Aliran Pada Saluran Terbuka	5
1. Jenis Aliran.....	5
2. Sifat Aliran.....	6
3. Faktor-Faktor yang mempengaruhi Bentuk Dasar.....	7
a. Kedalaman	7
b. Kemiringan	8
c. Kepadatan.	8

d. Ukuran Dasar Material.....	8
e. Gradasi Lapisan Material.....	8
f. Kecepatan Jatuh.....	9
B. Konfigurasi Dasar Saluran	10
a. Ripple.....	15
b. Dunes	15
BAB III. METODE PENELITIAN	18
A. Tempat Penelitian	18
B. Jenis Penelitian Dan Sumber Data	18
C. Alat dan Bahan	19
1. Model Saluran / Flum.....	19
D. Variabel Yang Diteliti.....	21
a. angka froude.....	21
b. kecepatan aliaran.....	22
c. waktu.....	22
d. debit.....	22
E. Pelaksanaan Studi Model.....	23
F. Pelaksanaan Simulasi	23
G. Prosedur Simulasi Model.....	24
H. Diagram Proses Penelitian Laboratorium.....	26
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	27
A. Analisan	27
B. Pembahasan	40

BAB V PENUTUP	41
A. Kesimpulan	41
B. Saran	41
DAFTAR PUSTAKA.....	42
LAMPIRAN	43
A. Dokumentasi.....	43
B. data hasil lab.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Angka Froude	14
Tabel 2. Nilai kecepatan koefisien	21
Tabel 3. Nilai waktu koefisien	22
Tabel 4. Ukuran-ukuran ayakan	24
Tabel 5. hasil perhitunga nilai Froude (Fr) agregat halus	28
Tabel 6. hasil perhitungan debit (Q)	30
Tabel 7. hasil analisa agregat butiran halus dengan volume awal dan volume hanyut	31
Tabel 8. hasil analisa agregat butiran kasar dengan volume awal dan volume hanyut	33
Tabel 9. hasil analisa agregat butiran sangat kasar dengan volume awal dan volume hanyut	34
Tabel 10. hasil analisa agregat butiran sangat kasar dengan volume awal dan volume tertinggal	36
Tabel 11. hasil analisa agregat butiran kasar dengan volume awal dan volume tertinggal	37
Tabel 12. hasil analisa agregat butiran halus dengan volume awal dan volume tertinggal	39

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Angkutan *suspended load*, distribusi kecepatan dan konsentrasi

Gambar 2. Keseimbangan *agradasi* dan *degradasi* pada sungai alamiah (Maryono, 2007)

Gambar 3. Konfigurasi regular dasar dan morfodinamika sungai (Maryono, 2007).

Gambar 4. Keterkaitan antara kedalaman air (y), kecepatan aliran (v), tinggi (H), dan panjang (L) dari struktur dasar sungai (*transport bodies*), (Maryono, 2007)

Gambar 5. Ilustrasi proses pembentukan *dunes*.

Gambar 6. Proses pembentukan bar.

Gambar 7. Model saluran terbuka dengan penampang segi empat.

Gambar 8. Bagan Alir (*Flow Chart*).

Gambar 9. hasil hubungan antara Angka Froude (Fr) dan kecepatan aliran (V).

Gambar 10. hasil hubungan antara Kecepatan (V) dan Volume hanyut (Vs_1).

Gambar 11. hasil hubungan antara Kecepatan (V) dan Volume hanyut (Vs_1)

Gambar 12. hasil hubungan antara Kecepatan (V) dan Volume hanyut (Vs_1).

Gambar 13. hasil hubungan antara Kecepatan (V) dan Volume tertinggal (Vs_2).

Gambar 13. hasil hubungan antara Kecepatan (V) dan Volume tertinggal (V_{s2}).

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pengetahuan mengenai transport sedimen memiliki arti penting dalam kegiatan pengembangan dan pengelolaan sumber daya air, konservasi air dan tanah serta dalam perencanaan bangunan pengamanan sungai baik permasalahan transport sedimen secara alami maupun non alami. Permasalahan yang sering dihadapi yaitu adanya perubahan konfigurasi dasar sungai yang disebabkan oleh adanya proses angkutan sedimen. Dasar sungai tersusun oleh endapan material angkutan sedimen yang terbawa aliran sungai, perubahan volume angkutan sedimen tergantung pada perubahan kecepatan aliran.

Akibat dari perubahan volume angkutan sungai dapat menyebabkan bentuk dasar sungai berubah-ubah. Angkutan sedimen dasar (*bed load*) terjadi karena dipengaruhi oleh kondisi aliran meliputi debit aliran (Q), kemiringan dasar saluran (S_0), serta variasi komposisi sedimen dasar berupa ukuran, serta gradasi butiran yang akan mempengaruhi pergerakan angkutan *bed load*, sehingga karakteristik yang terjadi terutama pada material sedimen terangkut akan berbeda-beda.

Penelitian eksperimental ini bertujuan untuk mengkaji lebih lanjut sejauh mana pengaruh perubahan kondisi aliran dan variasi material dasar terhadap perubahan karakteristik gradasi material sedimen terangkut beserta keseragaman butiran. Penelitian ini merupakan penelitian yang murni yang bersifat teoritis sehingga manfaat penelitian lebih diarahkan pada pengembangan ilmu transportasi sedimen. Jenis butiran sedimen berdasarkan distribusinya dapat dibedakan menjadi butiran seragam dan butiran tidak seragam. Distribusi butiran tidak seragam memberikan pengaruh yang cukup kompleks terhadap perilaku butirannya.

B. Rumusan Masalah

Masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh kecepatan aliran terhadap perubahan gradasi butiran dengan variasi waktu (t) dan debit aliran (Q) pada saluran terbuka.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah

Mengetahui Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Perubahan Gradasi Butiran dengan variasi waktu (t) dan debit aliran (Q)

D. Manfaat Penelitian

Dengan selesainya penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan masukan untuk penanganan permasalahan sedimentasi di muara-muara sungai dan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik sungai.

E. Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat berjalan dengan baik dan mencapai sasaran yang diinginkan, maka penelitian ini dibatasi pada :

1. Penelitian ini dilakukan pada Flume dengan bentuk penampang segi empat, dengan konsentrasi penelitian pada perubahan gradasi butiran di saluran. .
2. Skala ditentukan berdasarkan fasilitas laboratorium serta model yang akan digunakan.
3. Fluida yang digunakan dalam penelitian ini adalah air tawar.
4. Penelitian ini dititik beratkan pada sebaran sedimen yang di akibatkan oleh kecepatan aliran.
5. Gradasi butiran dipilih 3 variasi.
6. Komposisi pencampuran butiran
7. Kecepatan dipilih 3 variasi kecepatan
8. Waktu pengaliran selama 3 menit satu kali ranning

9. Aliran adalah tetap seragam(*steady uniform flow*)

F. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tesis ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Bab I Pendahuluan

Dalam bab ini diuraikan mengenai hal-hal yang melatar belakangi penelitian ini, dilanjutkan dengan uraian rumusan masalah, tujuan penelitian, kegunaan penelitian, ruang lingkup penelitian dan sistematika penulisan.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini diuraikan secara sistematis tentang teori, pemikiran dan hasil penelitian terdahulu yang ada hubungannya dengan penelitian ini. Bagian ini akan memberikan kerangka dasar yang komprehensif mengenai konsep, prinsip atau teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah.

3. Bab III Metode Penelitian

Bab ini menjelaskan waktu dan lokasi penelitian, bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian serta metode analisisnya secara terperinci.

4. Bab IV Analisa dan Pembahasan

Pada bab ini menjelaskan hasil-hasil yang diperoleh dari proses penelitian dan hasil pembahasannya. Penyajian hasil penelitian memuat deskripsi sistematik tentang data yang diperoleh. Sedangkan

pada bagian pembahasan adalah mengolah data hasil penelitian dengan tujuan untuk mencapai tujuan penelitian.

5. Bab V Kesimpulan dan Saran

Pada bab ini dikemukakan kesimpulan dari seluruh rangkaian proses penelitian dan saran-saran terkait dengan kekurangan yang didapati dalam penelitian ini, sehingga nantinya dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Aliran Pada Saluran Terbuka

1. Jenis Aliran

Mengkaji suatu aliran pada saluran terbuka, haruslah dipahami tentang sifat dan jenis aliran itu sendiri. Adapun sifat utama aliran pada saluran terbuka yakni adanya suatu permukaan bebas yang berkaitan langsung dengan parameter-parameter aliran seperti kecepatan, kekentalan, gradien serta geometri saluran.

Aliran dalam saluran terbuka dapat digolongkan dalam berbagai jenis. Klasifikasi ini menyangkut perubahan kedalaman aliran menurut ruang dan waktu. Kriteria aliran dapat dibagi dalam :

a. Aliran Permanen (Steady Flow)

Apabila karakteristik fisik aliran, terutama kedalaman aliran atau kecepatan aliran tidak berubah atau dapat dianggap konstan selama interval waktu yang kita tinjau .

b. Aliran Non Permanen (Unsteady Flow)

Apabila karakteristik fisik aliran, terutama kedalaman aliran atau kecepatan aliran berubah atau dapat dianggap tidak konstan selama interval waktu yang kita tinjau .

2. Sifat Aliran

Apabila perbandingan antara gaya-gaya kelembaman dengan gaya-gaya kekentalan dipertimbangkan maka aliran dapat dibedakan menjadi : aliran laminar dan aliran turbulen serta aliran transisi. Parameter yang dipakai sebagai dasar untuk membedakan sifat aliran tersebut adalah suatu parameter yang tidak berdimensi yang disebut angka Reynold (Re). Angka ini menyatakan angka perbandingan antara gaya-gaya kelembaman dan gaya-gaya kekentalan, yaitu :

$$Re = \frac{u}{\nu} D \quad 1$$

Dimana : u = Kecepatan rata-rata aliran (m/dt.)

D = Kedalaman (m)

ν = Viscositas kinematis cairan (m²/det.)

Untuk aliran pada saluran terbuka :

Re < 500 aliran laminar

$500 < Re < 12.500$ aliran transisi
 $Re < 12.500$ aliran turbulen

Apabila yang dipertimbangkan adalah besarnya perbandingan antara gaya-gaya kelembaman dan gaya grafitasi maka aliran dapat dibagi menjadi : aliran subkritis, aliran kritis dan aliran superkritis.

Parameter tidak berdimensi yang membedakan tipe aliran tersebut adalah angka Froude (Fr) yaitu angka perbandingan antara gaya kelembaman dengan gaya grafitasi :

$$\frac{\bar{u}}{\sqrt{gH}}, \quad 2$$

Dimana : \bar{u} = Kecepatan rata-rata penampang (m/det.)

H = Kedalaman maksimum aliran (m)

G = Gaya grafitasi (m/det.²)

Jika : Fr < 1 aliran subkritis

Fr > 1 aliran superkritis

Fr = 1 aliran kritis

3. Faktor-Faktor yang mempengaruhi Bentuk Dasar

Teori analisis bentuk dasar tidak bisa dipakai pada studi lapangan secara langsung untuk memprediksi bentuk dasar. Hasil dari

analisis empirikal atau grafikal pada data laboratorium tidak dapat dipakai pada kondisi lapangan yang menyakinkan, sebab kondisi dalam laboratorium. Faktor-faktor yang mempengaruhi bentuk dasar pada saluran/sungai adalah kedalaman, kemiringan, kepadatan, ukuran dasar material, gradasi dasar material, kecepatan jatuh, dan arus rembesan air.

a. Kedalaman

Peningkatan kedalaman air dapat menyebabkan dasar dune menjadi dasar datar atau antidune. Penurunan kedalaman merupakan proses balik. Peningkatan kedalaman menyebabkan penurunan dalam ketidakrataan relatif dan resistensi pada arus. Untuk dasar Ripple atau dasar Dune resistensi pada arus menurun karena meningkatnya kedalaman.

b. Kemiringan

Kemiringan energi dapat merubah bentuk dasar dari resim arus bawah ke atas. Resistensi pada arus merupakan fungsi dari kemiringan energi, walaupun bentuk dasar masih belum berubah. Untuk dasar Ripple dengan kedalaman yang dangkal, resistensi pada arus meningkat, dengan naiknya kemiringan, sebab tidak mempengaruhi perubahan kemiringan arus yang dalam. Untuk dasar Dune, resistensi pada arus secara umum berkurang karena adanya peningkatan kemiringan apabila kedalaman itu dangkal.

c. Kepadatan

Kenaikan dalam konsentrasi sedimen yang halus akan menaikkan kepadatan dari sedimen campuran air, dan mengurangi munculnya berat sedimen dan resistensi pada arus.

d. Ukuran Dasar Material

Perubahan dasar material dapat merubah ketidakrataan butiran pasir dan distribusi konsentrasi sedimen yang vertikal.

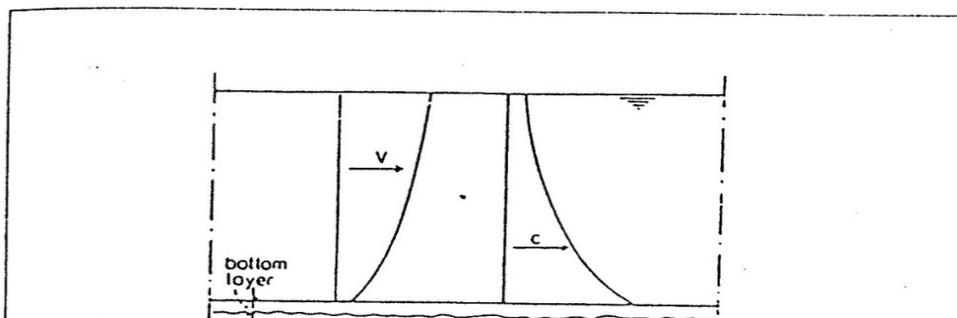
e. Gradasi Lapisan Material

Bentuk dasar material yang seragam adalah lebih reguler dan resistensinya pada arus lebih tinggi daripada material yang dicampur dengan ukuran partikel yang sama.

f. Kecepatan Jatuh

Merupakan salah satu dari variabel primer yang menentukan adanya interaksi diantara partikel sedimen dan cairan. Besarnya kecepatan jatuh dapat menambah resistensi pada arus dan perubahan bentuk dasar dari Ripple ke Dune.

cara angkutan suspensi dengan distribusi kecepatan dan distribusi kecepatan dan distribusi konsentrasi secara vertikal didalam aliran air.



Gambar 1. Angkutan suspended load, distribusi kecepatan dan konsentrasi.

Baik pada angkutan bed load maupun Suspended load, bahwa adanya gerakan air sangat mempengaruhi terhadap gerakan butiran sedimen, ada satu titik yang merupakan batas kecepatan aliran dinamakan sebagai kecepatan kritis (V_c). Bila kecepatan aliran (V) melampaui kecepatan kritis ($V > V_c$) maka akan terjadi gerakan pada butiran sedimennya.

Blasius (1910) dalam bukunya Graf (1984) yang berjudul Hydraulic of Sediment Transport mengatakan bahwa jika bilangan Froude yang dirumuskan sebagai $Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}}$ berharga kurang dari satu ($Fr < 1$) mengakibatkan konfigurasi dasar berbentuk ripple.

Marjikoen (1987) dalam bukunya, diterangkan jika nilai $Fr = 0,4 - 1$, maka konfigurasi lapis dasar, saluran/sungai bergerak mulai dari plane bed (dasar rata), kemudian ripple (dasar bergelombang kecil)

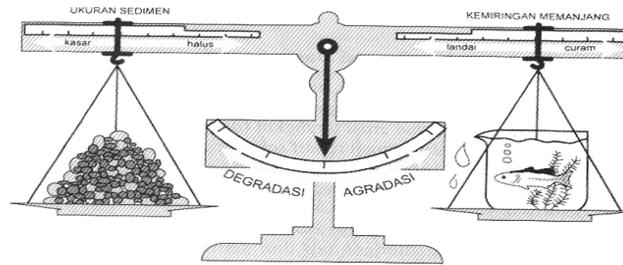
sampai ke dunes (dasar bergelombang besar). Lebih lanjut dikatakan bahwa pada lapis dasar plane bed (dasar rata) butiran bergerak secara menggelinding, menggeser atau melompat.

Pada konfigurasi lapis dasar ripple (dasar bergelombang kecil) mulai terjadi gundukan kecil yang teratur, bila harga Froude bergerak mendekati satu gundukan semakin tidak teratur, terjadi erosi disisi sebelah hulu dan mengendap dibagian sebelah hilir, sehingga konfigurasi lapis dasar saluran makin lama berubah menjadi dunes (dasar bergelombang besar).

Debit air sungai merupakan tinggi permukaan air sungai yang terukur oleh alat ukur permukaan air sungai

B. Konfigurasi Dasar Saluran

Pada sungai-sungai alamiah, umumnya kondisi dinamik material sedimen dasar sungai mencapai kondisi stabil. Jumlah sedimentasi terendapkan (*agradasi*) dan erosi terangkut (*degradasi*) di sungai tempat tertentu disepanjang alur sungai relatif seimbang, sehingga bentuk alur sungai relatif tetap untuk waktu morfologi. Pada sungai muda (sungai baru terbentuk) termasuk sungai hasil sudetan, hasil pelurusan, atau hasil normalisasi, kondisi keseimbangan sedimen tersebut masih sangat stabil, sehingga akan selalu terjadi ketidakseimbangan antara sedimen yang mengendap dan sedimen yang terangkut. Keteraturan karakteristik sungai kaitannya dengan sedimen dapat dilihat pada gambar 39 berikut ini.



Gambar 2. Keseimbangan *agradasi* dan *degradasi* pada sungai alamiah (Maryono, 2007)

Gambar 2 menunjukkan bahwa kemiringan mempunyai peran penting dalam keseimbangan *agradasi* dan *degradasi*. Dengan menaikkan kemiringan memanjang (*slope*) suatu sungai, maka akan berakibat pada peningkatan tendensi *degradasi*. Sebaliknya dengan menurunkan kemiringan akan meningkatkan *agradasi*. Gambar tersebut menunjukkan neraca tentang karakteristik *regulae* antara kemiringan memanjang sungai dengan jenis material penyusun dasar sungai. Semakin tinggi kemiringan semakin kasar ukuran material penyusun dasar sungainya dan sebaliknya. Hal ini berarti bahwa setiap perubahan kemiringan yang tidak sesuai dengan kondisi alamiah sungai akan menyebabkan ketidakstabilan angkutan sedimen sepanjang sungai.

Contoh konkret dari filosofi neraca ini adalah jika suatu sungai kemiringan dipertinggi dengan pelurusan (neraca timbangan sebelah kanan bergeser ke kanan), agar sungai stabil maka material dasar sungai

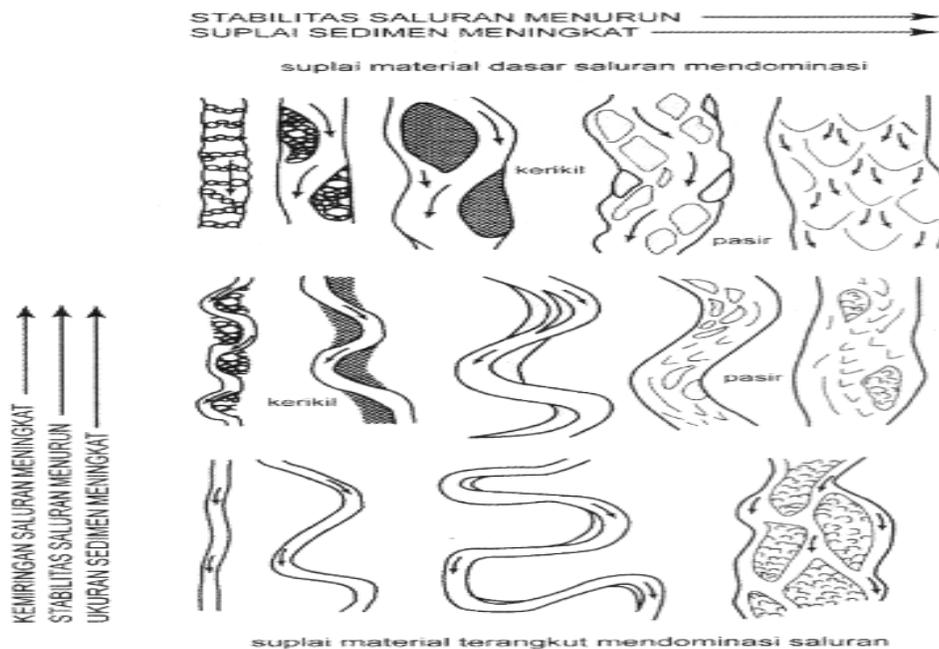
harus diperbesar, sehingga timbangan menjadi seimbang. Jika tidak dilakukan, maka yang terjadi adalah neraca penunjuk akan bergeser ke arah *agradasi* (erosi). Dengan demikian bahwa setiap perubahan kemiringan membawa konsekuensi perubahan gradasi batuan penyusun dasar sungai.

Perubahan kemiringan sungai dapat juga diartikan sebagai perubahan kekasaran dinding tebing dan dasar sungai, sehingga kenaikan kemiringan sungai atau meningkatkan kecepatan air tidak hanya terjadi melalui proses pelurusan sungai atau sudetan, namun dapat juga terjadi pada vegetasi sepanjang sungai dihilangkan atau dilakukan **tuludiasasi**. Dengan demikian akan menghilangkan vegetasi sungai bertarti akan menurunkan retensi sungai. Turunnya resistensi atau kekasaran berarti kenaikan kecepatan air. Kenaikan kecepatan air berarti proses *agradasi* akan meningkat, selanjutnya stabilitas dasar sungai terganggu.

Transpor sedimen di dasar sungai akan membentuk konfigurasi dasar sungai (*sediment transport body*). Bentuk-bentuk transpor body tersebut memiliki karakteristik dan hukum-hukum yang teratur dan dapat diklasifikasikan secara mudah ke dalam mikrostruktur dan mesostruktur atau makrostruktur. Konfigurasi mikrostruktur umumnya terdiri dari *riffle*, *dune*, *plane bed*, *antidune* disamping juga ada *amour layer*. Sedangkan mesostruktur atau makrostruktur terdiri dari gosong pasir (*bar*), atau *large dune*, pulau (*island*) dan meander. Sebagai karakteristik universal dari *transport body* adalah bahwa semua bentuknya mengikuti prinsip energi

minimal, dimana semua bentuk struktur dan konfigurasi mengarah pada bentuk dan konfigurasi yang memiliki resistensi terhadap aliran air dan diklasifikasikan secara lebih rinci pada gambar 36 berikut ini.

Bentuk *riffle*, *dune*, *plane bed*, dan *antidune* merupakan fungsi dari kecepatan air dan kedalaman air. Fungsi tersebut dapat diartikan dengan fungsi angka Froude (Fr). Pada angka Froude $F \ll 1$ terjadi bentuk *riffle*, $Fr < 1$ terjadi bentuk *dune*, $Fr = 1$ terjadi bentuk *plane bed*, dan $Fr > 1$ terjadi bentuk *antidune*. Untuk selanjutnya dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini.



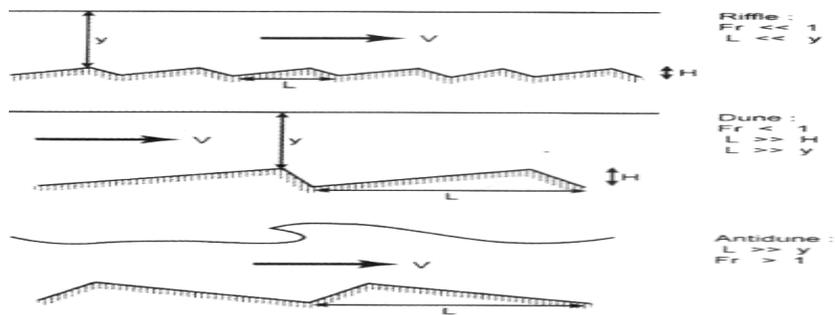
Gambar 3. Konfigurasi regular dasar dan morfodinamika sungai (Maryono, 2007).

Tabel 1. Angka Froude dan konfigurasi dasar sungai
(Maryono, 2007)

Angka Froude (Fr)	Jenis Konfigurasi dasar sungai
$Fr \ll 1$	<i>Riffle</i>
$Fr < 1$	<i>Dune</i> atau <i>bar</i> dengan <i>riffle</i>
$Fr < 1$	<i>Dune</i> besar atau <i>bar</i> besar
$Fr < 1$	Dasar rata
$Fr = 1$	Gelombang tegak
$Fr > 1$	<i>Antidune</i>

Sumber data : koefisien

Pada gambar 8 menunjukkan adanya karakteristik teratur keterkaitan antara energi aliran air (diperlihatkan dengan Fr) dengan kedalaman air (y), panjang (L) dan tinggi (H), formasi dasar sungai (*riffle*, *dune*, dan *antidune*, Keteraturan ini menunjukkan konsistensi karakteristik sungai yaitu kompleks dan teratur.



Gambar 4. Keterkaitan antara kedalaman air (y), kecepatan aliran (v), tinggi (H), dan panjang (L) dari struktur dasar sungai (*transport bodies*), (Maryono, 2007)

Dengan bertambahnya kecepatan, intensitas angkutan sedimen bertambah (secara *random*), dan terbentuk **konfigurasi dasar**.

a. Ripple



misal $H_r = 1$ cm, $L_r = 5 - 10$ cm

(a) Mempunyai amplitudo, H_r , relative kecil terhadap panjang gelombang, $L_r \rightarrow H_r \ll L_r$.

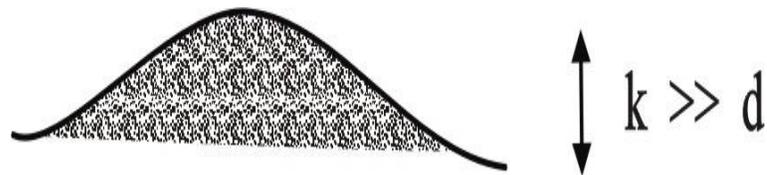
(b) Kekasaran bertambah (akibat *shape/form roughness*), $k \gg d$

(c) Tiga dimensi

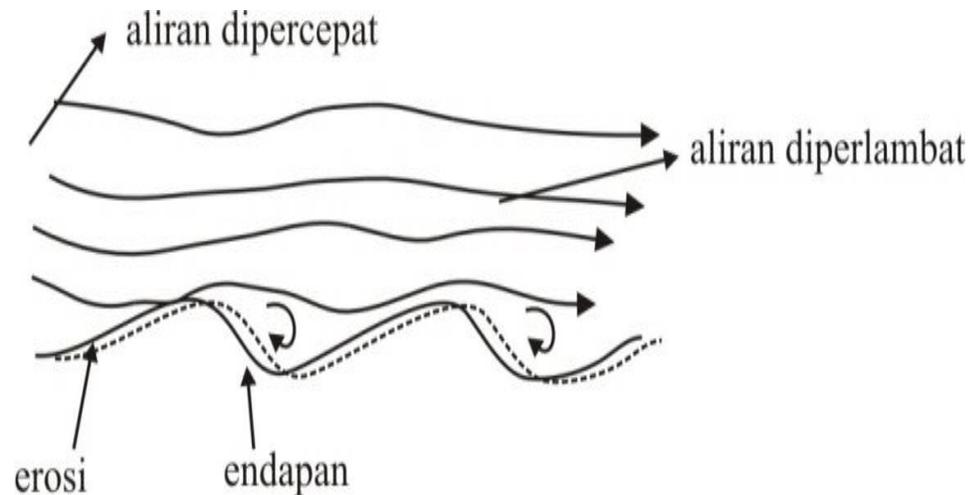
(d) Relatif simetris

b. Dunes

Gelombang dengan sisi sebelah hulu lebih landai dan sisi sebelah hilir lebih curam



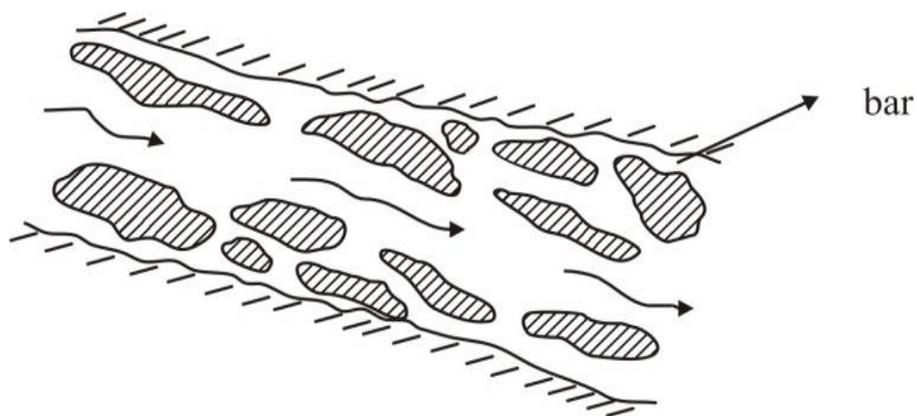
- (1) Bentuk kurang teratur dan asimetris
- (2) Kemiringan yang curam pada sisi hilir dari *dunes* tersebut menyebabkan terjadinya separasi aliran, sehingga bukit / gundukan pasir bergerak ke arah hilir dan bergabung (menjadi satu) dengan *dunes* di sebelah hilirnya → panjang *dunes* bertambah dan puncaknya mendatar—bars —, dimana *shape/form roughness* berkurang.
- (3) Antara *lower flow regime* dan *upper flow regime*, terdapat kondisi *transition*. Pada kondisi ini *dunes* seperti dibersihkan (tergelontor). Konfigurasi dasar tidak teratur dari bentuk *dunes* sampai *flat / planebed*.



Gambar 5. Ilustrasi proses pembentukan *dunes*

- (4) Apabila kecepatan aliran terus bertambah, the upper flow regime akan tercapai. Bentuk konfigurasi yang pertama kali diamati adalah plane bed (sheet flow), $k \approx d$. Apabila kecepatan terus bertambah, permukaan air menjadi tidak stabil, dan dasar plane bed berubah terbentuk gelombang pasir antidunes.
- (5) Apabila angka Froude tidak terlalu besar (meskipun $Fr > 1$), muka air hanya bergelombang (antidunes standing wave), tetapi apabila angka Fr sangat besar, muka air yang bergelombang tersebut akan berkembang, menjadi tidak stabil dan pecah (antidunes breaking wave). Bila hal ini terjadi, bentuk anti dunes rusak, dan dasar menjadi rata kembali.

- (6) Aktifitas antidunes yang sangat kuat akan menghasilkan chutes & pool flows.
- (7) Apabila dunes menjadi satu, gundukan-gundukan pasir akan sangat besar dengan ukuran \approx lebar saluran. Bentuk ini dikenal dengan nama bars.
- (8) Bars biasanya terbentuk pada waktu debit / kecepatan besar dan akan tampak sebagai pulau – pulau kecil pada waktu debit kecil (air dangkal).



Gambar 6. Proses pembentukan bar

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian akan dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa, dengan waktu penelitian direncanakan selama 2 bulan.

B. Jenis Penelitian dan Sumber Data

Jenis penelitian yang digunakan adalah Eksperimental, dimana kondisi tersebut dibuat dan diatur oleh peneliti dengan mengacu pada literatur-literatur yang berkaitan dengan penelitian tersebut, serta adanya kontrol dengan tujuan untuk menyelidiki ada-tidaknya hubungan sebab akibat serta berapa besar hubungan sebab akibat tersebut dengan cara memberikan perlakuan-perlakuan tertentu pada beberapa kelompok eksperimental dan menyediakan kontrol untuk perbandingan.

Pada penelitian ini akan menggunakan dua sumber data yakni :

1. Data primer yakni data yang diperoleh langsung dari simulasi model fisik di laboratorium.
2. Data Sekunder yakni data yang diperoleh dari literatur dan hasil penelitian yang sudah ada baik yang telah dilakukan di Laboratorium maupun dilakukan di tempat lain yang berkaitan dengan angkutan sedimentasi pada aliran sungai.

C. Alat dan Bahan

a. Model Saluran / Flum

Saluran yang digunakan adalah saluran kaca yang dihamparkan material pasir dengan penampang bentuk segi empat. Bentuk geometris dari saluran adalah saluran lurus dengan dinding permanen, lebar dasar saluran 0.25 m, tinggi saluran 0.30 m dan panjang saluran percobaan 3 m.



Gambar 7. Model saluran terbuka dengan penampang segi empat.

Bahan yang digunakan :

1. Tiga variasi butiran yaitu butiran halus, kasar, dan sangat kasar
2. Saluran air terbuka dan memanjang yang dilengkapi pompa air.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian adalah :

1. Mistar ukur digunakan untuk mengukur kedalaman air,
2. *Current meter* digunakan untuk mengukur kecepatan aliran,
3. *Stopwacth* untuk mengukur waktu pengaliran,
4. Kamera untuk dokumentasi,
5. Tabel dan Alat Tulis.

D. Variabel Yang di Teliti

Sesuai dengan tujuan penelitian yang telah dikemukakan pada bab sebelumnya, maka variabel terikat yang diteliti adalah volume butiran, Koefisien pengaliran dan koefisien butiran, sedangkan variabel bebas dalam penelitian ini adalah kecepatan aliran (v), diameter butiran dan waktu pengaliran (t).

Ada pun table di bawa ini menjelaskan tentang jenis nomer ayakan dan diameter material baik itu berupa hasil mesin pemecah material maupun material alam alami :

Table 4. ukuran-ukuran ayakan yang digunakan

AYAKAN NO	LUBANG AYAKAN (MM)
8	2,360
16	1,180
40	0,425

Sumber data : nilai koefisien

E. Pelaksanaan Studi Model

Berdasarkan variabel yang akan diteliti, perancangan model pengaliran butiran didasarkan pada beberapa spesifikasi sebagai berikut :

- a. bahan yang tersedia dan ketelitian pengukuran, maka digunakan skala model.
- b. Nama dan karakteristik model akan diberikan sebagai pembeda disetiap model variasinya.
- c. Panjang perletakan hamparan butiran disesuaikan dengan panjang Saluranyang digunakan.

F. Pelaksanaan Simulasi

Sebelum pengambilan data terlebih dahulu menghampar butiran di dasar saluran dengan variasi pencampuran butiran yang telah ditentukan, mengukur ketebalan sedimen. Mengalirkan air berdasarkan kecepatan air

yang telah ditentukan sebelumnya, kemudian dilakukan pengukuran volume dan ketebalan hamparan butiran diamati di sepanjang saluran berdasarkan waktu pengaliran yang telah ditentukan.

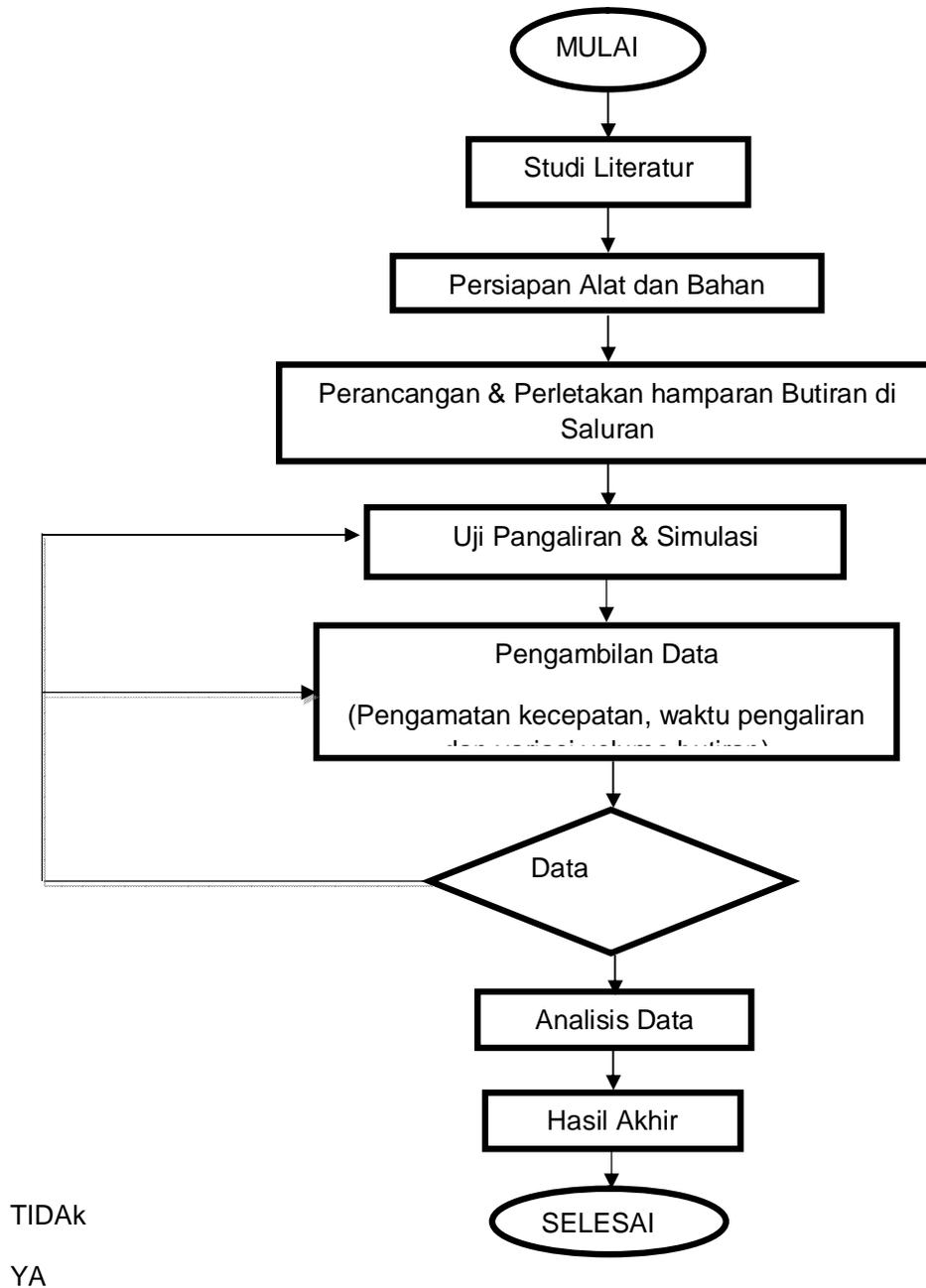
G. Prosedur Simulasi Model

Secara garis besar prosedur perolehan data adalah sebagai berikut

1. Menentukan 3 variasi diameter butiran,
2. Pencampuran 3 variasi diameter butiran berdasarkan variasi yang ditentukan,
3. Volume masing-masing diameter butiran diukur,
4. pengaliran air dilakukan untuk melakukan kalibrasi alat pencatatan debit dan kecepatan air,
5. Butiran dihampar di dasar sepanjang saluran, dengan ketebalan dan volume butiran ditentukan,
6. Setelah semua komponen siap, pelaksanaan pengamatan dimulai dengan mengalirkan air sesuai kecepatan (v) yang ditentukan,
7. Waktu (t) pengaliran air dicatat sesuai yang ditentukan,
8. Setelah pengaliran air ditutup, maka ketebalan dan volume butiran diukur pada saluran,
9. Volume masing-masing diameter butiran kembali diukur
10. Prosedur 5, 6, 7, 8 dan 9 dilakukan berulang-ulang dengan merubah variasi campuran butiran.

H. Diagram Proses Penelitian Laboratorium

Tahapan penelitian yang dilakukan sesuai dengan bagan alir pada Gambar berikut ini :



Gambar 8. Bagan Alir (*Flow Chart*)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Angka Froude

Menurut bilangan Froude tipe aliran dapat di bedakan menjadi

3

Yaitu Dengan variasi kecepatan (V) = 17.95 m/det, 20.96 m/det, 24.68 dan kedalaman(h) = 0.025 m

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad (5)$$

Perhitungan awal :

$$Fr_0 = \frac{17.95}{\sqrt{9.81 \times 0.025}}$$

$$= 0,6407$$

Aliran dalam saluran terbuka dapat digolongkan dalam berbagai jenis. Klasifikasi ini menyangkut perubahan kedalaman aliran menurut ruang dan waktu. Kriteria aliran dapat dibagi dalam Dari perhitungan di atas didapat angka Froude pada data awal dan untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel di bawah ini dengan rumus yang

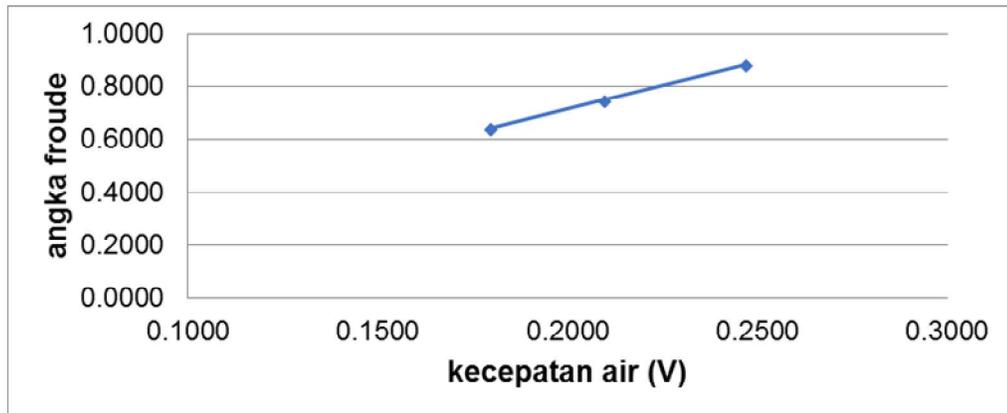
sama

Tabel 5. Perhitungan Angka Froude (Fr) butiran halus

Butiran		Waktu (t)	Kecepatan Air (v)	Kedalaman air (h_0)	Fr_0
%	No.	dtk	m/dt	m	
Halus d8=15%, d16=35%, d40=50%	1	120	0.1795	0.025	0.6407
	2	240	0.1795	0.025	0.6407
	3	300	0.1795	0.025	0.6407
	4	120	0.2096	0.025	0.7481
	5	240	0.2096	0.025	0.7481
	6	300	0.2096	0.025	0.7481
	7	120	0.2468	0.025	0.8809
	8	240	0.2468	0.025	0.8809
	9	300	0.2468	0.025	0.8809

Sumber data :hasil ranning lab

Tabel diatas menjelaskan perhitungan angka froude dengan agregat variasi butiran halus.



Gambar 9. Grafik hasil hubungan antara Angka Froude (Fr) dan kecepatan aliran (V).

Dari Gambar 9. Hubungan antara Angka Froude dan kecepatan (V) dengan agregat butiran halus, menunjukkan perubahan tingkat kecepatan aliran dan angka froude dari data hasil ranning, sehingga dapat di simpulkan bahwa aliran air yang berada pada saluran terbuka dalam keadaan subkritis ($Fr < 1$).

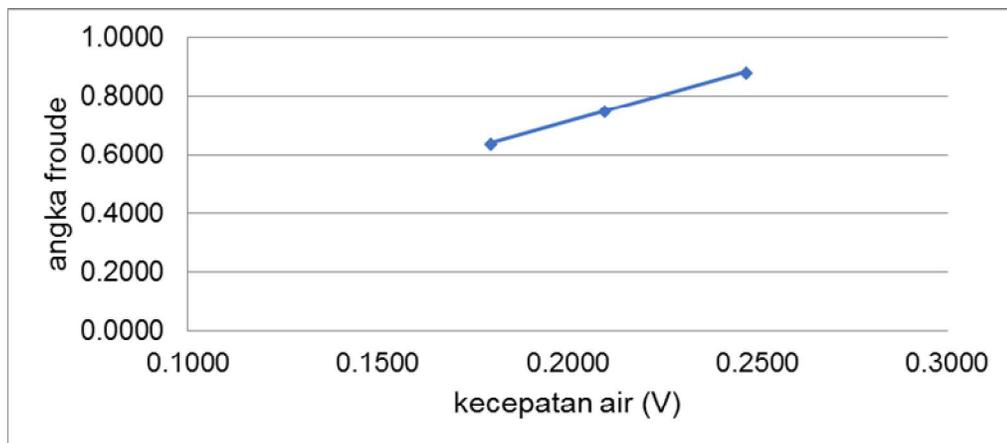
Tabel 6. Perhitungan Angka Froude (Fr) butiran kasar

Butiran		Waktu (t)	Kecepatan Air (v)	Kedalaman air (h_0)	Fr_0
%	No.	dtk	m/dt	m	
Kasar $d_8=33,33\%$, $d_{16}=33,33\%$, $d_{40}=33,33\%$	1	120	0.1795	0.025	0.6407
	2	240	0.1795	0.025	0.6407
	3	300	0.1795	0.025	0.6407
	4	120	0.2096	0.025	0.7481

5	240	0.2096	0.025	0.7481
6	300	0.2096	0.025	0.7481
7	120	0.2468	0.025	0.8809
8	240	0.2468	0.025	0.8809
9	300	0.2468	0.025	0.8809

Sumber data :hasil ranning lab

Tabel diatas menjelaskan perhitungan angka froude dengan agregat variasi butiran kasar.



Gambar 10. Grafik hasil hubungan antara Angka Froude (Fr) dan kecepatan aliran (V).

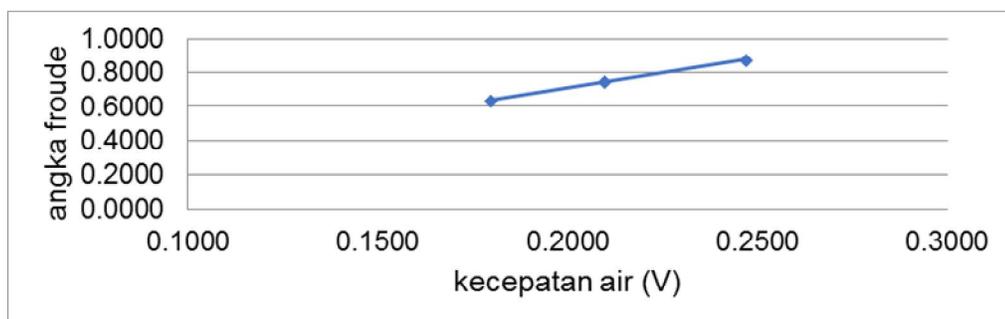
Gambar 10. Hubungan antara Angka Froude dan kecepatan (V) dengan agregat butiran kasar, menunjukkan perubahan tingkat kecepatan aliran dan angka froude dari data hasil ranning, sehingga dapat disimpulkan bahwa aliran air yang berada pada saluran terbuka dalam keadaan subkritis ($Fr < 1$).

Tabel 7. Perhitungan Angka Froude (Fr) butiran sangat kasar

Butiran		Waktu (t)	Kecepatan Air (v)	Kedalaman air (h_0)	Fr_0
%	No.	dtk	m/dt	m	
Sangat Kasar d8=50%, d16=35%, d40=15%	1	120	0.1795	0.025	0.6407
	2	240	0.1795	0.025	0.6407
	3	300	0.1795	0.025	0.6407
	4	120	0.2096	0.025	0.7481
	5	240	0.2096	0.025	0.7481
	6	300	0.2096	0.025	0.7481
	7	120	0.2468	0.025	0.8809
	8	240	0.2468	0.025	0.8809
	9	300	0.2468	0.025	0.8809

Sumber data :hasil ranning lab

Tabel diatas menjelaskan perhitungan angka froude dengan agregat variasi butiran sangat kasar.



Gambar 11. Grafik hasil hubungan antara Angka Froude (Fr) dan kecepatan aliran (V).

Gambar 11. Hubungan antara Angka Froude dan kecepatan (V) dengan agregat butiran kasar, menunjukkan perubahan tingkat kecepatan aliran dan angka froude dari data hasil ranning, sehingga dapat di simpulkan bahwa aliran air yang berada pada saluran terbuka dalam keadaan subkritis ($Fr < 1$).

B. Perhitungan debit

Debit adalah banyak air yang mengalir persatuan waktu. Dimana variasi kecepatan (V) =

1. 17.95 m/det,
2. 20.96 m/det,
3. 24.68 m/det

$$Q = V \times (b \times h) \tag{6}$$

$$\begin{aligned} Q &= 17.95 \times (0.10 \times 0,025) \\ &= 0.440 \text{ (m}^3\text{/dt)} \end{aligned}$$

Ada pun perhitungan debit yang di jelaskan pada tabel dibawa ini dengan variasi kecepatan dan waktu yang telah di tentukan sebagai berikut :

Tabel 8. hasil perhitungan debit (Q)

Butiran	Kecepatan (V)	Lebar (b)	Kedalaman air (h)	debit (Q)
	m/dt	m	m	cm ³ /det
halus	17.95	0.1	0.25	0.0448
	20.96	0.1	0.25	0.0524
	24.68	0.1	0.25	0.0617
kasar	17.95	0.1	0.25	0.0448
	20.96	0.1	0.25	0.0524
	24.68	0.1	0.25	0.0617
sangat kasar	17.95	0.1	0.25	0.0448
	20.96	0.1	0.25	0.0524
	24.68	0.1	0.25	0.0617

Sumber data :hasil ranning lab

Dari tabel diatas kita bisa ketahui debit aliran dengan variasi kecepatan, lebar ,dan kedalaman air maka dalam setiap ranning debit aliran berupa. Dimana di kecepatan (V) 17.95 m/det debit alirannya (Q) = 0.0448 cm³/det, kecepatan (V) 20.96 m/det debit alirannya (Q) = 0.0524 cm³/det, dan di kecepatan (V) 24.68 m/det debit alirannya (Q) = 0.0617 cm³/det.

C. Perbandingan Volume gradasi butiran

dimana yang dimaksud volume gradasi butiran yang akan di teliti ialah pencampuran 3 variasi diameter butiran berdasarkan variasi yang

ditentukan dengan volume masing-masing diameter butiran yang sudah diukur, dengan variasi kecepatan aliran dan waktu yang telah di tentukan bisa di liat pada perhitungan sebagai berikut :

Tabel 8. hasil perhitungan debit (Q)

Butiran	Kecepatan (V)	Lebar (b)	Kedalaman air (h)	debit (Q)
	m/dt	m	m	cm ³ /det
halus	17.95	0.1	0.25	0.0448
	20.96	0.1	0.25	0.0524
	24.68	0.1	0.25	0.0617
kasar	17.95	0.1	0.25	0.0448
	20.96	0.1	0.25	0.0524
	24.68	0.1	0.25	0.0617
sangat kasar	17.95	0.1	0.25	0.0448
	20.96	0.1	0.25	0.0524
	24.68	0.1	0.25	0.0617

Sumber data :hasil ranning lab

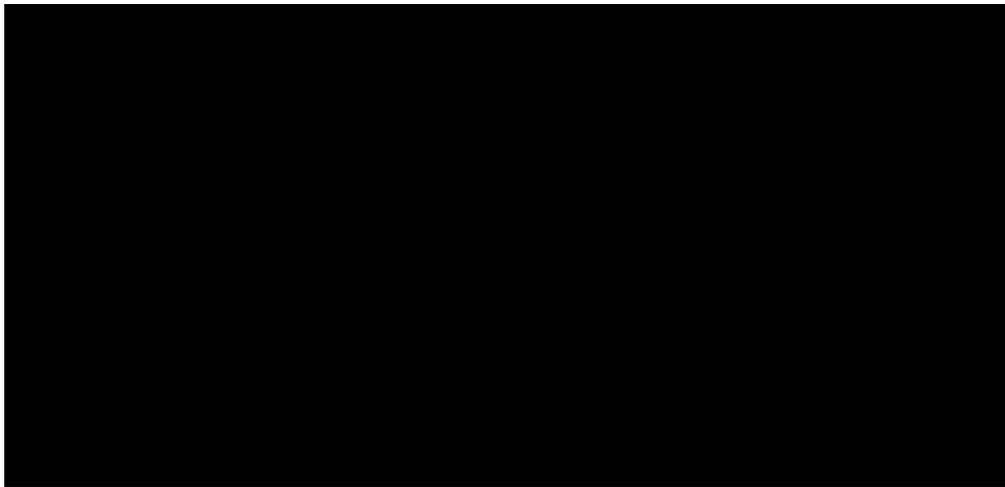
Dari tabel diatas kita bisa ketahui debit aliran dengan variasi kecepatan, lebar ,dan kedalaman air maka dalam setiap ranning debit aliran berupa. Dimana di kecepatan (V) 17.95 m/det debit alirannya (Q) = 0.0448 cm³/det, kecepatan (V) 20.96 m/det debit alirannya (Q) = 0.0524

cm³/det, dan di kecepatan (V) 24.68 m/det debit alirannya (Q) = 0.0617 cm³/det.

D. Perbandingan Volume gradasi butiran

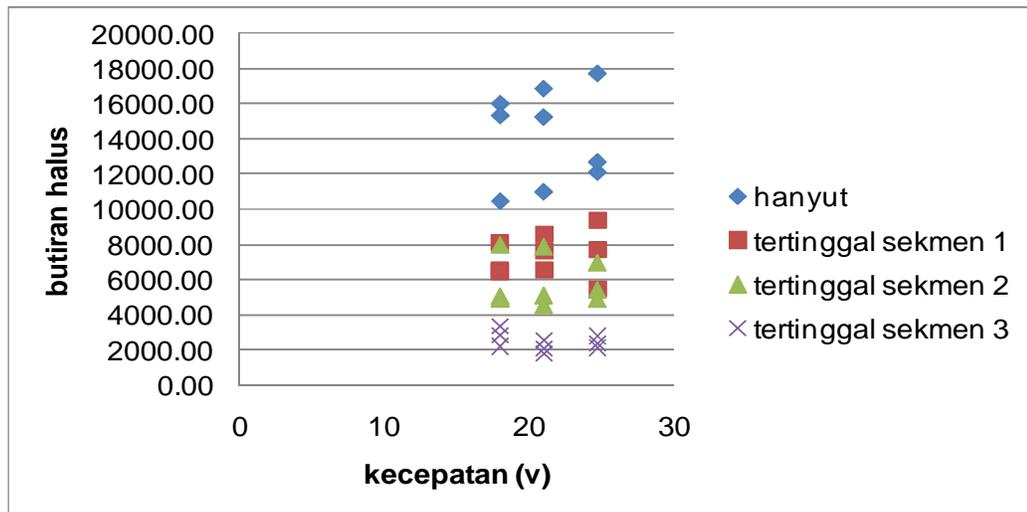
dimana yang dimaksud gradasi butiran yang akan di teliti ialah pencampuran 3 variasi diameter butiran berdasarkan variasi yang ditentukan dengan volume masing-masing diameter butiran yang sudah diukur, dengan variasi kecepatan aliran dan waktu yang telah di tentukan bisa di liat pada perhitungan sebagai berikut :

Tabel 9. hasil perhitungan agregat butiran halus.



Sumber data :hasil ranning lab

Tabel hasil ranning uji lab menjelaskan tentang agregat butiran halus dengan variasi kecepatan (v) dan variasi waktu (t). ada pun volume yang di dibanding kan antara volume awal (V_{s0}), volume hanyut (V_1) dan volume tertinggal (V_2).



Gambar 11. Grafik hubungan antara kecepatan (v) dengan agregat butiran halus.

Dari gambar 11 menjelaskan tentang hubungan antara kecepatan dengan agregat butiran halus dimana di jelaskan di.

kecepatan (V) 17.95 m/det dengan waktu (t) 120 det dimana data volume awal (V_0) = 30000.00 % yang hanyut (V_1) = 10520.00 % dan yang tertinggal di segmen 1 ($V_{2.1}$) = 8090.00 %, tertinggal segmen 2 ($V_{2.2}$), tertinggal di sekmen 3 ($V_{2.3}$) = 3380.00 %.

. kecepatan (V) 17.95 m/det dengan waktu (t) 120 det dimana data volume awal (V_0) = 30000.00 % yang hanyut (V_1) = 10520.00 % dan yang tertinggal di segmen 1 ($V_{2.1}$) = 8090.00 %, tertinggal segmen 2 ($V_{2.2}$), tertinggal di sekmen 3 ($V_{2.3}$) = 3380.00 %.

kecepatan (V) 17.95 m/det dengan waktu (t) 120 det dimana data volume awal (V_0) = 30000.00 % yang hanyut (V_1) = 10520.00 % dan yang tertinggal di segmen 1 ($V_{2.1}$) = 8090.00 %, tertinggal segmen 2 ($V_{2.2}$), tertinggal di sekmen 3 ($V_{2.3}$) = 3380.00 %.

kecepatan (V) 17.95 m/det dengan waktu (t) 120 det dimana data volume awal (V_0) = 30000.00 % yang hanyut (V_1) = 10520.00 % dan yang tertinggal di segmen 1 ($V_{2.1}$) = 8090.00 %, tertinggal segmen 2 ($V_{2.2}$), tertinggal di sekmen 3 ($V_{2.3}$) = 3380.00 %.

kecepatan (V) 17.95 m/det dengan waktu (t) 120 det dimana data volume awal (V_0) = 30000.00 % yang hanyut (V_1) = 10520.00 % dan yang tertinggal di segmen 1 ($V_{2.1}$) = 8090.00 %, tertinggal segmen 2 ($V_{2.2}$), tertinggal di sekmen 3 ($V_{2.3}$) = 3380.00 %.

kecepatan (V) 17.95 m/det dengan waktu (t) 120 det dimana data volume awal (V_0) = 30000.00 % yang hanyut (V_1) = 10520.00 % dan yang tertinggal di segmen 1 ($V_{2.1}$) = 8090.00 %, tertinggal segmen 2 ($V_{2.2}$), tertinggal di sekmen 3 ($V_{2.3}$) = 3380.00 %.

kecepatan (V) 17.95 m/det dengan waktu (t) 120 det dimana data volume awal (V_0) = 30000.00 % yang hanyut (V_1) = 10520.00 % dan yang tertinggal di segmen 1 ($V_{2.1}$) = 8090.00 %, tertinggal segmen 2 ($V_{2.2}$), tertinggal di sekmen 3 ($V_{2.3}$) = 3380.00 %.

kecepatan (V) 17.95 m/det dengan waktu (t) 120 det dimana data volume awal (V_0) = 30000.00 % yang hanyut (V_1) = 10520.00 % dan yang tertinggal di segmen 1 ($V_{2.1}$) = 8090.00 %, tertinggal segmen 2 ($V_{2.2}$), tertinggal di sekmen 3 ($V_{2.3}$) = 3380.00 %.

kecepatan (V) 17.95 m/det dengan waktu (t) 120 det dimana data volume awal (V_0) = 30000.00 % yang hanyut (V_1) = 10520.00 % dan

yang tertinggal di segmen 1 ($V_{2.1}$) = 8090.00 %, tertinggal segmen 2 ($V_{2.2}$), tertinggal di segmen 3 ($V_{2.3}$) = 3380.00 %.

kecepatan (V) 17.95 m/det dengan waktu (t) 120 det dimana data volume awal (V_0) = 30000.00 % yang hanyut (V_1) = 10520.00 % dan yang tertinggal di segmen 1 ($V_{2.1}$) = 8090.00 %, tertinggal segmen 2 ($V_{2.2}$), tertinggal di segmen 3 ($V_{2.3}$) = 3380.00 %.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasarkan hasil pengamatan dimana gradasi butiran dengan agregat butiran halus, agregat butiran kasar, dan agregat butiran sangat kasar. Di tentukan butiran saringan No.8 diameter ($d_1=8$) 2,36 mm), saringan No.16 diameter ($d_2=16$) 1,18 mm), saringan No.40 diameter ($d_3=40$) 0.450 mm).dengan waktu (t) 120 det, 240 det, 300 det dan debit (Q) dimana semakin cepat kecepatan alirannya (V) dan lama pengaliran maka agregat halus lebih banyak yang tergelontor .

B. Saran

Dari pengamatan di dalam penelitian ini penulis memberikan saran-saran penelitan lebih lanjut,yaitu :

1. Penelitian ini perlu di kembangkan lagi dengan menambahkan lagi variasi waktu dan debit
2. Untuk penelitian selanjutnya titik pengambilan data harus lebih rapat dan lebih banyak agar data yang diperoleh lebih jelas dan akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggrahini.1997. *Hidrolika Saluran Terbuka*, CV. Citra Media. Surabaya.
- Anwar, S. 2009, *Pengelolaan Sumber Daya Air*, PT. Mediatama Saptakarya Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Breuser,H.N.C and Raudviki, AJ.1991, *Scouring IAHR Hydraulik Structure Design Manual*, Rotterdam, AA.Balkema.
- Dewandaru, Dimas. 2013, *Mewujudkan Konstruksi Jembatan Bentang Panjang yang Handal*, Majalah Litbang Pekerjaan Umum, Edisi April – Juni 2013,
- Julien Y. Pierre. 2002, *River Menchanics*, Cambridge University Press.
- Kodoatie, J.R. 2009, *Hidrolika Terapan Aliran pada Saluran Terbuka dan Pipa*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Maryono, A. 2007, *Restorasi Sungai*, Gadjra Mada University Press, Yogyakarta.
- Mulyanto,H.R. 2006, *Sungai Fungsi dan Sifat-Sifatnya*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Munson, R.B.,Young, F.D, Okiishi,H.T., 2003, *Fundamentals of Fluids Mechanic Jilid 1*, Erlangga. Jakarta.
- Munson, R.B.,Young, F.D, Okiishi,H.T., 2003, *Fundamentals of Fluids Mechanic Jilid 2*, Erlangga. Jakarta.
- Pagliara, S. & Carnacina, L. *Temporal scour evolution at bridge piers: effect of wood debris roughness and porosity*, Journal of Hydraulic Research - J hydraul res , vol. 48, no. 1, pp. 3-13, 2010
- Rukiyati. *Kajian Degradasi Dasar Sungai dan Penanggulangannya untuk Pengamanan Bangunan Sungai. Teknologi Sumber Daya Air*, Volume 4 Nomor 3 – September 2007.
- Triatmodjo, B. 2003, *Hidrolika I*. Yogyakarta. Beta Offset.
- Triatmodjo, B. 2003, *Hidrolika II*. Yogyakarta. Beta Offset.

LAMPIRAN

A. Dokumentasi



Proses pencampuran butiran



Proses persiapan ranning



Proses persiapan ranning



Proses ranning

Data hasil ranning