

SKRIPSI

PERMODELAN ALIRAN PADA PILAR JEMBATAN MODEL

TIRAI SAYAP BETON DENGAN MENGGUNAKAN

SOFTWARE iRIC



ANNISSA RAHAYU
105 81 1105416

MUH. FAISAL BUDI
105 81 1107116

PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2020

**PERMODELAN ALIRAN PADA PILAR JEMBATAN MODEL TIRAI
SAYAP BETON DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE iRIC**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas
Muhammadiyah Makassar**



ANNISSA RAHAYU
105811105416

MUH. FAISAL RUDI
105811107116

17/02/2021

1 org
Smb. Alumni

R/0003/SIP/21 CD
RAH

P¹

PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2020



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

FAKULTAS TEKNIK

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, e-mail : 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 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : **PERMODELAN ALIRAN PADA PILAR JEMBATAN MODEL TIRAI SAYAP BETON DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE IRIC**

Nama : ANNISSA RAHAYU
MUH. FAISAL RUDI

Stambuk : 105 81 11054 16
105 81 11071 16

Makassar, 27 Rabi'ul Akhir 1442 H
12 Desember 2020 M

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing:

Pembimbing I


Pembimbing II


Dr. Ir. H. Riswal K, MT


Dr. Ir. Nenny T Karim, ST., MT., IPM

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Pengairan


Andi Makbul Syamsuri, ST., MT., IPM

NBM : 1183 084

FAKULTAS TEKNIK

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, e-mail : unismuh@gmail.com

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

ripsi atas nama **Annissa Rahayu** dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 11054 16 dan **Muhammad Rudi** dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 11071 16, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0011/SK-Y/22201/091004/2020, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Pengairan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Sabtu tanggal 12 Desember 2020.

Makassar, 27 Rabi'ul Akhir 1442 H
12 Desember 2020 M

panitia Ujian :

Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Ambo Asse, M.Ag

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT

Penguji :

a. Ketua : Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT

b. Sekretaris : Fauzan Hamdi, ST., MT., IPM

Anggota: 1. Dr. Hj. Arsyuni Ali Mustari, ST., MT

2. Amrullah Mansida, ST., MT., IPM

3. Mahmuddin, ST., MT., IPM

Mengetahui :

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Ir. H. Riswal K, MT

Dr. Ir. Nenny T Karim, ST., MT., IPM



Dekan

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

NBM : 855 500

ABSTRAK

Pilar merupakan struktur bawah jembatan. Pada umumnya pilar jembatan terletak di tengah sungai. Adanya pilar jembatan di tengah sungai dapat mempengaruhi perubahan pola aliran sungai sehingga kecepatan aliran berubah dan menyebabkan gerusan lokal yang akan mengganggu kestabilan pilar. Untuk itu maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pola aliran dan gerusan di sekitar pilar jembatan dengan model tirai yang paling cocok untuk meminimalkan gerusan lokal yang terjadi, sehingga diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan pembangunan jembatan. Pada penelitian ini simulasi dibuat dengan menggunakan software *iRIC:Nays2DH 3.0* yang dibuat oleh Dr. Yasuyuki Shimizu dan Hiroshi Takebayashi di Hokkaido University, Jepang. Pada simulasi ini menggunakan dimensi saluran yang memiliki panjang 6 m dan lebar 0,50 m, *slope* saluran 0,0022, menggunakan pilar silinder dengan sedangkan tirai yang digunakan berbentuk persegi sisi depan melengkung dengan lebar, menggunakan debit sebesar 0,0134 m³/s, dan angka *manning* sebesar 0,022. Hasil simulasi yang didapatkan adalah kecepatan aliran, pola aliran dan pola gerusan. Kecepatan aliran yang terendah yaitu 0,000 m/s dan tertinggi yaitu 0,998 m/s. Pola aliran di sekitar pilar dan tirai mempunyai pola turbulensi sehingga arah aliran juga berubah. Gerusan yang terjadi disekitar pilar relatif kecil disebabkan karena adanya tirai di depan pilar dan pada bagian sisi kiri dan kanan saluran setelah pilar mengalami gerusan relatif besar. Berdasarkan hasil validasi antara analisa model *iRIC* dengan model fisik pada tinjauan kecepatan aliran mempunyai perbedaan yang relatif kecil yaitu sebesar 17%.

Kata Kunci : pilar, tirai sayap beton, gerusan, *iRIC:Nays2DH 3.0*

ABSTRACT

*Pillar is the structure under the bridge. In general, the bridge pillars are located in the middle of the river. The existence of a bridge pillar in the middle of a river can affect changes in the flow pattern of the river so that the flow speed changes and causes local scouring which will disturb the stability of the pillar. For this reason, it is necessary to conduct research to determine the flow pattern and scour around the bridge pillars with the most suitable curtain model to minimize local scouring, so that it is expected to be taken into consideration in the planning of bridge construction. In this study the simulation was made using the *iRIC: Nays2DH 3.0* software made by Dr. Yasuyuki Shimizu and Hiroshi Takebayashi at Hokkaido University, Japan. In this simulation using a channel dimension which has a length of 6 m and a width of 0,50 m, the channel slope is 0,0022, using a cylindrical pillar while the curtain used is rectangular, the front side is curved in width, using a discharge of 0,0134 m³/s, and the *manning* figure of 0,022. The simulation results obtained are flow velocity, flow pattern and scour pattern. The lowest flow velocity is 0,000 m/s and the highest is 0,998 m/s. The flow pattern around the pillars and curtains has a turbulence pattern so that the flow direction also changes. The scour that occurs around the pillar is relatively small due to a curtain in front of the pillar and on the left and right sides of the channel after the pillar experiences relatively large scour. Based on the results of the validation between the *iRIC* model analysis and the physical model, the flow velocity review has a relatively small difference of 17%.*

Keywords: *pillar, concrete wing curtain, scour, iRIC: Nays2DH 3.0*

KATA PENGANTAR



Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nyalah sehingga dapat menyusun hasil dari 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 Jurusan Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Adapun judul tugas akhir kami adalah **PERMODELAN ALIRAN PADA PILAR JEMBATAN MODEL TIRAI SAYAP BETON DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE IRICT**.

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 kekurangan 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 hati, 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. Bapak Ir. Hamzah Ali Imran, S.T., M.T. IPM. sebagai Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak Ir. Andi Makbul Syamsul, S.T., M.T., IPM. sebagai Ketua Jurusan Teknik Sipil Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
4. Bapak Dr. Ir. H. Riswal K, MT. selaku Pembimbing I dan Ibu Dr. Ir. Nenny T Karim, ST., MT., IPM selaku Pembimbing II, yang banyak meluangkan waktu dalam membimbing penulis.
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 terkhusus angkatan PROYEKSI 2016 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 hasil dari tugas akhir yang sederhana ini dapat bermanfaat bagi penulis, rekan – rekan, masyarakat serta bangsa dan Negara. Amin.

"Billahi Fii Sabill Haq Fustabiqul Khaerat".

Makassar, 5 Desember 2020

Penulis

DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Manfaat Penelitian.....	3
E. Batasan Masalah.....	3
F. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
A. Gerusan.....	5
1. Pengertian Gerusan.....	5
2. Mekanisme Gerusan.....	5
3. Gerusan Lokal.....	7
B. Aliran Pada Saluran Terbuka.....	11

1. Jenis-jenis Aliran Pada Saluran Terbuka.....	11
2. Pola Aliran.....	12
C. Pilar Jembatan.....	17
D. Model Numerik (<i>iRIC:Nays2DH3.0</i>).....	23
BAB III METODE PENELITIAN.....	36
A. Tempat dan Waktu Penelitian.....	36
B. Metode Pengumpulan Data.....	36
C. Bagan Alir Penelitian.....	39
D. Langkah-Langkah Simulasi <i>iRIC: Nays2DH3.0</i>	40
1. Langkah <i>Pre-processing</i>	40
2. Langkah <i>Processing</i>	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	51
A. Data Penelitian.....	51
B. Kecepatan Aliran.....	52
C. Pola Aliran.....	55
D. Pola Gerusan.....	57
1. Tinjauan potongan I-I pada hulu pilar.....	60
2. Tinjauan potongan II-II pada depan pilar.....	61
3. Tinjauan potongan III-III pada tengah pilar.....	62
4. Tinjauan potongan IV-IV pada belakang pilar.....	63
E. Analisis Validasi Permodelan <i>iRIC</i>	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
A. Kesimpulan.....	67

B. Saran67

DAFTAR PUSTAKA69

LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu	8
Gambar 2 Skema Gerusan Lokal di Sekitar Pilar Silinder	Error! Bookmark not defined.0
Gambar 3 Aliran air pada penampang Pilar.....	19
Gambar 4 Pilar tidak sejajar dengan arah aliran sungai	Error! Bookmark not defined.19
Gambar 5 Gerusan lokal pada dasar Pilar.....	Error! Bookmark not defined.19
Gambar 6 Jembatan Kebonagung, Yogyakarta, 2006	Error! Bookmark not defined.0
Gambar 7 Jembatan Trinil, Magelang, 2009	Error! Bookmark not defined.1
Gambar 8 Jembatan Pabelan, Magelang, Maret 2011	Error! Bookmark not defined.2
Gambar 9 Model silinder	377
Gambar 10 Model tirai sayap beton.....	377
Gambar 11 Model grid software <i>iRIC: Nays2DH 3.0</i>	388
Gambar 12 Bagan alir penelitian	39
Gambar 13 Tampilan awal software <i>iRIC 3.0</i>	40
Gambar 14 Tampilan pemilihan <i>solver</i>	Error! Bookmark not defined.40
Gambar 15 Tampilan pemilihan metode pembuatan grid	Error! Bookmark not defined.1
Gambar 16 Tampilan menu <i>Channel Shape</i>	Error! Bookmark not defined.1
Gambar 17 Menu <i>Cross Sectional Shape</i>	Error! Bookmark not defined.2
Gambar 18 Tampilan menu <i>Cross Shape Parameter</i>	Error! Bookmark not defined.3
Gambar 19 Tampilan <i>Groups Bed and Channel Shape</i>	Error! Bookmark not defined.3
Gambar 20 Tampilan menu <i>Confirmation</i>	Error! Bookmark not defined.4
Gambar 21 Tampilan hasil Grid	Error! Bookmark not defined.

Gambar 22 Tampilan import obstacle.....	Error! Bookmark not defined.	5
Gambar 23 Tampilan <i>Polygon import setting</i>	Error! Bookmark not defined.	5
Gambar 24 Hasil input pilar dan tirai pada grid hitungan	Error! Bookmark not defined.	5
Gambar 25 Tampilan <i>copy obstacle</i>	Error! Bookmark not defined.	6
Gambar 26 Tampilan setelah ditambahkan polygon	Error! Bookmark not defined.	6
Gambar 27 Tampilan setelah ditambahkan angka manning	Error! Bookmark not defined.	6
Gambar 28 Tampilan Solver Type.....	Error! Bookmark not defined.	7
Gambar 29 Menu Boundary Condition.....	Error! Bookmark not defined.	7
Gambar 30 Tampilan untuk memasukkan debit	Error! Bookmark not defined.	8
Gambar 31 Tampilan menu Time.....	Error! Bookmark not defined.	8
Gambar 32 Tampilan menu <i>Bed Material</i>	Error! Bookmark not defined.	49
Gambar 33 Tampilan <i>running iRIC: Nays2DH 3.0</i>		49
Gambar 34 Tampilan hasil <i>Running</i>	Error! Bookmark not defined.	0
Gambar 35 Tampak atas penampang saluran.....		511
Gambar 36 Bentuk pilar dan tirai pada simulasi.....		522
Gambar 37 Kecepatan aliran tanpa model tirai (a) dan arah aliran di sekitar pilar (b).....		533
Gambar 38 Kecepatan aliran dengan model tirai (a) dan arah aliran di sekitar pilar dan tirai (b).....		544
Gambar 39 Hasil pola aliran di sekitar pilar menggunakan <i>software iRIC:</i> <i>Nays2DH 3.0</i>		566
Gambar 40 Hasil pola aliran di sekitar pilar dan tirai menggunakan <i>software</i> <i>iRIC: Nays2DH 3.0</i>		577

Gambar 41 Hasil elevasi tanpa model tirai pada simulasi <i>software iRIC</i> :	
<i>Nays2DH 3.0</i>	588
Gambar 42 Hasil elevasi dengan model tirai pada simulasi <i>software iRIC</i> :	
<i>Nays2DH 3.0</i>	588
Gambar 43 Potongan I-I pada hulu pilar.....	600
Gambar 44 Elevasi dasar saluran pada potongan I-I	611
Gambar 45 Potongan II-II pada depan pilar	611
Gambar 46 Elevasi dasar saluran pada potongan II-II.....	622
Gambar 47 Potongan III-III pada tengah pilar.....	622
Gambar 48 Elevasi dasar saluran pada potongan III-III	633
Gambar 49 Potongan III-III pada belakang pilar.....	633
Gambar 50 Elevasi dasar saluran pada potongan IV-IV	64
Gambar 51 Titik pengamatan pada permodelan <i>iRIC</i> dan pengukuran lapangan ..	65



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Koefisien kekasaran Manning	Error! Bookmark not defined.
Tabel 2 Koefisien faktor bentuk pilar	Error! Bookmark not defined.
Tabel 3 Data kondisi aliran pada simulasi yang dijalankan	36
Tabel 4 Perhitungan debit pada alat ukur <i>V-Notch Weir</i>	53
Tabel 5 Nilai kecepatan aliran berdasarkan skala warna pada <i>software iRIC:</i> <i>Nays2DH 3.0</i> tanpa model tirai	54
Tabel 6 Nilai kecepatan aliran berdasarkan skala warna pada <i>software iRIC:</i> <i>Nays2DH 3.0</i> dengan model tirai	54
Tabel 7 Analisa validasi kecepatan aliran pada permodelan iRIC dengan pengukuran lapangan (tanpa tirai)	655
Tabel 8 Analisa validasi kecepatan aliran pada permodelan iRIC dengan pengukuran lapangan	655
Tabel 9 Elevasi dasar saluran pada potongan I-I	
Tabel 10 Elevasi dasar saluran pada potongan II-II	
Tabel 11 Elevasi dasar saluran pada potongan III-III	
Tabel 12 Elevasi dasar saluran pada potongan IV-IV	

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pilar merupakan struktur bawah jembatan. Pada umumnya pilar jembatan terletak di tengah sungai. Problematika yang sudah beberapa kali ditemui pada jembatan melintang sungai adalah kegagalan struktur bawah jembatan (fondasi, pilar, pangkal/*abutment*) dalam menopang jembatan. Pada beberapa kasus, kegagalan ini berujung pada keruntuhan jembatan. Ancaman terhadap keamanan struktur bawah jembatan sering kali bersumber pada dinamika sungai, khususnya dinamika dasar sungai di sekitar fondasi dan pilar jembatan. Penurunan atau degradasi dasar sungai dan gerusan lokal di sekitar fondasi-pilar jembatan sering kali menjadi faktor utama kegagalan struktur bawah jembatan.

Beberapa problematika jembatan runtuh yang berkaitan dengan faktor degradasi dasar sungai dan gerusan lokal di sekitar fondasi/pilar jembatan seperti Jembatan Kebonagung melintas Sungai Progo, berlokasi di ruas jalan Kota Yogyakarta-Nanggulan/Godean, di Kecamatan Minggir, Sleman, Yogyakarta. Jembatan berdiri di atas 4 pilar silinder beton. Setiap pilar ditopang oleh dua buah fondasi sumuran. Pada awal 2000-an sampai 2006, terjadi degradasi dasar sungai dan gerusan lokal di sekitar sebagian pilar jembatan. Pada pengukuran tahun 2006, dasar sungai di pilar ke-4 (pilar pertama di sisi Nanggulan atau di sisi barat) telah mendekati dasar fondasi. Degradasi dasar sungai dipicu oleh keruntuhan *groundsill* di hilir jembatan. Sama halnya terjadi pada Jembatan Trinil melintas

Sungai Progo, menghubungkan Desa Kalijoso, Kecamatan Secang dengan Desa Banjarsari, Kecamatan Windusari, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah, terjadi banjir yang menyebabkan kedua pilarnya miring dan turun. Adanya aliran banjir yang melimpas melewati jembatan, maka dapat diduga bahwa pilar jembatan mengalami gerusan lokal dan pembebanan horizontal oleh gaya hidrodinamik aliran banjir. Degradasi dasar sungai tidak terjadi karena adanya ground sill di hilir jembatan.

Untuk itu maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pola aliran dan gerusan di sekitar pilar jembatan dengan model tirai 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.

Pada penelitian ini simulasi dibuat dengan menggunakan *software iRIC:Nays2HD 3.0* yang dibuat oleh Dr. Yasuyuki Shimizu dan Hiroshi Takebayashi di Hokkaido University, Jepang.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut.

Bagaimana kecepatan aliran, pola aliran, dan pola gerusan di sekitar pilar jembatan model tirai sayap beton menggunakan *software iRIC:Nays2HD 3.0* ?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan penelitian ini adalah menganalisis kecepatan aliran, pola aliran, dan pola gerusan di sekitar pilar jembatan model tirai sayap beton menggunakan *software iRIC:Nays2HD 3.0*.

D. Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan di atas maka manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan pengetahuan mengenai permodelan numerik menggunakan *software iRIC:Nays2HD 3.0* tentang kecepatan aliran, pola aliran dan juga elevasi dasar saluran di sekitar pilar jembatan model tirai sayap beton.
2. Sebagai salah satu *alternative* dalam usaha melakukan inovasi dalam mengatasi gerusan pada pilar jembatan.
3. Menambah wawasan peneliti dalam bidang rekayasa bangunan air.

E. Batasan Masalah

Mengingat adanya keterbatasan dana dan waktu penelitian, maka diperlukan batasan permasalahan dalam penulisan ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan pada saluran tanah dengan bentuk saluran trapesium dengan konsentrasi penelitian permodelan numerik menggunakan *software iRIC: Nays2HD 3.0*
2. Model pilar yang digunakan berbentuk silinder.
3. Model tirai sebagai pereduksi gerusan berbentuk tirai sayap beton.
4. Model pilar dan tirai sayap beton terbuat dari beton.

5. Fluida yang digunakan pada penelitian ini yaitu air tawar.
6. Variable penelitian adalah debit (Q), kecepatan (V), kemiringan saluran (S), angka manning (n), dan jarak penempatan model.
7. Pengambilan data sekunder pada model fisik yang dilakukan di laboratorium.

F. Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN : Merupakan bagian awal dari pembahasan yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, manfaat, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA : Dalam bab ini menguraikan mengenai gerusan lokal dan pola aliran di sekitar pilar jembatan dengan model numerik.

BAB III METODE PENELITIAN : Dalam bab ini menguraikan tentang lingkup penelitian, waktu dan tempat penelitian, alat dan bahan penelitian, tahapan penelitian, dan bagan alur penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN : Bab ini berisi hasil penelitian tentang permodelan RUC komputasi aliran di sekitar pilar jembatan model tirai sayap beton.

BAB V PENUTUP : Kesimpulan dan saran yang mencangkup dari keseluruhan isi penulisan yang diperoleh dan disertai saran-saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Gerusan

1. Pengertian Gerusan

Gerusan merupakan fenomena alam yang disebabkan oleh aliran air yang biasanya terjadi pada dasar sungai yang terdiri dari material alluvial namun terkadang dapat juga terjadi pada dasar sungai yang keras. Gerusan biasanya terjadi sebagai bagian dari perubahan morfologi sungai dan perubahan akibat bangunan buatan manusia (Ariyanto 2010).

Menurut Hoffmans dan Verheij (1997) dalam Mukti (2016) gerusan adalah perubahan dari suatu aliran yang disertai pemindahan material melalui aksi gerakan fluida atau dapat dikatakan juga erosi pada dasar dan tebing saluran alluvial.

Gerusan yang terjadi secara terus menerus menyebabkan tergerusnya dasar sungai. Proses gerusan dapat di akibatkan adanya perubahan morfologi sungai seperti penyempitan saluran sungai, konstruksi bangunan, dan lain-lain. Dalam perancangan konstruksi jembatan harus diperhitungkan beberapa aspek seperti aspek hidraulik sungaidan bentuk pilar yang akan memberikan pola aliran di sekitarnya.

2. Mekanisme Gerusan

Aliran yang terjadi pada sungai sering kali disertai dengan angkutan sedimen dan proses gerusan. Proses gerusan akan terbentuk secara alamiah karena

gambar

kondisi di p 2 pny

sbg terjadi proses
aliran
sedimen

pengaruh morfologi sungai atau karena adanya struktur yang menghalangi aliran sungai. Angkutan sedimen terjadi karena aliran sungai mempunyai energi yang cukup besar untuk membawa sejumlah material.

Proses gerusan dimulai pada saat partikel yang terbawa 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 aliran mencapai kecepatan kritik (Chabert dan Engal, 1956 dalam Rahmatani, 2014).

Bila struktur ditempatkan pada suatu arus air, aliran air disekitar struktur akan berubah dan gradien kecepatan vertikal (vertical velocity gradient) dari aliran akan berubah menjadi gradien tekanan (pressure gradient) pada ujung permukaan struktur tersebut. Gradien tekanan (pressure gradient) merupakan hasil dari aliran bawah yang membentur bed. Pada dasar struktur, aliran bawah ini membentuk pusaran yang pada akhirnya menyapu sekeliling pilar jembatan.

Proses gerusan dan endapan pada umumnya terjadi karena perubahan pola aliran terutama pada sungai alluvial. Perubahan pola aliran terjadi karena adanya halangan pada aliran sungai tersebut, berupa bangunan sungai seperti pilar halangan pada aliran sungai tersebut, berupa bangunan sungai seperti pilar jembatan dan abutment. Bangunan semacam ini dipandang dapat merubah geometri alur dan pola aliran yang selanjutnya diikuti gerusan lokal di sekitar bangunan (Legono, (1990) dalam Halim, (2014). Semakin besar bentuk sudut yang

terjadi terhadap arah aliran, maka semakin besar kedalaman gerusan yang terjadi di sisi pilar (Ikhsan dan Hidayat, 2006).

3. Gerusan Lokal

Gerusan lokal (local scouring) ini menurut Yulistiyanto dkk (1998) merupakan gerusan yang terjadi disekitar abutmen jembatan atau pilar, disebabkan oleh pusaran air (vortex system) karena adanya gangguan pada pola aliran akibat rintangan.

Menurut Istiarto (2002) dalam 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 pilar jembatan, serta karakteristik tanah dasar di mana 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 kedalaman gerusan akan semakin kecil (Rahmadani, 1995 dalam Prabowo, 2016). Semakin besar bentuk sudut yang terjadi terhadap arah aliran, maka semakin besar kedalaman gerusan yang terjadi di sisi pilar (Ikhsan dan 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. Perbedaan mendasar antara gerusan oleh air bersih dibandingkan dengan air bersedimen adalah mengikuti skema seperti disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Hubungan kedalaman gerusan dengan waktu.
(Sumber: Istiarto, 2002)

Gambar 1 menunjukkan bahwa kedalaman gerusan lokal di sekitar pilar pada aliran dengan air bersih akan konstan, sedangkan pada aliran dengan air bersedimen kedalaman gerusannya akan mengalami perubahan dari waktu ke waktu akibat adanya degradasi dan aggradasi sedimen.

Kedalaman dan area gerusan pada jembatan dipengaruhi oleh sebagian maupun keseluruhan faktor-faktor berikut ini:

- Kemiringan saluran/slope (I). Slope adalah perbandingan antara tinggi absolut (h) dan panjang (l).
- Jenis dan jumlah material dasar yang diangkut.

hanya i a @ mengangkut gerusan?

- c. Debit aliran (Q), semakin tinggi debit yang mengalir melewati pilar tersebut, maka kedalaman gerusan yang terjadi disekitar pilar akan semakin besar.
- d. Keterbatasan atau perubahan aliran yang melalui jembatan dan saluran.
- e. Geometri dan garis lurus normal pilar.
- f. Perubahan alami atau perubahan aliran buatan manusia atau struktur sedimen.
- g. Kecelakaan, seperti runtuhnya struktur.

Menurut Larsen (1952) dalam Ikhsan (2007) sifat alami gerusan memiliki fenomena sebagai berikut :

- a. Besarnya gerusan akan berkurang apabila tampang basah di daerah gerusan bertambah (misal karena adanya erosi).
- b. Untuk suatu kondisi aliran akan ada suatu keadaan gerusan yang disebut gerusan batas.
- c. Besarnya gerusan akan sama dengan selisih antara jumlah material yang ditranspor keluar daerah gerusan dengan jumlah yang ditranspor ke dalam daerah gerusan.

Gerusan lokal mengakibatkan pengangkutan material di sekitar pilar, abutment dan tanggul. Hal ini disebabkan oleh percepatan aliran dan menghasilkan pusaran yang disebabkan oleh penghalang yang menghalangi aliran (Department of Transport and Main Roads, 2013). Bentuk pilar yang memiliki potensi kedalaman gerusan terkecil adalah pilar bentuk bulat (Jazaul dan Hidayat, 2006).

Gerusan yang terjadi di sekitar pilar adalah akibat sistem pusaran (Vortex system) yang timbul karena aliran dirintangi pilar tersebut. Aliran mendekati pilar dan tekanan stagnasi akan menurun dan menyebabkan aliran kebawah (down

flow) yaitu aliran dari kecepatan tinggi menjadi kecepatan rendah. Kekuatan down flow akan mencapai maksimum ketika berada tepat pada dasar saluran. Komponen aliran vertikal menjadi penyebab permulaan terjadinya gerusan (Ariyanto, 2010). Kecepatan aliran yang akan mendorong sistem pusaran di sekitar pilar, pada dasar struktur aliran bawah ini membentuk pusaran yang pada akhirnya menyapu sekeliling dan bagian bawah stuktur dengan memenuhi seluruh aliran (Miller, 2003 dalam Prayuda, 2015). Peristiwa ini dinamakan pusaran tapal kuda (horseshoe vortex) dimana jika dilihat dari atas bentuk pusaran tersebut akan mirip dengan bentuk tapal kuda. Pusaran ini akan stabil setelah keseimbangan gerusan lokal telah terbentuk.



Gambar 2 Skema Gerusan Lokal di Sekitar Pilar Silinder
(HEC-18, 2012 dalam Department of Transport and
Main Roads, 2013)

B. Aliran Pada Saluran Terbuka

Sungai pada umumnya memiliki tipe aliran tetap (steady flow) dan aliran tidak seragam (non uniform flow). Ada berbagai macam tipe aliran pada saluran terbuka, menurut Daries (2012).

1. Jenis-jenis Aliran Pada Saluran Terbuka

a. Aliran tetap (Steady flow)

Aliran steady memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- 1) Perubahan debit aliran terhadap waktu tetap
- 2) Perubahan kedalaman aliran terhadap waktu tetap
- 3) Perubahan kecepatan aliran terhadap waktu tetap

b. Aliran tidak tetap (Unsteady flow)

Aliran unsteady memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- 1) Perubahan debit aliran terhadap waktu tidak tetap
- 2) Perubahan kedalaman aliran terhadap waktu tidak tetap
- 3) Perubahan kecepatan aliran terhadap waktu tidak tetap

c. Aliran seragam (Uniform flow)

Aliran uniform memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- 1) Besar dan arah kecepatan tetap terhadap jarak
- 2) Aliran dengan penampang sama
- 3) Variabel fluida lain juga tetap

d. Aliran tidak seragam (Non-uniform flow)

Aliran non-uniform memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

- 1) Aliran dengan penampang tidak sama

2) Pengaruh pembendungan dan variabel fluida lain juga tetap

2. Pola Aliran

Kondisi aliran dalam saluran terbuka berdasarkan pada kedudukan permukaan bebas cenderung berubah menurut ruang dan waktu, disamping itu ada hubungan ketergantungan antara lain kedalaman aliran, debit air, kemiringan dasar saluran dan permukaan bebas. Kondisi fisik saluran terbuka jauh lebih bervariasi dibandingkan dengan saluran tertutup. Berikut beberapa faktor yang dapat mempengaruhi pola aliran :

a. Debit Aliran

Debit aliran merupakan hubungan perkalian antara kecepatan aliran dengan luas tampang basah saluran (Ven Te Chow, 1989 dalam Sudyono dkk, 2014).

$$Q = A \times U \quad (1)$$

Dimana : Q = Debit aliran, m³/det

U = Kecepatan aliran rata-rata, m/det

A = Luas penampang aliran, m²

b. Kecepatan Aliran Rata-rata

Menurut Ven Te Chow (1989), Sudyono dkk (2014) kecepatan aliran rata-rata merupakan perbandingan antara debit aliran yang melewati saluran (Q) dengan luas tampang basah saluran (A) seperti persamaan dibawah ini:

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B \cdot Y_o} \quad (2)$$

Dimana : U = Kecepatan aliran rata-rata, (m/det)

Y_o = Kedalaman aliran, (m)

B = Lebar saluran, (m)

Q = Debit, (m³/det)

A = Luas penampang aliran, (m²)

Kecepatan rata-rata menurut Chezy dirumuskan sebagai berikut:

$$U = C\sqrt{R S_f} \dots\dots\dots (3)$$

$$C = 18 \log \frac{12 Y_0}{k+2 \frac{\delta}{7}} \dots\dots\dots (4)$$

$$\delta = \frac{11,6 \nu}{U_0} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana : C = Koefisien Chezy

S_f = Kemiringan garis energi

Y₀ = Kedalaman aliran

R = Jari-jari hidrolis

k = Diameter kekasaran dasar

δ = Batas daerah transisi laminar dan turbulen

ν = Viskositas

c. Bilangan Reynolds

Klasifikasi aliran berdasarkan bilangan Reynolds dapat dibedakan menjadi tiga kategori seperti berikut:

- Re < 500, maka termasuk aliran laminar
- 500 < Re < 12.500, maka termasuk aliran transisi
- Re > 12.500, maka termasuk aliran turbulen

$$Re = U \frac{R}{\nu} \dots\dots\dots (6)$$

Dengan: U = Kecepatan aliran (m/s)

Re = Panjang karakteristik (m)

ν = Kekentalan kinematik = 10^{-6} (m²/s)

Umumnya aliran pada saluran terbuka mempunyai $Re > 12.500$, sehingga alirannya termasuk dalam aliran turbulen (French, 1985 dalam Achmadi, 2001).

d. Bilangan Froude

Tingkat kekritikan aliran dapat dibedakan berdasarkan bilangan Froude.

Bilangan Froude untuk saluran terbuka dinyatakan sebagai berikut, yaitu :

- 1) Aliran kritis, jika bilangan Froude sama dengan satu ($Fr = 1$) dan gangguan permukaan misal, akibat riak yang terjadi akibat batu yang dilempar ke dalam sungai tidak akan bergerak menyebar melawan arah arus.
- 2) Aliran superkritis, jika bilangan Froude lebih besar dari satu ($Fr > 1$). Untuk aliran superkritis, kedalaman aliran relatif lebih kecil dan kecepatan relatif tinggi (segala riak yang ditimbulkan dari suatu gangguan adalah mengikuti arah arus).
- 3) Aliran subkritis, jika bilangan Froude lebih kecil dari satu ($Fr < 1$). Untuk aliran subkritis, kedalaman biasanya lebih besar dan kecepatan aliran rendah (semua riak yang timbul dapat bergerak melawan arus).

Persamaan untuk menghitung bilangan Froude, yaitu :

$$Fr = \frac{U}{\sqrt{g \cdot h}} \dots\dots\dots (7)$$

Dengan: Fr = Bilangan Froude

U = Kecepatan aliran (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

h = Kedalaman aliran (m)

e. Koefisien Kekasaran Manning

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran Manning (Menurut Chow, 1989) adalah sebagai berikut :

- 1) Kekasaran permukaan, yang ditandai dengan ukuran dan bentuk butiran bahan yang membentuk luas basah dan menimbulkan efek hambatan terhadap aliran. Secara umum dikatakan bahwa butiran halus menyebabkan nilai n yang relatif rendah dan butiran kasar memiliki nilai n yang tinggi.
- 2) Ketidakteraturan saluran, yang mencakup pula ketidakteraturan keliling basah dan variasi penampang, ukuran dan bentuk di sepanjang saluran.
- 3) Tetumbuhan yang juga memperkecil kapasitas saluran dan menghambat aliran.
- 4) Trase saluran yang meliputi pula kelengkungan yang landai dengan garis tengah yang besar akan mengakibatkan nilai n yang relatif rendah, sedangkan kelengkungan yang tajam dengan belokan-belokan yang patah akan memperbesar nilai n .
- 5) Pengendapan dan penggerusan. Secara umum pengendapan dapat mengubah saluran yang sangat tidak beraturan menjadi cukup beraturan dan memperkecil n , sedangkan penggerusan dapat berakibat sebaliknya dan memperbesar n . Namun efek utama dari pengendapan akan tergantung dari sifat alamiah bahan yang diendapkan.
- 6) Hambatan, berupa balok sekat, pilar jembatan dan sejenisnya yang cenderung memperbesar nilai n .

Besarnya koefisien dasar saluran dapat dihitung menurut Chow, (1989) dalam Koyari dkk (2012) dengan rumus :

$$n = \frac{1}{V} R^{2/3} I^{1/2} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana : n = Koefisien kekasaran Manning

V = Kecepatan aliran (m/dt)

R = Jari-jari hidrolik (m)

I = Kemiringan Saluran

Nilai jari-jari hidraulik (R) diperoleh dengan rumus :

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana : P = Keliling tampang basah (m)

A = Luas saluran (m²)

Nilai kemiringan saluran (I) diperoleh dengan rumus :

$$I = \frac{\Delta h}{s} \dots\dots\dots (10)$$

Dimana : Δh = Beda tinggi saluran hulu dan hilir (m)

s = Panjang tinjauan hulu dan hilir (m)

Tabel 1 Koefisien kekasaran Manning

Bahan	n
Besi tulanglapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran beton	0,013
Bata dilapis mortar	0,015
Pasangan batu disemen	0,025
Saluran tanah bersih	0,022

Saluran tanah	0,030
Saluran dengan dasar batudan tebing rumput	0,040
Saluran padagalian batupadas	0,040

(Sumber : Triatmodjo , 2008)

C. Pilar Jembatan

Jalosh beda pilar & abutmen jembatan

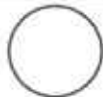
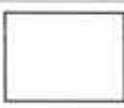





Menurut Mukti (2016) mendefinisikan pilar suatu bangunan bawah yang terletak di tengah – tengah bentang antara dua buah abutment yang berfungsi juga untuk memikul beban – beban bangunan atas dan bangunan lainnya dan meneruskannya ke pondasi serta disebarkan ke tanah dasar yang keras.

Wibowo (2007) menyebutkan pengaruh bentuk pilar berdasarkan potongan horizontal dari pilar telah diteliti oleh Laursen dan Toch (1956), Neil (1973) dan Dietz (1972). Menurut Wibowo (2007) kedalaman gerusan lokal tergantung pada kedudukan / posisi pilar terhadap arah aliran yang terjadi serta panjang dan lebarnya pilar. Karena kedalaman gerusan merupakan rasio dari panjang dan lebar serta sudut dari tinjauan terhadap arah aliran.

Bentuk pilar akan berpengaruh pada kedalaman gerusan lokal, pilar jembatan yang tidak bulat akan memberikan sudut yang lebih tajam terhadap aliran datang yang diharapkan dapat mengurangi gaya pusaran tapal kuda sehingga dapat mengurangi besarnya kedalaman gerusan. Hal ini juga tergantung pada panjang dan lebar (l/b) masing-masing bentuk mempunyai koefisien faktor bentuk K_s .

Pada Tabel 2 menunjukkan koefisien faktor berbagai bentuk pilar.

Tabel 2 Koefisien faktor bentuk pilar

Bentuk Pilar	b/l	b/l	Ks	Gambar Bentuk Pilar
Silinder			1.0	
Persegi (Rectangular)	1:1 1:5		1.22 0.99	
Persegi dengan ujung setengah lingkaran (rectangular with semi circular nose)	1:3			
Ujung setengah lingkaran dengan bentuk belakang lancip (semi circular nose with wedge shape tail)	1:5		0.86	
Persegi dengan sisi depan miring (rectangular with wedge shape nose)	1:3	1:2 1:4	0.96 0.65	
Elips (Elliptic)	1:2		0.83	
	1:3		0.80	
	1:5		0.61	
Lenticular	1:2		0.80	
	1:3		0.70	
Aerofil	1:3.5		0.80	

(Sumber : Breuser dan Baudkivi, 1991:73)

1. Permasalahan yang sering terjadi pada Pilar Jembatan

Kasus yang sering terjadi pada pilar jembatan adalah terjadinya scouring (gerusan) dasar sungai di sekitar kaki pilar, scouring ini dapat disebabkan oleh:

- Bentuk penampang pilar yang kurang baik, sehingga menimbulkan olakan air pada dasar sungai yang mengakibatkan scouring.
- Pilar-pilar yang dibuat tidak sejajar dengan arah aliran air, yang dapat menimbulkan local scouring pada dasar sungai.



Gambar 3 Aliran air pada penampang Pilar



Gambar 4 Pilar tidak sejajar dengan arah aliran sungai

Gambar 5 Gerusan lokal pada dasar Pilar

Problematika yang sudah beberapa kali ditemui pada jembatan melintang sungai adalah kegagalan struktur bawah jembatan (fondasi, pilar,

pangkal/*abutment*) dalam menopang jembatan. Pada beberapa kasus, kegagalan ini berujung pada keruntuhan jembatan. Ancaman terhadap keamanan struktur bawah jembatan sering kali bersumber pada dinamika sungai, khususnya dinamika dasar sungai di sekitar fondasi dan pilar jembatan. Penurunan atau degradasi dasar sungai dan gerusan lokal di sekitar fondasi-pilar jembatan sering kali menjadi faktor utama kegagalan struktur bawah jembatan. Banjir, khususnya banjir besar, dapat memperbesar degradasi dasar sungai dan gerusan lokal, yang pada gilirannya menambah ancaman terhadap keamanan struktur bawah jembatan.

Berikut ini beberapa contoh problematika jembatan runtuh yang berkaitan dengan faktor degradasi dasar sungai dan gerusan lokal di sekitar fondasi/pilar jembatan.

Jembatan Kebonagung, Sleman, Yogyakarta



Gambar 6 Jembatan Kebonagung, Yogyakarta, 2006

Jembatan Kebonagung melintas Sungai Progo, berlokasi di ruas jalan Kota Yogyakarta-Nanggulan/Godean, di Kecamatan Minggir, Sleman, Yogyakarta.

Jembatan berdiri di atas 4 pilar silinder beton. Setiap pilar ditopang oleh dua buah fondasi sumuran. Pada awal 2000-an sampai 2006, terjadi degradasi dasar sungai dan gerusan lokal di sekitar sebagian pilar jembatan. Pada pengukuran tahun 2006, dasar sungai di pilar ke-4 (pilar pertama di sisi Nanggulan atau di sisi barat) telah mendekati dasar fondasi. Degradasi dasar sungai dipicu oleh keruntuhan ground sill di hilir jembatan.

Jembatan Trinil, Magelang, Jawa Tengah



Gambar 7 Jembatan Trinil, Magelang, 2009

Jembatan Trinil melintas Sungai Progo, menghubungkan Desa Kalijoso, Kecamatan Secang dengan Desa Banjarsari, Kecamatan Windusari, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah. Jembatan Trinil berdiri di atas 3 pilar dan fondasi pasangan batu kali. Panjang bentang jembatan lebih kurang 70 m. Pada 25 Februari 2009, pilar ke-3 (paling barat) turun atau amblas yang memutus lalu lintas melewati jembatan. Setahun kemudian pada 4 Maret 2010, terjadi banjir yang menyebabkan kedua pilar lainnya miring dan turun. Memperhatikan foto-foto Jembatan Trinil pasca pilar paling barat amblas serta membaca laporan adanya aliran banjir yang melimpas melewati jembatan, maka dapat diduga

bahwa pilar jembatan mengalami gerusan lokal dan pembebanan horizontal oleh gaya hidrodinamik aliran banjir. Degradasi dasar sungai tidak terjadi karena adanya ground sill di hilir jembatan.

Jembatan Pabelan, Magelang, Jawa Tengah



Gambar 8 Jembatan Pabelan, Magelang, Maret 2011

Jembatan Pabelan melintas Sungai Progo di jalan raya Yogyakarta-Magelang. Di lokasi ini terdapat 2 jembatan, yaitu jembatan lama yang ditopang oleh pilar dan fondasi pasangan batu kali, serta jembatan baru yang ditopang oleh pilar beton. Pada Maret 2011, salah satu bentang jembatan lama hilang diterjang banjir lahar hujan (sebagian orang menyebut banjir lahar dingin). Pada banjir lahar hujan, mekanisme gerusan lokal di pilar jembatan adalah *live-bed scour*. Artinya, gerusan ditimbulkan oleh aliran air yang membawa sedimen dari hulu. Ini berbeda dengan *clear-water scour*, yaitu gerusan yang ditimbulkan oleh aliran air yang tidak membawa sedimen dari hulu. Pada *live-bed scour*, dapat terjadi penutupan lubang gerusan oleh sedimen yang masih datang pada saat banjir sedang surut, yang melebihi kemampuan aliran air menggerus dasar sungai di pilar jembatan.

Transpor netto sedimen di lubang gerusan, dengan demikian, telah menutup lubang gerusan lokal. (Problematika jembatan, Istiarto, 2011)

D. Model Numerik (*iRIC: Nays2DH 3.0*)

Pemodelan adalah proses untuk membuat sebuah model dari sistem. Model adalah representasi dari sebuah bentuk nyata, sedangkan sistem adalah saling keterhubungan antar elemen yang membangun sebuah kesatuan, biasanya dibangun untuk mencapai tujuan tertentu. Tujuan suatu pemodelan adalah untuk menganalisa dan memberi prediksi yang dapat mendekati kenyataan sebelum sistem di terapkan 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, dalam 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: Nays2HD3.0* yang dibuat oleh Dr. Yasuyuki Shimizu dan Hiroshi Takebayashi di Hokkaido University, Jepang. Selanjutnya dilakukan perbandingan hasil simulasi menggunakan software

iRIC : *Nays2DH 3.0* dengan model fisik. Perbandingan dilakukan pada tinjauan kecepatan aliran.

Nasy2DH adalah model komputasi untuk mensimulasikan aliran memanjang dua dimensi (2D), angkutan sedimen (sediment transport), perubahan morfologi dari kedalaman dasar dan erosi di sungai. *iRIC Nays2DH* ini merupakan gabungan dari *Nays2D* dan *Morpho2D*. *Morpho2D* adalah metode analisa permasalahan perubahan dasar sungai/saluran pada aliran unsteady (aliran tidak tetap) perhitungan dua dimensi dalam arah horizontal. Program/metode perhitungan ini 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 1.0 yang merupakan program *software* yang dikembangkan oleh *IRIC (River Internasional Cooperative)*. Beberapa fungsi baru ditambahkan untuk pengembangan dari versi sebelumnya yang kemudian menghasilkan program *iRIC* versi 3.0 pada tahun 2018 dan kemudian berkembang menjadi *iRIC: Nays2DH 3.0*.

Nays2D dikembangkan oleh Dr. Yasuki Shimizu di Hokkaido University Jepang, adalah *software 2D solver* untuk menghitung aliran, angkutan sedimen (sediment transport), kedalaman gerusan dan erosi tebing sungai dan lainnya. *IRIC Nays2DH 3.0* dapat menganalisa aliran tidak seragam dan menghasilkan luaran berupa sebaran material dasar sungai secara horizontal. Sebagai tambahan, generasi, proses perkembangan dan migrasi/perpindahan pada ambang sungai

dapat ditiru/dimodelkan. *IRIC Nays2DH 3.0* biasanya diaplikasikan/digunakan untuk simulasi sungai-sungai alami. (Hastuti,2011, dalam Mukti, 2016)

1. Karakteristik model aliran

- a. Sistem koordinat yang digunakan adalah sistem koordinat secara umum. Bentuk (batas) sungai yang kompleks dapat dipertimbangkan/dihitung pada pemodelan.
- b. Skema TVD-MacCormack (orde ketelitian tingkat 2) biasa digunakan untuk jangka konfeksi pada persamaan momentum sebagai perbedaan metode yang digunakan.
- c. Model persamaan 0) biasa digunakan untuk perhitungan pada difusi/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 longitudinal/memanjang digunakan sebagai kedalaman air awal. Kemiringan dasar sungai 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, elevasi 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 domain/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/dianggap sebagai gaya tarik atau gaya penahan yang bekerja pada arus aliran. Tingkat/jumlah 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/sisi sungai dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan sudut sedimentasi yang terbentuk. Ketika kemiringan dasar sungai lokal (di suatu bagian tertentu) lebih besar dari sudut sedimentasi 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 sedimentasi yang terbentuk.

Dengan t adalah waktu, x adalah koordinat di sepanjang arah memanjang, dan y untuk arah melintang. u^* mewakili/mempresentasikan kecepatan aliran pada kedalaman rerata di dasar sungai sepanjang aliran arah memanjang dan v untuk arah melintang. Kedalaman rerata di dasar sungai sepanjang aliran arah memanjang dan v untuk arah melintang. Kedalaman rata-rata untuk rembesan air dari kecepatan aliran sepanjang koordinat x dan y pada sistem koordinat kartesius ditunjukkan sebagai u_g dan v_g secara berturut-turut. z adalah elevasi muka air, z_b adalah elevasi dasar sungai. Kedalaman aliran dari permukaan air ditunjukkan sebagai h dan kedalaman rembesan aliran ditunjukkan sebagai h_g . g adalah nilai gravitasi, ρ adalah kerapatan (massa jenis) air. τ_x adalah tegangan geser sepanjang arah memanjang dan τ_y untuk arah melintang. τ_b adalah tegangan geser di dasar sungai. ϵ adalah nilai koefisien viskositas eddy. u adalah nilai kecepatan gesekan. u_b dan v_b menunjukkan kecepatan di dekat permukaan dasar sungai pada arah memanjang dan melintang secara berurutan. F_{vx} dan F_{vy} adalah gaya geser akibat dari vegetasi sepanjang arah memanjang dan melintang. C_{dv} ($=1,0$) adalah nilai koefisien dari bentuk gesekan, λ_v adalah kerapatan (massa jenis) vegetasi. h_x adalah kedalaman air pada daerah/bidang yang ditumbuhi vegetasi. Ketika tinggi tanaman vegetasi lebih besar/tinggi daripada kedalaman air, h_x bernilai sama dengan kedalaman air. Ketika tinggi tanaman vegetasi lebih rendah dari kedalaman air, h_x bernilai sama dengan tinggi tanaman vegetasi. Λ adalah parameter yang terkait dengan porositas dalam tanah, dengan $\Lambda = 1$ jika $z \geq z_b$ dan $\Lambda = \lambda$ jika $z < z_b$, dengan z_b adalah level/elevasi dasar sungai dan λ adalah

porositas dalam tanah. Rembesan air diasumsikan sebagai kejenuhan air/aliran dalam dua dimensi arah horizontal.

b. Perubahan ke sistem koordinat umum

Selanjutnya, persamaan yang mengatur dari aliran dua dimensi arah horizontal dalam sistem koordinat kartesius diubah kedalam bentuk sistem koordinat umum (ξ, η) . Dengan menggunakan sistem koordinat umum, maka grid numerik yang kompleks dapat digunakan. Hubungan antara sistem koordinat kartesius dengan sistem koordinat umum adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial x} = \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \xi} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \eta} \quad (17)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} = \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \xi} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \eta} \quad (18)$$

atau,

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi_x & \eta_x \\ \xi_y & \eta_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial \xi} \\ \frac{\partial}{\partial \eta} \end{pmatrix} \quad (19)$$

Dengan,

$$\xi_x = \frac{\partial \xi}{\partial x}, \quad \xi_y = \frac{\partial \xi}{\partial y}, \quad \eta_x = \frac{\partial \eta}{\partial x}, \quad \eta_y = \frac{\partial \eta}{\partial y} \quad (20)$$

sejalan dengan,

$$\frac{\partial}{\partial \xi} = \frac{\partial x}{\partial \xi} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial \xi} \frac{\partial}{\partial y} \quad (21)$$

$$\frac{\partial}{\partial \eta} = \frac{\partial x}{\partial \eta} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial \eta} \frac{\partial}{\partial y} \quad (22)$$

atau,

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial \xi} \\ \frac{\partial}{\partial \eta} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_\xi & y_\xi \\ x_\eta & y_\eta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{pmatrix} \quad (23)$$

dengan,

$$x_\xi = \frac{\partial}{\partial \xi}, x_\eta = \frac{\partial x}{\partial \eta}, y_\xi = \frac{\partial y}{\partial \xi} \quad (24)$$

karenanya,

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial \xi} \\ \frac{\partial}{\partial \eta} \end{pmatrix} = \frac{1}{\xi_x \eta_y - \xi_y \eta_x} \begin{pmatrix} \eta_y & -\eta_x \\ -\xi_y & \xi_x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_\xi & y_\xi \\ x_\eta & y_\eta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{pmatrix} \quad (25)$$

dimana, dengan menggunakan hubungan $J = \xi_x \eta_y - \xi_y \eta_x$

$$\frac{1}{J} \begin{pmatrix} \eta_y & -\eta_x \\ -\xi_y & \xi_x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_\xi & y_\xi \\ x_\eta & y_\eta \end{pmatrix} \quad (26)$$

karenanya,

$$x_\xi = \frac{1}{J} \eta_y, y_\xi = -\frac{1}{J} \eta_x, x_\eta = -\frac{1}{J} \xi_y, y_\eta = \frac{1}{J} \xi_x \quad (27)$$

atau,

$$\eta_y = J x_\xi, \eta_x = -J y_\xi, \xi_y = -J x_\eta, \xi_x = J y_\eta \quad (28)$$

$$J = \xi_x \eta_y - \xi_y \eta_x = J^2 (x_\xi y_\eta - x_\eta y_\xi) \quad (29)$$

karena itu,

$$J = \frac{1}{(x_\xi y_\eta - x_\eta y_\xi)} \quad (30)$$

(ξ, η) komponen dari kecepatan dinyatakan sebagai (u^ξ, u^η) ,

$$u^\xi = \xi_x u + \xi_y v \quad (31)$$

$$u^\eta = \eta_x u + \eta_y v \quad (32)$$

atau,

$$\begin{pmatrix} u^\xi \\ u^\eta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \xi_x & \xi_y \\ \eta_x & \eta_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \quad (33)$$

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \frac{1}{J} \begin{pmatrix} \eta_y & -\xi_y \\ -\eta_x & \xi_x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u^\xi \\ u^\eta \end{pmatrix} \quad (34)$$

c. Persamaan dalam sistem koordinatumum

Persamaan dalam sistem koordinat umum yang diubah dari sistem koordinat kartesius (x,y) adalah sebagai berikut:

[Persamaan continuum (Rangkaian kesatuan)]

$$\Lambda \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{z}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{hU}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{hV}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{h_g U_g}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{h_g V_g}{J} \right) = 0 \quad (35)$$

[Persamaan momentum]

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{hU}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(U \frac{hU}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(V \frac{hU}{J} \right) \\ & - \frac{hu}{J} \left(U \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right) + V \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right) \right) - \frac{hv}{J} \left(U \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} \right) + V \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} \right) \right) \\ & - gh \left(\frac{1}{J} \left(\left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} \right)^2 \right) \frac{\partial z_s}{\partial \xi} + \frac{1}{J} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) \frac{\partial z_s}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_{xy}}{\rho J} - \frac{F_{v\xi}}{\rho J} \\ & + \frac{1}{J} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \xi} (h\sigma_{xx}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \eta} (h\sigma_{xx}) \\ & + \frac{1}{J} \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \eta} (h\tau_{xy}) \\ & + \frac{1}{J} \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \eta} (h\tau_{xy}) \quad (36) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{hV}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \xi} \left(U \frac{hV}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(V \frac{hV}{J} \right) \\
 & - \frac{hu}{J} \left(U \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right) + V \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right) \right) - \frac{hv}{J} \left(U \frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right) + V \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right) \right) \\
 & - gh \left(\frac{1}{J} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) \frac{\partial z_s}{\partial \xi} \right) \frac{1}{J} \left(\left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right)^2 \frac{\partial z_s}{\partial \eta} \right) - \frac{\tau_{h\eta}}{\rho J} - \frac{F_{v\eta}}{\rho J} \\
 & + \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \xi} (h\sigma_{xx}) + \frac{1}{J} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \eta} (h\sigma_{xx}) \\
 & + \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \xi} (h\tau_{yx}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial}{\partial \eta} (h\tau_{yx}) \\
 & + \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \xi} (h\tau_{xy}) + \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \eta} (h\tau_{xy}) \\
 & + \frac{1}{J} \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial}{\partial \xi} (h\sigma_{yy}) \\
 & + \frac{1}{J} \left(\frac{\partial \eta}{\partial y} \right)^2 \frac{\partial}{\partial \eta} (h\sigma_{yy}) \dots \dots \dots (37)
 \end{aligned}$$

Dengan, U dan V menunjukkan kecepatan aliran pada kedalaman rerata *contravariant* di dasar sungai sepanjang koordinat ξ dan η , berurutan. Kecepatan tersebut didefinisikan sebagai berikut:

$$U = \frac{\partial \xi}{\partial x} u + \frac{\partial \xi}{\partial y} v, \quad V = \frac{\partial \eta}{\partial x} u + \frac{\partial \eta}{\partial y} v \dots \dots \dots (38)$$

U_g dan V_g menunjukkan kecepatan aliran rembesan kedalaman rerata *contravariant* sepanjang koordinat ξ dan η berurutan. Kecepatan ini didefinisikan sebagai berikut:

$$U_g = \frac{\partial \xi}{\partial x} u_g + \frac{\partial \xi}{\partial y} v_g, \quad V_g = \frac{\partial \eta}{\partial x} u_g + \frac{\partial \eta}{\partial y} v_g \dots \dots \dots (39)$$

$\tau_{b\xi}$ dan $\tau_{b\eta}$ menunjukkan *contravariant* tegangan geser sepanjang ξ dan η berurutan. Tegangan geser tersebut didefinisikan sebagai berikut:

$$\tau_{b\xi} = \frac{\partial \xi}{\partial x} \tau_{bx} + \frac{\partial \xi}{\partial y} \tau_{by}, \tau_{b\eta} = \frac{\partial \eta}{\partial x} \tau_{bx} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \tau_{by} \dots\dots\dots(40)$$

Hukum Manning digunakan untuk memperhitungkan kecepatan gesekan (u^*) berdasarkan,

$$u_*^2 = \frac{n_m^2 g}{R^{1/3}} (u^2 + v^2) \dots\dots\dots(41)$$

Dengan n_m adalah koefisien kekasaran manning, R adalah radius hiraulika, k_s adalah tinggi kekasaran, u_b dan v_b menunjukkan kecepatan didekat permukaan dasar sungai sepanjang sumbu x dan y secara berurutan. $F_{v\xi}$ dan $F_{v\eta}$ menunjukkan *contravariant* gaya geser sebagai akibat dari tanaman vegetasi sepanjang ξ dan η secara berurutan. Gaya geser tersebut didefinisikan sebagai berikut:

$$F_{v\xi} = \frac{\partial \xi}{\partial x} F_{vx} + \frac{\partial \xi}{\partial y} F_{vy}, F_{v\eta} = \frac{\partial \eta}{\partial x} F_{vx} + \frac{\partial \eta}{\partial y} F_{vy} \dots\dots\dots(42)$$

Persamaan momentum dan rembesan aliran air adalah berdasarkan,

$$u_g = -k_{gx} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \frac{\partial z_b}{\partial \xi} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \frac{\partial z_b}{\partial \eta} \right), v_g = -k_{gy} \left(\frac{\partial \xi}{\partial y} \frac{\partial z_b}{\partial \xi} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \frac{\partial z_b}{\partial \eta} \right) \dots\dots\dots(43)$$

Dengan k_{gx} dan k_{gy} secara berturut-turut adalah koefisien permeabilitas sepanjang arah longitudinal/memanjang dan melintang.

5. Metode perhitungan pada aliranturbulen

Model persamaan 0 digunakan untuk perhitungan tekanan turbulen dalam *Morpho2D*. Secara umum, koefisien viskositas eddy (ϵ) dapat dianggap sebagai hasil dari representasi kecepatan v_t dan panjang (l) berdasarkan pada persamaan:

$$\epsilon = v_t l \dots\dots\dots(44)$$

Dalam bidang/daerah aliran yang mana kedalaman air dan kekasaran pada dasar sungai secara bertahap berubah dalam arah melintang, urutan koefisien

viskositas eddy dalam arah horizontal dan vertikal diasumsikan sama dan koefisien viskositas eddy ε yang diasumsikan bergantung pada kecepatan gesekan dan kedalaman air.

$$\varepsilon = au \cdot h \dots\dots\dots(45)$$

Dengan a adalah nilai konstan.

Percobaan yang telah dilakukan oleh Fisher dan Webel Schatzmann mengindikasikan bahwa nilai a konstan karena terkait dengan perpindahan/transportasi momentum vertikal sebesar 0,07. Karena itu, koefisien viskositas eddy ε dapat ditunjukkan dengan menggunakan nilai konstan dari Karman (K) = 0,4 berdasarkan persamaan.

$$\varepsilon = \frac{k}{6} u \cdot h \dots\dots\dots(46)$$

Persamaan pergerakan/perpindahan (transport) aliran turbulen secara nilai statistik tidak digunakan pada pemodelan ini. Karena itu, pemodelan disebut dengan persamaan model0.

6. Persamaan tegangan geser pada dasar sungai

Tegangan geser pada dasar sungai dirumuskan berdasarkan hukum Manning dalam *Morpho2D*. Koefisien kekasaran Manning dapat didistribusikan secara spasial.

Tegangan geser dasar τ_x , τ_y diperhitungkan berdasarkan kecepatan gesekan u^* . Hubungan antara kecepatan gesekan u^* dan kekasaran Manning n_m adalah berdasarkan persamaan berikut:

$$u_*^2 = \frac{n_m^2 g}{R^{1/3}} (u^2 + v^2) \dots \dots \dots (47)$$

7. Persamaan gaya geser/penahan dari tanaman vegetasi

Gaya geser (penahan) yang diakibatkan oleh tanaman vegetasi dapat diperhitungkan dengan menggunakan nilai koefisien gaya geser C_{dv} , rapat massa tanaman vegetasi λ_v dan area proyeksi (tinggi) h_v dalam *Morpho2D*. Rapat massa vegetasi λ_v dapat diperhitungkan dengan menggunakan tingkat pelapisan/permukaan yang ditutupi dari tanaman vegetasi pada sel perhitungan c_{uv} dan rapat massa maksimum vegetasi λ_{vb} berdasarkan persamaan sebagai berikut,

$$\lambda_v = c_{uv} \lambda_{vb} \dots \dots \dots (48)$$

Distribusi spasial dari vegetasi dapat dipertimbangkan berdasarkan perubahan secara horizontal tingkat pelapisan/permukaan yang tertutupi tanaman c_{uv} . Sebagai tambahan, dengan menggunakan data tinggi tanaman vegetasi h_v , proyeksi area (tinggi) dapat didefinisikan lebih akurat.

8. Permodelan Erosi Tepi Sungai

Erosi pada tepi sungai dapat diperhitungkan dengan mempertimbangkan sudut peletakan/pengendapan dari sedimen yang terjadi. Ketukan kemiringan dasar sungai lokal (pada daerah tertentu) nilainya lebih besar dari pada sudut pembentukkan (peletakan/pengendapan), sedimen pada grid numerik yang bernilai besar akan bergerak/berpindah ke grid numerik yang lebih kecil untuk menjaga kemiringan dasar sungai lokal tetap lebih kecil dari sudut pengendapan.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Sungai Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada September sampai Oktober 2020.

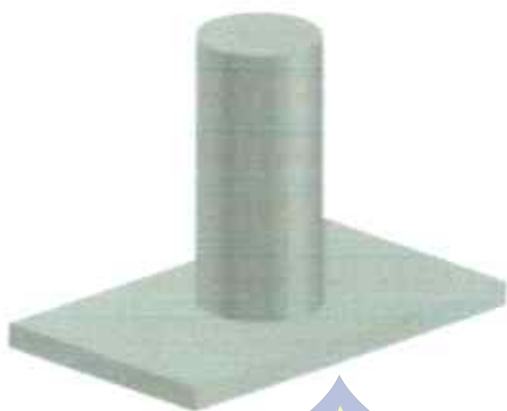
B. Metode Pengumpulan Data

Untuk melakukan simulasi menggunakan *software* *iRIC* yang akan digunakan pada penelitian ini dibutuhkan beberapa data. Data yang akan digunakan pada *software* *iRIC* adalah data geometri saluran, debit, *slope*, penampang pilar, dan angka manning. Data-data yang akan digunakan tersebut didapatkan dari pemodelan fisik yang dilakukan di Laboratorium Sungai Universitas Muhammadiyah Makassar.

Tabel 1 Data kondisi aliran pada simulasi yang dijalankan

Uraian	Data
Debit (m^3/s)	0,0134
Durasi waktu running (menit)	3
Panjang saluran (m)	6
Lebar saluran (m)	0,50
Kemiringan saluran (<i>slope</i>)	0,0022
Angka manning	0,022
Diameter material dasar (mm)	0,955

Model pilar yang digunakan pada penelitian ini menggunakan pilar model silinder terbuat dari beton yang dibentuk sesuai model, dimana ukuran silinder dengan ketinggian 20 cm dan dengan diameter pilar 10 cm. Model pilar diletakkan di tengah model saluran pada jarak 4 m dari hulu.



Gambar 1 Model silinder

Model tirai yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari beton yang dibentuk menggunakan cetakan sesuai model. Adapun model yang digunakan adalah tirai bentuk persegi dengan sisi depan melengkung (*rectangular with wedge shape curve*) dengan ketinggian 20 cm dan dengan lebar pilar dua macam ukuran yaitu 5 cm.



Gambar 2 Model tirai sayap beton

Pada *software iRIC* geometri saluran akan diubah kedalam bentuk *grid*. Pada penelitian kali ini *grid* yang akan digunakan ditentukan dengan cara coba-coba (*trial and error*). *Grid* yang digunakan untuk lebar sebanyak 49 kotak

sedangkan untuk panjang sebanyak 599 kotak, sehingga satu kotak *grid* mewakili 1 cm. Model *grid* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 3 Model *grid* pada *software iRIC : Nays2DH 3.0*



C. Bagan Alir Penelitian



Gambar 4 Bagan alir penelitian

D. Langkah-Langkah Simulasi *iRIC: Nays2DH 3.0*

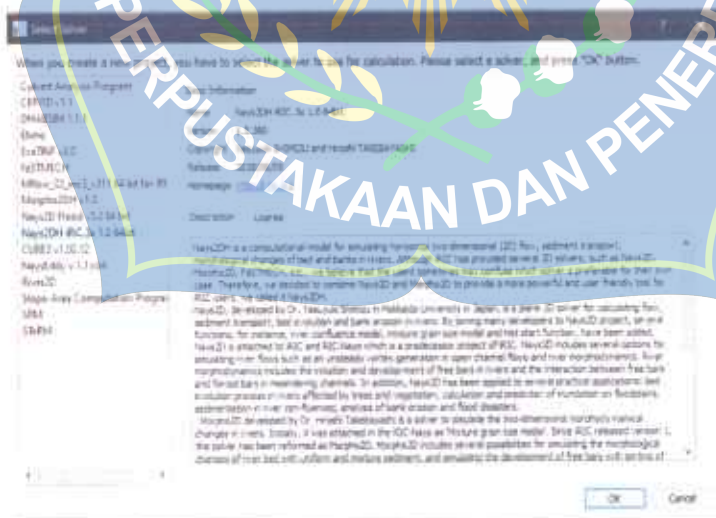
Langkah-langkah yang dilakukan untuk simulasi gerusan lokal yang terjadi pada pilar model tirai sayap beton dengan program *iRIC: Nays2DH 3.0* adalah sebagai berikut.

1. Langkah *Pre-processing*
 - a. Buka *software iRIC*, klik *Create New Project*.



Gambar 13 Tampilan awal *software iRIC 3.0*

- b. Pilih *Nays2DH iRIC 3x 1.0 64 bit* untuk memodelkan gerusan lokal yang terjadi di sekitar pilar, lalu klik *OK*.



Gambar 14 Tampilan pemilihan *solver*

- c. Untuk membuat geometri saluran pada *software iRIC:Nays2DH 3.0* pilih

toolbar *Grid* >> *Select Algorithm to Create Grid*, setelah itu pilih *Multifunction Grid Generator*, lalu klik *OK*.



Gambar 15 Tampilan pemilihan metode pembuatan grid

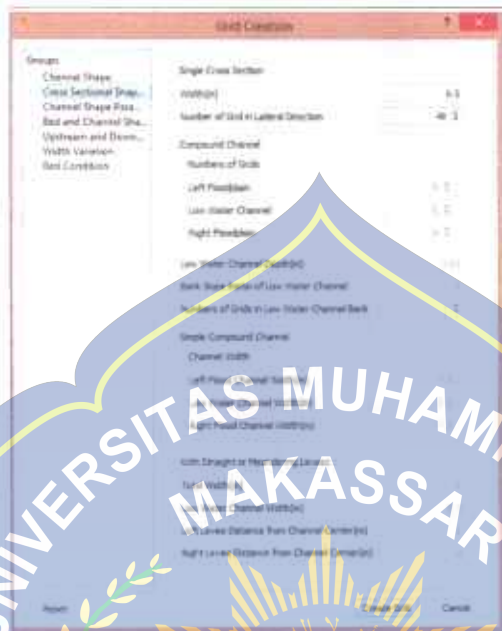
- d. Pada jendela *Grid Creation* ada beberapa menu pada kolom *Groups*. Pertama pilih menu *Channel Shape*. *Select Channel Shape* adalah pilihan bentuk saluran, karena saluran yang digunakan berbentuk lurus, maka pilih *Straight*, sedangkan *Cross Sectional Shape* adalah bentuk dari potongan melintang saluran, karena potongan melintang salurannya seragam maka pilih *Single Cross Section*.



Gambar 16 Tampilan menu *Channel Shape*

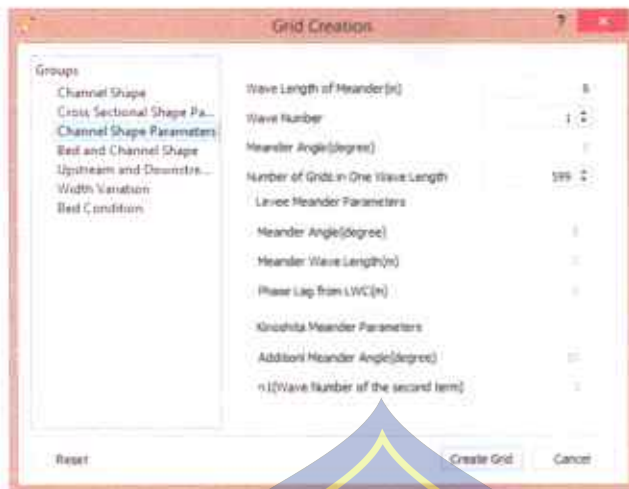
- e. Pada *Groups Cross Sectional Shape Parameters* terdapat pilihan *Width* yaitu

lebar saluran dalam satuan meter, untuk lebar saluran masukkan angka 0,5, Selain itu ada pilihan *Number of Grid in Lateral Direction* yaitu jumlah *grid* pada arah lateral, pada pilihan ini masukkan angka 49.



Gambar 17 Menu *Cross Sectional Shape*

- f. Selanjutnya pada kolom *Groups* pilih *Channel Shape Parameters*. Pada *Channel Shape Parameters* terdapat pilihan *Wave Length of Meander* yaitu panjang saluran dalam satuan meter. Untuk panjang saluran masukkan angka 6, sedangkan pada *Wave Number* dan *Number of Grids in One Wave Length* berturut-turut masukkan angka 1 dan 599.



Gambar 18 Tampilan menu *Cross Shape Parameter*

- g. Pada *Groups Bed and Channel Shape* terdapat pilihan *Initial Bed Shape* dan *Channel Slope* yaitu bentuk dasar saluran dan kemiringan saluran. Pada *Initial Bed Shape* pilih *Flat (no bar)*, sedangkan pada *Channel slope* masukkan angka 0,0022. Lalu klik *Create Grid*.



Gambar 19 Tampilan *Groups Bed and Channel Shape*

- h. Apabila muncul kolom *Confirmation, Do you want to map geographic data to grid attributes now*. Klik *yes*

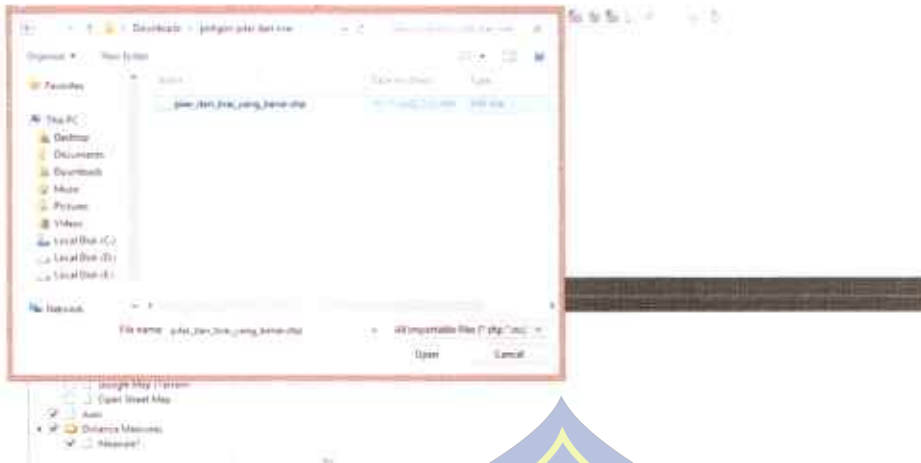


Gambar 20 Tampilan menu *Confirmation*



Gambar 21 Tampilan hasil Grid

- i. Untuk membuat bangunan pilar dan tirai pada saluran, klik *Obstacle* pada menu *Object browser*. Lalu klik kanan pada *obstacle*, dan pilih *Import*. Kemudian pilih folder dimana file pilar dan tirai disimpan, lalu klik *open*. Pada *Polygon import setting* pada kolom *Name* pilih *Name is set automatically* dan pada kolom *Value* klik *specify value* pilih *obstacle*. Kemudian klik *Ok*.



Gambar 22 Tampilan import obstacle



Gambar 23 Tampilan Polygon import setting



Gambar 24 Hasil input pilar dan tirai pada grid hitungan

- j. Untuk membuat dasar pilar tersebut tidak berubah selama proses *running*. Klik kanan pada pilar yang sudah dibuat, kemudian pilih *Copy*, lalu pilih *Fixed or Movable Bed*, klik *OK*. Selanjutnya pilih *Fixed bed* dan klik *OK*.



Gambar 25 Tampilan *copy obstacle*

- k. Untuk membuat dasar saluran berdeformasi selama proses *running* klik kanan pada *Fixed or Movable Bed*, kemudian pilih *Add >> Polygon*. Selanjutnya gambar *Polygon* mengelilingi saluran. Setelah selesai pilih *Movable Bed*.

Gambar 26 Tampilan setelah ditambahkan polygon

- l. Untuk menentukan koefisien *Manning* pada dasar saluran. Klik kanan pada *Manning's roughness coefficient*, kemudian pilih *Add >> Polygon*. Kemudian buat *Polygon* yang mencakup seluruh saluran, lalu masukkan angka koefisien *Manning* sebesar 0,022.



Gambar 27 Tampilan setelah ditambahkan angka manning

- m. Setelah itu pilih menu *Calculation Condition >> Setting*, untuk mengatur kondisi saluran saat dilakukan *running*.
- n. Pada kolom *Groups* terdapat beberapa pilihan, pertama pilih *Solver Type*, yaitu tipe pemecahan masalah yang akan dipilih. Pada *Bed deformation* ganti dengan *Enable*.

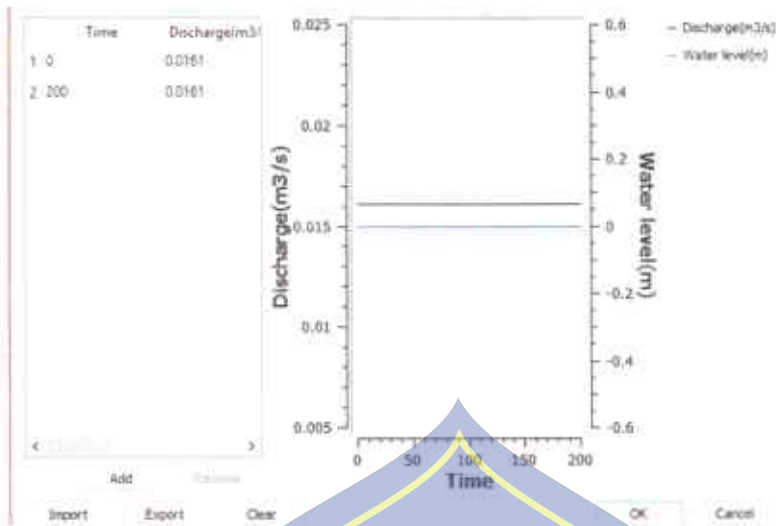


Gambar 28 Tampilan Solver Type

- o. *Boundary Condition* merupakan pengaturan kondisi pada saluran, untuk memasukkan debit klik *Edit* pada *Time series of discharge at upstream and water level at downstream*. Selanjutnya klik *import* dan pilih tempat penyimpanan debit yang sudah dibuat sebelumnya.



Gambar 29 Menu Boundary Condition



Gambar 30 Tampilan untuk memasukkan debit

- p. Menu *Time* adalah menu untuk mengatur waktu *running*. *Output time interval* adalah interval waktu yang akan diunculkan saat *running*. *Calculate time step* adalah langkah waktu kalkulasi yang akan digunakan. *Start time of output* adalah waktu awal *running*. Sedangkan *Start time of bed deformation* adalah waktu mulai terjadinya deformasi.



Gambar 31 Tampilan menu Time

- q. Menu *Bed Material* adalah menu untuk memasukkan diameter butiran dasar saluran, pada penelitian ini menggunakan d_{50} dari gradasi butiran dasar saluran yaitu 0,955 mm.



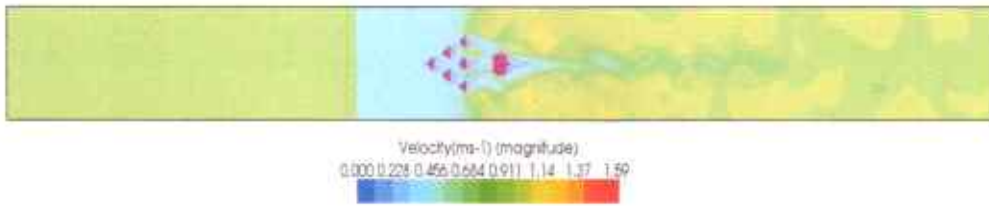
Gambar 32 Tampilan menu *Bed Material*

2. Langkah *Processing*

Setelah data dimasukkan, langkah selanjutnya adalah melakukan *running* dengan caraklik menu *Simulation* → *Run* atau dengan menggunakan *Ctrl+R*.



Gambar 33 Tampilan *running* iRIC: *Nays2DH 3.0*



Gambar 34 Tampilan hasil *Running*

Setelah di-*running* banyak hasil yang bisa dilihat, seperti kecepatan aliran (*velocity*), elevasi (*elevation*), dan arah aliran (*arrow velocity*). Untuk pembahasan lebih lanjut dapat dilihat pada bab hasil dan pembahasan.

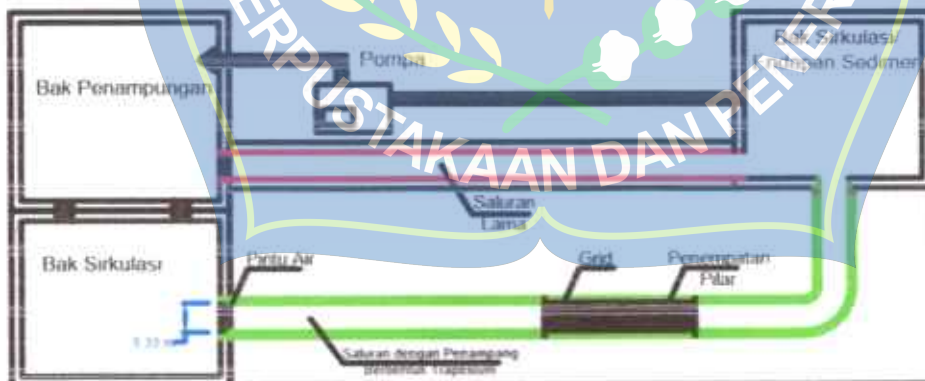


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Penelitian

Penelitian ini dimodelkan dengan *software iRIC: Nays2DH 3.0* yang dibuat oleh Dr. Yasuyuki Shimizu dan Hiroshi Takebayashi di Hokkaido University, Jepang. *iRIC: Nays2DH 3.0* merupakan perangkat yang bisa mensimulasikan gerusan yang terjadi pada sekitar pilar jembatan. Pada penelitian ini permodelan dilakukan dengan aliran seragam (*uniform flow*), dimana berbagai variabel aliran seperti kedalaman tampang basah (h), kecepatan (v), dan debit (Q) di sepanjang aliran tidak berubah terhadap waktu. Debit yang digunakan sebesar $0,0134 \text{ m}^3/\text{s}$. Digunakan kemiringan saluran sebesar $0,0022$ dan memiliki angka Manning sebesar $0,022$. Untuk simulasi ini waktu *running* yang digunakan adalah selama 3 menit. Penampang saluran yang ditinjau memiliki lebar saluran $0,50 \text{ m}$ dan panjang saluran 6 m seperti pada Gambar 35.



Gambar 5 Tampak atas penampang saluran

Pada *software IRIC* geometri saluran akan diubah kedaiam bentuk *grid*. Pada penelitian kali ini *grid* yang akan digunakan berbentuk lurus. *Grid* yang digunakan untuk lebar sebanyak 49 kotak sedangkan untuk panjang sebanyak 599 kotak, sehingga satu kotak *grid* mewakili 1 cm. Bentuk pilar dan formasi tirai dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar 6 Bentuk pilar dan tirai pada simulasi *software IRIC: Nays2DH 3.0*

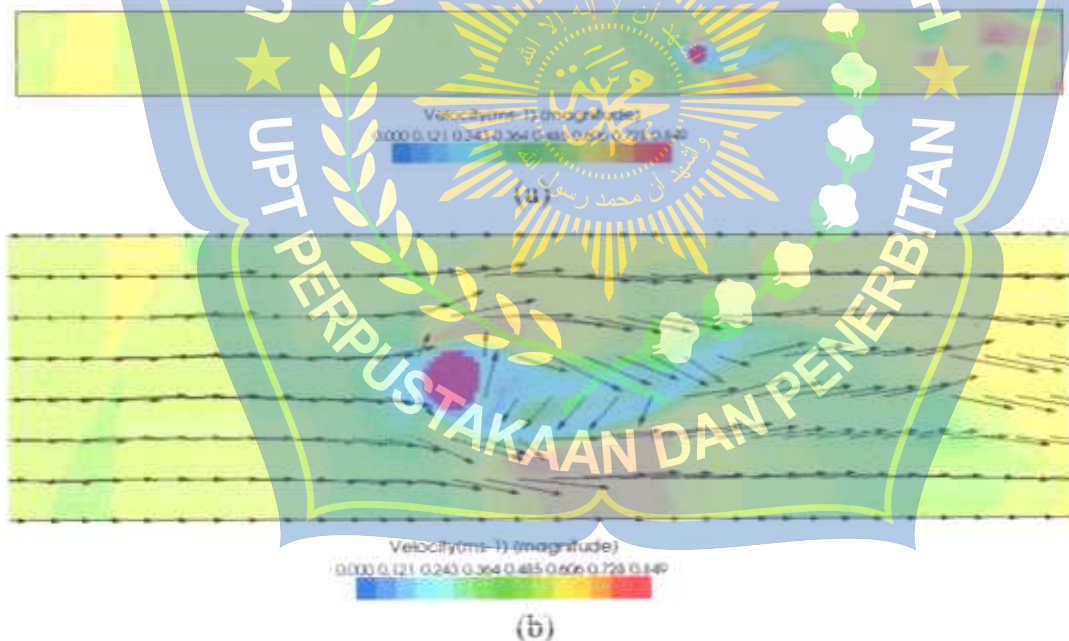
B. Kecepatan Aliran

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 menggunakan dimensi saluran yang memiliki panjang 6 m dan lebar 0,50 m, menggunakan pilar silinder dengan ukuran diameter 10 cm dan tinggi 20 cm sedangkan tirai yang digunakan berbentuk persegi sisi depan melengkung dengan lebar 5 cm dan tinggi 20 cm. Pada simulasi ini menggunakan debit sebesar $0,0134 \text{ m}^3/\text{s}$ diperoleh dari tabel perhitungan debit pada alat ukur *V-Notch Weir*.

Tabel 2 Perhitungan debit pada alat ukur *V-Notch Weir*

Bukaan pintuair (m)	No Waktu (detik)	C_d	H_V -Notch Weir (m)	Q
				$m^3/detik$
				$Q = \left(\frac{8}{15}\right) \cdot C_d \cdot H^{2.5} \cdot \sqrt{(2 \cdot g)}$
0.04	600	0.5994	0.155	0.0134
	1200	0.5994		
	1800	0.5994		

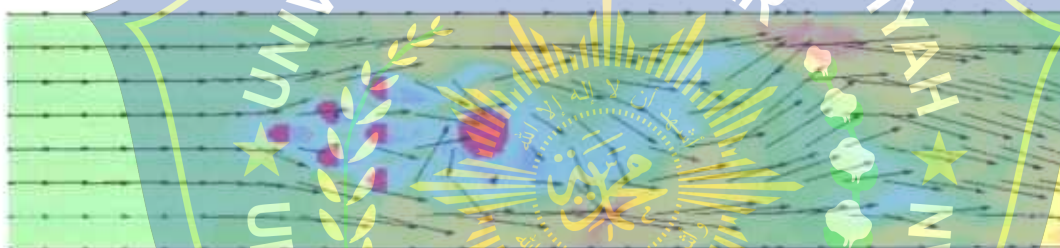
Setelah dilakukan simulasi menggunakan *software iRIC: Nays2DH 3.0* didapatkan hasil kecepatan aliran seperti ditunjukkan pada Gambar 37 sampai dengan Gambar 38. Kecepatan aliran pada saluran dari hasil simulasi *software iRIC: Nays2DH 3.0* digambarkan dengan skala warna dari yang terendah 0,000 ms-1 yang digambarkan dengan warna biru sampai dengan kecepatan yang tertinggi yaitu 0,998 ms-1 yang digambarkan oleh warna merah.



Gambar 7 Kecepatan aliran tanpa model tirai (a) dan arah aliran di sekitar pilar (b)

Tabel 5 Nilai kecepatan aliran berdasarkan skala warna pada *software iRIC: Nays2DH 3.0* tanpa model tirai

No.	Skala Warna	Nilai kecepatan aliran (m/s)
1	Biru tua	0.000
2	Biru muda	0.121 - 0.243
3	Hijau	0.364 - 0.485
4	Hijau kekuningan	0.485 - 0.606
5	Kuning kemerahan	0.606 - 0.728
6	Merah	0.84



Gambar 8 Kecepatan aliran dengan model tirai (a) dan arah aliran di sekitar pilar dan tirai (b)

Tabel 6 Nilai kecepatan aliran berdasarkan skala warna pada *software iRIC: Nays2DH 3.0* dengan model tirai

No.	Skala Warna	Nilai kecepatan aliran (m/s)
1	Biru tua	0.000
2	Biru muda	0.143 - 0.285
3	Hijau	0.428 - 0.570
4	Hijau kekuningan	0.570 - 0.713
5	Kuning kemerahan	0.713 - 0.855
6	Merah	0.998

Pada pemodelan iRIC tanpa model tirai (Gambar 37) perbedaan kecepatan dideskripsikan dengan warna, mulai dari kecepatan yang paling rendah yaitu 0.000 ms-1 dideskripsikan dengan warna biru tua sampai kecepatan yang paling tinggi yaitu 0.849 ms-1 dideskripsikan dengan warna merah tua. Sedangkan pada pemodelan iRIC dengan model tirai (Gambar 38) kecepatan yang paling tinggi yaitu 0.998 ms-1 dideskripsikan dengan warna merah tua. Kecepatan aliran pada saluran yang memiliki model tirai lebih besar dibandingkan tanpa model tirai. Kecepatan awal saluran berwarna hijau kekuningan terlihat di hulu saluran.

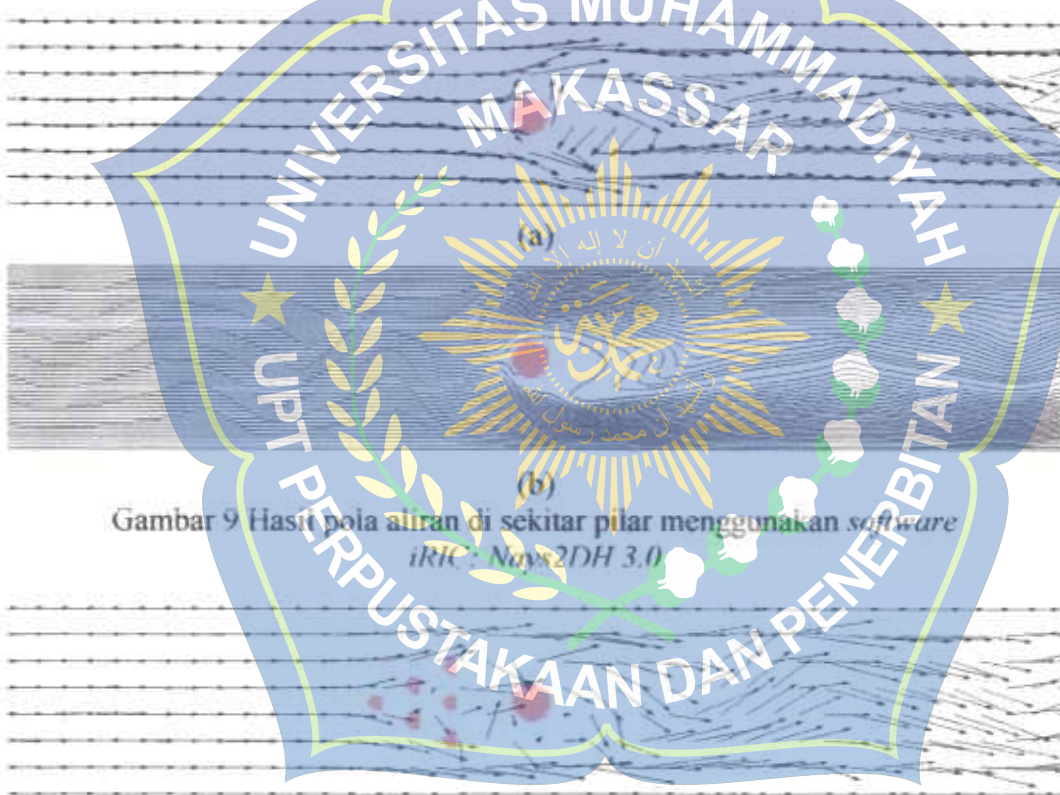
Nilai kecepatan pada pilar jembatan yang berbentuk silinder untuk model numerik (Gambar 37) terjadi perlambatan kecepatan aliran diujung pilar pada arah hulu saluran. Perlambatan juga terjadi pada bagian ujung pilar silinder pada arah hilir, begitupun keadaan disekitar tirai (Gambar 38) mengalami perlambatan kecepatan aliran dari arah hulu dan hilir. Selain itu, percepatan juga terjadi di sisi kanan dan kiri pilar dan tirai sampai ke arah tebing saluran. Perubahan percepatan tetap didominasi oleh warna kuning, sedangkan percepatan tertinggi di tandai dengan warna kemerahan. Nilai kecepatan aliran di sekitar pilar sangat rendah pada pemodelan iRIC dengan model tirai (Gambar 38) didominasi oleh warna biru.

C. Pola Aliran

Arah aliran pada kondisi normal mengalir dari hulu saluran menuju ke hilir saluran. Dalam teori hidrolika air akan mengalir dari daerah yang memiliki tekanan tinggi menuju ke daerah yang memiliki tekanan yang rendah. Namun arah

aliran dapat berbelok jika menemui hambatan pada tengah saluran seperti adanya pilar jembatan dan bangunan tirai. Adanya hambatan yang berada pada tengah saluran menyebabkan arah aliran berbelok dan dapat menyebabkan turbulensi aliran yang akan berpengaruh terhadap kedalaman dan pola gerusan yang terjadi.

Dalam simulasi menggunakan *software iRIC: Nays2DH 3.0* pola aliran dapat dimodelkan dengan menggunakan garis aliran (*streamline*). Pola aliran pada pilar dan tirai yang dimodelkan dengan *software iRIC: Nays2DH 3.0* dapat dilihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar 9 Hasil pola aliran di sekitar pilar menggunakan *software iRIC: Nays2DH 3.0*

(a)



(b)

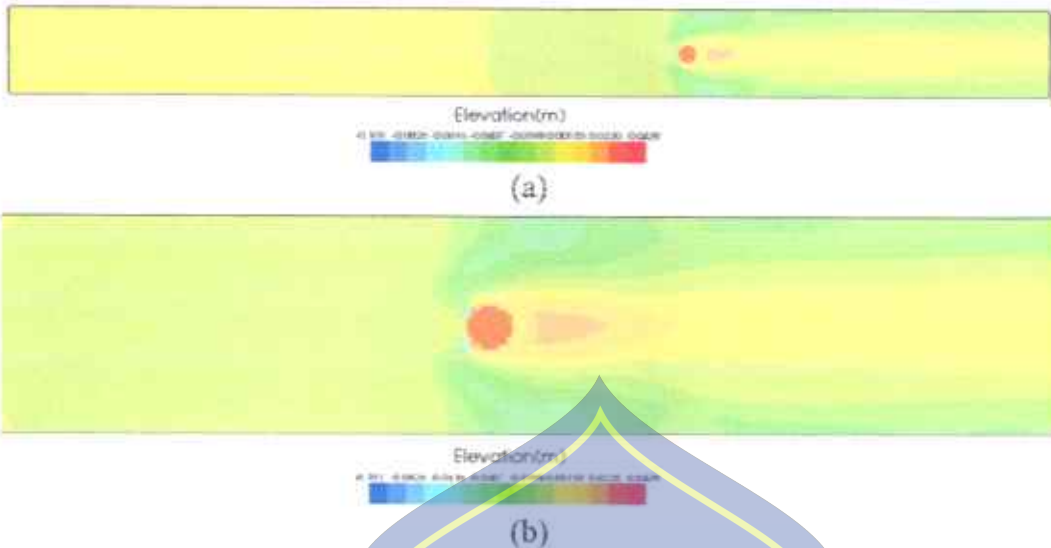
Gambar 10 Hasil pola aliran di sekitar pilar dan tirai menggunakan software *iRIC: Nays2DH 3.0*

Pada Gambar 39 terlihat arah dan pola aliran berubah setelah melewati pilar. Hal ini menyebabkan pusaran air (*vortex*) di sekitar pilar. Sedangkan pada Gambar 40 terlihat arah dan pola aliran sangat di pengaruhi oleh adanya tirai di depan pilar jembatan, hal ini mengurangi besarnya pusaran air (*vortex*) di sekitar pilar. Dilihat dari hulu dan hilir terlihat bahwa terjadi turbulensi di sisi kanan dan kiri saluran karena adanya tirai yang merubah arah aliran. Setelah melewati pilar, pola aliran akan kembali normal secara perlahan.

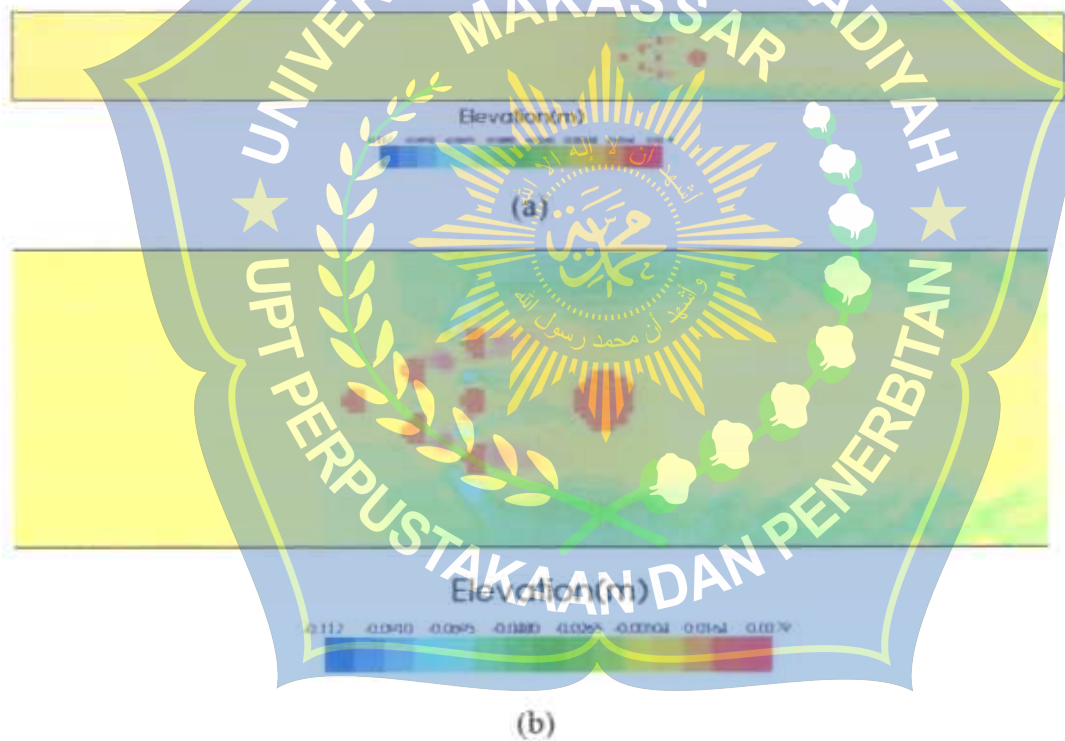
D. Pola Gerusan

Pola gerusan di sekitar pilar terjadi karena aliran dihalangi oleh pilar. Hal ini menyebabkan terganggunya pola aliran sehingga menyebabkan terjadinya pusaran air (*vortex*) di sekitar pilar. Besarnya gerusan ditentukan oleh besarnya pusaran yang terjadi dan kecepatan aliran di sekitar pilar.

Pada simulasi menggunakan software *iRIC: Nays2DH 3.0* pola gerusan ditampilkan dengan elevasi dasar saluran seperti ditunjukkan pada Gambar di bawah ini.



Gambar 11 Hasil elevasi tanpa model tirai pada simulasi software iRIC: Nays2DH 3.0



Gambar 12 Hasil elevasi dengan model tirai pada simulasi software iRIC: Nays2DH 3.0

Elevasi dasar saluran pada awalnya bernilai stabil. Akan tetapi, elevasi dasar saluran dapat berubah apabila terjadi perubahan morfologi penampang saluran

seperti adanya pembuatan pilar jembatan. Perubahan elevasi dasar saluran dapat berupa penurunan elevasi dasar atau kenaikan elevasi dasar saluran, untuk penurunan elevasi dasar saluran akan berhubungan dengan gerusan. Pada penelitian ini, perubahan elevasi dasar saluran akan dipengaruhi oleh bangunan tirai yang berada di depan pilar jembatan yang menjadi halangan aliran.

Pada gambar di atas menunjukkan elevasi dasar saluran yang ditunjukkan dengan skala warna. Warna merah menunjukkan elevasi dasar saluran tertinggi dan warna biru menunjukkan elevasi dasar saluran terendah. Elevasi dasar saluran berubah ketika terdapat pilar dan tirai pada tengah saluran. Perubahan elevasi dasar saluran tersebut memiliki karakteristik yang berbeda jika adanya tirai di depan pilar jembatan.

Pada Gambar 42 terlihat bahwa elevasi di sekitar pilar hanya sedikit mengalami perubahan dibandingkan dengan tanpa model tirai pada Gambar 41, dimana elevasi dasar saluran dibagian hulu sebelum tirai berwarna kuning sama dengan warna pada sekitar pilar jembatan. Hal ini disebabkan karena adanya tirai yang merubah arah kecepatan aliran di sekitar pilar sehingga terjadi penurunan dan kenaikan elevasi dasar saluran di sekitar tirai. Perubahan elevasi yang terjadi di sisi kanan dan kiri pilar jembatan ke arah dinding saluran berupa penurunan elevasi dasar (gerusan) terlihat dari warna hijau dan biru muda. Selain penurunan elevasi dasar, terjadi juga kenaikan elevasi dasar (endapan) yang ditandai dengan warna kemerahan setelah tirai dan kekuningan setelah pilar arah ke hilir.

Perubahan elevasi dasar saluran terlihat kurang jelas pada model numerik untuk penurunan maupun kenaikan elevasinya, maka dilakukan tinjauan dari

beberapa potongan di sekitar pilar jembatan. Peninjauan tersebut dilakukan untuk pengakuratan analisa mengenai perubahan elevasi dasar saluran terutama nalisa mengenai gerusan di sekitar pilar. Peninjauan dilakukan dengan menggunakan grafik yang dibuat dari *Microsoft Excel*. Peninjauan ini dilakukan dengan 4 potongan bagian sebagai berikut.

1. Tinjauan potongan I-I pada hulu pilar



Gambar 1.1 Potongan I-I pada hulu pilar



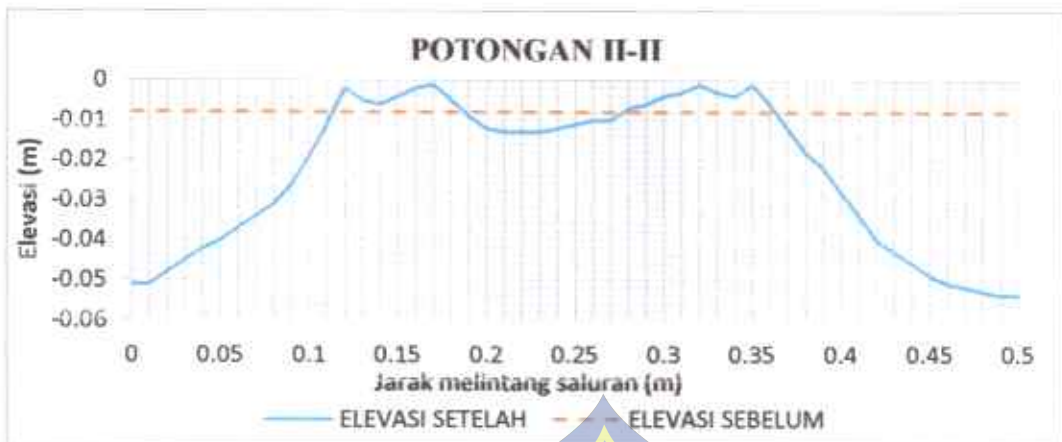
Gambar 14 Elevasi dasar saluran pada potongan I-I

Potongan I-I merupakan potongan melintang pada hulu pilar yang terdapat pada *grid* $i = 341$ (45 cm dari pilar). Pada potongan ini terjadi gerusan pada sisi kanan dan kiri saluran, dan di bagian tengah saluran tidak mengalami perubahan elevasi.

2. Tinjauan potongan II-II pada depan pilar



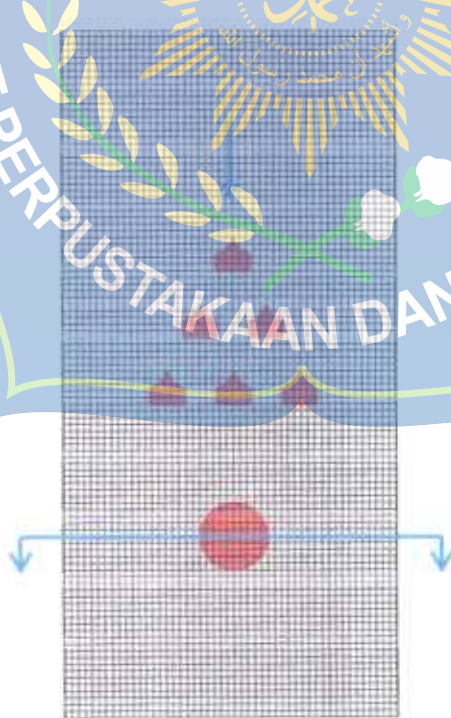
Gambar 15 Potongan II-II pada depan pilar



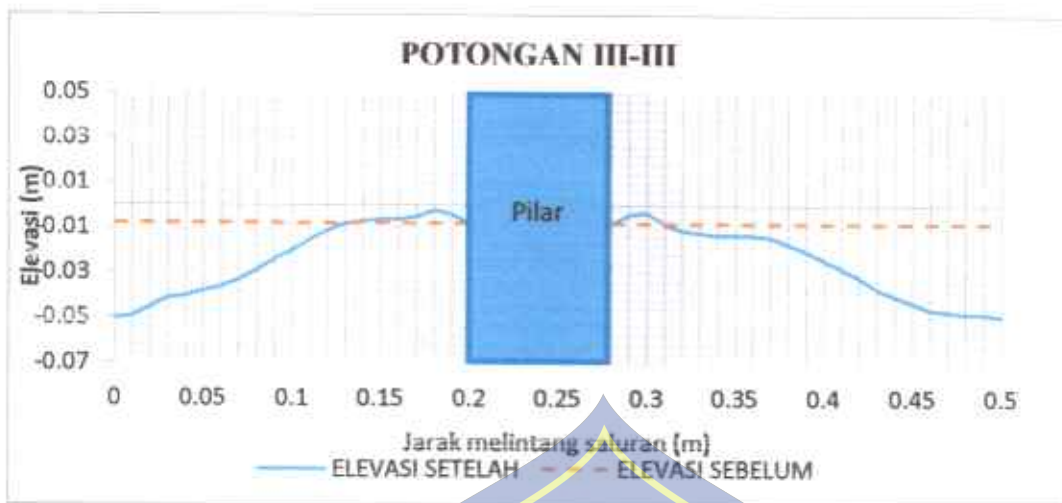
Gambar 16 Elevasi dasar saluran pada potongan II-II

Potongan II-II merupakan potongan melintang pada hulu pilar yang terdapat pada *grid* $i = 381$ (5 cm dari pilar). Pada potongan ini terjadi gerusan pada sisi kanan dan kiri saluran, selain mengalami penurunan elevasi terjadi juga kenaikan elevasi dasar saluran yang relatif kecil. Di bagian tengah saluran juga terjadi penurunan elevasi yang relatif kecil.

3. Tinjauan potongan III-III pada tengah pilar



Gambar 17 Potongan III-III pada tengah pilar



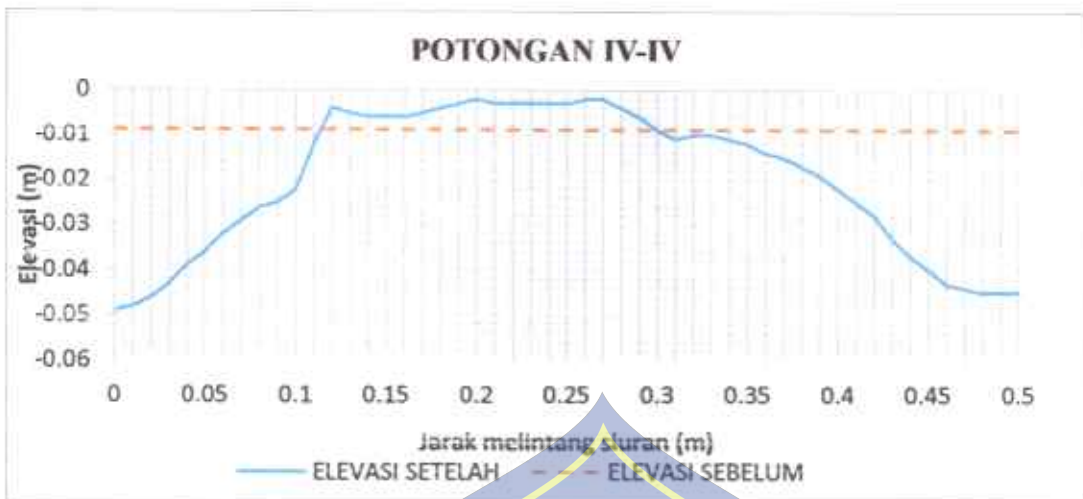
Gambar 18 Elevasi dasar saluran pada potongan III-III

Potongan III-III merupakan potongan melintang pada hulu pilar yang terdapat pada *grid* $i = 391$. Pada potongan ini terjadi gerusan pada sisi kanan dan kiri saluran, selain mengalami penurunan elevasi terjadi juga kenaikan elevasi dasar saluran yang relatif kecil di dekat pilar.

4. Tinjauan potongan IV-IV pada belakang pilar



Gambar 19 Potongan IV-IV pada belakang pilar



Gambar 20 Elevasi dasar saluran pada potongan IV-IV

Potongan IV-IV merupakan potongan melintang pada hulu pilar yang terdapat pada *grid* $i = 401$ (5 m setelah pilar). Pada potongan ini terjadi gerusan pada sisikanan dan kiri saluran, selain mengalami penurunan elevasi terjadi juga kenaikan elevasi dasar saluran yang relatif kecil di bagian tengah saluran.

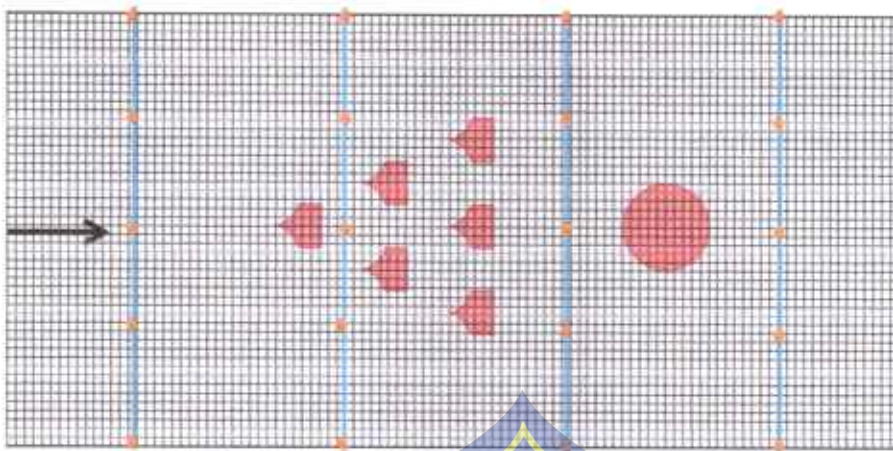
E. Analisis Validasi Permodelan IRIC

Validasi model dilakukan dengan membandingkan antara nilai hasil permodelan dengan nilai investigasi pengukuran di lapangan. Hal ini diperlukan untuk memutuskan hasil model memiliki kesalahan relatif sehingga dapat digunakan untuk kebutuhan selanjutnya. Tingkat kesalahan (*error probability*) dilakukan dengan pendekatan persamaan sederhana (Syahputra, et al., 2014) :

$$Error = \frac{1}{N} \sqrt{\left[\sum_{i=1}^N \left| \frac{X_s - X_d}{X_d} \right| \right]} \times 100\% \quad (49)$$

Dengan, X_s nilai hasil simulasi; X_d nilai hasil pengukuran; N adalah jumlah data.

Analisis validasi permodelan numerik yang akan ditinjau adalah nilai kecepatan aliran pada saluran di sekitar pilar dan tirai jembatan, dengan 20 titik pengamatan yang dapat terlihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar 21 Titik pengamatan pada permodelan numerik dan pengukuran lapangan

Tabel 7 Analisa validasi kecepatan aliran pada permodelan iRIC dengan pengukuran lapangan (tanpa tirai)

Kecepatan Aliran (ms-1)										Nilai error(%)
Permodelan iRIC					Pengukuran Lapangan					
0,319	0,310	0,275	0,308	0,326	0,400	0,400	0,400	0,400	0,300	19
0,354	0,339	0,309	0,362	0,380	0,400	0,400	0,300	0,300	0,300	10
0,528	0,523	0,318	0,322	0,533	0,400	0,400	0,300	0,400	0,400	18
0,438	0,413	0,022	0,343	0,576	0,400	0,300	0,100	0,300	0,400	10
Rata-rata										14

Tabel 8 Analisa validasi kecepatan aliran pada permodelan iRIC dengan pengukuran lapangan

Kecepatan Aliran (ms-1)										Nilai error(%)
Permodelan iRIC					Pengukuran Lapangan					
0,462	0,453	0,418	0,451	0,469	0,500	0,500	0,500	0,600	0,600	18
0,497	0,482	0,011	0,505	0,523	0,500	0,400	0,400	0,300	0,500	4
0,671	0,666	0,161	0,133	0,676	0,400	0,400	0,300	0,400	0,400	19
0,581	0,556	0,225	0,386	0,719	0,400	0,300	0,300	0,300	0,500	27
Rata-rata										17

Pada tabel di atas menunjukkan bahwa terdapat nilai *error* di atas batas maksimal sebesar 27% pada bagian hilir saluran. Hal itu disebabkan karena kapasitas pompa air yang digunakan tidak baik sehingga aliran air pada model fisik tidak konstan selama running. Untuk validasi kecepatan aliran antara permodelan iRIC dan pengukuran lapangan tanpa tirai didapatkan rata-rata sebesar 14% sedangkan dengan model tirai didapatkan rata-rata sebesar 17% sehingga bisa dikatakan perbedaan pada kedua model relatif kecil. Kecepatan aliran yang terjadi pada saluran dengan model tirai lebih besar dibanding tanpa tirai disebabkan karena luas penampang saluran yang berkurang.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan pada pilar jembatan berbentuk silinder dan tirai sayap beton, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Berdasarkan simulasi dengan *software iRIC : Nays2DH 3.0* didapatkan hasil :
 - a. Pada *output velocity* (ms-1), kecepatan yang terjadi di sekitar pilar dan tirai relatif kecil disebabkan karena arah aliran yang berubah setelah adanya tirai.
 - b. Pada *output arrow velocity* (ms-1), pola aliran di sekitar pilar dan tirai mempunyai pola turbulensi sehingga arah aliran juga berubah setelah melewati tirai dan pilar.
 - c. Pada *output elevation* (m), gerusan yang terjadi disekitar pilar relatif kecil disebabkan karena adanya tirai di depan pilar dan pada bagian sisi kiri dan kanan saluran setelah pilar mengalami gerusan relatif besar.
2. Berdasarkan hasil validasi antara analisa model *iRIC* dengan model fisik pada *output velocity* (ms-1) mempunyai perbedaan yang relatif kecil yaitu sebesar 17%.

B. Saran

Penelitian ini merupakan penelitian tahap pertama dalam analisa permodelan numerik menggunakan *software iRIC : Nays2DH 3.0*, maka ada beberapa saran yang dapat menyempurnakan penelitian ini, diantaranya sebagai

berikut :

1. Pada running dengan permodelan dengan *software iRIC : Nays2DH 3.0* debit yang digunakan sebaiknya debit *unsteady* supaya sesuai dengan kondisi sungai dilapangan.
2. Sebaiknya dilaksanakan penelitian lanjutan mengenai perkembangan kedalaman gerusan terhadap waktu disekitar pilar.
3. Perlu adanya variasi data seperti gradasi sedimen, bentuk pilar yang berbeda, variasi debit dan variasi bentuk tirai yang digunakan.
4. Pada simulasi model fisik perlu diperhatikan kapasitas pompa air yang digunakan agar aliran tetap konstan selama *running*.
5. Sebaiknya dilakukan analisa volume gerusan di sekitar pilar jembatan.



DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, Anton, Bakeman Ikhsan, J., Hidayat, W. 2006. *Analisis Bentuk Pilar Jembatan Terhadap Potensi Gerusan Lokal*. Jurnal APTEK Vol. 2 No.1
- Bambang Suciroso, Suprpto, Suyitno Hadi Putro, 2010. *Rancang Bangun Alat Ukur Kecepatan Aliran (Current Meter) Pada Aliran Rendah*, Yogyakarta, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, Rekayasa Bidang Teknologi.
- Breuser, H.N.C. and Raudkivi, A.J. 1991. *Scouring*. IAHR Hydraulic Structure Design Manual. Roudterdam: AA Bakeman
- Halim, Fuad. 2014. *Pengaruh Debit Terhadap Pola Gerusan Di Sekitar Abutmen Jembatan (Uji Laboratorium Dengan Skala Model Jembatan Megawati)*. Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol.41 No.1, Maret 2014 (32-40) ISSN: 2087-9334
- Ikhsan dan Hidayat. 2006. *Pengaruh Bentuk Pilar Jembatan Terhadap Potensi Gerusan Lokal*. Jurnal Ilmiah Semesta Teknik, Vol.9, No.2, 2006: 124-132
- Istiarto. 2011. *Problematika Jembatan*.
- Legono, D. 1990. *Gerusan pada Bangunan Sungai*. PAU Ilmu-ilmu Teknik UGM, Yogyakarta.
- Mukti, A., W. 2016. *Pengaruh Bentuk Pilar Jembatan terhadap Gerusan Lokal menggunakan Software IRIC; Nays2dh 1.0 (Model Pilar Berpenampang Belah Ketupat, Kotak, Lingkaran dan Piling)*. Tugas Akhir UMY.
- Muller Jr. W. 2003. *Model For The Time Rate Local Sediment Scour At a Cylindrical Structure*. Disertasi, Florida. PPS Universitas Florida.
- Nenny, Hamzah Al Imran. 2014. *Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Gerusan Lokal Disekitar Pilar Heksagonal (Uji Model Laboratorium)*". Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar.
- Putro, Suyitno Hadi. *Studi Komparasi Hasil Ukur Kedalaman Gerusan Sekitar Pilar Di Tikungan Berdasarkan Rumus Empiris Terhadap Hasil Ukur Dari Eksperimen Dengan Metode Pengukuran Realtime*.



Tabel 9 Elevasi dasar saluran pada potongan I-1

Titik Pengamatan (m)	Elevasi Dasar Saluran	
	Elevasi sebelum	Elevasi sesudah
	(m)	(m)
0	-0.0075	-0.0107
0.01	-0.0075	-0.0107
0.02	-0.0075	-0.0107
0.03	-0.0075	-0.0107
0.04	-0.0075	-0.0106
0.05	-0.0075	-0.0106
0.06	-0.0075	-0.0106
0.07	-0.0075	-0.0106
0.08	-0.0075	-0.0106
0.09	-0.0075	-0.0106
0.10	-0.0075	-0.0106
0.11	-0.0075	-0.0106
0.12	-0.0075	-0.0105
0.13	-0.0075	-0.0105
0.14	-0.0075	-0.0105
0.15	-0.0075	-0.0104
0.16	-0.0075	-0.0101
0.17	-0.0075	-0.0097
0.18	-0.0075	-0.0090
0.19	-0.0075	-0.0082
0.20	-0.0075	-0.0077
0.21	-0.0075	-0.0075
0.22	-0.0075	-0.0075
0.23	-0.0075	-0.0075
0.24	-0.0075	-0.0075
0.25	-0.0075	-0.0075
0.26	-0.0075	-0.0075
0.27	-0.0075	-0.0075
0.28	-0.0075	-0.0076
0.29	-0.0075	-0.0081
0.30	-0.0075	-0.0088
0.31	-0.0075	-0.0094
0.32	-0.0075	-0.0099
0.33	-0.0075	-0.0101
0.34	-0.0075	-0.0102

0.35	-0.0075	-0.0103
0.36	-0.0075	-0.0103
0.37	-0.0075	-0.0103
0.38	-0.0075	-0.0103
0.39	-0.0075	-0.0103
0.40	-0.0075	-0.0103
0.41	-0.0075	-0.0103
0.42	-0.0075	-0.0103
0.43	-0.0075	-0.0103
0.44	-0.0075	-0.0103
0.45	-0.0075	-0.0104
0.46	-0.0075	-0.0104
0.47	-0.0075	-0.0104
0.48	-0.0075	-0.0104
0.49	-0.0075	-0.0104
0.50	-0.0075	-0.0104

Tabel 10 Elevasi dasar saluran pada potongan II-II

Titik Pengamatan	Elevasi Dasar Saluran	
	Elevasi sebelum (m)	Elevasi sesudah (m)
0	-0.008	-0.051
0.01	-0.008	-0.051
0.02	-0.008	-0.048
0.03	-0.008	-0.045
0.04	-0.008	-0.042
0.05	-0.008	-0.040
0.06	-0.008	-0.037
0.07	-0.008	-0.034
0.08	-0.008	-0.031
0.09	-0.008	-0.026
0.10	-0.008	-0.019
0.11	-0.008	-0.011
0.12	-0.008	-0.002
0.13	-0.008	-0.005
0.14	-0.008	-0.006
0.15	-0.008	-0.004
0.16	-0.008	-0.002
0.17	-0.008	-0.001

0.18	-0.008	-0.005
0.19	-0.008	-0.009
0.20	-0.008	-0.012
0.21	-0.008	-0.013
0.22	-0.008	-0.013
0.23	-0.008	-0.013
0.24	-0.008	-0.012
0.25	-0.008	-0.011
0.26	-0.008	-0.010
0.27	-0.008	-0.010
0.28	-0.008	-0.007
0.29	-0.008	-0.006
0.30	-0.008	-0.004
0.31	-0.008	-0.003
0.32	-0.008	-0.001
0.33	-0.008	-0.003
0.34	-0.008	-0.004
0.35	-0.008	-0.001
0.36	-0.008	-0.006
0.37	-0.008	-0.012
0.38	-0.008	-0.018
0.39	-0.008	-0.022
0.40	-0.008	-0.028
0.41	-0.008	-0.034
0.42	-0.008	-0.040
0.43	-0.008	-0.043
0.44	-0.008	-0.046
0.45	-0.008	-0.049
0.46	-0.008	-0.051
0.47	-0.008	-0.052
0.48	-0.008	-0.053
0.49	-0.008	-0.054
0.50	-0.008	-0.054

Tabel 11 Elevasi dasar saluran pada potongan III-III

Titik Pengamatan	Elevasi Dasar Saluran	
	Elevasi sebelum	Elevasi sesudah
	(m)	(m)
0	-0.008	-0.050
0.01	-0.008	-0.049

0.02	-0.008	-0.045
0.03	-0.008	-0.041
0.04	-0.008	-0.040
0.05	-0.008	-0.038
0.06	-0.008	-0.036
0.07	-0.008	-0.033
0.08	-0.008	-0.029
0.09	-0.008	-0.024
0.10	-0.008	-0.020
0.11	-0.008	-0.015
0.12	-0.008	-0.011
0.13	-0.008	-0.008
0.14	-0.008	-0.007
0.15	-0.008	-0.006
0.16	-0.008	-0.006
0.17	-0.008	-0.005
0.18	-0.008	-0.002
0.19	-0.008	0.001
0.20	-0.008	-0.008
0.21	-0.008	-0.008
0.22	-0.008	-0.008
0.23	-0.008	-0.008
0.24	-0.008	-0.008
0.25	-0.008	-0.008
0.26	-0.008	-0.008
0.27	-0.008	-0.008
0.28	-0.008	-0.008
0.29	-0.008	-0.004
0.30	-0.008	-0.003
0.31	-0.008	-0.008
0.32	-0.008	-0.011
0.33	-0.008	-0.012
0.34	-0.008	-0.013
0.35	-0.008	-0.013
0.36	-0.008	-0.013
0.37	-0.008	-0.014
0.38	-0.008	-0.017
0.39	-0.008	-0.020
0.40	-0.008	-0.024

0.41	-0.008	-0.028
0.42	-0.008	-0.032
0.43	-0.008	-0.037
0.44	-0.008	-0.040
0.45	-0.008	-0.043
0.46	-0.008	-0.046
0.47	-0.008	-0.047
0.48	-0.008	-0.048
0.49	-0.008	-0.048
0.50	-0.008	-0.049

Tabel 12 Elevasi dasar saluran pada potongan IV-IV

Titik Pengamatan	Elevasi Dasar Saluran	
	Elevasi sebelum (m)	Elevasi sesudah (m)
0	-0.009	-0.049
0.01	-0.009	-0.048
0.02	-0.009	-0.046
0.03	-0.009	-0.043
0.04	-0.009	-0.039
0.05	-0.009	-0.036
0.06	-0.009	-0.032
0.07	-0.009	-0.029
0.08	-0.009	-0.026
0.09	-0.009	-0.025
0.10	-0.009	-0.022
0.11	-0.009	-0.012
0.12	-0.009	-0.004
0.13	-0.009	-0.005
0.14	-0.009	-0.006
0.15	-0.009	-0.006
0.16	-0.009	-0.006
0.17	-0.009	-0.005
0.18	-0.009	-0.004
0.19	-0.009	-0.003
0.20	-0.009	-0.002
0.21	-0.009	-0.003
0.22	-0.009	-0.003

0.23	-0.009	-0.003
0.24	-0.009	-0.003
0.25	-0.009	-0.003
0.26	-0.009	-0.002
0.27	-0.009	-0.002
0.28	-0.009	-0.004
0.29	-0.009	-0.006
0.30	-0.009	-0.009
0.31	-0.009	-0.011
0.32	-0.009	-0.010
0.33	-0.009	-0.010
0.34	-0.009	-0.011
0.35	-0.009	-0.012
0.36	-0.009	-0.014
0.37	-0.009	-0.015
0.38	-0.009	-0.017
0.39	-0.009	-0.019
0.40	-0.009	-0.022
0.41	-0.009	-0.025
0.42	-0.009	-0.028
0.43	-0.009	-0.033
0.44	-0.009	-0.037
0.45	-0.009	-0.040
0.46	-0.009	-0.043
0.47	-0.009	-0.044
0.48	-0.009	-0.045
0.49	-0.009	-0.045
0.50	-0.009	-0.045

