

SKRIPSI

**SIMULASI KOMPUTASI iRIC-Nays2DH PENGARUH KECEPATAN
ALIRAN TERHADAP PERUBAHAN DASAR SALURAN TERBUKA**



**SAHIRA MUDIANA
105 81 2407 15**

**DIAH ANITA SARI
105 81 2505 15**

PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2021

**SIMULASI KOMPUTASI iRIC-Nays2DH PENGARUH KECEPATAN
ALIRAN TERHADAP PERUBAHAN DASAR SALURAN TERBUKA**

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



Disusun dan Diajukan oleh :

SAHIRA MUDDIANA
105 81 2407 15

DAH ANITA SARI
105 81 2505 15

25/05/2021

1 cap
Smb. Alumni

R/0026/SIP/21cn
MUD
3¹

**PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

2021

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 : **SIMULASI KOMPUTASI IIRIC-Nays2DH PENGARUH KECEPATAN ALIRAN TERHADAP PERUBAHAN DASAR SALURAN TERBUKA**

Nama : SAHIRA MUDDIANA

: DIAH ANITA SARI

No. Stambuk : 105 81 2407 15

: 105 81 2505 15

Makassar, 05 Mei 2021

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Eng. Mukhsan Putra Hatta, ST., MT.

Amrullah Mansida, ST., MT., IPM

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Pengairan
Jurusan Teknik Sipil

Andi Makbul Svamsuri, ST., MT., IPM



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

PENGESAHAN

Skripsi atas nama **Sahira Muddiana** dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 2407 15 dan **Diah Anita Sari** dengan nomor induk Mahasiswa 105 81 2505 15, dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0003/SK-Y/22201/091004/2021, 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 27 Februari 2021.

Makassar, 23 Ramadhan 1442 H
5 Mei 2021 M

Panitia Ujian:

1. Pengawas Umum

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Prof. Dr. H. Ambo Assé, M.Ag

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

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

2. Penguji:

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

b. Sekretaris : Andi Makbul Syamsuri, ST., MT., IPM

3. Anggota: 1. Dr. Ir. Hj. Nurnawaty, ST., MT., IPM

2. Mahmuddin, ST., MT., IPM

3. Farida Gaffar, ST., MM., IPM

Mengetahui:

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Eng. Mukhsan Putra Hatta, ST., MT

Amrullah Mansida, ST., MT., IPM



Dekan

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

NBM : 759 108

ABSTRAK

Penelitian ini merupakan salah satu upaya dalam rekayasa saluran untuk menganalisa pola aliran yang terjadi pada saluran terbuka. Tujuan spesifik dari penelitian ini adalah 1) Menganalisis perbandingan pemodelan laboratorium dengan iRIC . 2) Menganalisis perubahan dasar saluran akibat pola kecepatan aliran. Saluran terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Perilaku aliran dikenal dengan mekanika fluida (fluida mekanis). Alat analisis *Solver Nays2DH* merupakan model komputasi yang dimiliki *software* iRIC yang dapat melakukan simulasi aliran horizontal dua dimensi (2D). Hasil dari penelitian ini menunjukkan perbandingan validasi antara pemodelan lapangan dengan pemodelan iRIC mempunyai perbedaan yang relatif kecil yaitu 15 %. Sedangkan pada pola kecepatan aliran terjadi karena dipengaruhi oleh adanya kekasaran di sepanjang saluran yang awalnya laminar sebelum adanya sedimen, setelah adanya sedimen pola kecepatan aliran berubah menjadi turbulen dan kemudian arah aliran relatif stabil di sepanjang saluran karena saluran tidak memiliki hambatan.

Kata Kunci: iRIC Nays2DH, pola kecepatan Aliran, validasi

ABSTRACT

This research is an effort in channel engineering to analyze flow patterns that occur in open channels. The specific objectives of this study are 1) To analyze the comparison of laboratory modeling with iRIC. 2) Analyze the changes in the channel base due to flow velocity patterns. An open channel is a channel where water flows with a free water level. Flow behavior is known as fluid mechanics. The Solver Nays2DH analysis tool is a computational model owned by iRIC software that can simulate two-dimensional (2D) horizontal flow. The results of this study indicate a validation comparison between field modeling and iRIC modeling which has a small relative difference of 15%. Whereas the flow velocity pattern occurs because it is influenced by the roughness along the channel, which was initially laminar before the sediment was present, after sediment the flow velocity pattern changes to turbulence and then the direction of flow is relatively stable along the channel because the channel has no resistance.

Keywords: iRIC Nays2DH, Flow velocity pattern, validation

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal ini dengan judul **“SIMULASI KOMPUTASI iRIC-Nays2DH PENGARUH KECEPATAN ALIRAN TERHADAP PERUBAHAN DASAR SALURAN TERBUKA”** guna memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik program studi Teknik Sipil Pengairan pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan tugas Proposal ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Terkhusus penulis ucapkan terima kasih kepada Kedua orang tua kami tercinta, yang telah mencurahkan seluruh cinta, kasih sayang yang hingga kapanpun penulis takkan bisa membalasnya.
2. Ibu Dr. Ir. Hj. Nurnawaty, MT., IPM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. Bapak Andi Makbul Syamsuri, ST., MT., IPM selaku Ketua Prodi Teknik Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

4. Bapak Muh. Amir Zainuddin, ST., MT selaku Sekretaris Prodi Teknik Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
5. Bapak Dr. Eng. Mukhsan P. Hatta, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan Proposal ini.
6. Amrullah Mansida, ST., MT., IPM selaku Dosen Pembimbing II dalam penyusunan Proposal ini.
7. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen dan Staff Akademik Prodi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
8. Terima kasih juga kepada Himpunan Mahasiswa Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
9. Serta ucapan terima kasih kepada saudara-saudara seperjuangan Teknik 2015

Penulis menyadari bahwa proposal ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga proposal ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Makassar, Mei 2021

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	2
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah	3
F. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Defenisi Saluran Terbuka	5
B. Klasifikasi Aliran	6
1) Aliran Permanen dan Tidak Permanen	7
2) Aliran Seragam dan Tidak Seragam	8
3) Aliran Lamier dan Aliran Turbulen	8
4) Aliran Subkritis, Kritis dan SuperKritis	10
C. Distrbusi kecepatan	11

D. Gerusan	12
E. iRIC-nays2DH	13
BAB III METODE PENELITIAN	16
A. Jenis dan variabel Penelitian.....	16
B. Pengumpulan Data	16
1. Data Geometri Saluran.....	16
2. Data Debit.....	17
3. Koefisien Manning.....	17
C. Langkah – langkah simulasi iRIC-nays2DH.....	17
1. Tahap Pre-processing.....	17
2. Tahap SolverConsole.....	23
3. Tahap Post Processing.....	22
D. Bagan Alur Penelitian.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
A. Jenis dan variabel Penelitian.....	26
1. Debit Rencana	26
2. Geometri Saluran	26
B. Karakteristik Aliran.....	27
1. Kecepatan Aliran	27
C. Analisis Validasi Simulasi iRIC	30
D. Pola Aliran	30
E. Perubahan Dasar Saluran	32
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	34

1. Kesimpulan	34
2. Saran	34

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Harga Koefisien Manning.....	12
Tabel 2	Tabel Kecepatan Aliran	30
Tabel 3	Validasi Kecepatan Antara Pemodelan Numerik Dengan Pengukuran lapangan.....	37



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Klasifikasi Aliran Pada Saluran Terbuka.....	6
Gambar 2. Aliran laminer dan Turbulen.....	9
Gambar 3. Distribusi Kecepatan Aliran Untuk Beberapa Macam Bentuk Saluran.....	11
Gambar 4. Tampilan awal software iRIC 3.0.....	17
Gambar 5. Tampilan pemilihan solver.....	18
Gambar 6. Melakukan Import Data Topografi ke Software iRIC.....	18
Gambar 7. Data Topografi yang telah ter-input.....	19
Gambar 8. Area Manning Roughness.....	19
Gambar 9. Pemilihan Jenis Grid yang akan Digunakan.....	20
Gambar 10. Penentuan Detail Grid.....	20
Gambar 11. Grid yang telah digunakan.....	21
Gambar 12. Tampilan Menu Boundary Counditon.....	21
Gambar 13. Tampilan untuk masukkan debit.....	22
Gambar 14. Tahap untuk memulai simulasi pada software iRIC.....	22
Gambar 15. Proses Running Simulasi Software iRIC.....	23
Gambar 16. Proses Running Simulasi yang telah selesai.....	23
Gambar 17. Menampilkan hasil simulasi software iRIC.....	23
Gambar 18. Visualisasi hasil simulasi software iRIC.....	24
Gambar 19. Gamabar bagan alur penelitian.....	25

Gambar 20 Gambar penampang saluran	27
Gambar 21 Grafik kecepatan aliran	29
Gambar 22 Hasil simulasi kecepatan aliran	29
Gambar 23 Hasil pola aliran sebelum dan sesudah simulasi	31
Gambar 24 Hasil elevasi sebelum dan sesudah adanya sedimen	32
Gambar 25 Hasil simulasi Froude number	36



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Saluran yang mengalirkan air dengan suatu permukaan bebas disebut saluran terbuka. Perilaku aliran dikenal dengan mekanika fluida (fluida mekanis). Hal ini menyangkut sifat fluida dan pengaruhnya terhadap pola aliran dan gaya akan timbul antara fluida dan pembatas. (Rasmawati Rauf & Sufiah Nur M)

Gerakan air pada saluran terbuka berdasarkan efek dari gravitasi bumi dan didistribusi diadalam air umumnya bersifat hidrostatis (French, 1987). Distribusi tekanan bersifat hidrostatis karena kuantitasnya tergantung dari berat jenis aliran dan kedalaman. Karena berat jenis aliran dapat diasumsikan tetap, maka tekan hanya tergantung dari kedalamannya; semakin dalam tekanannya semakin besar. Namun pada beberapa kondisi bias ditemukan distribusi tekanan tidak hidrostatis.

Kondisi aliran dalam salura terbuka yang rumit berdasar kenyataan bahwa kedudukan permukaan yang bebas cenderung berubah sesuai ruang dan waktu. Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluan alam), Paramter sluran sangat tidak teratur baik teradap ruang dan waktu. Parameter tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran,kemiringan dasar, belokan,

perbandingan, debit aliran dan sebagainya. Ketidak teraturan tersebut mengakibatkan analisis aliran sangat sulit untuk diselesaikan secara anaitis.

Salah satu upaya dalam rekayasa saluran adalah menganalisa debit aliran dan pola aliran yang terjadi. Untuk itu pada penelitian ini simulasi dibuat dengan menggunakan software iRIC: Nays2DH yang dibuat oleh Yasuyuki Simizu dan Hiroshi Takebayashi di Hokkaido University, Jepang. Nays2DH 3.0 adalah model komputasi untuk mensimulasikan kecepatan aliran dan pola aliran. Karena kajian ini menitikberatkan pada pembahasan mengenai perubahan dasar saluran akibat pola kecepatan aliran.

Berdasarkan penjelasan diatas maka penulis melakukan penelitian yang berjudul *“Simulasi Komputasi iRIC-Nays2DH Perubahan Dasar Saluran Akibat Pola Kecepatan Aliran”*

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan pada uraian pada latar belakang yang telah diuraikan diatas, maka permasalahan yang akan diteliti pada penelitian ini adalah:

- 1) Bagaimana perbandingan kecepatan aliran di lab dengan simulasi iRIC?
- 2) Bagaimana perubahan dasar saluran akibat pola kecepatan pada saluran terbuka?

C. Tujuan Penelitian

- 1) Untuk menganalisis perbandingan pengukuran lab dengan iRIC
- 2) Untuk menganalisis perubahan dasar saluran akibat kecepatan aliran

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Sebagai bahan studi model karakteristik aliran pada perubahan dasar saluran akibat pola kecepatan aliran
2. Sebagai bahan referensi terkait efektifitas dan efisiensi dari suatu perubahan bentuk dasar saluran.

E. Batasan Masalah

Berdasarkan pada fasilitas serta keadaan yang ada, maka untuk mencapai sasaran yang diinginkan penulis cukup membatasi ruang lingkup penelitian pada :

1. Simulasi aliran pada saluran dilakukan menggunakan aplikasi iRIC dengan Solver Nays2DH.
2. Penelitian tidak membahas ketahanan dan ketinggian pada dasar saluran.
3. Tidak melakukan variasi sudut belokan
4. Tidak meneliti tentang volume sedimen

F. Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penulisan proposal tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut :

Bab I PENDAHULUAN merupakan pendahuluan yang berisikan penjelasan umum mengenai materi pembahasan yakni latar belakang,

rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

Bab II TINJAUAN PUSTAKA dalam bab ini terdapat kajian yang berhubungan dengan masalah yang dikaji dalam penelitian ini.

Bab III METODE PENELITIAN pada bab ini menyajikan lokasi penelitian, variable penelitian, data yang digunakan dalam penelitian, tahapan perancangan simulasi pada software iRIC Nays2DH 3.0, dan penyajian bagan alir penelitian.

Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN yang berisi tentang hasil simulasi dari iRIC yang dapat menampilkan secara visual pola aliran.

Bab V PENUTUP yang berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan, serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Saluran Terbuka

Saluran terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Permukaan yang bebas itu merupakan pertemuan dua fluida dengan kerapatan yang berbeda. Pada saluran terbuka dua fluida itu adalah udara dan air dimana kerapatan udara jauh lebih kecil dari kerapatan air (Suripin, 2018)

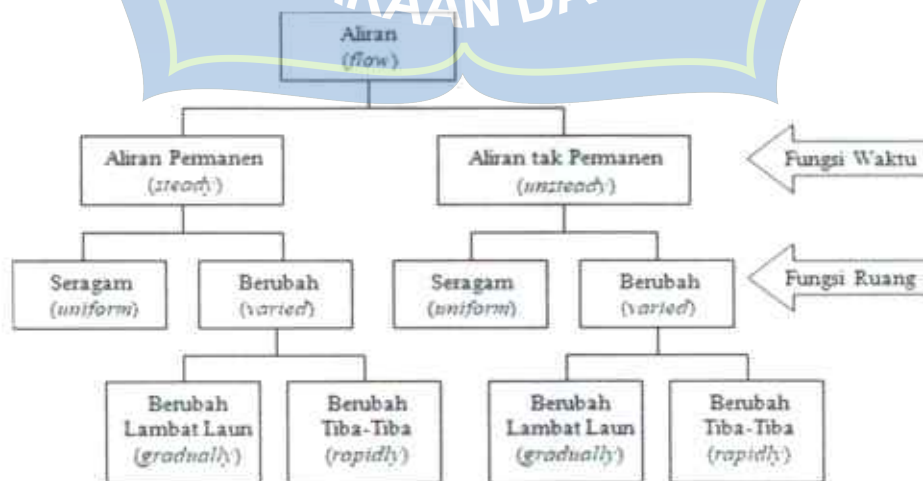
Aliran dalam saluran terbuka maupun saluran yang tertutup yang mempunyai permukaan bebas disebut aliran permukaan bebas (*free surface flow*) atau aliran saluran terbuka (*open channel flow*). Permukaan bebas mempunyai tekanan sama dengan tekanan atmosfer setempat. Jika pada aliran tidak terdapat permukaan bebas dan aliran dalam saluran penuh, aliran yang terjadi disebut aliran dalam pipa (*pipe flow*) atau aliran tertekan (*pressurized flow*)

Saluran digolongkan menjadi 2 macam yaitu saluran alam (*natural*) dan saluran buatan (*artificial*). Saluran alam merupakan suatu aliran yang meliputi semua alur aliran air secara alami, seperti sungai yang meliputi semua alur aliran secara alami, seperti sungai yang kecil dan besar dimana aliran mengalir dari hulu ke hilir. Saluran buatan saluran yang dibuat dan direncanakan sesuai dengan konteks pemanfaatannya seperti, saluran irigasi,

salura drainase, saluran pembangkit listrik tenaga air, dan saluran untuk industri. Karakteristik aliran yang terjadi pada salura buatan merupakan alira seragam yang terjadi disepanjang saluran. (Edy Harseo & Setdin Jonas)

B. Klasifikasi Aliran

Menurut Suripin (2018), Aliran permukaan bebas dapat diklasifikasikan menjadi berbagai tipe tergantung kriteria yang digunakan. Berdasarkan perubahan kedalaman dan/atau kecepatan mengikuti fungsi waktu, aliran dibedakan menjadi aliran permanen (*steady*) dan tidak permanen (*unsteady*). Sementara itu berdasarkan fungsi ruang, aliran dibedakan menjadi aliran seragam (*uniform*) dan tidak seragam (*non uniform*). Lebih lanjut klasifikasi pada saluran terbuka adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Klasifikasi Aliran Pada Saluran Terbuka (Suripin,2018)

1) Aliran Permanen dan Tidak Permanen

Aliran permanen (*steady flow*) adalah terjadi jika kealaman alira atau debit aliran (Q) yang melalui suatu penampang melintang aliran merupakan dalam keadaan konstan atau tetap terhadap waktu. Aliran tidak permanen adalah (*unsteady flow*) jika debit aliran (Q) berubah terhadap waktu. (Fenty Daud S 2018)

Dalam hal-hal tertentu dimungkinkan mentransformasikan aliran tidak permanen menjadi aliran permanen dengan mengacu pada koordinat referensi yang bergerak. Penyederhanaan ini menawarkan beberapa keunggulan, seperti kemudahan visualisasi, kemudahan penulisan persamaan yang terkait, dan sebagainya. Penyederhanaan ini hanya mungkin jika bentuk gelombang tidak berubah dalam perambatannya. Misalnya, bentuk gelombang kejut (*surge*) tidak berubah ketika merambat pada saluran halus, dan konsekuensinya perambatan gelombang kejut yang tidak permanen dapat dikoversi menjadi aliran permanen dengan koordinat referensi yang bergerak dengan kecepatan absolut gelombang kejut.

Hal tersebut di ekuivalen dengan pengamat yang bergerak disamping gelombang kejut sehingga gelombang kejut terlihat stasioer atau tetap oleh pengamat, jadi, aliran dapat dianggap sebagai aliran permanen. Jika bentuk gelombang berubah selama perambataannya maka tidak mungkin mentransformasikan gerakan gelombang tersebut menjadi aliran permanen. Misalnya gelombang banjir yang merambat pada sungai alamiah tidak dapat

ditransformasikan menjadi aliran permanen, karena benuk gelombang termodifikasi dalam perjalanan sepanjang sungai.

2) Aliran Seragam dan Tidak Seragam

Aliran seragam pada saluran terbuka dikatakan seragam jika kedalaman aliran sama pada setiap penampang saluran. Suatu aliran seragam dapat bersifat tunak atau tidak tunak, tergantung apakah kedalamannya berubah sesuai dengan perubahan waktu (Jhonson A. Harijanja dan Steanus Gunawan).

Saluran tak seragam adalah kedalaman dan kecepatan aliran disepanjang saluran tidak konstan, garis tengah tidak sejajar dengan garis muka air dengan dasar saluran. Analisis aliran tak seragam biasanya bertujuan untuk mengetahui profil aliran disepanjang saluran atau sungai (Edy Harsen, Setdin Jonas, 2007).

3) Aliran Lamier dan Aliran Turbulen

Aliran laminer adalah aliran yang ditunjukkan dengan gerak partikel-partikel fluidanya sejajar dengan garis-garis halus. Sifat kekentalan zat cair berperan penting dalam pembentukan aliran lamier. Aliran laminer bersifat “stay” maksud alirannya tetap. (Irfan Syari Arief, Edi Jatmiko & Puji Kurniawan N)

Aliran turbulen adalah terlampaunya kondisi peralihan yang menyebabkan sebagian gangguan aliran menjadi semakin kuat, dimana

partikel yang bergerak secara fluktuasi atau acak dan terjadi pencampuran gerak partikel antara lapisan-lapisan yang berbatasan. (Umar Faruk & Knmanari, 2012).



(a) Aliran Laminar (b) Aliran Turbulen

Gambar 2. Aliran laminar dan Turbulen

1. Bilangan Reynolds

Bilangan Reynold merupakan bilangan tak berdimensi yang dapat membedakan suatu aliran yang dinamakan aliran laminar, transisi, dan aliran turbulen.

Dalam dua situasi aliran yang serupa secara geometric, Reynolds menyimpulkan bahwa aliran-aliran tersebut akan serupa secara dinamik jika persamaan-persamaan diferensial umum yang menggambarkan aliran-aliran tersebut identic. Bentuk persamaan sebagai berikut:

$$R_e = \frac{VD}{\nu} \quad (1)$$

Dimana:

R_e = Bilangan Reynold

V = Kecepatan aliran (m/s)

D = Panjang Karakteristik (m)

ν = Viskositas(m²/s)

Beberapa penelitian disimpulkan bahwa bilangan Reynold untuk saluran terbuka adalah:

$R < 500$ = Aliran laminar

$500 < R < 12,500$ = Aliran transisi

$R > 12,500$ = Aliran turbulen

4) Aliran Subkritis, Kritis dan SuperKritis

Menurut Fathna Fajri Jumadi (2014), aliran itu dikatakan kritis apabila Froude sama dengan satu ($Fr = 1$), dan aliran disebut sub kritis (aliran tenang) apabila $Fr < 1$ dan superkritis apabila $Fr > 1$, sedangkan aliran cepat (rapid flow) dan aliran mengerem (shooting flow) juga digunakan untuk menyatakan aliran superkritis.

1. Bilangan Froude

Penentuan tipe aliran dapat didasarkan pada nilai angka Froude (Fr). Aliran adalah subkritis apabila $Fr < 1$, kritis apabila $Fr = 1$, dan super kritis apabila $Fr > 1$. Jika $Fr < 1$ aliran bersifat subkritis, dalam keadaan ini peran gaya tarik bumi lebih menonjol, dan bila $Fr > 1$, aliran bersifat superkritis, gaya inersia sangat menonjol, sehingga aliran mempunyai kecepatan tinggi dan tepat.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (2)$$

Dimana :

Fr = Bilangan Froude

v = Kecepatan Aliran (m/det)

g = Percepatan Gravitasi (m/det^2)

h = Kedalaman Aliran (m)

C. Distribusi Kecepatan

Disebabkan oleh tekanan pada permukaan air akibat adanya perbedaan udara dan air dan juga akibat gaya gesekan pada dinding saluran (dasar maupun tebing saluran) maka kecepatan aliran pada suatu potongan melintang saluran tidak seragam (Addison, 1944, Chow, 1959). Ketidakteraturan ini juga disebabkan oleh bentuk tampang melintang saluran, kekasaran saluran dan lokasi saluran (saluran lurus, atau pada belokan) (Robert J. Kodoate, 2009).



Gambar 3. Contoh Distribusi Kecepatan Aliran Untuk Beberapa Macam Bentuk Saluran (Chow, 1959)

Kecepatan rerata pada suatu penampang saluran dihitung menggunakan persamaan Manning dengan kemiringan muka air (S), radius hidrolis (R) dan koefisien kekasaran saluran (n). Untuk satuan matrik, nilai factor konversi adalah

$$U = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

dimana,

V = Kecepatan rata-rata (m/s)

n = Koefisien kekasaran Manning (s/m), dapat dilihat pada Tabel 1.

R = Jari-jari hidraulis (m)

S = Kemiringan dasar saluran

Tabel 1 : Harga Koefisien Manning :

NO	Permukaan	Harga n yang disarankan
1	Kaca, plastik, kuningan	0,010
2	Kayu	0,011 – 0,014
3	Besi tuang	0,013
4	Plesteran semen	0,011
5	Pipa pembuangan	0,013
6	Beton	0,01-0,017
7	Pasangan batu	0,017-0,040
8	Batu pecah	0,035-0,040
9	Batu bata	0,014
10	Bata dilapisi mortar	0,015

Jhonson A. Harijaya dan Stefanus Gunawan (2007)

D. Gerusan

Menurut Laursen(1952) dalam Sucipto (2004) sifat alami gerusan mempunyai fenomena sebagai berikut :

1. Besar gerusan akan sama selisinya antara jumlah material yang diangkut keluar daerah rusak dengan jumlah material yang diangkut masuk ke dalam gerusan.
2. Besar gerusan akan berkurang apabila peampang basah daerah gerusan bertambah (misal karena erosi) . untuk kondisi aliran bergerak akan terjadi

suatu gerusan yang disebut gerusan biasa, besarnya akan asimtotik terhadap waktu.

Menurut (Breuser dan Raudviki, 1991) dalam Didik Purwato, gerusan yang terjadi dapat menjadi tiga tipe yaitu :

1. Gerusan Umum (General Scour) adalah gerusan yang terjadi alami, terlepas dari keberadaan struktur apapun, terjadi melintang sepanjang dan menyebabkan degradasi dasar sungai.
2. Gerusan Lokal (Lokal Scour), terjadi di sekitar pilar maupun abutmen jembatan sebagai akibat terganggunya pola aliran sungai.
3. Gerusan Terlokalisasi (Localized/Constriction Scour), terjadi karena penempatan bangunan sungai yang menyebabkan penyempitan penampang sungai.

E. Software iRIC

iRIC (*International River Interface Cooperative*) adalah software analisis aliran dan perubahan dasar sungai yang dikembangkan dari MD_SWMS (*Multi Dimensional Surface Water Modeling System*) yang dikembangkan USGS dan Ricyas melalui Foundation of Hokkaido River Disaster Prevention Research Center (i-ric.org)

iRIC (*International River Interface Cooperative*), aplikasi perangkat lunak yang menyediakan ruang simulasi sungai yang terintegrasi iRIC menyediakan lingkungan yang komprehensif dan terpadu di mana data yang diperlukan oleh pemecah analisis sungai (*solvers*) dapat dihimpun, sungai

dapat disimulasikan, dan hasil analisis simulasi sungai dapat divisualisasikan. Secara umum pengoperasian simulasi menggunakan perangkat lunak iRIC mempunyai tiga tahapan utama, yaitu tahap *Pre-Processing*, tahap *Solver Console*, dan tahap *Post-Processing*.

Fungsi iRIC sangat beragam bergantung jenis *solver* yang dipilih, sehingga metode penggunaan aplikasi juga bergantung pada pemilihan *solver*. Berikut adalah beberapa alat analisis atau *solvers* yang dimiliki oleh iRIC:

1. Nays2DH
2. FaSTMECH
3. SRM
4. Morpho2DH
5. Nays1D+
6. CERI1D
7. *Culvert Analysis Program (CAP)*
8. *Slope Area Computation (SAC)*
9. Mflow_02
10. River2D
11. NaysCUBE
12. NaysEddy
13. SToRM

14. Nays2DFlood

15. ELIMO

16. DHABSIM

17. EvaTRiP

F. Solver Nays2DH

Nays2DH adalah model komputasi untuk simulasi aliran horizontal dua dimensi (2D), sedimen transport perubahan morfologi dasar dan tepi sungai. Meskipun iRIC telah menyediakan beberapa pemecah 2D seperti Nays2D, Morpho2D dll. Kami percaya bahwa pengguna mungkin bingung solver lebih disukai untuk kasus mereka sendiri. Oleh karena itu digabungkan Nays2D dan Morpo2D untuk disediakan alat yang lebih kuat dan ramah untuk pengguna iRIC, yang disebut Nays2DH.

Nays2D, dikembangkan oleh Dr. Yasuyuki Shimizu di niversitas Hokkaido Jepang, adalah pemecah bidang 2D menghitung aliran, transfortasi sedimen evolusi lapisan dan erosi tepian di sungai. Dengan bergabung dengan banyak pengembang untuk proyek Nays2D, beberapa fungsi antara lain model pertemuan sungai, model ukuran butiran campuran dan panas fungsi telah di tambahkan. Nays2D dilampirkan ke iRIC dan RIC-Nays yang merupakan proyek pendahulunya iRIC. Nays2D mencakup beberapa opsi untuk mensimulasikan aliran sungai seperti pembentukan pusaran yang tidak stabil aliran saluran terbuka dan morfodinamika sungai.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis dan Variabel Penelitian

Penelitian yang dilakukan merupakan jenis penelitian simulasi komputasi. Penelitian simulasi komputasi ini berusaha untuk memanfaatkan perangkat lunak atau *software* sebagai alat untuk menyerupai kondisi lapangan yang di harapkan

Pada penelitian ini *Software* yang digunakan untuk melakukan simulasi komputasi adalah *The International River Interface Cooperative (iRIC) software*.

B. Pengumpulan Data

Pada penelitian ini, digunakan beberapa data untuk mendukung penelitian, yaitu:

1. *Data Geometri Saluran*

Pemodelan numerik yang digunakan untuk Pemodelan saluran, dimana data geometri saluran yang digunakan dikonversi menjadi suatu koordinat dan elevasi dengan format XYZ yang mana data koordinat bujur, lintang dan kedalaman dituliskan dalam tiga kolom secara berurutan dengan format .tpo

2. *Data Debit*

Debit yang digunakan adalah data hasil perhitungan debit aliran dengan menggunakan metode empiris sebab karakteristik daerah aliran diasumsikan sesuai kebutuhan penelitian.

3. *Koefisien Manning*

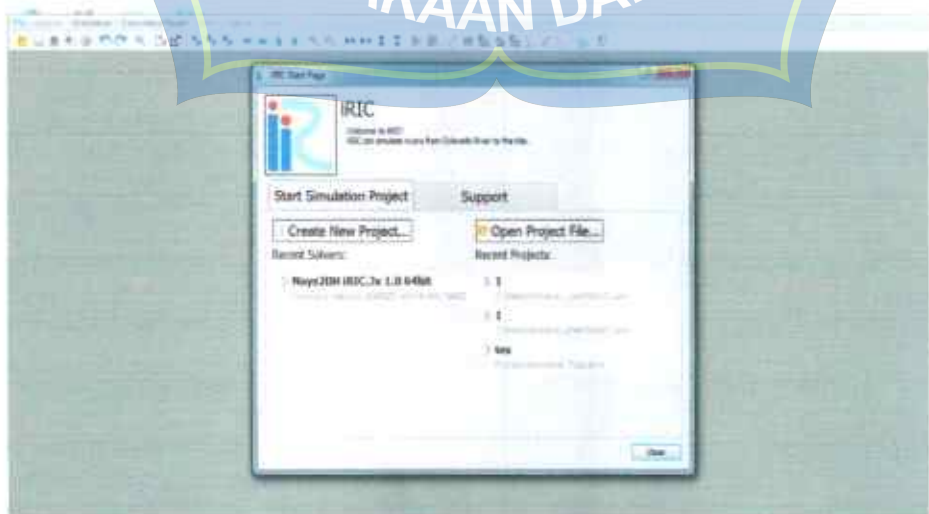
Koefisien manning yang digunakan pada pemodelan saluran adalah 0,010.

C. Langkah-Langkah Simulasi iRIC: Nays2DH.3.0

Langkah-langkah yang dilakukan untuk simulasi pola aliran yang terjadi pada bangunan melintang bentuk persegi dengan program iRIC: Nays2DH.3.0 1.0 adalah sebagai berikut:

1. Tahap Pre-Processing

Buka software iRIC, Klik Create New Project



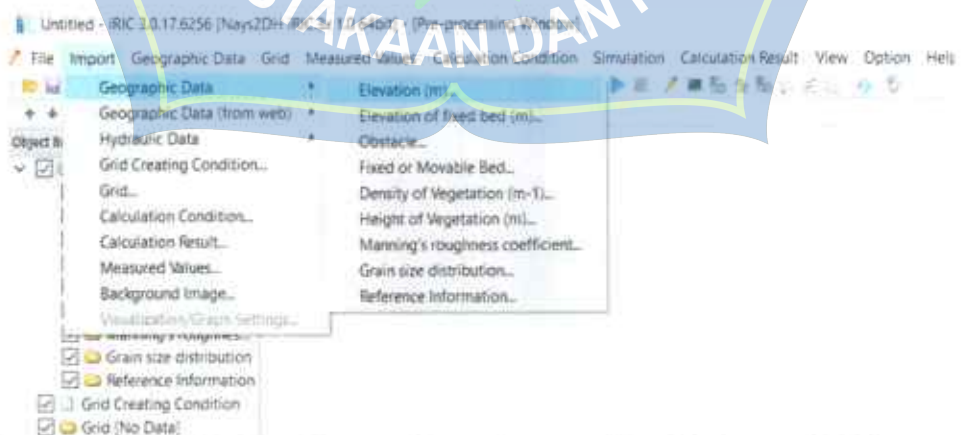
Gambar 4. Tampilan awal software iRIC 3.0

Setelah tampilan terbuka, pilih Nays2DH3.0 untuk memodelkan pola aliran di sekitar bangunan melintang. Lalu klik OK

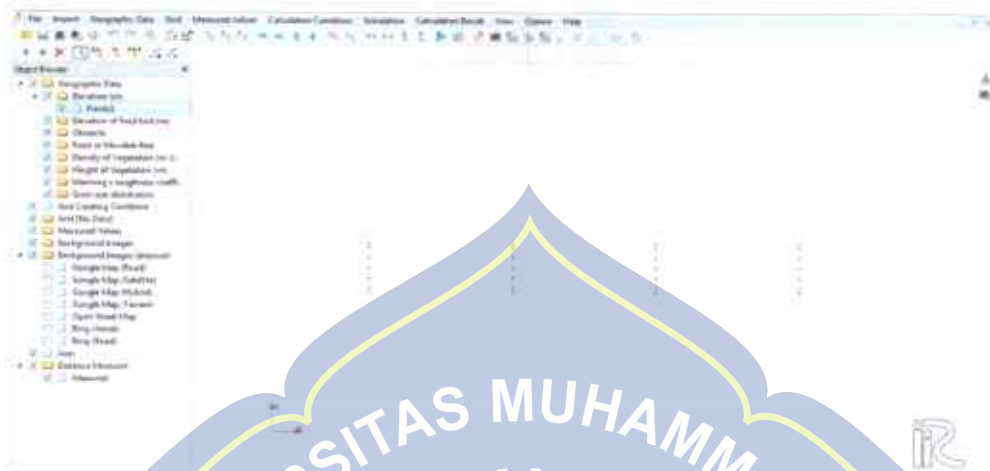


Gambar 5. Tampilan pemilihan solver

Setelah masuk ke halaman kerja dari aplikasi iRIC selanjutnya dilakukan import data topografi kedalam aplikasi, dengan memilih menu Import pada Menu Bar, lalu memilih Geographic Data → Elevation (m).

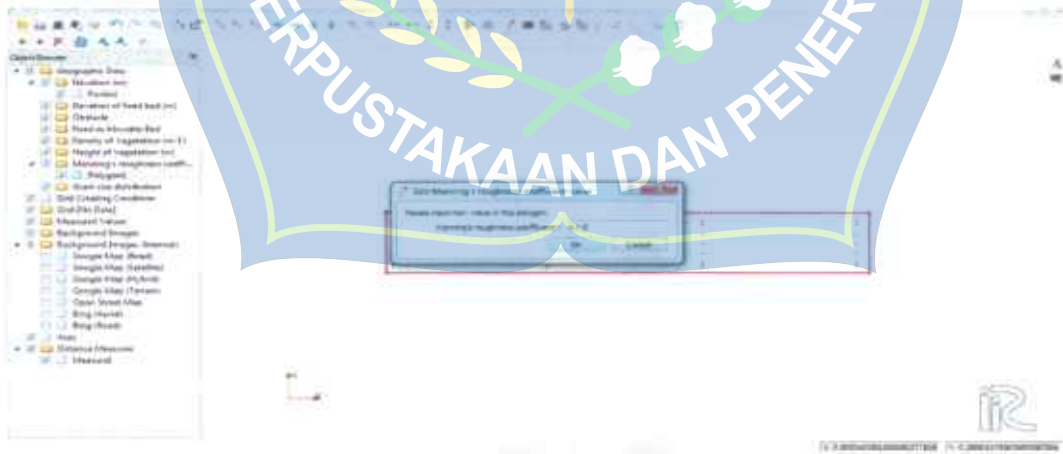


Gambar 6. Melakukan Import Data Topografi ke Software iRIC



Gambar 7. Data Topografi yang telah ter-input

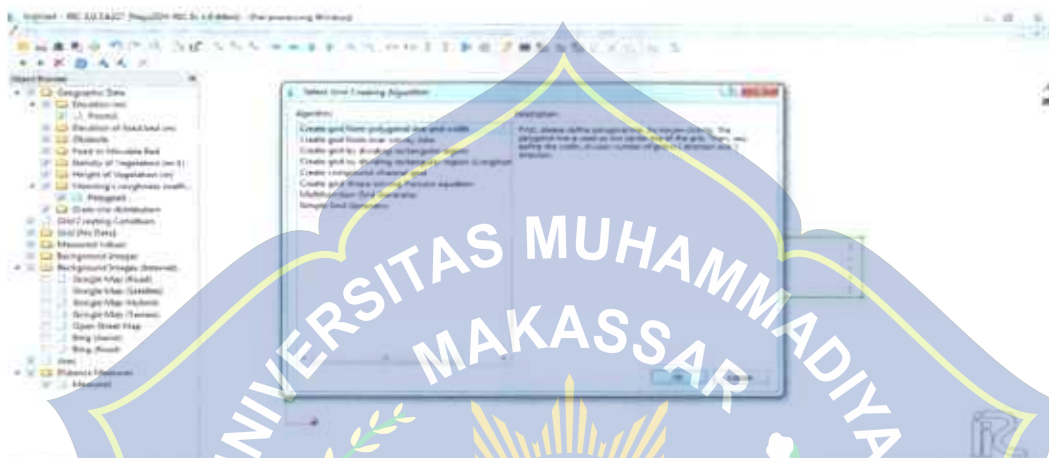
Untuk menentukan koefisien manning pada saluran. Klik kanan pada Manning's roughness coefficient, kemudian pilih Add >> Polygon. Kemudian buat Polygon yang mencakup seluruh saluran, lalu masukkan angka koefisien manning sebesar 0,01.



Gambar 8. Area Manning Roughness

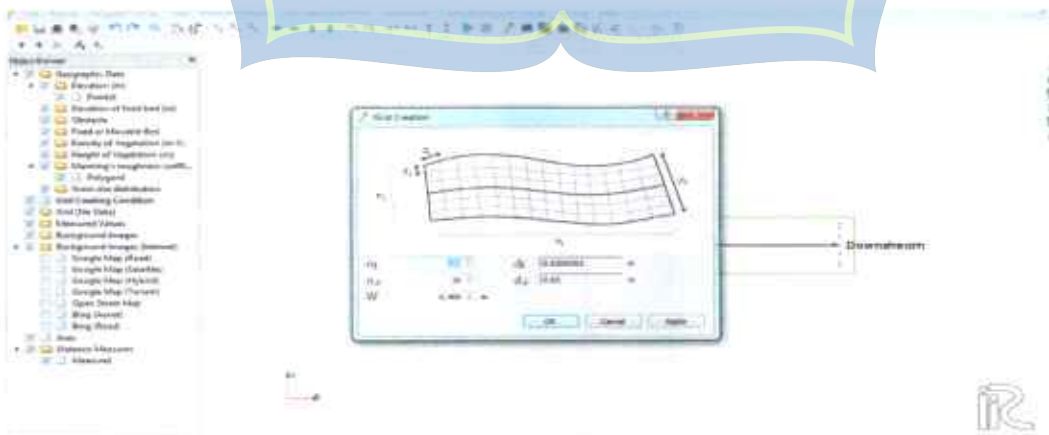
Setelah itu barulah kita dapat membuat computational grid sepanjang saluran yang akan diteliti. Pilih menu Grid pada Menu Bar, lalu

klik Select Algorithm to Create Grid. Lalu pada jendela Select Grid Creating Algorithm, pilih Create Grid From Polygonal Line and Width

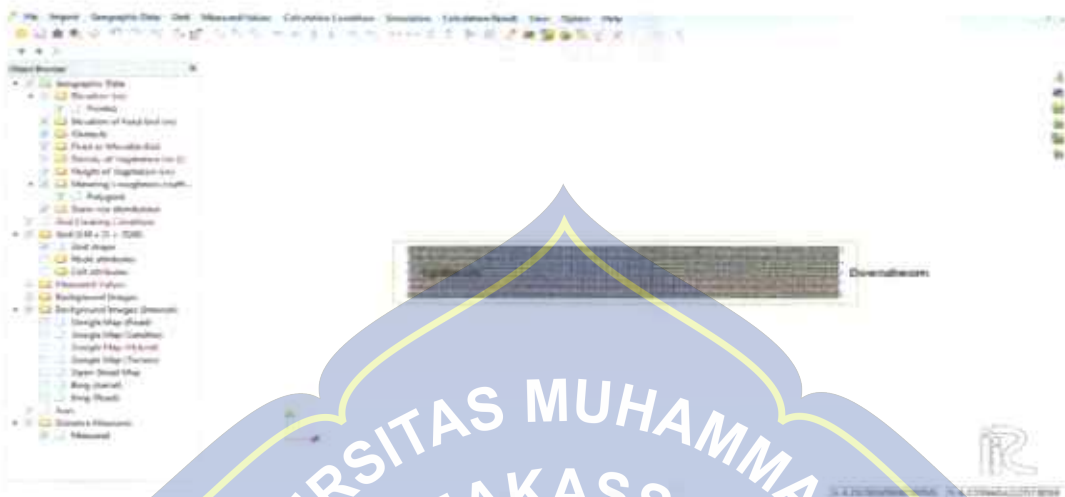


Gambar 9. Pemilihan Jenis Grid yang akan Digunakan

Selanjutnya buatlah Grid sesuai dengan pengaliran saluran mulai dari upstream hingga downstream daerah kajian. Setelah itu, tentukan lebar grid dan jumlah grid secara memanjang dan melintang, yang disesuaikan dengan saluran yang akan dikaji. Setelah itu klik apply untuk menampilkan gridnya.



Gambar 10. Penentuan Detail Grid



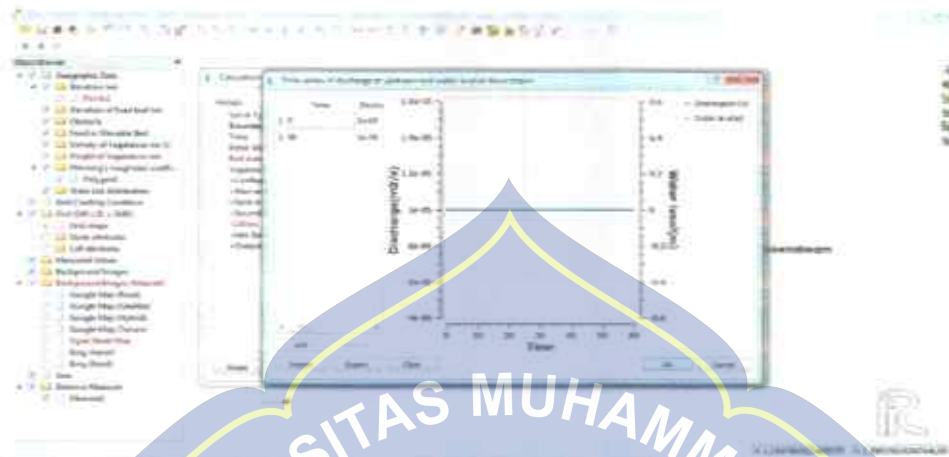
Gambar 11. Grid yang telah digunakan

Setelah itu pilih menu Calculation Condition dan kemudian pilih Setting. Untuk mengatur kondisi saluran pada saat dilakukan running.

Pada kolom groups terdapat beberapa pilihan, pertama pilih Boundary Condition kemudian klik Edit pada menu Time Series Of Discharge untuk melakukan input debit. Setelah itu calculation Condition ditetapkan lalu klik Save and Close untuk menyimpan batasan kalkulasi dan menutup jendela Calculation Condition.



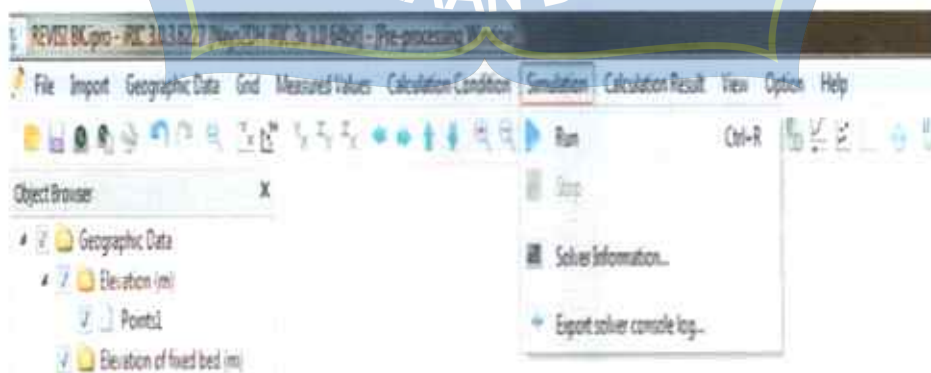
Gambar 12. Tampilan Menu Boundary Condition



Gambar 13. Tampilan untuk memasukkan debit

2. Tahap Solver Console

Pada tahap ini dilakukan running simulasi yang telah dikondisikan pada tahap selanjutnya. Running ini membutuhkan waktu yang bergantung pada kemampuan komputer, banyaknya Grid yang digunakan, dan besar time step yang digunakan. Untuk memulai running simulasi Klik Simulation pada Menu Bar lalu Klik Run, Selanjutnya iRIC akan menampilkan jendela yang menunjang proses running simulasi.



Gambar 14. Tahap untuk memulai simulasi pada software iRIC

Gambar 15. Proses Running Simulasi Software iRIC

Gambar 16. Proses Running Simulasi yang telah selesai

3. Tahap Post Processing

Setelah seluruh proses running selesai dan tidak terjadi error

Gambar 17. Menampilkan hasil simulasi software iRIC

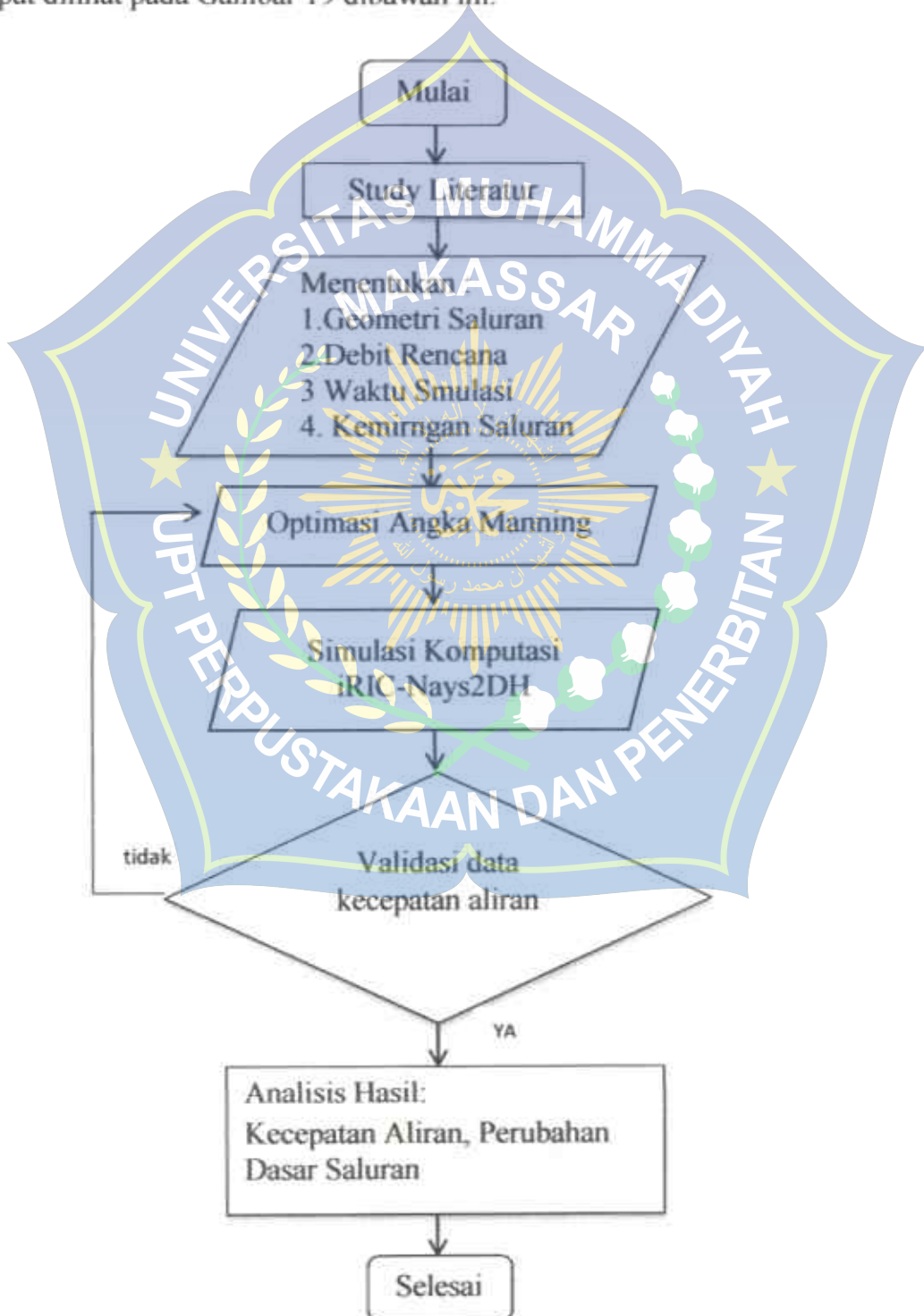
selama proses running tersebut, selanjutnya hasil running simulasi dapat di visualisasikan pada jendela post processing. Klik Calculation Result pada Menu Bar, lalu klik Open New 2D Post-Processing Window. Selanjutnya parameter-parameter hasil simulasi dapat ditampilkan sesuai kebutuhan melalui jendela Object Browser. Berdasarkan Solver Nays2DH yang digunakan, Solver ini dapat menyajikan hasil simulasi berupa kecepatan aliran, kedalaman aliran, nilai angka Froude, nilai tegangan geser dan sebagainya.



Gambar 18. Visualisasi hasil simulasi software iRIC

D. Bagan Alur Penelitian

Secara garis besar, prosedur penelitian pada simulasi *software* IRic dapat dilihat pada Gambar 19 dibawah ini.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Jenis dan Variabel Penelitian

Penelitian yang digunakan jenis penelitian simulasi komputasi. Penelitian simulasi komputasi ini berusaha untuk memanfaatkan perangkat lunak atau software sebagai alat untuk menyerupai kondisi lapangan yang diharapkan.

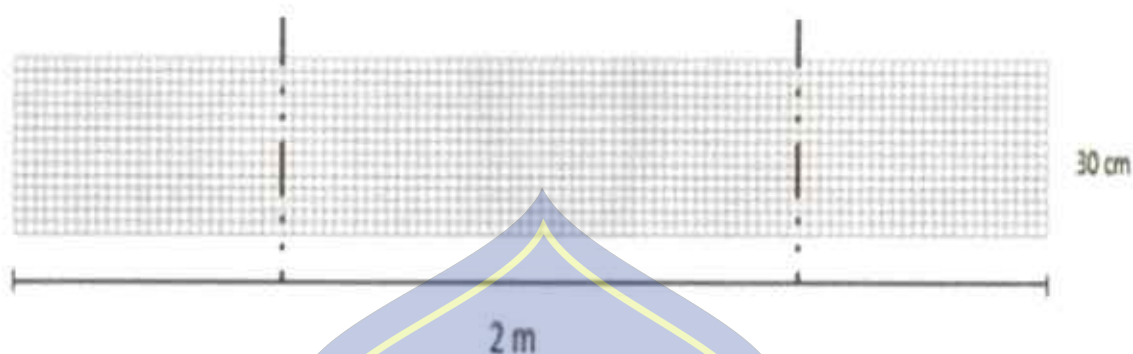
Pada penelitian ini *software* yang digunakan untuk melakukan simulasi komputasi adalah *The International River Interface Cooperative (iRIC) software*.

1. Data Debit Rencana

Pada penelitian ini data debit rencana yang digunakan adalah sebesar $0.0130 \text{ m}^3/\text{dtk}$.

2. Geometri Saluran

Pada penelitian ini geometri saluran yang di gunakan adalah geometri saluran lurus berbentuk persegi. Untuk dimensi lebar penampangnya itu sebesar 0.30 m dan panjang 2 m seperti pada gambar di bawah



Gambar 20. Gambar Penampang Saluran

Pada simulasi menggunakan software iRIC Nays2DH 3.0 saluran akan dibagi menjadi beberapa grid, semakin kecil grid yang digunakan pada saat simulasi maka data yang didapatkan akan semakin akurat. Pada penelitian ini grid yang digunakan pada arah melintang sebanyak 16 grid, sedangkan pada arah memanjang sebanyak 101 grid.

B. Karakteristik Aliran

Pada pembahasan karakteristik aliran, tentu membahas mengenai kecepatan aliran. Kedalaman aliran dan juga nilai Froude yang dihasilkan pada simulasi iRIC.

1. Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran setelah dilakukan simulasi mempunyai karakteristik yang berbeda pada setiap aliran. Kecepatan aliran akan berubah jika terdapat perubahan morfologi. Pada simulasi ini menggunakan dimensi saluran yang sama. Kondisi aliran pada saluran tanpa adanya bangunan melintang cenderung mempunyai kecepatan aliran yang konstan.

Table 2. kecepatan aliran

No	Debit (Q) m ³ /dtk.	Jarak Kecepatan Aliran (cm)	Kecepatan Aliran (m/s)
1	0,0130	0,01	0,1363
2		0,04	0,2585
3		0,08	0,4269
4		0,12	0,3862
5		0,16	0,6839
6		0,20	0,4910
7		0,24	0,5490
8		0,28	0,4521
9		0,32	0,5163
10		0,36	0,2825
11		0,40	0,6984
12		0,44	0,4809
13		0,48	0,5511
14		0,52	0,5341
15		0,56	0,6369
16		0,60	0,7143
17		0,64	0,5740
18		0,68	0,4328
19		0,72	0,6373
20		0,76	0,4501
21		0,80	0,6916
22		0,84	0,5398
23		0,88	0,5398
24		0,92	0,5347
25		0,96	0,5443
26		1,00	0,6410
27		1,01	0,6337



Gambar 21. Grafik hubungan antara Jarak kecepatan dengan kecepatan aliran

Pada grafik di atas dapat di simpulkan bahwa kecepatan aliran tertinggi terjadi pada titik pengamatan 0.60 sebesar 0.7134 m/s dan kecepatan aliran terendah terjadi di titik pengamatan 0.01 sebesar 0.1356 m/s. yang mengakibatkan aliran menjadii satabil.



(a)



(b)

Gambar 22. Hasil simulasi kecepatan Aliran

C. Analisis Validasi Simulasi 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) :

Tabel 3. validasi kecepatan antara simulasi iRIC dengan pengukuran lapangan

	Kecepatan Aliran (ms^{-1})					Nilai Error (%)
	Simulasi iRIC		Pengukuran Lapangan			
0,1363	0,4269	0,5490	0,4	0,4	0,4	9
0,2585	0,3862	0,4521	0,3	0,4	0,4	4
0,4269	0,6839	0,5163	0,3	0,4	0,4	24
0,7586	0,4910	0,2825	0,3	0,4	0,4	24
Rata-rata						15

Jadi validasi kecepatan antara permodelan numeric dengan pengukuran lapangan sebesar 15 % sehingga bisa dikatakan perbedaan pada kedua model relative kecil.

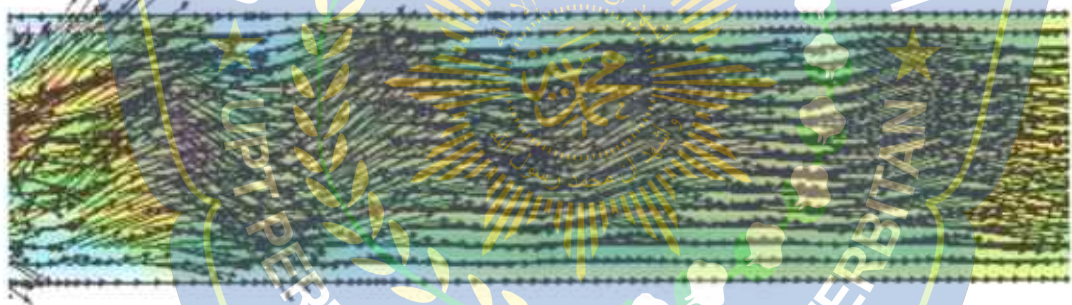
D. Pola Aliran

Aliran pada kondisi normal mengalir dari hulu menuju hilir pada saluran. Dalam teori hidrolika air akan mengalir dari daerah yang memiliki tekanan yang rendah.

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



(a) Hasil pola aliran sebelum adanya sedimen

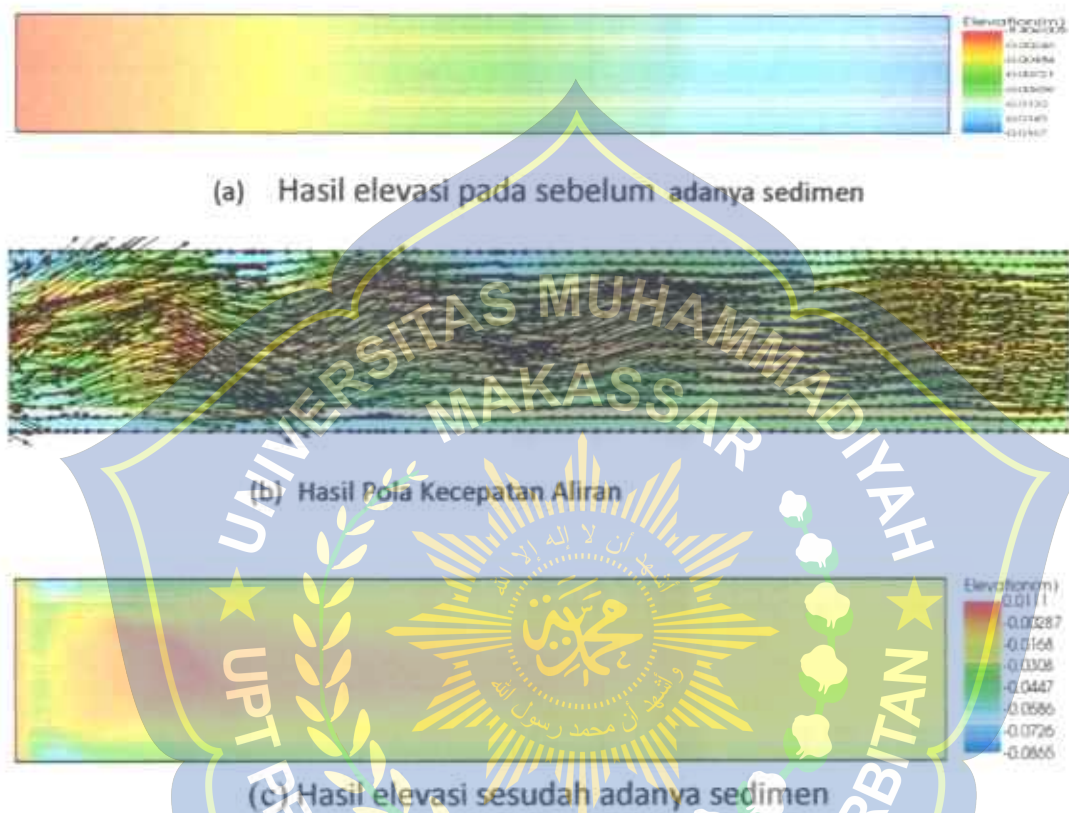


(b) Hasil pola aliran setelah adanya sedimen

Gambar 23. Hasil pola aliran sebelum dan sesudah simulasi

Pada gambar di atas terlihat arah dan kecepatan aliran (pola Aliran) Sebelum adanya sedimen bentuk alirannya relative laminar dan stabil, dipengaruhi oleh kekasaran dan ukuran saluran yang awalnya halus, setelah adanya sedimen kecepatan rata-rata aliran air atau pola aliran dalam saluran berubah menjadi turbulen diawal saluran tetapi relative stabil di sepanjang saluran karena dipengaruhi kekasaran yang memberi efek hambatan terhadap laju aliran air.

E. Perubahan Dasar Saluran



Gambar 24. Hasil elevasi pada sebelum dan sesudah adanya sedimen

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

Gambar 24 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 kecepatan aliran dipengaruhi oleh debit yang ditentukan.

Pada gambar 24 terlihat bahwa yang terjadi pada hulu di saluran terbuka mengalami perubahan dasar saluran karena terjadi pusaran air pada daerah tersebut yang di tandai dengan warna orange sehingga terjadi gerusan yang cukup dalam namun, seiring dengan berjalannya waktu kecepatan aliran tersebut menjadi sangat lambat yang ditandai dengan warna kuning kehijauan di daerah hilir sehingga pada daerah tersebut mengalami gerusan yang relative kecil.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yakni simulasi aplikasi iRIC Nays2DH 3.0 dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Berdasarkan hasil perbandingan atau validasi antara analisa model numeric dengan model fisik di dapatkan hasil pada output velocity (ms-1) mempunyai perbedaan yang relatif kecil yaitu 15 %.
- 2) Pola kecepatan aliran terjadi karena dipengaruhi oleh adanya kekasaran di sepanjang saluran yang awalnya laminar sebelum adanya sedimen, setelah adanya sedimen pola kecepatan aliran berubah menjadi turbulen dan kemudian arah aliran relative stabil di sepanjang saluran karena saluran tidak memiliki hambatan.

B. Saran

- 1) Sebaiknya *input* data yang dimasukkan dalam *aplikasi* iRIC dapat menggunakan data yang dapat dibandingkan dengan kondisi di lapangan.
- 2) Pada running dengan pemodelan dengan software iRIC:Nays2DH 1.0 debit yang digunakan sebaiknya debit unsteady diari sungai.

- 3) Penelitian selanjutnya, di harapkan pengembang program aplikasi bisa mengembangkan bentuk grid yang lain agar bisa membuat bentuk bangunan yang berbeda.



DAFTAR PUSTAKA

- Arief, I. S., E. J., & P. K. (t.thn.). Analisa Pengaruh Cekungan Yang di Tetapkan Pada Plat Datar Terhadap Aliran Fluida Untuk Mendukung Teknologi Maritim Pendekatan CFD.
- Bambang Agus K. 2007. *Sedimen Dasar (BED LOAD) Terhadap Distribusi Kecepatan Gesek Arah Transversal Pada Aliran Seragam Saluran Terbuka*. (Forum Teknik Sipil. No. XVII) Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan. Fakultas Teknik. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Chow, & V. T. (1959). *Open Channel Hydraulics*. McGraw Hill.
- Edy Harseo, & Jonas . Setiain (2007). Studi Exsperimental Aliran Berubah Beraturan pada Saluran Terbuka Bentuk Prismatis. Dalam *Majalah Ilmiah UKRIM*. Yogyakarta.
- Fenty . Daud., (2018). Uji Model Pengaruh Bentuk Pelimpah Terhadap Karakteristik Pengaliran.
- honson, A.H dan Gunawan, S. 2007. *Tinjauan Energi Spesifik Akibat Penyempitan Pada Saluran Terbuka*. (Majalah Ilmiah UKRIM Edisi 1/th XII/2007). Jurusan Teknik Sipil. Fakultas Teknik. UKRIM. Yogyakarta
- iRIC-UC. (2019). Diambil kembali dari iRIC Software: <https://i-ric.org>
- J. P. (2015). Studi Pengaruh Krib Hulu Tipe Impermeabel Pada Gerusan Belokan Sungai. *ISSN*, 2089-6697.
- Junaidi, F. F. (2014). Analisis Distribusi Kecepatan Aliran Sungai Musi (Ruas Jembatan Ampera Sampai dengan Pulau Kemaro).
- Priyanto, E.S. 2015. *Analisa Aliran Fluida Pada Pipa ARCYLIC Diameter 12,7 MM (0,5 Inchi) dan 38,1 MM (1.5 Inchi)*. Teknik Mesin. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Gunadarma. Jakarta
- Kodoatie, R. J. (2009). *Hidrolika Terapan Aliran pada Saluran Terbuka dan Pipa*. Yokyakarta: Andi Offset.

- R. M. (2010). *Kajian Gerusan Lokal Pada Ambang Dasar Akibat Variasi Q (Debit), I (Kemiringan) dan T (Waktu)*. Surakarta.
- R. R., & Nur, S. (2019). Analisis Perubahan Dasar Saluran Terbuka Akibat Variasi Debit Pada Tingkat Aliran Kritis Dan Super Kritis. *Teknik Hidro*.
- Suripin. (2018). *Mekanika Fluida dan Hidraulika Saluran Terbuka untuk Tekni Sipil*. Yogyakarta.
- Umar. Faruk., & Kamiran. (2012). *Analisis Pengaruh Aliran Turbulen Terhadap Karakteristik Pengaruh Angkutan Lapisan Batas pada Pelat Datar Panas*.



Table 1 Hasil Validasi data Pitod Portabel di Laboratorium (LAB)

h	7.9	0.3	V1	9.7000	9.8000	9.9000	10.0000	10.1000	10.4000	10.4000	10.4000	10.4000	10.1000	10.0000	9.9000	9.8000	9.7000	Rata-rata cm
0.2 h	1.58	6.02	V1	9.1000	9.2000	9.3000	9.4000	9.5000	9.8000	9.8000	9.8000	9.8000	9.5000	9.4000	9.3000	9.2000	9.1000	9.99
0.4 h	3.16	4.44	V1	8.1000	8.2000	8.3000	8.4000	8.5000	8.8000	8.8000	8.8000	8.8000	8.5000	8.4000	8.3000	8.2000	8.1000	9.38
0.6 h	4.74	2.86	V1	7.1000	7.2000	7.3000	7.4000	7.5000	7.8000	7.8000	7.8000	7.8000	7.5000	7.4000	7.3000	7.2000	7.1000	8.38
0.8 h	6.32	1.28	V1	6.3000	6.4000	6.5000	6.6000	6.7000	7.0000	7.0000	7.0000	7.0000	6.7000	6.6000	6.5000	6.4000	6.3000	7.38

h	0.3	0.3008	0.3054	0.3123	0.3190	0.3256	0.3446	0.3446	0.3446	0.3256	0.3841	0.3841	0.4098	0.4098	0.4149	0.4149	0.4387	0.4387	0.4577	0.4577	0.4925	0.4925	0.4250	0.4250	0.4095	0.4095	0.3988	0.3988	0.4042	0.4042	0.3988	0.3988	0.4032	0.4032	m/dt		
0.1h	0.71	0.3614	0.3672	0.3729	0.3786	0.3841	0.4003	0.4003	0.4003	0.3841	0.3786	0.3729	0.3672	0.3614	0.3556	0.3556	0.3387	0.3387	0.3229	0.3229	0.3071	0.3071	0.2913	0.2913	0.2755	0.2755	0.2597	0.2597	0.2439	0.2439	0.2281	0.2281	0.2123	0.2123	m/dt		
0.2 h	1.42	0.3939	0.3993	0.4046	0.4098	0.4149	0.4300	0.4300	0.4300	0.4149	0.4098	0.4046	0.3993	0.3939	0.3880	0.3880	0.3721	0.3721	0.3563	0.3563	0.3405	0.3405	0.3247	0.3247	0.3089	0.3089	0.2931	0.2931	0.2773	0.2773	0.2615	0.2615	0.2457	0.2457	m/dt		
0.6 h	4.26	0.4240	0.4290	0.4339	0.4387	0.4435	0.4577	0.4577	0.4577	0.4435	0.4387	0.4339	0.4290	0.4240	0.4181	0.4181	0.4023	0.4023	0.3865	0.3865	0.3707	0.3707	0.3549	0.3549	0.3391	0.3391	0.3233	0.3233	0.3075	0.3075	0.2917	0.2917	0.2759	0.2759	m/dt		
0.8 h	5.68	0.4614	0.4659	0.4705	0.4749	0.4794	0.4925	0.4925	0.4925	0.4794	0.4749	0.4705	0.4659	0.4614	0.4555	0.4555	0.4397	0.4397	0.4239	0.4239	0.4081	0.4081	0.3923	0.3923	0.3765	0.3765	0.3607	0.3607	0.3449	0.3449	0.3291	0.3291	0.3133	0.3133	m/dt		
Rata-rata	0.3883	0.3934	0.3988	0.4042	0.4095	0.4149	0.4250	0.4250	0.4250	0.4149	0.4095	0.4042	0.3988	0.3934	0.3880	0.3880	0.3721	0.3721	0.3563	0.3563	0.3405	0.3405	0.3247	0.3247	0.3089	0.3089	0.2931	0.2931	0.2773	0.2773	0.2615	0.2615	0.2457	0.2457	0.2299	0.2299	m/dt

Table 3 Hasil Validasi data Pitod Portabel di Laboratorium (LAB)

Lebar Saluran (lebar, m)	1/300	1/450	1/600	1/750	1/900	1/1050	1/1200	1/1350	1/1500	1/1650	1/1800	1/1950	1/2100	1/2250	1/2400	1/2550	1/2700	1/2850	1/3000	1/3150	1/3300	1/3450	1/3600	1/3750	1/3900	1/4050	1/4200	Ketebal. cm		
h	7.8	0.3	V1	9.6000	9.7000	9.8000	9.9000	10.0000	10.1000	10.2000	10.3000	10.4000	10.5000	10.6000	10.7000	10.8000	10.9000	11.0000	11.1000	11.2000	11.3000	11.4000	11.5000	11.6000	11.7000	11.8000	11.9000	12.0000	10.00	
0.2 h	1.56	5.94	V1	9.0000	9.1000	9.2000	9.3000	9.4000	9.5000	9.6000	9.7000	9.8000	9.9000	10.0000	10.1000	10.2000	10.3000	10.4000	10.5000	10.6000	10.7000	10.8000	10.9000	11.0000	11.1000	11.2000	11.3000	11.4000	11.5000	10.01
0.4 h	3.12	4.38	V1	7.7000	7.8000	7.9000	8.0000	8.1000	8.2000	8.3000	8.4000	8.5000	8.6000	8.7000	8.8000	8.9000	9.0000	9.1000	9.2000	9.3000	9.4000	9.5000	9.6000	9.7000	9.8000	9.9000	10.0000	10.1000	9.35	
0.6 h	4.68	2.82	V1	6.8000	6.9000	7.0000	7.1000	7.2000	7.3000	7.4000	7.5000	7.6000	7.7000	7.8000	7.9000	8.0000	8.1000	8.2000	8.3000	8.4000	8.5000	8.6000	8.7000	8.8000	8.9000	9.0000	9.1000	9.2000	8.05	
0.8 h	6.24	1.26	V1	5.9000	6.0000	6.1000	6.2000	6.3000	6.4000	6.5000	6.6000	6.7000	6.8000	6.9000	7.0000	7.1000	7.2000	7.3000	7.4000	7.5000	7.6000	7.7000	7.8000	7.9000	8.0000	8.1000	8.2000	7.15		
Rata-rata	0.3776	0.3889	0.3944	0.4011	0.4064	0.4086	0.4196	0.4196	0.4166	0.4116	0.4064	0.4011	0.3944	0.3889	0.3833	0.3769	0.3769	0.3769	0.3769	0.3769	0.3769	0.3769	0.3769	0.3769	0.3769	0.3769	0.3769	0.3769	0.3769	6.24

h	0.3	0.71	1.42	4.26	5.68	Rata-rata
0.3	0.2984	0.3602	0.3808	0.4108	0.4435	0.3776
0.71	0.3602	0.3808	0.3918	0.4210	0.4530	0.3889
1.42	0.3808	0.3918	0.4025	0.4309	0.4668	0.4064
4.26	0.4108	0.4210	0.4309	0.4470	0.4803	0.4196
5.68	0.4435	0.4530	0.4623	0.4714	0.4803	0.4196
Rata-rata	0.3776	0.3889	0.3944	0.4064	0.4116	0.4196

Table 4 Hasil Validasi data Pitod Portabel di Laboratorium (LAB)

Lapangan	1/500		1/750		1/1000		1/1500		1/2000		1/2500		1/3000		1/3500		1/4000		Rata-rata		
	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h			
1.2	0.3	0.3256	0.3320	0.3383	0.3446	0.3507	0.3568	0.3683	0.3806	0.3939	0.4073	0.4206	0.4339	0.4474	0.4644	0.4818	0.4992	0.5166	0.5340	0.5514	0.5688
	0.1h	0.72	0.3653	0.3729	0.3786	0.3841	0.3896	0.4073	0.4098	0.3914	0.4098	0.4206	0.4339	0.4474	0.4644	0.4818	0.4992	0.5166	0.5340	0.5514	0.5688
	0.2h	1.44	0.3737	0.3793	0.3830	0.3885	0.3939	0.4098	0.4098	0.3939	0.4098	0.4206	0.4339	0.4474	0.4644	0.4818	0.4992	0.5166	0.5340	0.5514	0.5688
2.4	0.6h	4.32	0.4190	0.4240	0.4290	0.4339	0.4387	0.4530	0.4530	0.4387	0.4530	0.4644	0.4818	0.4992	0.5166	0.5340	0.5514	0.5688	0.5862	0.6036	0.6210
	0.8h	5.76	0.4280	0.4329	0.4378	0.4426	0.4474	0.4644	0.4644	0.4474	0.4644	0.4818	0.4992	0.5166	0.5340	0.5514	0.5688	0.5862	0.6036	0.6210	0.6384
	Rata-rata	0.3823	0.3882	0.3933	0.3987	0.4044	0.4206	0.4215	0.4206	0.4044	0.4206	0.4339	0.4474	0.4644	0.4818	0.4992	0.5166	0.5340	0.5514	0.5688	0.5862
3.6	0.9h	6.48	0.4370	0.4419	0.4468	0.4517	0.4660	0.4660	0.4517	0.4660	0.4818	0.4992	0.5166	0.5340	0.5514	0.5688	0.5862	0.6036	0.6210	0.6384	0.6558
	1.2h	8.64	0.4460	0.4509	0.4558	0.4607	0.4750	0.4750	0.4607	0.4750	0.4911	0.5085	0.5259	0.5433	0.5607	0.5781	0.5955	0.6129	0.6303	0.6477	0.6651
	Rata-rata	0.4215	0.4274	0.4333	0.4392	0.4451	0.4613	0.4613	0.4451	0.4613	0.4818	0.4992	0.5166	0.5340	0.5514	0.5688	0.5862	0.6036	0.6210	0.6384	0.6558
4.8	1.2h	10.80	0.4560	0.4609	0.4658	0.4707	0.4850	0.4850	0.4707	0.4850	0.5011	0.5185	0.5359	0.5533	0.5707	0.5881	0.6055	0.6229	0.6403	0.6577	0.6751
	1.8h	16.20	0.4650	0.4699	0.4748	0.4797	0.4940	0.4940	0.4797	0.4940	0.5101	0.5275	0.5449	0.5623	0.5797	0.5971	0.6145	0.6319	0.6493	0.6667	0.6841
	Rata-rata	0.4415	0.4474	0.4533	0.4592	0.4651	0.4813	0.4813	0.4651	0.4813	0.5018	0.5192	0.5366	0.5540	0.5714	0.5888	0.6062	0.6236	0.6410	0.6584	0.6758
6.0	1.5h	13.50	0.4650	0.4699	0.4748	0.4797	0.4940	0.4940	0.4797	0.4940	0.5101	0.5275	0.5449	0.5623	0.5797	0.5971	0.6145	0.6319	0.6493	0.6667	0.6841
	2.1h	20.25	0.4740	0.4789	0.4838	0.4887	0.5030	0.5030	0.4887	0.5030	0.5191	0.5365	0.5539	0.5713	0.5887	0.6061	0.6235	0.6409	0.6583	0.6757	0.6931
	Rata-rata	0.4595	0.4654	0.4713	0.4772	0.4831	0.4993	0.4993	0.4831	0.4993	0.5208	0.5382	0.5556	0.5730	0.5904	0.6078	0.6252	0.6426	0.6600	0.6774	0.6948
7.2	1.8h	16.20	0.4740	0.4789	0.4838	0.4887	0.5030	0.5030	0.4887	0.5030	0.5191	0.5365	0.5539	0.5713	0.5887	0.6061	0.6235	0.6409	0.6583	0.6757	0.6931
	2.4h	24.30	0.4830	0.4879	0.4928	0.4977	0.5120	0.5120	0.4977	0.5120	0.5281	0.5455	0.5629	0.5803	0.5977	0.6151	0.6325	0.6499	0.6673	0.6847	0.7021
	Rata-rata	0.4695	0.4754	0.4813	0.4872	0.4931	0.5093	0.5093	0.4931	0.5093	0.5308	0.5482	0.5656	0.5830	0.6004	0.6178	0.6352	0.6526	0.6700	0.6874	0.7048
8.4	2.1h	19.80	0.4830	0.4879	0.4928	0.4977	0.5120	0.5120	0.4977	0.5120	0.5281	0.5455	0.5629	0.5803	0.5977	0.6151	0.6325	0.6499	0.6673	0.6847	0.7021
	2.7h	29.70	0.4920	0.4969	0.5018	0.5067	0.5210	0.5210	0.5067	0.5210	0.5371	0.5545	0.5719	0.5893	0.6067	0.6241	0.6415	0.6589	0.6763	0.6937	0.7111
	Rata-rata	0.4825	0.4884	0.4943	0.5002	0.5061	0.5223	0.5223	0.5061	0.5223	0.5438	0.5612	0.5786	0.5960	0.6134	0.6308	0.6482	0.6656	0.6830	0.7004	0.7178
9.6	2.4h	23.40	0.4920	0.4969	0.5018	0.5067	0.5210	0.5210	0.5067	0.5210	0.5371	0.5545	0.5719	0.5893	0.6067	0.6241	0.6415	0.6589	0.6763	0.6937	0.7111
	3.0h	35.10	0.5010	0.5059	0.5108	0.5157	0.5300	0.5300	0.5157	0.5300	0.5461	0.5635	0.5809	0.5983	0.6157	0.6331	0.6505	0.6679	0.6853	0.7027	0.7201
	Rata-rata	0.4965	0.5024	0.5083	0.5142	0.5201	0.5363	0.5363	0.5201	0.5363	0.5578	0.5752	0.5926	0.6100	0.6274	0.6448	0.6622	0.6796	0.6970	0.7144	0.7318
10.8	2.7h	27.00	0.5010	0.5059	0.5108	0.5157	0.5300	0.5300	0.5157	0.5300	0.5461	0.5635	0.5809	0.5983	0.6157	0.6331	0.6505	0.6679	0.6853	0.7027	0.7201
	3.6h	40.50	0.5100	0.5149	0.5198	0.5247	0.5390	0.5390	0.5247	0.5390	0.5551	0.5725	0.5899	0.6073	0.6247	0.6421	0.6595	0.6769	0.6943	0.7117	0.7291
	Rata-rata	0.5085	0.5144	0.5203	0.5262	0.5321	0.5483	0.5483	0.5321	0.5483	0.5708	0.5882	0.6056	0.6230	0.6404	0.6578	0.6752	0.6926	0.7100	0.7274	0.7448
12.0	3.0h	30.00	0.5100	0.5149	0.5198	0.5247	0.5390	0.5390	0.5247	0.5390	0.5551	0.5725	0.5899	0.6073	0.6247	0.6421	0.6595	0.6769	0.6943	0.7117	0.7291
	4.2h	50.40	0.5190	0.5239	0.5288	0.5337	0.5480	0.5480	0.5337	0.5480	0.5641	0.5815	0.5989	0.6163	0.6337	0.6511	0.6685	0.6859	0.7033	0.7207	0.7381
	Rata-rata	0.5145	0.5204	0.5263	0.5322	0.5381	0.5543	0.5543	0.5381	0.5543	0.5768	0.5942	0.6116	0.6290	0.6464	0.6638	0.6812	0.6986	0.7160	0.7334	0.7508

Table 7 Hasil Validasi data Pitod Portabel di Laboratorium (LAB)

h	7	0.3	V1	1700	1715	1730	1745	1760	1775	1790	1805	1820	1835	1850	1865	Rata-rata	
				4.000	4.500	5.000	5.500	6.000	6.500	7.000	7.500	8.000	8.500	9.000	9.500		10.000
0.2 h	1.4	5.3	V1	9.6000	9.7000	9.8000	9.9000	10.0000	10.1000	10.2000	10.3000	10.3000	10.3000	10.3000	10.3000	10.16	
				9.6000	9.7000	9.8000	9.9000	10.0000	10.1000	10.2000	10.3000	10.3000	10.3000	10.3000	10.3000	10.3000	10.16
				9.6000	9.7000	9.8000	9.9000	10.0000	10.1000	10.2000	10.3000	10.3000	10.3000	10.3000	10.3000	10.3000	10.16
0.4 h	2.8	3.9	V1	8.7000	8.8000	8.9000	9.0000	9.1000	9.2000	9.3000	9.4000	9.4000	9.4000	9.4000	9.30		
				8.7000	8.8000	8.9000	9.0000	9.1000	9.2000	9.3000	9.4000	9.4000	9.4000	9.4000	9.4000	9.30	
				8.7000	8.8000	8.9000	9.0000	9.1000	9.2000	9.3000	9.4000	9.4000	9.4000	9.4000	9.4000	9.30	
0.6 h	4.2	2.5	V1	7.4000	7.5000	7.7000	7.8000	7.9000	8.0000	8.1000	8.2000	8.2000	8.2000	8.1000	8.00		
				7.4000	7.5000	7.7000	7.8000	7.9000	8.0000	8.1000	8.2000	8.2000	8.2000	8.2000	8.1000	8.00	
				7.4000	7.5000	7.7000	7.8000	7.9000	8.0000	8.1000	8.2000	8.2000	8.2000	8.2000	8.1000	8.00	
0.8 h	5.6	1.1	V1	6.4000	6.5000	6.6000	6.7000	6.8000	6.9000	7.0000	7.1000	7.1000	7.1000	7.0000	6.90		
				6.4000	6.5000	6.6000	6.7000	6.8000	6.9000	7.0000	7.1000	7.1000	7.1000	7.0000	6.90		
				6.4000	6.5000	6.6000	6.7000	6.8000	6.9000	7.0000	7.1000	7.1000	7.1000	7.0000	6.90		
Rata-rata	0.3908	0.4026	0.4079	0.3567	0.3625	0.3683	0.3741	0.3797	0.3852	0.3907	0.3961	0.3961	0.3961	0.3961	0.3918		
				0.3852	0.3907	0.3961	0.4014	0.4066	0.4118	0.4169	0.4220	0.4270	0.4320	0.4368	0.4416	0.4464	
				0.4118	0.4169	0.4220	0.4270	0.4320	0.4368	0.4416	0.4464	0.4511	0.4558	0.4604	0.4650	0.4696	

h	0.3	0.50	0.6000	1715	1730	1745	1760	1775	1790	1805	1820	1835	1850	Rata-rata	
				4.000	4.500	5.000	5.500	6.000	6.500	7.000	7.500	8.000	8.500		9.000
0.1h	0.55	0.3797	0.3852	0.3567	0.3625	0.3683	0.3741	0.3797	0.3852	0.3907	0.3961	0.3961	0.3961	0.3918	
				0.3852	0.3907	0.3961	0.4014	0.4066	0.4118	0.4169	0.4220	0.4270	0.4320	0.4368	0.4416
				0.4118	0.4169	0.4220	0.4270	0.4320	0.4368	0.4416	0.4464	0.4511	0.4558	0.4604	0.4650
0.2 h	1.1	0.3852	0.3907	0.4014	0.4066	0.4118	0.4169	0.4220	0.4270	0.4320	0.4368	0.4416	0.4464	0.4418	
				0.4066	0.4118	0.4169	0.4220	0.4270	0.4320	0.4368	0.4416	0.4464	0.4511	0.4558	0.4604
				0.4169	0.4220	0.4270	0.4320	0.4368	0.4416	0.4464	0.4511	0.4558	0.4604	0.4650	0.4696
0.6 h	3.3	0.4066	0.4118	0.4169	0.4220	0.4270	0.4320	0.4368	0.4416	0.4464	0.4511	0.4558	0.4604	0.4511	
				0.4220	0.4270	0.4320	0.4368	0.4416	0.4464	0.4511	0.4558	0.4604	0.4650	0.4696	0.4742
				0.4368	0.4416	0.4464	0.4511	0.4558	0.4604	0.4650	0.4696	0.4742	0.4788	0.4834	0.4880
0.8 h	4.4	0.4319	0.4368	0.4416	0.4464	0.4511	0.4558	0.4604	0.4650	0.4696	0.4742	0.4788	0.4834	0.4742	
				0.4464	0.4511	0.4558	0.4604	0.4650	0.4696	0.4742	0.4788	0.4834	0.4880	0.4926	0.4972
				0.4616	0.4664	0.4711	0.4758	0.4804	0.4850	0.4896	0.4942	0.4988	0.5034	0.5080	0.5126
Rata-rata	0.3908	0.4026	0.4079	0.3567	0.3625	0.3683	0.3741	0.3797	0.3852	0.3907	0.3961	0.3961	0.3961	0.3918	
				0.3852	0.3907	0.3961	0.4014	0.4066	0.4118	0.4169	0.4220	0.4270	0.4320	0.4368	0.4416
				0.4118	0.4169	0.4220	0.4270	0.4320	0.4368	0.4416	0.4464	0.4511	0.4558	0.4604	0.4650

Table 9 Hasil Validasi data Pitod Portabel di Laboratorium (LAB)

Lebar Saluran (cm)	1/250	1/300	1/350	1/400	1/450	1/500	1/550	1/600	1/650	1/700	1/750	1/800	1/850	1/900	1/950	1/1000																																						
h	6.2	0.3	V1	8.400	8.500	8.600	8.700	8.800	8.900	9.000	9.100	9.200	9.300	9.400	9.500	9.600	9.700	9.800	9.900	8.400	8.500	8.600	8.700	8.800	8.900	9.000	9.100	9.200	9.300	9.400	9.500	9.600	9.700	9.800	9.900																			
0.2 h	1.24	4.66	V1	7.900	8.000	8.100	8.200	8.300	8.400	8.500	8.600	8.700	8.800	8.900	9.000	9.100	9.200	9.300	9.400	9.500	8.400	8.500	8.600	8.700	8.800	8.900	9.000	9.100	9.200	9.300	9.400	9.500	9.600	9.700	9.800	9.900	8.400	8.500	8.600	8.700	8.800	8.900	9.000	9.100	9.200	9.300	9.400	9.500						
0.4 h	2.48	3.42	V1	6.900	7.000	7.100	7.200	7.300	7.400	7.500	7.600	7.700	7.800	7.900	8.000	8.100	8.200	8.300	8.400	8.500	7.900	8.000	8.100	8.200	8.300	8.400	8.500	8.600	8.700	8.800	8.900	9.000	9.100	9.200	9.300	9.400	9.500	7.900	8.000	8.100	8.200	8.300	8.400	8.500	8.600	8.700	8.800	8.900	9.000	9.100	9.200	9.300	9.400	9.500
0.6 h	3.72	2.18	V1	6.900	7.000	7.100	7.200	7.300	7.400	7.500	7.600	7.700	7.800	7.900	8.000	8.100	8.200	8.300	8.400	8.500	6.900	7.000	7.100	7.200	7.300	7.400	7.500	7.600	7.700	7.800	7.900	8.000	8.100	8.200	8.300	8.400	8.500	6.900	7.000	7.100	7.200	7.300	7.400	7.500	7.600	7.700	7.800	7.900	8.000	8.100	8.200	8.300	8.400	8.500
0.8 h	4.96	0.94	V1	5.900	6.000	6.100	6.200	6.300	6.400	6.500	6.600	6.700	6.800	6.900	7.000	7.100	7.200	7.300	7.400	7.500	5.900	6.000	6.100	6.200	6.300	6.400	6.500	6.600	6.700	6.800	6.900	7.000	7.100	7.200	7.300	7.400	7.500	5.900	6.000	6.100	6.200	6.300	6.400	6.500	6.600	6.700	6.800	6.900	7.000	7.100	7.200	7.300	7.400	7.500
Rata-rata	0.3973	0.4129	0.4180	0.4232	0.4298	0.4364	0.4430	0.4496	0.4562	0.4628	0.4694	0.4760	0.4826	0.4892	0.4958	0.5024	0.5090	0.5156	0.5222	0.4180	0.4232	0.4284	0.4336	0.4388	0.4440	0.4492	0.4544	0.4596	0.4648	0.4700	0.4752	0.4804	0.4856	0.4908	0.4960	0.4180	0.4232	0.4284	0.4336	0.4388	0.4440	0.4492	0.4544	0.4596	0.4648	0.4700	0.4752	0.4804	0.4856	0.4908	0.4960			

Table 11 Hasil Validasi data Pited Portabel di Laboratorium (LAB)

h	0.3		0.4		0.5		0.6		0.7		0.8		Rata-rata	RSD (%)	
	1.08	4.02	1.08	4.02	1.08	4.02	1.08	4.02	1.08	4.02	1.08	4.02			
0.2 h	8.533	7.667	7.933	7.867	8.133	8.367	8.500	8.367	8.700	8.733	8.500	8.367	8.000	7.533	8.16
0.4 h	7.600	7.700	7.800	7.800	7.900	8.000	8.100	8.100	8.200	8.300	8.400	8.200	8.000	7.300	7.93
	7.600	7.700	7.800	7.800	7.900	8.000	8.100	8.100	8.200	8.300	8.400	8.200	8.000	7.400	
0.6 h	6.900	7.000	7.100	7.200	7.300	7.400	7.500	7.400	7.600	7.600	7.500	7.400	7.200	6.900	7.25
	6.900	7.000	7.100	7.200	7.300	7.400	7.500	7.400	7.600	7.600	7.500	7.400	7.200	7.000	
0.8 h	5.600	5.700	5.800	5.900	6.000	6.100	6.200	6.100	6.300	6.300	6.200	6.100	5.900	5.500	6.65
	5.600	5.700	5.800	5.900	6.000	6.100	6.200	6.100	6.300	6.300	6.200	6.100	5.900	5.600	
Rata-rata	0.4071	0.4138	0.4179	0.4246	0.4311	0.4364	0.4427	0.4364	0.4436	0.4507	0.4577	0.4644	0.4699	0.4775	5.94

DOKUMENTASI

lat dan Bahan



Pitod Portable



Penggaris dan cutter



Gergaji



Penggaris



Plastisin



Lem tembak



Lem Kaca



Alat Lem kaca





emasukkan tanah ke saluran terbuka



Pengambilan data mengguakan pitod portabel



Pengambilan sedimen



Pengambila data menggunakan penggaris

