

**SKRIPSI**

**SIMULASI ANGKUTAN SEDIMEN DASAR (*BED LOAD*) PADA  
PILAR JEMBATAN SUNGAI JENELATA DENGAN MODEL  
KOMPUTASI (*IRIC NAYS 2.0*)**



**IKRAM**  
**105811102316**

**MUH. SYAHRUL A**  
**105811102816**

**FAKULTAS TEKNIK**  
**JURUSAN TEKNIK PENGAIRAN**  
**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**2023**



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK



Kampus Merdeka  
INDONESIA JAYA

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866-972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221.

Website: [www.unismuh.ac.id](http://www.unismuh.ac.id), e\_mail: [unismuh@gmail.com](mailto:unismuh@gmail.com)

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

### HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat ujian guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **SIMULASI ARBKUTAN SEDIMEN DASAR (BED LOAD) PADA PILAR JEMBATAN SUNGAI JENELATA DENGAN MODEL KOMPUTASI (IRIC NAYS 2.0)**

Nama : 1. IKRAM  
2. MUH.SYHRULA

Stambuk : 1. 105 81 11023 16  
2. 105 81 11028 16

Makassar, 31 AGUSTUS 2023

Telah Diperiksa dan Disetujui  
Oleh Dosen Pembimbing;

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. Andi Makbul Syamsuri, ST., MT., IPM

Dr. Ir. Hamzah Al Imran, ST., MT., IPM

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Pengairan

Ir. M. Agusalm, ST., MT

NBM : 947 993



# UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

## FAKULTAS TEKNIK



Kampus  
Merdeka  
INDONESIA JAYA

GEDUNG MENARA IQRA LT. 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Website: [www.unismuh.ac.id](http://www.unismuh.ac.id), e\_mail: [unismuh@gmail.com](mailto:unismuh@gmail.com)

Website: <http://teknik.unismuh.makassar.ac.id>

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

### PENGESAHAN

Skripsi atas nama **IKRAM** dengan nomor induk Mahasiswa **105 81 11023 16**, dan nama **Muh.SyahruA** dengan nomor induk Mahasiswa **105 81 11028 16** dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor :369/05/A.4-II/VIII/45/2023, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Senin tanggal 23 Agustus 2023

Panitia Ujian :

Makassar, 13 safar 1445 H  
23 Agustus 2023 M

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. AMBO ASSE, M.Ag

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanudin

Prof. Dr. Eng. MUHAMMAD ISRAN RAMLI, ST., MT

2. Penguji

a. Ketua : Dr. Ir. Hj. Sukmasari Antiana, Mst

b. Sekertaris : Fanda Gaffar, ST., MM., IPM

3. Anggota

1. Dr. Ir. Nenny, ST., MT., IPM

2. Ir. Muhammad Syafa'at S Kuba, ST., MT

3. Kasmawati, ST., MT

Mengetahui :

Pembimbing I

Dr. Ir. Andi Makbul Syamsuri, ST., MT., IPM

Pembimbing II

Dr. Ir. Hamzah Al Imran, ST., MT., IPM

Dekan

Dr. Ir. Hj. Nurnawaty, ST., MT., IPM

NBM : 795 108

## KATA PENGANTAR



Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nyalah sehingga dapat menyusun proposal tugas akhir ini, dan dapat kami selesaikan dengan baik.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan akademik yang harus ditempuh dalam rangka menyelesaikan program studi pada Prodi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir kami adalah **“SIMULASI ANGKUTAN SEDIMEN DASAR (BED LOAD) PADA PILAR JEMBATAN JENELATA DENGAN MODEL KOMPUTASI (IRIC NAYS 2.0)”**.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa didalam penulisan tugas akhir ini masih terdapat kekurangan – kekurangan, hal ini disebabkan karena penulis sebagai manusia biasa tidak lepas dari kesalahan dan kukurangan baik itu ditinjau dari segi teknis penulisan maupun dari perhitungan – perhitungan. Oleh karena itu, penulis menerima dengan sangat ikhlas dengan senang hati segala koreksi serta perbaikan guna penyempurnaan tulisan ini agar kelak dapat bermanfaat.

Tugas akhir ini dapat terwujud berkat adanya bantuan, arahan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan dan kerendahan hari, kami mengucapkan terimakasih dan penghargaan yang setinggi – tingginya kepada:

1. Ayahanda dan Ibunda yang tercinta, penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya atas segala limpahan kasih sayang, do'a serta pengorbanannya terutama dalam bentuk materi untuk menyelesaikan kuliah kami.

2. Ibu Dr. Ir. Hj. Nurnawaty, MT., IPM. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak Ir. M. Aguslim, ST., MT. sebagai Ketua Jurusan Teknik Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Ibu Dr. Andi Makbul Syamsuri, ST., MT. selaku Pembimbing I dan Bapak Dr. Ir. Hamzah Al Imran, ST., MT., IPM. selaku Pembimbing II, yang banyak meluangkan waktu dalam membimbing kami.
5. Bapak dan Ibu dosen serta para staf pegawai di Fakultas Teknik atas segala waktunya telah mendidik dan melayani penulis selama mengikuti proses belajar mengajar di Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Saudara – saudaraku serta rekan – rekan mahasiswa Fakultas Teknik yang dengan persaudaraannya banyak membantu dalam menyelesaikan proposal tugas akhir ini.

Semoga semua pihak tersebut di atas mendapat pahala yang berlipat ganda di sisi Allah SWT dan proposal tugas akhir yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan – rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara. Amin.

***“Billahi Fii Sabill Haq Fastabiqul Khaerat”.***

Makassar, ..... 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>SAMPUL</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	vi
<b>BAB I. PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Manfaat Penelitian.....	3
E. Batasan Masalah.....	4
F. Sistematik Penulisan.....	4
<b>BAB II. KAJIAN PUSTAKA</b> .....	6
A. Sungai.....	6
B. Karakteristik Aliran Sungai.....	7
1. Aliran Permanen ( <i>Steady Flow</i> ).....	7
2. Aliran Non Permanen ( <i>Unsteady Flow</i> ).....	7
3. Aliran Seragam ( <i>Uniform Flow</i> ).....	7
4. Aliran Tidak Seragam atau Berubah ( <i>Non Uniform Flow atau Varied Flow</i> ) .....	8
5. Aliran Dasar Sungai.....	8
C. Analisa Kecepatan Aliran.....	9
1. Analisa Kecepatan Aliran (V).....	9

2. Analisa Debit (Q) .....	13
D. Karakteristik Sedimen .....	14
1. Formasi Dasar Saluran .....	17
2. Klaifikasi Dan Gwometri Formai.....	17
3. Angka Kekasaran Formasi .....	19
E. Mekanisme Gerusan .....	22
F. Angkutan Sedimen.....	25
1. Sedimen.....	27
2. Faktor Faktor yang mempengaruhi sedimen.....	27
3. Mekanisme Pola Gerakan Pengangkutan Sedimen.....	27
G. Persamaan Angkutan Sedimen.....	29
a). Kalinske (1947).....	30
b). Mayer Peter Muller.....	31
H. Model Numerik (iRIC: Nays 2.0).....	32
1. Karakteristik model aliran.....	34
2. Karakteristik pemodelan transport sedimen dan perubahan dasar sungai	35
<b>BAB III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>37</b>
A. Lokasi Dan Waktu Penelitan.....	37
B. Rancangan Model Penelitian .....	38
1. Jenis penelitian .....	38
2. Teknik Pengumpulan data.....	38
3. Alat Penelitan .....	39
C. Prosedur Penelitian .....	42

D. Analisa Data.....	43
1. Menghitung luas penampang sungai (A).....	43
2. Debit aliran (Q).....	43
3. Menghitung bilangan Froude (Fr) .....	43
4. Menghitung bilangan Reynold (Re) .....	44
E. Langkah-Langkah Simulasi (iRIC: Nays2DH 2.0) .....	44
F. Bagan Alur Penelitian .....	57
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>58</b>
A. Perhitungan Karakteristik Aliran .....	58
B. Karakteristik Sedimen.....	62
C. Angkutan Sedimen Dasar (Bed Load) .....	64
D. Hasil Running.....	69
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>58</b>
A. Kesimpulan .....	62
B. Saran.....	62
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>45</b>

## DAFTAR PERSAMAAN

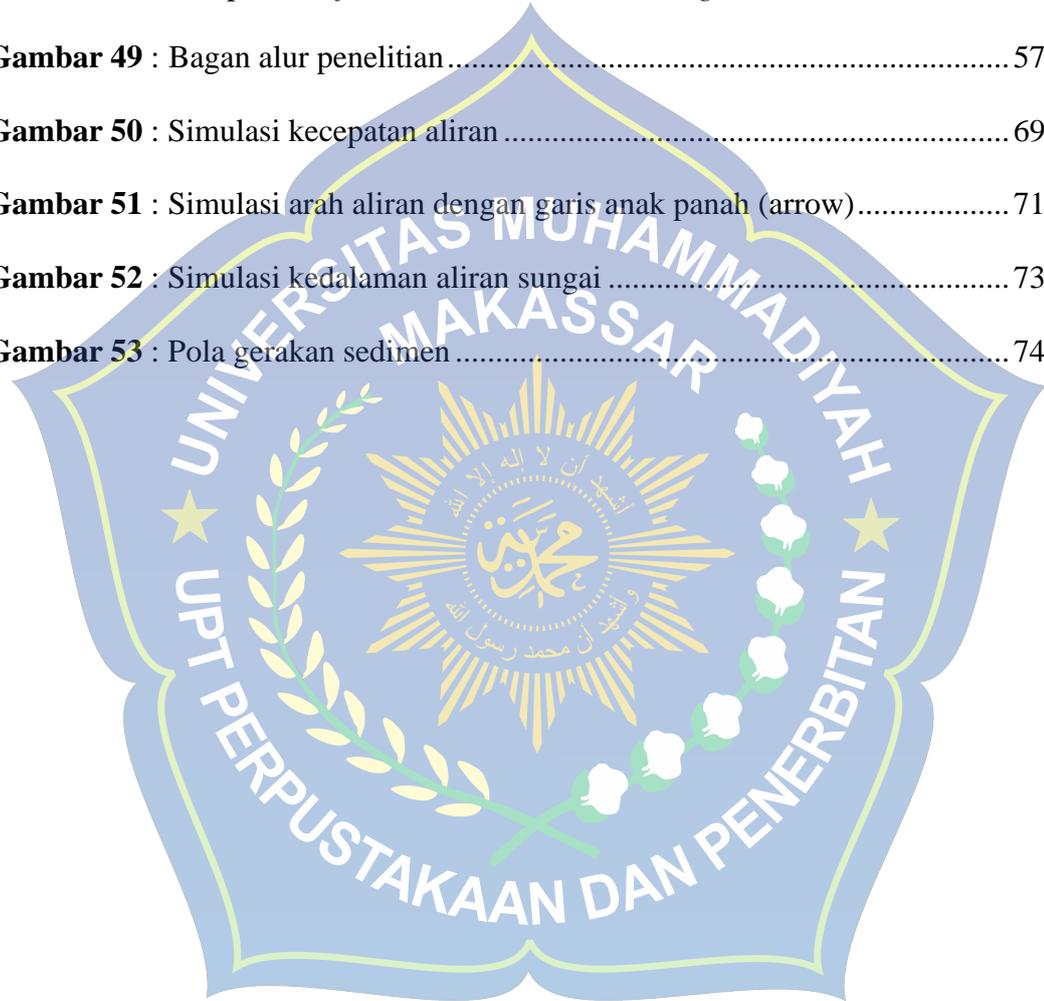
<b>Persamaan 1</b> : kecepatan rata-rata $V_m$ saluran sungai atau saluran .....	10
<b>Persamaan 2</b> : Bernouli .....	11
<b>Persamaan 3</b> : Aliran meluncur (superkritis) atau mengalir (sub kritis) .....	11
<b>Persamaan 4</b> : Menentukan Angka Froude .....	12
<b>Persamaan 5</b> : Bilangan Reynolds .....	12
<b>Persamaan 6</b> : Menghitung kekentalan .....	12
<b>Persamaan 7</b> : Menentukan nilai debit .....	13
<b>Persamaan 8</b> : Perhitungan luas penampang basah .....	59
<b>Persamaan 9</b> : Perhitungan kecepatan aliran .....	60
<b>Persamaan 10</b> : Persamaan Van Rijn .....	65
<b>Persamaan 11</b> : Mencari Bilangan Reynold .....	66
<b>Persamaan 12</b> : Persamaan Rottner .....	67

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1</b> : Pola Aliran sungai .....	7
<b>Gambar 2</b> : Distribusi kecepatan dan isovel suatu tampang sungai alamiah.....	9
<b>Gambar 3</b> : Klasifikasi jenis formasi dasar saluran .....	18
<b>Gambar 4</b> : Klasifikasi formasi dasar Chabert and Chauvin (1963).....	19
<b>Gambar 5</b> : Profil tegangan geser pada dasar saluran dengan formasi .....	20
<b>Gambar 6</b> : Grafik kekasaran formasi dengan kekasaran permukaan .....	20
<b>Gambar 7</b> : Grafik kekasaran total dan permukaan, <i>Engelund Hansen</i> .....	21
<b>Gambar 8</b> : Grafik kekasaran total dan permukaan, <i>Koreksi Wright</i> .....	22
<b>Gambar 9</b> : Mekanisme gerusan akibat pola aliran air disekitar pilar .....	23
<b>Gambar 10</b> : Siklus terjadinya sedimen .....	25
<b>Gambar 11</b> : Proses sedimen normal dan sedimen dipercepat .....	26
<b>Gambar 12</b> : Pola Gerakan Sediment dalam Air .....	29
<b>Gambar 13</b> : Model angkutan sedimen (Ron Parker 2002) .....	29
<b>Gambar 14</b> : Persamaan Bed Load Kalinske 1947 .....	31
<b>Gambar 15</b> : Lokasi Penelitian ( <i>sumber: google earth</i> ).....	39
<b>Gambar 16</b> : Alat tulis .....	39
<b>Gambar 17</b> : Rambu Ukur .....	39
<b>Gambar 18</b> : Kamera.....	40
<b>Gambar 19</b> : Rol Meter .....	40
<b>Gambar 20</b> : Rambu Ukur .....	40
<b>Gambar 21</b> : Stopwatch .....	41
<b>Gambar 22</b> : Kalkulator .....	41

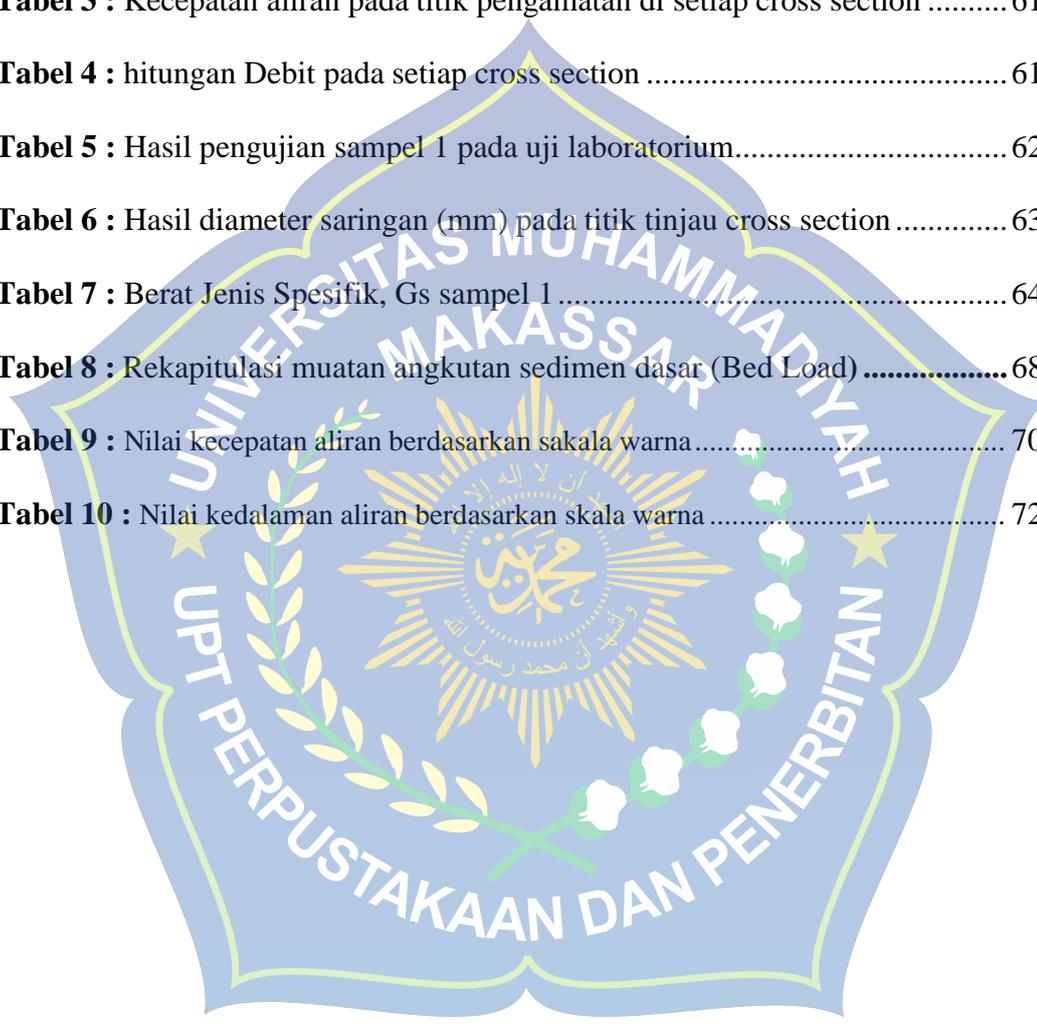
<b>Gambar 23</b> : Luas Penampang Sungai.....	42
<b>Gambar 24</b> : Tampilan awal <i>software iRIC 2.0</i> .....	44
<b>Gambar 25</b> : Tampilan pemilihan Pemecah ( <i>solver</i> ).....	45
<b>Gambar 26</b> : Tampilan pemilihan metode pembuatan <i>grid</i> .....	45
<b>Gambar 27</b> : Tampilan pemilihan tipe <i>grid line</i> .....	46
<b>Gambar 28</b> : <i>Cross Section Shape</i> .....	46
<b>Gambar 29</b> : Tampilan pemilihan tipe <i>grid line</i> .....	47
<b>Gambar 30</b> : <i>Bed and Channel Shape line</i> .....	48
<b>Gambar 31</b> : Tampilan <i>create Grid</i> .....	48
<b>Gambar 32</b> : Tampilan membuat pilar.....	48
<b>Gambar 33</b> : Kotak dialog <i>select file to import</i> .....	49
<b>Gambar 34</b> : Kotak dialog <i>Polygon Import Setting</i> .....	49
<b>Gambar 35</b> : Pilar jembatan bentuk Kapsul.....	50
<b>Gambar 36</b> : Pilar jembatan bentuk belah ketupat.....	50
<b>Gambar 37</b> : Tampilan untuk membuat dasar pilar menjadi tetap dan tidak berubah terhadap proses <i>running</i> .....	51
<b>Gambar 38</b> : Pilih <i>Movable Bed</i> .....	51
<b>Gambar 39</b> : <i>Manning Roughness Coeffision</i> .....	52
<b>Gambar 40</b> : <i>Input</i> nilai koefisien <i>manning</i> .....	52
<b>Gambar 41</b> : Menu bar untuk mengatur <i>Calculation Condition</i> .....	53
<b>Gambar 42</b> : Tampilan grup <i>Solver Type</i> pada <i>Calculation Condition</i> .....	53
<b>Gambar 43</b> : Tampilan grup <i>Boundary Condition</i> pada <i>Calculation</i> .....	54
<b>Gambar 44</b> : Tampilan untuk mengisi debit yang akan digunakan.....	54

<b>Gambar 45</b> : Tampilan grup <i>Time</i> pada <i>Calculation Condition</i> .....	55
<b>Gambar 46</b> : Tampilan memulai <i>Running iRIC Nays2DH 2.0</i> .....	55
<b>Gambar 47</b> : Tampilan <i>Running</i> .....	56
<b>Gambar 48</b> : Tampilan <i>Object Browser</i> setelah <i>Running</i> .....	56
<b>Gambar 49</b> : Bagan alur penelitian.....	57
<b>Gambar 50</b> : Simulasi kecepatan aliran .....	69
<b>Gambar 51</b> : Simulasi arah aliran dengan garis anak panah (arrow).....	71
<b>Gambar 52</b> : Simulasi kedalaman aliran sungai .....	73
<b>Gambar 53</b> : Pola gerakan sedimen.....	74



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1</b> : Kedalaman aliran pada setiap cross section.....	58
<b>Tabel 2</b> : Hasil Perhitungan luas penampang basah pada setiap cross section ...	59
<b>Tabel 3</b> : Kecepatan aliran pada titik pengamatan di setiap cross section .....	61
<b>Tabel 4</b> : hitungan Debit pada setiap cross section .....	61
<b>Tabel 5</b> : Hasil pengujian sampel 1 pada uji laboratorium.....	62
<b>Tabel 6</b> : Hasil diameter saringan (mm) pada titik tinjau cross section .....	63
<b>Tabel 7</b> : Berat Jenis Spesifik, Gs sampel 1 .....	64
<b>Tabel 8</b> : Rekapitulasi muatan angkutan sedimen dasar (Bed Load) .....	68
<b>Tabel 9</b> : Nilai kecepatan aliran berdasarkan sakala warna .....	70
<b>Tabel 10</b> : Nilai kedalaman aliran berdasarkan skala warna .....	72



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Sungai merupakan salah satu sumber daya air yang penting bagi kehidupan. Sungai mengalir dari daerah hulu menuju hilir atau muara dan memiliki alur aliran yang lurus dan ada yang berkelok-kelok. Jembatan merupakan suatu konstruksi yang berfungsi guna menghubungkan jaringan jalan yang terputus dikarekan adanya rintangan seperti lembah, jurang, sungai, dan lain sebagainya. Pada jembatan yang memiliki bentang yang panjang, umumnya memiliki pilar sebagai penopangnya. Pilar yang digunakan guna menopang jembatan memerlukan kriteria desain tertentu sehingga jika terjadi gerusan disekitar pilar dan gerusan tersebut mencapai kedalaman tertentu sehingga menyebabkan keseimbangan pilar terganggu, maka akan membahayakan struktur jembatan yang berada di atasnya.

Untuk itu maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui bentuk pilar jembatan yang paling cocok untuk meminimalkan gerusan lokal yang terjadi, sehingga diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan pembangunan jembatan, terutama untuk jembatan yang memiliki pilar pada bagian tengah sungai. Untuk menganalisa masalah gerusan lokal pada pilar jembatan dapat dilakukan dengan dua metode yaitu dengan melakukan pemodelan secara fisik dan dengan model numerik. Model yang digunakan pada penelitian ini adalah pemodelan numerik. Model numerik adalah dimana penyelesaian permasalahannya diformulasikan dengan persamaan-persamaan matematis.

Jembatan Sungai Jenelata yang menghubungkan desa Tanah Karaeng dan Kecamatan Moncongloe, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan. Sungai Jenelata merupakan anak sungai Jeneberang yang memiliki suatu karakteristik terjadinya perubahan morfologi sungai pada bentuk penampang aliran. Meningkatnya jumlah penduduk dan aktifitas manusia di sepanjang aliran sungai Jenelata telah memberi pengaruh terhadap ekosistem pengairan dan sedimentasi pada sungai Jenelata. Pada dasarnya debit angkutan sedimen tergantung pada sifat aliran air, kondisi alamiah, dan gangguan alam oleh bangunan artifisial, seperti agradasi-degradasi. Karena perubahan musim hujan dan kemarau dan aktifitas manusia sebagai akibat dari debit angkutan sedimen adalah terjadinya agrasi-degradasi di dasar sungai dengan demikian bentuk dari dasar akan selalu berubah.

Degradasi dasar sungai merupakan salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya kerusakan pada bangunan sungai, degradasi ini terjadi karena perubahan, kecepatan, debit, waktu serta angkutan sedimen pada sungai makin lama terjadi limpasan air dan makin besarnya maka makin besar degradasi yang terjadi terus menerus hingga tercapainya keseimbangan antara angkutan sedimen yang saling memperbaiki, maka terjadi ketidakseimbangan karena jumlah angkutan sedimen lebih besar daripada suplay sedimennya, semakin dalam lubang gerusan pada pondasi pilar jembatan hal ini menyebabkan kerusakan pada pilar jembatan. Runtuhnya pilar jembatan pada sungai disebabkan oleh meluapnya air sungai yang tinggi dikarenakan tidak mampu menampung air hujan yang turun di sekitar sungai Jenelata yang mengakibatkan terjadinya gerusan yang besar di sekitar pilar jembatan sehingga/mengakibatkan runtuhnya jembatan.

## B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian diatas maka permasalahan yang di rumuskan antara lain:

1. Bagaimana laju dan pola gerakan sedimen di sekitar pilar jembatan dengan menggunakan software *iRIC*?
2. Bagaimana hasil simulasi menggunakan software *iRIC*?

## C. Tujuan Penelitian

Adapun Tujuan Penelitian ini diantaranya:

1. Mengetahui laju dan pola gerakan sedimen di sekitar pilar jembatan menggunakan software *iRIC*.
2. Mengetahui hasil simulasi dalam menggunakan software *iRIC*.

## D. Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan di atas maka manfaat yang di peroleh dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan pengetahuan permodelan numerik menggunakan software *iRIC Nays 2.0* tentang pola aliran sedimen dan juga gerusan yang terjadi di sekitar pilar jembatan.
2. Sebagai salah satu alternative dalam usaha melakukan inovasi dalam mengatasi gerusan pada pilar jembatan.
3. Menambah wawasan dalam rekayasa bangunan air.

### **E. Batasan Masalah**

Penelitian ini sapat lebih mengarah pada latar belakang dan permasalahan yang telah dirumuskan apabila dibuat batasan-batasan masalah untuk membatasi ruang lingkup penelitian, antara lain:

1. Penelitian ini menggunakan software *iRIC*.
2. Variabel penelitian adalah debit ( $Q$ ), kecepatan ( $V$ ), koefesien, kedalaman saluran ( $h$ ).
3. Bentuk pilar yang akan disimulasikan yaitu bentu lingkaran.
4. Jarak titik tinjauan yang kemudian dianalisis berdasarkan permasalahan yang akan diteliti.
5. Perhitungan struktur pilar tidak dilakukan.

### **F. Sistematika Penulisan**

Berdasarkan uraian dari latar belakang, rumusan masalah dan tujuan penelitian yang hendak di capai dalam penelitian, maka kami menguraikan secara sistematika penulisan sebagai berikut.

Bab I Pendahuluan : Menguraikan tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

Bab II Metode Tinjauan Pustaka : Tinjauan yang memuat secara sistematis tentang teori, pemikiran dan hasil penelitian yang ada hubungannya dengan penelitian ini.

Bab III Metode Penelitian : Metodologi penelitian yang menjelaskan waktu dan

lokasi penelitian, bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian serta tahap dalam proses penelitian di lapangan

Bab IV Hasil Dan Pembahasan : Analisa hasil dan pembahasan yang menguraikan tentang hasil hasil yang di peroleh dari proses penelitian dan hasil pembahasannya.

Bab V Penutup : yang berisi kesimpulan dari hasil peneltian, serta saran yang berkaitan dengan peneltian yang dilakukan.



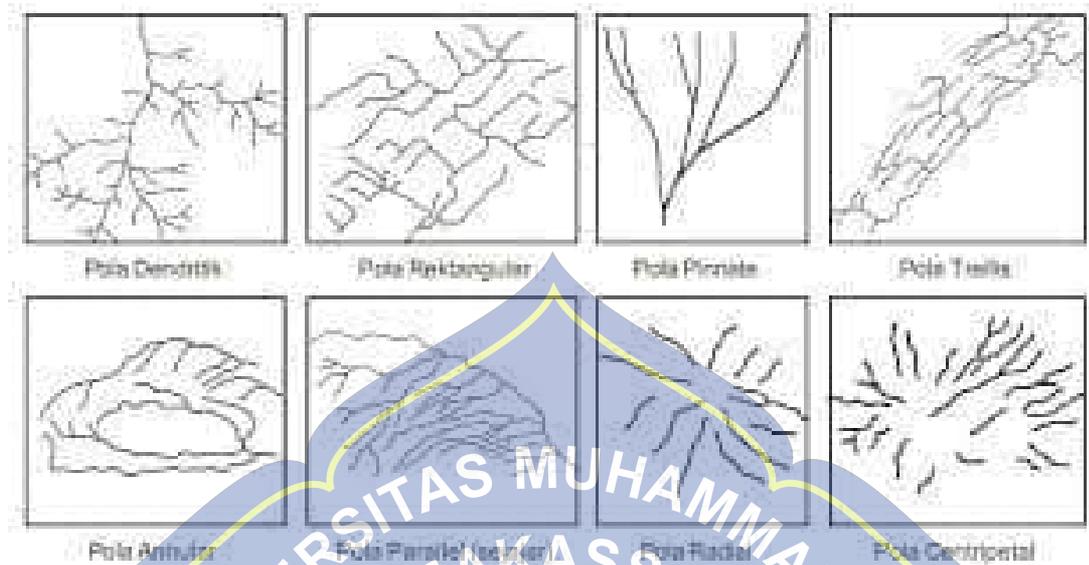
## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### A. Sungai

Sungai adalah saluran alamiah dipermukaan bumi yang menampung dan menyalurkan air hujan dari daerah yang tinggi ke yang lebih rendah dan akhirnya bermuara di danau atau laut. Arus air di daerah yang tinggi atau biasa disebut dengan daerah hulu sungai biasanya lebih deras dibandingkan dengan arus sungai di bagian yang lebih rendah atau biasa disebut dengan daerah hilir sungai. Di dalam aliran terdapat material material sedimen yang berasal dari proses erosi yang terbawa oleh aliran air dan dapat menyebabkan terjadinya pendangkalan akibat sedimentasi dimna aliran air tersebut bermuara yaitu di danau atau di laut. Sedimen yang dihasilkan oleh proses erosi dan terbawa oleh aliran air akan di endapkan pada suatu tempat yang kecepatan alirannya melambat atau terhenti. Peristiwa ini dikenal dengan peristiwa atau proses sedimentasi.

Jenis pola aliran sungai antara alur sungai utama dengan cabang cabangnya di sutau wilayah dengan wilayah lainnya sangat bervariasi. Adanya perbedaan pola aliran sungai antar wilayah dengan wilayah lainnya sangat ditentukan oleh perbedaan kemiringan dan struktur batuan dasarnya. Pola aliran sungai yang umum dikenal adalah pola dendritik, radial, rectangular, trellis, anular, dan paraler menurut aliran aitnya sungai dibedakan menjadi sungai permanen dan sungai non permanen atau musiman.



Gambar 1. Pola Aliran sungai (Sosrodarsono 2008)

## B. Karakteristik Aliran Sungai

### 1. Aliran Permanen (*Steady Flow*)

Apabila karakteristik fisik aliran, terutama kedalam aliran tidak berubah atau kecepatan aliran tidak berubah atau dapat dianggap konstan selama interval yang ditinjau.

### 2. Aliran Non Permanen (*Unsteady Flow*)

Apabila karakteristik fisik aliran, terutama kedalam aliran atau kecepatan aliran berubah atau dianggap tidak konstan selama interval waktu yang ditinjau.

### 3. Aliran Seragam (*Uniform Flow*)

Aliran disebut seragam apabila berbagai variabel aliran seperti kedalam, tampang basah, kecepatan dan debit pada setiap tampang disepanjang aliran adalah konstan. Pada aliran seragam garis energi garis muka air dan dasar saluran adalah sejajar sehingga kemiringan dari ketiga garis tersebut dengan

kedalaman normal ( $Y_n$ ). Untuk debit aliran dan luas tampang lintang saluran tertentu kedalaman normal adalah konstan di seluruh sepanjang saluran.

#### **4. Aliran Tidak Seragam atau Berubah (*Non Uniform Flow atau Varied Flow*)**

Aliran disebut tidak seragam atau berubah apabila variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah kecepatan di sepanjang saluran tidak konstan didalam aliran tidak seragam, garis tenaga tidak sejajar disepanjang garis muka air dan dasar saluran.

#### **5. Aliran Dasar Sungai**

Sebagian besar debit aliran sungai kecil yang masih alamiah adalah debit aliran yang besar dari air tanah atau mata air dan debit aliran permukaan (air hujan). Dengan demikian aliran air pada sungai kecil pada umumnya lebih menggambarkan kondisi hujan daerah bersangkutan sedangkan sungai besar, sebagian besar debit alirannya, berasal dari sungai-sungai kecil dan sedang yang ada di atasnya. Sehingga aliran di sungai besar tidak mesti menggambarkan kondisi hujan di atas lokasi bersangkutan aliran pada sungai kecil terbentuk dari aliran mata air dan air tanah, sedangkan aliran sungai di bentuk dari aliran dasar sungai-sungai kecil dan sedang di atasnya. Sungai kecil, sedang ataupun besar dasar, aliran dasar merupakan aliran yang sangat penting yang menentukan kondisi kualitas air dan kehidupan flora dan fauna sungai. Flora dan fauna sungai memerlukan dasar yang relative seimbang dinamis serta kontinyu (kesimbangan dinamis). Musim kemarau biasanya

merupakan kondisi kritis untuk flora dan fauna disebabkan karena adanya air baik dari dasar maupun aliran permukaan.

**C. Analisa Kecepatan Aliran**

**1. Analisa kecepatan aliran (V)**

Karakteristik kecepatan aliran disungai tidak jauh berbeda dengan karakteristik kecepatan air di suatu saluran. Distribusi aliran secara verikal adalah parabola pempat karena aliran disungai pada umumnya adalah trambulen seperti halnya di saluran. Kecepatan di dekat permukaan adalah maksimum dan kecepatan di dasar sungai adalah nol atau mendekati nol. Pada sungai yang alamiah, distribusi kecepatan arah horizontal tidak teratur. Gambar 4 berikut ini adalah contoh garis-garis distribusi kecepatan (isovel) pada suatu aliran sungai.



Gambar 2. Distribusi kecepatan dan isovel suatu tampang sungai alamiah (Sumber : Maryono, 2008) .

Untuk menentukan kecepatan rata-rata  $V_m$  saluran sungai atau saluran berlaku rumus-rumus dasar hidrolika sebagai berikut:

$Q =$

$V_1.A_1=V_2.A_2,V_m=Q/A.....(1)$

$$V = C;\sqrt{(R.I)}$$

$$C = K_{st}.R^{(1/6)}$$

$$V = K_{st}.R^{(2/3)}.I^{(1/2)}$$

$$K_{st} = 1/n$$

Dimana :

Q = Debit (m/detik)

V = Kecepatan rata-rata antara (m/detik) pada kontrol volume

R = Jari-jari hidrolis (m)

I = Kemiringan sungai

C = Koefisien Chezy

n = Koefisien kekasaran dinding (Koefisien Manning)

Kst = Koefisien Stickler

V1 dan V2 = Kecepatan rata-rata (m/detik) pada potongan 1 dan 2

A1 dan A2 = Luas penampang sungai (m<sup>2</sup>) pada potongan 1 dan 2

Semakin tidak teratur penampang sungai semakin tidak seragam distribusi kecepatan diseluruh tampang melintang sungai tersebut. Sehingga kecepatan rata-rata secara dapat mempunyai besar dengan kecepatan rill yang ada. Besarnya kecepatan rata-rata secara kasar dapat ditentukan dengan mengukur kecepatan di permukaan air. Tabel 1 dapat dipakai sebagai pendekatan kasar untuk menghitung besarnya kecepatan rata-rata  $V_m$ , jika kecepatan air permukaan  $V_0$ , max diketahui (Misanya dengan pengukuran sederhana, dengan pelampung ukur). Ketidak seragaman distribusi kecepatan air ini merupakan salah satu penyebab adanya turbulen mikro dan makro serta aliran

sekunder pada sungai. Aliran tak teratur ini juga menyebabkan terjadinya berbagai bentuk memanjang sungai seperti meander, bar, riffle, formasi ring, dan dasar sungai, rill (garis-garis memanjang didasar sungai), dan lain-lain. Pada hidrolika sungai dapat dipakai juga kaidah Bernouli yang dijabarkan dengan rumus sebagai berikut :

$$hE = h + \frac{V_m^2}{2g} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

$hE$  = Tinggi energi (m)

$g$  = Gravitasi (m/detik)

$h$  = Kedalaman air (m)

$V_m$  = Kecepatan rata-rata (m/detik)

Aliran air pada sungai dimungkinkan ada kondisi meluncur (superkritis) atau mengalir (sub kritis). Angka Froude merupakan angka yang dipakai untuk mengidentifikasi jenis aliran tersebut dengan ,menggunakan persamaan berikut.

$$Fr = \frac{V}{V_c} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana :

$V$  = Kecepatan rata-rata pada potongan yang ditinjau (m/detik)

$V_c$  = Kecepatan gelombang permukaan air (m/detik)

Untuk sungai kecil yang berbentuk segi empat, maka Angka Froude dapat ditulis sebagai berikut :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}} \quad \dots \dots \dots (4)$$

Dimana :

$h$  = Kedalaman air rata-rata (m)

$g$  = Gravitasi (m.detik)

$V$  = Kecepatan rata-rata air (m/detik)

Keadaan aliran diantara saluran terbuka dipengaruhi oleh kekentalan dan gaya berat yang berhubungan dengan gaya inersia dari aliran. Berdasarkan pengaruh kekentalan inersia, aliran dapat merupakan aliran laminar, turbulen dan aliran peralihan. Ketiganya dipengaruhi oleh oleh bilangan Reynolds yang merupakan fungsi dari kecepatan ( $V$ ), Jari-jari hidrolis ( $R$ ) dan kekentalan kinematik. Perbandingan dari gaya inersia terhadap gaya kekentalan kinematik (viskositas kinematik) per satuan waktu dikenal sebagai bilangan Reynolds.

$$Re = \frac{V \cdot R}{\nu} \quad \dots \dots \dots (5)$$

Dimana :

$V$  = Kecepatan aliran (m/s)

$R$  = Jari jari hidrolis (m)

$\nu$  = Viskositas kinematik (m<sup>2</sup>/s)

Untuk menghitung kekentalan tergantung pada suhu suatu fluida. Kekentalan kinematik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$V = (1,14 - 0,031(T^{\circ}-15) + 0,00068 (T^{\circ}-15)^2)10^{(-6)}$$

.....(6)

## 2. Analisa Debit (Q)

Debit adalah satuan besaran air yang keluar dari Daerah Aliran Sungai (DAS). Debit aliran adalah laju aliran air (dalam bentuk volume air) yang melewati suatu penampang melintang sungai per satuan waktu (Asdak,2002). Metode penelitian meliputi pengukuran langsung dilapangan. Pengukuran langsung di lapangan meliputi pengukuran lebar,tinggi air, tinggi saluran dan sisi miring.

Debit air sungai merupakan tinggi permukaan air sungai yang terukur oleh alat ukur permukaan air sungai (Mulyono, 2007).Debit adalah suatu koefesien yang menyatakan banyaknya air yang mengalir dari suatu sumber persatuan waktu, biasanya diukur dalam satuan liter per/detik, untuk memenuhi keutuhan air pengairan, debit air harus lebih cukup untuk disalurkan ke saluran yang telah disiapkan (Dumiary,1992).

Pengukuran debit dapat dilakukan dengan berbagai macam cara yaitu (Arsyad,1989)

- a. Pengukuran volume air sungai .

Pengukuran debit dengan cara mengukur kecepatan aliran dan menentukan luas penampang melintang sungai.

- b. Pengukuran dengan menggunakan bahan kimia yang dialirkan dalam sungai.

- c. Pengukuran debit dengan membuat bangunan pengukur debit.

Adapun metode pengukuran debit yang digunakan yaitu dengan cara mengukur kecepatan aliran dan menentukan luas penampang melintang dari sungai tersebut. Selanjutnya, dari hasil pengambilan data di lapangan, dilakukan pengolahan data untuk mengetahui besarnya debit air yang melalui downstream sungai tersebut.

Untuk mendapatkan nilai debit yang lewat pada suatu periode tertentu, maka dilakukan metode dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = V \cdot A \quad (7)$$

Dimana :

Q = Debit Aliran (m<sup>3</sup>/detik)

V = Kecepatan aliran (m/detik)

A = Luas Penampang Sungai (m<sup>2</sup>)

#### D. Karakteristik Sedimen

Karakter sedimen dalam terhadap aliran air dapat dijelaskan dengan mengetahui pertama bagaimana gerakan jatuh sedimen (kecepatan pengendapan = settling velocity) dengan adanya aliran air. Kedua bagaimana

aliran dapat menggerakkan partikel sedimen. Ketiga bagaimana pengaruh gerakan satu partikel sedimen terhadap partikel sedimen lainnya terkait dengan uniformitas dan faktor bentuk butirannya. Keempat bagaimana butiran sedimen terdistribusi pada arah vertical. Dan terakhir adalah bagaimana gerakan partikel tersebut akan membentuk formasi dinamis untuk meningkatkan stabilitas bentuk dasar sehingga kekasaran total dasar sungai akan meningkat. Kekasaran total=kekasaran karena butiran (skin friction) ditambah kekasaran formasi sedimen (tekanan bentuk dasar/formasi misal ripple, dune, bar).

Yang masih kurang mendapat perhatian adalah bagaimana kecepatan pergeseran formasi dasar dapat digunakan untuk menghitung angkutan sedimen dimana sudah ada teori tentang ini tetapi saat ini belum ada lagi yang mengembangkannya terutama dari sisi pengukuran.

Gerakan partikel dalam air dipengaruhi oleh karakter dari butiran partikel tersebut, karakter dari fluida, dan karakter/jenis dari alirannya. Jika partikel sedimen dalam air bergerak, maka terjadi geseran (gaya seret) antara permukaan partikel dengan fluida di sekelilingnya, yang arahnya berlawanan dengan gerakan. Besar gaya seret ini dipengaruhi oleh faktor bentuk (corey shape factor) dan tekstur dari permukaan partikel, sedangkan karakter fluidanya adalah kekentalan fluida yang merupakan fungsi dari suhu.

Karakter aliran dalam hal ini ada dua, yaitu kondisi laminar dimana perambatan geseran arah vertikal antar partikel fluida relatif kecil sehingga geseran akan merupakan lapis-lapis dari partikel fluida, pada kondisi ini

tekanan antara lapisan-lapisan relatif kecil. Kondisi ini disebut laminar (geseran laminar). Sedangkan kemampuan transfer geseran antara partikel fluida disebut kekentalan fluida. Semakin kental (viskositas  $\mu$  kecil) akan memungkinkan selisih kecepatan ( $du/dy$ ) yang besar antara lapisan-lapis fluida, sehingga rambatan geseran lapis-lapis pada arah vertikal  $y$  menjadi lebih sempit.

Kondisi berikutnya adalah jika geseran antara partikel fluida cukup besar sehingga terjadi perbedaan tekanan antara partikel fluida dalam lapisan-lapis geseran tersebut. Dengan demikian partikel fluida tidak hanya bergerak ke arah aliran, akan tetapi juga pada arah radial sesuai dengan kondisi tekanan dinamis antara lapisan-lapis sekitarnya. Kondisi ini disebut aliran turbulen dimana energi aliran tidak hanya pada arah aliran, akan tetapi juga pada radial secara dinamis. Aktifitas ini yang meningkatkan kehilangan energi lebih besar (kehilangan energi karena turbulensi). Pada aliran yang lebih kental memungkinkan perbedaan kecepatan yang besar antar lapisan sehingga rambatan geser (viskositas) fluida berkurang.

Pada suhu yang lebih tinggi partikel fluida akan lebih renggang sehingga menjadi lebih kental dan viskositas menjadi turun. Geseran tersebut diatas dalam tinjauan sedimentasi ini dipicu oleh perbedaan kecepatan antara fluida dengan butiran sedimen. Baik pada saat gerakan tenggelam partikel sedimen seperti yang menjadi bahasan, ataupun gerakan air yang menggerakkan butiran sedimen.

Kekentalan fluida mempengaruhi bagaimana trayektori alirannya, pada butiran kecil yang mengendap dengan lambat menyebabkan geseran laminar, Sedangkan pada butiran besar seperti kerikil sudah cukup besar hingga terbentuk turbulensi dibelakangnya. Turbulensi ini turut mengurangi kecepatan pengendapan.

### 1. **Formasi Dasar Saluran**

Interaksi antara sedimen dengan aliran dapat dilihat dari adanya perubahan pada formasi dasar misalnya, ripples, dunes, antidunes dan bars. Bentuk bentuk ini dipengaruhi dari material dasar berupa ukuran dan komposisinya, angka Froude aliran, kemiringan saluran dan kompleksitas arah aliran.

Angka Froude merupakan rasio antara inersia fluida dengan gaya gravitasi. Jika angka froude kurang dari satu maka pengaruh inersia terhadap gelombang air tidak besar, sedangkan jika sama dengan satu dikatakan kondisi kritik, dan jika lebih besar dari satu akan menghentikan perambatan gelombang air ke hulu . Pada Formasi sungai ini selanjutnya akan mempengaruhi rata-rata alirannya.

### 2. **Klasifikasi dan geometri formasi**

Berbagai bentuk konfigurasi/formasi dari dasar sungai membentuk kekasaran dan melawan aliran dari saluran. Menurut Julien formasi dasar sungai umumnya ditentukan dari kemiringan energi, kedalaman aliran, ukuran partikel dan kecepatan endap partikel.

Berdasarkan regim aliran yaitu subkritik (lower flow regime) akan memiliki bentuk mulai ripple hingga dune, transisi (transition zone) memiliki bentuk mulai dari dune, plane bed hingga antidune, dan superkritik (upper flow



regime) mulai dari plane bed, antidune, breaking antidunes hingga chute and pools.

Gambar 3. Klasifikasi jenis formasi dasar saluran

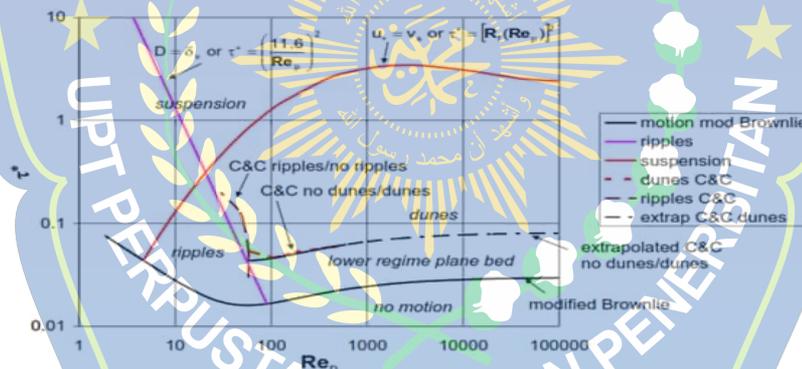
Dasar rata (plane bed) adalah saluran tanpa formasi. Ripple adalah formasi kecil berbentuk gelombang dengan tinggi kurang dari 0.1 feet (3,05 cm) dengan bentuk hampir segitiga hingga hampir sinusoidal. Dunes lebih besar dari ripple dan bentuknya tidak sefase dengan muka alirannya (subkritik), dengan kemungkinan terjadi surface boil pada depan gelombangnya. Dengan meningkatnya aliran maka formasi kembali menjadi dataran yang bergerak, hingga ketika aliran menjadi superkritik dapat terbentuk antidune (antidune

standing wave) dimana jika masuk ke wilayah subkritik akan terjadi standing wave hingga breaking wave dengan formasi chute and pool.

Chabert and Chauvin (1963) dalam eksperimennya memberikan batasan terjadinya Ripple yang sangat mirip dengan yang disampaikan Engelund and Hansen (1967). Dimana mereka memberikan kriteria batas antara regim bawah formasi datar dan formasi dune dengan perkiraan persamaan.

$$\tau^* \cong 2.72 \tau_c^*$$

Dan  $\tau_c^*$  adalah tegangan geser kritis modifikasi Shield-Brownlie, Dari rumusan ini dalam batas material kasar  $Re_p \gg 1$  (gravel bed stream) dune



tidak akan terbentuk hingga  $\tau^*$  melampaui 0.0816.

Gambar 4. Klasifikasi formasi dasar Chabert and Chauvin (1963)

### 3. Angka kekasaran formasi

Formasi dari saluran pada gilirannya mempengaruhi alirannya dengan perubahan kekasaran sesuai dengan ukuran dari formasinya. Einstein (1950), Einstein dan Barbarossa (1952) menyatakan dengan adanya formasi pada dasar saluran, maka kehilangan energi dari saluran akan lebih banyak terjadi pada kaki formasi dibandingkan dengan akibat kekasaran dari butirannya.

Dimana hanya kehilangan energi oleh permukaan saja yang berperan dalam angkutan sedimen. Selanjutnya kekasaran akan dibagi menjadi dua, yaitu karena kekasaran permukaan (skin) dan karena formasi (form), dan dapat dirumuskan dalam tegangan geser pada dasar (bed), koefisien chezy, kedalaman.

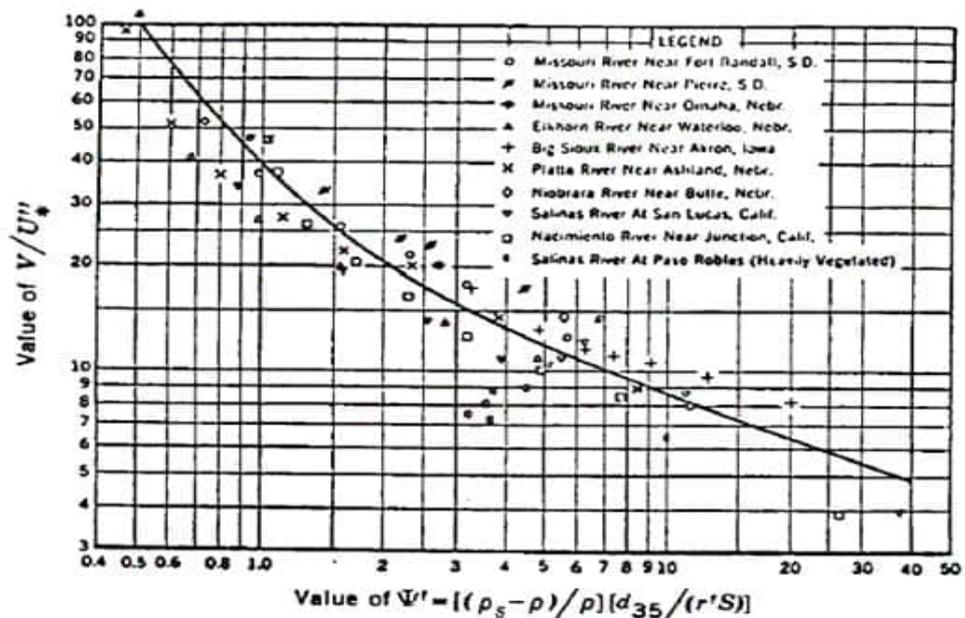
$$\tau_b = \tau_{bf} + \tau_{bs}$$

Jika bentuk formasi diketahui di awal maka mudah digambarkan adanya tegangan oleh butiran dan tegangan oleh formasi (form drag) (Zhou Liu, 2001).



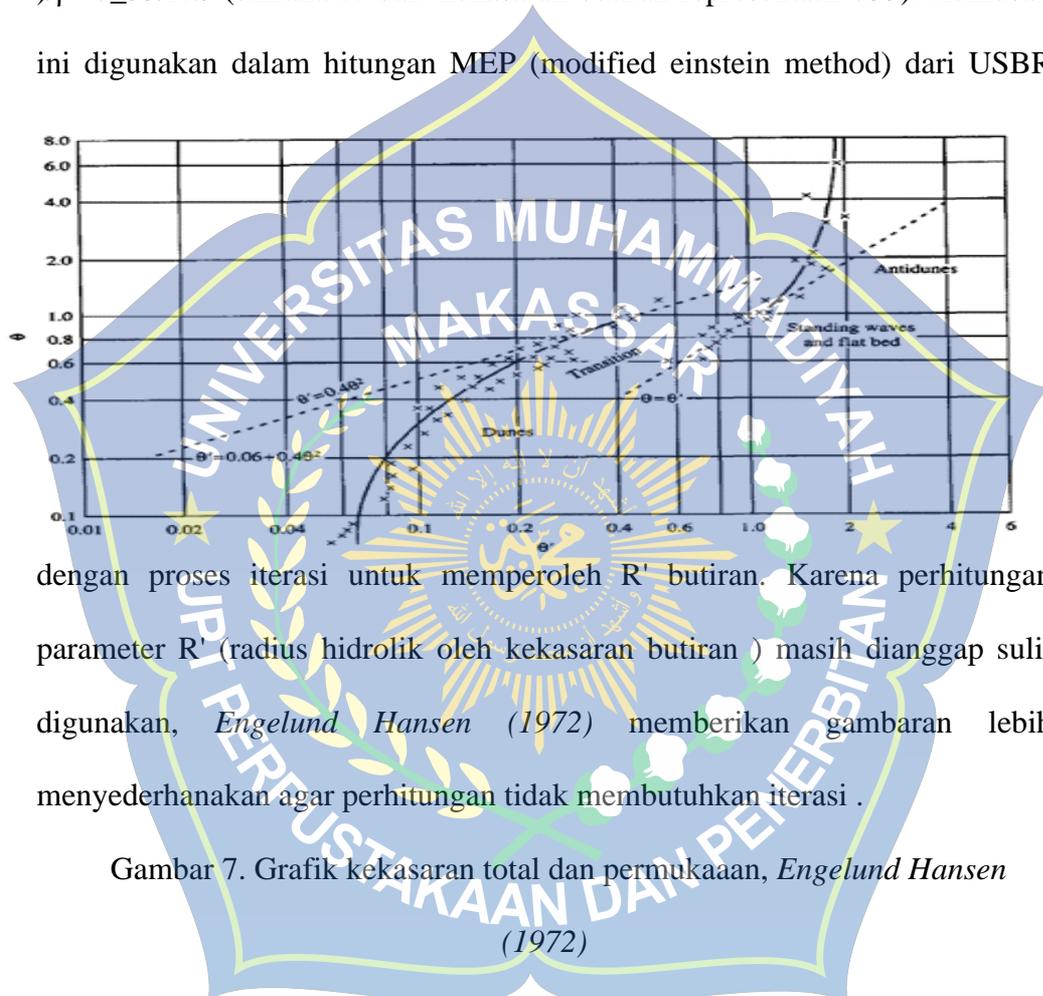
Gambar 5. Profil tegangan geser pada dasar saluran dengan formasi

Pada umumnya dalam hitungan bentuk formasi tidak diketahui sehingga sulit menghitung pembagian kekasarannya. Selanjutnya Einstein dan Barbarosa (1952) menggambarkan hubungan kekasaran formasi dengan



kekasaran butiran dalam grafik berikut.

Gambar 6. Grafik kekasaran formasi dengan kekasaran permukaan (butiran) dimana parameter  $U/U^*$  ( $U^*$  kecepatan geser dari formasi) dan  $\psi' = \rho(s - \rho) / \rho d_{35} / R'S$  (dimana  $R'$  dari kekasaran butiran representatif  $d_{35}$ ). Rumusan ini digunakan dalam hitungan MEP (modified einstein method) dari USBR



dengan proses iterasi untuk memperoleh  $R'$  butiran. Karena perhitungan parameter  $R'$  (radius hidrolis oleh kekasaran butiran) masih dianggap sulit digunakan, *Engelund Hansen (1972)* memberikan gambaran lebih menyederhanakan agar perhitungan tidak membutuhkan iterasi.

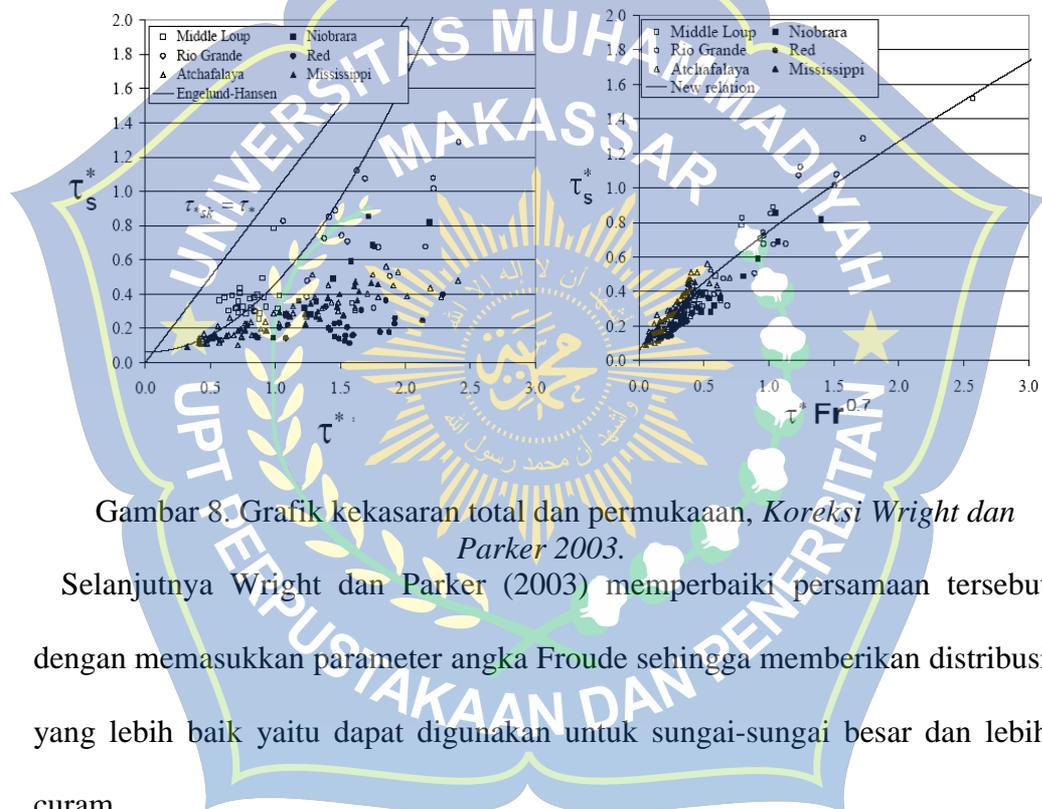
Gambar 7. Grafik kekasaran total dan permukaan, *Engelund Hansen (1972)*

formasi dune dapat meningkatkan tegangan bed form ( $\tau^{*b}$ ) hingga kondisi transisi pada formasi washed out dune dan formasi flat bed terjadi drop (discontinue) naik lagi setelah terbentuk antidune mendekati formasi sandwave ( $\tau^{*b} \approx 2$ ). Lebih dari itu persamaan ini tidak berlaku lagi.

Karena lebih praktis maka grafik ini lebih populer digunakan (WMO No 948 YangXiaoqing 2003) dengan persamaan pendekatan adalah

$$\tau_s^* = 0.06 + 0.4 (\tau^*)^2$$

Dengan demikian tegangan geser butiran dapat langsung diperoleh dari tegangan geser total. Perker menunjukkan kekurangan dari persamaan Engelund Hansen dimana hanya berlaku pada regim bawah (sub kritis). Kekurangan ini dapat terlihat jelas jika menggunakan kurva non logaritmik.



Gambar 8. Grafik kekasaran total dan permukaan, *Koreksi Wright dan Parker 2003*.

Selanjutnya Wright dan Parker (2003) memperbaiki persamaan tersebut dengan memasukkan parameter angka Froude sehingga memberikan distribusi yang lebih baik yaitu dapat digunakan untuk sungai-sungai besar dan lebih curam.

$$\tau_s^* = 0.05 + 0.4 (\tau^* Fr)^{0.7} \cdot Fr^{0.8}$$

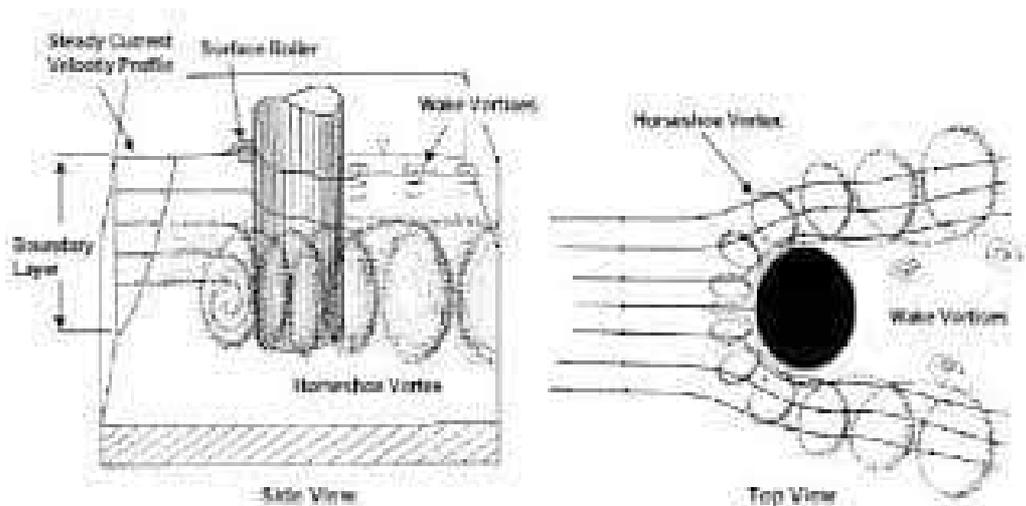
Kelemahan dari persamaan yang baru ini sulit melihat transisi formasi, yaitu sama seperti halnya pada grafik einstein barbarossa.

## E. Mekanisme Gerusan

Proses gerusan dimulai pada saat partikel yang terbawa maka aliran bergerak mengikuti pola aliran bagian hulu ke bagian hilir. Pada kecepatan yang lebih tinggi maka partikel yang terbawa akan semakin banyak dan gerusan akan semakin besar, baik ukuran maupun kedalamannya. Kedalaman maksimum gerusan akan dicapai pada saat kecepatan kritis. Komponen-komponen dari pola aliran adalah arus bawah didepan pilar, pusaran tapal kuda (*horse shoes vortex*). Pusaran yang terangkat (*cast-off vortices*) dan menjalar (*wake*), dan busur ombak (*bow wave*).

Bila struktur ditempatkan pada suatu arus air disekitar struktur akan berubah dan gradien kecepatan vertikal (*vertical velocity gradient*) dan aliran akan berubah menjadi gradien tekanan (*pressure gradient*) merupakan hasil dari aliran aliran bawah ini membentuk pusaran yang pada akhirnya menyapu sekeliling dan bagian bawah struktur dengan memenuhi seluruh aliran. Hal ini dinamakan pusaran tapal kuda (*horse shoes vortex*), karena dilihat dari atas bentuk pusaran ini mirip tapal kuda.

Pada permukaan air, ineraksi aliran dan srtuktur membentuk busur ombak (*bow wave*) yang disebut sebagai gulungan permukaan (*surface roller*). Pada saat terjadi pemisahan aliran struktur bagia dalam mengalami *wake vortices*.



*Gambar9. Mekanisme gerusan akibat pola aliran air disekitar pilar  
(sumber: Sarra Rahmadani, Ir Terunajaya, M.Sc)*

Gerusan lokal (*local scouring*) ini merupakan gerusan yang terjadi di sekitar abutmen jembatan atau pilar, disebabkan oleh pusaran air (*vortex system*) karena adanya gangguan pada pola aliran akibat rintangan. Menurut (Ariyanto, 2010) peristiwa gerusan lokal selalu akan berkaitan erat dengan fenomena perilaku aliran sungai, yaitu hidraulika aliran sungai dalam interaksinya dengan geometri sungai, geometri dan tata letak pilatr jembatan, serta karakteristik tanah dasar dimana pilar tersebut dibangun.

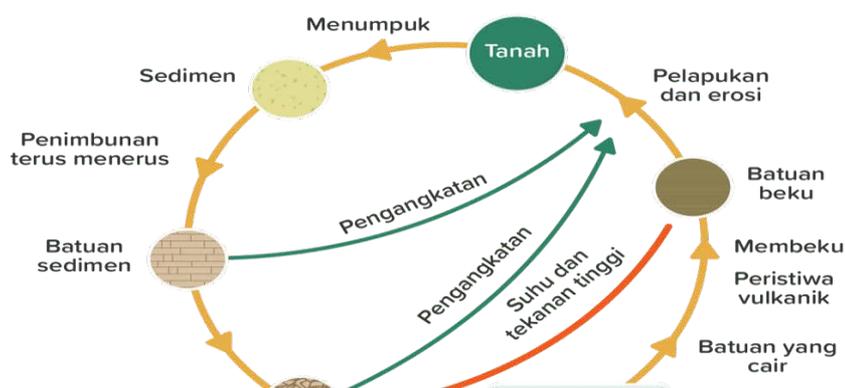
Pilar merupakan bagian struktur bawah jembatan yang berfungsi sebagai penumpu dari jembatan tersebut perubahan pola aliran mengakibatkan adanya gerusan yang terjadi di sekitarnya. Bahwa dengan adanya perbedaan pilar akan menghasilkan gerusan yang berbeda pula, penambahan kedalaman gerusan terjadi pada saat menit-menit awal dengan penambahan yang besar, seiring dengan lamanya waktu kedalam gerusan tersebut menjadi kecil ini menandakan bahwa dengan debit tertentu, semakin lama kedalam gerusan akan semakin kecil (Prabowo, 2015). Semakin besar untuk sudut yang terjadi terhadap arah aliran, maka semakin besar kedalaman gerusan yang terjadi di sisi pilar (Ihsan & Hidayat, 2006).

Gerusan lokal di sekitar bangunan selanjutnya dapat dibedakan menjadi gerusan dengan air bersedimen (*live-bed scour*) dan gerusan dengan air bersih (*clear water scour*). Gerusan dengan air bersih berkaitan dengan suatu keadaan dimana dasar sungai di sebelah hulu bangunan dalam keadaan diam (tidak ada material yang terangkut), atau secara teoritik ( $t_0 < t_c$ ) dimana  $t_0$  adalah tegangan geser yang terjadi, sedangkan  $t_c$  adalah tegangan geser kritis dari butiran dasar sungai.

## F. Angkutan Sedimen

### 1. Sedimen

Sedimen adalah hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya. Sedimen umumnya mengendap di bagian bawah kaki bukit di daerah genangan banjir, saluran air, sungai, dan waduk sedangkan sedimentasi adalah proses mengendapnya material fragmental oleh air sebagai akibat dari adanya erosi. Proses mengendapnya material tersebut yaitu proses terkumpulnya butir-butir tanah yang terjadi karena kecepatan aliran air yang mengangkut bahan sedimen mencapai kecepatan pengendapan (*settling velocity*). Proses sedimentasi dapat terjadi pada lahan-lahan pertanian maupun di sepanjang dasar sungai, dasar waduk, muara dan sebagainya.



Gambar 10. Siklus terjadinya sedimen (*sumber : Tambanga, 2008*).

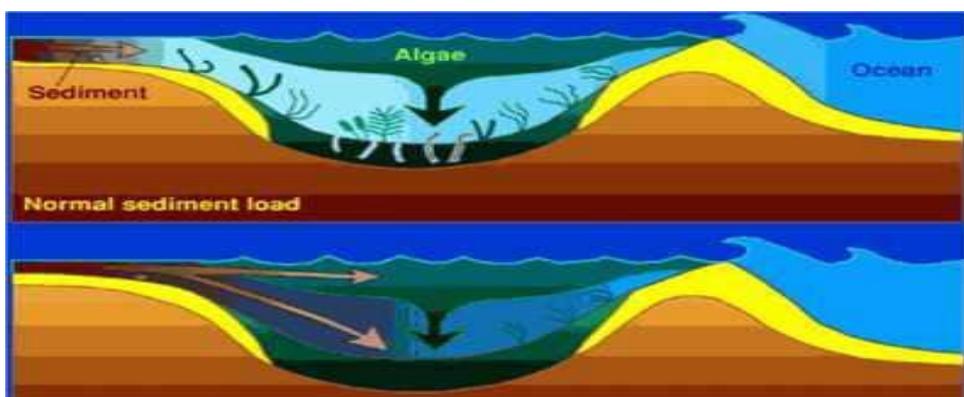
Berdasarkan proses terjadinya erosi tanah dan proses sedimen, maka proses terjadinya sedimen dapat dibedakan menjadi dua bagian yaitu:

a. Proses sedimen secara geologis (normal)

Proses erosi tanah dan sedimen yang berjalan secara normal atau berlangsung secara geologi, artinya proses pengendapan yang berlangsung masih dalam batas-batas yang diperkenankan atau dalam keseimbangan alam dari proses degradasi dan akumulasi pada permukaan bumi akibat pelapukan.

b. Proses sedimen dipercepat

Proses terjadinya sedimen yang menyimpang dari proses secara geologi dan berlangsung dalam waktu yang cepat, bersifat merusak atau merugikan dan dapat mengganggu keseimbangan alam atau kelestarian lingkungan hidup. Kejadian tersebut biasanya disebabkan oleh kegiatan manusia dalam mengolah tanah yang salah dapat menyebabkan erosi tanah dan sedimen yang tinggi.



Gambar 11. Proses sedimen normal dan sedimen dipercepat

(sumber : *swwtc.wsu.edu,2000*)

## 2. Faktor-Faktor yang mempengaruhi sedimen

Proses terjadinya sedimen merupakan bagian dari proses erosi tanah. Timbulnya bahan sedimen adalah sebagai akibat dari erosi tanah yang terjadi. Proses erosi dan sedimen di Indonesia yang lebih berperan adalah faktor air, sedangkan faktor angin relative kecil, faktor-faktor yang mempengaruhi sedimen yaitu:

- a. Iklim
- b. Tanah
- c. Topografi
- d. Tanaman
- e. Macam penggunaan lahan
- f. Kegiatan manusia
- g. Karakteristik hidrolika sungai
- h. Karakteristik penampung sedimen, check dam dan waduk
- i. Kegiatan gunung berapi

## 3. Mekanisme Pola Gerakan Pengangkutan Sedimen

Mekanisme pengangkutan butir-butir tanah dibawa dalam air yang mengalir dapat digolongkan, menjadi beberapa bagian sebagai berikut:

a. *Wash load Movement*

Butir-butir tanah yang sangat halus berupa Impur yang bergerak bersama sama dalam aliran air, konsentrasi sedimen merata di semua bagian pengaliran, bahan *wash load* pelapukan lapisan permukaan tanah yang menjadi lepas berupa debu-debu halus selama musim kering. Debu halus ini selanjutnya dibawah masuk ke saluran atau sungai baik oleh angin maupun oleh air hujan yang turun pertama pada musim hujan, sehingga sedimen pada awal musim hujan lebih banyak dibandingkan dengan keadaan lain.

b. *Suspended Load Movement*

Butiran-butiran tanah bergerak melayang dalam aliran air. Gerakan butiran-butiran tanah ini terus menerus dikompresir oleh gerak turbulensi aliran sehingga butir-butir tanah bergerak melayang di atas saluran. Bahan *suspended load* terjadi dari pasir halus yang bergerak akibat pengaruh turbulensi aliran, debit, dan kecepatan aliran. Semakin besar debit maka semakin besar pula angkutan *suspended load*.

c. *Saltation Load Movement*

Pergerakan butiran-butiran tanah yang bergerak dalam aliran air antara pergerakan *suspended load* dan *bead load*. Butiran-butiran tanah bergerak secara terus menerus meloncat-loncat (*skip*) dan melambung (*bounce*) sepanjang saluran tanpa menyentuh dasar saluran. Bahan-bahan *saltation load* terdiri dari pasir halus sampai dengan pasir kasar.

d. *Bead Load Movement*

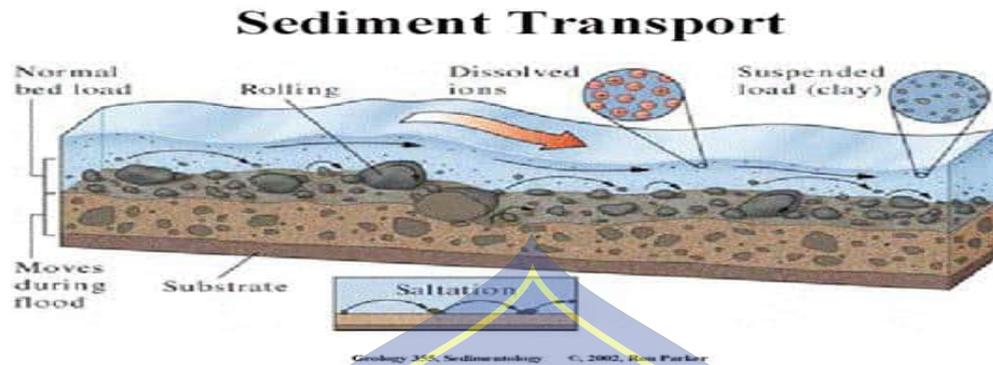
Merupakan angkutan butir-butir tanah berupa pasir kasar (*coarse sand*) yang bergerak secara menggelinding (*rolling*), Mendorong dan menggeser (*pushing and sliding*) terus menerus pada dasar aliran yang pergerakannya dipengaruhi oleh adanya gaya seret (*drag force*) aliran yang bekerja diatas butiran-butiran tanah yang bergerak.



Gambar 12. Pola Gerakan Sediment dalam Air (Sumber : Aditya, 2003)

### G. Persamaan Angkutan Sedimen

Transport sedimen merupakan interaksi antara aliran air dan material dasar saluran sehingga merupakan proses yang kompleks.



Gambar 13. Model angkutan sedimen (Ron Parker 2002)

Transport sedimen dapat dibedakan dari cara Bergeraknya yaitu:

1. Sedimen dasar (bed load) yaitu Bergerak dengan mekanisme bergeser (sliding), berguling (rolling), dan meloncat loncat (saltation) dimana untuk selang waktu yang relatif kecil tiap butiran selalu pernah berada di dasar saluran.
2. Sedimen suspensi yaitu Bergerak dengan cara melayang mengikuti aliran mulai dari suatu batas dekat dasar (asumsi batas bawah suspensi berjarak  $a$  dari dasar) hingga permukaan aliran.
3. Wash load adalah bagian sedimen suspensi yang sangat kecil dan asalnya bukan dari material dasar, selalu Bergerak dalam suspensi dan selama konsentrasinya kecil biasanya dapat diabaikan dalam hitungan.

Gaya atau energi yang memberikan kontribusi terbesar adalah dari aliran air (tegangan geser) terutama untuk angkutan sedimen dasar (bed load), selanjutnya turbulensi aliran berperan dalam membentuk angkutan sedimen melayang (suspensi). Pada perhitungan angkutan sedimen dasar dapat dihitung dengan tiga persamaan di bawah ini:

**a) Persamaan Van Rijn**

Menurut Van Rijn, angkutan sedimen dasar dapat dianalisa cukup akurat

dengan dua parameter yang tak berdimensi (dimensionless parameters) yang dikemukakan oleh Ackers White dan Yalin, yaitu:

- Parameter partikel (particle parameter)

$$D_* = D_{50} \left( \frac{\rho - 1g}{\nu^2} \right)^{1/3} \dots\dots\dots(15)$$

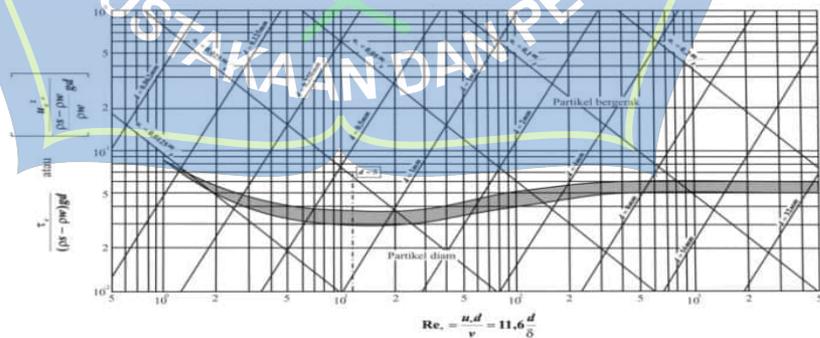
Dengan  $D_*$  parameter partikel,  $D_{50}$  = ukuran partikel (m),  $g$  = percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ (m/det}^2)$ )  $\rho$  = spesifik density dan  $\nu$  = koefisien kekentalan kinematik ( $1.10^{-6} \text{ m}^2/\text{det}$ ).

- Stage Parameter

$$T = \frac{(u_{*CR})^2 - (u'_*)^2}{(u_{*CR})^2} \dots\dots\dots(16)$$

$$u_* = \left( \frac{g^{1/2}}{C'} \right) u \dots\dots\dots(17)$$

dengan  $u'_*$ = kecepatan geser dasar berhubungan dengan butiran partikel (m/det),  $u_{*CR}$ = kecepatan geser dasar kritis menurut Shield (m/det),  $T$ = Stage parameter,  $C'$ = koefisien Chezy dan  $u$  = kecepatan aliran rata-rata (m/det). Kecepatan geser dasar kritis ( $u_{*CR}$ ) dapat dihitung dengan diagram yang diberikan oleh Shield.



Gambar 12. Grafik kecepatan geser dasar kritis menurut Shield

Untuk  $C'$  dihitung dengan persamaan:

$$C' = 18 \log \left( \frac{12 R}{3 d_{90}} \right) \dots\dots\dots(18)$$

dengan  $R$  = jari-jari hidrolis (m) dan  $d_{90}$ = ukuran partikel sedimen (m).

Angkutan sedimen dasar (bed load) per satuan lebar sungai dapat dihitung dengan persamaan:

$$qb = \frac{0.053 T^{2.1} [(s-1)g]^{0.5} D_{50}^{1.5}}{D_*^{0.3}} \dots\dots\dots (19)$$

#### b) Persamaan Rottner

Rottner (1959) mendapatkan suatu persamaan untuk menyatakan aliran sedimen dasar dalam suku-suku parameter aliran yang didasarkan atas pertimbangan dimensi dan analisis regresi. Berdasarkan data yang dihimpun oleh Jhonson (1943), Rottner menggunakan analisis regresi untuk menghasilkan efek parameter kekasaran relative  $d_{50}/D$ . Persamaan Rottner dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$q_b = \gamma_s \sqrt{(\zeta_s - 1)g} D^3 \left( \frac{V}{\sqrt{(\zeta_s - 1)gD}} (0.667 \left(\frac{D_{50}}{D}\right)^{2/3} + 14) + 0.778 \left(\frac{D_{50}}{D}\right)^{2/3} \right) \dots (23)$$

Dengan  $q_b$ = debit muatan bed load (m<sup>3</sup>/det),  $\rho_s$ = rapat massa sedimen (kg/m<sup>3</sup>),  $\zeta_s$ = gravitasi spesifik sedimen(kg/m<sup>2</sup>),  $g$ = gravitasi (m/s),  $V$ = kecepatan rata-rata (m/s) dan  $d_{50}$ = diameter partikel sedimen yang 50% lolos saringan (m).

#### H. Model Numerik (iRIC Nays 2.0 )

Permodelan adalah proses untuk membuat sebuah model dari sistem. Model adalah representasi dari sebuah bentuk nyata, sedangkan sistem adalah saling keterhubungan antar elemen membangun sebuah kesatuan, biasanya dibangun untuk mencapai tujuan tertentu. Tujuan suatu permodelan adalah untuk menganalisa dan memberi prediksi yang dapat mendekati kenyataan sebelum sistem diterapkan di lapangan. Kesulitan untuk memprediksi dan mengamati proses tertentu pada lapangan akan menjadi persoalannya, dimana model dapat memformulasikan sebuah proses tertentu namun tidak memungkinkan untuk melakukan analisa untuk mendapatkan solusi tepat sehingga perlu dilakukan lagi

perbandingan atau validasi. Dalam analisa aliran dan gerusan yang terjadi pada sekitar pilar dapat dimodelkan dengan dua cara, yaitu permodelan fisik dan permodelan komputasi/numerik (Hastuti, 2011) dan (Mukti, 2016)

Adanya pilar tersebut menyebabkan perubahan pola aliran seperti kecepatan aliran dan turbulensi, sehingga menimbulkan perubahan transpor sedimen dan terjadinya gerusan. Penelitian mengenai pola aliran dan gerusan lokal khususnya pada pilar jembatan sangat perlu dilakukan. Pada penelitian ini simulasi dibuat dengan menggunakan software iRIC Nays 2.0 yang dibuat oleh Dr. Yasuyuki Shimizu dan Hiroshi Tekebayashi di Hokkaido University, Jepang. Dilakukan perbandingan hasil simulasi menggunakan software iRIC Nays 2.0 dengan model fisik. Perbandingan dilakukan pada tinjauan kecepatan aliran.

iRIC Nays 2.0 adalah model komputasi untuk mensimulasikan aliran memanjang 2 dimensi (2D), angkutan sedimen (sedimen transport), perubahan morfologi dari kedalaman dasar dan erosi sungai iRIC Nays2DH ini merupakan gabungan dari Nays 2D dan Morph2D adalah metode analisa permasalahan perubahan dasar sungai/saluran pada aliran unsteady (aliran tidak tetap) perhitungan dua dimensi dalam arah horizontal. Program/metode perhitungan dikembangkan oleh Hiroshi Takebayashi dari Kyoto University. Persamaan yang digunakan dalam metode tersebut telah ditulis sesuai dengan batas sistem koordinat secara umum di tahun 2009. Metode perhitungan ini digunakan pada iRIC Nays versi 2.0 yang merupakan program software yang dikembangkan oleh RIC (*River Internasional Cooperative*). Beberapa fungsi baru ditambahkan untuk

pengembangan dari versi sebelumnya yang kemudian berkembang menjadi iRIC Nays2DH 2.0.

iRIC Nays 2DH 2.0 dapat menganalisa aliran tidak seragam dan menghasilkan luaran berupa sebaran material dasar sungai secara horizontal. Sebagai tambahan generasi, proses perkembangan dan perpindahan pada ambang sungai dapat dimodelkan, iRIC Nays2DH 2.0 biasanya diaplikasikan/digunakan untuk simulasi sungai alami (Hastuti, 2011 dan Mukti, 2016).

#### 1. Karakteristik model aliran

- a. Sistem kordinat yang digunakan adalah sistem kordinat secara umum, bentuk (batas) sungai yang kompleks dapat dipertimbangkan/dihitung pada permodelan.
- b. Skema TVD- MacCormack (orde ketelitian tingkat 2) biasanya digunakan untuk jangka konfeksi pada persamaan momentum sebagai perbedaan metode yang digunakan.
- c. Model persamaan 0 bisa digunakan untuk perhitungan pada persebaran aliran turbulen.
- d. Kondisi batas spasial meliputi kedalaman air bagian hilir akhir dan debit air pada bagian hulu akhir.
- e. Kedalaman normal rata-rata secara memanjang digunakan sebagai kedalaman air tawar. Kemiringan dasar sungai rata-rata secara longitudinal digunakan untuk menghitung kedalaman normal. Ketika elevasi air mula-mula di dalam grid numerik lebih rendah dari elevasi air mula-mula pada

bagian hilir akan digunakan untuk kondisi awal kedalaman air dalam grid numerik.

- f. Hukum Manning digunakan untuk memperkirakan tegangan geser pada dasar sungai. Angka koefisien Manning dapat didistribusikan secara horizontal.
  - g. Hambatan dalam suatu daerah perhitungan dapat dipertimbangkan berdasar data ketinggian area yang tidak tererosi. Dengan menggunakan data tersebut, pilar pada jembatan dan bangunan lainnya dapat dipertimbangkan dalam perhitungan.
  - h. Tanaman vegetasi dapat diperhitungkan sebagai gaya tarik atau gaya penahan yang bekerja pada arus aliran. Tingkat lapisan yang tertutupi oleh tanaman dan tinggi tanaman dapat digunakan untuk estimasi besarnya gaya tarik atau gaya penahan yang bekerja.
2. Karakteristik pemodelan transport sedimen dan perubahan dasar sungai
- a. Pengguna dapat memilih untuk simulasi/perhitungan aliran air atau simulasi/perhitungan untuk analisa perubahan dasar sungai.
  - b. Pengguna dapat memilih untuk menggunakan simulasi/perhitungan *bed load* atau *bed load + suspended load*.
  - c. Aliran sedimen seragam (*uniform sedimen*) dan tidak seragam (*non-uniform*) dapat disimulasikan. Ketika menggunakan simulasi sedimen tidak seragam (*non-uniform sedimen*), ukuran gradasi butiran/ukuran distribusi sedimen dapat diperhitungkan (dijadikan data input untuk analisa perhitungan simulasi).

- d. Erosi pada bagian tepi sungai dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan sudut sedimentasi yang terbentuk. Ketika kemiringan dasar sungai lokal (di suatu bagian tertentu) lebih besar dari sudut sedimen yang terbentuk, sedimen pada grid numerik yang lebih tinggi akan berpindah ke grid numerik yang lebih rendah untuk menjaga nilai kemiringan dasar sungai lokal lebih kecil dari pada nilai sudut sedimen yang terbentuk.



### BAB III

#### METODE PENELITIAN

##### A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi yang di ambil untuk melakukan penelitian ini berada di sungai Jenelata dengan jarak  $\pm 20$  KM dari kota Makassar yang secara administratif berada di Kecamatan Manuju, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan, dengan letak geografis  $119^{\circ}34'52''$  BT dan  $5^{\circ}15'52''$  LS sebelah utara dari Kota Makassar berjarak  $\pm 20$  KM.



Gambar 15. Lokasi Penelitian (*sumber: google earth*)

## B. Rancangan Model Penelitian

### 1. Jenis penelitian

Pada penelitian ini metode yang dipakai adalah Deskriptif Evaluatif, yaitu metode penelitian yang mengevaluasi kondisi apa adanya pada suatu keadaan yang sedang menjadi obyek studi. Obyek studi yang dimaksud adalah Sungai Jenelata disekitar pilar jembatan.

### 2. Teknik Pengumpulan data

Kebutuhan data dapat di jelaskan bahwa jenis data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data primer dan sekunder. Untuk memperoleh data tersebut, beberapa teknik pengumpulan data yang akan dilakukan dalam studi ini adalah sebagai berikut:

- a. Studi literatur, untuk memperoleh landasaan teoritik mengenai karakteristik aliran sungai disekitar pilar jembatan, selain itu studi literatur juga dilakukan untuk memperoleh gambaran mengenai kondisi eksisting wilayah studi.
- b. Dokumentasi, merupakan teknik pengumpulan data melalui sumber sumber data sekunder. Teknik ini dilakukan dengan cara mencatat dan mempelajari data yang telah tersedia. Teknik dokumentasi ini akan dilakukan di beberapa instansi, antara lain Balai Wilayah Sungai yang akan diteliti, Dinas PU, serta instansi terkait lainnya.
- c. Observasi dan Pengukuran Lapangan, merupakan teknik pengumpulan data dengan cara turun langsung ke lapangan, untuk mengetahui lokasi,

kecepatan aliran, lebar sungai, kedalaman aliran, serta bentuk dan ukuran pilar.

### 3. Alat Penelitian

Untuk memudahkan dalam proses pengambilan data maka digunakan alat-alat sebagai berikut :

#### a. Alat tulis

Alat tulis merupakan alat yang digunakan untuk mencatat data-data yang diperlukan dalam proses pengamatan.



Gambar 16. Alat tulis

#### b. Flowatc15

Flowatch merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran pada sungai yang akan diteliti.



Gambar 17. Rambu Ukur

c. Kamera

Kamera merupakan alat yang digunakan untuk mengabadikan kegiatan pengamatan kedalam bentuk gambar diam atau bergerak.



Gambar 18. Kamera

d. Meter

Meter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur jarak pertitik dalam proses pengambilan data



Gambar 19. Rol Meter

e. Rambu Ukur

Rambu ukur merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kedalaman sungai dalam penelitian.



Gambar 20. Rambu Ukur

f. Stopwatch

Stopwatch merupakan alat yang digunakan untuk mengukur waktu.



Gambar 21. Stopwatch

g. Kalkulator

Kalkulator merupakan alat yang digunakan sebagai alat bantu elektronik dalam menghitung.

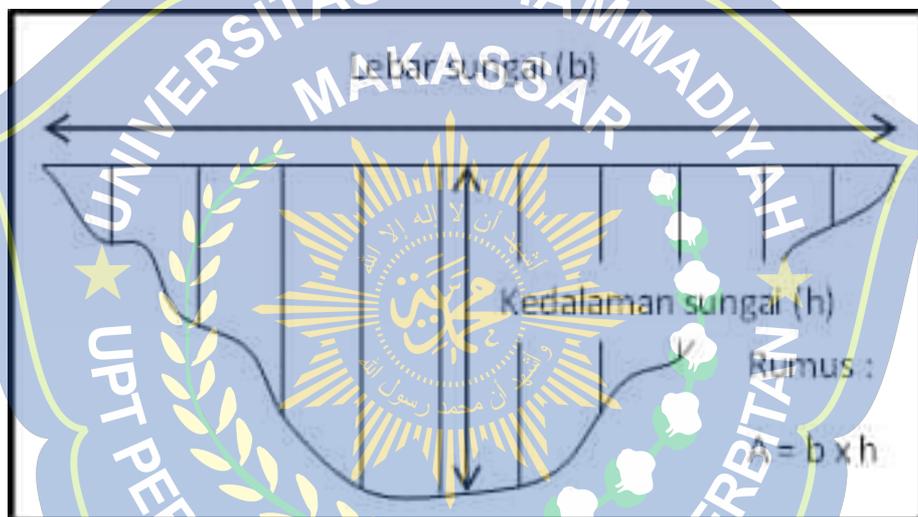


Gambar 22. Kalkulator

### C. Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat-alat yang akan digunakan.
2. Mengukur lebar sungai dengan meter dan mengukur kedalaman sungai dengan bak ukur hingga didapatkan luas penampang sungai dengan hasil perhitungan.



Gambar 23. Luas Penampang Sungai

3. Melakukan pengukuran pilar jembatan.
4. Mengukur tinggi muka air pada titik tinjau yang telah ditentukan sebelum dan setelah melewati pilar jembatan.
5. Pengambilan data kecepatan aliran menggunakan flow wacth pada titik tinjau yang telah ditentukan sebelum dan setelah melewati pilar jembatan.
6. Melakukan perhitungan debit dengan menggunakan nilai dari luas penampang dan kecepatan aliran yang telah di ukur sebelumnya.

7. Hasil pengambilan data di lapangan di masukkan kedalam tabel pengamatan.
8. Setiap pengambilan data didokumentasikan sebagai bukti proses penelitian.

#### **D. Analisa Data**

##### **a. Data Yang Digunakan**

1. Data Luas Penampang Sungai
2. Data Debit Aliran
3. Data Elevasi Muka Air
4. Data Sedimen

Setelah semua data telah diperoleh, selanjutnya dilakukan analisis data sebagai berikut :

##### **1. Menghitung luas penampang sungai (A)**

Luas penampang sungai (A) merupakan penjumlahan seluruh bagian penampang sungai yang diperoleh dari hasil perkalian antara internal jarak horizontal dengan kedalaman air. Luas penampang sungai dihitung berdasarkan dimensi sungai yang akan digunakan.

##### **2. Debit aliran (Q)**

Debit aliran didapatkan dengan mengalikan kecepatan aliran dengan luas penampang basah pada saluran.

##### **3. Kecepatan aliran (V)**

Perhitungan kecepatan aliran pada setiap cross section menggunakan alat current meter dengan metode pengambilan kecepatan aliran secara vertical pada kedalaman 0,2 h 0,6 h dan 0,8 h.

### E. Langkah-Langkah Simulasi iRIC Nays2DH 2.0

Langkah-langkah yang dilakukan untuk penelitian yang dilakukan untuk penelitian simulasi konsentrasi pengaruh perbedaan bentuk pilar terhadap gerusan lokal dengan iRIC Nays2DH 2.0 ini adalah sebagai berikut :

#### 1. Langkah *Pre-processing*

- a. Buka software iRIC, klik Membuat Proyek Baru (*Create New Project*)



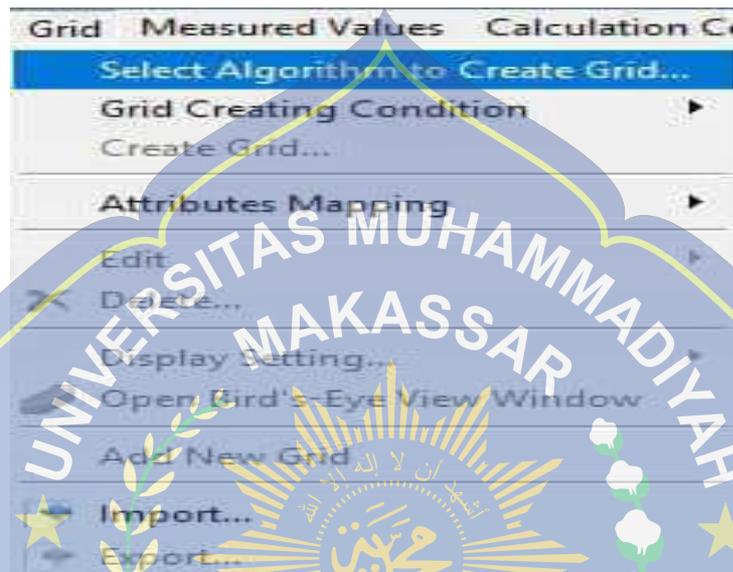
Gambar 24. Tampilan awal software iRIC 2.0

- b. Pilih *Nays2DH iRIC.2.0 64 bit* untuk memodelkan aliran yang terjadi di sekitar pilar, lalu klik *OK*.



Gambar. 25 Tampilan pemilihan Pemecah (*solver*)

- c. Pilih *Grid – Select Algorithm To Create Grid*, untuk mulai menggambar grid yang diinginkan



Gambar 26. Tampilan pemilihan metode pembuatan *grid*



Gambar 27. Tampilan pemilihan tipe *grid line*

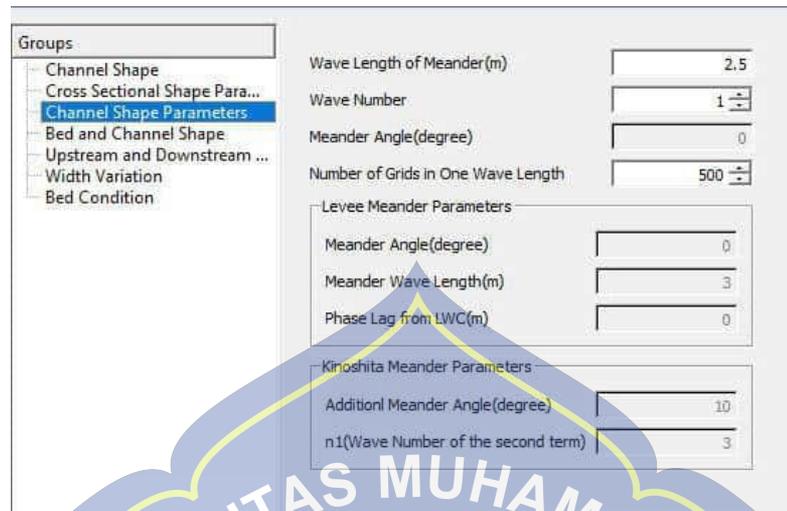
- d. Setelah itu tentukan *Grid Creation*

*Grid Creation* ini untuk membuat penampang secara detail dengan kotal

*pixel* yang dibuat. Semakin banyak membuat kotak tersebut, maka akan semakin detail proses *running*. Klik Pada *Cross Section Shape* untuk merubah lebar penampang dan jumlah kotak (Gambar 19). Untuk merubah panjang penampang dan jumlah kotak pilih *Channel Shape Parameter* (Gambar 20). Untuk memasukan nilai *slope* pilih *bed and channel shape* (Gambar 21). Kemudian klik *create grid*, maka akan muncul tampilan *grid* yang sudah di tentukan (Gambar 22).



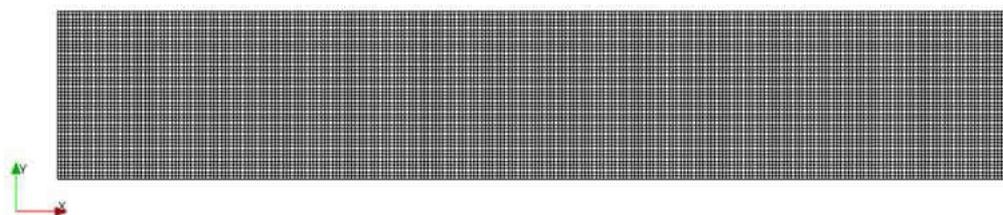
Gambar 28. *Cross Section Shape*



Gambar 29. Channel Shape Parameters

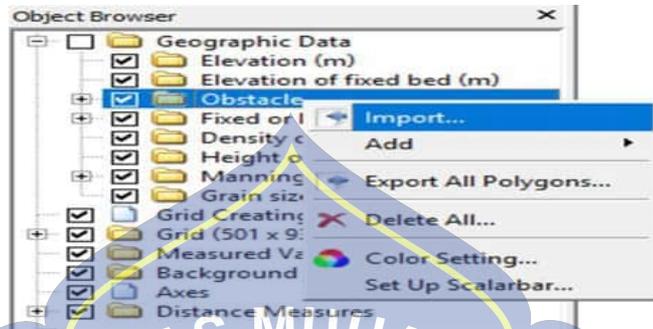


Gambar 30. Bed and Channel Shape



Gambar 31. Tampilan create Grid

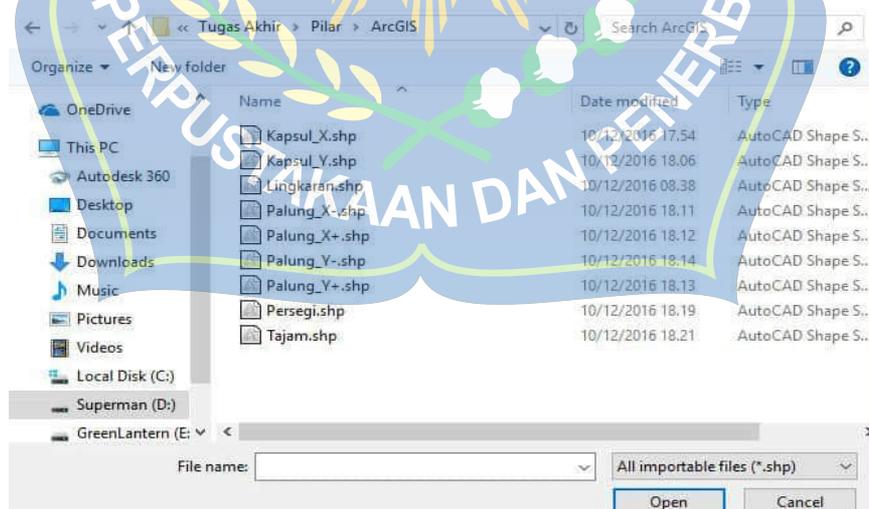
- e. Untuk membuat pilar, klik kanan pada *Obstacle – Import*. Kemudian pilih folder penyimpanan pilar, klik *open*.



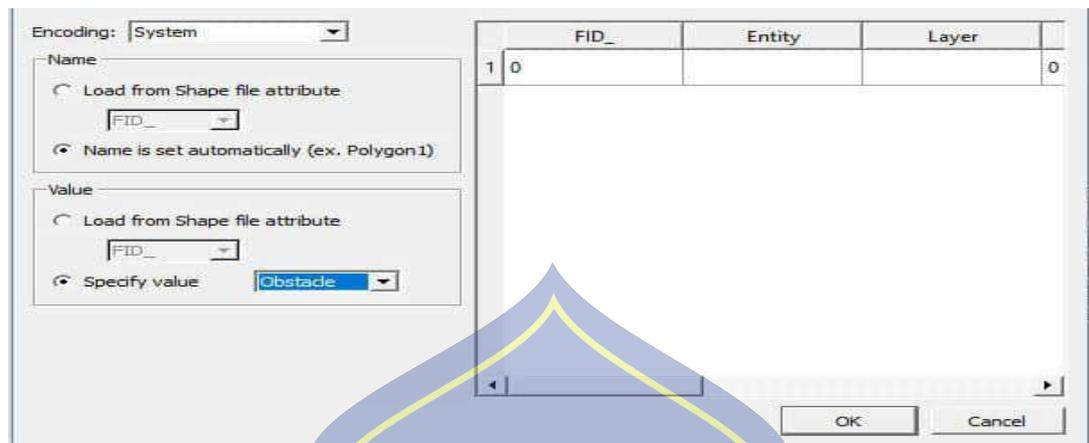
Gambar 32. Tampilan membuat pilar

- f. Kemudian muncul dialog *Polygon Import Setting*

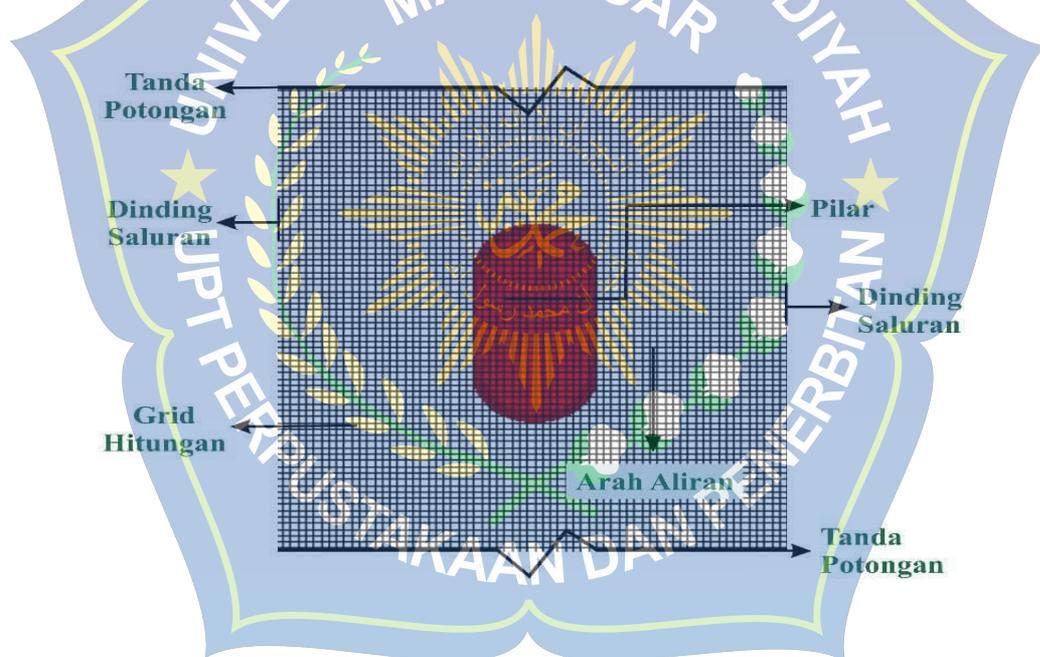
Pada kolom *name* pilih *Name is set Automatically (ex. Polygon1)*, dan pada kolom *value* ubah pilihan menjadi *Obstacle*.



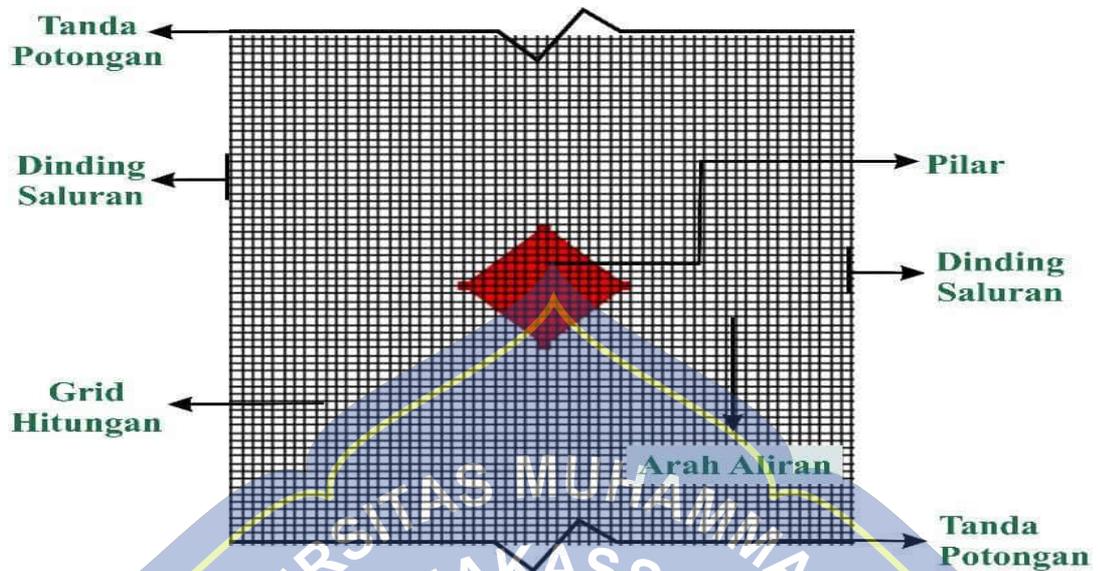
Gambar 33. Kotak dialog *select file to import*



Gambar 34. Kotak dialog *Polygon Import Setting*

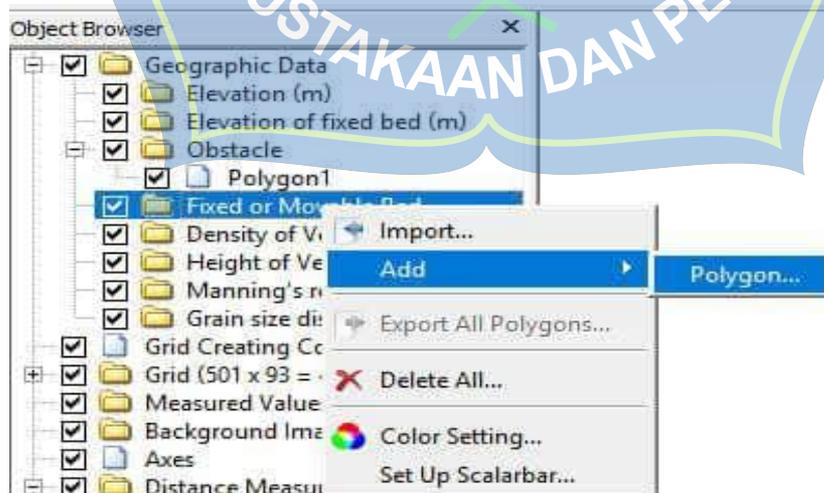


Gambar 35. Pilar jembatan bentuk Kapsul



Gambar 36. Pilar jembatan bentuk belah ketupat

- g. Untuk membuat pilar tersebut menjadi dasar yang tetap dan tidak berubah terhadap proses *running*. Klik kanan *Fixed or Movable Bed*, kemudian pilih *Add - Polygon*. Gambar *Polygon* yang sama persis dengan bentuk *Polygon* pilar. Setelah selesai pilih *Fixed Bed*.



Gambar 37. Tampilan untuk membuat dasar pilar menjadi tetap dan tidak

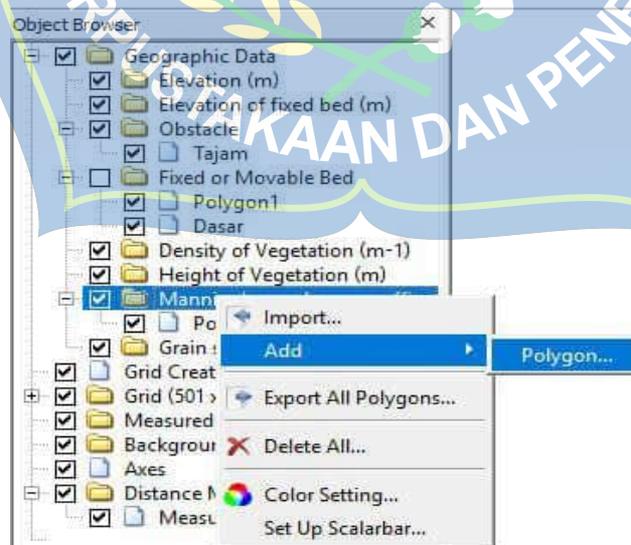
berubah terhadap proses *running*

- h. Untuk membuat dasar saluran tersebut dapat mengalami perubahan terhadap proses *running*, klik kanan *Fixed or Movable Bed*, kemudian pilih *Add – Polygon*. Gambar *Polygon* seluar saluran setelah selesai pilih yang *Movable Bed*.



Gambar 38. Pilih *Movable Bed*

- i. Kemudian membuat koefien *manning* pada dasar saluran. Klik kanan pada *Manning's Roughness Coeffisien*, kemudian pilih *Add – Polygon*. Kemudian baut polygon yang mencakup keseluruhan saluran. Kemudian masukan angkakoefisien *manning* dalam penelitian ini digunakan 0.01151



Gambar 39. *Manning Roughness Coeffision*



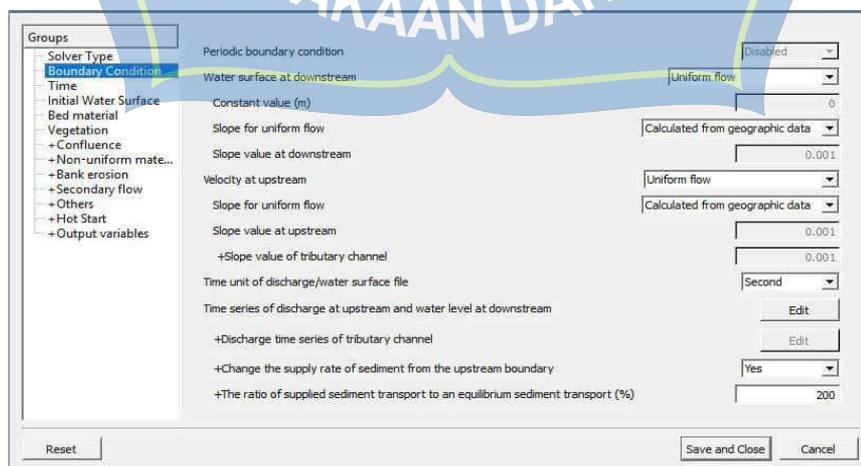
Gambar 40. *Input nilai koefisien manning*

- j. Setelah itu pilih menu *Calculation Condition – Setting*, untuk mengatur segalayang difasilitasi untuk penampang sungai yang sudah dibuat



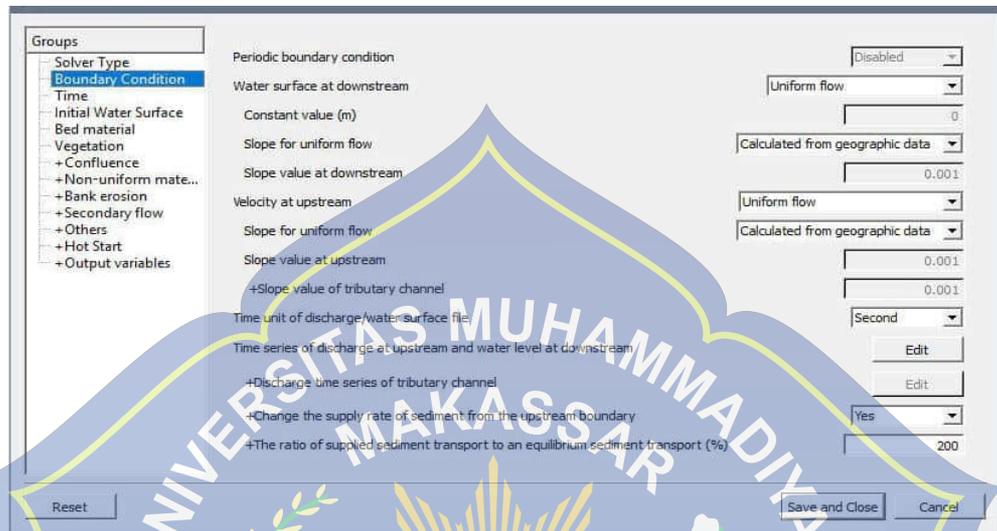
Gambar 41. Menu bar untuk mengatur *Calculation Condition*

- k. Kemudian akan muncul dialog dengan banyak grup
- i. *solver type*, yaitu tipe masalah apa yang akan digunakan

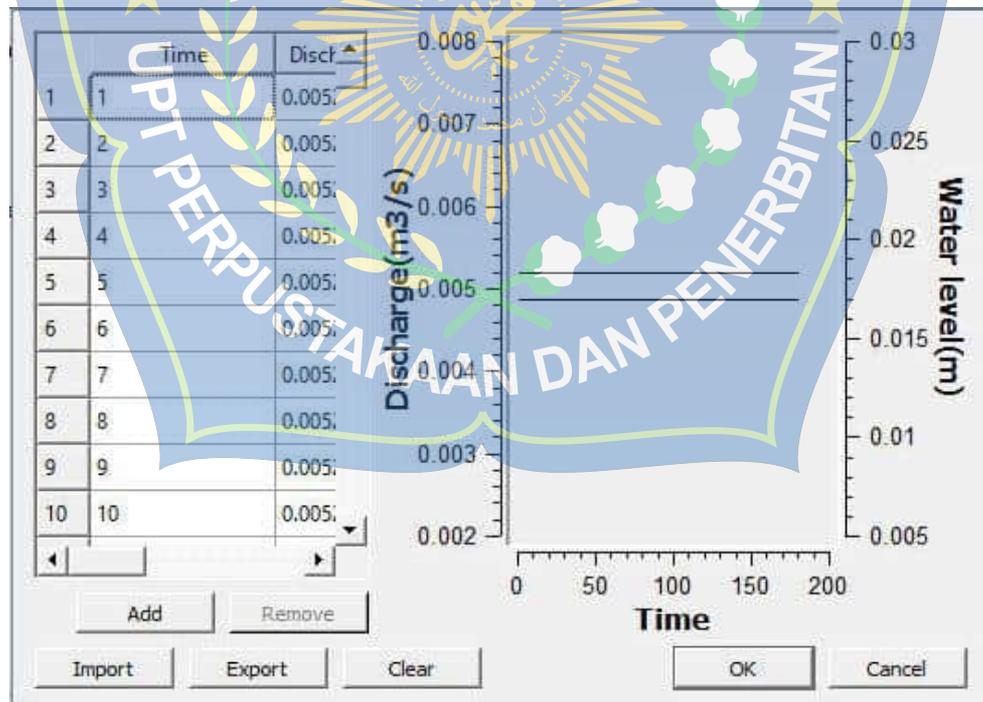


Gambar 42. Tampilan grup *Solver Type* pada *Calculation Condition*

- ii. *Boundary Condition*, yaitu keadaan penampang yang akan di *Input* datanya.

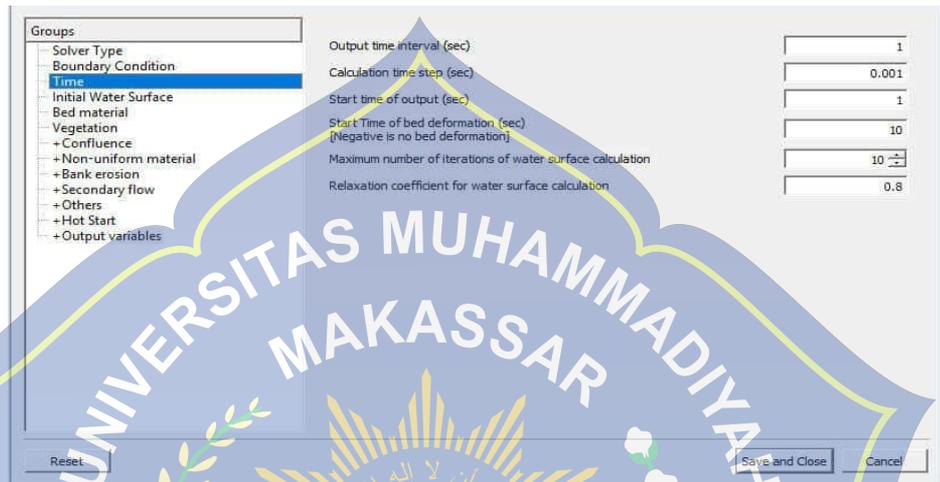


Gambar 43. Tampilan grup *Boundary Condition* pada *Calculation Condition*



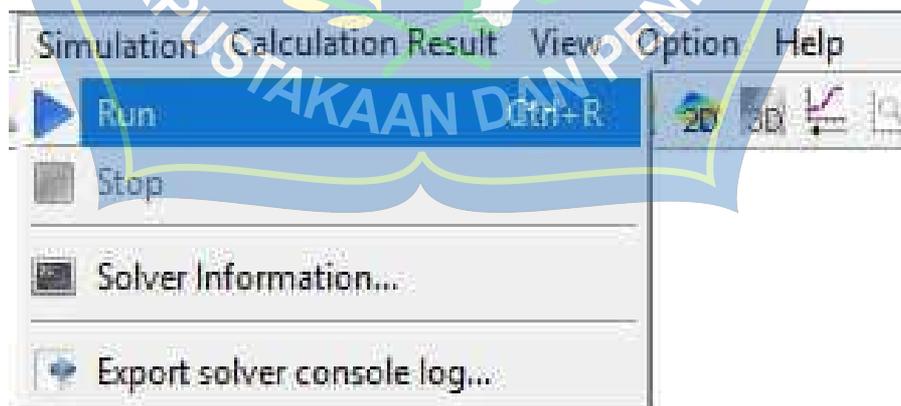
Gambar 44 Tampilan untuk mengisi debit yang akan digunakan

- iii. *Time*, yaitu waktu *interval output* yang akan dikeluarkan, beberapa detik langkah *running*, mulai dari waktu keberapa dimulai *running* dan berpakali iterasi yang akan digunakan.



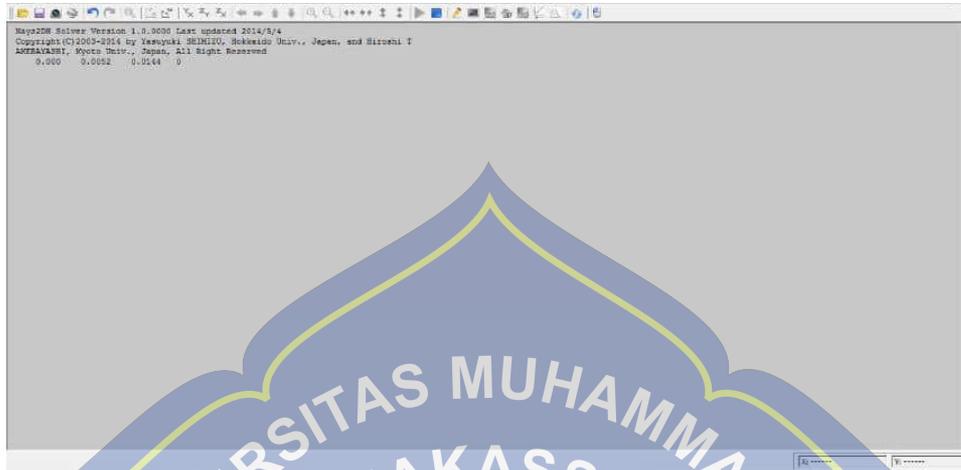
Gambar 45. Tampilan grup *Time* pada *Calculation Condition*

- iv. Setelah data sudah dimasukkan, kemudian kita *Run* dengan cara *Simulation – Run* atau menggunakan *Ctrl + R*. Proses lamanya *running* dipengaruhi oleh waktu simulasi yang sudah di tentukan.



Gambar 46. Tampilan memulai *Running iRIC Nays2DH 2.0*

- v. Setelah itu muncul tampilan setelah *running* pada *Object Browser*.

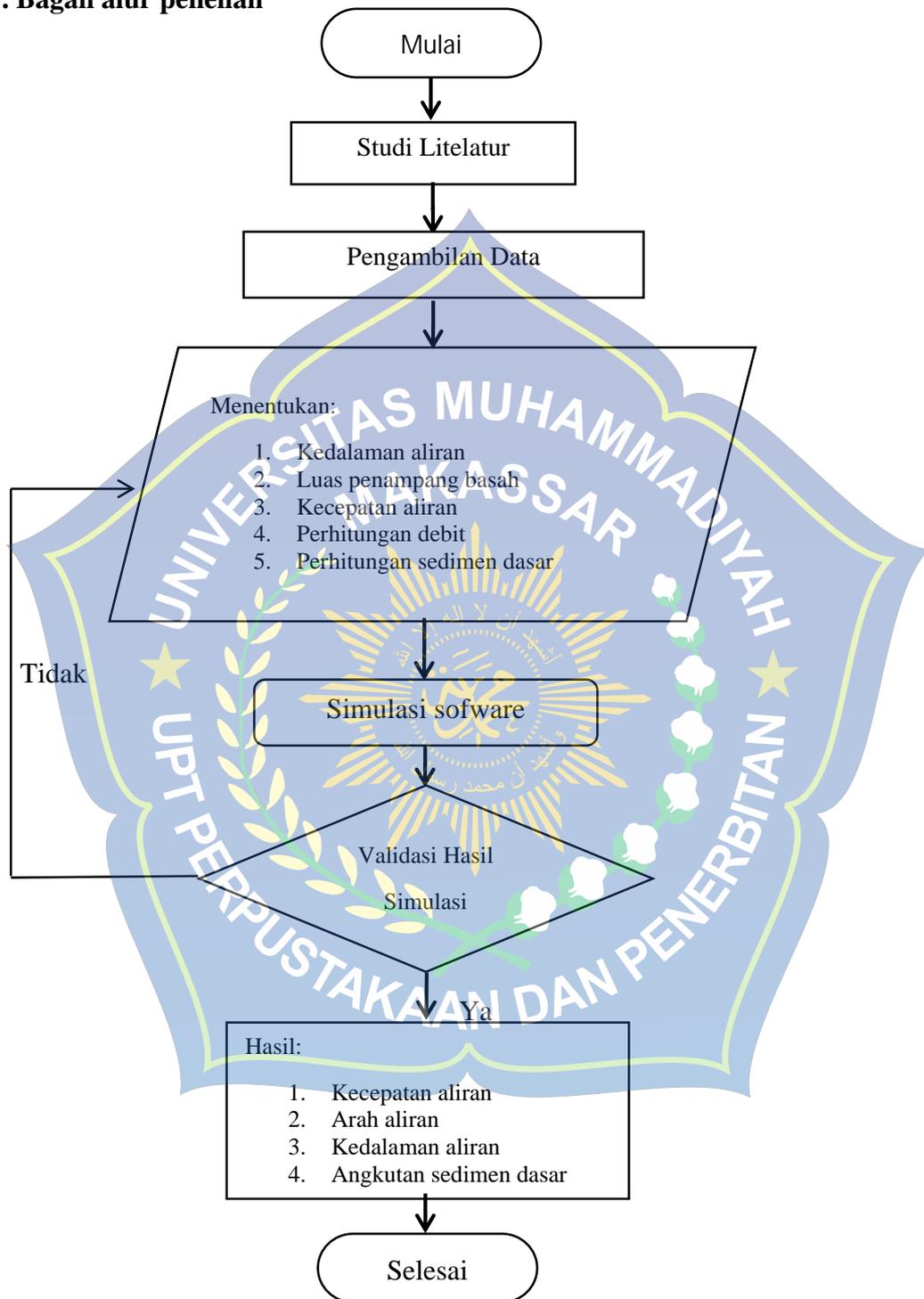


Gambar 47. Tampilan *Running*



Gambar 48. Tampilan *Object Browser* setelah *Running*

### F. Bagan alur penelilan



Gambar 49. Bagan alur penelitian

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Analisis perhitungan

##### 1. Perhitungan kedalaman aliran (h)

Pengukuran kedalaman dilakukan dengan cara membagi 3 titik cross section dan disetiap cross section di bagi menjadi 5 pias dengan jarak perpias dibagi dengan lebar sungai, kemudian pada setiap pias pengamatan diukur kedalamannya. Untuk Penelitian ini telah diperoleh kedalaman aliran yang merupakan rata rata ketinggian air untuk setiap simulasi yang dilakukan.

Hasil Pengukuran kedalaman aliran di setiap cross setion pengamatan dapat di lihat pada tabel 1:

Tabel 1. Kedalaman aliran pada setiap cross section.

No.patok	Lebar sungai	Kedalaman rata rata
	(B) (m)	(h) (m)
1	39.4	0.38
2	39.2	0.50
3	39.5	0.91
4	40.2	1.14
5	39.6	1.17
6	44.0	1.07

## 2. Penampang Basah (A)

Dari tabel kedalaman aliran dan gambar kedalaman aliran di setiap cross section di atas dapat dihitung luas penampang basah dengan rumus sebagai berikut:

$$a_x = \frac{b(x+1) - b(x-1)}{2!} dx$$

$$A = \sum_{x=1}^n a_x$$

$$A = a_1 + a_2 + a_3$$

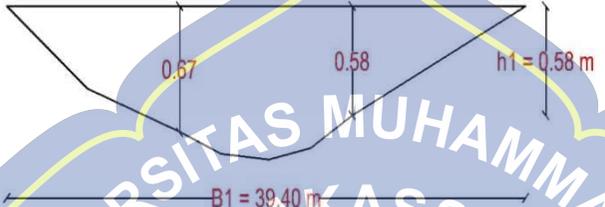
$$A = 0.12 + 1.44 + 0.11$$

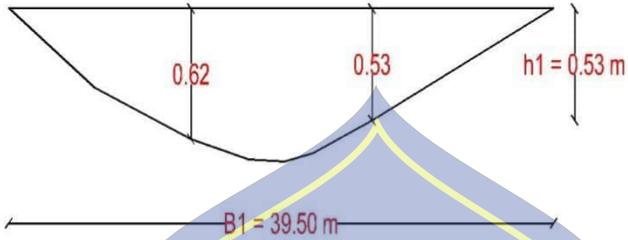
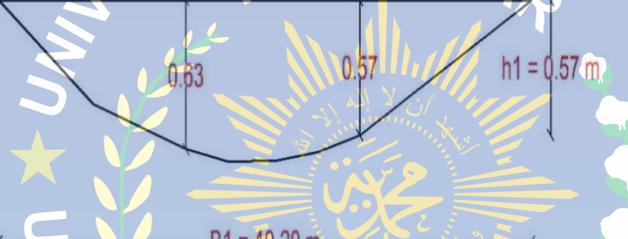
$$A = 1.67 \text{ m}^2$$

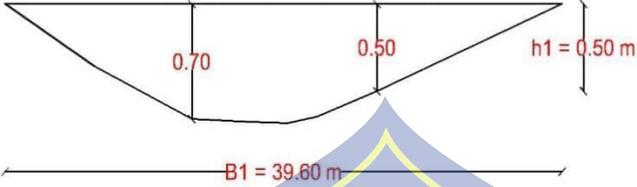
Perhitungan selanjutnya diselesaikan dengan cara yang sama dan hasilnya dirangkum pada tabel 2:



Tabel 2. Hasil Perhitungan luas penampang basah pada setiap cross section.

Patok	Lebar sungai (B)	B1	B2	Kedalaman	Luas penampang (A)
	(m)			(h)	(m)
1.		39'4	38'1	0.38	$A_1 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t$ $= \frac{1}{2} \cdot 0,67 \cdot 0,30$ $= 0,12$ $A_2 = B \cdot H$ $= 38,1 \cdot 0,38$ $= 1,44$ $A_3 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t$ $= \frac{1}{2} \cdot 0,58 \cdot 0,38$ $= 0,11$
2.		39,2	38,0	0,80	$A_1 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t$ $= \frac{1}{2} \cdot 0'63 \cdot 0,50$ $= 0,15$ $A_2 = b \cdot h$ $= 38,0 \cdot 0,50$ $= 19,0$ $A_3 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t$

					$= \frac{1}{2} 0,50 \cdot 0,50$ $= 0,12$
3.		39,5	38,3	0,90	$A_1 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t$ $= \frac{1}{2} \cdot 0,63 \cdot 0,90$ $= 0,27$ $A_2 = b \cdot t$ $= 38,3 \cdot 0,90$ $= 34,4$ $A_3 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t$ $= \frac{1}{2} \cdot 0,53 \cdot 0,90$ $= 0,23$
4.		40,2	39,0	1,14	$A_1 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t$ $= \frac{1}{2} \cdot 0,63 \cdot 1,14$ $= 0,35$ $A_2 = b \cdot t$ $= 39,0 \cdot 1,14$ $= 44,4$ $A_3 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t$ $= \frac{1}{2} \cdot 0,57 \cdot 1,14$ $= 0,32$

5.		39,6	38,4	1,17	$A_1 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t$ $= \frac{1}{2} \cdot 0,70 \cdot 1,17$ $= 0,40$ $A_2 = b \cdot t$ $= 38,4 \cdot 1,17$ $= 44,9$ $A_3 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t$ $= \frac{1}{2} \cdot 0,50 \cdot 1,17$ $= 0,29$
6.		44,0	43,3	1/07	$A_1 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t$ $= \frac{1}{2} \cdot 0,35 \cdot 1,07$ $= 0,18$ $A_2 = a \cdot t$ $= 43,3 \cdot 1,07$ $= 46,3$ $A_3 = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t$ $= \frac{1}{2} \cdot 0,38 \cdot 1,07$ $= 0,20$

### 3. Perhitungan kecepatan aliran (V)

Perhitungan kecepatan aliran pada setiap cross section menggunakan alat current meter dengan metode pengambilan kecepatan aliran secara vertical pada kedalaman 0,2 h 0,6 h dan 0,8 h. Current Meter memberikan data kecepatan aliran secara otomatis terhadap cross section pengamatan yang telah ditentukan.

Hasil perhitungan kecepatan aliran menggunakan alat current meter dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\bar{v} = \left[ \left( \frac{V_{0,2} + V_{0,8}}{2} \right) + V_{0,6} \right] \times \frac{1}{2} \quad \dots(9)$$

$$\bar{v} = \left[ \left( \frac{0,040 + 0,160}{2} \right) + 0,120 \right] \times \frac{1}{2}$$

$$\bar{v} = 0,388 \text{ m/s}$$

$$V = \frac{\sum_{x=1}^n v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n}$$

$$V = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + v_4 + v_5}{n}$$

$$V = \frac{0,388 + 0,371 + 0,323 + 0,335 + 0,327}{5}$$

$$V = 0,349 \text{ m/s}$$

Perhitungan selanjutnya diselesaikan dengan cara yang sama dan hasilnya di rangkum pada tabel 3:

Tabel 3. Kecepatan aliran pada titik pengamatan di setiap cross section.

Cross Section	Lebar sungai (B)	Kedalaman rata-rata (h)	Kecepatan rata-rata (v)
	(m)	(m)	(m/s)
1	39.38	0.38	0,349
2	39.15	0.50	0,142
3	39.45	0.91	0,275
4	40.20	1.14	0,203
5	39.55	1.17	0,152
6	44.00	1.07	0,141

#### 4. Perhitungan Debit (Q)

Perhitungan debit dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = V \times A$$

$$Q = 0.349 \times 19.636$$

$$Q = 6.86 \text{ m}^3/\text{dtk}$$

Tabel 4. Perhitungan Debit pada setiap cross section.

No/	Lebar Sungai (B)	Kedalaman (h)	Luas Penampang (A)	Kecepatan rata-rata (v)	Debit (q)
	(m)	(m)	(m)	(m/s)	( $m^3/dtk$ )
1	39,4	0,38	1,67	0,34	0,58
2	39,2	0,50	19,3	0,14	2,74
3	39,5	0,91	34,9	0,27	9,56
4	40,2	1,14	45,7	0,20	9,15
5	39,6	1,17	45,6	0,15	6,90
6	44,0	1,07	46,7	0,14	6,58

### B. Angkutan Sedimen Dasar (*Bed Load*)

Perhitungan pada cross section 1

Diketahui :

Lebar Sungai (m) = 39,38m

Kecepatan Aliran rata rata (v) = 0,34 m/s

Kedalaman aliran rata rata (h) = 0,38 m

Kemiringan Saluran (I) = 0,00059

Jari-jari Hidraulik (R) = 1,11 m

d90 = 0,00128 m

Massa jenis sedimen ( $\rho$ ) = 0,000237  $kg/m^3$

Massa jenis air ( $\rho_s$ ) = 1.000  $kg/m^3$

$$\text{Berat jenis sedimen } (\gamma_s) = 0,00237 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Berat jenis air } (\gamma) = 1.000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Konsentrasi Sedimen } (C_m) = 1 \times 10^{-7}$$

a. Persamaan Van Rijn ...(10)

$$D_* = D_{90} \left( \frac{(\rho - 1)g}{v^2} \right)^{1/3}$$

$$= 0,0018 \left( \frac{(-1)9,81}{(10^{-6})^2} \right)^{1/3}$$

$$= 0,0018 (19266323)$$

$$= 346,793$$

$$u_* = \left( \frac{g^{1/2}}{c'} \right) u$$

$$= \left( \frac{(9,81)^{1/2}}{44,437} \right) 0,349$$

$$= 0,023 \text{ m/s}$$

Mencari Bilangan Reynold (Re) ...(11)

$$u_* = \sqrt{gh\bar{I}}$$

$$u_* = \sqrt{(9,81)(0,38)(0,0011)}$$

$$u_* = 0,064 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{u_* d_{50}}{v}$$

$$Re = \frac{(0,064)(0,0018)}{0,34 \times 10^{-6}}$$

$$Re = 338,8$$

Berdasarkan grafik kecepatan geser dasar kritis menurut Shield, didapatkan nilai kecepatan geser dasar kritis sedimen dengan diameter butiran  $d_{50} = 1,20$  mm adalah:

$$\frac{(U_{*c})^2}{\{[(\rho - \rho_s)/\rho_s]gd\}} = 0,071$$

$$U_{*CR} = \sqrt{0,071 \times [(\rho - \rho_s)/\rho_s]gd}$$

$$U_{*CR} = \sqrt{0,071 \times \left[ \frac{0,000237 - 1000}{1000} \right] (9,81)(0,0018)}$$

$$U_{*CR} = \sqrt{0,071 \times 1,684 \times 9,81 \times 0,0018}$$

$$U_{*CR} = \sqrt{0,002.111}$$

$$U_{*CR} = 0,0459 \text{ m/s}$$

Maka nilai T dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$T = \frac{(U_{*CR})^2 - (U'_*)^2}{(U_{*CR})^2}$$

$$T = \frac{(0,0459)^2 - (0,023)^2}{(0,0459)^2}$$

$$T = \frac{0,001253 - 0,00059}{0,001253}$$

$$T = 0,577$$

Maka debit angkutan dasar dihitung dengan rumus :

$$qb = \frac{0,053 T^{2,1} [(\rho - 1)g]^{0,5} d_{50}^{1,5}}{D_*^{0,3}}$$

$$q_b = \frac{0,053 (0,577)^{2,1} [(2684 - 1)9,81]^{0,5} (0,0018)^{1,5}}{(535,429)^{0,3}}$$

$$q_b = \frac{0,053 (0,299)(140,071)(0,00007636)}{6,585}$$

$$q_b = 2,573 \times 10^{-5} \text{ (kg/s)/m}$$

b. Persamaan Rottner ...(12)

$$q_b = \gamma_s [(\zeta s - 1)gD^3]^{\frac{1}{2}} \left\{ \frac{v}{[(\zeta s - 1)gD]^{\frac{1}{2}}} \left[ 0,667 \left( \frac{d_{50}}{D} \right)^{\frac{2}{3}} + 0,14 \right] - 0,778 \left( \frac{d_{50}}{D} \right)^{\frac{2}{3}} \right\}^3$$

$$q_b = 2684 [(2684 - 1)(9,81)(0,32)^3]^{\frac{1}{2}} \left\{ \frac{0,340}{[(2684 - 1)(9,81)(0,32)^{\frac{1}{2}}]} \left[ 0,667 \left( \frac{0,0018}{0,32} \right)^{\frac{2}{3}} + \right. \right.$$

$$\left. 0,14 \right] - 0,778 \left( \frac{0,0018}{0,32} \right)^{\frac{2}{3}} \right\}^3$$

$$q_b = 2684 [862,461]^{\frac{1}{2}} \left\{ (0,00370)(0,16109)(0,02460) \right\}^3$$

$$q_b = 2684 (29,367686) \times (1,3830 \cdot 10^{-5})$$

$$q_b = 1,090 \times 10^{-2} \text{ (kg/s)/m}$$

Dalam perhitungan angkutan sedimen dengan metode Van Rijn dan Rottner menghasilkan nilai T negatif, dimana T merupakan parameter karakteristik asumsi dasar menentukan angkutan muatan sedimen. Nilai positif menunjukkan bahwa sedimen cenderung melayang yang berarti terjadi angkutan sedimen.

Masing-masing metode mempunyai kelebihan, yaitu:

1. Metode Van Rijn didefinisikan dengan dua parameter pokok tak berdimensi, yaitu parameter butiran ( $d^*$ ) dan transport stage parameter (T).
2. Metode Rottner menyatakan debit pada angkutan sedimen termasuk dalam parameter aliran berdasarkan analisis regresi untuk mengetahui pengaruh parameter kekasaran relative.

Untuk perhitungan di cross section selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama, dan hasil perhitungan muatan sedimen dasar (bed load) di masing-masing stasiun dengan menggunakan dua persamaan: persamaan Van Rijn, dan persamaan Rottner, dapat dilihat pada tabel rekapitulasi berikut ini:

Tabel 5. Rekapitulasi muatan angkutan sedimen dasar (Bed Load)

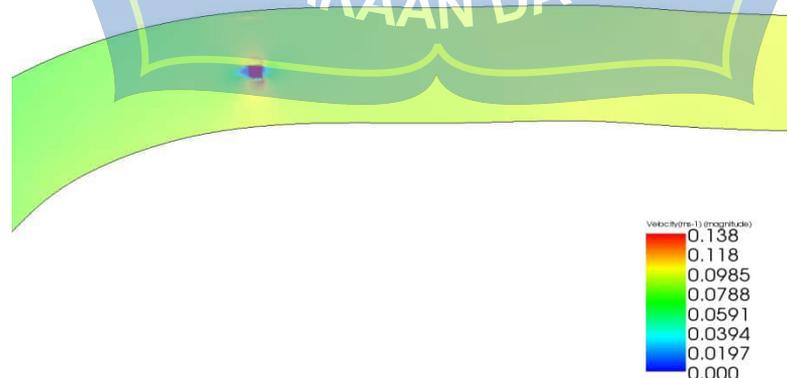
No	Van Rijn (kg/s)/m	Rottner (kg/s)/m
1	$2,573 \times 10^{-5}$	$1,090 \times 10^{-2}$
2	$2,178 \times 10^{-5}$	$1,466 \times 10^{-2}$
3	$1,662 \times 10^{-5}$	$2,378 \times 10^{-3}$
4	$2,143 \times 10^{-6}$	$1,255 \times 10^{-2}$
5	$1,766 \times 10^{-5}$	$1,354 \times 10^{-2}$
6	$1,892 \times 10^{-6}$	$1,221 \times 10^{-2}$

### C. Hasil Running

#### 1) Kecepatan aliran (*velocity ms-1*)

Kecepatan aliran akan berubah jika terdapat perubahan morfologi pada penampang saluran seperti adanya pilar jembatan yang terdapat di tengah saluran. Selain adanya perubahan morfologi saluran, kecepatan aliran juga dipengaruhi oleh bentuk penampang dari pilar jembatan itu sendiri. pada simulasi ini diperlukan data debit yang telah diperoleh pada perhitungan sebelumnya sehingga data di input kedalam aplikasi dengan rentangan waktu simulasi selama 60 detik.

Setelah itu dilakukan simulasi menggunakan software IRIC:Nays2DH 3.0. sehingga didapatkan hasil kecepatan aliran. kecepatan aliran pada saluran dari hasil simulasi digambarkan dengan skala warna dari yang terendah 0.00 m/s yang sampai dengan kecepatan yang tertinggi yaitu 4,22m/s.



Gambar 50. Simulasi kecepatan aliran

Tabel 6. Nilai kecepatan aliran berdasarkan sakala warna

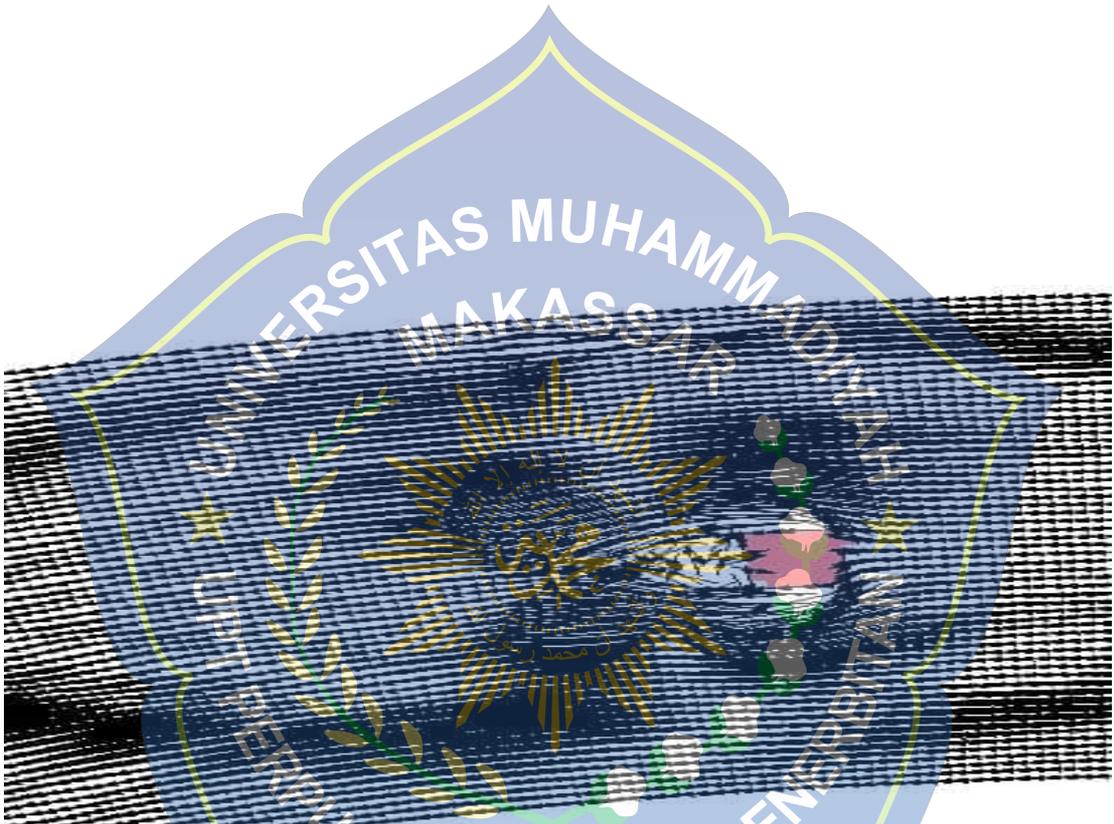
no	Skala warna	Nilai kecepatan aliran (m/s)
1	Biru tua	0.000
2	Biru muda	0.0197-0.094
3	Biru muda kehijaun	0.094-0.0591
4	Hijau	0.0591-0.0788
5	Hiajau kekuningan	0.0788-0.0985
6	Kuning kemerahan	0..0985-0.188
7	Merah	0.188-0.138

Kecepatan aliran (gambar 49) pada arah hulu sungai sebelum melewati pilar terjadi akselerasi yang stabil dengan warna hijau kekuningan hingga aliran membentur pilar terjadi perlambatan di area sekitar pilar dengan warna biru muda kehijaun sehingga aliran pada area hilir sungai telah melewati pilar kecepatan aliran mengalami akselari yang tidak stabil. Selain itu, pada sisi kanan pilar sampai ke arah kanan sungai mengalami percepatan yang didominasi warna hijau kekuningan dan pada sisi kiri pilar hiaju kekuningan yang semakin kepinggir saluran percepatan aliran semakin tinggi yang ditandai dengan warna kemerahan. Nilai kecepatan aliran di sekitar pilar sangat rendah dengan deskripsi warna biru muda hingga biru tua.

## 2) Arah aliran (Arrow)

Arah aliran pada kondisi normal mengalir dari hulu ke hilir saluran menuju ke hilir saluran. Dalam teori hidrolika air akan mengalir dari daerah yang memiliki tekanan yang rendah. Namun arah aliran dapat berbelok jika menemui hambatan pada tengah saluran seperti adanya pilar jembatan dan bangunan tirai.

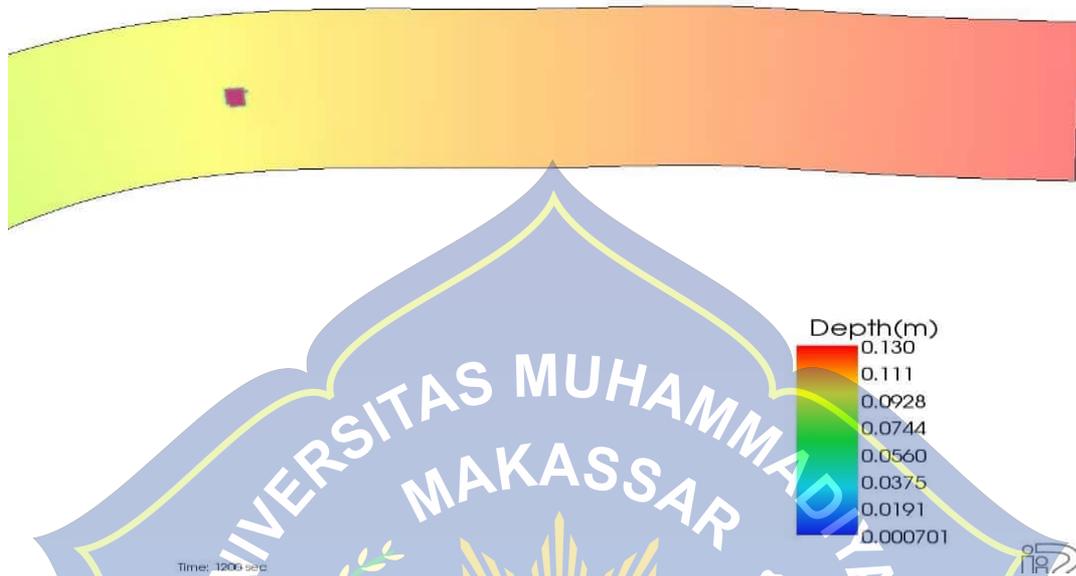
Dalam simulasi ini dimodelkan dengan menggunakan garis anak panah (arrow). Arah aliran pada pilar dan tirai yang dimodelkan dengan software IRIC:Nays2DH 3.0 dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 51. Simulasi arah aliran dengan garis anak panah (arrow)(arrow).

### 3) kedalaman aliran (depth)

Perubahan kedalaman aliran dapat akibat perubahan morfologi pada sungai, dibangunnya sebuah pilar akan menyebabkan terjadi perubahan arah aliran maupun kecepatan aliran. Hal ini dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar 52. Simulasi kedalaman aliran sungai

Tabel 7. Nilai kedalaman aliran berdasarkan skala warna

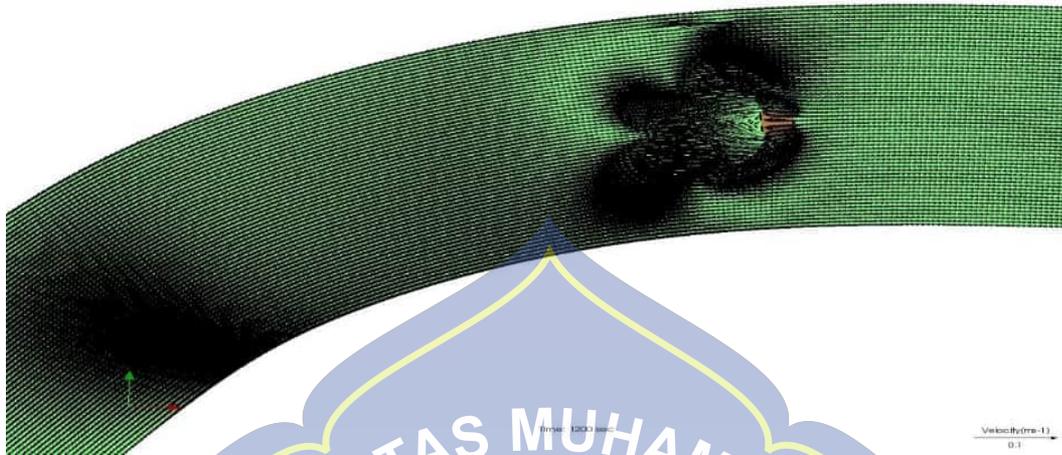
No	Skala warna	Nilai kecepatan aliran (m/s)
1	Biru tua	0.000701
2	Biru muda	0.0191-0.0375
3	Biru muda kehijaun	0.0375-0.0660
4	Hijau	0.0660-0.0744
5	Hijau kekuningan	0.0744-0.0928
6	Kuning kemerahan	0.0928-0.111
7	Merah	0.111-0.130

Kedalaman saluran yang ditunjukkan dengan skala warna. Warna merah menunjukkan kedalaman saluran terendah dengan nilai 0.130 m dan warna biru menunjukkan kedalaman saluran tertinggi dengan nilai 0.00 m. kedalaman aliran berubah ketika terdapat pilar di sekitarnya.

Pada gambar 54 terlihat bahwa kedalaman saluran di sungai berwarna hijau kekuningan yang merupakan normal yang dimana tidak terjadi perubahan warna. Tetapi perubahan warna terjadi di sekitar pilar. Dimana terjadi pendalaman saluran di depan pilar berwarna kuning kemerahan dengan nilai 0.0744-0.0928 dan terjadi pendangkalan dengan indikator warna biru kehijauan dengan nilai 0.0191-0.375

#### 4) Angkutan Sedimen Dasar

Sedimen adalah hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau jenis erosi tanah lainnya. Sedimen umumnya mengendap di bagian bawah kaki bukit di daerah genangan banjir, saluran air, sungai, dan waduk sedangkan sedimentasi adalah proses mengendapnya material fragmental oleh air sebagai akibat dari adanya erosi. Proses mengendapnya material tersebut yaitu proses terkumpulnya butir-butir tanah yang terjadi karena kecepatan aliran air yang mengangkut bahan sedimen mencapai kecepatan pengendapan (*settling velocity*). Proses sedimentasi dapat terjadi pada lahan-lahan pertanian maupun di sepanjang dasar sungai.



Gambar 53. Pola gerakan sedimen



## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Simulasi aliran dengan model komputasi iRIC : Nays2DH digambarkan dengan skala warna didominasi oleh warna hijau kekuningan dengan nilai (0.0788 - 0.0985 m/s), kemudian mengalami pelambatan ketika aliran melewati pilar dengan warna biru muda hingga biru tua dengan nilai (0.000 m/s) serta pada arah aliran garis anak panah (*arrowline*) terjadi turbulensi di sekitar pilar yang diakibatkan karena terjadi perubahan arah aliran akibat adanya pilar jembatan. kemudian perubahan terjadi di area sekitar pilar dengan indikator warna biru muda hingga biru tua dengan nilai 0.00 – 0.094 m/s.
2. Simulasi sedimen dengan model komputasi Iric Nays terlihat bahwa hulu sampai hilir pada saluran terjadi proses sedimnetasi karena adanya pilar yang arah aliran sedangkan pada sisi kiri dan kanan saluran yang melewati pilar terjadi pola transisi.

#### **B. Saran**

1. Untuk mendapatkan data yang lebih spesifik penulis menyarankan untuk melakukan penelitian di laboratorium mengenai karakteristik aliran dan angkutan sedimen dasar (*bed load*)

2. Penelitian ini hanya mengambil data sedimen dasar (*bed load*), maka disarankan juga mengambil data sedimen melayang (*suspensi load*).
3. Pada penelitian ini penulis hanya mengambil dan menganalisis data sementara maka disarankan juga mengambil dan menghitung intensitas curah hujan atau hidrologi.



### DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, A. (2010). Analisis Bentuk Pilar Jembatan Terhadap Potensi Gerusan Lokal. *Jurnal APTEK* 2, 41-51.

- Hastuti, G. (2011). *Model Gerusan Melewati Model Abutmen Tipe Spill Through Dengan Menggunakan Model Numerik. Penelitian* . Jember: Universitas Jember.
- Ihsan , J., & Hidayat, W. (2006). Pengaruh Bentuk Pilar Jembatan Terhadap Potensi Gerusan Lokal . *Jurnal Semesta Teknika* 9, 124-132.
- Karim, N., Antaria, S., & Al Imran, H. (2022). Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Tirai Sayap Beton Pada Pilar Jembatan Dengan Menggunakan RIC: Nays2HD 3.0. *Jurnal Teknik Sipil: Rancang Bangun*, 8(2), 124-128.
- Laures. (2012). *Pengaruh Bentuk Pilar Jembatan Terhadap Gerusan Lokal Menggunakan Software iRIC*. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Mukti, A. (2016). *Pengaruh Bentuk Pilar Jembatan Terhadap Gerusan lokal Menggunakan Software IRIC:Nays2dh 1.0 (Model Pilar Berpenampang Belah Ketupat, Kotak, Lingkaran, dan Palung. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil* . Yogyakarta : Universitas Yogyakarta.
- Nenny. (2016). *Model proteksi gerusan pada pilar dengan tirai bersisi cekung. Sekolah Pascasarjana*. Universitas Hasanuddin Makassar.
- Prabowo, S. (2015). *Analisis Hidraulik Pada Abutment Jembatan Akibat Perubahan Bentuk Pilar (Simulasi Software IRIC*. Yogyakarta : Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Sarra, R. (2014). *Mekanisme Gerusan Lokal Dengan Variasi Bentuk Pilar*. Medan: Universitas Sumatera Utara.

## LAMPIRAN

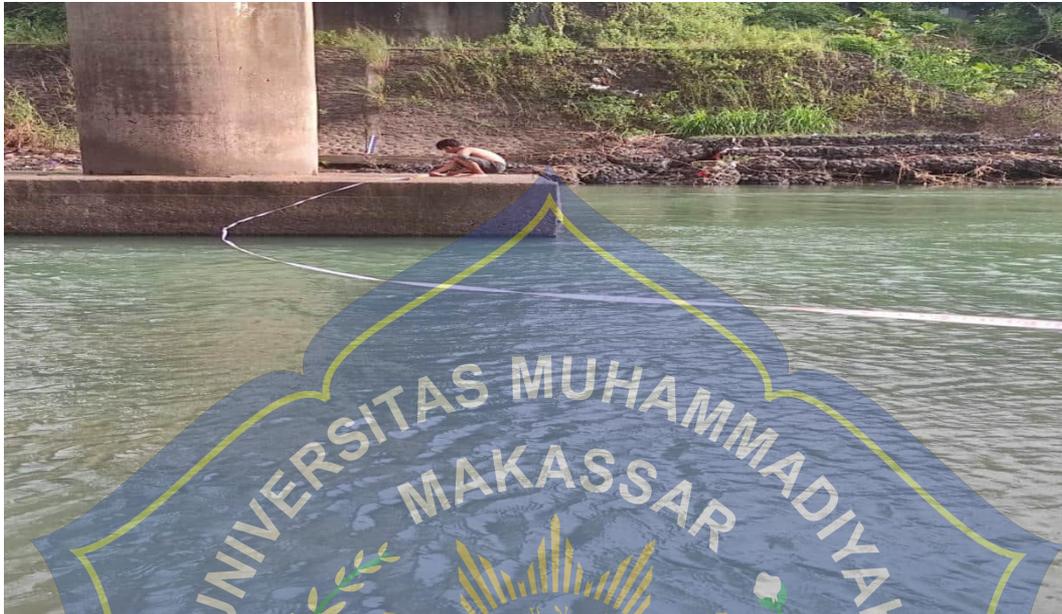
Tabel 8. Hasil pengujian sampel 1 pada uji laboratorium

Saringan No	Diameter (mm)	Berat Tertahan (Gram)	Berat Kumulatif (Gram)	Persen (%)	
				Tertahan	Lolos
4	4,75	37	37	3,70	96,3
8	2,35	383	420	38,30	58,0
16	1,18	192	612	19,20	38,8
40	0,45	312	924	31,20	7,6
50	0,297	51	975	5,10	2,5
100	0,149	19	994	1,90	0,6
200	0,074	1	995	0,10	0,5
PAN		5	1000	0,50	0,0
Jumlah		1000		100,00	

Tabel 9. Hasil diameter saringan (mm) pada titik tinjau cross section

Cros section	$d_{50}$ (mm)	$d_{90}$ (mm)
1	0.55	1.20
2	0.62	1.29
3	0.60	1.31
4	0.62	1.33
5	0.612	1.30
6	0.60	1.22

### A.) Dokumentasi



*Gambar 54. Pengambilan data pada pilar jembatan*



*Gambar 55. Pengukuran kedalaman pilar*



Gambar 56. Gambar model pilar

ORIGINALITY REPORT

2%

SIMILARITY INDEX



INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES



repository.unhas.ac.id  
Internet Source

2%

Exclude quotes

On

Exclude matches

2%

Exclude bibliography

On



ORIGINALITY REPORT

2%

SIMILARITY INDEX



0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES



repository.unhas.ac.id  
Internet Source

2%

Exclude quotes

On

Exclude bibliography

Off

Exclude bibliography

On



ORIGINALITY REPORT

0%

SIMILARITY INDEX



INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

Exclude quotes

On

Exclude matches

Off

Exclude bibliography

On



ORIGINALITY REPORT

**10%**  
SIMILARITY INDEX



**2%**  
PUBLICATIONS

**0%**  
STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

**1** [digilibadmin.unismuh.ac.id](http://digilibadmin.unismuh.ac.id) **8%**  
Internet Source

**2** Harry Anggara, Agus Setiawan. "The Dynamic of Habitat Carrying Capacity Sumatran Rhinoceros (*Dicerorhinus Sumatrensis*) in Development Area Sumatran Rhino Sanctuary Way Kambas National Park", *Jurnal Sylva Lestari*, 2019 **2%**  
Publication

Exclude quotes On  
Exclude bibliography On

Exclude matches On



ORIGINALITY REPORT

5%

SIMILARITY INDEX



5%

INTERNET SOURCES

0%

PUBLICATIONS

0%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES



www.atsidak.or.id  
Internal Source

5%

Exclude quotes

On

Exclude matches

2%

Exclude bibliography

On

