

1046/FT.01/SKRIP/07/2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGEMBANGAN MODEL BEDA HINGGA DUA DIMENSI
UNTUK ALIRAN SUNGAI DENGAN PROGRAM VISUAL
BASIC**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

**DINYA AMIMA SARA
0706266216**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN MANAJEMEN SUMBER DAYA AIR
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Dinya Amima Sara

NPM : 0706266216

Tanda Tangan : 

Tanggal : 30 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Dinya Amima Sara
NPM : 0706266216
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengembangan Model Beda Hingga Dua Dimensi
untuk Aliran Sungai dengan Program *Visual Basic*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Ir. Herr Soeryantono, Ph.D.  (.....)

Pembimbing II : RR. Dwinanti Rika M, ST, MT  (.....)

Penguji I : Ir. Siti Murniningsih, M.Sc  (.....)

Penguji II : Toha Saleh, ST, M.Sc  (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2011

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Bapak Ir. Herr Soeryantono, Ph.D selaku pembimbing pertama dan pembimbing akademis, yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya, baik dalam penyusunan skripsi ini maupun selama masa studi.
- (2) Ibu RR. Dwinanti Rika M, ST, MT, sebagai pembimbing kedua, yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (3) Ibu Dr.Ir.Ing Dwita Sutjningsih Marsudiantoro, Dipl.HE, selaku ketua peminatan Manajemen Sumber Daya Air, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, yang telah memberi banyak ilmu selama saya menempuh pendidikan untuk mendapatkan gelar S1.
- (4) Prof. Dr. Ir. Irwan Katili, DEA, selaku ketua Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- (5) Para dosen pengajar saya sejak tahun pertama hingga tahun terakhir, yang telah memberikan ilmu sehingga saya dapat menyelesaikan studi di Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia ini.
- (6) Bapak Bagyo, Mbak Wiwit, dan seluruh staf di Departemen Teknik Sipil yang banyak memberi kemudahan serta informasi selama ini.
- (7) Keluarga saya, Papa, Mama, dan Adik saya, Fikri, yang sudah banyak memberi dukungan, baik moril maupun materil.

- (8) Sahabat-sahabat saya di peminatan MSDA, Eti Rahmawati, Tri Sutrisno, Resky Agaslian Pramadin, dan Ma'ruffi Kurnia, yang selalu memberi dukungan selama masa studi. Semoga kita berlima, *Water Rangers*, selalu diberi kemudahan oleh Allah SWT untuk mencapai cita-cita kita.
- (9) Dian, Siti, Christy, dan teman-teman angkatan 2007 di Departemen Teknik Sipil yang sangat saya banggakan.
- (10) Serta semua pihak yang turut membantu saya selama masa penyusunan tugas akhir/ skripsi ini, yang tidak dapat disebutkan namanya satu persatu.

Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 30 Juni 2011

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dinya Amima Sara
NPM : 0706266216
Program studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Pengembangan Model Beda Hingga Dua Dimensi untuk Aliran Sungai dengan
Program *Visual Basic*

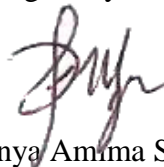
beserta perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 30 Juni 2011

Yang menyatakan



(Dinya Amima Sara)

ABSTRAK

Nama : Dinya Amima Sara
Program Studi: Teknik Sipil
Judul : Pengembangan Model Beda Hingga Dua Dimensi untuk Aliran Sungai dengan Program *Visual Basic*

Skripsi ini merupakan pemodelan aliran sungai secara dua dimensi yang berupa kecepatan arah x, kecepatan arah y, dan kedalaman air. Ketiga variabel ini dihitung dengan persamaan massa dan momentum. Persamaan dasar kekekalan massa dan momentum diturunkan dahulu agar diperoleh bentuk dua dimensinya. Kemudian bentuk differensialnya dimodelkan dengan metode beda hingga *forward difference*. Perhitungan dilakukan untuk kondisi sungai yang *steady* maupun *unsteady*. Untuk kondisi *unsteady*, digunakan metode numerik *Runge Kutta* orde 4. Rumus yang diperoleh ini akan dimasukkan ke dalam *listing* program *visual basic* agar memudahkan pemodelan dalam tahap perhitungan, sehingga inilah yang disebut sebagai Program Pemodelan Beda Hingga.

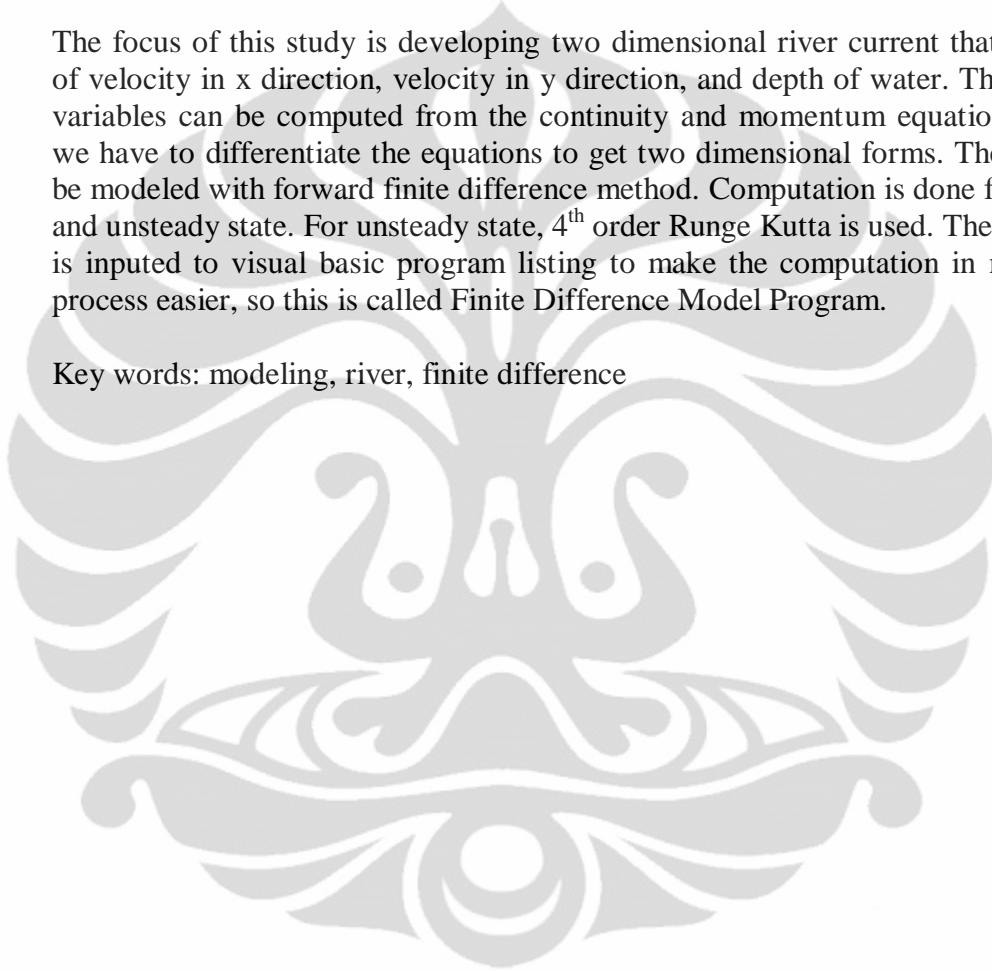
Kata kunci: pemodelan, sungai, beda hingga

ABSTRACT

Name : Dinya Amima Sara
Study Program : Civil Engineering
Title : Development of Two Dimensional Finite Difference Algorithm
to Stimulate River Flow Employing Visual Basic Platform

The focus of this study is developing two dimensional river current that consists of velocity in x direction, velocity in y direction, and depth of water. These three variables can be computed from the continuity and momentum equation. Firstly we have to differentiate the equations to get two dimensional forms. Then, it can be modeled with forward finite difference method. Computation is done for steady and unsteady state. For unsteady state, 4th order Runge Kutta is used. The equation is inputed to visual basic program listing to make the computation in modeling process easier, so this is called Finite Difference Model Program.

Key words: modeling, river, finite difference



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR/ UCAPAN TERIMA KASIH	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
1. PENDAHULUAN	1
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Tujuan Penelitian	3
1.3.Metodologi Penelitian	3
1.4.Ruang Lingkup Pembahasan	4
1.5.Sistematika Penulisan	4
2. TEORI DASAR.....	6
2.1.Konsep dan Karakteristik Fluida.....	6
2.2.Konsep Volume Kontrol (<i>Control Volume</i>)	8
2.3.Persamaan Umum Aliran Fluida.....	11
2.3.1. Hukum Kekekalan Massa	11
2.3.2. Hukum Kekekalan Momentum.....	12
2.4.Morfologi dan Karakteristik Aliran Sungai	13
2.5.Konsep Matematika yang Terkait	21
2.5.1. Interpretasi Fisik Differensial	21
2.5.2. Operasi Matriks.....	22
2.6.Metode Numerik	24
2.6.1. Metode <i>Finite Difference</i> (Beda Hingga).....	24
2.6.2. Metode <i>Runge Kutta</i>	26
2.7.Pemrograman dengan <i>Visual Basic for Microsoft Excel</i>	27

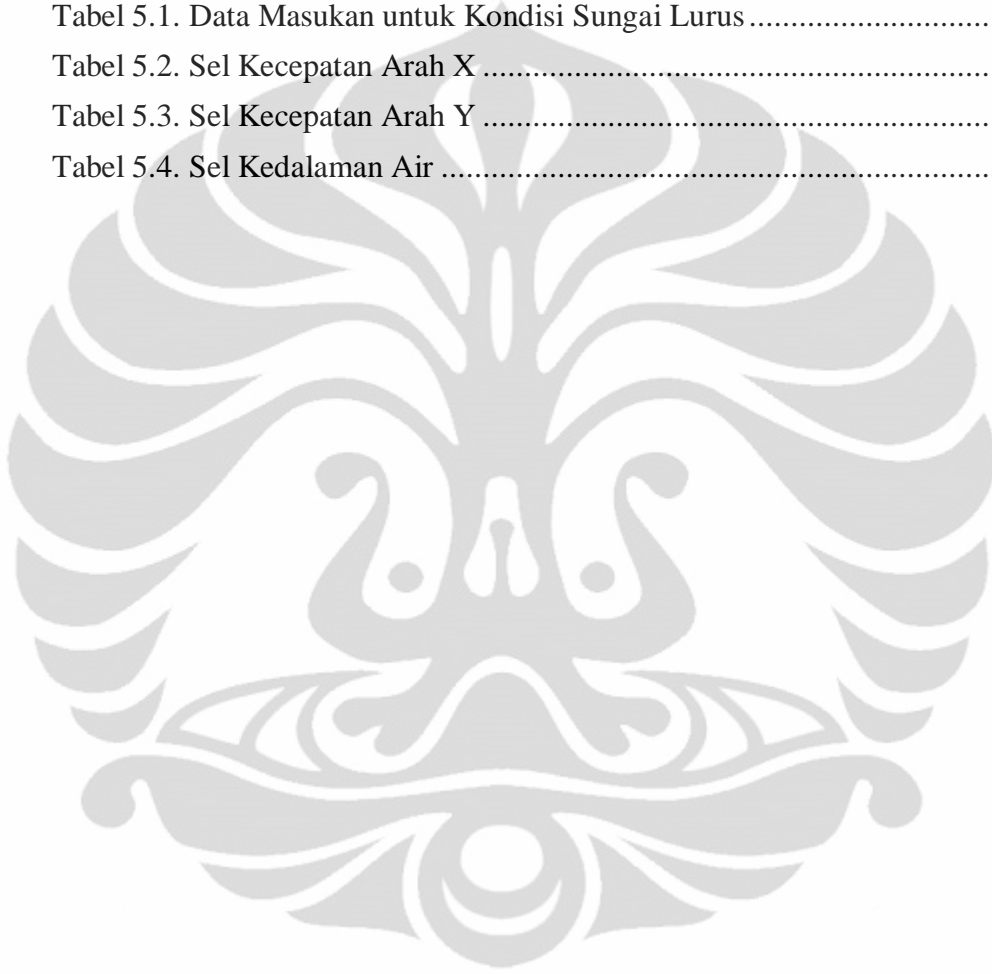
3. METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1.Menentukan Definisi/ Lingkup Aliran Dua Dimensi	29
3.2.Mengembangkan Model Matematis Aliran Sungai secara Dua Dimensi .	30
3.3.Mengembangkan Model Numerik untuk Persamaan Aliran Dua Dimensi	30
3.4.Membuat Perangkat Lunak dari Model Matematis.....	31
3.5.Melakukan Pengujian dan Analisa terhadap Program dengan Berbagai Kondisi Sungai.....	34
4. PENGEMBANGAN MODEL ALIRAN SUNGAI DUA DIMENSI	35
4.1.Model Matematis Fluida Dua Dimensi	35
4.1.1. Persamaan Kekekalan Massa	36
4.1.2. Persamaan Kekekalan Momentum	37
4.2.Solusi Numerik Komponen Ruang dengan Metode Beda Hingga	43
4.3.Solusi Numerik Komponen Waktu dengan Metode <i>Runge Kutta</i>	46
4.4.Pemodelan dengan Program <i>Visual Basic for Microsoft Excel</i>	50
5. PENERAPAN MODEL DENGAN PROGRAM VISUAL BASIC FOR MICROSOFT EXCEL	65
5.1.Proses Perjalanan dan Kesalahan saat Pembuatan Program.....	65
5.2.Pengecekan Keakurasian	81
5.3.Analisa Perubahan Kondisi Model.....	84
5.3.1. Kondisi Sungai Lurus.....	84
5.3.2. Kondisi Sungai yang Memiliki Kemiringan Arah Y	87
5.3.3. Kondisi Sungai Lurus dengan Nilai Gesekan dan Viskositas yang Kecil	88
5.3.4. Perbedaan Masukan dx dan dy	89
5.3.5. Perubahan Rentang Waktu Penelusuran	90
5.3.6. Kondisi Sungai Berkelok, Ruas Melebar, dan Ruas Menyempit ..	92
6. PENUTUP	92
6.1.Kesimpulan	92
6.2.Saran	93

DAFTAR REFERENSI 94
LAMPIRAN 97



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kombinasi Aliran Permukaan 1D	8
Tabel 2.2. Koefisien Kekasaran Manning untuk Berbagai Kondisi Batas Sungai	17
Tabel 4.1. Nama <i>Array</i> dan Nama Nilainya	60
Tabel 5.1. Data Masukan untuk Kondisi Sungai Lurus	76
Tabel 5.2. Sel Kecepatan Arah X	81
Tabel 5.3. Sel Kecepatan Arah Y	82
Tabel 5.4. Sel Kedalaman Air	82



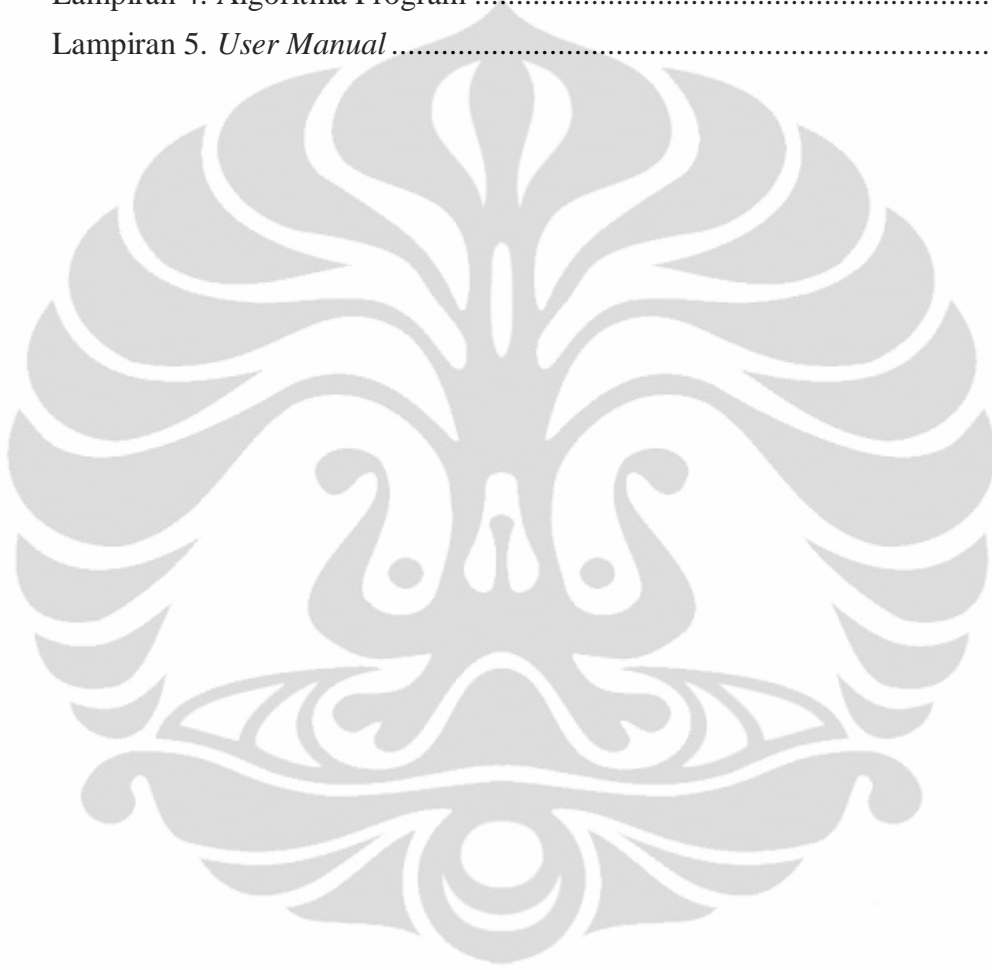
DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Velocity Field</i> dan <i>Stream Line</i>	7
Gambar 2.2. <i>Control Volume</i>	9
Gambar 2.3. <i>Control Volume B</i>	10
Gambar 2.4. Aspek Tinjauan Morfologi Sungai	13
Gambar 2.5. Sumbu Koordinat Sungai sebagai Aspek Tinjauan secara Spasial. 14	
Gambar 2.6. Berbagai Arah Tinjauan Penampang Sungai.....	15
Gambar 2.7. Parameter Hidrolis untuk Sungai <i>Uniform</i>	15
Gambar 2.8. Sebaran Debit menurut Waktu	16
Gambar 2.9. Tinggi Energi Sungai yang Dilihat secara Longitudinal.....	18
Gambar 2.10. Sumbu Koordinat Kecepatan Sungai	19
Gambar 2.11. Persebaran Kecepatan di Potongan Melintang Sungai	19
Gambar 2.12. Variasi Aliran di Kelokan Sungai.....	20
Gambar 2.13. Karakteristik Sungai dari Hulu ke Hilir	21
Gambar 2.14. <i>Icon Visual Basic</i> dalam <i>Developer Tab</i>	27
Gambar 2.15. Tampilan <i>Microsoft Visual Basic</i>	28
Gambar 3.1. Algoritma Penggunaan Program	32
Gambar 3.2. Algoritma Perhitungan	33
Gambar 4.1. Kontrol Volume dengan Koordinat Berbentuk Kubus	36
Gambar 4.2. Momentum dan Gaya yang Bekerja pada Arah Sumbu x.....	38
Gambar 4.3. Momentum dan Gaya yang Bekerja pada Arah Sumbu y.....	40
Gambar 4.4. <i>Layout Model Sungai</i>	51
Gambar 4.5. Contoh Pengisian Parameter	52
Gambar 4.6. Contoh Pengisian Kondisi Awal dan Batas pada Ketiga Model Sungai.....	53
Gambar 4.7. Pilihan Program	54
Gambar 4.8. Kotak Dialog Program	54
Gambar 4.9. Sel yang Dipilih untuk Dimasukkan ke Kotak Dialog.....	57
Gambar 4.10. Kondisi Sel	61
Gambar 4.11. Skema Sel untuk Perhitungan u^{t+dt}	62
Gambar 4.12. Skema Sel untuk Perhitungan v^{t+dt}	63
Gambar 4.13. Skema Sel untuk Perhitungan h^{t+dt}	63
Gambar 5.1. Pengisian Parameter.....	66

Gambar 5.2. Pengisian Kondisi Batas pada Ketiga Model Sungai.....	66
Gambar 5.3. Pilihan Sub Program	66
Gambar 5.4. Kotak Dialog Sub Program <i>Steady State</i>	67
Gambar 5.5. Pengisian Kotak Dialog Sub Program <i>Steady State</i>	68
Gambar 5.6. Pilihan Sub Program <i>Unsteady State</i>	72
Gambar 5.7. Kotak Dialog Sub Program <i>Unsteady State</i>	73
Gambar 5.8. Pengisian Kotak Dialog Sub Program <i>Unsteady State</i>	74
Gambar 5.9. Grafik Persebaran Kecepatan Arah x di Sepanjang Sungai untuk <i>Steady State</i>	77
Gambar 5.10. Grafik Persebaran Kecepatan Arah y di Sepanjang Sungai untuk <i>Steady State</i>	77
Gambar 5.11. Grafik Distribusi Kecepatan untuk <i>Steady State</i>	77
Gambar 5.12. Grafik Kedalaman Air di Sepanjang Sungai untuk <i>Steady State</i> ...	78
Gambar 5.13. <i>Rating Curve</i>	79
Gambar 5.14. Pengisian Parameter Skenario Model	81
Gambar 5.15. Sel yang Diuji	83
Gambar 5.16. Grafik Kecepatan Sungai Lurus Sepanjang Sungai.....	84
Gambar 5.17. Grafik Distribusi Kecepatan Sungai di Hulu, Tengah, dan Hilir Sungai.....	85
Gambar 5.18. Bentuk Dasar Sungai.....	85
Gambar 5.19. Debit Sepanjang Sungai	86
Gambar 5.20. Kecepatan Sungai menurut Waktu	86
Gambar 5.21. Elevasi Dasar Saluran menurut Waktu	87
Gambar 5.22. Perbandingan Kecepatan Sungai dengan dan tanpa S_{0y}	87
Gambar 5.23. Perbandingan Kecepatan Sungai dengan Nilai Gesekan Besar dan Kecil	88
Gambar 5.24. Perbandingan Debit Kondisi <i>Unsteady</i> Sungai dengan Nilai Gesekan Besar dan Kecil.....	89
Gambar 5.25. Perbandingan Kecepatan dengan Rentang Jarak Penelusuran yang Berbeda.....	90
Gambar 5.26. Perbandingan Debit dengan Rentang Jarak Penelusuran yang Berbeda.....	90
Gambar 5.27. Perbandingan Kecepatan dengan Rentang Jarak Penelusuran yang Berbeda pada $t = 3$ s.....	91

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. <i>Listing Program Steady dan Unsteady State</i>	97
Lampiran 2. <i>Listing Program Final</i>	109
Lampiran 3. Tabel Hasil Perhitungan	117
Lampiran 4. Algoritma Program	168
Lampiran 5. <i>User Manual</i>	173



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Suatu daerah aliran sungai–area dimana air yang ada di dalam batasnya mengalir menuju suatu titik, seperti sungai, danau, atau laut– merupakan tempat bagi manusia untuk melakukan bermacam aktivitasnya. Oleh sebab itu, pengelolaan suatu daerah aliran sungai (DAS) harus dilakukan dengan baik agar tidak mengakibatkan dampak buruk bagi manusia dan makhluk hidup lain di dalamnya.

Kini dikenal adanya suatu metode pengelolaan DAS yang memiliki banyak kelebihan, yaitu *Low Impact Development* (LID). Dengan menjalankan LID, suatu area tetap dapat berkembang dengan meminimalisasi dampak potensial yang buruk pada lingkungan. Untuk melaksanakan LID, diperlukan metode manajemen yang dapat dijadikan landasan ketika pembangunan dijalankan, yakni *Best Management Practice* (BMP). Pemahaman yang mendalam mengenai BMP dan fleksibilitas dalam pelaksanaannya merupakan hal penting dalam pemilihan BMP yang menawarkan pengaturan secara spesifik pada suatu lahan.

Namun beberapa pengembang atau perencana tidak menggunakan metode tersebut dalam melakukan pembangunan di suatu DAS. Sebagai akibatnya, timbul banjir setelah adanya suatu pembangunan. Banjir seringkali menjadi masalah bagi penduduk karena dapat mengganggu aktivitas, seperti timbulnya kemacetan, terputusnya aliran listrik sebagai sumber energi, dan air banjir juga dapat menjadi perantara penyakit (*waterborne disease*).

Pembangunan yang dilakukan bahkan menyebabkan terjadinya perubahan morfologi sungai. Walaupun perubahan morfologi sungai juga dapat terjadi secara alami, yakni dapat berupa pembentukan sedimen di dasar sungai melalui proses erosi dan desposisi di sepanjang aliran sungai. Perubahan morfologi sungai akibat campur tangan manusia ini dapat berupa pendangkalan sungai akibat sampah dan pembentukan *cut off* pada sungai atau yang biasa disebut sebagai normalisasi sungai.

Banyak orang yang menyalah-artikan istilah normalisasi sungai. Normalisasi seharusnya dilakukan untuk mengembalikan kondisi sungai seperti semula, yaitu sesuai bentuk alaminya yang berkelok-kelok. Sedangkan pada saat ini, bagi sebagian besar masyarakat, normalisasi diartikan sebagai penyederhanaan aliran sungai yang berkelok-kelok menjadi bentuk yang lurus. Alasan dilakukannya normalisasi yang salah kaprah ini berbagai macam, diantaranya adalah alasan penggunaan lahan di daerah kelokan sungai dan pencegahan kerusakan infrastruktur akibat aliran sungai.

Selain dua hal tersebut, alasan dilakukannya normalisasi adalah untuk memudahkan dalam melakukan perencanaan dan simulasi aliran pada sungai, sehingga sungai yang morfologinya berkelok-kelok (2 dimensi) dijadikan lurus (1 dimensi). Hal ini disebabkan besarnya dana yang harus dikeluarkan untuk membeli perangkat lunak simulasi aliran dua dimensi pada sungai dibandingkan dengan pembangunan infrastruktur itu sendiri.

Walaupun penggunaan perangkat lunak dengan tinjauan satu dimensi tersebut dapat menunjang pemodelan aliran sungai, namun hal ini menyebabkan makin banyaknya penyederhanaan yang dilakukan dibandingkan dengan keadaan sungai yang sebenarnya. Perhitungan yang ada tersebut mengharuskan kondisi sungai yang berkelok-kelok dijadikan sungai yang lurus. Hal ini tentu tidak menunjang LID sebagai metode pengelolaan DAS yang baik. Maka itu, dibutuhkan perangkat lunak yang terjangkau untuk dapat mengakomodasi kondisi aliran sungai yang sebenarnya. Selanjutnya, dimensi kedalaman dapat diabaikan untuk menyederhanakan tinjauan. Hal ini dilakukan karena kedalaman tidak signifikan dibandingkan dengan luas sungai secara lateral.

Pemodelan aliran sungai secara dua dan tiga dimensi telah banyak dikembangkan, seperti yang dilakukan oleh Oscar Castro-Orgaz (*Approximate modelling of 2D curvilinear open channel flows*, 2010); J.B. Faure, N. Buil, B. Gay (*3-D Modeling of unsteady free-surface flow in open channel*, 2004); serta N. J. Shankara, E.S. Chana, Q.Y. Zhanga (*Three-dimensional numerical simulation for an open channel*, 2001).

Dalam penelitian ini, penulis mencoba memformulasikan model matematis aliran dua dimensi menjadi persamaan numerik, dan kemudian membuat perangkat lunak sebagai alat bantu untuk melakukan simulasi kecepatan dan kedalaman air sungai agar dapat digunakan dengan mudah dan terjangkau oleh perencana atau peneliti.

Skripsi ini juga merupakan pengembangan pemodelan aliran sungai yang telah dilakukan oleh senior penulis di Departemen Teknik Sipil FT UI pada tahun 2002, Aditias Suyasninto (Pengembangan Model Simulasi Aliran Banjir 2 Dimensi: Pengujian Konvergensi dan Konsistensi terhadap Variasi Parameter). Perbedaan skripsi ini dengan yang sebelumnya yaitu penulis melihat sungai secara lateral dari permukaannya serta menggunakan metode linearisasi dan penelusuran waktu yang berbeda, sedangkan skripsi sebelumnya melihat aliran sungai 2D hanya di titik tertentu untuk melihat hidrograf banjirnya.

1.2. Tujuan Penelitian

Membuat model untuk menghitung kecepatan aliran dan kedalaman sungai secara horisontal dua dimensi memakai metode beda hingga, lalu menerapkannya pada lingkungan bahasa program *Visual Basic for Microsoft Excel*.

1.3. Metodologi Penelitian

- a. Menentukan definisi/ lingkup aliran dua dimensi.
- b. Menurunkan persamaan matematis aliran sungai secara dua dimensi berdasarkan hukum dasar fluida, yaitu kekekalan massa dan momentum.
- c. Mengembangkan model numerik untuk persamaan aliran dua dimensi untuk perbedaan jarak pada ruang dengan metode beda hingga (*finite difference*) dan perbedaan waktu dengan metode *Runge Kutta*.
- d. Menerapkan algoritma model tersebut pada lingkungan bahasa *Visual Basic for Microsoft Excel*.
- e. Melakukan pengujian dan analisa hasil perhitungan oleh program yang dibuat untuk berbagai kondisi sungai.

1.4. Ruang Lingkup Pembahasan

Dalam skripsi ini, model aliran permukaan sungai yang akan dibahas memiliki batasan-batasan sebagai berikut:

- a. Perhitungan didasarkan pada hukum kekekalan massa dan hukum kekekalan momentum dengan pendekatan *Eulerian*.
- b. Fluida bersifat *incompressible* dan isothermal.
- c. Sungai ditinjau secara lateral (bidang yang dibentuk oleh sumbu x dan sumbu y), yaitu tampak atas sungai.
- d. Tanah diasumsikan berada dalam kondisi jenuh, sehingga tidak ada kehilangan air akibat infiltrasi.
- e. Presipitasi, evaporasi, dan evapotranspirasi tidak diperhitungkan.
- f. Diasumsikan tidak terjadi pengangkutan sedimen sehingga elevasi permukaan dasar sungai sepanjang model konstan.
- g. Arah aliran diperhitungkan menurut gaya gravitasi.
- h. Debit aliran bersifat *uniform*.
- i. Tidak terdapat *tributary flow*.
- j. Model digunakan untuk menghitung kecepatan aliran sungai arah x, kecepatan aliran sungai arah y, dan kedalaman air sungai.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam skripsi ini adalah:

- a. Bab 1. Pendahuluan

Dalam bab ini diuraikan mengenai latar belakang penelitian, tujuan penelitian, metodologi penelitian, ruang lingkup pembahasan, dan sistematika penulisan.

- b. Bab 2. Teori Dasar

Dalam bab ini akan disampaikan beberapa teori yang dijadikan acuan bagi penulis untuk melakukan pemodelan, yaitu mengenai konsep dan karakteristik fluida, volume kontrol, persamaan umum aliran fluida (hanya dibatasi pembahasan mengenai hukum kekekalan massa dan momentum), morfologi dan karakteristik aliran sungai, konsep matematika terkait yang meliputi konsep differensial dan operasi matriks,

metode numerik (beda hingga dan *Runge Kutta*), serta mengenai pemrograman dengan *Visual Basic for Microsoft Excel*.

c. Bab 3. Metodologi Penelitian

Bab ini berisi tentang langkah-langkah dalam melakukan penelitian secara umum, mulai dari penentuan lingkup model, pengembangan model secara matematis dan numerik, pemodelan dengan *Visual Basic for Microsoft Excel*, hingga melakukan pengujian terhadap model.

d. Bab 4. Pengembangan Model Aliran Sungai Dua Dimensi

Bab ini menjelaskan tentang langkah detail dalam pembuatan model, yaitu penurunan rumus (pemodelan secara matematis), pencarian solusi dengan metode numerik komponen ruang dan waktu, serta pemodelan dengan program komputer.

e. Bab 5. Penerapan Model dengan Program *Visual Basic for Microsoft Excel*

Dalam bab ini disampaikan mengenai analisa program yang dibuat, proses perjalanan pembuatan program, pengecekan keakurasian hasil perhitungan, serta pengujian terhadap perubahan kondisi model.

f. Bab 6. Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran terhadap hasil pembahasan dan analisa yang dilakukan pada bab-bab sebelumnya.

BAB 2 TEORI DASAR

2.1. Konsep dan Karakteristik Fluida

Fluida adalah benda yang tidak memberi perlawanan terhadap perubahan bentuk geometris. Supaya bentuknya tetap, fluida harus dibatasi dengan suatu dinding yang bersifat kedap. Bila dinding ini berubah, maka bentuk geometri fluida akan berubah menyesuaikan diri. Ketidakmampuan fluida mempertahankan bentuk geometrisnya disebabkan oleh lemahnya gaya kohesi antar molekul. Berdasarkan kohesinya, fluida dibagi menjadi benda gas dan benda cair (*liquid*). Perbedaannya yaitu benda cair dapat mempertahankan volumenya akibat antar molekulnya masih mampu terikat oleh gaya kohesi, sedangkan benda gas tidak dapat mempertahankan bentuk maupun volumenya karena gaya kohesinya yang sangat lemah.

Karena lemahnya gaya kohesi tersebut, maka fluida dapat bergerak. Hal ini dapat dilihat dari adanya angin ataupun air yang mengalir. Pergerakan ini menyebabkan fluida memiliki kecepatan, yang dalam ilmu fisika dilambangkan dengan V . Sedangkan definisinya adalah:

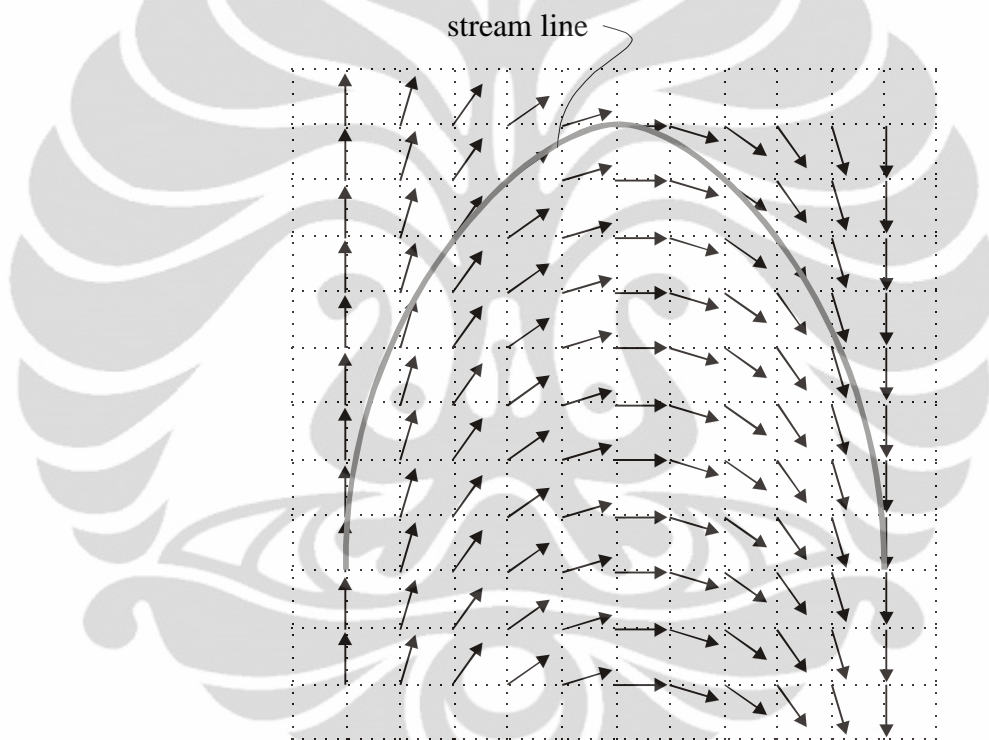
$$V \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{s(t+\Delta t) - s(t)}{\Delta t} \quad (2.1)$$

dimana $s(t)$ adalah jarak yang ditempuh selama (t) , $s(t + \Delta t)$ adalah jarak yang ditempuh selama $(t + \Delta t)$, serta Δt adalah perbedaan waktu dalam menempuh jarak tersebut.

Untuk fluida, gerakan terjadi jika partikelnya memiliki kecepatan relatif terhadap wadah fluida tersebut berada. Partikel fluida pada kenyataannya tidak mungkin dipisahkan, sehingga sulit untuk mengidentifikasi suatu lintasan partikel fluida. Untuk mengidentifikasi lintasan ini, maka dilakukan berbagai usaha seperti memotret lintasan air yang bergelombang dalam suatu akuarium, yang disebut *path line*, maupun memotret fluida yang mengalir seperti asap rokok, yang disebut *streak line*.

Pendekatan perumusan matematis berdasarkan konsep tersebut dikenal sebagai pendekatan menurut konsep *Eularian*. Karena konsep ini terlalu mikro, maka terdapat konsep yang lebih alternatif untuk kepentingan praktis ilmu hidrolika, yaitu konsep *Lagrangian*.

Menurut konsep *Lagrangian*, kecepatan V dilihat sebagai suatu medan (*velocity field*). Contoh visualisasinya adalah pola arah juluran daun rumput laut di dasar laut. Arah juluran daun akan menggambarkan arah aliran di suatu titik. Arah aliran ini selanjutnya dipakai untuk mendefinisikan arah kecepatan partikel air di titik tersebut.



Gambar 2.1. *Velocity Field dan Stream Line*

(Sumber: Herr Soeryantono, Diktat Mekflu Bab 3, 2008)

Dalam konsep *Lagrangian*, kecepatan V bukan merupakan jarak yang ditempuh tiap satuan waktu (sehingga tidak perlu mempermasalahkan lintasan), tetapi kecepatan merupakan *flux* atau intensitas dari suatu medan vektor. Dengan demikian, kecepatan suatu fluida sebagai besaran *flux*, didefinisikan sebagai volume fluida ($\Delta\forall$) yang mengalir menembus suatu penampang sebesar satu satuan luas selama satu satuan waktu. Atau secara matematis ditulis sebagai:

$$V \equiv \lim_{\substack{\Delta t \rightarrow 0 \\ \Delta A \rightarrow 0}} \frac{\Delta\forall}{\Delta t \cdot \Delta A} \quad (2.2)$$

Universitas Indonesia

Dalam persamaan di atas, terdapat besaran debit (*discharge/ flow rate*) yang dilambangkan dengan Q , yaitu $\frac{\Delta V}{\Delta t}$. Dengan mengabaikan limit, maka diperoleh persamaan:

$$Q = V \cdot A \quad (2.3)$$

Kemudian suku disebut sebagai *specific discharge* (q), sehingga:

$$V \equiv q \quad (2.4)$$

Selanjutnya, aliran diklasifikasikan sebagai kombinasi dari tunak (*steady*) atau tak tunak (*unsteady*) dan seragam (*uniform*) atau tak seragam (*nonuniform*). Aliran tunak adalah aliran yang kecepatan dan elevasi muka airnya tidak berubah menurut waktu, sedangkan aliran tak tunak adalah aliran yang kecepatan dan elevasi muka airnya berubah menurut waktu. Aliran seragam adalah aliran yang kecepatan dan tinggi muka airnya tidak berubah menurut posisi koordinat pada arah aliran, sedangkan aliran tak seragam adalah aliran yang kecepatan dan tinggi muka airnya berubah menurut posisi koordinat pada arah aliran. Kemungkinan dari kombinasi sifat ini dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.1. Kombinasi Aliran Permukaan 1D

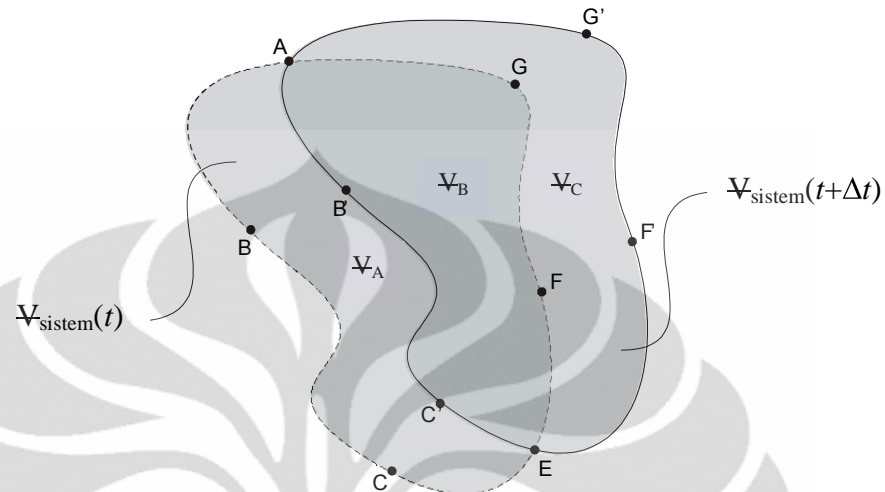
Jenis Aliran	Kecepatan Rata-Rata	Kedalaman
<i>Steady, uniform</i>	$V = \text{konstan}$	$y = \text{konstan}$
<i>Steady, nonuniform</i>	$V = V(x)$	$y = y(x)$
<i>Unsteady, uniform</i>	$V = V(t)$	$y = y(t)$
<i>Unsteady, nonuniform</i>	$V = V(x,t)$	$y = y(x,t)$

2.2. Konsep Volume Kontrol (*Control Volume*)

Meninjau sekelompok materi yang mengalir tentu akan sulit dilakukan, karena tidak mungkin menetapkan volume pada saat ($t+\Delta t$) yang berisi materi-materi yang berasal dari anggota kelompok volume pada saat (t), karena tiap individu materi yang berupa molekul masing-masing akan bergerak pada arah yang acak.

Maka itu lebih mudah meninjaunya dalam terhadap volume dari suatu ruang yang tetap, bukan terhadap volume dari sekelompok materi yang tetap. Volume ruangan yang tetap ini disebut sebagai volume dari ruang tinjauan

(*control volume* / *CV*). Pendekatan ini disebut sebagai pendekatan *Eularian*. Transformasi dari pendekatan sistem *Langrangian* menjadi pendekatan *control volume* menurut *Eularian* adalah sebagai berikut.



Gambar 2.2. *Control Volume*

(Sumber: Herr Soeryantono, Diktat Mekflu Bab 3, 2008, telah diolah kembali)

Sekelompok materi pada saat (t) menempati ruang yang dibatasi garis yang melalui titik-titik ABCEFGA pada gambar tersebut. Volume dari kelompok materi inilah yang disebut sebagai $V_{\text{sistem}}(t)$, sedangkan volume dari ruang yang ditempati kelompok materi ini dinotasikan sebagai V_{CV} . Maka jelas terlihat bahwa $V_{\text{sistem}}(t) = V_{\text{CV}}$.

Pada saat ($t + \Delta t$), kelompok materi yang awalnya berada dalam ruang V_{CV} bergerak dan menempati ruang AB'C'EF'G'A. Volume kelompok materi di tempat yang baru ini dinotasikan sebagai $V_{\text{sistem}}(t + \Delta t)$. Menurut definisinya, derivatif dari V_{sistem} terhadap t adalah:

$$\frac{dV_{\text{sistem}}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{V_{\text{sistem}}(t + \Delta t) - V_{\text{sistem}}(t)}{\Delta t} \quad (2.5)$$

Dari gambar diatas terlihat bahwa

$$V_{\text{sistem}}(t) = V_A(t) + V_B(t) \quad (2.6)$$

dan

$$V_{\text{sistem}}(t + \Delta t) = V_B(t + \Delta t) + V_C(t + \Delta t) \quad (2.7)$$

Sehingga persamaan 2.5 menjadi:

$$\frac{dV_{\text{sistem}}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{V_B(t + \Delta t) + V_C(t + \Delta t) - V_A(t) - V_B(t)}{\Delta t} \quad (2.8)$$

kemudian dapat dimanipulasi secara aljabar menjadi:

$$\frac{d\psi_{sistem}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\psi_B(t+\Delta t) + \psi_C(t+\Delta t) - \psi_A(t) - \psi_B(t) + \psi_A(t+\Delta t) - \psi_A(t+\Delta t)}{\Delta t} \quad (2.9)$$

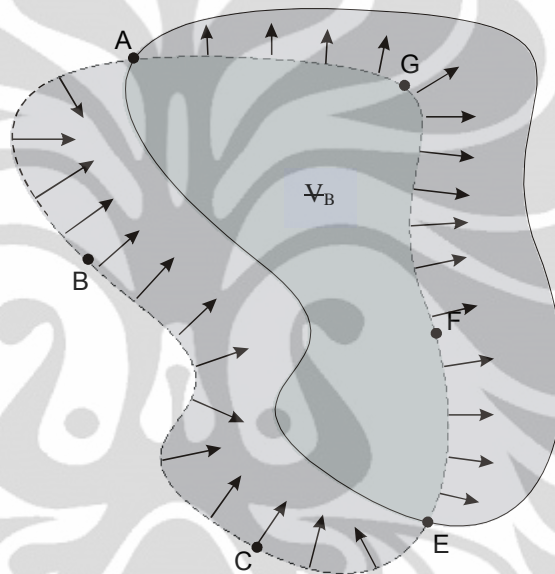
atau

$$\frac{d\psi_{sistem}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\psi_B(t+\Delta t) + \psi_A(t+\Delta t) - \psi_B(t) - \psi_A(t) + \psi_C(t+\Delta t) - \psi_A(t+\Delta t)}{\Delta t} \quad (2.10)$$

Sehingga

$$\frac{d\psi_{sistem}}{dt} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\psi_{CV}(t+\Delta t) - \psi_{CV}(t) + \psi_C(t+\Delta t) - \psi_A(t+\Delta t)}{\Delta t} \quad (2.11)$$

$$\frac{d\psi_{sistem}}{dt} = \frac{d\psi_{CV}}{dt} + \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\psi_C(t+\Delta t) - \psi_A(t+\Delta t)}{\Delta t} \quad (2.12)$$



Gambar 2.3. Control Volume B

(Sumber: Herr Soeryantono, Diktat Mekflu Bab 3, 2008, telah diolah kembali)

Dari gambar diatas terlihat bahwa $\psi_C(t + \Delta t)$ adalah total *flux* yang mengalir keluar ψ_{CV} menembus luas bidang EFGA selama selang waktu Δt . Bila luas bidang EFGA adalah A_1 , flux yang menembus bidang ini selama Δt adalah \bar{V} , dan unit vektor pada arah normal bidang ini adalah \bar{n} , maka total flux selama Δt adalah:

$$\psi_C(t + \Delta t) = \int_{A_1} \Delta t (\bar{V} \cdot \bar{n}) dA_1 \quad (2.13)$$

Jika luas bidang EFGA adalah A_2 , maka:

$$\psi_A(t + \Delta t) = - \int_{A_2} \Delta t (\bar{V} \cdot \bar{n}) dA_2 \quad (2.14)$$

Karena luas bidang EFGA (A_1) ditambah ABCE (A_2) adalah luas seluruh permukaan ψ_{CV} (A_{CV}), maka:

$$\Psi_C(t + \Delta t) - \Psi_A(t + \Delta t) = \int_{A_1} \Delta t (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA_1 + \int_{A_2} \Delta t (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA_2 \quad (2.15)$$

$$\Psi_C(t + \Delta t) - \Psi_A(t + \Delta t) = \Delta t \int_{A_{CV}} (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA_{CV} \quad (2.16)$$

Kemudian persamaan 2.16 disubstitusikan kedalam persamaan 2.12, maka akan didapatkan:

$$\frac{d\Psi_{sistem}}{dt} = \frac{d\Psi_{CV}}{dt} + \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta t \int_{A_{CV}} (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA_{CV}}{\Delta t} \quad (2.17)$$

$$\frac{d\Psi_{sistem}}{dt} = \frac{d\Psi_{CV}}{dt} + \int_{A_{CV}} (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA_{CV} \quad (2.18)$$

Sehingga transformasi bentuk derivatif dengan pendekatan sistem menjadi pendekatan *control volume* adalah:

$$\frac{d}{dt} \int_{\Psi_{sistem}} d\Psi = \frac{d}{dt} \int_{\Psi_{CV}} d\Psi + \int_{A_{CV}} (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA_{CV} \quad (2.19)$$

2.3. Persamaan Umum Aliran Fluida

Persamaan umum aliran terdiri dari hukum kekekalan massa, hukum kekekalan momentum, dan hukum kekekalan energi. Dalam skripsi ini, hanya akan digunakan dua hukum, yaitu massa dan momentum, sehingga pada bagian selanjutnya tidak akan dibahas mengenai hukum kekekalan energi.

2.3.1. Hukum Kekekalan Massa

Bentuk dari hukum kekekalan/ persamaan massa adalah sebagai berikut:

$$\frac{d}{dt} \int_{\Psi_{CV}} \rho d\Psi + \int_{A_{CV}} \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA = 0 \quad (2.20)$$

Persamaan tersebut merupakan turunan dari pendekatan *control volume*, yang mengandung pengertian bahwa perubahan massa di dalam ruang *control volume* menurut waktu ditambah dengan massa yang keluar masuk permukaan ruang *control volume* sama dengan nol. Sehingga tidak ada perubahan volume sistem menurut waktu. Persamaan massa selanjutnya dapat diturunkan untuk kondisi 1, 2, ataupun 3 dimensi tergantung asumsi tinjauan fluida yang akan digunakan.

Karena massa merupakan besaran skalar, maka meskipun diturunkan menjadi lebih dari satu dimensi, persamaan ini hanya akan bertransformasi menjadi satu persamaan.

Contoh dari penggunaan hukum kekekalan massa adalah pada perhitungan sungai. Bila air sungai dianggap *incompressible fluid*, lebar sungai konstan, dan kedalaman air sebagai h yang berubah sepanjang (x), maka hasil penurunan persamaan massa untuk situasi 1 dimensi *incompressible flow* adalah:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \frac{\partial v_x}{\partial x} + V_x \frac{\partial h}{\partial x} = 0 \quad (2.21)$$

Persamaan ini dikenal sebagai bagian dari persamaan *Saint Venant* untuk kekekalan massa, yang merupakan dasar dari perumusan model aliran *unsteady non-uniform* di saluran terbuka.

2.3.2. Hukum Kekekalan Momentum

Bentuk dari hukum kekekalan/ persamaan momentum adalah sebagai berikut:

$$\frac{d}{dt} \int_{V_{CV}} \rho \bar{V} dV + \int_{A_{CV}} \rho \bar{V} (\bar{V} \cdot \bar{n}) dA = \sum \bar{F} \quad (2.22)$$

Hukum kekekalan momentum mengandung pengertian bahwa perubahan momentum di dalam ruang *control volume* menurut waktu ditambah dengan momentum yang keluar masuk permukaan ruang *control volume* sama dengan jumlah gaya-gaya yang bekerja pada sistem.

Gaya \bar{F} (*force*) didefinisikan sebagai perubahan momentum (\bar{M}) menurut waktu, yang dinyatakan secara matematis sebagai:

$$\bar{F} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\bar{M}(t+\Delta t) - \bar{M}(t)}{\Delta t} \quad (2.23)$$

Maka terlihat bahwa, F merupakan besaran vektor karena \bar{F} adalah perkalian besaran vektor \bar{M} dengan besaran skalar t^{-1} .

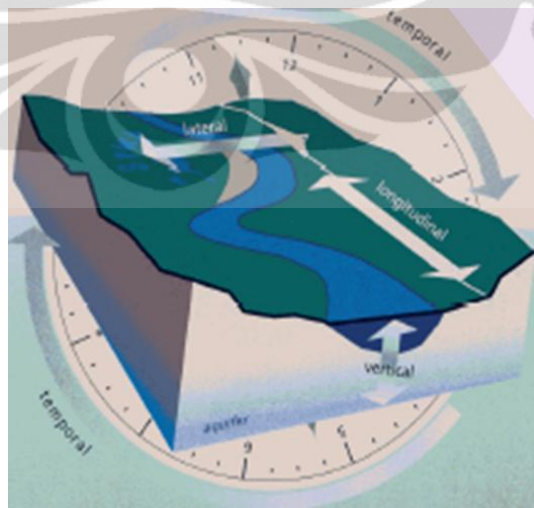
Gaya-gaya luar yang bekerja pada sistem, yaitu permukaan *control volume* tersebut, terdiri dari tegangan normal (*normal stress*, yang ditimbulkan oleh tegangan yang arahnya tegak lurus bidang) dan tegangan geser (*shear stress*, yang ditimbulkan oleh tegangan yang arahnya sejajar bidang).

Tidak seperti massa yang berupa besaran skalar, momentum yang merupakan besaran vektor, jika diturunkan persamaannya, baik untuk tinjauan 1, 2, atau 3 dimensi, maka akan terdapat tiga persamaan untuk ketiga arah, yaitu x , y , dan z . Namun, untuk satu dimensi pada akhirnya hanya akan digunakan satu persamaan, tergantung arah yang dipilih. Untuk tinjauan dua dimensi juga pada akhirnya akan digunakan dua persamaan, karena momentum arah lain tersebut dianggap sangat kecil dibandingkan dua momentum lainnya. Berikut adalah contoh persamaan momentum untuk kondisi tinjauan secara 1 dimensi:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} \int_{\Psi_{CV}} \rho V_x d\Psi \\ \frac{d}{dt} \int_{\Psi_{CV}} \rho V_y d\Psi \\ \frac{d}{dt} \int_{\Psi_{CV}} \rho V_z d\Psi \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \int_{A_{CV}} \rho V_x (\bar{V} \cdot \bar{n}) dA \\ \int_{A_{CV}} \rho V_y (\bar{V} \cdot \bar{n}) dA \\ \int_{A_{CV}} \rho V_z (\bar{V} \cdot \bar{n}) dA \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \bar{F}_x \\ \bar{F}_y \\ \bar{F}_z \end{array} \right\} = 0 \quad (2.24)$$

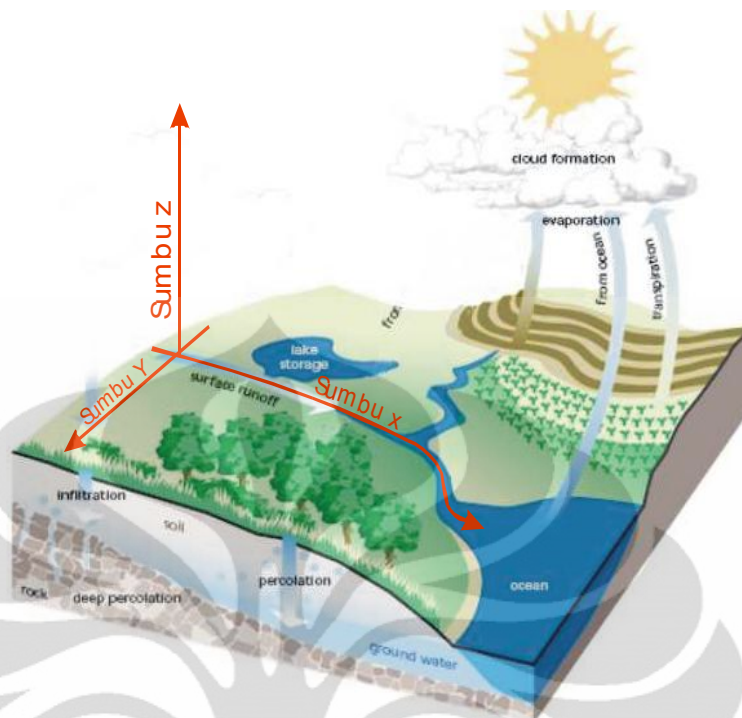
2.4. Morfologi dan Karakteristik Aliran Sungai

Aliran sungai pada alam bersifat *non-uniform*, *unsteady*, dan tiga dimensi. Oleh karena itu, sungai dapat ditinjau dari aspek spasial (ruang) dan temporal (waktu). Untuk aspek spasial, suatu sungai dapat dilihat secara lateral (melintang), longitudinal (memanjang), dan vertikal.



Gambar 2.4. Aspek Tinjauan Morfologi Sungai

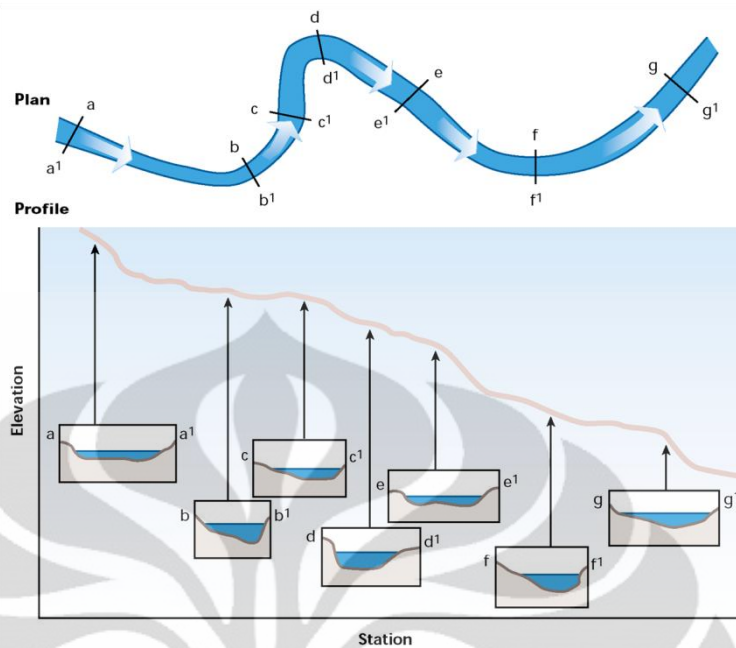
(Sumber: FISRWG, *Stream Corridor Restoration*, 2001)



Gambar 2.5. Sumbu Koordinat Sungai sebagai Aspek Tinjauan secara Spasial
(Sumber: FISRWG, *Stream Corridor Restoration*, 2001, telah diolah kembali)

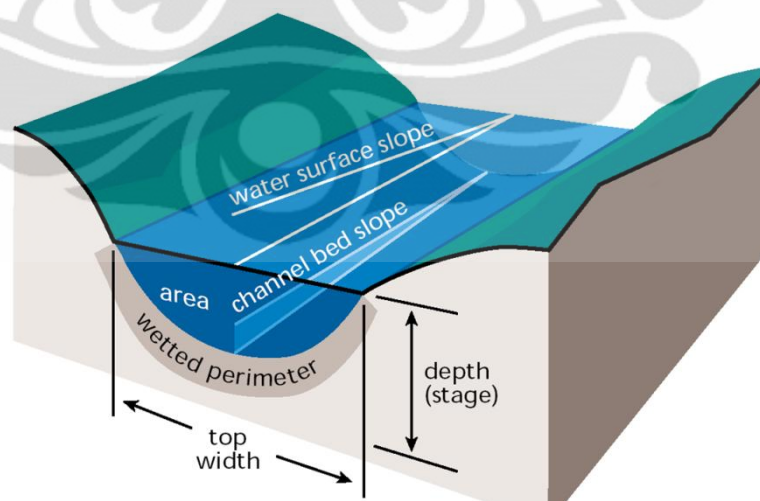
Suatu sungai juga dapat dilihat dalam keadaan *steady*, yaitu kondisi aliran (kecepatan dan kedalaman airnya) pada saat $t=0$. Satuan waktu yang digunakan dapat disesuaikan dengan satuan pada variabel yang digunakan dalam rumus untuk memodelkan aliran sungai tersebut.

Jika dilihat secara lateral, longitudinal, dan vertikal, morfologi sungai akan terlihat seperti pada gambar berikut, dimana gambar yang pertama merupakan tinjauan secara lateral, yang memiliki perbedaan elevasi adalah tinjauan longitudinal, dan potongan dari tinjauan longitudinal di berbagai ruas adalah tinjauan secara vertikal.



Gambar 2.6. Berbagai Arah Tinjauan Penampang Sungai
(Sumber: FISRWG, *Stream Corridor Restoration*, 2001)

Selanjutnya, karena ketiga tinjauan tersebut, maka suatu sungai memiliki karakteristik yang berupa parameter hidrolis. Parameter hidrolis merupakan karakteristik profil longitudinal dan potongan melintang yang spesifik dari suatu sungai, yaitu dapat berupa dimensi sungai, kemiringan dasar saluran, dan kemiringan muka air sungai. Berikut ini ditampilkan gambarannya.



Gambar 2.7. Parameter Hidrolis untuk Sungai *Uniform*
(Sumber: FISRWG, *Stream Corridor Restoration*, 2001)

Pada umumnya, dimensi sungai memiliki rumus-rumus berikut:

$$\text{Kedalaman sungai} = \frac{\text{Luas Penampang Melintang}}{\text{Lebar Permukaan Sungai}} \quad (2.25)$$

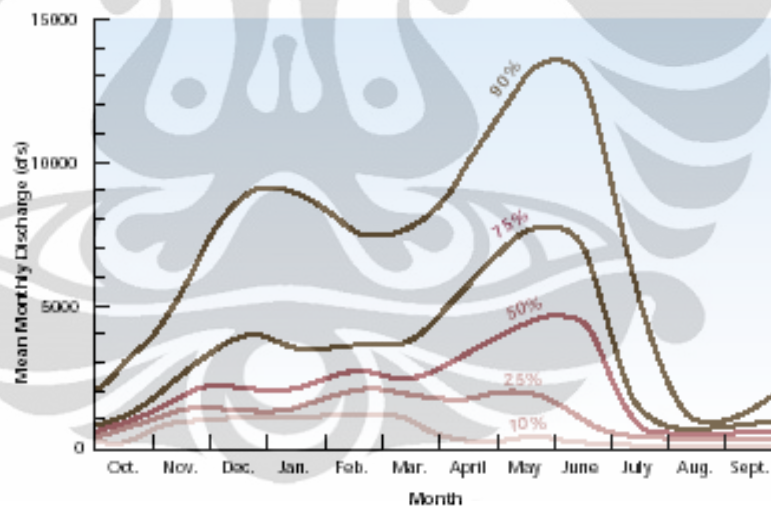
$$\text{Jari – Jari Hidrolis} = \frac{\text{Luas Penampang Melintang}}{\text{Keliling Basah Sungai}} \quad (2.26)$$

Kemudian, debit pada suatu potongan melintang dapat dihitung menggunakan bentuk simplifikasi dari persamaan kekekalan massa/kontinuitas, yaitu:

$$Q = AV \quad (2.27)$$

dimana Q merupakan debit dalam satuan volume per waktu, A merupakan luas penampang melintang, dan V merupakan kecepatan rata-rata aliran sungai.

Karena kondisi sungai di alam adalah *unsteady*, maka terdapat perubahan debit menurut waktu. Perubahan debit ini akan mengalami suatu puncak yang disebut sebagai debit puncak pada suatu waktu (*peak time*), kemudian menurun mencapai kondisi debit minimum, dan seterusnya mengalami pengulangan. Contoh persebaran debit menurut waktu di suatu sungai adalah seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.8. Sebaran Debit menurut Waktu

(Sumber: FISRWG, *Stream Corridor Restoration*, 2001)

Kemudian, pada dinding dan dasar sungai terdapat kekasaran akibat tumbuhan ataupun sedimen yang mempengaruhi besarnya kecepatan aliran, maka itu terdapat suatu parameter berupa koefisien kekasaran yang digunakan untuk menghitung kecepatan aliran rata-rata di suatu ruas sungai. Koefisien tersebut bermacam-macam, sesuai dengan teori yang digunakan. Salah satunya adalah koefisien kekasaran *Manning*. Adanya koefisien

kekasaran *Manning* menyebabkan rumus kecepatan aliran rata-rata dari suatu ruas sungai menjadi seperti berikut:

$$V = \frac{k}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (2.28)$$

dimana k merupakan suatu parameter yang bernilai 1 untuk penggunaan satuan *SI* atau 1,486 untuk satuan *English*, n merupakan koefisien kekasaran Manning (nilai-nilainya dapat dilihat pada tabel 2.2), R merupakan jari-jari hidrolis sungai, dan S adalah kemiringan muka air.

Kedalaman aliran pada sungai dan kemiringan sungai utamanya merupakan fungsi dari resistansi sungai terhadap aliran ataupun kekasaran. Kedalaman ini disebut sebagai kedalaman normal dan dihitung dengan persamaan *Manning* 2.28 sebelumnya.

Tabel 2.2. Koefisien Kekasaran *Manning* untuk Berbagai Kondisi Batas Sungai

Boundary	Manning Roughness, n Coefficient
Smooth concrete	0.012
Ordinary concrete lining	0.013
Vitrified clay	0.015
Shot concrete, untroweled, and earth channels in best condition	0.017
Straight unlined earth canals in good condition	0.020
Rivers and earth canals in fair condition- some growth	0.025
Winding natural streams and canals in poor condition- considerable moss growth	0.035
Mountain streams with rocky beds and rivers with variable sections and some vegetation along banks	0.040-0.050
Alluvial channels, sand bed, no vegetation	
1. Lower regime	
Ripples	0.017-0.028
Dunes	0.018-0.035
2. Washed-out dunes or transition	
3. Upper regime	
Plane bed	0.011-0.015
Standing waves	0.012-0.016
Antidunes	0.012-0.020

(Sumber: Ven Te Chow, *Open Channel Hydraulics*, 1964)

Suatu sungai atau saluran terbuka juga harus memenuhi persamaan energi. Total energi pada suatu lokasi dari saluran terbuka merupakan jumlah dari tinggi energi potensial, tinggi tekanan, dan tinggi kecepatan (energi kinetik). Bentuk simplifikasi persamaan energi disebut sebagai persamaan *Bernoulli*, yang dituliskan sebagai berikut.

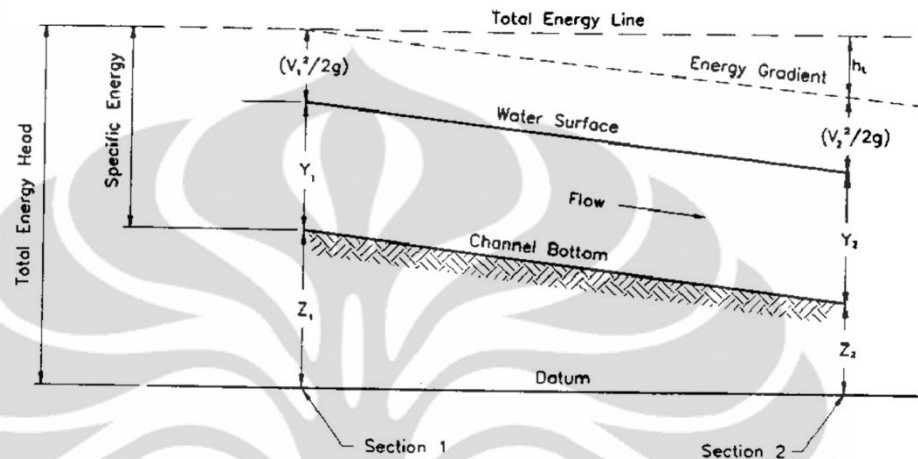
$$E = Z + Y + \frac{v^2}{2g} \quad (2.29)$$

Sehingga persamaan energi di titik hulu dan hilir menjadi:

Universitas Indonesia

$$Z_1 + Y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2.30)$$

dimana *subscript* 1 menunjukkan kondisi di titik hulu dan *subscript* 2 menunjukkan kondisi di titik hilir. Berikut ini adalah gambaran dari tinggi energi yang disebutkan dalam persamaan.

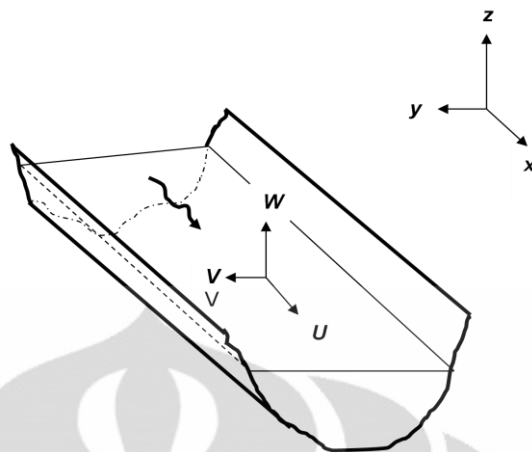


Gambar 2.9. Tinggi Energi Sungai yang Dilihat Secara Longitudinal

(Sumber: Ven Te Chow, *Open Channel Hydraulics*, 1959)

Pada persamaan energi, terlihat bahwa sungai memiliki dua macam kemiringan, yaitu kemiringan dasar sungai dan kemiringan muka air. Perbedaan kemiringan tersebut terlihat jika selisih Y di hulu dan di hilir berbeda nilainya dengan selisih Z di hulu dan di hilir. Untuk memudahkan pemodelan, seringkali sungai dianggap sebagai *depth averaged*, yaitu sungai yang memiliki kemiringan muka air yang sama dengan kemiringan dasar salurannya.

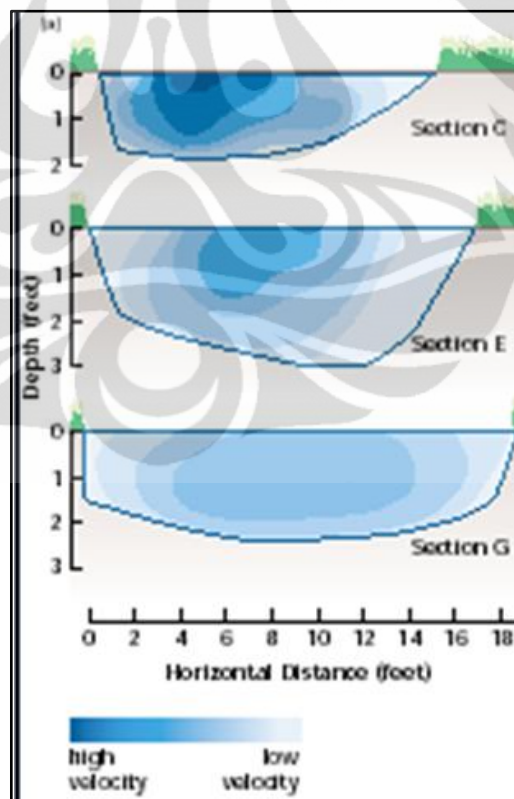
Suatu sungai yang ditinjau secara lebih dari 1 dimensi akan memiliki komponen vektor dalam alirannya. Seperti contohnya untuk tinjauan secara 3 dimensi, terdapat 3 sumbu sungai, yaitu x , y , dan z . Maka kecepatan aliran pada sungai tersebut dapat ditinjau berdasarkan sumbunya. Untuk kecepatan arah x dilambangkan dengan u , kecepatan arah y dilambangkan dengan v , dan kecepatan arah z dilambangkan dengan w . Berikut adalah gambarannya.



Gambar 2.10. Sumbu Koordinat Kecepatan Sungai

(Sumber: Presentasi Kuliah Teknik Sungai Hidrolika Sungai-2 Rec, 2010)

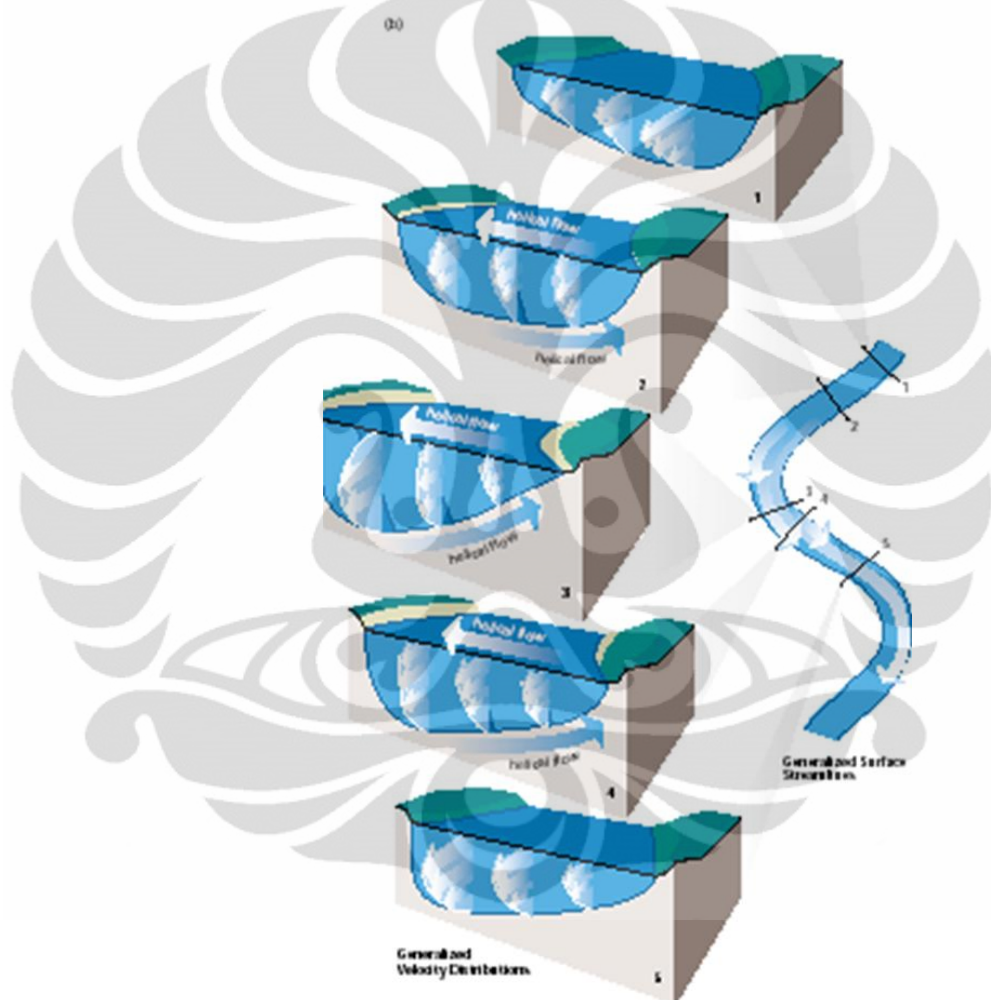
Pada suatu ruas sungai, terdapat perbedaan besar sebaran kecepatan. Kecepatan aliran terbesar terletak pada bagian tengah sungai dan pada 1/3 kedalaman sungai yang dihitung dari atas. Persebaran kecepatan ini diilustrasikan dengan garis kontur, yang terlihat pada gambar berikut.



Gambar 2.11. Persebaran Kecepatan di Potongan Melintang Sungai

Untuk sungai yang berkelok, kecepatan ini juga beragam persebarannya. Kecepatan pada lengkung bagian dalam di sungai akan lebih kecil daripada

kecepatan pada lengkung bagian luar sungai. Oleh karena itu, terjadi sedimentasi pada kelokan sungai akibat kecepatan alirannya tidak sanggup lagi untuk membawa butir-butir sedimen yang pada awalnya dapat terbawa aliran. Maka itu, seiring berjalannya waktu, morfologi sungai akan terus mengalami meanderisasi, sebagai akibat dari erosi dan sedimentasi tersebut. Untuk lebih jelasnya, berikut disajikan gambar mengenai persebaran aliran di kelokan sungai yang ditinjau dari potongan melintang tiap ruas sungai.

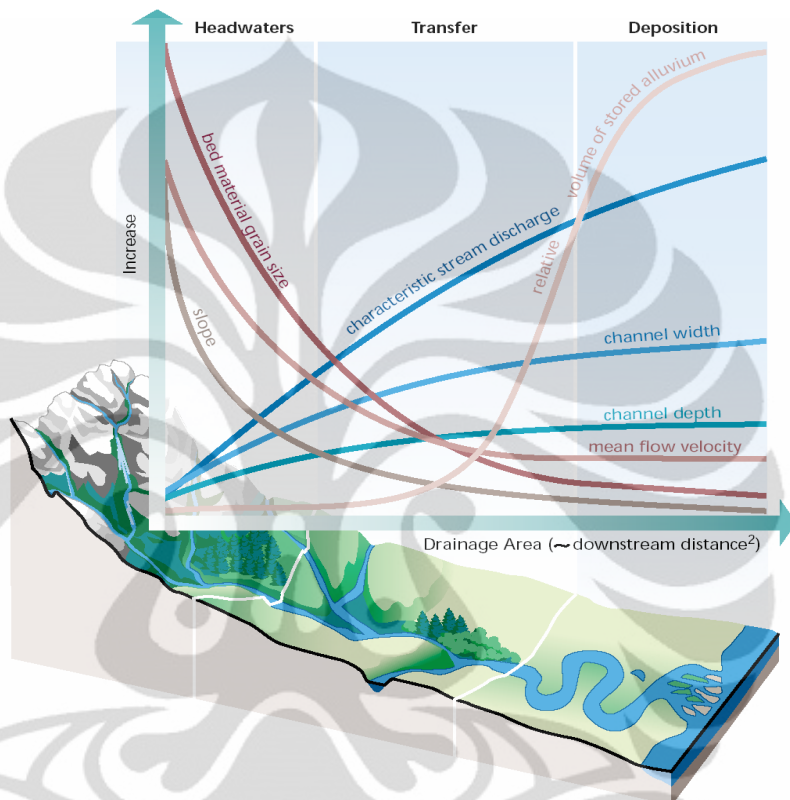


Gambar 2.12. Variasi Aliran di Kelokan Sungai

(Sumber: FISRWG, *Stream Corridor Restoration*, 2001)

Karakteristik sungai dari zona hulu (*headwaters*), zona tengah (*transfer*) hingga ke hilir (*deposition*) memiliki suatu pola. Pola ini dapat digambarkan dalam bentuk grafik. Dimensi sungai baik kedalaman maupun lebar sungai akan membesar menuju hilir. Sehingga debitnya secara relatif akan membesar dan volume tampungan sedimennya juga membesar semakin ke

hilir. Akibat adanya *slope/* kemiringan sungai secara longitudinal/ memanjang yang makin landai menuju hilir, maka kecepatan alirannya akan berkurang. Sehingga pengurangan kecepatan ini akan mengurangi kemampuan aliran untuk membawa butir sedimen yang lebih besar. Maka ukuran sedimen yang dapat terbawa hingga ke hilir akan semakin kecil.



Gambar 2.13. Karakteristik Sungai dari Hulu ke Hilir
(Sumber: FISRWG, *Stream Corridor Restoration*, 2001)

2.5. Konsep Matematika yang Terkait

2.5.1. Interpretasi Fisik Differensial

Bila suatu variabel y merupakan fungsi dari variabel x sehingga $y=f(x)$, maka bentuk differensial/ turunannya secara matematis didefinisikan sebagai:

$$\frac{dy}{dx} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{y(x+\Delta x) - y(x)}{\Delta x} \quad (2.31)$$

Bila $\Delta y \equiv y(x + \Delta x) - y(x)$ yang dipandang sebagai sisi tegak dan Δx sebagai sisi mendatarnya, maka bentuk $\Delta y / \Delta x$ merupakan tangen sudut. Sehingga, interpretasi geometris dari $\frac{dy}{dx}$ adalah besarnya

harga diferensial di suatu titik yang merepresentasikan besarnya kemiringan kurva di titik tersebut.

Selanjutnya, dikenal adanya turunan parsial. Jika suatu fungsi y terdiri dari lebih dari satu variabel, seperti x dan t , maka bentuk turunan yang digunakan adalah turunan parsial, yang sebagai contohnya dinotasikan dengan $\frac{\partial y}{\partial x}$. Pengertiannya yaitu turunan fungsi y terhadap x , atau kemiringan bidang $y(x,t)$ terhadap sumbu x , dan sama halnya untuk $\frac{\partial y}{\partial t}$, yaitu kemiringan bidang $y(x,t)$ terhadap sumbu t .

Diferensial memiliki berbagai tingkat, yaitu turunan pertama, kedua, hingga turunan ke- n . Persamaan 2.31 sebelumnya menunjukkan definisi untuk turunan pertama. Definisi matematis untuk turunan kedua dan seterusnya dapat menggunakan Hukum *Taylor (Taylor Series)*. Persamaan umumnya adalah sebagai berikut:

$$y(x + \Delta x) = \frac{1}{0!} \Delta x^0 \frac{d^0 y}{dx^0} + \frac{1}{1!} \Delta x^1 \frac{d^1 y}{dx^1} + \frac{1}{2!} \Delta x^2 \frac{d^2 y}{dx^2} + \varepsilon \quad (2.32)$$

Agar dapat mencari definisi turunan kedua dan seterusnya, dibutuhkan manipulasi *Taylor Series* tersebut secara aljabar. Sebagai contohnya, untuk mencari definisi dari turunan kedua dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut.

$$y(x + \Delta x) = y(x) + \Delta x \frac{dy}{dx} + \frac{1}{2} \Delta x^2 \frac{d^2 y}{dx^2} + \varepsilon \quad (2.33)$$

$$y(x - \Delta x) = y(x) - \Delta x \frac{dy}{dx} + \frac{1}{2} \Delta x^2 \frac{d^2 y}{dx^2} + \varepsilon \quad (2.34)$$

Kemudian persamaan 2.33 dan 2.34 dijumlahkan sehingga diperoleh:

$$y(x + \Delta x) + y(x - \Delta x) = 2y(x) + \Delta x^2 \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (2.35)$$

Sehingga definisi dari turunan kedua adalah:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y(x+\Delta x) - 2y(x) + y(x-\Delta x)}{\Delta x^2} \quad (2.36)$$

2.5.2. Operasi Matriks

Matriks merupakan sekumpulan bilangan yang disusun menurut baris dan kolom. Banyaknya baris (m) dan kolom (n) menentukan ukuran dari suatu matriks, yang disebut sebagai ordo. Berikut ini adalah bentuk umum suatu matriks:

Universitas Indonesia

$$A_{m \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

Dua atau lebih matriks dapat dijumlahkan jika matriks-matriks tersebut berordo sama, yang dijumlahkan adalah elemen-elemen yang seletak (nomor baris dan kolomnya sama). Hukum yang berlaku bagi penjumlahan matriks diantaranya komutatif, asosiatif, penjumlahan dengan matriks 0 sama dengan matriks itu sendiri, serta *transpose* (penukaran baris dan kolom elemen matriks) dari suatu penjumlahan matriks sama dengan penjumlahan *transpose* matriks-matriks tersebut.

Selanjutnya, suatu matriks dapat dikalikan, baik dengan bilangan skalar maupun dengan matriks lainnya. Perkalian matriks dengan bilangan skalar menghasilkan matriks baru yang semua elemennya merupakan hasil pengalihan bilangan skalar dengan tiap elemen matriks yang lama. Sedangkan perkalian antar matriks dapat dilakukan bila jumlah kolom matriks pertama sama dengan jumlah baris matriks kedua. Elemen matriks yang baru merupakan hasil penjumlahan dari hasil kali tiap baris matriks pertama dengan tiap kolom matriks kedua.

Selanjutnya, sebuah matriks persegi (matriks yang memiliki jumlah baris dan kolom yang sama) pasti memiliki determinan. Determinan merupakan hasil perkalian elementer dengan konstanta +1 atau -1. Contoh mencari determinan dari suatu matriks berordo 2 x 2 berikut:

$$A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \quad (2.38)$$

adalah

$$|A| = \det(A) = ad - bc \quad (2.39)$$

Selain itu dikenal adanya sub/ minor dari suatu matriks. Submatriks dari matriks A dilambangkan dengan M_{ij} , yaitu bagian dari matriks A yang telah dihilangkan elemen-elemennya pada baris ke-i dan kolom ke-j.

Untuk mencari determinan dari matriks berordo lebih tinggi, dapat digunakan metode kofaktor. Kofaktor dari suatu elemen matriks A adalah:

$$K_{ij} = (-1)^{i+j} |M_{ij}| \quad (2.40)$$

Selanjutnya determinan dapat dihitung dengan menjumlahkan perkalian antara elemen dari satu baris yang dipilih dengan kofaktor dari baris tersebut. Contohnya, untuk matriks berordo 3 x 3, determinannya adalah penjumlahan dari elemen di baris 1 kolom 1 dikalikan dengan kofaktor baris 1 kolom 1, elemen di baris 1 kolom 2 dikalikan dengan kofaktor baris 1 kolom 2, serta elemen di baris 1 kolom 3 dikalikan dengan kofaktor baris 1 kolom 3.

Operasi matriks yang juga sangat penting adalah *invers*. Operasi ini hanya bisa dilakukan pada matriks persegi. Persamaannya adalah:

$$A^{-1} = \frac{1}{|M_{ij}|} Adj(A) \quad (2.41)$$

dimana $Adj(A)$ adalah notasi dari adjoin matriks A, yang merupakan *transpose* dari kofaktor matriks A.

2.6. Metode Numerik

Metode numerik digunakan untuk menyelesaikan persamaan kalkulus agar menghindari aturan-aturan dalam kalkulus sehingga dapat tereduksi menjadi persamaan aritmatik biasa dan pada akhirnya dapat diselesaikan dengan memakai kalkulator/ komputer sederhana. Metode numerik sangat beragam, seperti metode *finite difference*, *finite element*, dan *finite volume* untuk variabel jarak, serta metode *Euler*, *Heun*, dan *Runge Kutta* untuk variabel waktu.

Dalam skripsi ini, digunakan metode *finite difference* untuk ruang, dan *runge kutta* untuk waktu. Di bawah ini adalah penjabaran masing-masing metode tersebut.

2.6.1. Metode *Finite Difference* (Beda Hingga)

Pada masa sebelum adanya komputer, penggunaan *finite difference* (beda hingga) merupakan hal yang sangat penting, khususnya yang berhubungan dengan penggunaan tabel fungsi.

Universitas Indonesia

Tingkat kepentingannya makin lama berkurang. Namun *engineer* harus tetap mempelajari dasar pengetahuan *finite difference*, yang akan mempertahankan signifikansi perhitungan manual, seperti dalam metode penyelesaian untuk persamaan differensial.

Ada tiga notasi/ metode differensial pada beda hingga. Notasi pertama adalah untuk *central difference*:

$$\begin{array}{cccc}
 x_{-2} & f_{-2} & & \\
 & & \delta f_{-3/2} & \\
 x_{-1} & f_{-1} & \delta^2 f_{-1} & \\
 & & \delta f_{-1/2} & \delta^3 f_{-1/2} \\
 x_0 & f_0 & \delta^2 f_0 & \\
 & & \delta f_{1/2} & \delta^3 f_{1/2} \\
 x_1 & f_1 & \delta^2 f_1 & \\
 & & \delta f_{3/2} & \\
 x_2 & f_2 & &
 \end{array}$$

Maka secara umum:

$$\delta f_{m+1/2} = f_{m+1} - f_m \quad (2.42)$$

Notasi kedua adalah *forward difference*:

$$\begin{array}{cccc}
 x_{-2} & f_{-2} & & \\
 & & \Delta f_{-2} & \\
 x_{-1} & f_{-1} & \Delta^2 f_{-1} & \\
 & & \Delta f_{-1} & \Delta^3 f_{-2} \\
 x_0 & f_0 & \Delta^2 f_0 & \\
 & & \Delta f_0 & \Delta^3 f_{-1} \\
 x_1 & f_1 & \Delta^2 f_1 & \\
 & & \Delta f_1 & \\
 x_2 & f_2 & &
 \end{array}$$

Maka secara umum:

$$\Delta f_m = f_{m+1} - f_m \quad (2.43)$$

Notasi ketiga adalah *backward difference*:

$$x_{-2} \quad f_{-2}$$

$$\begin{array}{rcccc}
 & & & \nabla f_{-1} & \\
 x_{-1} & f_{-1} & & \nabla^2 f_0 & \\
 & & & \nabla f_0 & \nabla^3 f_1 \\
 x_0 & f_0 & & \nabla^2 f_1 & \\
 & & & \nabla f_1 & \nabla^3 f_2 \\
 x_1 & f_1 & & \nabla^2 f_2 & \\
 & & & \nabla f_2 & \\
 x_2 & f_2 & & &
 \end{array}$$

Maka secara umum:

$$\nabla f_m = f_m - f_{m-1} \quad (2.44)$$

2.6.2. Metode *Runge Kutta*

Bentuk umum dari metode ini adalah:

$$y^{t+\Delta t} = y^t + \Phi \Delta t \quad (2.45)$$

dimana Φ merupakan *increment function*, yang merupakan fungsi dari (y,t) . *Increment function* tersebut tergantung dari orde yang dipilih. Makin besar orde yang dipilih, maka hasilnya makin konvergen.

Namun, metode *Runge Kutta* orde 4 sudah dianggap cukup konvergen (stabil) dan memberikan hasil yang paling mendekati perhitungan analitis. Bentuk umumnya *Runge Kutta* orde 4 adalah:

$$y^{t+\Delta t} = y^t + \left[\frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \right] \Delta t \quad (2.46)$$

dimana

$$k_1 = f(t^t, y^t) \quad (2.47)$$

$$k_2 = f\left(t^t + \frac{1}{2} \Delta t, y^t + \frac{1}{2} \Delta t k_1\right) \quad (2.48)$$

$$k_3 = f\left(t^t + \frac{1}{2} \Delta t, y^t + \frac{1}{2} \Delta t k_2\right) \quad (2.49)$$

$$k_4 = f(t^t + \Delta t, y^t + \Delta t k_3) \quad (2.50)$$

$$f(t, y) = \frac{dy}{dt} \quad (2.51)$$

Besar dt yang digunakan dalam metode ini harus memenuhi kriteria *Courant* agar persamaan dari metode numerik untuk

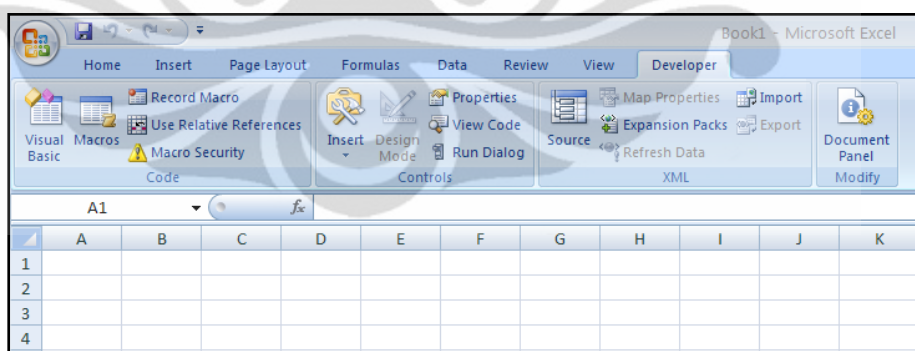
perubahan waktu dapat memberikan hasil yang stabil. Bentuk dari kondisi *Courant* adalah:

$$\Delta t < \frac{\Delta x}{v} \quad (2.52)$$

Kondisi tersebut mengandung pengertian bahwa *time step* atau rentang waktu penelusuran harus bernilai kecil, sehingga air tidak mengalir/ berpindah dengan kecepatan V sejauh Δx ketika dilakukan penelusuran waktu.

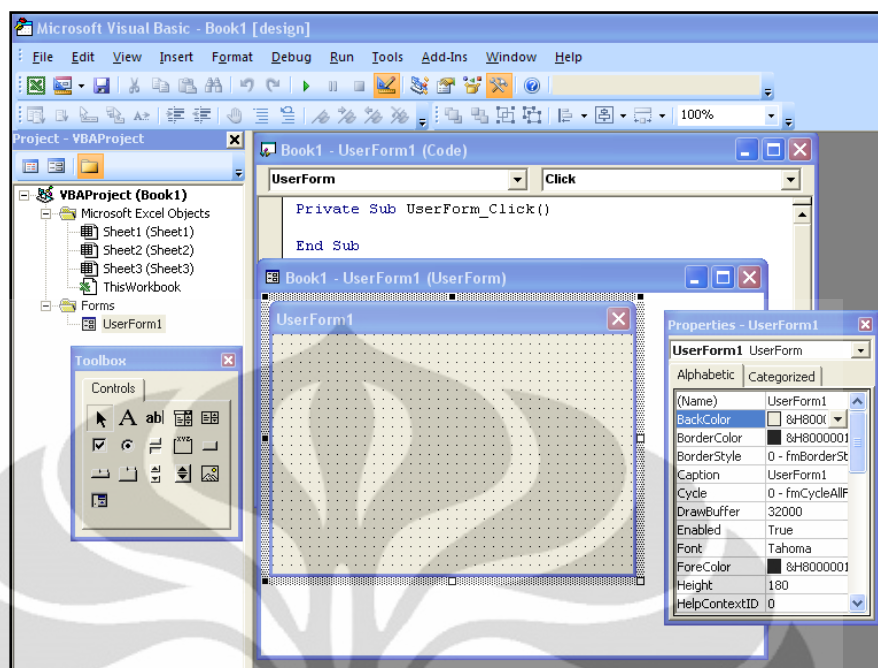
2.7. Pemrograman dengan *Visual Basic for Microsoft Excel*

Visual Basic for Microsoft Excel merupakan program *Visual Basic v.6* yang berupa *macro* (bahasa pemrograman) untuk perangkat lunak *Microsoft Excel*. Bahasa ini cukup populer dan mudah dipelajari. Program ini dipilih karena kemudahan penggunaan dan dukungan dari adanya *spreadsheet* dalam *Microsoft Excel*. Dalam keadaan *default*, *tab Developer* belum terdapat pada pilihan *menu Microsoft Excel*. Cara menampilkannya adalah dengan mengklik *Office Button* pada bagian paling kiri atas *Microsoft Excel*. Selanjutnya klik *Excel Options*. Pada *menu Popular*, *checkbox* kotak *Show Developer tab in the Ribbon*, lalu klik *OK*. Di bawah ini adalah gambar dari *Developer tab* yang memiliki akses menuju program *Visual Basic*.



Gambar 2.14. Icon *Visual Basic* dalam *Developer Tab*

Selanjutnya, dalam program *Visual Basic*, terdapat berbagai komponen, salah satunya adalah jendela *Form*. *Form* inilah yang menjadi tempat untuk memilih data masukan serta mengeksekusi hasil keluaran.



Gambar 2.15. Tampilan *Microsoft Visual Basic*

Agar variabel yang dimasukkan dalam *code form* dapat dikenali, sebelumnya variabel tersebut perlu dideklarasikan jenisnya, apakah *Integer*, *Double*, *Single*, *String*, atau jenis lainnya. Masing-masing jenis tersebut akan mempengaruhi cara perhitungan di dalam program serta tampilan keluaran dari variabel tersebut. Kemudian, untuk menjalankan program, sesuai algoritma yang telah disusun sebelumnya, diperlukan adanya *event* dan prosedur dalam *code form*. *Event* dapat berupa *Load*, *Click*, *Change*, dan lainnya. Sedangkan prosedur dapat berupa pernyataan atau pengulangan. Semuanya digunakan tergantung kebutuhan.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Untuk menerapkan model aliran sungai dua dimensi pada lingkungan bahasa *Visual Basic for Microsoft Excel*, beberapa tahap harus dilakukan sebelumnya seperti menurunkan persamaan matematis kemudian mencari solusinya dengan persamaan numerik. Seperti yang telah disampaikan, pada skripsi ini digunakan metode *forward difference* untuk perbedaan ruang dan metode *Runge Kutta* untuk perbedaan waktu.

3.1. Menentukan Definisi/ Lingkup Aliran Dua Dimensi

Saluran terbuka di alam memiliki geometri yang berkelok-kelok, dengan bentuk penampang yang bervariasi. Dalam perhitungan model aliran 1D, bentuk penampang yang bervariasi tersebut disederhanakan menjadi penampang rata-rata, aliran terjadi dianggap searah sumbu sungai sehingga aliran yang melimpas mengisi daerah di pinggir-pinggir sungai tidak ikut diperhitungkan.

Penelusuran banjir 1D secara hidraulik didasarkan pada persamaan *Saint Venant* yang diselesaikan secara simultan. Metode ini didasarkan pada asumsi berikut: alirannya berdimensi satu, sepanjang saluran, alirannya dianggap berubah lambat laun (*very gradual*) sehingga percepatan vertikalnya diabaikan, sumbu saluran dianggap garis lurus, kemiringan dasarnya dianggap kecil, dan dianggap tidak ada pengangkutan sedimen, koefisien kekasaran permukaan adalah untuk aliran turbulen, *steady*, dan *uniform*, fluida dianggap *incompressible* dan mempunyai kerapatan konstan sepanjang saluran.

Model aliran dua dimensi dalam analisis aliran memodelkan arah aliran dalam komponen arah memanjang dan melintang (sumbu x dan sumbu y). Model ini digunakan untuk menganalisis saluran yang pengaruh hambatan akibat gesekan dinding dan pengaruh bentuk geometrinya (seperti kondisi di alam) cukup dominan. Analisis ini menghasilkan sistem persamaan nonlinear dengan banyak variabel yang relatif rumit.

Model aliran 2D dalam skripsi ini mencoba mensimulasikan kondisi sungai yang sebenarnya, namun masih terdapat keterbatasan. Model ini belum bisa mensimulasikan aliran sungai secara sempurna. Batasannya yaitu seperti apa yang dituliskan pada ruang lingkup pembahasan.

3.2. Menurunkan Persamaan Matematis Aliran Sungai secara Dua Dimensi

Model matematika aliran 2D diformulasikan dengan mengasumsikan aliran dalam sumbu x dan y , kemudian dilakukan penurunan rumus dari hukum dasar fluida, yaitu hukum kekekalan massa dan hukum kekekalan momentum. Pada penelitian ini, akan dihitung kecepatan aliran sungai pada arah x , kecepatan aliran sungai pada arah y , dan kedalaman air, sehingga dibutuhkan tiga persamaan untuk mencari ketiga variabel yang tidak diketahui ini.

Karena momentum merupakan vektor, maka persamaan momentum dapat diturunkan menjadi momentum untuk arah x dan y . Maka, lengkaplah persamaan yang dibutuhkan untuk melakukan pemodelan, yaitu kekekalan massa, momentum arah x , dan arah y . Dalam proses penurunan rumus momentum, dibutuhkan beberapa asumsi untuk gaya-gaya yang bekerja pada elemen yang ditinjau. Hal ini akan dijabarkan lebih lanjut pada bab pembahasan.

3.3. Mengembangkan Metode Numerik untuk Persamaan Aliran Dua Dimensi

Persamaan aliran dua dimensi yang dihasilkan sebelumnya mengandung variabel ruang dan waktu, dimana nilai komponennya akan berubah setelah mengalami perbedaan, baik akibat ruang maupun waktu. Komponen yang dimaksud adalah kecepatan aliran dan kedalaman air, sedangkan komponen lain seperti massa jenis, viskositas, kemiringan dasar, dan gravitasi diasumsikan tetap sepanjang sungai, serta untuk dimensi penampang sungai, bentuk dan ukurannya disesuaikan saat membuat *grid* sungai dan dimensi ini tidak berubah menurut waktu.

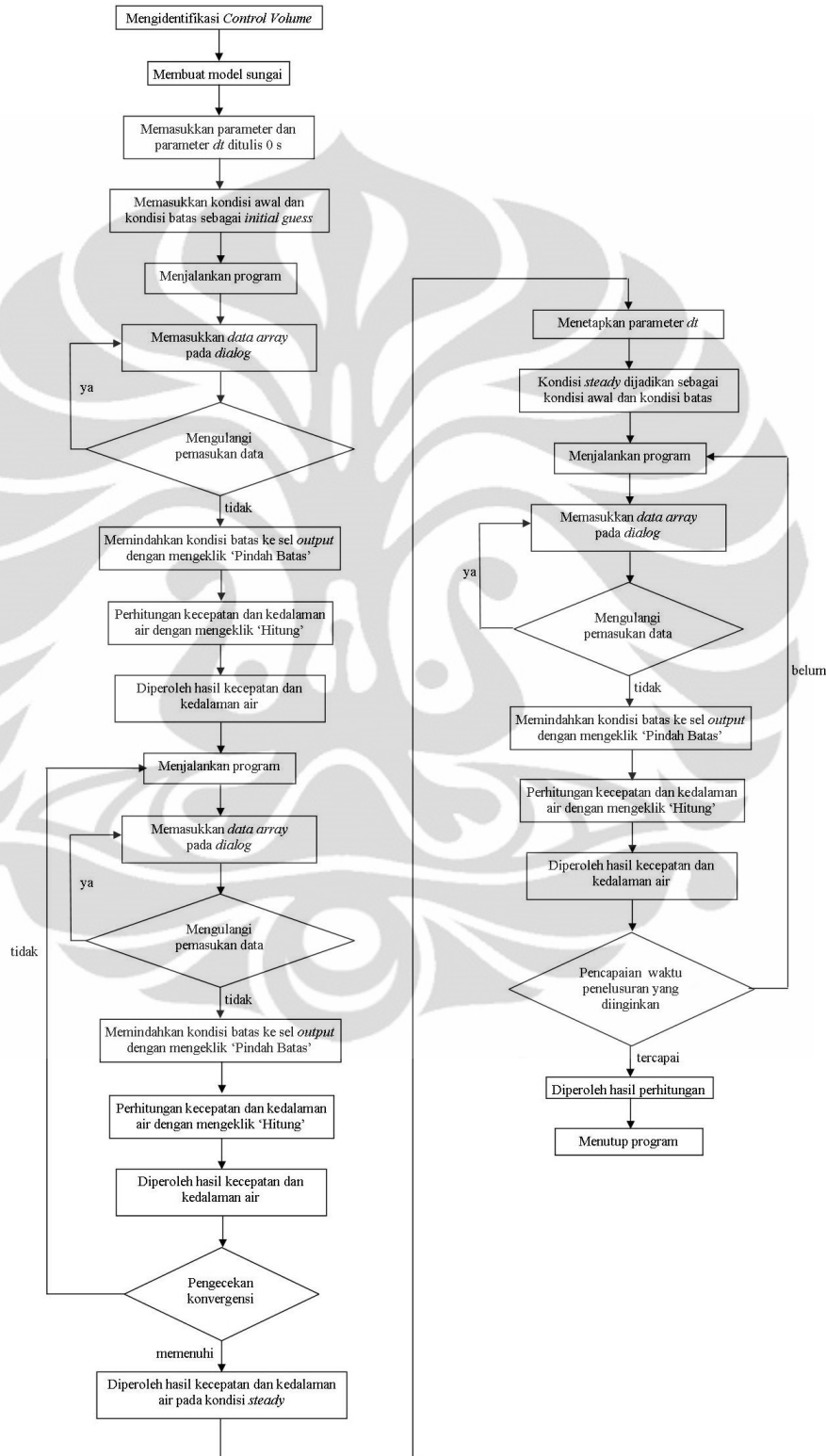
Selanjutnya, komponen-komponen yang dapat berubah menurut ruang dan waktu akan dimodelkan dengan dua macam metode numerik, yaitu beda hingga untuk perbedaan jarak dan *runge kutta* untuk perbedaan waktu. Metode beda hingga yang digunakan adalah *forward difference* karena kemudahan penggunaannya dan persamaan yang dihasilkan akan bersifat eksplisit terhadap variabel yang akan dicari, sehingga nilai komponen pada ruang (x) selanjutnya di waktu yang sama dapat diketahui jika nilai komponen pada jarak x sebelumnya diketahui. Metode *forward difference* ini menggunakan rumus *Taylor Series*, yaitu rumus numerik dari bentuk turunan pertama dan kedua suatu persamaan. Lebih lanjut hal ini akan disampaikan pada bab pembahasan. Pada metode beda hingga, persamaan yang digunakan adalah dalam kondisi *steady* (tidak ada perubahan terhadap waktu).

Langkah berikutnya adalah memodelkan kecepatan aliran dan kedalaman air menurut perubahan waktu (*unsteady*) dengan menggunakan metode *Runge Kutta*. Metode ini dipilih karena merupakan metode yang paling konvergen walaupun hanya menggunakan 4 orde. Metode *Runge Kutta* dapat digunakan setelah nilai-nilai komponen yang dicari sudah diketahui pada kondisi *steady*, sehingga dengan metode ini didapatkan nilai komponen-komponen tersebut pada jarak yang sama untuk perubahan waktu yang ditentukan.

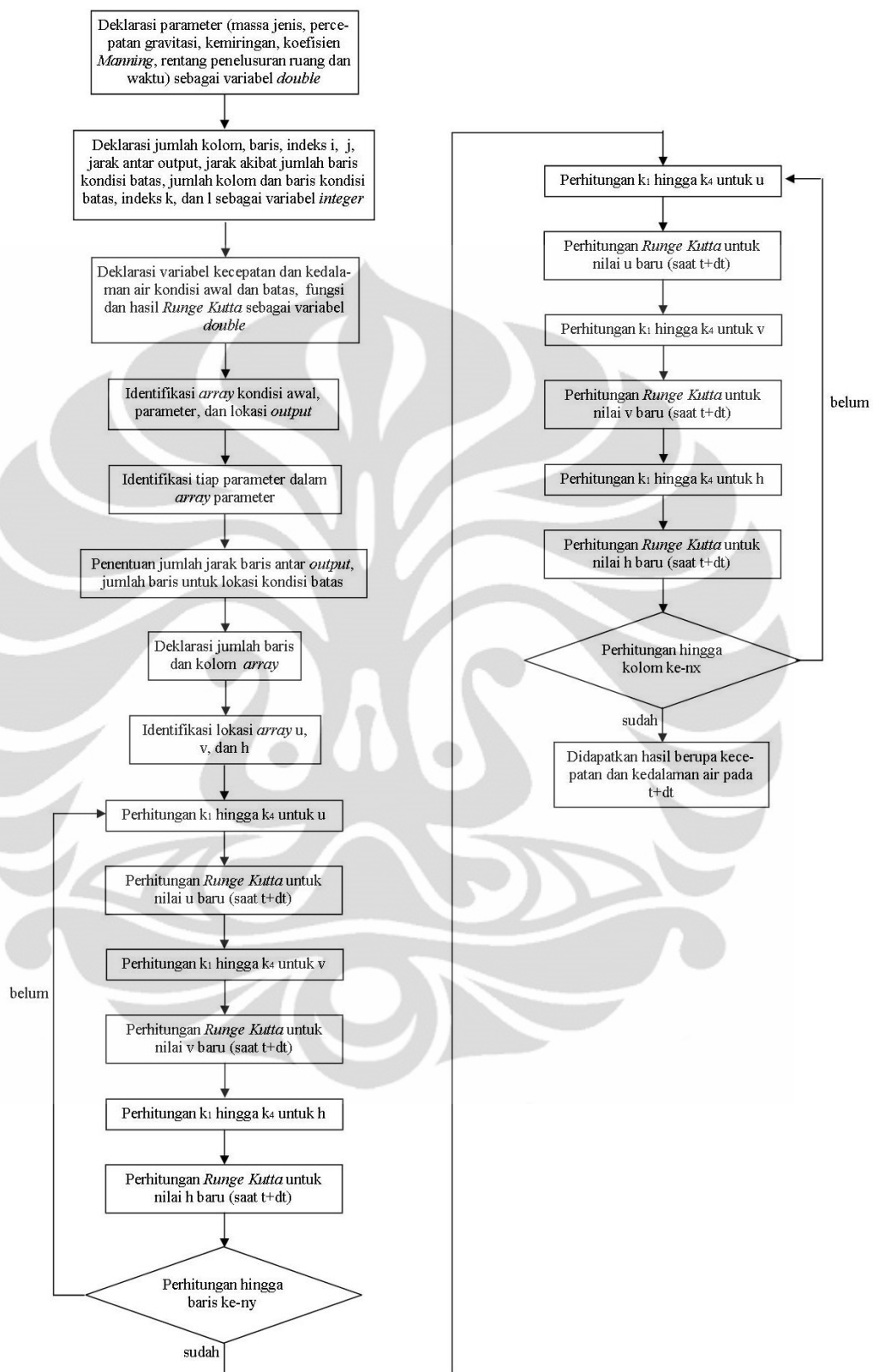
3.4. Menerapkan Model pada Lingkungan Bahasa *Visual Basic for Microsoft Excel*

Pemanfaatan komputer dengan pembuatan program dalam penyelesaian persamaan tersebut menawarkan otomatisasi dan hasil yang presisi dalam waktu yang relatif singkat. Seperti yang telah disampaikan pada bab teori dasar, perangkat lunak dalam skripsi ini dibuat menggunakan Bahasa *Visual Basic ver 6.0* yang merupakan *macro* dari program aplikasi *Microsoft Excel*. Alasan digunakannya bahasa tersebut adalah karena kemudahannya untuk dipelajari dan pemanfaatannya terhadap *spreadsheet* dari Program *Microsoft Excel* yang *public domain*. Fasilitas *debugging* yang didukung oleh *help-filenya* cukup memadai. Namun bahasa ini memiliki *run-time* yang relatif lebih lambat.

Algoritma penggunaan program dan algoritma dari perhitungan program itu sendiri digambarkan pada bagan-bagan di halaman berikut. Untuk algoritma program secara detail akan disampaikan pada bagian lampiran.



Gambar 3.1. Algoritma Penggunaan Program



Gambar 3.2. Algoritma Perhitungan

3.5. Melakukan Pengujian dan Analisa Hasil Perhitungan Program untuk Berbagai Kondisi Sungai

Langkah selanjutnya adalah melakukan uji keakuratan program yang telah dibuat dengan berbagai perubahan parameter masukan. Penyederhanaan yang dilakukan untuk memudahkan penyelesaian persamaan seperti penerapan beda hingga berpotensi menimbulkan bias, maka itu dilakukan pengujian kembali dengan melakukan variasi terhadap parameter masukannya agar dapat diketahui konvergensi dan konsistensinya. Kondisi awal acak dimasukkan untuk mengetahui konvergensi sehingga hasilnya menuju kondisi tertentu dan tidak berubah apabila penelusuran dilanjutkan. Selanjutnya, perubahan parameter yang dilakukan berupa perbedaan bentuk kelokan sungai, panjang dan lebar sungai, kemiringan sungai, viskositas, koefisien *Manning* sungai, serta perbedaan jarak dan waktu penelusuran.

BAB 4 PENGEMBANGAN MODEL ALIRAN SUNGAI DUA DIMENSI

4.1. Model Matematis Aliran Sungai Dua Dimensi

Pemodelan yang pertama dilakukan adalah pemodelan secara matematis untuk aliran sungai dua dimensi. Sungai yang dimodelkan ditinjau dari sisi lateral atau tampak atas. Pada model ini ditetapkan bahwa kecepatan aliran dan kedalaman air yang dihitung menggunakan pendekatan kedalaman rata-rata atau *depth averaged*. Sungai diasumsikan memiliki satu lapisan (*layer*) dengan kedalaman rata-rata yang ditentukan.

Hukum dasar fluida yang digunakan dalam pengembangan model ini adalah hukum kekekalan massa dan hukum kekekalan momentum, dimana keduanya berbentuk persamaan differensial. Pendekatan yang dilakukan untuk melakukan penurunan menjadi persamaan differensial dua dimensi adalah dengan mengidentifikasi elemen yang sangat kecil (*infinitesimal element*) dalam ruang dan mengaplikasikan hukum dasar secara langsung pada elemen tersebut.

Hukum kekekalan massa yang disebut sebagai *differential continuity equation* menghubungkan massa jenis dan medan kecepatan. Hukum kekekalan momentum yang berupa *partial differential equation* atau dikenal sebagai persamaan *Navier-Stokes* menghubungkan antara medan kecepatan, tekanan, dan massa jenis. Karena batasan aliran sungai yang dimodelkan pada skripsi ini bersifat *isothermal* dan *incompressible*, maka cukup kedua hukum dasar tersebut saja yang digunakan (massa dan momentum), sehingga hukum dasar lainnya yaitu kekekalan energi tidak digunakan.

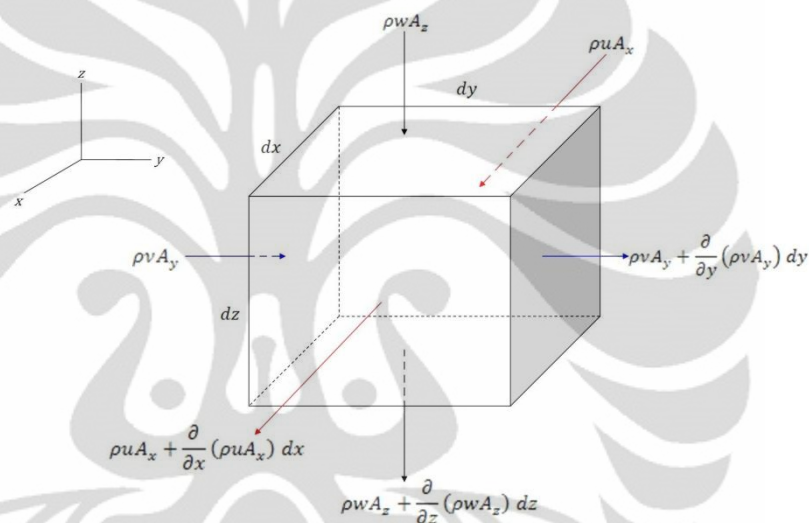
Persamaan turunan parsial (*partial differential equation*) mengharuskan terdapatnya suatu kondisi dimana nilai untuk variabel yang diamati telah ditetapkan sebelumnya berdasarkan variabel yang diatur. Jika variabel yang diatur adalah waktu, maka kondisi tersebut merupakan kondisi awal (*initial condition*). Untuk aliran *unsteady*, pada kondisi awal ($t=0$) ditetapkan komponen kecepatan dan kedalaman airnya. Jika variabel yang diatur adalah koordinat ruang, maka kondisi tersebut merupakan kondisi batas (*boundary*

condition). Kondisi batas yang dibutuhkan adalah nilai variabel yang akan diamati pada hulu dan hilir sungai.

Bentuk persamaan differensial beragam, sesuai dengan bentuk koordinat yang dipilih. Untuk penurunan persamaan dalam pemodelan ini, digunakan koordinat berbentuk kubus.

4.1.1. Persamaan Kekekalan Massa

Suatu elemen kontrol volume yang sangat kecil digambarkan dalam koordinat berbentuk kubus berikut ini:



Gambar 4.1. Kontrol Volume dengan Koordinat Berbentuk Kubus

berdasarkan hukum kekekalan massa:

$$\frac{d}{dt} \int_{V_{CV}} \rho dV + \int_{A_{CV}} \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}) dA = 0 \quad (4.1)$$

Maka persamaan tersebut dapat ditulis dalam bentuk sebagai berikut:

$$\frac{\partial(\rho V)}{\partial t} + \sum_{i,j} \rho (\vec{V} \cdot \vec{n}_{i,j}) A_{i,j} = 0 \quad (4.2)$$

Dengan menjabarkan suku pertama sesuai aturan rantai dan suku kedua sesuai dengan komponen *flux* massa pada gambar 4.1 (hanya digunakan komponen secara dua dimensi, yaitu sumbu x dan sumbu y), maka persamaan 4.2 diubah menjadi:

$$\rho \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial \rho}{\partial t} - \rho v A_x + \rho v A_x + \frac{\partial}{\partial x} (\rho v A_x) dx - \rho v A_y + \rho v A_y + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v A_y) dy = 0 \quad (4.3)$$

Persamaan 4.3 disederhanakan menjadi:

$$\rho \frac{\partial \Psi}{\partial t} + \Psi \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u A_x) dx + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v A_y) dy = 0 \quad (4.4)$$

Dengan mengalikan luas dan jarak, maka dihasilkan volume (Ψ).
Sehingga persamaan 4.4. diubah menjadi:

$$\rho \frac{\partial \Psi}{\partial t} + \Psi \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u \Psi)}{\partial x} + \frac{\partial (\rho v \Psi)}{\partial y} = 0 \quad (4.5)$$

$$\rho \frac{\partial \Psi}{\partial t} + \Psi \frac{\partial \rho}{\partial t} + \Psi \rho \frac{\partial u}{\partial x} + \rho u \frac{\partial \Psi}{\partial x} + \Psi u \frac{\partial \rho}{\partial x} + \Psi \rho \frac{\partial v}{\partial y} + \rho v \frac{\partial \Psi}{\partial y} + \Psi v \frac{\partial \rho}{\partial y} = 0 \quad (4.6)$$

Untuk kasus aliran *incompressible* maka massa jenis konstan terhadap ruang dan waktu. Sehingga persamaan 4.6 disederhanakan menjadi:

$$\rho \frac{\partial \Psi}{\partial t} + \Psi \rho \frac{\partial u}{\partial x} + \rho u \frac{\partial \Psi}{\partial x} + \Psi \rho \frac{\partial v}{\partial y} + \rho v \frac{\partial \Psi}{\partial y} = 0 \quad (4.7)$$

Kemudian tiap suku dapat dibagi dengan massa jenis, sehingga:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t} + \Psi \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial \Psi}{\partial x} + \Psi \frac{\partial v}{\partial y} + v \frac{\partial \Psi}{\partial y} = 0 \quad (4.8)$$

Untuk kasus aliran 2D, volume dapat diubah menjadi ($h dx dy$),
sehingga persamaan 4.8 diubah menjadi:

$$\frac{\partial h}{\partial t} dx dy + h \frac{\partial u}{\partial x} dx dy + u \frac{\partial h}{\partial x} dx dy + h \frac{\partial v}{\partial y} dx dy + v \frac{\partial h}{\partial y} dx dy = 0 \quad (4.9)$$

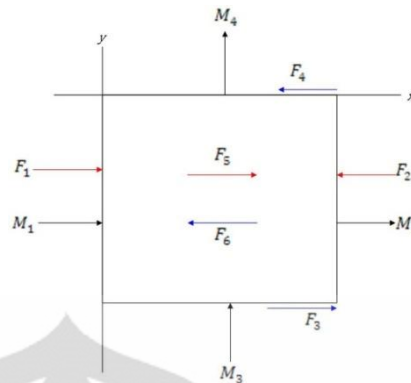
Dengan membagi persamaan dengan $dx dy$, maka:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial h}{\partial x} + h \frac{\partial v}{\partial y} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (4.10)$$

Persamaan 4.10 inilah yang merupakan turunan dari hukum kekekalan massa, yang akan digunakan selanjutnya.

4.1.2. Persamaan Kekekalan Momentum

Berbeda dengan persamaan atau hukum kekekalan massa yang merupakan persamaan skalar, persamaan kekekalan momentum merupakan persamaan yang berbentuk vektor. Untuk melihat gaya yang bekerja pada persamaan ini, digunakan komponen tegangan. Agar mempermudah penurunan rumus secara 2 dimensi, maka komponen momentum dan gaya yang bekerja pada suatu elemen dapat digambarkan pada sebuah kontrol volume berbentuk kotak seperti gambar berikut.



Gambar 4.2. Momentum dan Gaya yang Bekerja pada Arah Sumbu x
Dimana M_1 dan M_2 adalah *momentum flux*, M_3 dan M_4 adalah *cross momentum flux*, F_1 dan F_2 adalah komponen tegangan normal, F_3 dan F_4 adalah komponen tegangan geser, F_5 adalah gaya tekan akibat kemiringan dasar, serta F_6 adalah gaya gesek pada dasar. Sesuai dengan persamaan kekekalan momentum, yaitu:

$$\frac{d}{dt} \int_{V_{CV}} \rho \bar{V} dV + \int_{A_{CV}} \rho \bar{V} (\bar{V} \cdot \bar{n}) dA = \sum \bar{F} \quad (4.11)$$

Maka persamaan momentum untuk arah x adalah:

$$\frac{\partial M}{\partial t} - M_1 + M_2 - M_3 + M_4 = \sum F_x \quad (4.12)$$

Agar mempermudah penulisan, maka penurunan rumus dilakukan bertahap, yaitu untuk momentum terlebih dahulu, kemudian untuk gaya pada arah sumbu yang dipilih.

$$\frac{\partial(\rho u \psi)}{\partial t} - (\rho u^2 A_x) + \left(\rho u^2 A_x + \frac{\partial(\rho \frac{1}{2} u^2 A_x)}{\partial x} dx \right) - (\rho u v A_y) + \left(\rho u v A_y + \frac{\partial(\rho u v A_y)}{\partial y} dy \right) = \sum \bar{F}_x \quad (4.13)$$

$$\frac{\partial(\rho u \psi)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \frac{1}{2} u^2 A_x)}{\partial x} dx + \frac{\partial(\rho u v A_y)}{\partial y} dy = \sum F_x \quad (4.14)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} h dx dy + \frac{\partial(\rho \frac{1}{2} u^2)}{\partial x} h dx dy + \frac{\partial(\rho u)}{\partial y} v h dx dy = \sum F_x \quad (4.15)$$

$$\rho h \frac{\partial u}{\partial t} dx dy + u h \frac{\partial \rho}{\partial x} dx dy + \rho h u \frac{\partial u}{\partial x} dx dy + \frac{1}{2} h u^2 \frac{\partial \rho}{\partial x} dx dy + u v h \frac{\partial \rho}{\partial y} dx dy + \rho v h \frac{\partial u}{\partial y} dx dy = \sum F_x \quad (4.16)$$

Karena fluida *incompressible*, maka:

$$\rho h \frac{\partial u}{\partial t} dx dy + \rho h u \frac{\partial u}{\partial x} dx dy + \rho v h \frac{\partial u}{\partial y} dx dy = \sum F_x \quad (4.17)$$

Selanjutnya dilakukan penjabaran terhadap gaya-gaya yang bekerja.

$$\Sigma F_x = F_1 - F_2 + F_3 - F_4 + F_5 - F_6 \quad (4.18)$$

$$\Sigma F_x = \tau_{xx} A_x - \left(\tau_{xx} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} dx \right) A_x + \tau_{yx} A_x - \left(\tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} dx \right) A_x + \rho g_x V - \tau_{bx} dx dy \quad (4.19)$$

$$\Sigma F_x = -\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} V - \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} V + \rho g_x V - \tau_{bx} dx dy \quad (4.20)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 4.20 kedalam persamaan 4.18 diperoleh:

$$\rho h \frac{\partial u}{\partial t} dx dy + \rho h u \frac{\partial u}{\partial x} dx dy + \rho v h \frac{\partial u}{\partial y} dx dy = -\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} V - \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} V + \rho g_x V - \tau_{bx} dx dy \quad (4.21)$$

$$\rho h \frac{\partial u}{\partial t} + \rho h u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v h \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} h - \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} h + \rho g_x h - \tau_{bx} \quad (4.22)$$

Pada fluida yang *incompressible* dan viskositasnya konstan terhadap ruang dan waktu, maka rasio antara tegangan geser dengan gradien kecepatan akan sama dengan viskositas:

$$\tau = \mu \frac{\partial v}{\partial s} \quad (4.23)$$

$$\tau = \begin{bmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{zy} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -p + \mu \frac{\partial u}{\partial x} & \mu \frac{\partial v}{\partial x} & \mu \frac{\partial w}{\partial x} \\ \mu \frac{\partial u}{\partial y} & -p + \mu \frac{\partial v}{\partial y} & \mu \frac{\partial w}{\partial y} \\ \mu \frac{\partial u}{\partial z} & \mu \frac{\partial v}{\partial z} & -p + \mu \frac{\partial w}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (4.24)$$

Sehingga persamaan 4.22 dapat diubah menjadi:

$$\rho h \frac{\partial u}{\partial t} + \rho h u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v h \frac{\partial u}{\partial y} + \left(-\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) h + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} h - \rho g_x h + \tau_{bx} = 0 \quad (4.25)$$

Jika kemiringan dasar saluran adalah:

$$S_{0x} = \frac{\partial z}{\partial x} \quad (4.26)$$

dimana:

$$g_x = g \frac{\partial z}{\partial x} \quad (4.27)$$

dan *friction slope* adalah:

$$S_{fx} = -\frac{\tau_{bx}}{\rho g h} \quad (4.28)$$

Maka persamaan 4.25 berubah menjadi:

$$\rho h \frac{\partial u}{\partial t} + \rho hu \frac{\partial u}{\partial x} + \rho vh \frac{\partial u}{\partial y} + \left(-\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) h + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} h - \rho g S_{0x} h + \rho g S_{fx} h = 0 \quad (4.29)$$

Dengan menggunakan bentuk 2 dimensi dari persamaan *Manning* secara tipikal¹, yaitu:

$$S_{fx} = \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} \quad (4.30)$$

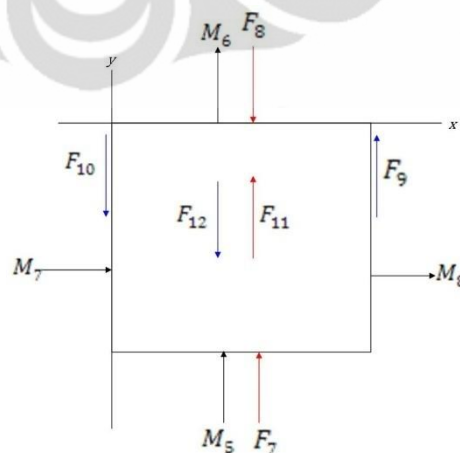
dimana n merupakan koefisien *Manning* untuk dasar saluran. Maka persamaan 4.29 menjadi:

$$\rho h \frac{\partial u}{\partial t} + \rho hu \frac{\partial u}{\partial x} + \rho vh \frac{\partial u}{\partial y} + \left(-\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) h + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} h - \rho g S_{0x} h + \rho g \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} = 0 \quad (4.31)$$

$$\rho h \frac{\partial u}{\partial t} + \rho hu \frac{\partial u}{\partial x} + \rho vh \frac{\partial u}{\partial y} - \rho gh \frac{\partial h}{\partial x} + \mu h \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \mu h \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \rho g S_{0x} h + \rho g \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} = 0 \quad (4.32)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - g \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - g S_{0x} + g \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} = 0 \quad (4.33)$$

Sehingga persamaan 4.33 inilah yang akan digunakan sebagai persamaan momentum arah x dalam pemodelan. Untuk menurunkan rumus momentum arah y, dilakukan juga langkah-langkah yang sama seperti diatas, dengan mengubah komponen momentum dan gaya yang bekerja dengan arah sumbu y.



Gambar 4.3. Momentum dan Gaya yang Bekerja pada Arah Sumbu y
Dimana M_5 dan M_6 adalah *momentum flux*, M_7 dan M_8 adalah *cross momentum flux*, F_7 dan F_8 adalah komponen tegangan normal, F_9 dan

F_{10} adalah komponen tegangan geser, F_{11} adalah gaya tekan akibat kemiringan dasar, serta F_{12} adalah gaya gesek pada dasar. Sesuai dengan persamaan kekekalan momentum, maka persamaan momentum untuk arah y adalah:

$$\frac{\partial M}{\partial t} - M_5 + M_6 - M_7 + M_8 = \sum F_y \quad (4.34)$$

Seperti yang dilakukan saat menurunkan rumus momentum arah x, penurunan rumus ini juga dilakukan bertahap, yaitu untuk momentum terlebih dahulu, kemudian untuk gaya pada arah sumbu y.

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho v \Psi)}{\partial t} - (\rho v^2 A_y) + \left(\rho v^2 A_y + \frac{\partial(\rho \frac{1}{2} v^2 A_y)}{\partial y} dy \right) - (\rho u v A_x) + \\ \left(\rho u v A_x + \frac{\partial(\rho u v A_x)}{\partial x} dx \right) = \sum F_y \end{aligned} \quad (4.35)$$

$$\frac{\partial(\rho v \Psi)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \frac{1}{2} v^2 A_y)}{\partial y} dy + \frac{\partial(\rho u v A_x)}{\partial x} dx = \sum F_y \quad (4.36)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} h dx dy + \frac{\partial(\rho \frac{1}{2} v^2)}{\partial y} h dx dy + \frac{\partial(\rho v)}{\partial x} u h dx dy = \sum F_y \quad (4.37)$$

$$\begin{aligned} \rho h \frac{\partial v}{\partial t} dx dy + v h \frac{\partial \rho}{\partial t} dx dy + \rho h v \frac{\partial v}{\partial y} dx dy + \frac{1}{2} h v^2 \frac{d\rho}{dy} dx dy + \\ u v h \frac{d\rho}{dx} dx dy + \rho u h \frac{\partial v}{\partial x} dx dy = \sum F_x \end{aligned} \quad (4.38)$$

Karena fluida *incompressible*, maka:

$$\rho h \frac{\partial v}{\partial t} dx dy + \rho h v \frac{\partial v}{\partial y} dx dy + \rho u h \frac{\partial v}{\partial x} dx dy = \sum F_x \quad (4.39)$$

Selanjutnya dilakukan penjabaran terhadap gaya-gaya yang bekerja.

$$\sum F_y = F_7 - F_8 + F_9 - F_{10} + F_{11} - F_{12} \quad (4.40)$$

$$\sum F_y =$$

$$\begin{aligned} \tau_{yy} A_y - \left(\tau_{yy} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} dy \right) A_y + \tau_{xy} A_x - \left(\tau_{xy} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} dx \right) A_x + \\ \rho g_y \Psi - \tau_{by} dx dy \end{aligned} \quad (4.41)$$

$$\sum F_y = -\frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} \Psi - \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} \Psi + \rho g_y \Psi - \tau_{by} dx dy \quad (4.42)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 4.42 kedalam persamaan 4.39 diperoleh:

$$\begin{aligned} \rho h \frac{\partial v}{\partial t} dx dy + \rho h v \frac{\partial v}{\partial y} dx dy + \rho u h \frac{\partial v}{\partial x} dx dy = -\frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} \Psi - \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} \Psi + \\ \rho g_y \Psi - \tau_{by} dx dy \end{aligned} \quad (4.43)$$

$$\rho h \frac{\partial v}{\partial t} + \rho h v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho u h \frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} h - \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} h + \rho g_y h - \tau_{by} \quad (4.44)$$

Pada fluida yang *incompressible* dan viskositasnya konstan terhadap ruang dan waktu, maka rasio antara tegangan geser dengan gradien kecepatan akan sama dengan viskositas.

Sehingga persamaan 4.43 dapat diubah menjadi:

$$\rho h \frac{\partial v}{\partial t} + \rho h v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho u h \frac{\partial v}{\partial x} + \left(-\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) h + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} h - \rho g_y h + \tau_{by} = 0 \quad (4.45)$$

Jika kemiringan dasar saluran adalah:

$$S_{0y} = \frac{\partial z}{\partial y} \quad (4.46)$$

dimana:

$$g_y = g \frac{\partial z}{\partial y} \quad (4.47)$$

dan *friction slope* adalah:

$$S_{fy} = -\frac{\tau_{by}}{\rho g h} \quad (4.48)$$

Maka persamaan 4.45 berubah menjadi:

$$\rho h \frac{\partial v}{\partial t} + \rho h v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho u h \frac{\partial v}{\partial x} + \left(-\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) h + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} h - \rho g S_{0y} h + \rho g S_{fy} h = 0 \quad (4.49)$$

Dengan menggunakan bentuk 2 dimensi dari persamaan *Manning* secara tipikal, yaitu:

$$S_{fy} = \frac{n^2 v \sqrt{v^2 + u^2}}{h^{4/3}} \quad (4.50)$$

Maka persamaan 4.49 menjadi:

$$\rho h \frac{\partial v}{\partial t} + \rho h v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho u h \frac{\partial v}{\partial x} + \left(-\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) h + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} h - \rho g S_{0y} h + \rho g \frac{n^2 v \sqrt{v^2 + u^2}}{h^{1/3}} = 0 \quad (4.51)$$

$$\rho h \frac{\partial v}{\partial t} + \rho h v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho u h \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial p}{\partial y} h + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} h + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} h - \rho g S_{0y} h + \rho g \frac{n^2 v \sqrt{v^2 + u^2}}{h^{1/3}} = 0 \quad (4.52)$$

$$\rho h \frac{\partial v}{\partial t} + \rho h v \frac{\partial v}{\partial y} + \rho u h \frac{\partial v}{\partial x} - \rho g h \frac{\partial h}{\partial y} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} h + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} h - \rho g S_{0y} h + \rho g \frac{n^2 v \sqrt{v^2 + u^2}}{h^{1/3}} = 0 \quad (4.53)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial y} + u \frac{\partial v}{\partial x} - g \frac{\partial h}{\partial y} + \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\mu}{\rho} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} - g S_{0y} + g \frac{n^2 v \sqrt{v^2 + u^2}}{h^{4/3}} = 0 \quad (4.54)$$

Sehingga persamaan 4.54 inilah yang akan digunakan sebagai persamaan momentum arah y dalam pemodelan.

4.2. Solusi Numerik Komponen Ruang dengan Metode Beda Hingga

Metode beda hingga yang digunakan adalah metode *forward difference*. Metode ini digunakan karena relatif lebih mudah dibandingkan dengan *backward* dan *central difference*. Walaupun metode ini memiliki konsekuensi sensitif terhadap *setting* data dibandingkan dengan menggunakan metode *central difference*, namun metode ini lebih eksplisit terhadap variabel yang akan dicari, sehingga lebih memudahkan dalam pembuatan matriks fungsi.

Persamaan kekekalan massa dan momentum yang telah diturunkan pada bagian sebelumnya dapat dituliskan dalam bentuk differensial sebagai berikut:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\Delta h}{\Delta x} + h \frac{\Delta u}{\Delta x} + v \frac{\Delta h}{\Delta y} + h \frac{\Delta v}{\Delta y} = 0 \quad (4.55)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\Delta u}{\Delta x} + v \frac{\Delta u}{\Delta y} - g \frac{\Delta h}{\Delta x} + \frac{\mu}{\rho} \frac{\Delta^2 u}{\Delta x^2} + \frac{\mu}{\rho} \frac{\Delta^2 u}{\Delta y^2} - g S_{0x} + g \frac{n^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} = 0 \quad (4.56)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\Delta v}{\Delta y} + u \frac{\Delta v}{\Delta x} - g \frac{\Delta h}{\Delta y} + \frac{\mu}{\rho} \frac{\Delta^2 v}{\Delta y^2} + \frac{\mu}{\rho} \frac{\Delta^2 v}{\Delta x^2} - g S_{0y} + g \frac{n^2 v \sqrt{v^2 + u^2}}{h^{4/3}} = 0 \quad (4.57)$$

Dengan menggunakan hukum *Taylor*, yang menjadi rumus untuk *forward difference*, maka persamaan differensial dapat diubah bentuk menjadi persamaan aljabar biasa.

$$\frac{dy}{dx} = \frac{y(x+\Delta x) - y(x)}{\Delta x} \quad (4.58)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{y(x+\Delta x) - 2y(x) + y(x-\Delta x)}{\Delta x^2} \quad (4.59)$$

Untuk memudahkan penulisan, maka digunakan *subscript* huruf *i* dan *j* untuk menandakan perubahan jaraknya. Indeks *superscript* *t* menandakan waktu saat kecepatan dan kedalaman air tersebut ditinjau. Sehingga persamaan 4.55, 4.56, dan 4.57 menjadi:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u_{i,j}^t \frac{h_{i,j+1}^t - h_{i,j}^t}{\Delta x} + h_{i,j}^t \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x} + v_{i,j}^t \frac{h_{i+1,j}^t - h_{i,j}^t}{\Delta y} + h_{i,j}^t \frac{v_{i+1,j}^t - v_{i,j}^t}{\Delta y} = 0 \quad (4.60)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u_{i,j}^t \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x} + v_{i,j}^t \frac{u_{i+1,j}^t - u_{i,j}^t}{\Delta y} - g \frac{h_{i,j+1}^t - h_{i,j}^t}{\Delta x} + \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i,j+1}^t - 2u_{i,j}^t + u_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} + \\ \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i+1,j}^t - 2u_{i,j}^t + u_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} - gS_{0x} + g \frac{n^2 u_{i,j}^t \sqrt{u_{i,j}^t{}^2 + v_{i,j}^t{}^2}}{h_{i,j}^t{}^{4/3}} = 0 \end{aligned} \quad (4.61)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + v_{i,j}^t \frac{v_{i+1,j}^t - v_{i,j}^t}{\Delta x} + u_{i,j}^t \frac{v_{i,j+1}^t - v_{i,j}^t}{\Delta y} - g \frac{h_{i+1,j}^t - h_{i,j}^t}{\Delta y} + \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i+1,j}^t - 2v_{i,j}^t + v_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} + \\ \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i,j+1}^t - 2v_{i,j}^t + v_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} - gS_{0y} + g \frac{n^2 v_{i,j}^t \sqrt{u_{i,j}^t{}^2 + v_{i,j}^t{}^2}}{h_{i,j}^t{}^{4/3}} = 0 \end{aligned} \quad (4.62)$$

Karena metode ini digunakan untuk mencari kecepatan dan kedalaman air dalam kondisi *steady*, maka tidak ada perubahan kecepatan dan kedalaman air menurut waktu. Sehingga ketiga persamaan diatas menjadi:

$$u_{i,j}^t \frac{h_{i,j+1}^t - h_{i,j}^t}{\Delta x} + h_{i,j}^t \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x} + v_{i,j}^t \frac{h_{i+1,j}^t - h_{i,j}^t}{\Delta y} + h_{i,j}^t \frac{v_{i+1,j}^t - v_{i,j}^t}{\Delta y} = 0 \quad (4.63)$$

$$\begin{aligned} u_{i,j}^t \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x} + v_{i,j}^t \frac{u_{i+1,j}^t - u_{i,j}^t}{\Delta y} - g \frac{h_{i,j+1}^t - h_{i,j}^t}{\Delta x} + \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i,j+1}^t - 2u_{i,j}^t + u_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} + \\ \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i+1,j}^t - 2u_{i,j}^t + u_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} - gS_{0x} + g \frac{n^2 u_{i,j}^t \sqrt{u_{i,j}^t{}^2 + v_{i,j}^t{}^2}}{h_{i,j}^t{}^{4/3}} = 0 \end{aligned} \quad (4.64)$$

$$\begin{aligned} v_{i,j}^t \frac{v_{i+1,j}^t - v_{i,j}^t}{\Delta x} + u_{i,j}^t \frac{v_{i,j+1}^t - v_{i,j}^t}{\Delta y} - g \frac{h_{i+1,j}^t - h_{i,j}^t}{\Delta y} + \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i+1,j}^t - 2v_{i,j}^t + v_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} + \\ \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i,j+1}^t - 2v_{i,j}^t + v_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} - gS_{0y} + g \frac{n^2 v_{i,j}^t \sqrt{u_{i,j}^t{}^2 + v_{i,j}^t{}^2}}{h_{i,j}^t{}^{4/3}} = 0 \end{aligned} \quad (4.65)$$

Dalam persamaan 4.64 dan 4.65, terdapat variabel $u_{i,j-1}^t$ dan $v_{i-1,j}^t$ yang merupakan besarnya kecepatan aliran arah X dan Y pada jarak $(x-\Delta x)$ dan $(y-\Delta y)$. Pada *boundary condition* di hulu dan di dinding sungai, jika tidak ada nilai sebelumnya, maka kedua variabel ini diasumsikan sama dengan $u_{i,j}^t$ dan $v_{i,j}^t$, yang merupakan kondisi batas itu sendiri, yaitu kecepatan aliran arah X dan Y pada jarak (x) . Sehingga untuk kondisi di hulu dan dinding, kedua persamaan tersebut berubah menjadi:

$$\begin{aligned} u_{i,j}^t \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x} + v_{i,j}^t \frac{u_{i+1,j}^t - u_{i,j}^t}{\Delta y} - g \frac{h_{i,j+1}^t - h_{i,j}^t}{\Delta x} + \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x^2} + \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i+1,j}^t - u_{i,j}^t}{\Delta y^2} - \\ gS_{0x} + g \frac{n^2 u_{i,j}^t \sqrt{u_{i,j}^t{}^2 + v_{i,j}^t{}^2}}{h_{i,j}^t{}^{4/3}} = 0 \end{aligned} \quad (4.66)$$

$$v_{i,j}^t \frac{v_{i+1,j}^t - v_{i,j}^t}{\Delta y} + u_{i,j}^t \frac{v_{i,j+1}^t - v_{i,j}^t}{\Delta x} - g \frac{h_{i+1,j}^t - h_{i,j}^t}{\Delta y} + \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i+1,j}^t - v_{i,j}^t}{\Delta y^2} + \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i,j+1}^t - v_{i,j}^t}{\Delta x^2} - gS_{0y} + g \frac{n^2 v_{i,j}^t \sqrt{u_{i,j}^{t^2} + v_{i,j}^{t^2}}}{h_{i,j}^{t^4/3}} = 0 \quad (4.67)$$

Untuk kondisi di hulu yang tidak pada dinding:

$$u_{i,j}^t \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x} + v_{i,j}^t \frac{u_{i+1,j}^t - u_{i,j}^t}{\Delta y} - g \frac{h_{i,j+1}^t - h_{i,j}^t}{\Delta x} + \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x^2} + \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i+1,j}^t - 2u_{i,j}^t + u_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} - gS_{0x} + g \frac{n^2 u_{i,j}^t \sqrt{u_{i,j}^{t^2} + v_{i,j}^{t^2}}}{h_{i,j}^{t^4/3}} = 0 \quad (4.68)$$

$$v_{i,j}^t \frac{v_{i+1,j}^t - v_{i,j}^t}{\Delta y} + u_{i,j}^t \frac{v_{i,j+1}^t - v_{i,j}^t}{\Delta x} - g \frac{h_{i+1,j}^t - h_{i,j}^t}{\Delta y} + \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i+1,j}^t - 2v_{i,j}^t + v_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} + \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i,j+1}^t - v_{i,j}^t}{\Delta x^2} - gS_{0y} + g \frac{n^2 v_{i,j}^t \sqrt{u_{i,j}^{t^2} + v_{i,j}^{t^2}}}{h_{i,j}^{t^4/3}} = 0 \quad (4.69)$$

Sedangkan untuk kondisi di dinding adalah:

$$u_{i,j}^t \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x} + v_{i,j}^t \frac{u_{i+1,j}^t - u_{i,j}^t}{\Delta y} - g \frac{h_{i,j+1}^t - h_{i,j}^t}{\Delta x} + \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i,j+1}^t - 2u_{i,j}^t + u_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} + \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i+1,j}^t - u_{i,j}^t}{\Delta y^2} - gS_{0x} + g \frac{n^2 u_{i,j}^t \sqrt{u_{i,j}^{t^2} + v_{i,j}^{t^2}}}{h_{i,j}^{t^4/3}} = 0 \quad (4.70)$$

$$v_{i,j}^t \frac{v_{i+1,j}^t - v_{i,j}^t}{\Delta y} + u_{i,j}^t \frac{v_{i,j+1}^t - v_{i,j}^t}{\Delta x} - g \frac{h_{i+1,j}^t - h_{i,j}^t}{\Delta y} + \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i+1,j}^t - v_{i,j}^t}{\Delta y^2} + \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i,j+1}^t - 2v_{i,j}^t + v_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} - gS_{0y} + g \frac{n^2 v_{i,j}^t \sqrt{u_{i,j}^{t^2} + v_{i,j}^{t^2}}}{h_{i,j}^{t^4/3}} = 0 \quad (4.71)$$

Sedangkan variabel $u_{i+1,j}^t$, $v_{i+1,j}^t$, dan $h_{i+1,j}^t$ pada dinding sisi lainnya juga dianggap kondisi batas itu sendiri. Sehingga persamaan 4.63, 4.64, dan 4.65 berubah menjadi:

$$u_{i,j}^t \frac{h_{i,j+1}^t - h_{i,j}^t}{\Delta x} + h_{i,j}^t \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x} = 0 \quad (4.72)$$

$$u_{i,j}^t \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x} - g \frac{h_{i,j+1}^t - h_{i,j}^t}{\Delta x} + \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i,j+1}^t - 2u_{i,j}^t + u_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} + \frac{\mu}{\rho} \frac{-u_{i,j}^t + u_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} - gS_{0x} + g \frac{n^2 u_{i,j}^t \sqrt{u_{i,j}^{t^2} + v_{i,j}^{t^2}}}{h_{i,j}^{t^4/3}} = 0 \quad (4.73)$$

$$u_{i,j}^t \frac{v_{i,j+1}^t - v_{i,j}^t}{\Delta x} + \frac{\mu}{\rho} \frac{-v_{i,j}^t + v_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} + \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i,j+1}^t - 2v_{i,j}^t + v_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} - gS_{0y} + g \frac{n^2 v_{i,j}^t \sqrt{u_{i,j}^t{}^2 + v_{i,j}^t{}^2}}{h_{i,j}^t{}^{4/3}} = 0 \quad (4.74)$$

4.3. Solusi Numerik Komponen Waktu dengan Metode *Runge Kutta*

Setelah melakukan penelusuran untuk mencari nilai u (kecepatan arah x), v (kecepatan arah y), dan h (kedalaman air) sepanjang model sungai pada kondisi *steady* (saat $t=0$ atau saat *initial condition*), langkah selanjutnya adalah mencari ketiga komponen tersebut pada saat $(t + \Delta t)$ atau pada kondisi *unsteady* dengan metode *Runge Kutta*. Seperti yang telah disampaikan pada bab teori dasar, bentuk umum dari metode ini adalah:

$$y^{t+\Delta t} = y^t + \Phi \Delta t \quad (4.75)$$

dimana Φ merupakan *increment function*, yang merupakan fungsi dari (y,t) .

Dalam pemodelan ini digunakan metode *Runge Kutta* orde 4, karena dianggap sudah memberikan hasil yang mendekati analitis dan konvergen.

Bentuk umumnya adalah:

$$y^{t+\Delta t} = y^t + \left[\frac{1}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \right] \Delta t \quad (4.76)$$

dimana

$$k_1 = f(t^t, y^t) \quad (4.77)$$

$$k_2 = f\left(t^t + \frac{1}{2} \Delta t, y^t + \frac{1}{2} \Delta t k_1\right) \quad (4.78)$$

$$k_3 = f\left(t^t + \frac{1}{2} \Delta t, y^t + \frac{1}{2} \Delta t k_2\right) \quad (4.79)$$

$$k_4 = f(t^t + \Delta t, y^t + \Delta t k_3) \quad (4.80)$$

$$f(t, y) = \frac{dy}{dt} \quad (4.81)$$

Variabel y yang terdapat pada persamaan umum tersebut dapat digantikan dengan variabel-variabel yang ingin dicari, seperti u (kecepatan arah x), v (kecepatan arah y), dan h (kedalaman air).

Selanjutnya, persamaan 4.60, 4.61, dan 4.62 mengandung suku yang memiliki pengertian adanya perubahan kedalaman air atau kecepatan menurut waktu. Untuk transformasi dari persamaan massa, yaitu persamaan 4.60 digunakan untuk mencari h (kedalaman air) pada $(t+\Delta t)$. Agar seragam

dengan indeks ruang, maka penulisan *superscript* $t+\Delta t$ diubah menjadi $t+1$. Persamaan 4.61 digunakan untuk mencari u (kecepatan aliran arah x) pada pada $(t+\Delta t)$. Persamaan 4.62 digunakan untuk mencari v (kecepatan aliran arah y) pada pada $(t+\Delta t)$. Berikut ini adalah penjabaran untuk mencari kedalaman air pada Δt berikutnya untuk kondisi aliran yang bukan di kondisi batas sungai:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -u_{i,j}^t \frac{h_{i,j+1}^t - h_{i,j}^t}{\Delta x} - h_{i,j}^t \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x} - v_{i,j}^t \frac{h_{i+1,j}^t - h_{i,j}^t}{\Delta y} - h_{i,j}^t \frac{v_{i+1,j}^t - v_{i,j}^t}{\Delta y} \quad (4.82)$$

$$h_{i,j}^{t+1} = h_{i,j}^t + \left[\frac{1}{6} \left(k_{h_{i,j}^t,1} + 2k_{h_{i,j}^t,2} + 2k_{h_{i,j}^t,3} + k_{h_{i,j}^t,4} \right) \right] \Delta t \quad (4.83)$$

$$k_{h_{i,j}^t,1} = -u_{i,j}^t \frac{h_{i,j+1}^t - h_{i,j}^t}{\Delta x} - h_{i,j}^t \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x} - v_{i,j}^t \frac{h_{i+1,j}^t - h_{i,j}^t}{\Delta y} - h_{i,j}^t \frac{v_{i+1,j}^t - v_{i,j}^t}{\Delta y} \quad (4.84)$$

$$k_{h_{i,j}^t,2} = -u_{i,j}^t \frac{h_{i,j+1}^t - \left(h_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{h_{i,j}^t,1} \right)}{\Delta x} - \left(h_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{h_{i,j}^t,1} \right) \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x} - v_{i,j}^t \frac{h_{i+1,j}^t - \left(h_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{h_{i,j}^t,1} \right)}{\Delta y} - \left(h_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{h_{i,j}^t,1} \right) \frac{v_{i+1,j}^t - v_{i,j}^t}{\Delta y} \quad (4.85)$$

$$k_{h_{i,j}^t,3} = -u_{i,j}^t \frac{h_{i,j+1}^t - \left(h_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{h_{i,j}^t,2} \right)}{\Delta x} - \left(h_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{h_{i,j}^t,2} \right) \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x} - v_{i,j}^t \frac{h_{i+1,j}^t - \left(h_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{h_{i,j}^t,2} \right)}{\Delta y} - \left(h_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{h_{i,j}^t,2} \right) \frac{v_{i+1,j}^t - v_{i,j}^t}{\Delta y} \quad (4.86)$$

$$k_{h_{i,j}^t,4} = -u_{i,j}^t \frac{h_{i,j+1}^t - \left(h_{i,j}^t + \Delta t k_{h_{i,j}^t,3} \right)}{\Delta x} - \left(h_{i,j}^t + \Delta t k_{h_{i,j}^t,3} \right) \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x} - v_{i,j}^t \frac{h_{i+1,j}^t - \left(h_{i,j}^t + \Delta t k_{h_{i,j}^t,3} \right)}{\Delta y} - \left(h_{i,j}^t + \Delta t k_{h_{i,j}^t,3} \right) \frac{v_{i+1,j}^t - v_{i,j}^t}{\Delta y} \quad (4.87)$$

Rumus-rumus yang digunakan untuk mencari kecepatan arah X adalah:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -u_{i,j}^t \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x} - v_{i,j}^t \frac{u_{i+1,j}^t - u_{i,j}^t}{\Delta y} + g \frac{h_{i,j+1}^t - h_{i,j}^t}{\Delta x} - \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i,j+1}^t - 2u_{i,j}^t + u_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} - \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i+1,j}^t - 2u_{i,j}^t + u_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} + g S_{0x} - g \frac{n^2 u_{i,j}^t \sqrt{u_{i,j}^t{}^2 + v_{i,j}^t{}^2}}{h_{i,j}^t{}^{4/3}} \quad (4.88)$$

$$u_{i,j}^{t+1} = u_{i,j}^t + \left[\frac{1}{6} \left(k_{u_{i,j}^t,1} + 2k_{u_{i,j}^t,2} + 2k_{u_{i,j}^t,3} + k_{u_{i,j}^t,4} \right) \right] \Delta t \quad (4.89)$$

$$k_{u_{i,j}^t,1} = -u_{i,j}^t \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x} - v_{i,j}^t \frac{u_{i+1,j}^t - u_{i,j}^t}{\Delta y} + g \frac{h_{i,j+1}^t - h_{i,j}^t}{\Delta x} - \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i,j+1}^t - 2u_{i,j}^t + u_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} - \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i+1,j}^t - 2u_{i,j}^t + u_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} + gS_{0x} - g \frac{n^2 u_{i,j}^t \sqrt{u_{i,j}^t{}^2 + v_{i,j}^t{}^2}}{h_{i,j}^t{}^{4/3}} \quad (4.90)$$

$$k_{u_{i,j}^t,2} = - \left(u_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{u_{i,j}^t,1} \right) \frac{u_{i,j+1}^t - \left(u_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{u_{i,j}^t,1} \right)}{\Delta x} - v_{i,j}^t \frac{u_{i+1,j}^t - \left(u_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{u_{i,j}^t,1} \right)}{\Delta y} + g \frac{h_{i,j+1}^t - h_{i,j}^t}{\Delta x} - \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i,j+1}^t - 2 \left(u_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{u_{i,j}^t,1} \right) + u_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} - \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i+1,j}^t - 2 \left(u_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{u_{i,j}^t,1} \right) + u_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} + gS_{0x} - g \frac{n^2 \left(u_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{u_{i,j}^t,1} \right) \sqrt{\left(u_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{u_{i,j}^t,1} \right)^2 + v_{i,j}^t{}^2}}{h_{i,j}^t{}^{4/3}} \quad (4.91)$$

$$k_{u_{i,j}^t,3} = - \left(u_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{u_{i,j}^t,2} \right) \frac{u_{i,j+1}^t - \left(u_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{u_{i,j}^t,2} \right)}{\Delta x} - v_{i,j}^t \frac{u_{i+1,j}^t - \left(u_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{u_{i,j}^t,2} \right)}{\Delta y} + g \frac{h_{i,j+1}^t - h_{i,j}^t}{\Delta x} - \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i,j+1}^t - 2 \left(u_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{u_{i,j}^t,2} \right) + u_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} - \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i+1,j}^t - 2 \left(u_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{u_{i,j}^t,2} \right) + u_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} + gS_{0x} - g \frac{n^2 \left(u_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{u_{i,j}^t,2} \right) \sqrt{\left(u_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta t k_{u_{i,j}^t,2} \right)^2 + v_{i,j}^t{}^2}}{h_{i,j}^t{}^{4/3}} \quad (4.92)$$

$$k_{u_{i,j}^t,4} = - \left(u_{i,j}^t + \Delta t k_{u_{i,j}^t,3} \right) \frac{u_{i,j+1}^t - \left(u_{i,j}^t + \Delta t k_{u_{i,j}^t,3} \right)}{\Delta x} - v_{i,j}^t \frac{u_{i+1,j}^t - \left(u_{i,j}^t + \Delta t k_{u_{i,j}^t,3} \right)}{\Delta y} + g \frac{h_{i,j+1}^t - h_{i,j}^t}{\Delta x} - \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i,j+1}^t - 2 \left(u_{i,j}^t + \Delta t k_{u_{i,j}^t,3} \right) + u_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} - \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i+1,j}^t - 2 \left(u_{i,j}^t + \Delta t k_{u_{i,j}^t,3} \right) + u_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} + gS_{0x} - g \frac{n^2 \left(u_{i,j}^t + \Delta t k_{u_{i,j}^t,3} \right) \sqrt{\left(u_{i,j}^t + \Delta t k_{u_{i,j}^t,3} \right)^2 + v_{i,j}^t{}^2}}{h_{i,j}^t{}^{4/3}} \quad (4.93)$$

Rumus-rumus yang digunakan untuk mencari kecepatan arah Y adalah:

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} = & -v_{i,j}^t \frac{v_{i+1,j}^t - v_{i,j}^t}{\Delta y} - u_{i,j}^t \frac{v_{i,j+1}^t - v_{i,j}^t}{\Delta x} + g \frac{h_{i+1,j}^t - h_{i,j}^t}{\Delta y} - \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i+1,j}^t - 2v_{i,j}^t + v_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} - \\ & \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i,j+1}^t - 2v_{i,j}^t + v_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} + gS_{0y} - g \frac{n^2 v_{i,j}^t \sqrt{u_{i,j}^t{}^2 + v_{i,j}^t{}^2}}{h_{i,j}^t{}^{4/3}} \end{aligned} \quad (4.94)$$

$$\begin{aligned} k_{v_{i,j}^t,1} = & -v_{i,j}^t \frac{v_{i+1,j}^t - v_{i,j}^t}{\Delta y} - u_{i,j}^t \frac{v_{i,j+1}^t - v_{i,j}^t}{\Delta x} + g \frac{h_{i+1,j}^t - h_{i,j}^t}{\Delta y} - \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i+1,j}^t - 2v_{i,j}^t + v_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} - \\ & \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i,j+1}^t - 2v_{i,j}^t + v_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} + gS_{0y} - g \frac{n^2 v_{i,j}^t \sqrt{u_{i,j}^t{}^2 + v_{i,j}^t{}^2}}{h_{i,j}^t{}^{4/3}} \end{aligned} \quad (4.95)$$

$$\begin{aligned} k_{v_{i,j}^t,2} = & - \left(v_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta tk_{v_{i,j}^t,1} \right) \frac{v_{i+1,j}^t - \left(v_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta tk_{v_{i,j}^t,1} \right)}{\Delta y} - u_{i,j}^t \frac{v_{i,j+1}^t - \left(v_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta tk_{v_{i,j}^t,1} \right)}{\Delta x} + \\ & g \frac{h_{i+1,j}^t - h_{i,j}^t}{\Delta y} - \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i+1,j}^t - 2 \left(v_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta tk_{v_{i,j}^t,1} \right) + v_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} - \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i,j+1}^t - 2 \left(v_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta tk_{v_{i,j}^t,1} \right) + v_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} + \\ & gS_{0y} - g \frac{n^2 \left(v_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta tk_{v_{i,j}^t,1} \right) \sqrt{u_{i,j}^t{}^2 + \left(v_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta tk_{v_{i,j}^t,1} \right) {}^2}}{h_{i,j}^t{}^{4/3}} \end{aligned} \quad (4.96)$$

$$\begin{aligned} k_{v_{i,j}^t,3} = & - \left(v_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta tk_{v_{i,j}^t,2} \right) \frac{v_{i+1,j}^t - \left(v_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta tk_{v_{i,j}^t,2} \right)}{\Delta y} - u_{i,j}^t \frac{v_{i,j+1}^t - \left(v_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta tk_{v_{i,j}^t,2} \right)}{\Delta x} + \\ & g \frac{h_{i+1,j}^t - h_{i,j}^t}{\Delta y} - \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i+1,j}^t - 2 \left(v_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta tk_{v_{i,j}^t,2} \right) + v_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} - \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i,j+1}^t - 2 \left(v_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta tk_{v_{i,j}^t,2} \right) + v_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} + \\ & gS_{0y} - g \frac{n^2 \left(v_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta tk_{v_{i,j}^t,2} \right) \sqrt{u_{i,j}^t{}^2 + \left(v_{i,j}^t + \frac{1}{2} \Delta tk_{v_{i,j}^t,2} \right) {}^2}}{h_{i,j}^t{}^{4/3}} \end{aligned} \quad (4.97)$$

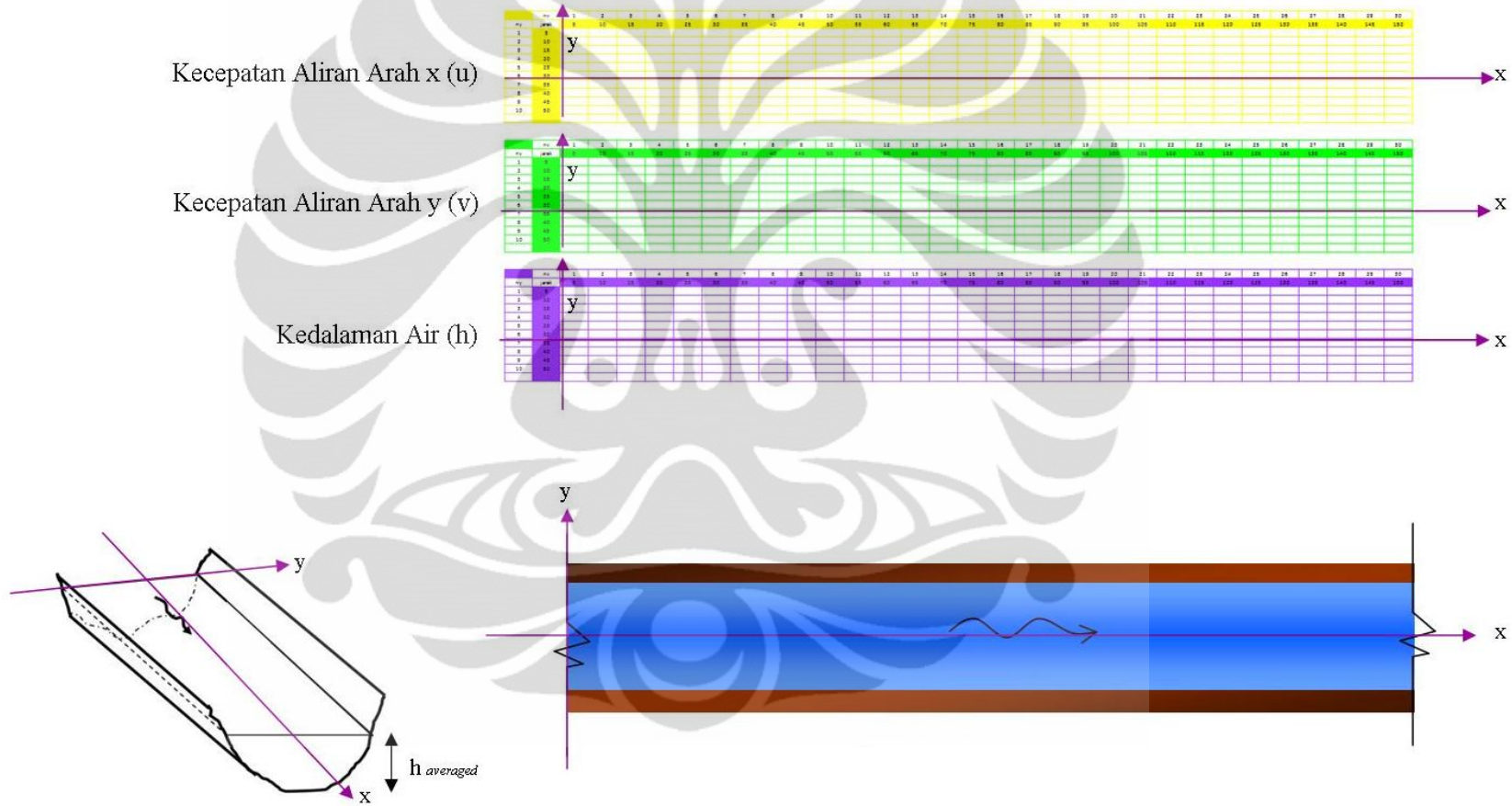
$$\begin{aligned} k_{v_{i,j}^t,4} = & - \left(v_{i,j}^t + \Delta tk_{v_{i,j}^t,3} \right) \frac{v_{i+1,j}^t - \left(v_{i,j}^t + \Delta tk_{v_{i,j}^t,3} \right)}{\Delta y} - u_{i,j}^t \frac{v_{i,j+1}^t - \left(v_{i,j}^t + \Delta tk_{v_{i,j}^t,3} \right)}{\Delta x} + \\ & g \frac{h_{i+1,j}^t - h_{i,j}^t}{\Delta y} - \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i+1,j}^t - 2 \left(v_{i,j}^t + \Delta tk_{v_{i,j}^t,3} \right) + v_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} - \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i,j+1}^t - 2 \left(v_{i,j}^t + \Delta tk_{v_{i,j}^t,3} \right) + v_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} + \\ & gS_{0y} - g \frac{n^2 \left(v_{i,j}^t + \Delta tk_{v_{i,j}^t,3} \right) \sqrt{u_{i,j}^t{}^2 + \left(v_{i,j}^t + \Delta tk_{v_{i,j}^t,3} \right) {}^2}}{h_{i,j}^t{}^{4/3}} \end{aligned} \quad (4.98)$$

4.4. Pemodelan dengan Program *Visual Basic for Microsoft Excel*

Seperti yang telah disampaikan mengenai algoritma pada sub bab metodologi penelitian, di bawah ini akan disampaikan mengenai penjabaran program pemodelan aliran.

Langkah pertama yang harus dilakukan oleh pengguna adalah memasukkan data ke dalam tabel data masukan (parameter) dan membuat sendiri model sungai yang akan ditinjau, sesuai skenario dan rentang jarak yang ditentukan sebelumnya. Satuan dari parameter yang tertulis tersebut tidak boleh berubah, karena perhitungan dalam program tidak otomatis melakukan konversi. Perlu diperhatikan juga, rentang waktu penelusuran (dt) diisi 0 dalam melakukan penelusuran sungai kondisi *steady*.

Untuk pembuatan model sungai, diharuskan membentuk 3 model yang sama, karena pada program ini akan dihitung 3 komponen, yaitu kecepatan aliran arah x (u), kecepatan aliran arah y (v), dan kedalaman air (h). Lokasi sel untuk membuat model sungai dan model sungai itu sendiri tidak ada batasannya, asalkan dapat dibedakan dengan jelas posisi ketiga model tersebut. Contoh *layout* sungai yang akan dijadikan model digambarkan di halaman berikut.



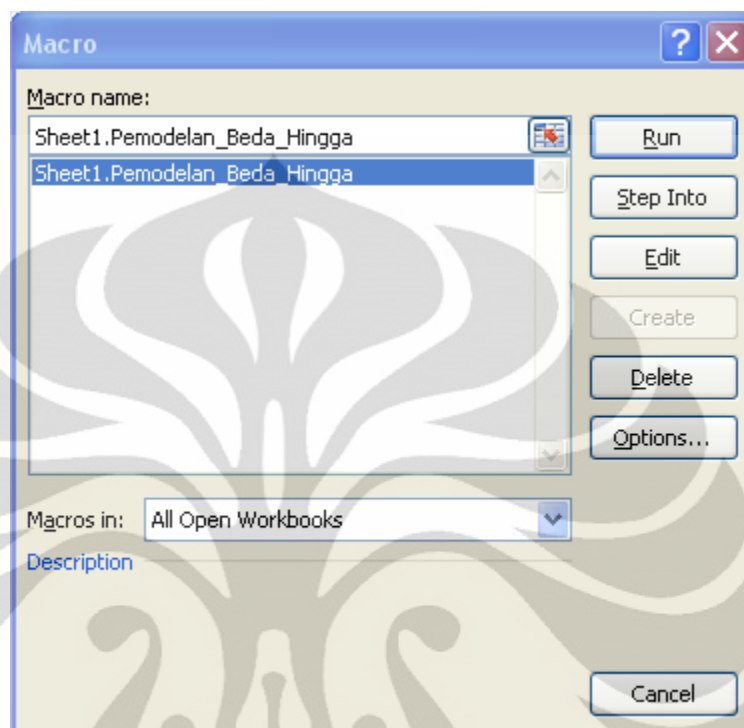
Gambar 4.4. Layout Model Sungai

	A	B	C	D	E	F
1	Pemodelan Beda Hingga Aliran Sungai Dua Dimensi					
2						
3						
4	Data Masukan	Simbol	Besaran	Satuan		
5	Massa Jenis	ρ	1000	kg/m^3		
6	Gravitasi	g	9,81	m/s^2		
7	Viskositas	μ	0,00084	N.s/m^2		
8	Kemiringan Dasar Saluran Arah x	S_{ox}	0,0005	m/m		
9	Kemiringan Dasar Saluran Arah y	S_{oy}	0	m/m		
10	Koefisien Manning	n	0,035			
11	Waktu Penelusuran	dt	0	s		
12	Jarak Penelusuran Arah x	dx	5	m		
13	Jarak Penelusuran Arah y	dy	5	m		

Gambar 4.5. Contoh Pengisian Parameter

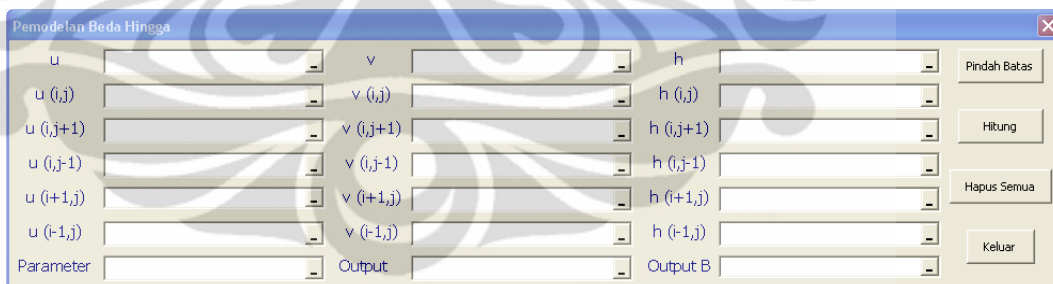
Selanjutnya, pengguna memasukkan nilai-nilai kondisi batas sungai dan kondisi awal sungai. Kedua kondisi tersebut dimasukkan untuk ketiga komponen yang akan dihitung. Melakukan pengisian data kondisi batas, berarti mengisi data kecepatan aliran dan kedalaman air di sel-sel yang diasumsikan sebagai hulu, hilir, dan dinding sungai. Jadi, nilai-nilai tersebut akan tetap sepanjang dinding sungai. Kondisi awal sungai dapat diisi sesuai dengan data di lapangan ataupun secara hipotetik. Mengisi kondisi awal sungai berarti mengisi sel sisanya (yaitu selain sel dinding) dari ketiga model tersebut. Kondisi awal dan batas yang dimasukkan disini merupakan kondisi saat ($t-\Delta t$), atau disebut sebagai *initial guess*. Langkah ini perlu dilakukan karena dalam program ini perlu dicari kondisi awal yang konvergen, sehingga dapat memberikan hasil yang lebih akurat untuk perhitungan kondisi *unsteady*.

Langkah selanjutnya adalah menjalankan program dengan mengklik *Macros* dalam *Developer Tab*, kemudian pilih program '*Sheet1.Pemodelan_Beda_Hingga*', lalu klik tombol *Run*.



Gambar 4.7. Pilihan Program

Kemudian akan muncul kotak dialog berikut.



Gambar 4.8. Kotak Dialog Program

Kotak isian '*u*' diisi dengan sel mulai dari kolom pertama model untuk kecepatan aliran arah *x* hingga kolom terakhir model sungai. Selanjutnya, kotak isian '*v*' diisi dengan sel mulai dari kolom pertama model untuk kecepatan aliran arah *y* hingga kolom terakhir model sungai. Lalu kotak isian '*h*' diisi dengan sel mulai dari kolom pertama model untuk kedalaman air hingga kolom terakhir model sungai. Kotak isian '*u(i,j)*' diisi dengan sel tengah dari kecepatan aliran arah *x* (semua sel kecuali kondisi batas). Selanjutnya, kotak isian '*v(i,j)*' diisi dengan sel tengah dari kecepatan aliran

arah y (semua sel kecuali kondisi batas). Lalu kotak isian ' $h(i,j)$ ' diisi dengan sel tengah dari kedalaman air (semua sel kecuali kondisi batas).

Kotak isian ' $u(i, j+1)$ ' diisi dengan sel mulai dari satu kolom setelah kolom pertama sel tengah untuk kecepatan aliran arah x hingga satu kolom setelah kolom terakhir sel tengah dari model sungai dengan posisi baris yang sama dengan sel tengah. Selanjutnya, kotak isian ' $v(i, j+1)$ ' diisi dengan sel mulai dari satu kolom setelah kolom pertama sel tengah untuk kecepatan aliran arah y hingga satu kolom setelah kolom terakhir sel tengah dari model sungai dengan posisi baris yang sama dengan sel tengah. Lalu kotak isian ' $h(i, j+1)$ ' diisi dengan sel mulai dari satu kolom setelah kolom pertama sel tengah untuk kedalaman air hingga satu kolom setelah kolom terakhir sel tengah dari model sungai dengan posisi baris yang sama dengan sel tengah.

Kotak isian ' $u(i, j-1)$ ' diisi dengan sel mulai dari satu kolom sebelum kolom pertama sel tengah untuk kecepatan aliran arah x hingga satu kolom sebelum kolom terakhir sel tengah dari model sungai dengan posisi baris yang sama dengan sel tengah. Selanjutnya, kotak isian ' $v(i, j-1)$ ' diisi dengan sel mulai dari satu kolom sebelum kolom pertama sel tengah untuk kecepatan aliran arah y hingga satu kolom sebelum kolom terakhir sel tengah dari model sungai dengan posisi baris yang sama dengan sel tengah. Lalu kotak isian ' $h(i, j-1)$ ' diisi dengan sel mulai dari satu kolom sebelum kolom pertama sel tengah untuk kedalaman air hingga satu kolom sebelum kolom terakhir sel tengah dari model sungai dengan posisi baris yang sama dengan sel tengah.

Kotak isian ' $u(i+1, j)$ ' diisi dengan sel mulai dari satu baris setelah baris pertama sel tengah untuk kecepatan aliran arah x hingga satu baris setelah baris terakhir sel tengah dari model sungai dengan posisi kolom yang sama dengan sel tengah. Selanjutnya, kotak isian ' $v(i+1, j)$ ' diisi dengan sel mulai dari satu baris setelah baris pertama sel tengah untuk kecepatan aliran arah y hingga satu baris setelah baris terakhir sel tengah dari model sungai dengan posisi kolom yang sama dengan sel tengah. Lalu kotak isian ' $h(i+1, j)$ ' diisi dengan sel mulai dari satu baris setelah baris pertama sel tengah untuk kedalaman air hingga satu baris setelah baris terakhir sel tengah dari model sungai dengan posisi kolom yang sama dengan sel tengah.

Kotak isian ' $u(i-1, j)$ ' diisi dengan sel mulai dari satu baris sebelum baris pertama sel tengah untuk kecepatan aliran arah x hingga satu baris sebelum baris terakhir sel tengah dari model sungai dengan posisi kolom yang sama dengan sel tengah. Selanjutnya, kotak isian ' $v(i-1, j)$ ' diisi dengan sel mulai dari satu baris sebelum baris pertama sel tengah untuk kecepatan aliran arah y hingga satu baris sebelum baris terakhir sel tengah dari model sungai dengan posisi kolom yang sama dengan sel tengah. Lalu kotak isian ' $h(i-1, j)$ ' diisi dengan sel mulai dari satu baris sebelum baris pertama sel tengah untuk kedalaman air hingga satu baris sebelum baris terakhir sel tengah dari model sungai dengan posisi kolom yang sama dengan sel tengah.

Kotak isian '*Parameter*' selalu diisi sel C5 hingga sel C13, atau bentuk pengisiannya adalah seperti ini: 'Pemodelan Aliran Sungai'!\$C\$5:\$C\$13. Kotak isian '*Output*' diisi sel yang ingin dijadikan lokasi hasil perhitungan sel tengah. Terakhir, kotak isian '*Output B*' diisi sel yang ingin dijadikan lokasi penyalinan kondisi batas. Jika model sungai memiliki kelokan, pembesaran, atau pengecilan penampang, pengisian *range* dilakukan secara manual, yaitu memilih sel kondisi awal dan sel kosong lain. Gambaran cara mengisi dialog dapat lebih jelas dilihat pada gambar di halaman berikutnya.

		mx	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
14																																			
15																																			
16		my	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
17	Kecepatan Angk X (u)	jarak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
18																																			
19																																			
20																																			
21																																			
22																																			
23																																			
24																																			
25																																			
26																																			
27																																			
28																																			
29																																			
30																																			
31		my	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
32	Kecepatan Angk X (v)	jarak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
33																																			
34																																			
35																																			
36																																			
37																																			
38																																			
39																																			
40																																			
41																																			
42																																			
43																																			
44																																			
45																																			
46		my	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
47	Kecepatan Angk (h)	jarak	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30			
48																																			
49																																			
50																																			
51																																			
52																																			
53																																			
54																																			
55																																			
56																																			
57																																			
58																																			
59																																			
60																																			
61																																			
62																																			

- Keterangan:
- u, v, h
 - u, v, h (ij)
 - u, v, h (ij+1)
 - u, v, h (i,j-1)
 - u, v, h (i+1,j)
 - u, v, h (i-1,j)
 - output
 - output b

Gambar 4.9. Sel yang Dipilih untuk Dimasukkan ke Kotak Dialog

Jika salah memasukkan data dan ingin mengosongkan kembali kotak dialog tersebut sebelum memulai perhitungan, klik tombol 'hapus semua'. Setelah bentuk sungai, parameter (data masukan), kondisi awal serta batas, dan lokasi *output* dimasukkan ke dalam dialog program, maka sebelum melakukan perhitungan, sebaiknya kondisi batas dipindahkan ke sel hasil keluaran untuk kondisi batas agar nilai yang dihasilkan pada akhir perhitungan akan lengkap.

Pemindahan kondisi batas ini dilakukan dengan mengeklik tombol 'Pindah Batas'. Alur yang terjadi adalah seperti yang disebutkan di bawah ini.

Langkah pertama dalam *form* adalah deklarasi variabel. Variabel dideklarasikan pada lingkup *Private* karena variabel tipe *double* tidak boleh berada dalam ruang lingkup *Public*. Sesuai urutan *listing* program, yang dideklarasikan pertama adalah massa jenis (ρ), percepatan gravitasi (g), viskositas (μ), kemiringan dasar sungai arah x (S_{ox}), kemiringan dasar sungai arah y (S_{oy}), koefisien *Manning* (n), rentang waktu penelusuran (dt), jarak penelusuran arah x (dx), dan jarak penelusuran arah y (dy) sebagai variabel *double*. Tipe variabel ini dipilih karena rentang nilainya memiliki angka negatif antara $-1,797693 \times 10^{308}$ hingga $-4,940656 \times 10^{-324}$ dan angka positif antara $4,940656 \times 10^{-324}$ hingga $1,797693 \times 10^{308}$.

Selanjutnya rentang jumlah kolom (nx), jumlah baris (ny), indeks baris (i), indeks kolom (j), spasi (untuk keperluan lokasi hasil perhitungan), *bound* (untuk menempatkan kondisi batas yang terletak antara *array* u-v atau v-h), jumlah seluruh kolom *array* kondisi awal dan batas (nx_{all}), jumlah seluruh baris *array* kondisi awal dan batas (ny_{all}), indeks seluruh baris kondisi awal dan batas (k), dan indeks seluruh kolom kondisi awal dan batas (l) dideklarasikan sebagai variabel *integer*. Variabel ini memiliki rentang nilai -32768 hingga 32767. Tipe variabel ini dipilih karena semua variabel tersebut memiliki nilai yang berupa angka bulat. Deklarasi selanjutnya adalah *array* u, v, h saat (x, y) , *array* u, v, h saat $(x, y + dy)$, *array* u, v, h saat $(x, y - dy)$, *array* u, v, h saat $(x + dx, y)$, *array* u, v, h saat $(x - dx, y)$ dan fungsi-fungsi untuk perhitungan dengan metode *Runge Kutta* sebagai *double*.

Selanjutnya, *array* kondisi awal dan batas akan diidentifikasi, yaitu '*uall*' yang merupakan nilai dari *u*, '*vall*' yang merupakan nilai dari *v*, dan '*hall*' yang merupakan nilai dari *h*. Kemudian diidentifikasi juga '*par*' yang merupakan nilai dari parameter dan '*outb*' yang merupakan lokasi dipindahkannya sel. Kemudian dilakukan identifikasi jumlah '*nyall*' dan '*nxall*' sebagai jumlah baris dan kolom dari '*uall*', '*vall*' atau '*hall*' (dapat dipilih salah satu saja, karena jumlahnya sama). Jumlah spasi juga diidentifikasi. Pada program ini ditentukan jumlahnya sebanyak 3 karena dianggap cukup untuk memisahkan antar hasil keluaran.

Selanjutnya *range* '*outb*' dijadikan tepat penyalinan kondisi awal dan batas, dimana baris untuk *range* '*uall*' dimulai dari $(k+1)$, baris untuk *range* '*vall*' dimulai dari $(k + 1 + nyall + spasi)$, untuk *range* '*vall*' dimulai dari $(k + 1 + nyall + spasi + nyall + spasi)$ dengan posisi semua kolom yang sama. Adanya penambahan indeks '+1' disini adalah akibat dari identifikasi *array* yang dimulai dari 0. Kemudian dilakukan *looping* hingga mencapai '*nyall*' dan dilakukan *looping* lagi tiap kolomnya hingga mencapai '*nxall*'.

Setelah itu, program akan mengeksekusi langkah perhitungan setelah pengguna mengklik tombol 'Hitung'. Jika tombol 'Hitung' diklik, maka program akan menjalankan algoritmanya.

Nilai *array* kondisi awal dan batas akan diidentifikasi, yaitu '*u*' yang merupakan nilai dari *u* (*i,j*), '*v*' yang merupakan nilai dari *v* (*i,j*), '*h*' yang merupakan nilai dari *h* (*i,j*), '*uj1*' yang merupakan nilai dari *u* (*i,j+1*), '*vj1*' yang merupakan nilai dari *v* (*i,j+1*), '*hj1*' yang merupakan nilai dari *h* (*i,j+1*), '*uj0*' yang merupakan nilai dari *u* (*i,j-1*), '*vj0*' yang merupakan nilai dari *v* (*i,j-1*), '*hj0*' yang merupakan nilai dari *h* (*i,j-1*), '*ui1*' yang merupakan nilai dari *u* (*i+1,j*), '*vi1*' yang merupakan nilai dari *v* (*i+1,j*), '*hi1*' yang merupakan nilai dari *h* (*i+1,j*), '*ui0*' yang merupakan nilai dari *u* (*i-1,j*), '*vi0*' yang merupakan nilai dari *v* (*i-1,j*), dan '*hi0*' yang merupakan nilai dari *h* (*i-1,j*). Kemudian diidentifikasi '*par*' yang merupakan nilai dari parameter, '*out*' yang merupakan lokasi sel hasil perhitungan. *Array* dan nilai dari *array* tidak boleh diberi nama yang sama karena tidak akan terbaca, maka berikut ini adalah nama untuk *array* dan nilainya masing-masing:

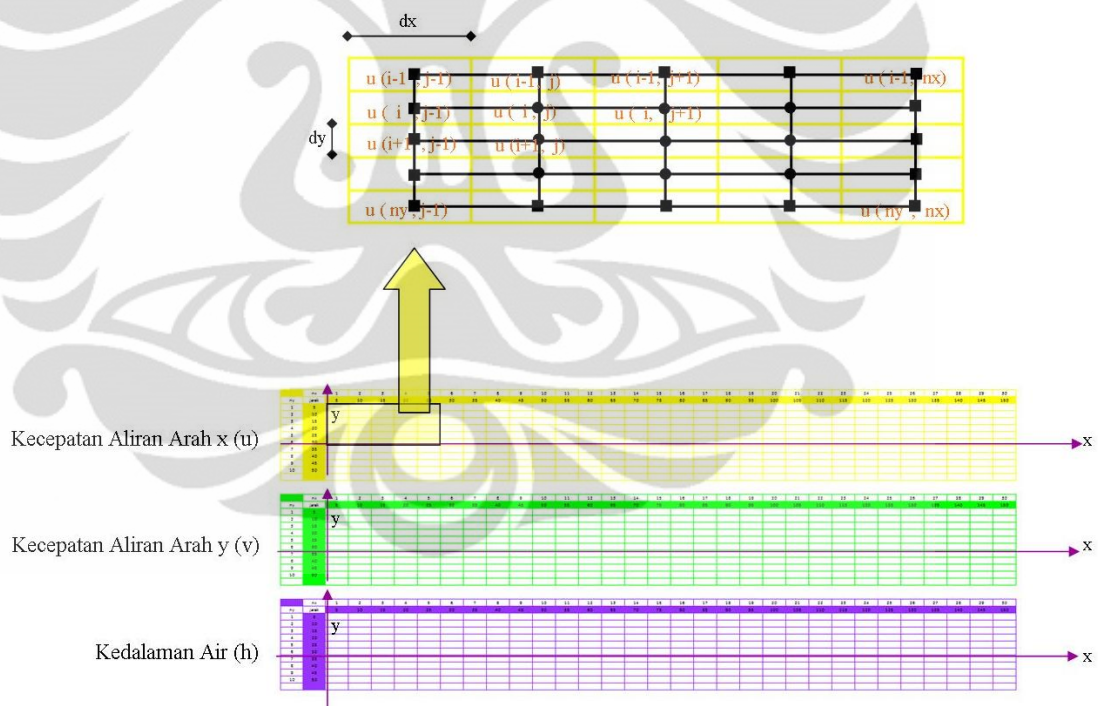
Tabel 4.1. Nama *Array* dan Nama Nilainya

Nama <i>Array</i>	Nama Nilai <i>Array</i>
u	uij
v	vij
h	hij
uj1	uij1
vj1	vij1
hj1	hij1
uj0	uij0
vj0	vij0
hj0	hij0
ui1	ui1j
vi1	vi1j
hi1	hi1j
ui0	ui0j
vi0	vi0j
hi0	hi0j

Kemudian tiap parameter akan diidentifikasi, yaitu 'rho' yang merupakan nilai dari sel massa jenis, 'g' yang merupakan nilai dari sel percepatan gravitasi, 'm' yang merupakan nilai dari viskositas, 'sox' yang merupakan nilai dari kemiringan dasar sungai arah x, 'soy' yang merupakan nilai dari kemiringan dasar sungai arah y, 'n' yang merupakan nilai dari koefisien *Manning*, 'dt' yang merupakan rentang waktu penelusuran, 'dx' yang merupakan rentang penelusuran arah x, dan 'dy' yang merupakan rentang penelusuran arah y. Selain itu, didefinisikan pula 'ny' yang merupakan jumlah baris yang akan dihitung, 'nx' yang merupakan jumlah kolom yang akan dihitung, 'spasi' sebagai jumlah baris untuk memisahkan hasil perhitungan kecepatan aliran arah x, arah y, dan kedalaman air, dan 'bound' sebagai jumlah baris untuk menempatkan kondisi batas yang nilainya selalu tetap. Pada 'ny' dan 'nx', setelah kata '*count*' terdapat pengurangan nilai sebesar 1. Hal ini dikarenakan rentang dari *array* dimulai dari hitungan 0.

Langkah berikutnya adalah perhitungan nilai u, v , dan h pada $(t+dt)$ dengan metode *Runge Kutta* dengan rumus-rumus seperti yang telah dijabarkan pada sub bab 4.3. Lalu dilakukan *looping* untuk baris selanjutnya hingga mencapai n_y , kemudian untuk kolom selanjutnya hingga mencapai n_x . Karena sudah ditentukan untuk menghasilkan kecepatan dan kedalaman air pada kondisi *steady* terlebih dahulu, maka harus dilakukan cek konvergensi. Pengecekan ini dilakukan dengan melakukan penelusuran sekali lagi dengan memilih rentang u, v , dan h yang merupakan hasil perhitungan sebelumnya. Jika hasilnya mendekati suatu nilai tertentu (stabil), maka nilai-nilai tersebut dikatakan konvergen. Jika masih belum, maka penelusuran dilanjutkan terus. Akhirnya, didapatkanlah nilai u, v, h pada $t=0$ di sepanjang sungai.

Jika dibandingkan dengan *layout* sungai, maka kondisi nodal dan *branch* yang dimodelkan yang dihitung dalam program adalah sebagai berikut:



Gambar 4.10. Kondisi Sel

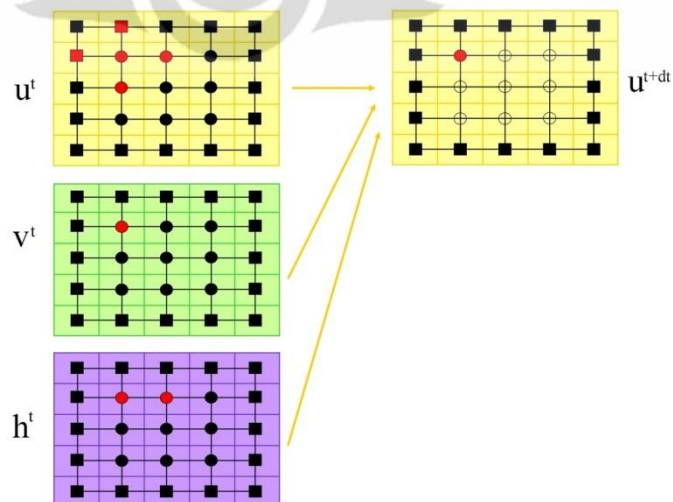
Gambar tersebut menunjukkan kondisi model yang akan diisi oleh pengguna. Garis hitam menunjukkan *branch*, kotak hitam merupakan kondisi batas yang diasumsikan tetap nilainya sepanjang waktu penelusuran, dan lingkaran hitam menunjukkan sel tengah untuk kondisi awal. Terlihat pada

gambar bahwa sel yang dihitung mewakili nodal dari suatu *control volume* yang kecil, jadi sel bukan merupakan *branch*.

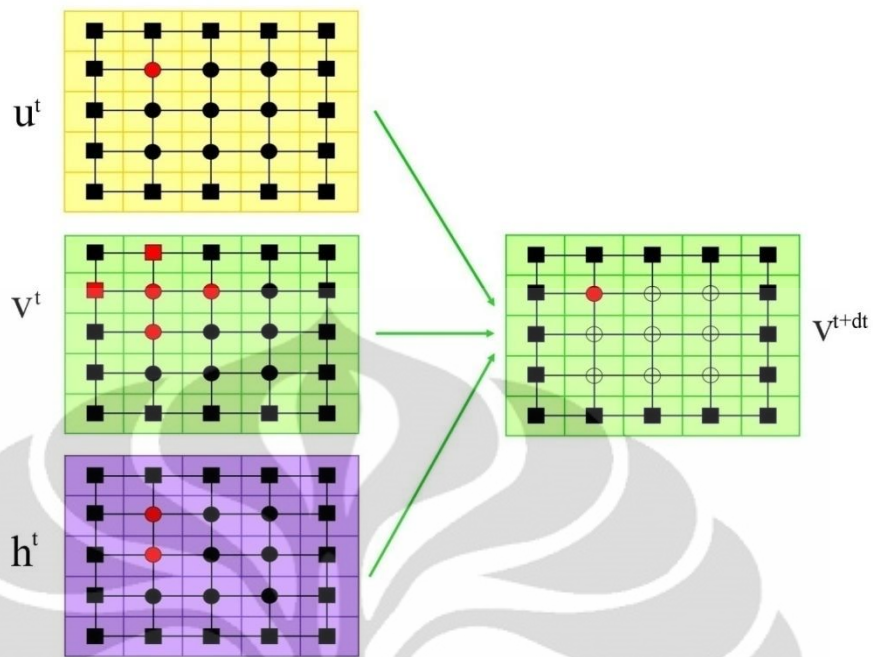
Setelah didapatkan nilai kecepatan aliran dan kedalaman air pada kondisi *steady*, pengguna dapat menjalankan program untuk kondisi *unsteady*. Karena ada perubahan salah satu nilai parameter, yaitu dt , maka program ditutup terlebih dahulu dengan mengklik ‘keluar’. Selanjutnya dt diisi sesuai aturan *Courant condition*. Karena keluarnya nilai hasil perhitungan program ini tidak dianggap langkah baru oleh *Microsoft Excel*, maka tombol *undo* dan *redo* tidak akan aktif. Oleh karena itu, jika tidak ingin kehilangan hasil perhitungan saat tiba-tiba komputer mengalami *hang*, perlu dilakukan penyimpanan dengan mengklik tombol *save* segera setelah menutup program.

Kembali ke penelusuran kondisi *unsteady*. Setelah program kembali dijalankan, dilakukan pengisian parameter, kondisi awal dan batas dari hasil perhitungan yang konvergen, lalu diklik ‘Pindah Batas’ untuk memindahkan kondisi batas, dan klik ‘Hitung’ untuk mengeksekusi perhitungan. Karena dt yang dimasukkan relatif kecil, maka perlu dilakukan penelusuran lagi untuk dt selanjutnya hingga mencapai waktu penelusuran yang diinginkan. Untuk menelusuri dt selanjutnya, rentang u, v, h yang dipilih adalah kondisi awal dan batas pada dt yang dihasilkan sebelumnya.

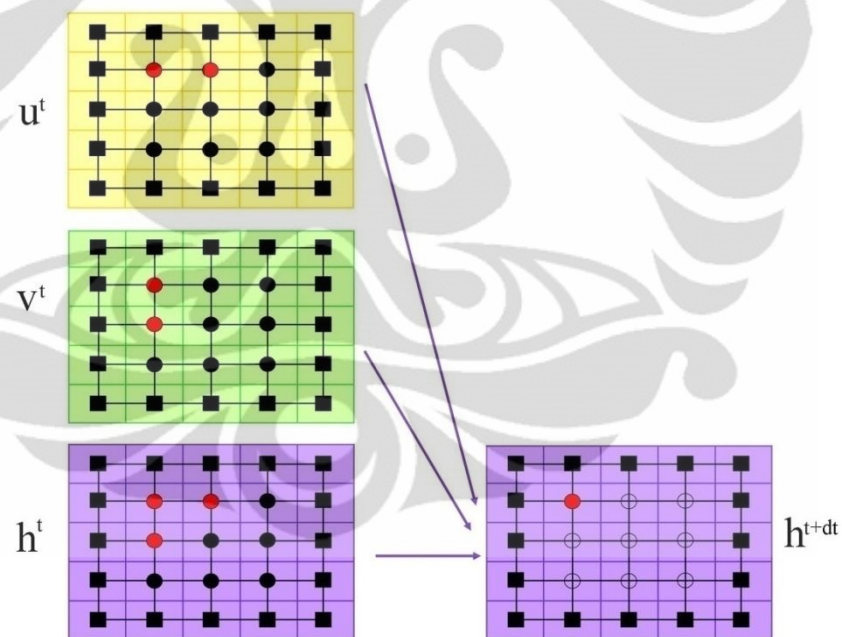
Berikut ini akan disampaikan mengenai cara mendapatkan nilai u, v , dan h pada $t+dt$ yang berawal dari gambaran nodal untuk kondisi awal.



Gambar 4.11. Skema Sel untuk Perhitungan u^{t+dt}



Gambar 4.12. Skema Sel untuk Perhitungan v^{t+dt}



Gambar 4.13. Skema Sel untuk Perhitungan h^{t+dt}

Pada gambar 4.11, 4.12, dan 4.13, nodal berwarna hitam adalah nodal yang telah diketahui nilainya. Nodal berwarna merah di tabel kiri juga sudah diketahui nilainya, namun diberi warna merah untuk menandakan bahwa nodal tersebutlah yang akan digunakan untuk menghitung satu nodal merah pada tabel di sebelah kanan.

Oleh karena itu, pada dialog program dibuat banyak kotak isian untuk memudahkan melakukan identifikasi nilai-nilai yang dibutuhkan. Selain itu, kondisi batas selalu diasumsikan tidak dinamis karena digunakan sebagai acuan untuk menganalisa hasil keluaran program.

Setelah diperoleh hasil perhitungan kecepatan dan kedalaman air untuk perbedaan jarak dan waktu, langkah terakhir adalah menutup program. Langkah penggunaan program yang ringkas dan sistematis akan disampaikan pada bagian lampiran.



BAB 5 PENERAPAN MODEL DENGAN PROGRAM VISUAL BASIC FOR MICROSOFT EXCEL

5.1. Proses Perjalanan dan Kesalahan saat Pembuatan Program

Pada awalnya, dibuat 2 sub program untuk program penelusuran ini, yaitu sub program kondisi *steady* dan sub program kondisi *unsteady*. Hal ini dilakukan karena dipikir akan mempermudah pengisian *initial condition*. Jadi pengguna cukup memasukkan *boundary condition*, menjalankan sub program kondisi *steady*, dan akhirnya diperoleh seluruh *initial condition*. Maka inilah langkah yang dilakukan dalam menjalankan sub program tersebut.

Langkah pertama adalah memasukkan data ke dalam tabel data masukan (parameter) dan membuat sendiri model sungai yang akan ditinjau, sesuai skenario dan rentang jarak yang ditentukan sebelumnya. Satuan dari parameter yang tertulis tersebut tidak boleh berubah, karena perhitungan dalam program tidak otomatis melakukan konversi. Perlu diperhatikan juga, untuk pengisian rentang waktu penelusuran (dt), walaupun belum digunakan pada saat kondisi *steady*, namun nilai ini perlu diisi sesuai kondisi *Courant* seperti yang telah disampaikan pada bab teori dasar.

Untuk pembuatan model sungai, diharuskan membentuk 3 model yang sama, karena pada program ini akan dihitung 3 komponen, yaitu kecepatan aliran arah x (u), kecepatan aliran arah y (v), dan kedalaman air (h). Lokasi sel untuk membuat model sungai dan model sungai itu sendiri tidak ada batasannya, asalkan dapat dibedakan dengan jelas posisi ketiga model tersebut.

	A	B	C	D	E	F
1	Pemodelan Beda Hingga Aliran Sungai Dua Dimensi					
2						
3						
4	Data Masukan	Simbol	Besaran	Satuan		
5	Massa Jenis	ρ	1000	kg/m ³		
6	Gravitasi	g	9,81	m/s ²		
7	Viskositas	μ	0,00085	N.s/m ²		
8	Kemiringan Dasar Saluran Arah x	Sox	0,00667	m/m		
9	Kemiringan Dasar Saluran Arah y	Soy	0	m/m		
10	Koefisien Manning	n	0,035			
11	Waktu Penelusuran	dt	1,8	s		
12	Jarak Penelusuran Arah x	dx	3	m		
13	Jarak Penelusuran Arah y	dy	3	m		

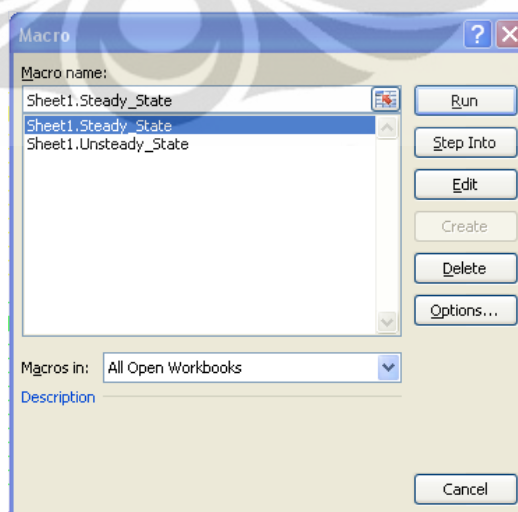
Gambar 5.1. Pengisian Parameter

Selanjutnya, pengguna memasukkan nilai-nilai kondisi batas sungai. Kondisi tersebut dimasukkan untuk ketiga komponen yang akan dihitung.

The image shows three Excel spreadsheets stacked vertically, each representing a different model's boundary conditions. The top spreadsheet is titled 'Steady State' and has a yellow background. The middle spreadsheet is titled 'Unsteady State' and has a green background. The bottom spreadsheet is titled 'Sheet1' and has a purple background. Each spreadsheet contains a grid of cells with numerical values and formulas, representing the boundary conditions for the models.

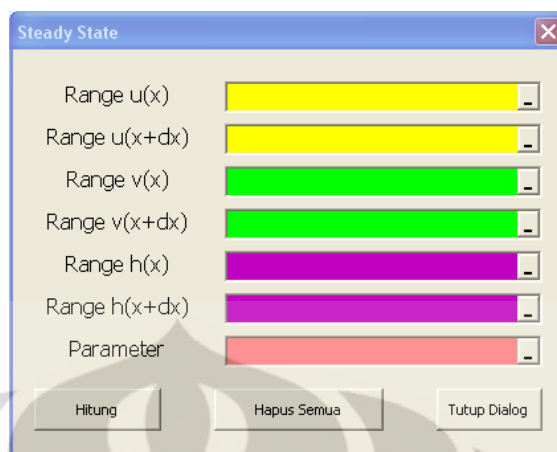
Gambar 5.2. Pengisian Kondisi Batas pada Ketiga Model Sungai

Langkah selanjutnya adalah menjalankan program dengan mengklik *Macros* dalam *Developer Tab*, kemudian pilih sub program 'Sheet1.Steady_State', lalu klik tombol *Run*.



Gambar 5.3. Pilihan Sub Program

Kemudian akan muncul kotak dialog berikut.



Gambar 5.4. Kotak Dialog Sub Program *Steady State*

Kotak isian '*Range u(x)*' diisi dengan sel mulai dari kolom pertama model untuk kecepatan aliran arah x (kecuali sel dinding), hingga kolom terakhir model sungai. Jika model sungai memiliki kelokan, pembesaran, atau pengecilan penampang, pengisian *range* dilakukan secara manual, yaitu memilih sel kondisi awal dan sel kosong lain yang bukan sel dinding.

Selanjutnya, kotak isian '*Range u(x+dx)*' diisi dengan sel mulai dari kolom kedua model untuk kecepatan aliran arah x (kecuali sel dinding), hingga satu kolom setelah kolom terakhir model sungai. Tujuan dihitungnya satu kolom setelah kolom terakhir dari model ini adalah untuk membantu dalam perhitungan pada kondisi *unsteady*. Jika perhitungan tidak dilebihkan, maka hasil kondisi *unsteady* nantinya akan sangat menyimpang. Akan tetapi jika hanya ingin meninjau hasil perhitungan kondisi *steady* di sepanjang sungai, kotak isian '*Range u(x)*' cukup diisi dengan sel mulai dari kolom pertama model untuk kecepatan aliran arah x (kecuali sel dinding), hingga satu kolom sebelum kolom terakhir model sungai. Sedangkan kotak isian '*Range u(x+dx)*' diisi dengan sel mulai dari kolom kedua model untuk kecepatan aliran arah x (kecuali sel dinding), hingga kolom terakhir model sungai. Kemudian, sama seperti sebelumnya, jika terdapat kelokan, pembesaran, atau pengecilan penampang, pengisian *range* dilakukan secara manual, yaitu memilih sel kosong yang akan dihitung.

Kotak isian '*Range v(x)*', '*Range v(x+dx)*', '*Range h(x)*', '*Range h(x+dx)*' diisi sama seperti langkah pengisian '*Range u(x)*' dan '*Range u(x+dx)*'. Namun model yang dipilih adalah model kecepatan aliran arah y

untuk *Range* $v(x)$ dan *Range* $v(x+dx)$, sedangkan pemilihan sel *Range* $h(x)$ dan *Range* $h(x+dx)$ adalah dari model untuk kedalaman air. Terakhir, kotak isian *Parameter* selalu diisi sel C5 hingga sel C13, atau bentuk pengisiannya adalah seperti ini: 'Pemodelan Aliran Sungai'!\$C\$5:\$C\$13.



Gambar 5.5. Pengisian Kotak Dialog Sub Program *Steady State*

Jika salah memasukkan data dan ingin mengosongkan kembali kotak dialog tersebut sebelum memulai perhitungan, klik tombol 'Hapus Semua'. Setelah bentuk sungai, parameter (data masukan), dan kondisi awal serta batas dilengkapi dan dimasukkan ke dalam dialog sub program kondisi *steady*, program akan mengeksekusi langkah perhitungan setelah pengguna mengklik tombol 'Hitung'.

Jika tombol 'Hitung' diklik, maka program akan menjalankan algoritmanya. Langkah pertama adalah deklarasi variabel. Sesuai urutan *listing* program, yang dideklarasikan pertama adalah massa jenis (ρ), percepatan gravitasi (g), viskositas (μ), kemiringan dasar sungai arah x (S_{ox}), kemiringan dasar sungai arah y (S_{oy}), koefisien *Manning* (n), rentang waktu penelusuran (dt), jarak penelusuran arah x (dx), dan jarak penelusuran arah y (dy) sebagai variabel *double*.

Selanjutnya jumlah kolom (nx), jumlah baris (ny), indeks baris (i), dan indeks kolom (j) dideklarasikan sebagai variabel *integer*. Variabel ini memiliki rentang nilai -32768 hingga 32767. Tipe variabel ini dipilih karena nx , ny , i , dan j memiliki nilai yang berupa angka bulat. Deklarasi terakhir adalah deklarasi *array* fungsi $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7, f_8, f_9$, dan f_{10} sebagai *double*.

Fungsi-fungsi tersebut berasal dari persamaan 4.63, 4.66, dan 4.67. Langkah awalnya adalah melakukan pemisahan variabel, sehingga bilangan yang tidak diketahui yaitu u_2^t , v_2^t , dan h_2^t yang masing-masing memiliki koefisien. Kemudian koefisiennya dan konstanta yang didapatkan tersebut dijadikan *array* fungsi.

Untuk hasil penurunan hukum kekekalan massa:

$$u_1^t \frac{h_2^t - h_1^t}{\Delta x} + h_1^t \frac{u_2^t - u_1^t}{\Delta x} + v_1^t \frac{h_2^t - h_1^t}{\Delta y} + h_1^t \frac{v_2^t - v_1^t}{\Delta y} = 0 \quad (5.1)$$

$$\left(\frac{h_1^t}{\Delta x}\right) u_2^t + \left(\frac{h_1^t}{\Delta y}\right) v_2^t + \left(\frac{u_1^t}{\Delta x} + \frac{v_1^t}{\Delta y}\right) h_2^t = \left(\frac{2u_1^t h_1^t}{\Delta x} + \frac{2v_1^t h_1^t}{\Delta y}\right) \quad (5.2)$$

sehingga fungsi-fungsinya didefinisikan sebagai berikut:

$$f_1 = \frac{h_1^t}{\Delta x} \quad (5.3)$$

$$f_2 = \frac{h_1^t}{\Delta y} \quad (5.4)$$

$$f_3 = \frac{u_1^t}{\Delta x} + \frac{v_1^t}{\Delta y} \quad (5.5)$$

$$f_4 = \frac{2u_1^t h_1^t}{\Delta x} + \frac{2v_1^t h_1^t}{\Delta y} \quad (5.6)$$

Selanjutnya, untuk hasil penurunan hukum kekekalan momentum arah x:

$$\rho u_1^t \frac{u_2^t - u_1^t}{\Delta x} + \rho v_1^t \frac{u_2^t - u_1^t}{\Delta y} - \rho g \frac{h_2^t - h_1^t}{\Delta x} + \mu \frac{u_2^t - u_1^t}{\Delta x^2} + \frac{u_2^t - u_1^t}{\Delta y^2} + g S_{0x} + \rho g \frac{n^2 u_1^t \sqrt{u_1^{t^2} + v_1^{t^2}}}{h_1^{4/3}} = 0 \quad (5.7)$$

$$\left(\frac{\rho u_1^t}{\Delta x} + \frac{\rho v_1^t}{\Delta y} + \frac{\mu}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2}\right) u_2^t + \left(\frac{-\rho g}{\Delta x}\right) h_2^t = \left(\frac{\rho (u_1^t)^2}{\Delta x} + \frac{\rho v_1^t u_1^t}{\Delta y} - \frac{\rho g h_1^t}{\Delta x} + \frac{\mu u_1^t}{\Delta x^2} + \frac{u_1^t}{\Delta y^2} - g S_{0x} - \rho g \frac{n^2 u_1^t \sqrt{u_1^{t^2} + v_1^{t^2}}}{h_1^{4/3}}\right) \quad (5.8)$$

sehingga fungsi-fungsinya didefinisikan sebagai berikut:

$$f_5 = \frac{\rho u_1^t}{\Delta x} + \frac{\rho v_1^t}{\Delta y} + \frac{\mu}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \quad (5.9)$$

$$f_6 = \frac{-\rho g}{\Delta x} \quad (5.10)$$

$$f_7 = \frac{\rho (u_1^t)^2}{\Delta x} + \frac{\rho v_1^t u_1^t}{\Delta y} - \frac{\rho g h_1^t}{\Delta x} + \frac{\mu u_1^t}{\Delta x^2} + \frac{u_1^t}{\Delta y^2} - g S_{0x} - \rho g \frac{n^2 u_1^t \sqrt{u_1^{t^2} + v_1^{t^2}}}{h_1^{4/3}} \quad (5.11)$$

Selanjutnya, untuk hasil penurunan hukum kekekalan momentum arah y:

$$\rho v_1^t \frac{v_2^t - v_1^t}{\Delta y} + \rho u_1^t \frac{v_2^t - v_1^t}{\Delta x} - \rho g \frac{h_2^t - h_1^t}{\Delta y} + \mu \frac{v_2^t - v_1^t}{\Delta y^2} + \frac{v_2^t - v_1^t}{\Delta x^2} + g S_{0y} + \rho g \frac{n^2 v_1^t \sqrt{v_1^{t^2} + u_1^{t^2}}}{h_1^{4/3}} = 0 \quad (5.12)$$

$$\left(\frac{\rho u_1^t}{\Delta x} + \frac{\rho v_1^t}{\Delta y} + \frac{\mu}{\Delta y^2} + \frac{1}{\Delta x^2} \right) v_2^t + \left(\frac{-\rho g}{\Delta y} \right) h_2^t = \left(\frac{\rho (v_1^t)^2}{\Delta y} + \frac{\rho v_1^t u_1^t}{\Delta x} - \frac{\rho g h_1^t}{\Delta y} + \frac{\mu v_1^t}{\Delta y^2} + \frac{v_1^t}{\Delta x^2} - g S_{0y} - \rho g \frac{n^2 v_1^t \sqrt{u_1^{t^2} + v_1^{t^2}}}{h_1^{4/3}} \right) \quad (5.13)$$

sehingga fungsi-fungsinya didefinisikan sebagai berikut:

$$f_8 = \frac{\rho u_1^t}{\Delta x} + \frac{\rho v_1^t}{\Delta y} + \frac{\mu}{\Delta y^2} + \frac{1}{\Delta x^2} \quad (5.14)$$

$$f_9 = \frac{-\rho g}{\Delta y} \quad (5.15)$$

$$f_{10} = \frac{\rho (v_1^t)^2}{\Delta y} + \frac{\rho v_1^t u_1^t}{\Delta x} - \frac{\rho g h_1^t}{\Delta y} + \frac{\mu v_1^t}{\Delta y^2} + \frac{v_1^t}{\Delta x^2} - g S_{0y} - \rho g \frac{n^2 v_1^t \sqrt{u_1^{t^2} + v_1^{t^2}}}{h_1^{4/3}} \quad (5.16)$$

Selanjutnya, *array* kondisi awal dan parameter akan diidentifikasi, yaitu ‘uold’ yang merupakan nilai dari $u(x)$, ‘vold’ yang merupakan nilai dari $v(x)$, ‘hold’ yang merupakan nilai dari $h(x)$, ‘unew’ yang merupakan nilai dari $u(x+dx)$, ‘vnew’ yang merupakan nilai dari $v(x+dx)$, ‘hnew’ yang merupakan nilai dari $h(x+dx)$, dan ‘par’ yang merupakan nilai dari parameter.

Kemudian tiap parameter akan diidentifikasi, yaitu ‘rho’ yang merupakan nilai dari sel massa jenis, ‘g’ yang merupakan nilai dari sel percepatan gravitasi, ‘m’ yang merupakan nilai dari viskositas, ‘sox’ yang merupakan nilai dari kemiringan dasar sungai arah x, ‘soy’ yang merupakan nilai dari kemiringan dasar sungai arah y, ‘n’ yang merupakan nilai dari koefisien *Manning*, ‘dt’ yang merupakan rentang waktu penelusuran (pada sub program *steady*, nilai ini tidak digunakan), ‘dx’ yang merupakan rentang penelusuran arah x, dan ‘dy’ yang merupakan rentang penelusuran arah y. Selain itu, didefinisikan pula ‘ny’ yang merupakan jumlah baris yang akan dihitung dan ‘nx’ yang merupakan jumlah kolom yang akan dihitung.

Langkah selanjutnya adalah perhitungan f_1 hingga f_{10} untuk seluruh baris di kolom yang letaknya setelah kolom kondisi awal. Lalu, f_1 hingga f_{10} ini

akan dijadikan matriks sehingga diperoleh nilai-nilai yang dicari, yaitu kecepatan aliran dan kedalaman air. Berikut adalah langkah perhitungannya:

$$f_1 \cdot u_2^t + f_2 \cdot v_2^t + f_3 \cdot h_2^t = f_4 \quad (5.17)$$

$$f_5 \cdot u_2^t + f_6 \cdot h_2^t = f_7 \quad (5.18)$$

$$f_8 \cdot v_2^t + f_9 \cdot h_2^t = f_{10} \quad (5.19)$$

$$\begin{bmatrix} f_1 & f_2 & f_3 \\ f_5 & 0 & f_6 \\ 0 & f_8 & f_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_2^t \\ v_2^t \\ h_2^t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_4 \\ f_7 \\ f_{10} \end{bmatrix} \quad (5.20)$$

$$\begin{bmatrix} u_2^t \\ v_2^t \\ h_2^t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1 & f_2 & f_3 \\ f_5 & 0 & f_6 \\ 0 & f_8 & f_9 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} f_4 \\ f_7 \\ f_{10} \end{bmatrix} \quad (5.21)$$

Jika matriks *array* fungsi merupakan matriks A, maka rumus untuk mencari invers matriksnya adalah:

$$A^{-1} = \frac{1}{|A|} \times Adj(A) \quad (5.22)$$

dimana

$$|A| = f_3 f_5 f_8 - f_1 f_6 f_8 - f_2 f_5 f_9 \quad (5.23)$$

$$Adj(A) = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{21} & K_{31} \\ K_{12} & K_{22} & K_{32} \\ K_{13} & K_{23} & K_{33} \end{bmatrix} \quad (5.24)$$

$$K_{11} = (-1)^{1+1} \begin{vmatrix} 0 & f_6 \\ f_8 & f_9 \end{vmatrix} = -f_6 f_8 \quad (5.25)$$

$$K_{12} = (-1)^{1+2} \begin{vmatrix} f_5 & f_6 \\ 0 & f_9 \end{vmatrix} = -f_5 f_9 \quad (5.26)$$

$$K_{13} = (-1)^{1+3} \begin{vmatrix} f_5 & 0 \\ 0 & f_8 \end{vmatrix} = f_5 f_8 \quad (5.27)$$

$$K_{21} = (-1)^{2+1} \begin{vmatrix} f_2 & f_3 \\ f_8 & f_9 \end{vmatrix} = -f_2 f_9 + f_3 f_8 \quad (5.28)$$

$$K_{22} = (-1)^{2+2} \begin{vmatrix} f_1 & f_3 \\ 0 & f_9 \end{vmatrix} = f_1 f_9 \quad (5.29)$$

$$K_{23} = (-1)^{2+3} \begin{vmatrix} f_1 & f_2 \\ 0 & f_8 \end{vmatrix} = -f_1 f_8 \quad (5.30)$$

$$K_{31} = (-1)^{3+1} \begin{vmatrix} f_2 & f_3 \\ 0 & f_6 \end{vmatrix} = f_2 f_6 \quad (5.31)$$

$$K_{32} = (-1)^{3+2} \begin{vmatrix} f_1 & f_3 \\ f_5 & f_6 \end{vmatrix} = -f_1 f_6 + f_3 f_5 \quad (5.32)$$

$$K_{33} = (-1)^{3+3} \begin{vmatrix} f_1 & f_2 \\ f_5 & 0 \end{vmatrix} = -f_2 f_5 \quad (5.33)$$

sehingga

$$A^{-1} = \frac{1}{f_3 f_5 f_8 - f_1 f_6 f_8 - f_2 f_5 f_9} \times \begin{bmatrix} -f_6 f_8 & -f_2 f_9 + f_3 f_8 & f_2 f_6 \\ -f_5 f_9 & f_1 f_9 & -f_1 f_6 + f_3 f_5 \\ f_5 f_8 & -f_1 f_8 & -f_2 f_5 \end{bmatrix} \quad (5.34)$$

$$\begin{bmatrix} u_2^t \\ v_2^t \\ h_2^t \end{bmatrix} = \frac{1}{f_3 f_5 f_8 - f_1 f_6 f_8 - f_2 f_5 f_9} \times \begin{bmatrix} -f_6 f_8 & -f_2 f_9 + f_3 f_8 & f_2 f_6 \\ -f_5 f_9 & f_1 f_9 & -f_1 f_6 + f_3 f_5 \\ f_5 f_8 & -f_1 f_8 & -f_2 f_5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_4 \\ f_7 \\ f_{10} \end{bmatrix} \quad (5.35)$$

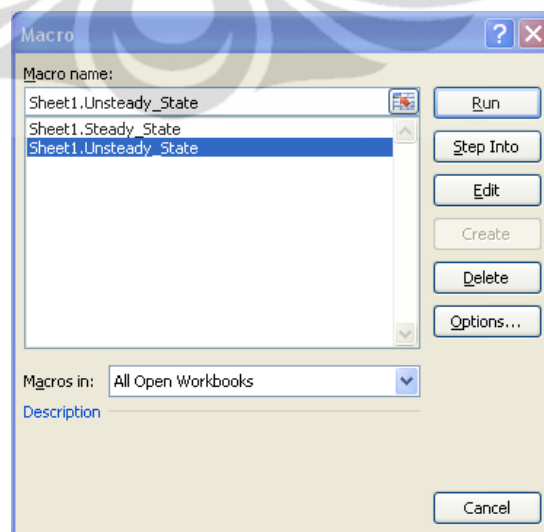
$$u_2^t = \frac{-f_6 f_8 f_4 - f_2 f_9 f_7 + f_3 f_8 f_7 + f_2 f_6 f_{10}}{f_3 f_5 f_8 - f_1 f_6 f_8 - f_2 f_5 f_9} \quad (5.36)$$

$$v_2^t = \frac{-f_5 f_9 f_4 + f_1 f_9 f_7 - f_1 f_6 f_{10} + f_3 f_5 f_{10}}{f_3 f_5 f_8 - f_1 f_6 f_8 - f_2 f_5 f_9} \quad (5.37)$$

$$h_2^t = \frac{f_5 f_8 f_4 - f_1 f_8 f_7 - f_2 f_5 f_{10}}{f_3 f_5 f_8 - f_1 f_6 f_8 - f_2 f_5 f_9} \quad (5.38)$$

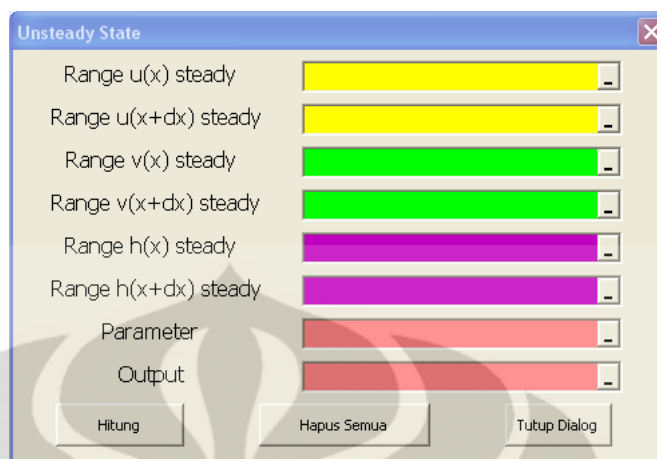
Kemudian dilakukan *looping* untuk perhitungan $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7, f_8, f_9, f_{10}, u_2^t, v_2^t,$ dan h_2^t di dx berikutnya hingga mencapai nx . Hasil akhirnya, diperoleh kecepatan aliran dan kedalaman air di sepanjang sungai.

Setelah didapatkan nilai kecepatan aliran dan kedalaman air pada kondisi *steady*, pengguna dapat menjalankan sub program kondisi *unsteady*. Sama seperti langkah memulai sub program kondisi *steady*, sub program kondisi *unsteady* dapat dijalankan dengan mengeklik *Macros* dalam *Developer Tab*. Kemudian pilih sub program ‘*Sheet1.Unsteady_State*’, lalu klik tombol *Run*.



Gambar 5.6. Pilihan Sub Program *Unsteady State*

Kemudian akan muncul kotak dialog berikut.

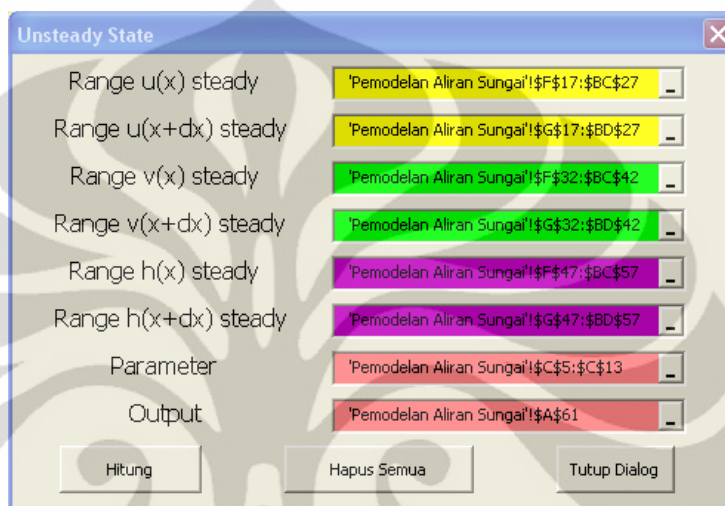


Gambar 5.7. Kotak Dialog Sub Program *Unsteady State*

Kotak isian '*Range u(x) steady*' diisi dengan sel mulai dari kolom pertama model untuk kecepatan aliran arah x hingga kolom terakhir model sungai. Jika model sungai memiliki kelokan, pembesaran, atau pengecilan penampang, pengisian *range* dilakukan secara manual, yaitu memilih sel kondisi awal dan sel kosong lain. Selanjutnya, kotak isian '*Range u(x+dx) steady*' diisi dengan sel mulai dari kolom kedua model untuk kecepatan aliran arah x, hingga satu kolom setelah kolom terakhir model sungai. Kemudian, sama seperti sebelumnya, jika terdapat kelokan, pembesaran, atau pengecilan penampang, pengisian *range* dilakukan secara manual, yaitu memilih sel kosong yang akan dihitung.

Kotak isian '*Range v(x) steady*', '*Range v(x+dx) steady*', '*Range h(x) steady*', '*Range h(x+dx) steady*' diisi sama seperti langkah pengisian '*Range u(x) steady*' dan '*Range u(x+dx) steady*'. Namun model yang dipilih adalah model kecepatan aliran arah y untuk '*Range v(x) steady*' dan '*Range v(x+dx) steady*', sedangkan pemilihan sel '*Range h(x) steady*' dan '*Range h(x+dx) steady*' adalah dari model untuk kedalaman air. Kotak isian '*Parameter*' selalu diisi sel C5 hingga sel C13, atau bentuk pengisiannya adalah seperti ini: 'Pemodelan Aliran Sungai'!\$C\$5:\$C\$13. Pada kondisi *unsteady* ini diperlukan kotak isian '*Output*', karena berbeda dengan kondisi *steady* yang sudah memiliki lokasi sel-sel kosong untuk diisi dengan hasil perhitungan. Maka itu, kotak isian '*Output*' diisi sel yang ingin dijadikan lokasi hasil perhitungan.

Sama seperti sebelumnya, jika salah memasukkan data dan ingin mengosongkan kembali kotak dialog tersebut sebelum memulai perhitungan, klik tombol ‘Hapus Semua’. Setelah bentuk sungai, parameter (data masukan), dan kondisi awal serta batas dilengkapi dan dimasukkan ke dalam dialog sub program kondisi *unsteady*, program akan mengeksekusi langkah perhitungan setelah pengguna mengklik tombol ‘Hitung’.



Gambar 5.8. Pengisian Kotak Dialog Sub Program *Unsteady State*

Jika tombol ‘Hitung’ diklik, maka program akan menjalankan algoritmanya. Langkah pertama adalah deklarasi variabel. Variabel kembali dideklarasikan karena variabel tipe *double* tidak boleh berada dalam ruang lingkup *Public*. Sesuai urutan *listing* program, yang dideklarasikan pertama adalah massa jenis (ρ), percepatan gravitasi (g), viskositas (μ), kemiringan dasar sungai arah x (S_{ox}), kemiringan dasar sungai arah y (S_{oy}), koefisien *Manning* (n), rentang waktu penelusuran (dt), jarak penelusuran arah x (dx), dan jarak penelusuran arah y (dy) sebagai variabel *double*.

Selanjutnya rentang jumlah kolom (nx), jumlah baris (ny), indeks baris (i), indeks kolom (j), dan spasi (untuk keperluan lokasi hasil perhitungan) dideklarasikan sebagai variabel *integer*. Deklarasi selanjutnya adalah *array* u, v, h saat (x), *array* u, v, h saat ($x+dx$), dan fungsi-fungsi untuk perhitungan dengan metode *Runge Kutta* sebagai *double*.

Selanjutnya, *array* kondisi *steady* akan diidentifikasi, yaitu ‘u’ yang merupakan nilai dari $u(x)$, ‘v’ yang merupakan nilai dari $v(x)$, ‘h’ yang merupakan nilai dari $h(x)$, ‘udx’ yang merupakan nilai dari $u(x+dx)$, ‘vdx’

yang merupakan nilai dari $v(x+dx)$, dan 'hdx' yang merupakan nilai dari $h(x+dx)$. Kemudian diidentifikasi juga 'par' yang merupakan nilai dari parameter dan 'out' yang merupakan lokasi sel hasil perhitungan.

Kemudian tiap parameter akan diidentifikasi, yaitu 'rho' yang merupakan nilai dari sel massa jenis, 'g' yang merupakan nilai dari sel percepatan gravitasi, 'm' yang merupakan nilai dari viskositas, 'sox' yang merupakan nilai dari kemiringan dasar sungai arah x, 'soy' yang merupakan nilai dari kemiringan dasar sungai arah y, 'n' yang merupakan nilai dari koefisien *Manning*, 'dt' yang merupakan rentang waktu penelusuran, 'dx' yang merupakan rentang penelusuran arah x, dan 'dy' yang merupakan rentang penelusuran arah y. Selain itu, didefinisikan pula 'ny' yang merupakan jumlah baris yang akan dihitung, 'nx' yang merupakan jumlah kolom yang akan dihitung, dan 'spasi' sebagai jumlah baris untuk memisahkan hasil perhitungan kecepatan aliran arah x, arah y, dan kedalaman air.

Langkah berikutnya adalah perhitungan nilai u,v, dan h pada $(t+dt)$ dengan metode *Runge Kutta* dengan rumus-rumus seperti yang telah dijabarkan pada sub bab 4.3. Lalu dilakukan *looping* untuk baris selanjutnya hingga mencapai ny , kemudian untuk kolom selanjutnya hingga mencapai nx . Akhirnya, didapatkanlah nilai u,v,h pada kondisi *unsteady* di sepanjang sungai.

Program ini kemudian diuji dengan suatu skenario. Skenario pengujian adalah untuk kondisi sungai yang lurus. Suatu sungai memiliki lebar 30 m, kedalaman 3 m, kecepatan rata-rata 1,5 m/s, dan panjang sejauh 1 km. Pada pemodelan ini dibatasi perhitungan hanya sampai panjang sungai 150 m agar mempermudah dalam hal pengujian. Data-data lain yang dibutuhkan adalah parameter dan persebaran kecepatan sungai. Untuk parameter diketahui bahwa massa jenis air sungai sebesar 1000 kg/m^3 , percepatan gravitasi sebesar $9,81 \text{ m}^2/\text{s}$, viskositas air sungai (suhu 28°C) sebesar $0,8418 \times 10^{-3} \text{ N.s/m}^2$, *slope* sungai sebesar 5×10^{-4} , dan dasar sungai ditumbuhi rerumputan yang tebal. Persebaran kecepatan diperoleh dari perhitungan langsung di lapangan, namun pada pengujian ini digunakan data hipotetik.

Berdasarkan data-data tersebut, dapat diprediksi bahwa kecepatan aliran dan kedalaman air di sungai tersebut tidak akan mengalami perubahan yang signifikan, karena tidak ada perubahan penampang pada sungai.

Dalam model ini, ditetapkan bahwa jarak penelusuran dalam arah x sama dengan jarak penelusuran arah y, yaitu 3 m. Sehingga menurut kondisi *Courant*, dt harus lebih kecil dari 2 s. Kemudian, karena dasar sungai ditumbuhi rerumputan yang tebal, maka berdasarkan tabel koefisien Manning, nilai n ditetapkan sebesar 0,035.

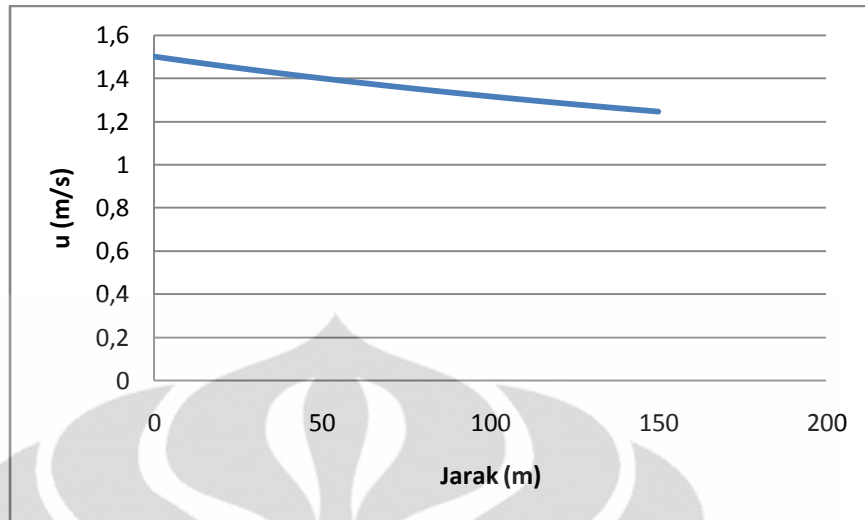
Setelah data masukan lengkap, maka selanjutnya dilakukan proses pembuatan model. Langkah pertama adalah memasukkan parameter tersebut ke dalam tabel data masukan. Diperoleh:

Tabel 5.1. Data Masukan untuk Kondisi Sungai Lurus

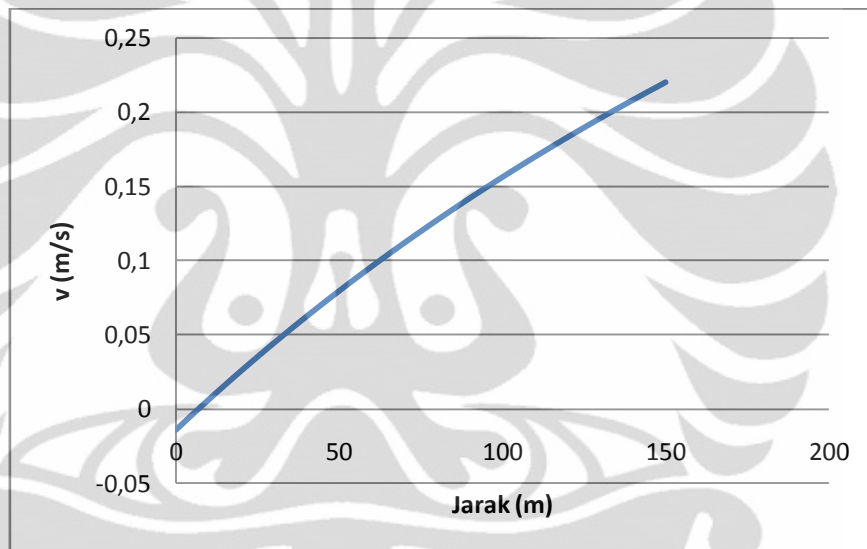
Data Masukan	Simbol	Besaran	Satuan
Massa Jenis	ρ	1000	kg/m ³
Gravitasi	g	9,81	m/s ²
Viskositas	μ	0,0008481	N.s/m ²
Kemiringan Dasar Saluran Arah x	Sox	0,006667	m/m
Kemiringan Dasar Saluran Arah y	Soy	0	m/m
Koefisien Manning	n	0,035	
Waktu Penelusuran	dt	1,8	s
Jarak Penelusuran Arah x	dx	3	m
Jarak Penelusuran Arah y	dy	3	m

Berikutnya, dibuat 3 buah model sungai dengan lebar 30 dan panjang 1 km, dengan dx dan dy masing-masing sebesar 3 m. Oleh karena panjang sungai yang ditinjau adalah 150 m dan lebar sungainya 50 m, maka dengan dx sebesar 3 m dan dy sebesar 3 m, dibuat model sungai mulai dari sel F17 hingga sel BD57 (3 model), yaitu 51 sel untuk sumbu x dan 11 sel untuk sumbu y.

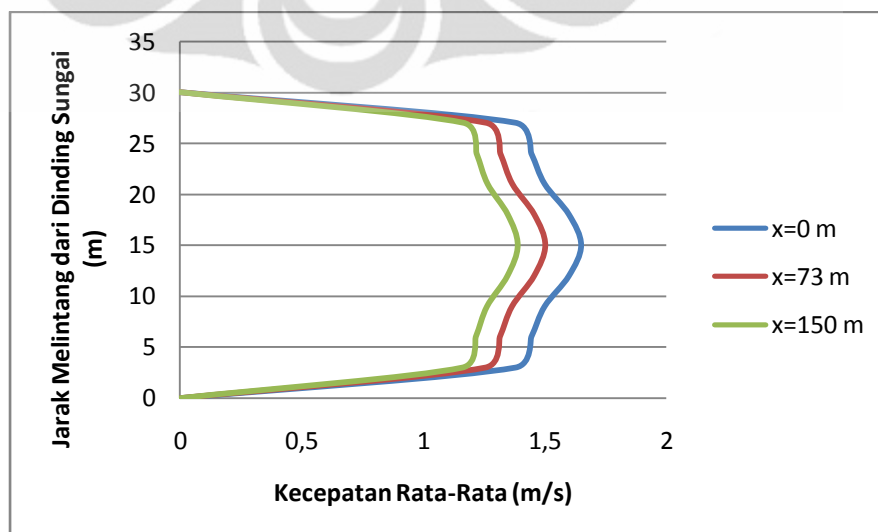
Setelah program dijalankan, diperoleh hasil kecepatan aliran arah x, y, dan kedalaman air, yang secara lengkap ditampilkan tabelnya pada lampiran. Berikut ini ditampilkan grafik yang menggambarkan hasil perhitungan program di sungai tersebut.



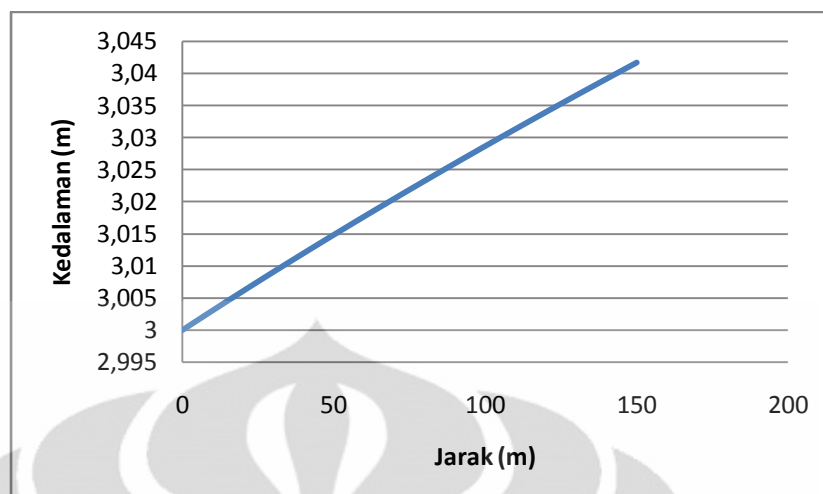
Gambar 5.9. Grafik Persebaran Kecepatan Arah x di Sepanjang Sungai untuk *Steady State*



Gambar 5.10. Grafik Persebaran Kecepatan Arah y di Sepanjang Sungai untuk *Steady State*



Gambar 5.11. Grafik Distribusi Kecepatan untuk *Steady State*



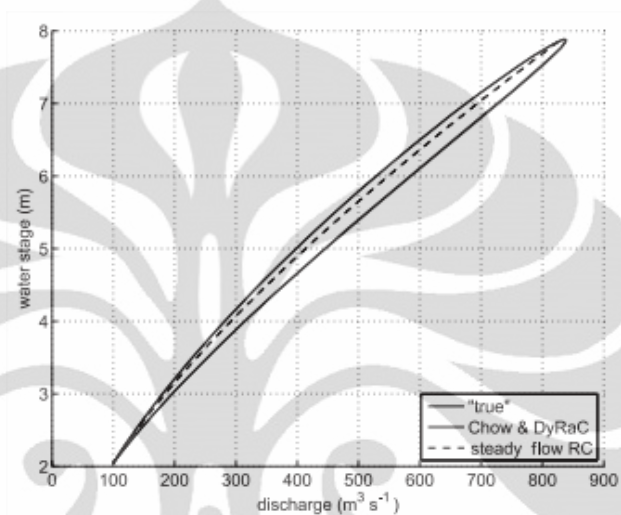
Gambar 5.12. Grafik Kedalaman Air di Sepanjang Sungai untuk *Steady State*

Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa kecepatan rata-rata sungai menuju hilir memiliki *trend* turun. Hal ini sesuai dengan teori bahwa kecepatan sungai menuju hilir makin kecil dan kedalaman air menuju hilir juga mengalami pendangkalan. Kedalaman air yang berkurang dapat diartikan bahwa elevasi dasar sungai menuju hilir semakin naik. Pada kenyataannya, kedalaman sungai makin dangkal menuju hilir akibat sedimentasi. Namun pada model ini tidak terdapat sedimentasi, sehingga seharusnya tidak ada perubahan yang signifikan terhadap kecepatan dan kedalaman air. Selain itu, setelah dilakukan pengecekan terhadap debitnya, diperoleh hasil bahwa semakin ke hilir, debit semakin kecil. Hal ini juga tidak memenuhi persamaan massa dimana debit antar *control volume* harus bernilai statis. Karena kondisi *steady* tidak memenuhi teori, maka pengujian tidak dilanjutkan untuk kondisi *unsteady*.

Pada saat memasukkan kondisi batas, kecepatan arah x dan y diisi bernilai 0. Hal ini terjadi karena pada awalnya diasumsikan bahwa tidak ada aliran jika *control volume* terletak di dekat dinding. Namun, nilai 0 ini tidak akan mewakili dx dan dy yang dipilih, sehingga pada pengujian berikutnya, kondisi batas untuk kecepatan tidak diisi dengan nilai 0. Hasil perhitungannya disampaikan pada lampiran. Selanjutnya hasil perhitungan dibuat grafik seperti pengujian sebelumnya, namun ternyata hasilnya tidak sesuai teori lagi.

Ketidaksesuaian dengan teori tersebut mungkin disebabkan oleh ketidaksesuaian kondisi batas yang dimasukkan. Maka itu dicari hubungan

antara suatu nilai debit dan kedalaman air. Hubungan ini diplot pada sebuah grafik yang bernama *rating curve*. Perbaikan selanjutnya dilakukan bagi kondisi batas dengan mencari *rating curve* yang kondisi sungainya sama dengan kondisi sungai model. Atau jika sulit mencarinya, dapat diganti model sungai yang sudah memiliki *rating curve*. Berikut adalah contoh *rating curve* yang digunakan.



Gambar 5.13. *Rating Curve*

(Sumber: Dottori F. et al, *A Dynamic Rating Curve Approach to Indirect Discharge Measurement*, 2009)

Namun hasil yang diperoleh juga masih tidak memenuhi teori. Kemungkinan kesalahan terjadi akibat kesalahan pemasukan rumus dalam *listing*. Benar saja, ternyata ada salah satu suku yang kurang variabel viskositas dan diubah lagi seluruh rumus yang digunakan. Namun, diperoleh hasil yang makin tidak mendekati teori. Penelusuran pertama menghasilkan nilai kecepatan arah x dan kedalaman air yang negatif. Maka itu, diubah fungsi matriksnya dengan mengalikan tiap fungsi dengan -1. Sehingga kedua nilai variabel tersebut tidak negatif. Ternyata kesalahan ini terjadi karena saat mengidentifikasi rumus dan mencari nilai u, v, dan h pada jarak selanjutnya, dilakukan pemindahan ruas untuk semua suku kecuali suku *unsteady*. Seharusnya tidak perlu demikian karena pada kondisi *steady*, turunan variabel terhadap waktu sudah bernilai 0.

Kemudian *listing* program diubah kembali. Akan tetapi hasil yang diperoleh juga tidak mendekati teori. Walaupun kecepatan menuju hilir terus

menurun, namun penurunan ini tidak mencapai nilai yang konvergen, sehingga pada suatu jarak dan waktu nilai kecepatan arah x akan negatif serta kedalaman air akan bernilai tidak wajar (> 10 m). Penelusuran waktu hanya dapat dilakukan hingga 3 kali penelusuran, karena selebihnya akan menghasilkan nilai yang tidak wajar.

Kemungkinan besar, hasil ini terjadi karena metode beda hingga yang digunakan adalah metode *forward*, sehingga butuh menggunakan *setting* data yang tepat agar hasilnya sesuai teori. Namun seperti yang telah dijelaskan pada bab 4, jika menggunakan metode *central difference*, maka akan sulit dalam pembuatan matriks fungsi karena implisit terhadap variabel yang ingin dicari. Selain itu, pada rumus dasar juga dibutuhkan bentuk beda hingga dari turunan kedua. Karena sulit mencari bentuk turunan kedua dari metode *central*, maka akhirnya digunakan bentuk dari metode *forward*, yang merupakan rumus turunan dari *Taylor series*.

Kemudian, jika pada sel yang berdekatan diisi nilai yang sama, maka program akan tidak akan berjalan. Proses *debugging* menghasilkan pernyataan '*subscript out of range*'. Setelah ditelusuri pada *listing*, diperoleh bahwa beberapa fungsi bernilai '*empty*'. Hal ini berarti ada beberapa variabel masukan yang tidak terbaca.

Selanjutnya, lagi-lagi dilakukan pengecekan lagi terhadap rumus yang digunakan. Ternyata kesalahan terletak pada penulisan indeks ruang. Seharusnya penulisan tersebut dibedakan antara indeks arah x dan indeks arah y. Sehingga hasil beda hingganya memiliki perbedaan penelusuran. Maka itu, indeks ruang pada rumus dasar diperbaiki menjadi i, j seperti yang tertulis pada sub bab 4.2. Kemudian dilakukan 2 kali penelusuran untuk kondisi *steady*, yaitu arah x dan arah y. Setelah dibuat matriks fungsinya dan siap dimasukkan dalam *listing*, baru disadari ternyata penelusuran tersebut tidak bisa dilakukan terpisah karena masing-masing rumus membutuhkan nilai yang merupakan hasil perhitungan dari penelusuran arah lainnya. Sehingga seharusnya untuk mencari 6 variabel ($u_{i,j+1}$, $v_{i,j+1}$, $h_{i,j+1}$, $u_{i+1,j}$, $v_{i+1,j}$, $h_{i+1,j}$) dibutuhkan 6 persamaan. Namun penurunan hukum kekekalan hanya

menghasilkan 3 persamaan. Sehingga tidak mungkin keenam nilai tersebut didapatkan.

Akhirnya, dijalankanlah program tanpa sub program kondisi *steady*. Sehingga pada dasarnya, *listing* hanya dibuat untuk kondisi *unsteady*. Untuk mencari *initial condition* (kondisi *steady*), maka diperlukan *initial guess* dan program dijalankan dengan memasukkan dt sebesar 0 s. Setelah hasil mencapai nilai yang konvergen, maka penelusuran dapat dilanjutkan untuk kondisi *unsteady* dengan mengubah $dt > 0$ s.

5.2. Pengecekan Keakurasian

Setelah menjalankan program, dilakukan pengecekan terhadap keakurasian dari hasil penelusuran. Pengecekan yang akan dilakukan adalah pengecekan terhadap ketiga persamaan awal, yaitu rumus kekekalan massa, kekekalan momentum arah x, dan kekekalan momentum arah y. Sel yang akan diuji adalah sel pada kondisi *steady*, karena sel pada kondisi *unsteady* mengandung suku perubahan variabel terhadap waktu, sehingga saat dimasukkan dalam persamaan massa ataupun momentum nilainya tidak akan 0. Skenario model sungai adalah sungai lurus, lebar 50 m, debit 300 m³/s, kedalaman air 4 m, kecepatan rata-rata 1,5 m/s, dan parameter seperti pada gambar berikut:

1	Pemodelan Beda Hinggi Aliran Sungai Dua Dimensi			
2				
3				
4	Data Masukan	Simbol	Besaran	Satuan
5	Massa Jenis	ρ	1000	kg/m ³
6	Gravitasi	g	9,81	m/s ²
7	Viskositas	μ	0,00084	N.s/m ²
8	Kemiringan Dasar Saluran Arah x	Sox	0,0005	m/m
9	Kemiringan Dasar Saluran Arah y	Soy	0	m/m
10	Koefisien Manning	n	0,035	
11	Waktu Penelusuran	dt	0	s
12	Jarak Penelusuran Arah x	dx	5	m
13	Jarak Penelusuran Arah y	dy	5	m

Gambar 5.14. Pengisian Parameter Skenario Model

Sel yang akan diuji adalah ketiga sel hasil penelusuran yang memiliki warna sel di bawah ini:

Tabel 5.2. Sel Kecepatan Arah X

1,434369	1,422491	1,410882
1,446527	1,434369	1,422491

1,458976	1,446527	1,434369
----------	----------	----------

Tabel 5.3. Sel Kecepatan Arah Y

-0,33757	-0,32592	-0,31453
-0,3495	-0,33757	-0,32592
-0,36171	-0,3495	-0,33757

Tabel 5.4. Sel Kedalaman Air

3,874831	3,875632	3,876426
3,87402	3,874831	3,875632
3,873202	3,87402	3,874831

Ketiga persamaan untuk menguji hasil tersebut adalah:

$$u_{i,j}^t \frac{h_{i,j+1}^t - h_{i,j}^t}{\Delta x} + h_{i,j}^t \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x} + v_{i,j}^t \frac{h_{i+1,j}^t - h_{i,j}^t}{\Delta y} + h_{i,j}^t \frac{v_{i+1,j}^t - v_{i,j}^t}{\Delta y} = 0 \quad (5.39)$$

$$u_{i,j}^t \frac{u_{i,j+1}^t - u_{i,j}^t}{\Delta x} + v_{i,j}^t \frac{u_{i+1,j}^t - u_{i,j}^t}{\Delta y} - g \frac{h_{i,j+1}^t - h_{i,j}^t}{\Delta x} + \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i,j+1}^t - 2u_{i,j}^t + u_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} + \frac{\mu}{\rho} \frac{u_{i+1,j}^t - 2u_{i,j}^t + u_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} - gS_{0x} + g \frac{n^2 u_{i,j}^t \sqrt{u_{i,j}^t{}^2 + v_{i,j}^t{}^2}}{h_{i,j}^t{}^{4/3}} = 0 \quad (5.40)$$

$$v_{i,j}^t \frac{v_{i+1,j}^t - v_{i,j}^t}{\Delta y} + u_{i,j}^t \frac{v_{i,j+1}^t - v_{i,j}^t}{\Delta x} - g \frac{h_{i+1,j}^t - h_{i,j}^t}{\Delta y} + \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i+1,j}^t - 2v_{i,j}^t + v_{i-1,j}^t}{\Delta y^2} + \frac{\mu}{\rho} \frac{v_{i,j+1}^t - 2v_{i,j}^t + v_{i,j-1}^t}{\Delta x^2} - gS_{0y} + g \frac{n^2 v_{i,j}^t \sqrt{u_{i,j}^t{}^2 + v_{i,j}^t{}^2}}{h_{i,j}^t{}^{4/3}} = 0 \quad (5.41)$$

Maka hasil perhitungannya adalah:

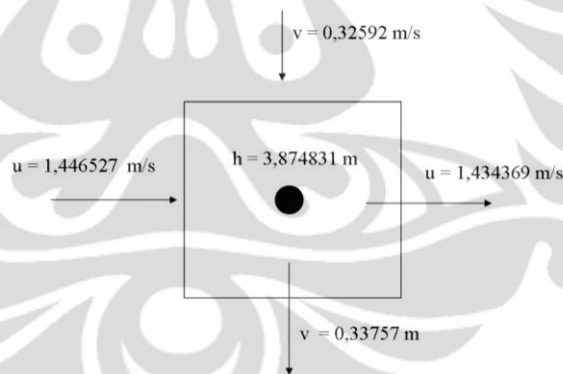
$$1,434369 \frac{3,875632 - 3,874381}{5} + 3,874381 \frac{1,422491 - 1,434369}{5} + (-0,33757) \frac{3,87402 - 3,874381}{5} + 3,874381 \frac{(-0,3495) - (-0,33757)}{5} = -0,01817 \quad (5.42)$$

$$1,434369 \frac{1,422491 - 1,434369}{5} + (-0,33757) \frac{1,446527 - 1,434369}{5} - 9,81 \frac{3,875632 - 3,874381}{5} + \frac{0,8481}{1000} \frac{1,422491 - 2 \cdot 1,434369 + 1,446527}{5^2} + \frac{0,8481}{1000} \frac{1,446527 - 2 \cdot 1,434369 + 1,422491}{5^2} - \frac{9,81 \cdot 5}{10000} + 9,81 \frac{0,035^2 \cdot 1,434369 \sqrt{1,434369^2 + (-0,33757)^2}}{3,874381^{\frac{4}{3}}} = -0,0081 \quad (5.43)$$

$$\begin{aligned}
& (-0,33757) \frac{(-0,3495) - (-0,33757)}{5} + 1,434369 \frac{(-0,32592) - (-0,33757)}{5} - \\
& 9,81 \frac{3,87402 - 3,874381}{5} + \frac{0,8481}{1000} \frac{(-0,3495) - 2(-0,33757) + (-0,32592)}{5^2} + \\
& \frac{0,8481}{1000} \frac{(-0,32592) - 2(-0,33757) + (-0,3495)}{5^2} - 9,81.0 + \\
& 9,81 \frac{0,035^2 (-0,33757) \sqrt{1,434369^2 + (-0,33757)^2}}{3,874381^{\frac{4}{3}}} = 0,00476 \quad (5.44)
\end{aligned}$$

Hasil perhitungan secara manual menunjukkan bahwa hasil penelusuran pada program tidak memenuhi akurasi karena persamaannya tidak bernilai 0, walaupun nilainya mendekati. Hal ini terjadi karena pengaruh nilai dx dan dy serta metode *forward* yang digunakan. Jika dx dan dy lebih kecil, maka hasilnya akan lebih akurat. Selain itu, jika digunakan *central difference*, hasilnya juga akan lebih akurat karena *slope* antar bilangannya mewakili.

Jika dilakukan pengecekan terhadap *flux* massa yang keluar masuk sistem di titik tersebut, maka dihitung selisih *flux* yang keluar masuk. Berikut adalah gambaran sel yang akan dihitung *flux* massanya.



Gambar 5.15. Sel yang Diuji

Pengujian *flux* arah x:

$$\begin{aligned}
Q_{in} - Q_{out} &= (1,434369 \times 3,874831 \times 5) - (1,446527 \times 3,874831 \times \\
& 5) = -0,012 \quad (5.45)
\end{aligned}$$

Pengujian *flux* arah y:

$$\begin{aligned}
Q_{in} - Q_{out} &= (0,32592 \times 3,874831 \times 5) - (0,33757 \times 3,874831 \times 5) = \\
& -0,012 \quad (5.46)
\end{aligned}$$

Pada pengecekan ini juga terlihat bahwa hasil perhitungan program tidak akurat, karena selisih debitnya tidak sama dengan 0. Alasannya sama, yaitu

akibat metode yang digunakan dan akibat pengaruh penentuan besarnya dx dan dy atau jarak penelusuran (ukuran *control volume* pada tiap sel).

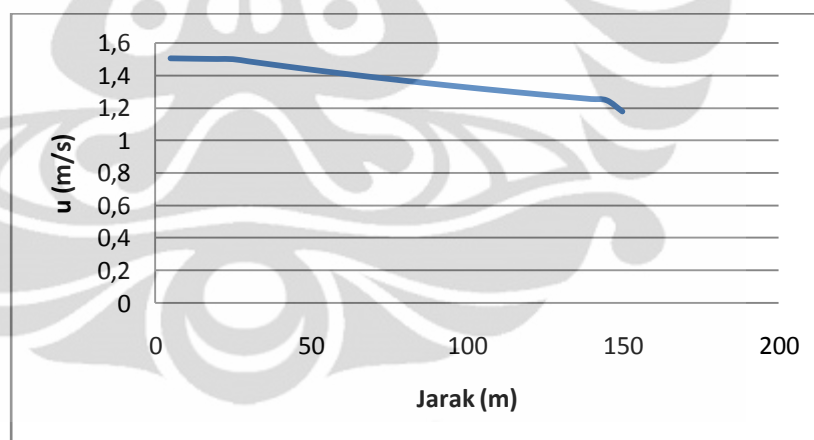
5.3. Analisa Perubahan Kondisi Model

Langkah berikutnya untuk menguji program adalah dengan melakukan perubahan kondisi model dan menganalisa keakuratannya dengan teori.

5.3.1. Kondisi Sungai Lurus

Skenario pertama yang dibuat adalah sama seperti skenario saat melakukan pengujian di sub bab 5.1. Berdasarkan data-data tersebut, dapat diprediksi bahwa kecepatan aliran dan kedalaman air di sungai tersebut tidak akan mengalami perubahan yang signifikan, karena tidak ada perubahan penampang pada sungai.

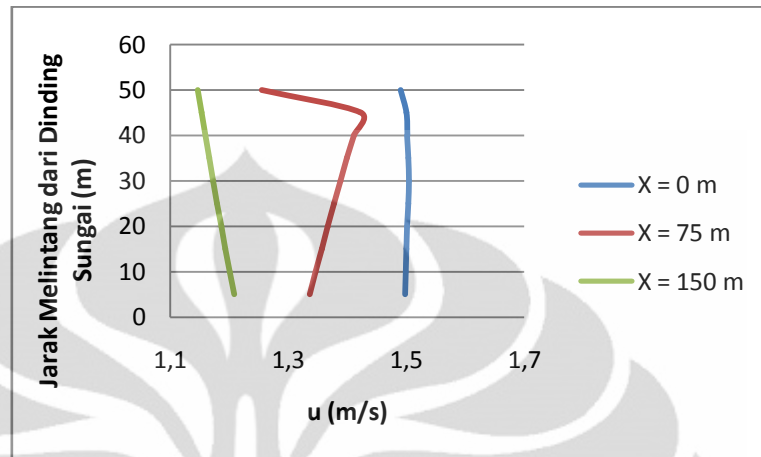
Setelah program dijalankan, diperoleh hasil kecepatan aliran arah x , y , dan kedalaman air, yang secara lengkap ditampilkan tabelnya pada bagian lampiran. Berikut ini ditampilkan grafik yang menggambarkan hasil perhitungannya.



Gambar 5.16. Grafik Kecepatan Sungai Lurus Sepanjang Sungai

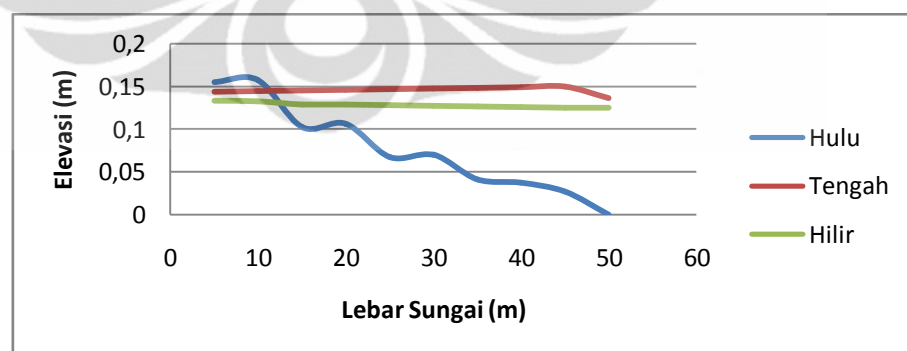
Dalam penelusuran model ini, diperlukan 10 kali menjalankan program dalam kondisi *steady* agar diperoleh nilai yang konvergen sebagai *initial condition*. Berdasarkan grafik di atas, terlihat bahwa makin ke hilir, kecepatan berkurang. Hal ini sesuai dengan teori. Namun seharusnya alasan kecepatan berkurang adalah akibat kemiringan dasar sungai yang melandai makin ke hilir dan penampang sungai yang membesar ke hilir. Akan tetapi, dalam model sungai yang

diasumsikan *uniform* ini, kecepatan sungai makin berkurang. Kemungkinan hal ini disebabkan oleh metode beda hingga yang digunakan sangat sensitif terhadap *setting* data.



Gambar 5.17. Grafik Distribusi Kecepatan Sungai di Hulu, Tengah, dan Hilir Sungai

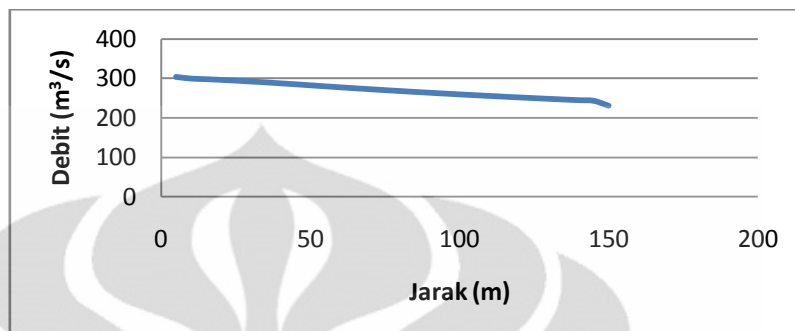
Persebaran kecepatan pada ruas sungai tersebut menandakan bahwa kecepatan di hulu lebih besar daripada di hilir, namun distribusinya tidak jauh berbeda. Distribusi kecepatan di ruas tengah sungai terlihat sangat signifikan, dimana kecepatan terbesar tidak berada di tengah sungai, namun menuju dinding. Hal ini jelas tidak sesuai dengan teori yang seharusnya, dimana kecepatan terbesar harus berada di tengah-tengah ruas sungai.



Gambar 5.18. Bentuk Dasar Sungai

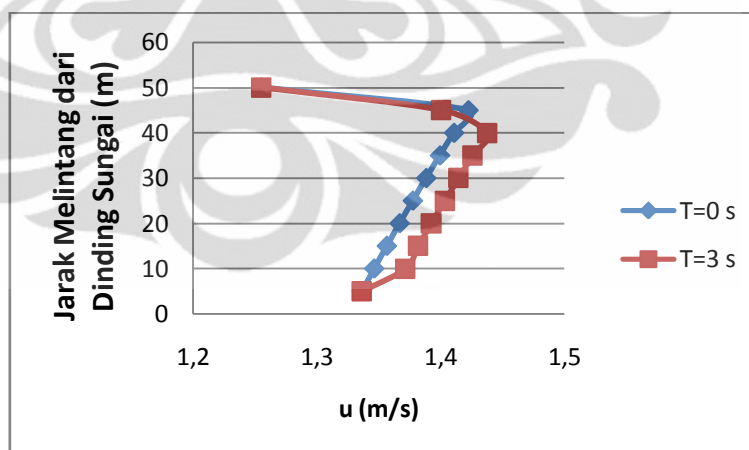
Terlihat bahwa bentuk dasar sungai sangat tidak sesuai dengan teorinya, dimana bagian tengah harus lebih dalam dibandingkan bagian yang dekat dengan dinding, akibat bagian yang dekat dengan dinding banyak mengalami sedimentasi, sehingga menambah elevasi dasar

sungai dan mengurangi kedalaman sungai. Kedalaman air di bagian tengah juga rata-rata lebih rendah dibandingkan dasar sungai di hulu dan di hilir. Seharusnya di hilirlah yang kondisinya seperti itu.



Gambar 5.19. Debit Sepanjang Sungai

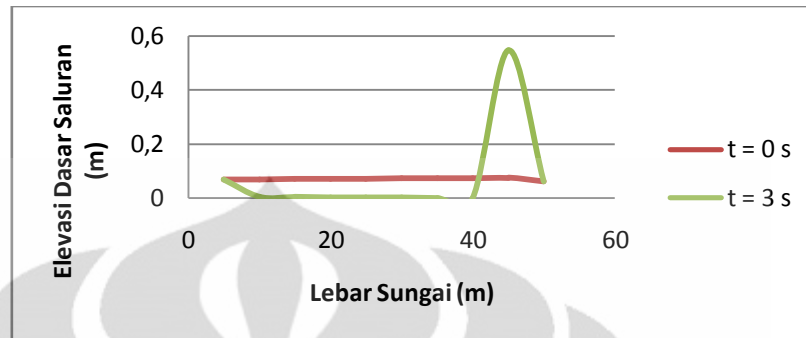
Debit di sepanjang sungai harusnya konstan, namun terjadi pengurangan pada hasil perhitungan. Hal ini kemungkinan diakibatkan kesalahan penggunaan metode beda hingga. Untuk program yang dijalankan secara *unsteady*, diperoleh bahwa program tidak bisa menelusuri lebih dari satu kali, karena terlihat bahwa nilai hasil penelusuran kedua tidak wajar. Berikut ini adalah hasil penelusurannya di ruas sungai bagian tengah.



Gambar 5.20. Kecepatan Sungai menurut Waktu

Terlihat bahwa penelusuran menurut waktu akan menambah nilai kecepatan di titik yang sama, terlihat juga bahwa kecepatan maksimum sungai bergerak ke tengah ruas, sehingga alirannya miring ke arah

kanan sungai. Kemudian dapat dilihat perubahan kedalaman air menurut waktu sebagai berikut.

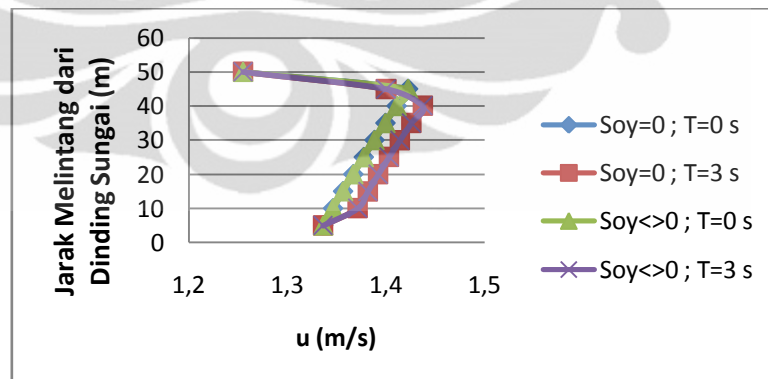


Gambar 5.21. Elevasi Dasar Saluran menurut Waktu

Makin ditelusuri, ternyata kedalaman air memberikan hasil lebih baik. Kedalaman di dekat dinding sungai menjadi lebih besar daripada kedalaman di tengah sungai.

5.3.2. Kondisi Sungai yang Memiliki Kemiringan Arah Y

Selanjutnya dilakukan perubahan parameter berupa adanya kemiringan sungai arah y. Hal ini seharusnya akan menyebabkan kecepatan di bagian dinding sungai yang berada di superelevasi akan lebih besar dibandingkan sisi lainnya. Berikut adalah perbandingan perhitungan program yang digambarkan dengan grafik.



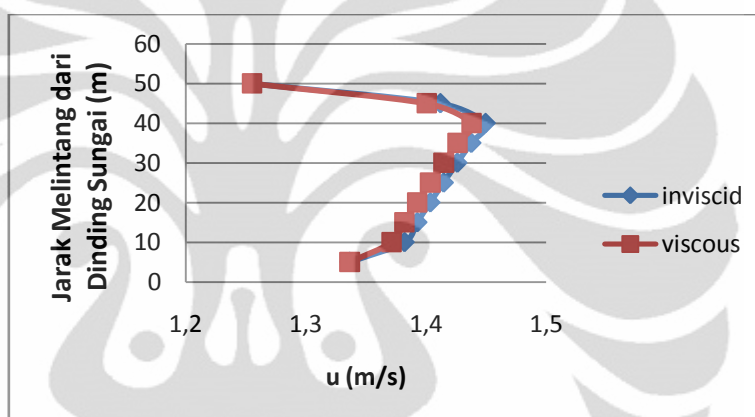
Gambar 5.22. Perbandingan Kecepatan Sungai dengan dan tanpa S_{0y}

Terlihat pada grafik bahwa nilai kecepatan untuk kondisi sungai yang tidak memiliki kemiringan arah y dan kecepatan untuk kondisi sungai yang memiliki kemiringan arah y berhimpit. Hal ini terjadi karena besarnya kemiringan arah y yang dimasukkan dalam parameter sangatlah kecil, yaitu $5/100000$. Nilai ini diambil karena harus jauh

lebih kecil dibandingkan kemiringan arah x . Kemiringan arah x pada parameter adalah $5/10000$, dimana nilai ini disesuaikan dengan model sungai yang sudah memiliki *rating curve*. Sehingga perubahan S_{0y} tidak berpengaruh/ tidak mengubah hasil perhitungan kecepatan pada sungai yang kondisinya tidak memiliki kemiringan arah y .

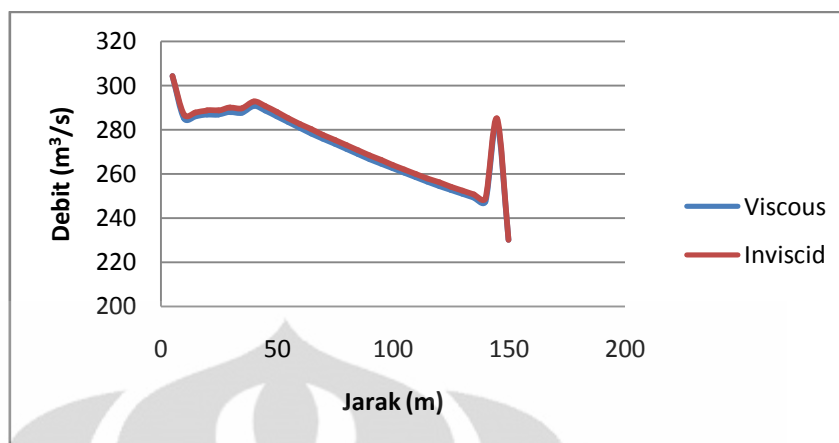
5.3.3. Kondisi Sungai Lurus dengan Nilai Gesekan dan Viskositas yang Kecil

Selanjutnya dilakukan pemodelan terhadap sungai yang nilai gesekan dan viskositasnya kecil. Tujuan dimodelkan kondisi ini adalah untuk mengetahui besar atau tidaknya pengaruh kedua nilai tersebut terhadap keakuratan hasil penelusuran. Berikut ini adalah hasilnya.



Gambar 5.23. Perbandingan Kecepatan Sungai dengan Nilai Gesekan Besar dan Kecil

Pada waktu dan posisi yang sama, kecepatan aliran tanpa gesekan lebih besar nilainya dibandingkan kecepatan aliran yang memiliki gaya gesek yang relatif besar. Hal ini sudah sesuai dengan teori bahwa dengan mengurangi gesekan, kecepatan aliran akan semakin besar. Untuk meninjau keakuratan dari persamaan massa, maka perlu dicek kondisi debitnya di sepanjang sungai.



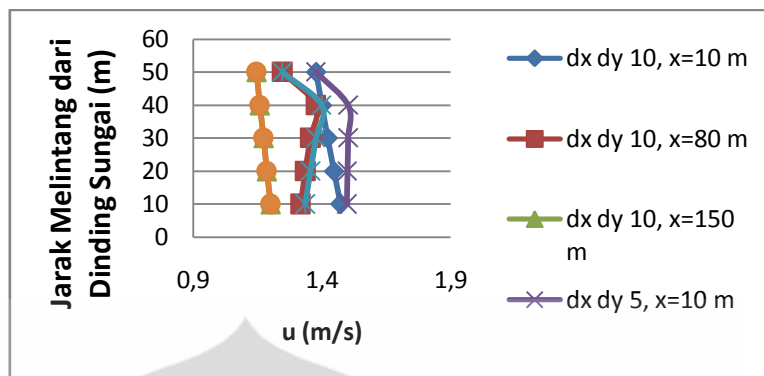
Gambar 5.24. Perbandingan Debit Kondisi *Unsteady* Sungai dengan Nilai Gesekan Besar dan Kecil

Walaupun masih tidak akurat, namun pengurangan gesekan ini berpengaruh pada pengecilan nilai pengurangan debit di sepanjang sungai. Pengurangan debitnya menjadi tidak terlalu jauh dibandingkan nilai semula dibandingkan pada kondisi gesekan yang besar. Hal ini membuktikan bahwa metode *forward* sangat sensitif terhadap *setting* data, karena jika satu aspek sesuai, maka belum tentu aspek lainnya sesuai dengan teori. Jika ingin semua aspek tinjauan sesuai dengan teori, maka perlu dicari batasan debit sungai, dx , dan dy yang dapat menjadikan perhitungan akurat.

5.3.4. Perbedaan Masukan dx dan dy

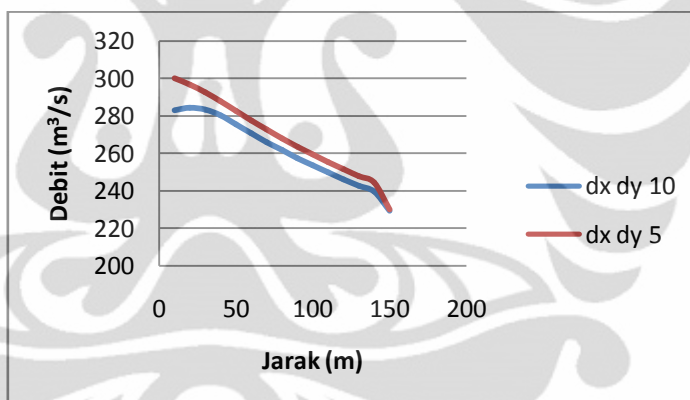
Selanjutnya, dilakukan pemodelan dengan perubahan dx dan dy . Pada kondisi sebelumnya, nilai dx dan dy yang dimasukkan pada parameter adalah 5 m, namun sekarang diperbesar menjadi 10 m. Seharusnya, program tidak sensitif terhadap perubahan jarak, yakni variabelnya akan bernilai sama pada jarak yang sama walaupun berbeda rentang jarak penelusuran.

Untuk mencapai kondisi konvergen, pada model ini hanya dibutuhkan 4 kali penelusuran kondisi *unsteady* dengan $dt=0$. Hal ini terjadi karena jumlah baris dan kolom model menjadi lebih sedikit dibandingkan sebelumnya.



Gambar 5.25. Perbandingan Kecepatan dengan Rentang Jarak Penelusuran yang Berbeda

Berdasarkan grafik terlihat bahwa dengan memperbesar rentang jarak penelusuran, pengurangan kecepatan di sepanjang sungai menjadi semakin besar. Sehingga dapat dikatakan bahwa program bersifat sensitif terhadap pembesaran rentang jarak penelusuran. Jika dilihat berdasarkan debitnya, berikut adalah hasil perbandingannya.



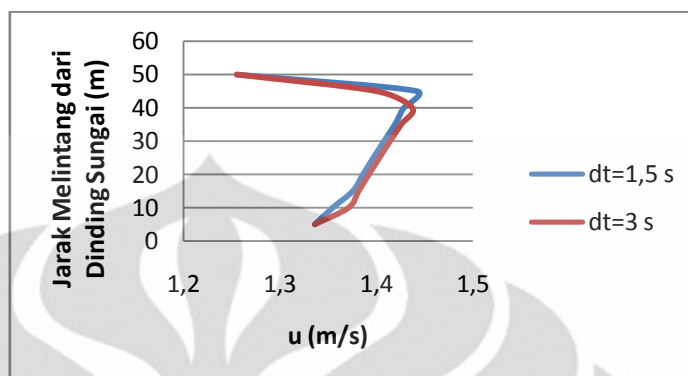
Gambar 5.26. Perbandingan Debit dengan Rentang Jarak Penelusuran yang Berbeda

Debit yang dihasilkan yang jarak penelusurannya lebih besar akan menambah penurunan debit. Pada kondisi awal yang harusnya debit bernilai $300 \text{ m}^3/\text{s}$, jika rentang jarak penelusuran diperbesar, debitnya menurun jadi bernilai $283 \text{ m}^3/\text{s}$.

5.3.5. Perubahan Rentang Waktu Penelusuran

Selanjutnya dilakukan perbandingan dengan mengubah rentang waktu penelusuran. Rentang waktu penelusuran yang pada kondisi model awal sebesar 3 s diperkecil menjadi 1,5 s. Hasilnya didapatkan bahwa variabel hasil perhitungan kedua model itu bernilai tidak wajar setelah mencapai $t=6 \text{ s}$. Namun jelas jumlah penelusurannya berbeda,

jika $dt=3s$ maksimal penelusuran hanya 1 kali, sedangkan untuk $dt=1,5$ maksimal penelusuran adalah 3 kali. Kesemua penelusuran itu dilakukan hingga mencapai kurang dari $t=6$ s.



Gambar 5.27. Perbandingan Kecepatan dengan Rentang Waktu Penelusuran yang Berbeda pada $t = 3$ s

Karena nilai kedua macam penelusuran ini berbeda pada waktu yang sama, maka dapat dikatakan bahwa program sensitif terhadap perubahan rentang waktu penelusuran. Hal ini sebaiknya tidak terjadi.

5.3.6. Kondisi Sungai Berkelok, Ruas Melebar, dan Ruas Menyempit

Terakhir, program dicoba untuk memodelkan bentuk sungai dengan kelokan, pembesaran (ruas melebar), dan pengecilan penampang (ruas menyempit). Model yang pertama dicoba adalah pembesaran penampang. Bentuk modelnya dapat dilihat pada lampiran. Dengan menghitung terlebih dahulu pada ruas yang belum berubah penampangnya, dihasilkan ketiga variabel yang ingin dicari pada ruas sebelum mengalami pembesaran penampang. Kemudian diketahui bahwa dalam program diatur kondisi batasnya statis. Jika seperti ini, ujung-ujung ruas tersebut nilainya tidak akan berubah, sehingga akan menyebabkan perhitungan pada ruas selanjutnya tidak akurat. Maka itu uji coba dihentikan.

Sama halnya dengan pengecilan penampang dan sungai yang memiliki kelokan, nilai variabel pada kondisi batas di ruas pertama yang dihitung tidak akan berubah. Sehingga pada sel selanjutnya, langkah akan menyalahi algoritma perhitungan. Terjadinya masalah ini adalah akibat algoritma program yang terlalu kaku atau tidak fleksibel terhadap perubahan penampang model.

BAB 6 PENUTUP

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan analisa yang telah dilakukan, berikut ini disampaikan kesimpulan yang diperoleh:

1. Hasil perhitungan program menjamin kepresisian namun tidak seluruhnya akurat karena tidak sesuai dengan beberapa teori.
2. Untuk membuat program, cukup digunakan 1 algoritma, yaitu untuk kondisi *unsteady*. Kondisi *steady* diperoleh dengan menetapkan $dt = 0$ s pada kondisi *unsteady* dan program dijalankan hingga mencapai nilai yang konvergen.
3. Penetapan *boundary* dan *initial condition* harus disesuaikan dengan *rating curve* dan teori persebaran kecepatan di penampang melintang sungai.
4. Penggunaan metode *forward difference* memberi kemudahan karena bersifat eksplisit terhadap variabel yang dicari namun konsekuensinya menyebabkan program sensitif terhadap *setting* data, karena harus dicari kondisi yang sesuai agar hasilnya akurat.
5. Semakin bertambahnya waktu penelusuran, kecepatan aliran di titik yang sama akan bertambah dan kedalaman air di titik yang sama akan semakin mendekati teori.
6. Karena nilainya sangat kecil, kemiringan sungai arah y tidak berpengaruh terhadap hasil perhitungan.
7. Aliran yang gesekannya kecil memiliki kecepatan yang lebih besar dibandingkan aliran yang nilai gesekannya besar.
8. Jumlah penelusuran untuk mencapai kondisi konvergen tergantung pada jumlah baris dan kolom pada model, semakin sedikit semakin cepat mencapai konvergen.
9. Program bersifat sensitif terhadap perubahan rentang waktu dan jarak penelusuran.

10. Algoritma program tidak fleksibel sehingga tidak dapat digunakan untuk model sungai selain untuk model sungai lurus.
11. Kotak dialog yang banyak juga menyusahkan pengguna dalam menggunakan program.

6.2. Saran

Karena banyaknya kekurangan yang terdapat dalam program ini, maka sebaiknya ada pengembangan lebih lanjut dengan keakuratan yang tinggi sehingga hasil perhitungan program menjadi presisi, sesuai dengan teori yang ada, dan tidak sensitif terhadap perbedaan rentang penelusuran jarak dan waktu. Pengembangan program ini sebaiknya menggunakan metode *central difference* karena *slope*-nya lebih mewakili dibandingkan metode *forward*. Selain itu, metode *forward* membutuhkan suatu syarat untuk rentang data sebagai masukannya agar hasil perhitungan stabil dan sesuai dengan teori.

Sifat implisit dari metode *central difference* harusnya tidak menjadi halangan dalam langkah perhitungan, maka itu perlu dicari hubungan antara kondisi batas dan persamaan kekekalan massa dan momentum.

Sebaiknya algoritma program dibuat lebih fleksibel sehingga dapat digunakan untuk model sungai selain untuk model sungai lurus. Yang terakhir adalah sebaiknya dikembangkan program yang lebih praktis dan otomatis dimana mengurangi kotak dialog yang digunakan, sehingga memudahkan bagi pengguna.

Langkah selanjutnya dari pengembangan program ini adalah kondisi program dapat tidak terbatas pada ruang lingkup saja. Program yang dikembangkan dapat meliputi kondisi-kondisi seperti terdapatnya infiltrasi, presipitasi, evaporasi, evapotranspirasi, pengangkutan sedimen, debit aliran *nonuniform*, atau jika pada ruas sungai yang ditinjau terdapat *tributary flow*. Selain itu, dapat digunakan metode numerik lain yang lebih detail perhitungannya seperti elemen hingga (*finite element*).

DAFTAR REFERENSI

- Ahmadi, M.M., et al (2009). *A 2D Numerical Depth-Averaged Model for Unsteady Flow in Open Channel Bends*. J. Agr. Sci. Tech. (2009) Vol. 11: 457-468
- Blackburn, Julia,. & Steffler, Peter. (2002). *River 2D, Two-Dimensional Depth Averaged Model of River Hydrodynamics and Fish Habitat*. University of Alberta
- Chapra, Steven C. (1997). *Surface Water – Quality Modeling*. Singapore: McGraw-Hill
- Chow, Ven Te., Maidment, David R., & Mays, Larry W. (1987). *Applied Hydrology*. Texas: McGraw-Hill
- Chow, Ven Te. (1959). *Open-channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill
- Divisi Penelitian dan Pengembangan LPKBM MADCOMS - MADIUN. (2005). *Panduan Pemrograman dan Referensi Kamus Visual Basic 6.0*. Yogyakarta: Penerbit Andi
- Dottori, F., Martina, M.L.V., & Todini, E. (2009). *A Dynamic Rating Curve Approach to Indirect Discharge Measurement*. 13, 847-863, 2009. <http://hydrol-earth-syst-sci.net>
- Fenton, J.D. (2001). *Rating Curves: Part 2 – Representation and Approximation*. Conference on Hydraulics in Civil Engineering Hobart: 28-30 November 2001, pp 319-328
- Fowler, Michael. (2006). *Calculating Viscous Flow: Velocity Profiles in Rivers and Pipes*.
- Gierke, John S. (2002). *ENG5300 Engineering Applications in the Earth Sciences*.
- Harlow, Francis. (1995). *Introduction to Finite-Difference Methods for Numerical Fluid Dynamics*. Los Alamos
- Henningson, Dan S., & Berggren, Martin. (2005). *Fluid Dynamics: Theory and Computation*.
- Huang, J.J., et al. (2005). *Debris Flow Run Off Simulation and Verification – Case Study o Chen-You-Lan Watershed, Taiwan*. Natural Hazards and Earth Sciences, 5, 439-445, 2005 SRef-ID: 1684-9981/nhess/2005-5-439

- Kamiran. (2010). *Analisis Morfologi pada Pola Distribusi Sedimentasi*. Jurusan Matematika FIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Kharagpur. (2009). *Module 2: The Science of Surface and Ground Water*.
- Kreuzig, Erwin. (1983). *Advanced Engineering Mathematics*. Singapore: John Wiley & Sons Inc.
- Kuhbacher, Christian. (2009). *Shallow Water, Derivation and Application*. TU Delft
- Li, Nanzhou, & Ghidaoui, Mohamed S. (2003). *Generalized Boltzmann Equation for Shallow Water Flows*. Journal of Hydroinformatics 05.1 2003
- Mastorakis, N.E., et al. (2008). *2D Galerkin Finite Volume Solution of Steady Inviscid/ Viscous/ Turbulent Artificial Compressible Flow on Triangular Meshes*. International Journal of Computers. Issue 1, Volume 2, 2008
- Olsen, Nils Reidar B. (2007). *Numerical Modelling and Hydraulics*. The Norwegian University of Science and Technology, ISBN 82-7598-074-7
- Oscar, Castro-Orgaz. (2010). *Approximate Modelling of 2D Curvilinear Open Channel Flows*. <http://iahr.org>
- Persada, Firman Reza. (2011). *Pengembangan Model Aliran Air Tanah pada Lapisan Tak Jenuh Air dengan Menggunakan Metode Beda Hingga dengan Skema Runge Kutta Orde 4*. Skripsi Program Studi Teknik Sipil, Universitas Indonesia.
- Potter, Merle C. & Wiggert, David C. (1997). *Mechanics of Fluid*. United States of America: Prentice-Hall Inc.
- Sanmiguel-Rojas, E., et al. (2004). *A Cartesian Grid Finite-Difference method for 2D Incompressible Viscous Flows in Irregular Geometries*. Journal of Computational Physics 204 (2005) 302-318
- Shankara, N.J., et al. (2001). *Three-Dimensional Numerical Simulation for An Open Channel Flow with A Constriction*. <http://iahr.org>
- Soeryantono, Herr. (2008). *Diktat Mekflu*. Program Studi Teknik Sipil, Universitas Indonesia.
- Steffler, P.M., et al. (2006). *Two Dimensional Morphological Simulation in Transcritical Flow*. River, Coastal and Estuarine Morphodynamics: RCEM 2005, ISBN 0 415 39270 5

- Summer, Wolfgang. (1998). *Developments in Physically-Based Overland Flow Modelling*. Proceedings of a symposium at Vienna, July 1998. IAHS Publ. no.249, 1998
- Suyasninto, Aditias. (2002). *Pengembangan Model Simulasi Aliran Banjir 2 Dimensi: Pengujian Konvergensi & Konsistensi terhadap Variasi Parameter*. Skripsi Program Studi Teknik Sipil, Universitas Indonesia
- The Federal Interagency Stream Restoration Working Group. (2001). *Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices*. http://www.usda.gov/stream_restoration. ISBN-0-934213-59-3
- Wagening, Femke van. (2006). *Convergence of Quick Flow, A Steady State Solver for The Shallow Water Equations*. Report Literature Study, TU Delft
- Wang, F.J., et al. (2011). *A Low Reynolds Number Variant of Partially-Averaged Navier-Stokes Model for Turbulence*. Int. J. Heta Fluid Flow, Vol. 32, pp. 652-668
- Wang, Sam S.Y. (2004). *River Sedimentation and Morphology Modeling – The State of The Art and Future Development*. Proceedings of the Ninth International Symposium on River Sedimentation, Yichang, China
- Wells, S.A. (1999). *CE-QUAL-W2 Version 3: Hydrodynamics and Water Quality River Basin Modeling*. Portland State University, USA
- Wu, Weiming. (2008). *Computational River Dynamics*. London: Taylor & Francis Group

Lampiran 1. Listing Program *Steady* dan *Unsteady State*

Sheet 1

‘menampilkan dialog kondisi *steady*

```
Sub Steady_State()
```

```
UserForm2.Show
```

```
End Sub
```

‘menampilkan dialog kondisi *unsteady*

```
Sub Unsteady_State()
```

```
UserForm1.Show
```

```
End Sub
```

STEADY_STATE

‘melakukan deklarasi variabel

```
Private rho, g, m, sox, soy, n, dt, dx, dy As Double
```

```
Private nx, ny, i, j As Integer
```

```
Dim f1(), f2(), f3(), f4(), f5(), f6(), f7(), f8(), f9(), f10() As Double
```

‘melakukan perhitungan setelah mengeklik tombol hitung

```
Private Sub CommandButton1_Click()
```

‘mengidentifikasi rentang sel yang dipilih pada dialog sub program

```
uold = UserForm2.RefEdit1.Text
```

```
unew = UserForm2.RefEdit2.Text
```

```
vold = UserForm2.RefEdit3.Text
```

```
vnew = UserForm2.RefEdit4.Text
```

```
hold = UserForm2.RefEdit5.Text
```

```
hnew = UserForm2.RefEdit6.Text
```


(lanjutan)

```
par = UserForm2.RefEdit7.Text
```

```
'mengidentifikasi array parameter atau data masukan
```

```
ny = Range(hold).Rows.Count - 1
```

```
nx = Range(hold).Columns.Count - 1
```

```
rho = Range(par).Cells(1, 1).Value
```

```
g = Range(par).Cells(2, 1).Value
```

```
m = Range(par).Cells(3, 1).Value
```

```
sox = Range(par).Cells(4, 1).Value
```

```
soy = Range(par).Cells(5, 1).Value
```

```
n = Range(par).Cells(6, 1).Value
```

```
dt = Range(par).Cells(7, 1).Value
```

```
dx = Range(par).Cells(8, 1).Value
```

```
dy = Range(par).Cells(9, 1).Value
```

```
'mengidentifikasi ulang jumlah baris dan kolom fungsi
```

```
ReDim f1(0 To ny, 0 To nx), f2(0 To ny, 0 To nx), f3(0 To ny, 0 To nx), f4(0 To ny, 0 To nx), f5(0 To ny, 0 To nx), f6(0 To ny, 0 To nx), f7(0 To ny, 0 To nx), f8(0 To ny, 0 To nx), f9(0 To ny, 0 To nx), f10(0 To ny, 0 To nx)
```

```
'looping perhitungan array fungsi dan u,v,h pada (x+dx)
```

```
For j = 0 To nx
```

```
    For i = 0 To ny
```

```
        ' perhitungan array fungsi
```

```
        f1(i, j) = (Range(hold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dx
```

```
        f2(i, j) = (Range(hold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dy
```

```
        f3(i, j) = ((Range(uold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dx) +_
                ((Range(vold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dy)
```

```
        f4(i, j) = (2 * (Range(uold).Cells(i + 1, j + 1).Value) *_
                (Range(hold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dx) + (2 *_
                (Range(vold).Cells(i + 1, j + 1).Value) *_
                (Range(hold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dy)
```

(lanjutan)

$$f5(i, j) = (\rho * (\text{Range}(uold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dx) +$$

$$(\rho * (\text{Range}(vold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dy) +$$

$$(m / dx / dx) + (1 / dy / dy)$$

$$f6(i, j) = (-\rho * g / dx)$$

$$f7(i, j) = (\rho * (\text{Range}(uold).Cells(i + 1, j + 1).Value) *$$

$$(\text{Range}(uold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dx) +$$

$$(\rho * (\text{Range}(uold).Cells(i + 1, j + 1).Value) *$$

$$(\text{Range}(vold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dy) - (\rho * g *$$

$$(\text{Range}(hold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dx) + (m *$$

$$(\text{Range}(uold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dx / dx) +$$

$$((\text{Range}(uold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dy / dy) - (g * sox)$$

$$- (\rho * g * n * n * (\text{Range}(uold).Cells(i + 1, j + 1).Value) /$$

$$(((\text{Range}(hold).Cells(i + 1, j + 1).Value)) ^ (4 / 3)) *$$

$$(((\text{Range}(uold).Cells(i + 1, j + 1).Value) ^ 2) +$$

$$((\text{Range}(vold).Cells(i + 1, j + 1).Value) ^ 2)) ^ (1 / 2)))$$

$$f8(i, j) = (\rho * (\text{Range}(vold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dy)$$

$$(\rho * (\text{Range}(uold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dx) +$$

$$(m / dy / dy) + (1 / dx / dx)$$

$$f9(i, j) = (-\rho * g / dy)$$

$$f10(i, j) = (\rho * (\text{Range}(vold).Cells(i + 1, j + 1).Value) *$$

$$(\text{Range}(vold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dy) +$$

$$(\rho * (\text{Range}(uold).Cells(i + 1, j + 1).Value) *$$

$$(\text{Range}(vold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dx) -$$

$$(\rho * g * (\text{Range}(hold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dy) +$$

$$(m * (\text{Range}(vold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dy / dy) +$$

$$((\text{Range}(vold).Cells(i + 1, j + 1).Value) / dx / dx) - (g * soy)$$

$$- (\rho * g * n * n * (\text{Range}(vold).Cells(i + 1, j + 1).Value) /$$

$$(((\text{Range}(hold).Cells(i + 1, j + 1).Value)) ^ (4 / 3)) *$$

$$(((\text{Range}(uold).Cells(i + 1, j + 1).Value) ^ 2) +$$

$$((\text{Range}(vold).Cells(i + 1, j + 1).Value) ^ 2)) ^ (1 / 2)))$$

(lanjutan)

‘ perhitungan u pada (x+dx)

```
Range(unew).Cells(i + 1, j + 1).Value = ((f3(i, j) * f8(i, j) * f7(i, j)) +_
    (f2(i, j) * f6(i, j) * f10(i, j)) - (f6(i,
    j) * f8(i, j) * f4(i, j)) - (f2(i, j) * f9(i,
    j) * f7(i, j))) / ((f3(i, j) * f5(i, j) *
    f8(i, j)) - (f1(i, j) * f6(i, j) * f8(i, j)) -
    (f2(i, j) * f5(i, j) * f9(i, j)))
```

‘ perhitungan v pada (x+dx)

```
Range(vnew).Cells(i + 1, j + 1).Value = ((f1(i, j) * f9(i, j) * f7(i, j)) +_
    (f3(i, j) * f5(i, j) * f10(i, j))_
    - (f5(i, j) * f9(i, j) * f4(i, j))_
    - (f1(i, j) * f6(i, j) * f10(i, j))) /_
    ((f3(i, j) * f5(i, j) * f8(i, j))_
    - (f1(i, j) * f6(i, j) * f8(i, j))_
    - (f2(i, j) * f5(i, j) * f9(i, j)))
```

‘ perhitungan h pada (x+dx)

```
Range(hnew).Cells(i + 1, j + 1).Value = ((f5(i, j) * f8(i, j) * f4(i, j))_
    - (f1(i, j) * f8(i, j) * f7(i, j))_
    - (f2(i, j) * f5(i, j) * f10(i, j))) /_
    ((f3(i, j) * f5(i, j) * f8(i, j))_
    - (f1(i, j) * f6(i, j) * f8(i, j))_
    - (f2(i, j) * f5(i, j) * f9(i, j)))
```

Next i

Next j

End Sub

‘ keluar dari sub program dengan mengklik tombol tutup dialog

```
Private Sub CommandButton2_Click()
```

```
Unload Me
```

(lanjutan)

End Sub

‘ menghapus seluruh kotak isian dengan mengeklik tombol hapus semua

```
Private Sub CommandButton3_Click()
```

```
UserForm2.RefEdit1.Text = ""
```

```
UserForm2.RefEdit2.Text = ""
```

```
UserForm2.RefEdit3.Text = ""
```

```
UserForm2.RefEdit4.Text = ""
```

```
UserForm2.RefEdit5.Text = ""
```

```
UserForm2.RefEdit6.Text = ""
```

```
UserForm2.RefEdit6.Text = ""
```

```
UserForm2.RefEdit7.Text = ""
```

```
End Sub
```

UNSTEADY_STATE

‘ pendeklarasian variabel

```
Private rho, g, m, sox, soy, n, dt, dx, dy As Double
```

```
Private nx, ny, i, j, spasi As Integer
```

```
Dim u1(), u2(), u3(), u4(), v1(), v2(), v3(), v4(), h1(), h2(), h3(), h4() As Double
```

```
Dim udx1(), udx2(), udx3(), udx4(), vdx1(), vdx2(), vdx3(), vdx4(), hdx1(),_
    hdx2(), hdx3(), hdx4() As Double
```

```
Dim ku1(), ku2(), ku3(), ku4(), kv1(), kv2(), kv3(), kv4(), kh1(), kh2(), kh3(),_
    kh4() As Double
```

```
Dim rku(), rkv(), rkh() As Double
```

‘melakukan perhitungan setelah mengeklik tombol hitung

```
Private Sub CommandButton1_Click()
```

‘mengidentifikasi rentang sel yang dipilih pada dialog sub program

```
u = UserForm1.RefEdit1.Text
```

```
v = UserForm1.RefEdit2.Text
```

(lanjutan)

```

h = UserForm1.RefEdit3.Text
par = UserForm1.RefEdit4.Text
out = UserForm1.RefEdit5.Text
udx = UserForm1.RefEdit6.Text
vdx = UserForm1.RefEdit7.Text
hdx = UserForm1.RefEdit8.Text

```

‘mengidentifikasi *array* parameter

```

ny = Range(u).Rows.Count - 1
nx = Range(u).Columns.Count - 1
rho = Range(par).Cells(1, 1).Value
g = Range(par).Cells(2, 1).Value
m = Range(par).Cells(3, 1).Value
sox = Range(par).Cells(4, 1).Value
soy = Range(par).Cells(5, 1).Value
n = Range(par).Cells(6, 1).Value
dt = Range(par).Cells(7, 1).Value
dx = Range(par).Cells(8, 1).Value
dy = Range(par).Cells(9, 1).Value

```

‘penentuan jumlah jarak baris untuk memisahkan hasil perhitungan u,v, dan h
spasi = 3

‘mengidentifikasi ulang jumlah baris dan kolom *array*

```

ReDim u1(0 To ny, 0 To nx), u2(0 To ny, 0 To nx), u3(0 To ny, 0 To nx),_
    u4(0 To ny, 0 To nx)
ReDim udx1(0 To ny, 0 To nx), udx2(0 To ny, 0 To nx),_
    udx3(0 To ny, 0 To nx), udx4(0 To ny, 0 To nx)
ReDim v1(0 To ny, 0 To nx), v2(0 To ny, 0 To nx), v3(0 To ny, 0 To nx),_
    v4(0 To ny, 0 To nx)
ReDim vdx1(0 To ny, 0 To nx), vdx2(0 To ny, 0 To nx),_

```

(lanjutan)

vdx3(0 To ny, 0 To nx), vdx4(0 To ny, 0 To nx)
 ReDim h1(0 To ny, 0 To nx), h2(0 To ny, 0 To nx), h3(0 To ny, 0 To nx),_
 h4(0 To ny, 0 To nx)
 ReDim hdx1(0 To ny, 0 To nx), hdx2(0 To ny, 0 To nx),_
 hdx3(0 To ny, 0 To nx), hdx4(0 To ny, 0 To nx)
 ReDim ku1(0 To ny, 0 To nx), ku2(0 To ny, 0 To nx),_
 ku3(0 To ny, 0 To nx), ku4(0 To ny, 0 To nx)
 ReDim kv1(0 To ny, 0 To nx), kv2(0 To ny, 0 To nx),_
 kv3(0 To ny, 0 To nx), kv4(0 To ny, 0 To nx)
 ReDim kh1(0 To ny, 0 To nx), kh2(0 To ny, 0 To nx),_
 kh3(0 To ny, 0 To nx), kh4(0 To ny, 0 To nx)
 ReDim rku(0 To ny, 0 To nx), rkv(0 To ny, 0 To nx), rkh(0 To ny, 0 To nx)

‘*looping* perhitungan u,v,h pada (t+dt)

For j = 0 To nx

For i = 0 To ny

‘mengidentifikasi u,v,h pada kondisi *steady*

u1(i, j) = (Range(u).Cells(i + 1, j + 1).Value)

v1(i, j) = (Range(v).Cells(i + 1, j + 1).Value)

h1(i, j) = (Range(h).Cells(i + 1, j + 1).Value)

udx1(i, j) = (Range(udx).Cells(i + 1, j + 1).Value)

vdx1(i, j) = (Range(vdx).Cells(i + 1, j + 1).Value)

hdx1(i, j) = (Range(hdx).Cells(i + 1, j + 1).Value)

‘perhitungan u untuk kondisi *unsteady*, mencari nilai k1 untuk u

$$\begin{aligned}
 ku1(i, j) = & (((-u1(i, j)) * (((udx1(i, j)) - (u1(i, j))) / dx)) - ((v1(i, j)) * _ \\
 & (((udx1(i, j)) - (u1(i, j))) / dy)) + (g * (((hdx1(i, j))_ \\
 & - (h1(i, j))) / dx)) - (m / rho * (((udx1(i, j)) - (u1(i, j))) / dx / dx))_ \\
 & - (((udx1(i, j)) - (u1(i, j))) / dy / dy / rho)) - (g * sox / rho)_ \\
 & - (g * n * n / (h1(i, j) ^ (4 / 3)) * (u1(i, j)) * (((u1(i, j)) ^ 2)_
 \end{aligned}$$

(lanjutan)

$$+ ((v1(i, j)) ^ 2) ^ (1 / 2))))))$$

‘rumus u untuk k2

$$u2(i, j) = ((Range(u).Cells(i + 1, j + 1).Value) + (dt / 2 * ku1(i, j)))$$

‘mencari nilai k2 untuk u pada $(t+dt)$

$$\begin{aligned} ku2(i, j) = & (((-u2(i, j)) * (((udx1(i, j)) - (u2(i, j))) / dx)) - ((v1(i, j)) * _ \\ & (((udx1(i, j)) - (u2(i, j))) / dy)) + (g * (((hdx1(i, j)) - (h1(i, j))) / _ \\ & dx)) - (m / rho * (((udx1(i, j)) - (u2(i, j))) / dx / dx))_ \\ & - (((udx1(i, j)) - (u2(i, j))) / dy / dy / rho)) - (g * sox / rho)_ \\ & - (g * n * n / (h1(i, j) ^ (4 / 3)) * (u2(i, j)) * (((u2(i, j)) ^ 2)_ \\ & + ((v1(i, j)) ^ 2) ^ (1 / 2)))))) \end{aligned}$$

‘rumus u untuk k3

$$u3(i, j) = ((Range(u).Cells(i + 1, j + 1).Value) + (dt / 2 * ku2(i, j)))$$

‘mencari nilai k3 untuk u pada $(t+dt)$

$$\begin{aligned} ku3(i, j) = & (((-u3(i, j)) * (((udx1(i, j)) - (u3(i, j))) / dx)) - ((v1(i, j)) * _ \\ & (((udx1(i, j)) - (u3(i, j))) / dy)) + (g * (((hdx1(i, j))_ \\ & - (h1(i, j))) / dx)) - (m / rho * (((udx1(i, j)) - (u3(i, j))) / dx / dx))_ \\ & - (((udx1(i, j)) - (u3(i, j))) / dy / dy / rho)) - (g * sox / rho)_ \\ & - (g * n * n / (h1(i, j) ^ (4 / 3)) * (u3(i, j)) * (((u3(i, j)) ^ 2)_ \\ & + ((v1(i, j)) ^ 2) ^ (1 / 2)))))) \end{aligned}$$

‘rumus u untuk k4

$$u4(i, j) = ((Range(u).Cells(i + 1, j + 1).Value) + (dt * ku3(i, j)))$$

‘mencari nilai k4 untuk u pada $(t+dt)$

$$\begin{aligned} ku4(i, j) = & (((-u4(i, j)) * (((udx1(i, j)) - (u4(i, j))) / dx))_ \\ & - ((v1(i, j)) * (((udx1(i, j)) - (u4(i, j))) / dy)) + (g * (((hdx1(i, j))_ \\ & - (h1(i, j))) / dx)) - (m / rho * (((udx1(i, j)) - (u3(i, j))) / dx / dx))_ \\ & - (((udx1(i, j)) - (u4(i, j))) / dy / dy / rho)) - (g * sox / rho)_ \\ & - (g * n * n / (h1(i, j) ^ (4 / 3)) * (u4(i, j)) * (((u4(i, j)) ^ 2)_ \end{aligned}$$

(lanjutan)

$$+ ((v1(i, j) ^ 2) ^ (1 / 2))))$$

‘rumus *Runge Kutta* untuk u pada ($t+dt$)

$$\begin{aligned} rku(i, j) = & (\text{Range}(u).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value}) + (dt / 6 * ((ku1(i, j))_ \\ & + (2 * (ku2(i, j))) + (2 * (ku3(i, j))) + (ku4(i, j)))) \end{aligned}$$

‘lokasi sel untuk menampilkan hasil

$\text{Range}(\text{out}).\text{Cells}(1, 1).\text{Value} = \text{"Kecepatan Arah X (u)"}"$

$\text{Range}(\text{out}).\text{Cells}(i + 1, j + 6).\text{Value} = (rku(i, j))$

‘ketentuan untuk kondisi batas/ sel dinding

$\text{Range}(\text{out}).\text{Cells}(1, j + 6).\text{Value} = 0$

$\text{Range}(\text{out}).\text{Cells}(1 + ny, j + 6).\text{Value} = 0$

‘perhitungan v untuk kondisi *unsteady*, mencari nilai k1 untuk v

$$\begin{aligned} kv1(i, j) = & (((-v1(i, j)) * (((vdx1(i, j)) - (v1(i, j))) / dy)) - ((u1(i, j)) * \\ & (((vdx1(i, j)) - (v1(i, j))) / dx)) + (g * (((hdx1(i, j))_ \\ & - (h1(i, j))) / dy)) - (m / rho * (((vdx1(i, j)) - (v1(i, j))) / dy / dy))_ \\ & - (((vdx1(i, j)) - (v1(i, j))) / dx / dx / rho)) - (g * soy / rho)_ \\ & - (g * n * n / (h1(i, j) ^ (4 / 3)) * (v1(i, j)) * (((u1(i, j)) ^ 2)_ \\ & + ((v1(i, j) ^ 2) ^ (1 / 2)))) \end{aligned}$$

‘rumus v untuk k2

$$v2(i, j) = ((\text{Range}(v).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value}) + (dt / 2 * kv1(i, j)))$$

‘mencari nilai k2 untuk v pada ($t+dt$)

$$\begin{aligned} kv2(i, j) = & (((-v2(i, j)) * (((vdx1(i, j)) - (v2(i, j))) / dy))_ \\ & - ((u1(i, j)) * (((vdx1(i, j)) - (v2(i, j))) / dx)) + (g * (((hdx1(i, j))_ \\ & - (h1(i, j))) / dy)) - (m / rho * (((vdx1(i, j)) - (v2(i, j))) / dy / dy))_ \\ & - (((vdx1(i, j)) - (v2(i, j))) / dx / dx / rho)) - (g * soy / rho)_ \\ & - (g * n * n / (h1(i, j) ^ (4 / 3)) * (v2(i, j)) * (((u1(i, j)) ^ 2)_ \\ & + ((v2(i, j) ^ 2) ^ (1 / 2)))) \end{aligned}$$

(lanjutan)

‘rumus v untuk k3

$$v3(i, j) = ((\text{Range}(v).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value}) + (dt / 2 * kv2(i, j)))$$

‘mencari nilai k3 untuk v pada $(t+dt)$

$$\begin{aligned} kv3(i, j) = & (((-v3(i, j)) * (((vdx1(i, j)) - (v3(i, j))) / dy))_ \\ & - ((u1(i, j)) * (((vdx1(i, j)) - (v3(i, j))) / dx)) + (g * (((hdx1(i, j))_ \\ & - (h1(i, j))) / dy)) - (m / rho * (((vdx1(i, j)) - (v3(i, j))) / dy / dy))_ \\ & - (((vdx1(i, j)) - (v3(i, j))) / dx / dx / rho)) - (g * soy / rho)_ \\ & - (g * n * n / (h1(i, j) ^ (4 / 3)) * (v3(i, j)) * (((u1(i, j)) ^ 2)_ \\ & + ((v3(i, j)) ^ 2) ^ (1 / 2)))) \end{aligned}$$

‘rumus v untuk k4

$$v4(i, j) = ((\text{Range}(v).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value}) + (dt * kv3(i, j)))$$

‘mencari nilai k4 untuk v pada $(t+dt)$

$$\begin{aligned} kv4(i, j) = & (((-v4(i, j)) * (((vdx1(i, j)) - (v4(i, j))) / dy))_ \\ & - ((u1(i, j)) * (((vdx1(i, j)) - (v4(i, j))) / dx)) + (g * (((hdx1(i, j))_ \\ & - (h1(i, j))) / dy)) - (m / rho * (((vdx1(i, j)) - (v4(i, j))) / dy / dy))_ \\ & - (((vdx1(i, j)) - (v4(i, j))) / dx / dx / rho)) - (g * soy / rho)_ \\ & - (g * n * n / (h1(i, j) ^ (4 / 3)) * (v4(i, j)) * (((u1(i, j)) ^ 2)_ \\ & + ((v4(i, j)) ^ 2) ^ (1 / 2)))) \end{aligned}$$

‘rumus *Runge Kutta* untuk v pada $(t+dt)$

$$\begin{aligned} rkv(i, j) = & (\text{Range}(v).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value}) + (dt / 6 * ((kv1(i, j))_ \\ & + (2 * (kv2(i, j))) + (2 * (kv3(i, j))) + (kv4(i, j)))) \end{aligned}$$

‘lokasi sel untuk menampilkan hasil

$$\text{Range}(\text{out}).\text{Cells}(1 + ny + \text{spasi}, 1).\text{Value} = \text{"Kecepatan Arah Y (v)"}'$$

$$\text{Range}(\text{out}).\text{Cells}(i + ny + \text{spasi} + 1, j + 6).\text{Value} = (rkv(i, j))$$

‘ketentuan untuk kondisi batas

$$\text{Range}(\text{out}).\text{Cells}(1 + ny + \text{spasi}, j + 6).\text{Value} = 0$$

(lanjutan)

Range(out).Cells(1 + ny + ny + spasi, j + 6).Value = 0

‘perhitungan h untuk kondisi *unsteady*, mencari nilai k1 untuk h

$$\begin{aligned} kh1(i, j) = & (((-u1(i, j)) * ((hdx1(i, j)) - (h1(i, j))) / dx) - ((h1(i, j))_ \\ & * ((udx1(i, j)) - (u1(i, j))) / dx) - ((v1(i, j)) * ((hdx1(i, j))_ \\ & - (h1(i, j))) / dy) - ((h1(i, j)) * ((vdx1(i, j)) - (v1(i, j))) / dy)) \end{aligned}$$

‘rumus h untuk k2

$$h2(i, j) = ((\text{Range}(h).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value}) + (dt / 2 * kh1(i, j)))$$

‘mencari nilai k2 untuk h pada $(t+dt)$

$$\begin{aligned} kh2(i, j) = & (((-u1(i, j)) * ((hdx1(i, j)) - (h2(i, j))) / dx) - ((h2(i, j))_ \\ & * ((udx1(i, j)) - (u1(i, j))) / dx) - ((v1(i, j)) * ((hdx1(i, j))_ \\ & - (h2(i, j))) / dy) - ((h2(i, j)) * ((vdx1(i, j)) - (v1(i, j))) / dy)) \end{aligned}$$

‘rumus h untuk k3

$$h3(i, j) = ((\text{Range}(h).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value}) + (dt / 2 * kh2(i, j)))$$

‘mencari nilai k3 untuk h pada $(t+dt)$

$$\begin{aligned} kh3(i, j) = & (((-u1(i, j)) * ((hdx1(i, j)) - (h3(i, j))) / dx) - ((h3(i, j))_ \\ & * ((udx1(i, j)) - (u1(i, j))) / dx) - ((v1(i, j)) * ((hdx1(i, j))_ \\ & - (h3(i, j))) / dy) - ((h3(i, j)) * ((vdx1(i, j)) - (v1(i, j))) / dy)) \end{aligned}$$

‘rumus h untuk k4

$$h4(i, j) = ((\text{Range}(h).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value}) + (dt * kh3(i, j)))$$

‘mencari nilai k4 untuk h pada $(t+dt)$

$$\begin{aligned} kh4(i, j) = & (((-u1(i, j)) * ((hdx1(i, j)) - (h4(i, j))) / dx) - ((h4(i, j))_ \\ & * ((udx1(i, j)) - (u1(i, j))) / dx) - ((v1(i, j)) * ((hdx1(i, j))_ \\ & - (h4(i, j))) / dy) - ((h4(i, j)) * ((vdx1(i, j)) - (v1(i, j))) / dy)) \end{aligned}$$

‘rumus *Runge Kutta* untuk h pada $(t+dt)$

$$\begin{aligned} rkh(i, j) = & (\text{Range}(h).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value}) + (dt / 6 * ((kh1(i, j))_ \\ & + (2 * (kh2(i, j))) + (2 * (kh3(i, j))) + (kh4(i, j)))) \end{aligned}$$

(lanjutan)

```
'lokasi sel untuk menampilkan hasil_  
Range(out).Cells(1 + ny + ny + spasi + spasi, 1).Value =_  
"Tinggi Muka Air (h)"  
Range(out).Cells(i + ny + ny + spasi + spasi + 1, j + 6).Value = (rkh(i, j))
```

```
Next i  
Next j  
End Sub
```

```
' keluar dari sub program dengan mengeklik tombol tutup dialog  
Private Sub CommandButton2_Click()  
Unload Me  
End Sub
```

```
' menghapus seluruh kotak isian dengan mengeklik tombol hapus semua  
Private Sub CommandButton3_Click()  
UserForm1.RefEdit1.Text = ""  
UserForm1.RefEdit2.Text = ""  
UserForm1.RefEdit3.Text = ""  
UserForm1.RefEdit4.Text = ""  
UserForm1.RefEdit5.Text = ""  
UserForm1.RefEdit6.Text = ""  
UserForm1.RefEdit7.Text = ""  
UserForm1.RefEdit8.Text = ""  
End Sub
```

Lampiran 2. Listing Program Final

```
Private rho, g, m, sox, soy, n, dt, dx, dy As Double
Private nx, ny, i, j, spasi, k, l, nxall, nyall, bound As Integer
Dim uij(), vij(), hij() As Double
Dim uij1(), vij1(), hij1() As Double
Dim uij0(), vij0(), hij0() As Double
Dim ui1j(), vi1j(), hi1j() As Double
Dim ui0j(), vi0j(), hi0j() As Double
Dim ku1(), ku2(), ku3(), ku4(), kv1(), kv2(), kv3(), kv4(), kh1(), kh2(), kh3(),_
kh4() As Double
Dim rku(), rkj(), rkh() As Double

Private Sub CommandButton1_Click()
u = UserForm1.RefEdit1.Text
v = UserForm1.RefEdit2.Text
h = UserForm1.RefEdit3.Text
par = UserForm1.RefEdit4.Text
out = UserForm1.RefEdit5.Text
uj1 = UserForm1.RefEdit6.Text
uj0 = UserForm1.RefEdit7.Text
ui1 = UserForm1.RefEdit8.Text
ui0 = UserForm1.RefEdit9.Text
vj1 = UserForm1.RefEdit10.Text
vj0 = UserForm1.RefEdit11.Text
vi1 = UserForm1.RefEdit12.Text
vi0 = UserForm1.RefEdit13.Text
hj1 = UserForm1.RefEdit14.Text
hj0 = UserForm1.RefEdit15.Text
hi1 = UserForm1.RefEdit16.Text
hi0 = UserForm1.RefEdit17.Text
```

(lanjutan)

```

ny = Range(u).Rows.Count - 1
nx = Range(u).Columns.Count - 1
rho = Range(par).Cells(1, 1).Value
g = Range(par).Cells(2, 1).Value
m = Range(par).Cells(3, 1).Value
sox = Range(par).Cells(4, 1).Value
soy = Range(par).Cells(5, 1).Value
n = Range(par).Cells(6, 1).Value
dt = Range(par).Cells(7, 1).Value
dx = Range(par).Cells(8, 1).Value
dy = Range(par).Cells(9, 1).Value

```

```

spasi = 3
bound = 2

```

```

ReDim uij(0 To ny, 0 To nx), vij(0 To ny, 0 To nx), hij(0 To ny, 0 To nx)
ReDim uij1(0 To ny, 0 To nx), vij1(0 To ny, 0 To nx), hij1(0 To ny, 0 To nx)
ReDim uij0(0 To ny, 0 To nx), vij0(0 To ny, 0 To nx), hij0(0 To ny, 0 To nx)
ReDim ui1j(0 To ny, 0 To nx), vi1j(0 To ny, 0 To nx), hi1j(0 To ny, 0 To nx)
ReDim ui0j(0 To ny, 0 To nx), vi0j(0 To ny, 0 To nx), hi0j(0 To ny, 0 To nx)
ReDim ku1(0 To ny, 0 To nx), ku2(0 To ny, 0 To nx), ku3(0 To ny, 0 To nx),_
ku4(0 To ny, 0 To nx)
ReDim kv1(0 To ny, 0 To nx), kv2(0 To ny, 0 To nx), kv3(0 To ny, 0 To nx),_
kv4(0 To ny, 0 To nx)
ReDim kh1(0 To ny, 0 To nx), kh2(0 To ny, 0 To nx), kh3(0 To ny, 0 To nx),_
kh4(0 To ny, 0 To nx)
ReDim rku(0 To ny, 0 To nx), rkj(0 To ny, 0 To nx), rkh(0 To ny, 0 To nx)
For j = 0 To nx
  For i = 0 To ny
    uij(i, j) = (Range(u).Cells(i + 1, j + 1).Value)

```

(lanjutan)

$$vij(i, j) = (\text{Range}(v).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value})$$

$$hij(i, j) = (\text{Range}(h).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value})$$

$$uij1(i, j) = (\text{Range}(uj1).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value})$$

$$vij1(i, j) = (\text{Range}(vj1).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value})$$

$$hij1(i, j) = (\text{Range}(hj1).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value})$$

$$uij0(i, j) = (\text{Range}(uj0).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value})$$

$$vij0(i, j) = (\text{Range}(vj0).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value})$$

$$hij0(i, j) = (\text{Range}(hj0).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value})$$

$$ui1j(i, j) = (\text{Range}(ui1).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value})$$

$$vi1j(i, j) = (\text{Range}(vi1).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value})$$

$$hi1j(i, j) = (\text{Range}(hi1).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value})$$

$$ui0j(i, j) = (\text{Range}(ui0).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value})$$

$$vi0j(i, j) = (\text{Range}(vi0).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value})$$

$$hi0j(i, j) = (\text{Range}(hi0).\text{Cells}(i + 1, j + 1).\text{Value})$$

'cari nilai u

$$\begin{aligned} ku1(i, j) = & ((-(uij(i, j)) * (((uij1(i, j)) - (uij(i, j))) / dx))_ \\ & + (-(vij(i, j)) * (((ui1j(i, j)) - (uij(i, j))) / dy))_ \\ & + (g / dx * ((hij1(i, j)) - (hij(i, j)))) + (-m / rho / dx / dx * _ \\ & ((uij1(i, j)) - (2 * (uij(i, j))) + (uij0(i, j))))_ \\ & + (-m / rho / dy / dy * ((ui1j(i, j)) - (2 * (uij(i, j))) + (ui0j(i, j))))_ \\ & + (g * sox) + (-g * n * n * (uij(i, j)) / ((hij(i, j)) ^ (4 / 3))_ \\ & * (((uij(i, j)) ^ 2) + ((vij(i, j)) ^ 2) ^ 0.5))) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ku2(i, j) = & (((-(uij(i, j)) + (dt / 2 * ku1(i, j))) * (((uij1(i, j)) - ((uij(i, j))_ \\ & + (dt / 2 * ku1(i, j)))) / dx)) + (-(vij(i, j)) * (((ui1j(i, j))_ \\ & - ((uij(i, j)) + (dt / 2 * ku1(i, j)))) / dy)) + (g / dx * ((hij1(i, j))_ \\ & - (hij(i, j)))) + (-m / rho / dx / dx * ((uij1(i, j)) - (2 * ((uij(i, j))_ \\ & + (dt / 2 * ku1(i, j)))) + (uij0(i, j)))) + (-m / rho / dy / dy * _ \\ & ((ui1j(i, j)) - (2 * ((uij(i, j)) + (dt / 2 * ku1(i, j)))) + (ui0j(i, j))))_ \\ & + (g * sox) + (-g * n * n * ((uij(i, j)) + (dt / 2 * ku1(i, j))))_ \end{aligned}$$

(lanjutan)

$$\begin{aligned} & / ((hij(i, j)) ^ (4 / 3)) * (((u(i, j)) + (dt / 2 * ku1(i, j))) ^ 2) \\ & + ((v(i, j)) ^ 2) ^ 0.5))) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ku3(i, j) = & ((-(u(i, j)) + (dt / 2 * ku2(i, j))) * ((u1(i, j)) - (u(i, j)) \\ & + (dt / 2 * ku2(i, j)))) / dx) + (-(v(i, j)) * ((u1j(i, j)) \\ & - ((u(i, j)) + (dt / 2 * ku2(i, j)))) / dy) + (g / dx * ((hij1(i, j)) \\ & - (hij(i, j)))) + (-m / rho / dx / dx * ((u1(i, j)) - (2 * (u(i, j)) \\ & + (dt / 2 * ku2(i, j)))) + (u0(i, j))) + (-m / rho / dy / dy * \\ & ((u1j(i, j)) - (2 * ((u(i, j)) + (dt / 2 * ku2(i, j)))) \\ & + (u0j(i, j)))) + (g * sox) + (-g * n * n * ((u(i, j)) \\ & + (dt / 2 * ku2(i, j))) / ((hij(i, j)) ^ (4 / 3)) * (((u(i, j)) \\ & + (dt / 2 * ku2(i, j))) ^ 2) + ((v(i, j)) ^ 2) ^ 0.5))) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ku4(i, j) = & ((-(u(i, j)) + (dt * ku3(i, j))) * ((u1(i, j)) - (u(i, j)) \\ & + (dt * ku3(i, j)))) / dx) + (-(v(i, j)) * ((u1j(i, j)) - (u(i, j)) \\ & + (dt * ku3(i, j)))) / dy) + (g / dx * ((hij1(i, j)) - (hij(i, j)))) \\ & + (-m / rho / dx / dx * ((u1(i, j)) - (2 * (u(i, j)) \\ & + (dt * ku3(i, j)))) + (u0(i, j))) + (-m / rho / dy / dy * \\ & ((u1j(i, j)) - (2 * ((u(i, j)) + (dt * ku3(i, j)))) + (u0j(i, j)))) \\ & + (g * sox) + (-g * n * n * ((u(i, j)) + (dt * ku3(i, j))) \\ & / ((hij(i, j)) ^ (4 / 3)) * (((u(i, j)) + (dt * ku3(i, j))) ^ 2) \\ & + ((v(i, j)) ^ 2) ^ 0.5))) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} rku(i, j) = & (Range(u).Cells(i, j).Value) + (dt / 6 * ((ku1(i, j)) \\ & + (2 * (ku2(i, j))) + (2 * (ku3(i, j))) + (ku4(i, j)))) \end{aligned}$$

'cari nilai v

$$\begin{aligned} kv1(i, j) = & ((-(v(i, j)) * ((v1j(i, j)) - (v(i, j))) / dy) + (-(u(i, j)) * \\ & (((v1(i, j)) - (v(i, j))) / dx) + (g / dy * ((hij1(i, j)) - (hij(i, j)))) \\ & + (-m / rho / dy / dy * ((v1j(i, j)) - (2 * (v(i, j))) + (v0j(i, j)))) \\ & + (-m / rho / dy / dy * ((v1(i, j)) - (2 * (v(i, j))) + (v0(i, j)))) \\ & + (g * soy) + (-g * n * n * (v(i, j)) / ((hij(i, j)) ^ (4 / 3)) \\ & * (((u(i, j)) ^ 2) + ((v(i, j)) ^ 2) ^ 0.5))) \end{aligned}$$

$$kv2(i, j) = ((-(v(i, j)) + (dt / 2 * kv1(i, j))) * ((v1j(i, j)) - (v(i, j))$$

(lanjutan)

$$\begin{aligned}
& + (dt / 2 * kv1(i, j))) / dy)) + (- (uij(i, j)) * (((vij1(i, j))_ \\
& - ((vij(i, j)) + (dt / 2 * kv1(i, j))) / dx)) + (g / dy * _ \\
& ((hi1j(i, j)) - (hij(i, j)))) + (-m / rho / dy / dy * ((vi1j(i, j))_ \\
& - (2 * ((vij(i, j)) + (dt / 2 * kv1(i, j))) + (vi0j(i, j))))_ \\
& + (-m / rho / dy / dy * ((vij1(i, j)) - (2 * ((vij(i, j))_ \\
& + (dt / 2 * kv1(i, j))) + (vij0(i, j)))) + (g * soy)_ \\
& + (-g * n * n * ((vij(i, j)) + (dt / 2 * kv1(i, j)))_ \\
& / ((hij(i, j)) ^ (4 / 3)) * (((uij(i, j)) ^ 2) + (((vij(i, j))_ \\
& + (dt / 2 * kv1(i, j)) ^ 2) ^ 0.5)))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
kv3(i, j) = & ((-((vij(i, j)) + (dt / 2 * kv2(i, j))) * (((vi1j(i, j)) - ((vij(i, j))_ \\
& + (dt / 2 * kv2(i, j))) / dy)) + (- (uij(i, j)) * (((vij1(i, j))_ \\
& - ((vij(i, j)) + (dt / 2 * kv2(i, j))) / dx)) + (g / dy * ((hi1j(i, j))_ \\
& - (hij(i, j)))) + (-m / rho / dy / dy * ((vi1j(i, j)) - (2 * ((vij(i, j))_ \\
& + (dt / 2 * kv2(i, j))) + (vi0j(i, j)))) + (-m / rho / dy / dy_ \\
& * ((vij1(i, j)) - (2 * ((vij(i, j)) + (dt / 2 * kv2(i, j))))_ \\
& + (vij0(i, j)))) + (g * soy) + (-g * n * n * ((vij(i, j))_ \\
& + (dt / 2 * kv2(i, j))) / ((hij(i, j)) ^ (4 / 3)) * (((uij(i, j)) ^ 2)_ \\
& + (((vij(i, j)) + (dt / 2 * kv2(i, j)) ^ 2) ^ 0.5)))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
kv4(i, j) = & ((-((vij(i, j)) + (dt * kv3(i, j))) * (((vi1j(i, j)) - ((vij(i, j))_ \\
& + (dt * kv3(i, j))) / dy)) + (- (uij(i, j)) * (((vij1(i, j)) - ((vij(i, j))_ \\
& + (dt * kv3(i, j))) / dx)) + (g / dy * ((hi1j(i, j)) - (hij(i, j))))_ \\
& + (-m / rho / dy / dy * ((vi1j(i, j)) - (2 * ((vij(i, j))_ \\
& + (dt * kv3(i, j)))) + (vi0j(i, j)))) + (-m / rho / dy / dy * _ \\
& ((vij1(i, j)) - (2 * ((vij(i, j)) + (dt * kv3(i, j)))) + (vij0(i, j))))_ \\
& + (g * soy) + (-g * n * n * ((vij(i, j)) + (dt * kv3(i, j)))_ \\
& / ((hij(i, j)) ^ (4 / 3)) * (((uij(i, j)) ^ 2) + (((vij(i, j))_ \\
& + (dt * kv3(i, j)) ^ 2) ^ 0.5)))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
rkv(i, j) = & (Range(v).Cells(i, j).Value) + (dt / 6 * ((kv1(i, j))_ \\
& + (2 * (kv2(i, j))) + (2 * (kv3(i, j))) + (kv4(i, j))))
\end{aligned}$$

'cari nilai h

(lanjutan)

```

kh1(i, j) = ((-(uij(i, j)) / dx * ((hij1(i, j)) - (hij(i, j))))_
            + (-((hij(i, j)) / dx * ((uij1(i, j)) - (uij(i, j))))_
            + (-((vij(i, j)) / dy * ((hi1j(i, j)) - (hij(i, j))))_
            + (-((hij(i, j)) / dy * ((vi1j(i, j)) - (vij(i, j)))))
kh2(i, j) = ((-(uij(i, j)) / dx * ((hij1(i, j)) - ((hij(i, j)) + (dt / 2 * kh1(i, j)))))_
            + (-((hij(i, j)) + (dt / 2 * kh1(i, j))) / dx * ((uij1(i, j)) - (uij(i, j))))_
            + (-((vij(i, j)) / dy * ((hi1j(i, j)) - ((hij(i, j)) + (dt / 2 * kh1(i, j)))))_
            + (-((hij(i, j)) + (dt / 2 * kh1(i, j))) / dy * ((vi1j(i, j)) - (vij(i, j)))))
kh3(i, j) = ((-(uij(i, j)) / dx * ((hij1(i, j)) - ((hij(i, j)) + (dt / 2 * kh2(i, j)))))_
            + (-((hij(i, j)) + (dt / 2 * kh2(i, j))) / dx * ((uij1(i, j)) - (uij(i, j))))_
            + (-((vij(i, j)) / dy * ((hi1j(i, j)) - ((hij(i, j)) + (dt / 2 * kh2(i, j)))))_
            + (-((hij(i, j)) + (dt / 2 * kh2(i, j))) / dy * ((vi1j(i, j)) - (vij(i, j)))))
kh4(i, j) = ((-(uij(i, j)) / dx * ((hij1(i, j)) - ((hij(i, j)) + (dt * kh3(i, j)))))_
            + (-((hij(i, j)) + (dt * kh3(i, j))) / dx * ((uij1(i, j)) - (uij(i, j))))_
            + (-((vij(i, j)) / dy * ((hi1j(i, j)) - ((hij(i, j)) + (dt * kh3(i, j)))))_
            + (-((hij(i, j)) + (dt * kh3(i, j))) / dy * ((vi1j(i, j)) - (vij(i, j)))))
rkh(i, j) = (Range(h).Cells(i, j).Value) + (dt / 6 * ((kh1(i, j))_
            + (2 * (kh2(i, j))) + (2 * (kh3(i, j))) + (kh4(i, j))))

```

```

'cetak output

```

```

Range(out).Cells(i + 1, j + 1).Value = (rku(i, j))

```

```

Range(out).Cells(i + 1 + ny + spasi + bound, j + 1).Value = (rkv(i, j))

```

```

Range(out).Cells(i + 1 + ny + ny + spasi + spasi + bound + bound,
j + 1).Value = (rkh(i, j))

```

```

Next i

```

```

Next j

```

```

End Sub

```

```

Private Sub CommandButton2_Click()

```

(lanjutan)

```
UserForm1.RefEdit1.Text = ""  
UserForm1.RefEdit2.Text = ""  
UserForm1.RefEdit3.Text = ""  
UserForm1.RefEdit4.Text = ""  
UserForm1.RefEdit5.Text = ""  
UserForm1.RefEdit6.Text = ""  
UserForm1.RefEdit7.Text = ""  
UserForm1.RefEdit8.Text = ""  
UserForm1.RefEdit9.Text = ""  
UserForm1.RefEdit10.Text = ""  
UserForm1.RefEdit11.Text = ""  
UserForm1.RefEdit12.Text = ""  
UserForm1.RefEdit13.Text = ""  
UserForm1.RefEdit14.Text = ""  
UserForm1.RefEdit15.Text = ""  
UserForm1.RefEdit16.Text = ""  
UserForm1.RefEdit17.Text = ""  
UserForm1.RefEdit18.Text = ""  
UserForm1.RefEdit19.Text = ""  
UserForm1.RefEdit20.Text = ""  
UserForm1.RefEdit21.Text = ""  
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton3_Click()  
Unload Me  
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton4_Click()  
uall = UserForm1.RefEdit18.Text  
vall = UserForm1.RefEdit19.Text
```

(lanjutan)

```
hall = UserForm1.RefEdit20.Text
outb = UserForm1.RefEdit21.Text

nyall = Range(uall).Rows.Count - 1
nxall = Range(uall).Columns.Count - 1

spasi = 3

For l = 0 To nxall
  For k = 0 To nyall
    Range(outb).Cells(k + 1, l + 1).Value = (Range(uall).Cells(k + 1, l + 1).Value)
    Range(outb).Cells(k + 1 + nyall + spazi, l + 1).Value = (Range(vall).Cells(k +
    1, l + 1).Value)
    Range(outb).Cells(k + 1 + nyall + spazi + nyall + spazi, l + 1).Value =
    (Range(hall).Cells(k + 1, l + 1).Value)
  Next k
Next l
End Sub
```

Lampiran 3. Tabel Hasil Perhitungan

1. Tabel Perhitungan Kondisi Sungai Lurus untuk Sub Program *Steady* (Program Percobaan)

Kecepatan Arah X (u)		nx	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ny	jarak	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	
1	5	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	
2	10	1,499	1,471568	1,458981	1,446532	1,434374	1,422495	1,410886	1,399538	1,388441	1,377587	
3	15	1,5	1,458968	1,446662	1,434487	1,422592	1,410967	1,399602	1,388489	1,377618	1,366982	
4	20	1,5015	1,44652	1,4345	1,422605	1,41098	1,399616	1,388503	1,377632	1,366997	1,356588	
5	25	1,503	1,434361	1,422618	1,410993	1,399629	1,388516	1,377646	1,367011	1,356602	1,346413	
6	30	1,504	1,422483	1,411006	1,399642	1,38853	1,37766	1,367025	1,356616	1,346427	1,336449	
7	35	1,503	1,410874	1,399655	1,388542	1,377673	1,367038	1,356629	1,34644	1,336463	1,326691	
8	40	1,5015	1,399526	1,388555	1,377686	1,367051	1,356643	1,346454	1,336477	1,326705	1,317132	
9	45	1,5	1,388429	1,377698	1,367063	1,356655	1,346467	1,33649	1,326718	1,317145	1,307765	
10	50	1,49	1,377575	1,367075	1,356668	1,346479	1,336503	1,326731	1,317158	1,307778	1,298584	

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,223466
1,366967	1,356574	1,3464	1,336438	1,326682	1,317123	1,307758	1,298578	1,289579	1,280755	1,272101	1,263611	1,255281	1,247107	1,239082	1,231205	1,223469	1,215871
1,356573	1,346383	1,336405	1,326633	1,317059	1,307677	1,298482	1,289467	1,280627	1,271957	1,263452	1,255107	1,246916	1,238877	1,230983	1,223232	1,215619	1,20814
1,346398	1,33642	1,326648	1,317074	1,307692	1,298497	1,289483	1,280643	1,271973	1,263468	1,255123	1,246933	1,238893	1,231	1,223249	1,215636	1,208157	1,200809
1,336435	1,326663	1,317089	1,307708	1,298513	1,289498	1,280659	1,271989	1,263484	1,255139	1,246949	1,23891	1,231016	1,223266	1,215653	1,208174	1,200826	1,193606
1,326677	1,317104	1,307722	1,298528	1,289513	1,280674	1,272005	1,2635	1,255155	1,246965	1,238926	1,231033	1,223282	1,215669	1,208191	1,200843	1,193622	1,186525
1,317118	1,307737	1,298542	1,289528	1,280689	1,27202	1,263515	1,25517	1,24698	1,238941	1,231048	1,223298	1,215685	1,208207	1,200859	1,193639	1,186542	1,179565
1,307751	1,298556	1,289542	1,280703	1,272034	1,26353	1,255185	1,246996	1,238957	1,231064	1,223313	1,215701	1,208223	1,200875	1,193655	1,186558	1,179582	1,172722
1,29857	1,289556	1,280718	1,272049	1,263544	1,2552	1,24701	1,238972	1,231079	1,223329	1,215716	1,208238	1,200891	1,193671	1,186574	1,179598	1,172738	1,165993
1,28957	1,280732	1,272063	1,263559	1,255214	1,247025	1,238986	1,231094	1,223344	1,215732	1,208254	1,200906	1,193686	1,18659	1,179613	1,172754	1,166009	1,159375

29	30
145	150
1,215868	1,208405
1,208408	1,201075
1,200792	1,193571
1,193588	1,186491
1,186508	1,179531
1,179548	1,172689
1,172706	1,16596
1,165977	1,159342
1,159359	1,152833
1,152849	1,146429

Kecepatan Arah Y (v)

	nx	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ny	jarak	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1	5	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529
2	10	-0,39	-0,374	-0,361718	-0,349501	-0,337572	-0,32592	-0,314536	-0,30341	-0,292533	-0,281897
3	15	-0,38	-0,362	-0,349713	-0,337796	-0,326156	-0,314784	-0,30367	-0,292805	-0,28218	-0,271789
4	20	-0,37	-0,350	-0,33778	-0,326141	-0,314769	-0,303655	-0,29279	-0,282166	-0,271775	-0,261607
5	25	-0,36	-0,338	-0,326125	-0,314754	-0,30364	-0,292776	-0,282152	-0,27176	-0,261593	-0,251643
6	30	-0,35	-0,326	-0,314738	-0,303625	-0,29276	-0,282137	-0,271745	-0,261579	-0,251629	-0,241889
7	35	-0,34	-0,315	-0,303609	-0,292745	-0,282121	-0,27173	-0,261564	-0,251614	-0,241875	-0,232339
8	40	-0,33	-0,303	-0,292729	-0,282106	-0,271715	-0,261548	-0,251599	-0,24186	-0,232324	-0,222985
9	45	-0,32	-0,293	-0,28209	-0,271699	-0,261533	-0,251584	-0,241845	-0,232309	-0,22297	-0,213821
10	50	-0,31	-0,282	-0,271683	-0,261517	-0,251568	-0,241829	-0,232294	-0,222955	-0,213806	-0,204842

(lanjutan)

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,13119
-0,271493	-0,261313	-0,251351	-0,241599	-0,232049	-0,222697	-0,213535	-0,204558	-0,195759	-0,187134	-0,178676	-0,170382	-0,162246	-0,154263	-0,14643	-0,138741	-0,131193	-0,123781
-0,261621	-0,251671	-0,241931	-0,232394	-0,223054	-0,213904	-0,204939	-0,196153	-0,18754	-0,179095	-0,170813	-0,162689	-0,154719	-0,146898	-0,139222	-0,131686	-0,124288	-0,117022
-0,251657	-0,241917	-0,232381	-0,223041	-0,213891	-0,204926	-0,19614	-0,187527	-0,179083	-0,170801	-0,162677	-0,154707	-0,146886	-0,13921	-0,131675	-0,124276	-0,11701	-0,109874
-0,241904	-0,232367	-0,223027	-0,213878	-0,204913	-0,196127	-0,187514	-0,17907	-0,170788	-0,162665	-0,154695	-0,146874	-0,139198	-0,131663	-0,124264	-0,116999	-0,109862	-0,102851
-0,232353	-0,223013	-0,213864	-0,2049	-0,196114	-0,187501	-0,179057	-0,170775	-0,162652	-0,154682	-0,146862	-0,139186	-0,131651	-0,124252	-0,116987	-0,10985	-0,10284	-0,095951
-0,222999	-0,21385	-0,204886	-0,1961	-0,187488	-0,179043	-0,170762	-0,162639	-0,154669	-0,146849	-0,139173	-0,131638	-0,12424	-0,116974	-0,109838	-0,102828	-0,095939	-0,08917
-0,213836	-0,204872	-0,196086	-0,187474	-0,17903	-0,170749	-0,162626	-0,154656	-0,146836	-0,13916	-0,131625	-0,124227	-0,116962	-0,109826	-0,102815	-0,095927	-0,089158	-0,082505
-0,204857	-0,196072	-0,18746	-0,179016	-0,170735	-0,162612	-0,154643	-0,146823	-0,139147	-0,131612	-0,124214	-0,116949	-0,109813	-0,102803	-0,095915	-0,089146	-0,082493	-0,075952
-0,196057	-0,187445	-0,179002	-0,170721	-0,162598	-0,154629	-0,146809	-0,139134	-0,131599	-0,124201	-0,116936	-0,1098	-0,10279	-0,095902	-0,089133	-0,08248	-0,07594	-0,06951

29	30
145	150
-0,123779	-0,1165
-0,116503	-0,109354
-0,109885	-0,102874
-0,102863	-0,095974
-0,095963	-0,089193
-0,089182	-0,082529
-0,082517	-0,075976
-0,075965	-0,069534
-0,069522	-0,063199
-0,063186	-0,056967

(lanjutan)

Tinggi Muka Air (h)	nx	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	jarak	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
1	5	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799
2	10	3,868195	3,872285	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761
3	15	3,923216	3,873302	3,874311	3,875221	3,876124	3,877018	3,877904	3,878783	3,879654	3,880518
4	20	3,919451	3,874121	3,875121	3,876023	3,876917	3,877803	3,878682	3,879553	3,880417	3,881274
5	25	3,958083	3,874931	3,875923	3,876817	3,877703	3,878581	3,879452	3,880316	3,881173	3,882023
6	30	3,955499	3,875733	3,876716	3,877602	3,878481	3,879352	3,880216	3,881072	3,881922	3,882765
7	35	3,98421	3,876526	3,877502	3,87838	3,879251	3,880115	3,880972	3,881821	3,882664	3,883501
8	40	3,988169	3,877312	3,87828	3,879151	3,880015	3,880871	3,881721	3,882564	3,8834	3,88423
9	45	3,998804	3,87809	3,879051	3,879914	3,880771	3,88162	3,882463	3,883299	3,884129	3,884953
10	50	4,025582	3,878861	3,879814	3,880671	3,88152	3,882363	3,883199	3,884029	3,884852	3,88567

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882
3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,891546
3,881374	3,882224	3,883067	3,883904	3,884734	3,885558	3,886376	3,887188	3,887993	3,888794	3,889588	3,890378	3,891162	3,891941	3,892714	3,893483	3,894247	3,895006
3,882123	3,882966	3,883803	3,884633	3,885457	3,886275	3,887086	3,887892	3,888692	3,889487	3,890276	3,89106	3,891839	3,892613	3,893382	3,894146	3,894905	3,895659
3,882866	3,883702	3,884532	3,885356	3,886174	3,886985	3,887791	3,888591	3,889386	3,890175	3,890959	3,891738	3,892511	3,89328	3,894044	3,894803	3,895558	3,896308
3,883601	3,884431	3,885255	3,886073	3,886884	3,88769	3,88849	3,889285	3,890074	3,890858	3,891637	3,89241	3,893179	3,893943	3,894702	3,895456	3,896206	3,896952
3,884331	3,885154	3,885972	3,886783	3,887589	3,888389	3,889184	3,889973	3,890757	3,891535	3,892309	3,893078	3,893841	3,8946	3,895355	3,896105	3,89685	3,897591
3,885053	3,885871	3,886683	3,887488	3,888288	3,889083	3,889872	3,890656	3,891434	3,892208	3,892976	3,89374	3,894499	3,895253	3,896003	3,896749	3,89749	3,898227
3,88577	3,886582	3,887388	3,888188	3,888982	3,889771	3,890555	3,891333	3,892107	3,892875	3,893639	3,894398	3,895152	3,895902	3,896647	3,897388	3,898125	3,898858
3,886481	3,887287	3,888087	3,888881	3,88967	3,890454	3,891232	3,892006	3,892774	3,893538	3,894297	3,895051	3,895801	3,896546	3,897287	3,898024	3,898756	3,899485

29	30
145	150
3,891546	3,892205
3,892205	3,892859
3,895761	3,896511
3,896409	3,897155
3,897053	3,897794
3,897693	3,89843
3,898328	3,899061
3,898959	3,899688
3,899586	3,900311
3,900209	3,90093

KECEPATAN	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517	1,432044	1,418919	1,406129	1,393662	1,381508	1,369656	1,358096
	1,548903	1,518362	1,503152	1,488155	1,473561	1,459355	1,445522	1,432049	1,418924	1,406133	1,393667	1,381513	1,369661	1,358101	1,346823
	1,547385	1,503143	1,488331	1,473723	1,459502	1,445654	1,432166	1,419026	1,406221	1,393739	1,38157	1,369703	1,358127	1,346834	1,335813
	1,546416	1,488147	1,473732	1,459511	1,445664	1,432177	1,419037	1,406232	1,393751	1,381582	1,369715	1,35814	1,346846	1,335826	1,325069
	1,545513	1,473553	1,45952	1,445674	1,432187	1,419047	1,406243	1,393762	1,381593	1,369727	1,358152	1,346859	1,335839	1,325082	1,314581
	1,544188	1,459347	1,445683	1,432196	1,419057	1,406253	1,393772	1,381604	1,369738	1,358163	1,34687	1,335851	1,325095	1,314594	1,304341
	1,540977	1,445514	1,432205	1,419066	1,406263	1,393783	1,381615	1,369749	1,358174	1,346882	1,335862	1,325107	1,314606	1,304353	1,29434
	1,537336	1,432041	1,419075	1,406272	1,393792	1,381625	1,369759	1,358185	1,346893	1,335874	1,325118	1,314618	1,304366	1,294352	1,284571
	1,533754	1,418916	1,406281	1,393801	1,381634	1,369769	1,358195	1,346903	1,335884	1,325129	1,31463	1,304377	1,294364	1,284583	1,275027
	1,521907	1,406125	1,39381	1,381643	1,369778	1,358205	1,346914	1,335895	1,32514	1,314641	1,304389	1,294376	1,284595	1,27504	1,265702
RATA-RATA															

(lanjutan)

1,346818	1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,284584	1,275043	1,26572	1,256608	1,247701	1,238994	1,230479	1,222153	1,214008
1,335817	1,325076	1,314591	1,304353	1,294354	1,284588	1,275046	1,265723	1,256611	1,247705	1,238997	1,230483	1,222156	1,214011	1,206043
1,325056	1,314555	1,304301	1,294286	1,284504	1,274946	1,265607	1,256478	1,247555	1,238831	1,2303	1,221956	1,213794	1,205809	1,197996
1,314568	1,304315	1,2943	1,284518	1,274961	1,265621	1,256493	1,24757	1,238846	1,230315	1,221972	1,21381	1,205826	1,198013	1,190366
1,304328	1,294314	1,284532	1,274975	1,265636	1,256508	1,247585	1,238861	1,230331	1,221987	1,213826	1,205841	1,198029	1,190383	1,182899
1,294327	1,284545	1,274989	1,26565	1,256522	1,2476	1,238876	1,230346	1,222002	1,213841	1,205857	1,198044	1,190399	1,182915	1,175589
1,284558	1,275002	1,265663	1,256536	1,247614	1,23889	1,23036	1,222017	1,213856	1,205872	1,19806	1,190414	1,182931	1,175605	1,168433
1,275015	1,265676	1,256549	1,247627	1,238904	1,230374	1,222032	1,213871	1,205887	1,198075	1,190429	1,182946	1,175621	1,168449	1,161426
1,265689	1,256563	1,247641	1,238918	1,230388	1,222046	1,213885	1,205901	1,198089	1,190444	1,182961	1,175636	1,168464	1,161441	1,154564
1,256575	1,247654	1,238931	1,230402	1,222059	1,213899	1,205916	1,198104	1,190459	1,182976	1,175651	1,168479	1,161457	1,154579	1,147843

DEBIT	30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719	27,76169	27,51276	27,27018	27,03373	26,8032	26,57839	26,35911
	29,9573	29,39764	29,11005	28,82572	28,549	28,27961	28,01729	27,76179	27,51286	27,27028	27,03382	26,80329	26,57847	26,35919	26,14525
	30,35363	29,11064	28,83128	28,555	28,28604	28,02413	27,76902	27,52047	27,27826	27,04215	26,81196	26,58747	26,3685	26,15487	25,94639
	30,30551	28,8263	28,55444	28,2855	28,0236	27,7685	27,51997	27,27776	27,04167	26,81149	26,58701	26,36806	26,15443	25,94597	25,7425
	30,58633	28,54958	28,28494	28,02306	27,76798	27,51945	27,27726	27,04118	26,81101	26,58655	26,3676	26,15399	25,94554	25,74208	25,54346
	30,54017	28,28018	28,02251	27,76744	27,51893	27,27675	27,04069	26,81053	26,58608	26,36714	26,15354	25,9451	25,74165	25,54304	25,34911
	30,69788	28,01786	27,76689	27,5184	27,27623	27,04018	26,81004	26,5856	26,36667	26,15308	25,94465	25,74122	25,54262	25,34869	25,15931
	30,65578	27,76235	27,51786	27,27571	27,03967	26,80954	26,58511	26,3662	26,15262	25,9442	25,74077	25,54218	25,34827	25,1589	24,97391
	30,6659	27,51341	27,27518	27,03915	26,80903	26,58461	26,36571	26,15215	25,94374	25,74033	25,54174	25,34785	25,15848	24,97351	24,79279
	30,6328	27,27082	27,03862	26,80851	26,58411	26,36522	26,15167	25,94327	25,73987	25,5413	25,34741	25,15805	24,97309	24,79239	24,61581
TOTAL	304,4018	284,4266	281,8039	279,2084	276,6802	274,2169	271,8163	269,4761	267,1945	264,9693	262,7987	260,6809	258,6143	256,597	254,6276

26,14517	25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	24,96458	24,78358	24,60672	24,43388	24,26493	24,09976	23,93825	23,78031	23,62583
25,93649	25,73273	25,53382	25,3396	25,14992	24,96465	24,78365	24,60679	24,43394	24,26499	24,09982	23,93832	23,78037	23,62589	23,47477
25,74292	25,54427	25,35031	25,16088	24,97585	24,79508	24,61844	24,4458	24,27706	24,11208	23,95076	23,793	23,63868	23,48773	23,34003
25,54387	25,34992	25,1605	24,97548	24,79472	24,61809	24,44546	24,27672	24,11175	23,95044	23,79268	23,63838	23,48743	23,33974	23,19521
25,34952	25,16011	24,9751	24,79435	24,61772	24,44511	24,27637	24,11141	23,95011	23,79236	23,63807	23,48712	23,33944	23,19492	23,05348
25,15971	24,97471	24,79397	24,61735	24,44475	24,27602	24,11107	23,94978	23,79204	23,63775	23,48681	23,33914	23,19463	23,0532	22,91476
24,97432	24,79358	24,61698	24,44438	24,27566	24,11072	23,94944	23,79171	23,63743	23,4865	23,33883	23,19433	23,0529	22,91447	22,77895
24,79319	24,6166	24,44401	24,2753	24,11036	23,94909	23,79137	23,6371	23,48618	23,33852	23,19402	23,0526	22,91418	22,77867	22,64599
24,61621	24,44363	24,27493	24,11	23,94874	23,79102	23,63676	23,48585	23,33819	23,19371	23,0523	22,91388	22,77838	22,64571	22,51579
24,44324	24,27455	24,10964	23,94838	23,79067	23,63642	23,48551	23,33787	23,19339	23,05199	22,91358	22,77808	22,64542	22,51551	22,38828
252,7046	250,8265	248,9919	247,1995	245,4479	243,736	242,0626	240,4266	238,8268	237,2622	235,7318	234,2346	232,7697	231,3361	229,9331

2. Tabel Perhitungan Kondisi Sungai Lurus untuk Sub Program *Unsteady* (Program Percobaan)

T= 3 s	Kecepatan Arah X (u)													
1,498	1,460714	1,447904	1,435938	1,424242	1,412807	1,401623	1,390682	1,379976	1,369497					
1,499	1,448479	1,435942	1,424246	1,412811	1,401627	1,390686	1,37998	1,369501	1,359242					
1,5	1,437466	1,425181	1,413731	1,402533	1,391578	1,380858	1,370364	1,360091	1,35003					
1,5015	1,425771	1,413743	1,402545	1,39159	1,38087	1,370376	1,360103	1,350042	1,340187					
1,503	1,414337	1,402556	1,391601	1,380881	1,370388	1,360115	1,350054	1,3402	1,330544					
1,504	1,403154	1,391612	1,380892	1,370399	1,360127	1,350066	1,340212	1,330556	1,321094					
1,503	1,392214	1,380903	1,37041	1,360138	1,350078	1,340223	1,330568	1,321106	1,311831					
1,5015	1,381509	1,370421	1,360149	1,350089	1,340234	1,33058	1,321118	1,311843	1,302749					
1,5	1,37103	1,360159	1,350099	1,340245	1,330591	1,321129	1,311854	1,302761	1,293843					
1,49	1,360772	1,35011	1,340256	1,330602	1,32114	1,311866	1,302772	1,293855	1,285108					

(lanjutan)

1,359238	1,349191	1,33935	1,329709	1,32026	1,310999	1,301919	1,293014	1,284281	1,275713	1,267305	1,259054	1,250954	1,243001	1,235192	1,227521	1,219986	1,212582
1,349195	1,339354	1,329712	1,320264	1,311002	1,301922	1,293018	1,284284	1,275716	1,267308	1,259057	1,250957	1,243004	1,235194	1,227524	1,219988	1,212585	1,205309
1,340174	1,330518	1,321055	1,311779	1,302685	1,293766	1,285018	1,276435	1,268013	1,259747	1,251633	1,243665	1,235841	1,228156	1,220606	1,213187	1,205897	1,198731
1,330531	1,321068	1,311793	1,302698	1,29378	1,285032	1,276449	1,268027	1,259762	1,251647	1,24368	1,235856	1,228171	1,220621	1,213203	1,205912	1,198747	1,191702
1,321081	1,311806	1,302712	1,293793	1,285045	1,276463	1,268041	1,259776	1,251662	1,243695	1,235871	1,228186	1,220636	1,213218	1,205928	1,198762	1,191717	1,184791
1,311818	1,302724	1,293806	1,285059	1,276476	1,268055	1,259789	1,251676	1,243709	1,235885	1,2282	1,220651	1,213233	1,205943	1,198777	1,191733	1,184806	1,177995
1,302737	1,293819	1,285071	1,27649	1,268068	1,259803	1,251689	1,243722	1,235899	1,228214	1,220665	1,213247	1,205957	1,198792	1,191748	1,184821	1,17801	1,171311
1,293831	1,285084	1,276502	1,268081	1,259816	1,251702	1,243736	1,235913	1,228228	1,220679	1,213261	1,205972	1,198806	1,191762	1,184836	1,178025	1,171326	1,164736
1,285096	1,276515	1,268094	1,259829	1,251715	1,243749	1,235926	1,228242	1,220693	1,213275	1,205986	1,19882	1,191776	1,184851	1,17804	1,171341	1,164751	1,158267
1,276527	1,268106	1,259841	1,251728	1,243762	1,235939	1,228255	1,220706	1,213289	1,205999	1,198834	1,19179	1,184865	1,178054	1,171355	1,164765	1,158282	1,151902

1,205306	1,198155
1,198157	1,191127
1,191686	1,184759
1,184775	1,177964
1,177979	1,17128
1,171295	1,164705
1,164721	1,158237
1,158252	1,151872
1,151887	1,145608
1,145623	1,139443

(lanjutan)

T= 3 s

Kecepatan Arah Y (v)

-0,4	0,382575	-0,371068	-0,358761	-0,346741	-0,334997	-0,323519	-0,312298	-0,301326	-0,290593
-0,39	-0,369984	-0,358766	-0,346746	-0,335002	-0,323523	-0,312302	-0,301333	-0,290597	-0,280096
-0,38	-0,357041	-0,346115	-0,334382	-0,322916	-0,311707	-0,300746	-0,290025	-0,279536	-0,269271
-0,37	-0,345024	-0,334367	-0,322901	-0,311692	-0,300732	-0,290011	-0,279522	-0,269258	-0,25921
-0,36	-0,333283	-0,322886	-0,311678	-0,300717	-0,289997	-0,279508	-0,269244	-0,259196	-0,249359
-0,35	-0,321808	-0,311663	-0,300702	-0,289982	-0,279494	-0,269229	-0,259182	-0,249345	-0,239711
-0,34	-0,31059	-0,300687	-0,289967	-0,279479	-0,269215	-0,259168	-0,249331	-0,239697	-0,23026
-0,33	-0,29962	-0,289952	-0,279464	-0,2692	-0,259153	-0,249316	-0,239683	-0,230246	-0,221
-0,32	-0,28889	-0,279448	-0,269185	-0,259138	-0,249301	-0,239668	-0,230231	-0,220985	-0,211924
-0,31	-0,278391	-0,269169	-0,259123	-0,249286	-0,239653	-0,230217	-0,220971	-0,21191	-0,203028

-0,280092	-0,269816	-0,259756	-0,249907	-0,24026	-0,23081	-0,221552	-0,212477	-0,203582	-0,194861	-0,186308	-0,177919	-0,169688	-0,161612	-0,153685	-0,145904	-0,138264	-0,130761
-0,26982	-0,25976	-0,24991	-0,240264	-0,230814	-0,221555	-0,212481	-0,203586	-0,194864	-0,186311	-0,177922	-0,169691	-0,161615	-0,153688	-0,145907	-0,138267	-0,130764	-0,123395
-0,259223	-0,249386	-0,239751	-0,230313	-0,221066	-0,212004	-0,203121	-0,194412	-0,185871	-0,177494	-0,169275	-0,161211	-0,153296	-0,145527	-0,137899	-0,130409	-0,123052	-0,115825
-0,249372	-0,239738	-0,2303	-0,221054	-0,211992	-0,203109	-0,194399	-0,185859	-0,177482	-0,169263	-0,161199	-0,153285	-0,145516	-0,137888	-0,130398	-0,123041	-0,115814	-0,108714
-0,239725	-0,230287	-0,221041	-0,211979	-0,203096	-0,194387	-0,185846	-0,17747	-0,169251	-0,161187	-0,153273	-0,145504	-0,137876	-0,130386	-0,12303	-0,115803	-0,108703	-0,101726
-0,230274	-0,221027	-0,211966	-0,203083	-0,194374	-0,185834	-0,177457	-0,169239	-0,161175	-0,153261	-0,145492	-0,137864	-0,130374	-0,123018	-0,115792	-0,108691	-0,101715	-0,094857
-0,221014	-0,211952	-0,20307	-0,194361	-0,185821	-0,177444	-0,169226	-0,161162	-0,153248	-0,14548	-0,137852	-0,130362	-0,123006	-0,11578	-0,10868	-0,101703	-0,094846	-0,088106
-0,211938	-0,203056	-0,194347	-0,185807	-0,177431	-0,169213	-0,16115	-0,153236	-0,145467	-0,13784	-0,13035	-0,122994	-0,115768	-0,108668	-0,101691	-0,094834	-0,088094	-0,081467
-0,203042	-0,194334	-0,185794	-0,177418	-0,1692	-0,161136	-0,153223	-0,145454	-0,137827	-0,130338	-0,122981	-0,115755	-0,108656	-0,101679	-0,094822	-0,088082	-0,081456	-0,07494
-0,19432	-0,18578	-0,177404	-0,169186	-0,161123	-0,153209	-0,145441	-0,137814	-0,130325	-0,122969	-0,115743	-0,108643	-0,101667	-0,09481	-0,08807	-0,081444	-0,074928	-0,06852

-0,123392	-0,116153
-0,116156	-0,109043
-0,108725	-0,101747
-0,101737	-0,094879
-0,094868	-0,088128
-0,088117	-0,08149
-0,081479	-0,074963
-0,074951	-0,068543
-0,068532	-0,062228
-0,062217	-0,056016

(lanjutan)

T= 3 s		Tinggi Muka Air (h)																	
3,870603	3,829281	3,830676	3,832479	3,834238	3,835955	3,837632	3,83927	3,840871	3,842437	3,843968	3,845500	3,847031	3,848562	3,850093	3,851624	3,853155	3,854686	3,856217	3,857748
3,868195	3,831116	3,832479	3,834238	3,835955	3,837631	3,83927	3,840871	3,842437	3,843968	3,845500	3,847031	3,848562	3,850093	3,851624	3,853155	3,854686	3,856217	3,857748	3,859279
3,923216	3,833041	3,834472	3,836289	3,838066	3,839804	3,841505	3,843171	3,844803	3,846403	3,847924	3,849465	3,851027	3,852600	3,854183	3,855776	3,857379	3,858992	3,860615	3,862248
3,919451	3,834789	3,83619	3,837967	3,839705	3,841406	3,843072	3,844704	3,846303	3,847871	3,849409	3,850967	3,852546	3,854146	3,855767	3,857409	3,859072	3,860756	3,862461	3,864187
3,958083	3,836495	3,837868	3,839606	3,841307	3,842972	3,844604	3,846203	3,847771	3,849309	3,850817	3,852305	3,853773	3,855231	3,856669	3,858187	3,859735	3,861314	3,862924	3,864565
3,955499	3,838161	3,839507	3,841208	3,842873	3,844505	3,846104	3,847672	3,84921	3,850719	3,852207	3,853675	3,855123	3,856551	3,857959	3,859437	3,860935	3,862464	3,864024	3,865615
3,98421	3,839789	3,841109	3,842774	3,844406	3,846005	3,847573	3,84911	3,850619	3,852101	3,853563	3,855005	3,856427	3,857829	3,859211	3,860573	3,861915	3,863237	3,86454	3,865832
3,988169	3,84138	3,842675	3,844307	3,845906	3,847473	3,849011	3,85052	3,852001	3,853456	3,854887	3,856297	3,857687	3,859057	3,860407	3,861737	3,863047	3,864337	3,865607	3,866857
3,998804	3,842936	3,844208	3,845807	3,847374	3,848912	3,850421	3,851902	3,853356	3,854785	3,856194	3,857584	3,858954	3,860304	3,861634	3,862944	3,864234	3,865504	3,866754	3,868004
4,025582	3,844459	3,845708	3,847275	3,848813	3,850322	3,851803	3,853257	3,854686	3,85609	3,857484	3,858858	3,860212	3,861546	3,86286	3,864164	3,865448	3,866712	3,867966	3,86921
3,843969	3,845468	3,846936	3,848374	3,849783	3,851164	3,852519	3,853848	3,855152	3,856433	3,85769	3,858926	3,86014	3,861334	3,862507	3,863662	3,864798	3,865916	3,867017	3,868102
3,845468	3,846936	3,848374	3,849783	3,851164	3,852519	3,853848	3,855152	3,856433	3,85769	3,858926	3,86014	3,861334	3,862507	3,863662	3,864798	3,865916	3,867017	3,868102	3,86917
3,847971	3,849509	3,851018	3,8525	3,853955	3,855384	3,856789	3,858169	3,859527	3,860863	3,862178	3,863472	3,864746	3,866001	3,867237	3,868456	3,869657	3,870842	3,872012	3,873177
3,849409	3,850918	3,8524	3,853855	3,855284	3,856688	3,858069	3,859427	3,860763	3,862077	3,863371	3,864645	3,8659	3,867137	3,868355	3,869556	3,870741	3,871909	3,873072	3,87423
3,850819	3,8523	3,853755	3,855184	3,856588	3,857969	3,859327	3,860663	3,861977	3,863271	3,864545	3,8658	3,867036	3,868255	3,869456	3,87064	3,871809	3,872961	3,874108	3,87525
3,8522	3,853655	3,855084	3,856489	3,857869	3,859227	3,860562	3,861877	3,863171	3,864445	3,865699	3,866936	3,868154	3,869355	3,87054	3,871708	3,872861	3,873998	3,87512	3,87625
3,853555	3,854984	3,856389	3,857769	3,859127	3,860462	3,861777	3,86307	3,864344	3,865599	3,866835	3,868054	3,869255	3,870439	3,871607	3,87276	3,873897	3,87502	3,87614	3,87726
3,854885	3,856289	3,857669	3,859027	3,860362	3,861677	3,86297	3,864244	3,865499	3,866735	3,867953	3,869154	3,870339	3,871507	3,872659	3,873797	3,87492	3,876028	3,87714	3,87826
3,856189	3,85757	3,858927	3,860263	3,861577	3,86287	3,864144	3,865399	3,866635	3,867853	3,869054	3,870238	3,871406	3,872559	3,873696	3,874819	3,875928	3,877022	3,87811	3,87921
3,85747	3,858828	3,860163	3,861477	3,862771	3,864044	3,865299	3,866535	3,867753	3,868954	3,870138	3,871306	3,872459	3,873596	3,874719	3,875827	3,876922	3,878003	3,87908	3,88016
3,867018	3,868102																		
3,868102	3,86917																		
3,87201	3,873163																		
3,873062	3,874																		
3,874099	3,875222																		
3,875121	3,87623																		
3,876129	3,877224																		
3,877123	3,878204																		
3,878104	3,879172																		
3,879072	3,880127																		

(lanjutan)

T= 6 s	Kecepatan Arah X (u)	1,498	1,452954	1,44355	1,431808	1,420329	1,409101	1,398119	1,387372	1,376854	1,366557
		1,499	1,441061	1,431813	1,420332	1,409106	1,398123	1,387376	1,376858	1,366561	1,356477
		1,5	1,431172	1,422065	1,410825	1,399831	1,389073	1,378543	1,368233	1,358137	1,348248
		1,5015	1,419797	1,410835	1,39984	1,389082	1,378552	1,368243	1,358147	1,348259	1,33857
		1,503	1,408671	1,399849	1,389091	1,378562	1,368253	1,358157	1,348269	1,33858	1,329086
		1,504	1,397786	1,3891	1,37857	1,368262	1,358167	1,348279	1,338591	1,329096	1,31979
		1,503	1,387134	1,378579	1,36827	1,358176	1,348288	1,3386	1,329107	1,319801	1,310677
		1,5015	1,376707	1,36828	1,358184	1,348297	1,33861	1,329116	1,319811	1,310687	1,30174
		1,5	1,366498	1,358194	1,348306	1,338619	1,329126	1,31982	1,310697	1,30175	1,292975
		1,49	1,3565	1,348315	1,338627	1,329135	1,319829	1,310706	1,30176	1,292985	1,284376

1,356473	1,346597	1,33692	1,327438	1,318144	1,309032	1,300097	1,291334	1,282736	1,2743	1,266021	1,257895	1,249916	1,24208	1,234385	1,226825	1,219398	1,212099
1,3466	1,336924	1,327442	1,318148	1,309036	1,3001	1,291337	1,282739	1,274304	1,266024	1,257898	1,249919	1,242083	1,234388	1,226828	1,219401	1,212102	1,204928
1,338559	1,329064	1,319757	1,310632	1,301684	1,292908	1,284297	1,275848	1,267556	1,259416	1,251423	1,243575	1,235866	1,228293	1,220852	1,213539	1,206351	1,199286
1,329075	1,319769	1,310644	1,301696	1,29292	1,28431	1,275861	1,267569	1,259429	1,251437	1,243588	1,235879	1,228306	1,220865	1,213553	1,206366	1,1993	1,192353
1,31978	1,310655	1,301708	1,292931	1,284321	1,275873	1,267581	1,259441	1,251449	1,243601	1,235892	1,22832	1,220879	1,213567	1,206379	1,199314	1,192367	1,185535
1,310666	1,301719	1,292943	1,284333	1,275885	1,267593	1,259453	1,251462	1,243614	1,235905	1,228333	1,220892	1,21358	1,206393	1,199327	1,192381	1,185549	1,17883
1,30173	1,292954	1,284344	1,275896	1,267605	1,259465	1,251474	1,243626	1,235918	1,228345	1,220905	1,213593	1,206406	1,199341	1,192394	1,185563	1,178844	1,172234
1,292965	1,284355	1,275907	1,267616	1,259477	1,251486	1,243638	1,23593	1,228358	1,220917	1,213606	1,206419	1,199354	1,192407	1,185576	1,178857	1,172248	1,165745
1,284366	1,275918	1,267627	1,259488	1,251497	1,243649	1,235942	1,22837	1,22093	1,213618	1,206431	1,199367	1,19242	1,185589	1,17887	1,172261	1,165759	1,159361
1,275929	1,267638	1,259499	1,251508	1,243661	1,235953	1,228381	1,220941	1,21363	1,206444	1,199379	1,192433	1,185602	1,178883	1,172274	1,165772	1,159374	1,153077

1,204925	1,197873
1,197875	1,190942
1,192338	1,185506
1,185521	1,178801
1,178816	1,172206
1,17222	1,165717
1,165732	1,159333
1,159347	1,15305
1,153064	1,146866
1,146879	1,140778

(lanjutan)

T= 6 s

Kecepatan Arah Y (v)

-0,4	0,373468	-0,359723	0,347919	-0,336374	-0,325081	-0,314031	-0,303215	-0,292628	-0,28226
-0,39	-0,361304	-0,347923	-0,33638	-0,325085	-0,314035	-0,303219	-0,292632	-0,282264	-0,27211
-0,38	-0,34795	-0,334934	-0,323653	-0,312612	-0,301808	-0,291231	-0,280875	-0,270733	-0,260797
-0,37	-0,336312	-0,323638	-0,312599	-0,301794	-0,291218	-0,280862	-0,270719	-0,260784	-0,251049
-0,36	-0,324929	-0,312585	-0,301781	-0,291204	-0,280848	-0,270706	-0,260771	-0,251036	-0,241496
-0,35	-0,313791	-0,301766	-0,291191	-0,280835	-0,270692	-0,260757	-0,251023	-0,241482	-0,232131
-0,34	-0,302892	-0,291176	-0,280821	-0,270678	-0,260743	-0,251009	-0,241469	-0,232118	-0,222949
-0,33	-0,292223	-0,280806	-0,270665	-0,260729	-0,250995	-0,241455	-0,232104	-0,222936	-0,213945
-0,32	-0,281777	-0,27065	-0,260715	-0,250981	-0,241441	-0,23209	-0,222922	-0,213932	-0,205114
-0,31	-0,271547	-0,2607	-0,250967	-0,241427	-0,232076	-0,222908	-0,213918	-0,2051	-0,19645

-0,272106	-0,262159	-0,252413	-0,242861	-0,233498	-0,224318	-0,215315	-0,206485	-0,197822	-0,189322	-0,18098	-0,172791	-0,164752	-0,156858	-0,149104	-0,141489	-0,134007	-0,126655
-0,262163	-0,252417	-0,242865	-0,233502	-0,224321	-0,215319	-0,206488	-0,197825	-0,189325	-0,180983	-0,172794	-0,164755	-0,156861	-0,149107	-0,141492	-0,134009	-0,126657	-0,119432
-0,251062	-0,241521	-0,232169	-0,223	-0,214009	-0,20519	-0,196539	-0,18805	-0,179719	-0,171542	-0,163514	-0,155631	-0,14789	-0,140286	-0,132815	-0,125475	-0,118261	-0,11117
-0,241509	-0,232157	-0,222988	-0,213997	-0,205178	-0,196527	-0,188038	-0,179708	-0,171531	-0,163503	-0,15562	-0,147879	-0,140275	-0,132804	-0,125464	-0,11825	-0,11116	-0,10419
-0,232144	-0,222975	-0,213984	-0,205166	-0,196515	-0,188026	-0,179696	-0,171519	-0,163491	-0,155609	-0,147868	-0,140264	-0,132793	-0,125453	-0,11824	-0,11115	-0,10418	-0,097327
-0,222963	-0,213972	-0,205153	-0,196502	-0,188014	-0,179684	-0,171507	-0,163479	-0,155597	-0,147856	-0,140252	-0,132782	-0,125442	-0,118229	-0,111139	-0,104169	-0,097316	-0,090577
-0,213959	-0,20514	-0,19649	-0,188001	-0,179671	-0,171495	-0,163467	-0,155585	-0,147844	-0,140241	-0,132771	-0,125431	-0,118217	-0,111127	-0,104158	-0,097305	-0,090566	-0,083939
-0,205127	-0,196477	-0,187989	-0,179659	-0,171482	-0,163455	-0,155573	-0,147832	-0,140229	-0,132759	-0,125419	-0,118206	-0,111116	-0,104146	-0,097294	-0,090555	-0,083928	-0,077409
-0,196463	-0,187976	-0,179646	-0,171469	-0,163442	-0,15556	-0,14782	-0,140216	-0,132747	-0,125407	-0,118194	-0,111104	-0,104135	-0,097282	-0,090544	-0,083916	-0,077398	-0,070984
-0,187962	-0,179632	-0,171456	-0,163429	-0,155548	-0,147807	-0,140204	-0,132734	-0,125395	-0,118182	-0,111092	-0,104123	-0,09727	-0,090532	-0,083905	-0,077386	-0,070973	-0,064663

-0,119429	-0,112327
-0,11233	-0,105348
-0,1042	-0,097347
-0,097337	-0,090598
-0,090588	-0,08396
-0,083949	-0,07743
-0,07742	-0,071006
-0,070995	-0,064685
-0,064674	-0,058465
-0,058454	-0,052342

(lanjutan)

T= 6 s		Tinggi Muka Air (h)																	
3,870603	3,83222	3,827941	3,829836	3,831682	3,833482	3,835238	3,836953	3,838626	3,840261	3,84186									
3,868195	3,834135	3,829835	3,831682	3,833482	3,835238	3,836952	3,838626	3,840261	3,84186										
3,923216	3,83613	3,831905	3,833806	3,835662	3,837476	3,839251	3,840987	3,842685	3,844349										
3,919451	3,83795	3,833706	3,835563	3,837377	3,839151	3,840887	3,842586	3,844249	3,845879										
3,958083	3,839725	3,835464	3,837278	3,839052	3,840788	3,842486	3,84415	3,845779	3,847376										
3,955499	3,841457	3,837179	3,838953	3,840688	3,842387	3,84405	3,84568	3,847276	3,848842										
3,98421	3,843148	3,838854	3,840589	3,842288	3,843951	3,84558	3,847177	3,848742	3,850278										
3,988169	3,8448	3,84049	3,842189	3,843852	3,845481	3,847077	3,848643	3,850178	3,851685										
3,998804	3,846413	3,84209	3,843753	3,845382	3,846978	3,848543	3,850079	3,851585	3,853064										
4,025582	3,847991	3,843654	3,845283	3,846879	3,848444	3,84998	3,851486	3,852965	3,854417										
3,84186	3,843423	3,844952	3,846449	3,847914	3,84935	3,850756	3,852135	3,853487	3,854814	3,856115	3,857393	3,858648	3,859882	3,861093	3,862284	3,863456	3,864608	3,865742	
3,843423	3,844952	3,846449	3,847914	3,849349	3,850756	3,852135	3,853487	3,854813	3,856115	3,857393	3,858648	3,859881	3,861093	3,862284	3,863456	3,864608	3,865742		
3,845978	3,847576	3,849141	3,850677	3,852184	3,853663	3,855116	3,856543	3,857945	3,859324	3,86068	3,862013	3,863325	3,864617	3,865889	3,867142	3,868376	3,869592		
3,847476	3,849041	3,850577	3,852084	3,853563	3,855016	3,856443	3,857845	3,859224	3,860579	3,861913	3,863225	3,864516	3,865788	3,867041	3,868275	3,869491	3,870691		
3,848942	3,850477	3,851984	3,853463	3,854916	3,856343	3,857745	3,859123	3,860479	3,861812	3,863124	3,864416	3,865688	3,86694	3,868174	3,869391	3,87059	3,871772		
3,850378	3,851884	3,853363	3,854816	3,856243	3,857645	3,859023	3,860378	3,861712	3,863024	3,864315	3,865587	3,86684	3,868074	3,86929	3,870489	3,871671	3,872837		
3,851785	3,853264	3,854716	3,856143	3,857545	3,858923	3,860278	3,861612	3,862924	3,864215	3,865487	3,866739	3,867973	3,869189	3,870388	3,87157	3,872737	3,873887		
3,853164	3,854616	3,856043	3,857445	3,858823	3,860178	3,861511	3,862823	3,864115	3,865386	3,866639	3,867873	3,869089	3,870288	3,87147	3,872636	3,873786	3,874922		
3,854516	3,855943	3,857345	3,858723	3,860078	3,861411	3,862723	3,864015	3,865286	3,866539	3,867772	3,868989	3,870187	3,871369	3,872535	3,873686	3,874821	3,875941		
3,855843	3,857245	3,858623	3,859978	3,861312	3,862623	3,863915	3,865186	3,866438	3,867672	3,868888	3,870087	3,871269	3,872435	3,873585	3,87472	3,875841	3,876947		
3,865742	3,866858																		
3,866857	3,867956																		
3,870791	3,871974																		
3,871873	3,873039																		
3,872938	3,874089																		
3,873988	3,875123																		
3,875022	3,876143																		
3,876042	3,877149																		
3,877048	3,87814																		
3,87804	3,879119																		

(lanjutan)

Kecepatan Arah X Kondisi Steady Penelusuran pertama	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435	1,326678
	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435
	1,5	1,499	1,471568	1,458981	1,446532	1,434374	1,422495	1,410886	1,399538	1,388441	1,377587	1,366967	1,356574	1,3464	1,336438	1,326682
	1,5015	1,5	1,458968	1,446662	1,434487	1,422592	1,410967	1,399602	1,388489	1,377618	1,366982	1,356573	1,346383	1,336405	1,326633	1,317059
	1,503	1,5015	1,44652	1,4345	1,422605	1,41098	1,399616	1,388516	1,377646	1,367011	1,356602	1,346413	1,336435	1,326663	1,317089	1,307708
	1,504	1,503	1,434361	1,422618	1,410993	1,399629	1,388516	1,377666	1,367025	1,356616	1,346427	1,336449	1,326677	1,317104	1,307722	1,298528
	1,503	1,504	1,422483	1,411006	1,399642	1,38853	1,37766	1,367025	1,356616	1,346427	1,336449	1,326677	1,317104	1,307722	1,298528	1,289513
	1,5015	1,503	1,410874	1,399655	1,388542	1,377673	1,367038	1,356629	1,34644	1,336463	1,326691	1,317118	1,307737	1,298542	1,289528	1,280689
	1,5	1,5015	1,399526	1,388555	1,377686	1,367051	1,356643	1,346454	1,336477	1,326705	1,317132	1,307751	1,298556	1,289542	1,280703	1,272034
	1,49	1,377575	1,367075	1,356668	1,346479	1,336503	1,326731	1,317158	1,307778	1,298584	1,28957	1,280732	1,272063	1,263559	1,255214	1,247025

1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,223466	1,215868	1,208405
1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,223466	1,201075
1,317123	1,307758	1,298578	1,289579	1,280755	1,272101	1,263611	1,255281	1,247107	1,239082	1,231205	1,223469	1,215871	1,193571
1,307677	1,298482	1,289467	1,280627	1,271957	1,263452	1,255107	1,246916	1,238877	1,230983	1,223232	1,215619	1,20814	1,186491
1,298497	1,289483	1,280643	1,271973	1,263468	1,255123	1,246933	1,238893	1,231	1,223249	1,215636	1,208157	1,200809	1,179531
1,289498	1,280659	1,271989	1,263484	1,255139	1,246949	1,23891	1,231016	1,223266	1,215653	1,208174	1,200826	1,193606	1,172689
1,280674	1,272005	1,2635	1,255155	1,246965	1,238926	1,231033	1,223282	1,215669	1,208191	1,200843	1,193622	1,186525	1,16596
1,27202	1,263515	1,25517	1,24698	1,238941	1,231048	1,223298	1,215685	1,208207	1,200859	1,193639	1,186542	1,179565	1,159342
1,26353	1,255185	1,246996	1,238957	1,231064	1,223313	1,215701	1,208223	1,200875	1,193655	1,186558	1,179582	1,172722	1,152833
1,238986	1,231094	1,223344	1,215732	1,208254	1,200906	1,193686	1,18659	1,179613	1,172754	1,166009	1,159375	1,152849	1,146429

Kecepatan Arah Y Kondisi Steady Penelusuran pertama	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046
	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595
	-0,38	-0,39	-0,374045	-0,361718	-0,349501	-0,337572	-0,32592	-0,314536	-0,30341	-0,292533	-0,281897	-0,271493	-0,261313	-0,251351	-0,241599	-0,232049
	-0,37	-0,38	-0,361734	-0,349713	-0,337796	-0,326156	-0,314784	-0,30367	-0,292805	-0,28218	-0,271789	-0,261621	-0,251671	-0,241931	-0,232394	-0,223054
	-0,36	-0,37	-0,349517	-0,33778	-0,326141	-0,314769	-0,303655	-0,29279	-0,282166	-0,271775	-0,261607	-0,251657	-0,241917	-0,232381	-0,223041	-0,213891
	-0,35	-0,36	-0,337588	-0,326125	-0,314754	-0,30364	-0,292776	-0,282152	-0,27176	-0,261593	-0,251643	-0,241904	-0,232367	-0,223027	-0,213878	-0,204913
	-0,34	-0,35	-0,325937	-0,314738	-0,303625	-0,29276	-0,282137	-0,271745	-0,261579	-0,251629	-0,241889	-0,232353	-0,223013	-0,213864	-0,2049	-0,196114
	-0,33	-0,34	-0,314553	-0,303609	-0,292745	-0,282121	-0,27173	-0,261564	-0,251614	-0,241875	-0,232339	-0,222999	-0,21385	-0,204886	-0,1961	-0,187488
	-0,32	-0,33	-0,303427	-0,292729	-0,282106	-0,271715	-0,261548	-0,251599	-0,24186	-0,232324	-0,222985	-0,213836	-0,204872	-0,196086	-0,187474	-0,17903
	-0,31	-0,281913	-0,271683	-0,261517	-0,251568	-0,241829	-0,232294	-0,222955	-0,213806	-0,204842	-0,196057	-0,187445	-0,179002	-0,170721	-0,162598	-0,154629



-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,13119	-0,123779	-0,1165
-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,13119	-0,109354
-0,222697	-0,213535	-0,204558	-0,195759	-0,187134	-0,178676	-0,170382	-0,162246	-0,154263	-0,14643	-0,138741	-0,131193	-0,123781	-0,102874
-0,213904	-0,204939	-0,196153	-0,18754	-0,179095	-0,170813	-0,162689	-0,154719	-0,146898	-0,139222	-0,131686	-0,124288	-0,117022	-0,095974
-0,204926	-0,19614	-0,187527	-0,179083	-0,170801	-0,162677	-0,154707	-0,146886	-0,13921	-0,131675	-0,124276	-0,11701	-0,109874	-0,089193
-0,196127	-0,187514	-0,17907	-0,170788	-0,162665	-0,154695	-0,146874	-0,139198	-0,131663	-0,124264	-0,116999	-0,109862	-0,102851	-0,082529
-0,187501	-0,179057	-0,170775	-0,162652	-0,154682	-0,146862	-0,139186	-0,131651	-0,124252	-0,116987	-0,10985	-0,10284	-0,095951	-0,075976
-0,179043	-0,170762	-0,162639	-0,154669	-0,146849	-0,139173	-0,131638	-0,12424	-0,116974	-0,109838	-0,102828	-0,095939	-0,08917	-0,069534
-0,170749	-0,162626	-0,154656	-0,146836	-0,13916	-0,131625	-0,124227	-0,116962	-0,109826	-0,102815	-0,095927	-0,089158	-0,082505	-0,063199
-0,146809	-0,139134	-0,131599	-0,124201	-0,116936	-0,1098	-0,10279	-0,095902	-0,089133	-0,08248	-0,07594	-0,06951	-0,063186	-0,056967

Kedalaman Air	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509
Kondisi Steady	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773
Penelusuran pertama	3,923216	3,868195	3,872285	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509
	3,919451	3,923216	3,873302	3,874311	3,875221	3,876124	3,877018	3,877904	3,878783	3,879654	3,880518	3,881374	3,882224	3,883067	3,883904	3,884734
	3,958083	3,919451	3,874121	3,875121	3,876023	3,876917	3,877803	3,878682	3,879553	3,880417	3,881274	3,882123	3,882966	3,883803	3,884633	3,885457
	3,955499	3,958083	3,874931	3,875923	3,876817	3,877703	3,878581	3,879452	3,880316	3,881173	3,882023	3,882866	3,883702	3,884532	3,885356	3,886174
	3,98421	3,955499	3,875733	3,876716	3,877602	3,878481	3,879352	3,880216	3,881072	3,881922	3,882765	3,883601	3,884431	3,885255	3,886073	3,886884
	3,988169	3,98421	3,876526	3,877502	3,87838	3,879251	3,880115	3,880972	3,881821	3,882664	3,883501	3,884331	3,885154	3,885972	3,886783	3,887589
	3,998804	3,988169	3,877312	3,87828	3,879151	3,880015	3,880871	3,881721	3,882564	3,8834	3,88423	3,885053	3,885871	3,886683	3,887488	3,888288
	4,025582	3,878861	3,879814	3,880671	3,88152	3,882363	3,883199	3,884029	3,884852	3,88567	3,886481	3,887287	3,888087	3,888881	3,88967	3,890454

3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,891546	3,892205
3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,892859
3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,891546	3,896511
3,885558	3,886376	3,887188	3,887993	3,888794	3,889588	3,890378	3,891162	3,891941	3,892714	3,893483	3,894247	3,895006	3,897155
3,886275	3,887086	3,887892	3,888692	3,889487	3,890276	3,89106	3,891839	3,892613	3,893382	3,894146	3,894905	3,895659	3,897794
3,886985	3,887791	3,888591	3,889386	3,890175	3,890959	3,891738	3,892511	3,89328	3,894044	3,894803	3,895558	3,896308	3,89843
3,88769	3,88849	3,889285	3,890074	3,890858	3,891637	3,89241	3,893179	3,893943	3,894702	3,895456	3,896206	3,896952	3,899061
3,888389	3,889184	3,889973	3,890757	3,891535	3,892309	3,893078	3,893841	3,8946	3,895355	3,896105	3,89685	3,897591	3,899688
3,889083	3,889872	3,890656	3,891434	3,892208	3,892976	3,89374	3,894499	3,895253	3,896003	3,896749	3,89749	3,898227	3,900311
3,891232	3,892006	3,892774	3,893538	3,894297	3,895051	3,895801	3,896546	3,897287	3,898024	3,898756	3,899485	3,900209	3,90093

(lanjutan)

Kecepatan Arah X Kondisi Steady Penelusuran ke-9	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435	1,326678
	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435
	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396
	1,5015	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657
	1,503	1,5015	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963
	1,504	1,503	1,5015	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583
	1,503	1,504	1,503	1,5015	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437
	1,5015	1,503	1,504	1,503	1,5015	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534
	1,5	1,5015	1,503	1,504	1,503	1,5015	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882
	1,49	1,377575	1,367075	1,356668	1,346479	1,336503	1,326731	1,317158	1,307778	1,298584	1,28957	1,280732	1,272063	1,263559	1,255214	1,247025

1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,223466	1,215868	1,208405
1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,223466	1,201075
1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,193571
1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,186491
1,35657	1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,179531
1,366963	1,35657	1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,172689
1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,16596
1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,159342
1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,152833
1,238986	1,231094	1,223344	1,215732	1,208254	1,200906	1,193686	1,18659	1,179613	1,172754	1,166009	1,159375	1,152849	1,146429

Kecepatan Arah Y Kondisi Steady Penelusuran ke-9	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046
	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595
	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347
	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309
	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489
	-0,35	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893
	-0,34	-0,35	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529
	-0,33	-0,34	-0,35	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406
	-0,32	-0,33	-0,34	-0,35	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532
	-0,31	-0,281913	-0,271683	-0,261517	-0,251568	-0,241829	-0,232294	-0,222955	-0,213806	-0,204842	-0,196057	-0,187445	-0,179002	-0,170721	-0,162598	-0,154629

(lanjutan)



-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,13119	-0,123779	-0,1165
-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,13119	-0,109354
-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,102874
-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,095974
-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,089193
-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,082529
-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,075976
-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,069534
-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,063199
-0,146809	-0,139134	-0,131599	-0,124201	-0,116936	-0,1098	-0,10279	-0,095902	-0,089133	-0,08248	-0,07594	-0,06951	-0,063186	-0,056967

Kedalaman Air	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509
Kondisi Steady	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773
Penelusuran ke-9	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103
	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281
	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524
	3,955499	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761
	3,98421	3,955499	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799
	3,988169	3,98421	3,955499	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212
	3,998804	3,988169	3,98421	3,955499	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426
	4,025582	3,878861	3,879814	3,880671	3,88152	3,882363	3,883199	3,884029	3,884852	3,88567	3,886481	3,887287	3,888087	3,888881	3,88967	3,890454

3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,891546	3,892205
3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,892859
3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,896511
3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,897155
3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,897794
3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,89843
3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,899061
3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,899688
3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,900311
3,891232	3,892006	3,892774	3,893538	3,894297	3,895051	3,895801	3,896546	3,897287	3,898024	3,898756	3,899485	3,900209	3,90093

(lanjutan)



Kecepatan Arah X Kondisi Steady Penelusuran ke-10	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435	1,326678
	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435
	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396
	1,5015	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657
	1,503	1,5015	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963
	1,504	1,503	1,5015	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583
	1,503	1,504	1,503	1,5015	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437
	1,5015	1,503	1,504	1,503	1,5015	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534
	1,5	1,5015	1,503	1,504	1,503	1,5015	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882
	1,49	1,377575	1,367075	1,356668	1,346479	1,336503	1,326731	1,317158	1,307778	1,298584	1,28957	1,280732	1,272063	1,263559	1,255214	1,247025

1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,223466	1,215868	1,208405
1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,223466	1,201075
1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,193571
1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,186491
1,35657	1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,179531
1,366963	1,35657	1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,172689
1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,16596
1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,159342
1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,152833
1,238986	1,231094	1,223344	1,215732	1,208254	1,200906	1,193686	1,18659	1,179613	1,172754	1,166009	1,159375	1,152849	1,146429

Kecepatan Arah Y Kondisi Steady Penelusuran ke-10	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046
	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595
	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347
	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309
	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489
	-0,35	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893
	-0,34	-0,35	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529
	-0,33	-0,34	-0,35	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406
	-0,32	-0,33	-0,34	-0,35	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532
	-0,31	-0,281913	-0,271683	-0,261517	-0,251568	-0,241829	-0,232294	-0,222955	-0,213806	-0,204842	-0,196057	-0,187445	-0,179002	-0,170721	-0,162598	-0,154629

(lanjutan)

-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,13119	-0,123779	-0,1165
-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,13119	-0,109354
-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,102874
-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,095974
-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,089193
-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,082529
-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,075976
-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,069534
-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,063199
-0,146809	-0,139134	-0,131599	-0,124201	-0,116936	-0,1098	-0,10279	-0,095902	-0,089133	-0,08248	-0,07594	-0,06951	-0,063186	-0,056967

Kedalaman Air	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509
Kondisi Steady	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773
Penelusuran ke-10	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103
	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281
	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524
	3,955499	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761
	3,98421	3,955499	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799
	3,988169	3,98421	3,955499	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212
	3,998804	3,988169	3,98421	3,955499	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426
	4,025582	3,878861	3,879814	3,880671	3,88152	3,882363	3,883199	3,884029	3,884852	3,88567	3,886481	3,887287	3,888087	3,888881	3,88967	3,890454

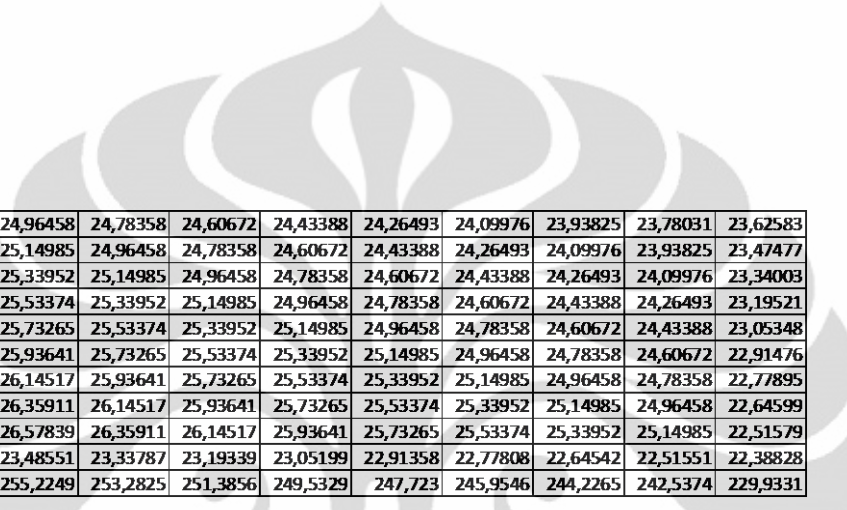
3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,891546	3,892205
3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,892859
3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,896511
3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,897155
3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,897794
3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,89843
3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,899061
3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,899688
3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,900311
3,891232	3,892006	3,892774	3,893538	3,894297	3,895051	3,895801	3,896546	3,897287	3,898024	3,898756	3,899485	3,900209	3,90093

(lanjutan)

Kondisi Konvergen	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517	1,432044	1,418919	1,406129	1,393662	1,381508	1,369656	1,358096	1,346818
	1,548903	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517	1,432044	1,418919	1,406129	1,393662	1,381508	1,369656	1,358096
	1,547385	1,548903	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517	1,432044	1,418919	1,406129	1,393662	1,381508	1,369656
	1,546416	1,547385	1,548903	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517	1,432044	1,418919	1,406129	1,393662	1,381508
	1,545513	1,546416	1,547385	1,548903	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517	1,432044	1,418919	1,406129	1,393662
	1,544188	1,545513	1,546416	1,547385	1,548903	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517	1,432044	1,418919	1,406129
	1,540977	1,544188	1,545513	1,546416	1,547385	1,548903	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517	1,432044	1,418919
	1,537336	1,540977	1,544188	1,545513	1,546416	1,547385	1,548903	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517	1,432044
	1,533754	1,537336	1,540977	1,544188	1,545513	1,546416	1,547385	1,548903	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517
Kecepatan Rata-Rata	1,521907	1,406125	1,39381	1,381643	1,369778	1,358205	1,346914	1,335895	1,32514	1,314641	1,304389	1,294376	1,284595	1,27504	1,265702	1,256575

1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,284584	1,275043	1,26572	1,256608	1,247701	1,238994	1,230479	1,222153	1,214008
1,346818	1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,284584	1,275043	1,26572	1,256608	1,247701	1,238994	1,230479	1,206043
1,358096	1,346818	1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,284584	1,275043	1,26572	1,256608	1,247701	1,238994	1,197996
1,369656	1,358096	1,346818	1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,284584	1,275043	1,26572	1,256608	1,247701	1,190366
1,381508	1,369656	1,358096	1,346818	1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,284584	1,275043	1,26572	1,256608	1,182899
1,393662	1,381508	1,369656	1,358096	1,346818	1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,284584	1,275043	1,26572	1,175589
1,406129	1,393662	1,381508	1,369656	1,358096	1,346818	1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,284584	1,275043	1,168433
1,418919	1,406129	1,393662	1,381508	1,369656	1,358096	1,346818	1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,284584	1,161426
1,432044	1,418919	1,406129	1,393662	1,381508	1,369656	1,358096	1,346818	1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,154564
1,247654	1,238931	1,230402	1,222059	1,213899	1,205916	1,198104	1,190459	1,182976	1,175651	1,168479	1,161457	1,154579	1,147843

Kondisi Konvergen	30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719	27,76169	27,51276	27,27018	27,03373	26,8032	26,57839	26,35911	26,14517
	29,9573	30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719	27,76169	27,51276	27,27018	27,03373	26,8032	26,57839	26,35911
	30,35363	29,9573	30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719	27,76169	27,51276	27,27018	27,03373	26,8032	26,57839
	30,30551	30,35363	29,9573	30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719	27,76169	27,51276	27,27018	27,03373	26,8032
	30,58633	30,30551	30,35363	29,9573	30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719	27,76169	27,51276	27,27018	27,03373
	30,54017	30,58633	30,30551	30,35363	29,9573	30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719	27,76169	27,51276	27,27018
	30,69788	30,54017	30,58633	30,30551	30,35363	29,9573	30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719	27,76169	27,51276
	30,65578	30,69788	30,54017	30,58633	30,30551	30,35363	29,9573	30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719	27,76169
	30,6659	30,65578	30,69788	30,54017	30,58633	30,30551	30,35363	29,9573	30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719
	30,6328	27,27082	27,03862	26,80851	26,58411	26,36522	26,15167	25,94327	25,73987	25,5413	25,34741	25,15805	24,97309	24,79239	24,61581	24,44324
Debit Total	304,4018	300,0718	298,586	296,7679	294,829	292,5727	290,3331	287,7883	285,3893	282,6969	280,0754	277,5176	275,0259	272,5979	270,2316	267,9247



25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	24,96458	24,78358	24,60672	24,43388	24,26493	24,09976	23,93825	23,78031	23,62583
26,14517	25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	24,96458	24,78358	24,60672	24,43388	24,26493	24,09976	23,93825	23,47477
26,35911	26,14517	25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	24,96458	24,78358	24,60672	24,43388	24,26493	24,09976	23,34003
26,57839	26,35911	26,14517	25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	24,96458	24,78358	24,60672	24,43388	24,26493	23,19521
26,8032	26,57839	26,35911	26,14517	25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	24,96458	24,78358	24,60672	24,43388	23,05348
27,03373	26,8032	26,57839	26,35911	26,14517	25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	24,96458	24,78358	24,60672	22,91476
27,27018	27,03373	26,8032	26,57839	26,35911	26,14517	25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	24,96458	24,78358	22,77895
27,51276	27,27018	27,03373	26,8032	26,57839	26,35911	26,14517	25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	24,96458	22,64599
27,76169	27,51276	27,27018	27,03373	26,8032	26,57839	26,35911	26,14517	25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	22,51579
24,27455	24,10964	23,94838	23,79067	23,63642	23,48551	23,33787	23,19339	23,05199	22,91358	22,77808	22,64542	22,51551	22,38828
265,6752	263,4812	261,341	259,2526	257,2145	255,2249	253,2825	251,3856	249,5329	247,723	245,9546	244,2265	242,5374	229,9331

Kecepatan Arah X Unsteady T = 3 s	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435
	1,499	1,523691	1,514672	1,500695	1,487531	1,474641	1,462066	1,449794	1,437813	1,426113	1,414682	1,403513	1,392594	1,381918	1,371476
	1,5	1,521923	1,523691	1,514672	1,500695	1,487531	1,474641	1,462066	1,449794	1,437813	1,426113	1,414682	1,403513	1,392594	1,381918
	1,5015	1,0834	1,521923	1,523691	1,514672	1,500695	1,487531	1,474641	1,462066	1,449794	1,437813	1,426113	1,414682	1,403513	1,392594
	1,503	1,537175	1,0834	1,521923	1,523691	1,514672	1,500695	1,487531	1,474641	1,462066	1,449794	1,437813	1,426113	1,414682	1,403513
	1,504	1,202565	1,537175	1,0834	1,521923	1,523691	1,514672	1,500695	1,487531	1,474641	1,462066	1,449794	1,437813	1,426113	1,414682
	1,503	1,528699	1,202565	1,537175	1,0834	1,521923	1,523691	1,514672	1,500695	1,487531	1,474641	1,462066	1,449794	1,437813	1,426113
	1,5015	1,27259	1,528699	1,202565	1,537175	1,0834	1,521923	1,523691	1,514672	1,500695	1,487531	1,474641	1,462066	1,449794	1,437813
	1,5	1,4341	1,237079	1,484808	1,160064	1,484632	1,036386	1,461958	1,459326	1,449661	1,43917	1,429277	1,419538	1,409949	1,400508
	1,49	1,377575	1,367075	1,356668	1,346479	1,336503	1,326731	1,317158	1,307778	1,298584	1,28957	1,280732	1,272063	1,263559	1,255214

1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,223466	1,215868	1,208405
1,36126	1,351261	1,341474	1,33189	1,322504	1,313308	1,304297	1,295465	1,286806	1,278315	1,269987	1,261817	1,2538	1,246224	1,239275
1,371476	1,36126	1,351261	1,341474	1,33189	1,322504	1,313308	1,304297	1,295465	1,286806	1,278315	1,269987	1,261817	1,334221	1,193571
1,381918	1,371476	1,36126	1,351261	1,341474	1,33189	1,322504	1,313308	1,304297	1,295465	1,286806	1,278315	1,269987	1,37091	1,186491
1,392594	1,381918	1,371476	1,36126	1,351261	1,341474	1,33189	1,322504	1,313308	1,304297	1,295465	1,286806	1,278315	1,408614	1,179531
1,403513	1,392594	1,381918	1,371476	1,36126	1,351261	1,341474	1,33189	1,322504	1,313308	1,304297	1,295465	1,286806	1,447384	1,172689
1,414682	1,403513	1,392594	1,381918	1,371476	1,36126	1,351261	1,341474	1,33189	1,322504	1,313308	1,304297	1,295465	1,48728	1,16596
1,426113	1,414682	1,403513	1,392594	1,381918	1,371476	1,36126	1,351261	1,341474	1,33189	1,322504	1,313308	1,304297	1,52836	1,159342
1,391214	1,382064	1,373056	1,364187	1,355455	1,346857	1,338392	1,330056	1,321848	1,313765	1,305804	1,297964	1,290242	1,545772	1,152833
1,247025	1,238986	1,231094	1,223344	1,215732	1,208254	1,200906	1,193686	1,18659	1,179613	1,172754	1,166009	1,159375	1,152849	1,146429

(lanjutan)

Kecepatan Arah Y
Unsteady
T = 3 s

-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	0,325916	0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595
-0,39	-0,427739	-0,409021	-0,396674	-0,382884	-0,370096	0,357623	-0,345455	-0,333578	-0,321982	-0,310657	-0,299592	-0,288878	-0,27821	-0,267875
-0,38	0,136571	-0,427739	-0,409021	-0,396674	-0,382884	-0,370096	-0,357623	-0,345455	-0,333578	-0,321982	-0,310657	-0,299592	-0,288878	-0,27821
-0,37	-0,390502	0,136571	-0,427739	-0,409021	-0,396674	-0,382884	-0,370096	-0,357623	-0,345455	-0,333578	-0,321982	-0,310657	-0,299592	-0,288878
-0,36	-0,001969	-0,390502	0,136571	-0,427739	-0,409021	-0,396674	-0,382884	-0,370096	-0,357623	-0,345455	-0,333578	-0,321982	-0,310657	-0,299592
-0,35	-0,361171	-0,001969	-0,390502	0,136571	-0,427739	-0,409021	-0,396674	-0,382884	-0,370096	-0,357623	-0,345455	-0,333578	-0,321982	-0,310657
-0,34	-0,074007	-0,361171	-0,001969	-0,390502	0,136571	-0,427739	-0,409021	-0,396674	-0,382884	-0,370096	-0,357623	-0,345455	-0,333578	-0,321982
-0,33	-0,285937	-0,074007	-0,361171	-0,001969	-0,390502	0,136571	-0,427739	-0,409021	-0,396674	-0,382884	-0,370096	-0,357623	-0,345455	-0,333578
-0,32	-1,08194	-1,051262	-0,862418	-0,873624	-0,600891	-0,623299	-0,188609	-0,235386	-0,225139	-0,216351	-0,206603	-0,196989	-0,187508	-0,178157
-0,31	-0,281913	-0,271683	-0,261517	-0,251568	-0,241829	-0,232294	-0,222955	-0,213806	-0,204842	-0,196057	-0,187445	-0,179002	-0,170721	-0,162598

-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,13119	-0,123779	-0,1165
-0,257766	-0,247875	-0,238195	-0,22872	-0,219442	-0,210356	-0,201454	-0,192732	-0,184183	-0,175802	-0,167585	-0,159525	-0,151619	-0,158662	-0,109354
-0,267875	-0,257766	-0,247875	-0,238195	-0,22872	-0,219442	-0,210356	-0,201454	-0,192732	-0,184183	-0,175802	-0,167585	-0,159525	-0,18077	-0,102874
-0,27821	-0,267875	-0,257766	-0,247875	-0,238195	-0,22872	-0,219442	-0,210356	-0,201454	-0,192732	-0,184183	-0,175802	-0,167585	-0,203698	-0,095974
-0,28878	-0,27821	-0,267875	-0,257766	-0,247875	-0,238195	-0,22872	-0,219442	-0,210356	-0,201454	-0,192732	-0,184183	-0,175802	-0,226905	-0,089193
-0,299592	-0,28878	-0,27821	-0,267875	-0,257766	-0,247875	-0,238195	-0,22872	-0,219442	-0,210356	-0,201454	-0,192732	-0,184183	-0,250405	-0,082529
-0,310657	-0,299592	-0,28878	-0,27821	-0,267875	-0,257766	-0,247875	-0,238195	-0,22872	-0,219442	-0,210356	-0,201454	-0,192732	-0,274215	-0,075976
-0,321982	-0,310657	-0,299592	-0,28878	-0,27821	-0,267875	-0,257766	-0,247875	-0,238195	-0,22872	-0,219442	-0,210356	-0,201454	-0,298348	-0,069534
-0,168935	-0,15984	-0,15087	-0,142024	-0,133299	-0,124693	-0,116205	-0,107832	-0,099573	-0,091425	-0,083386	-0,075455	-0,067629	-0,182832	-0,063199
-0,154629	-0,146809	-0,139134	-0,131599	-0,124201	-0,116936	-0,1098	-0,10279	-0,095902	-0,089133	-0,08248	-0,07594	-0,06951	-0,063186	-0,056967

Kedalaman Air
Unsteady
T = 3 s

3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773
3,868195	3,879812	3,956209	3,955092	3,954592	3,953487	3,952443	3,951458	3,950528	3,949651	3,948824	3,948045	3,947311	3,94662	3,94597
3,923216	3,853796	3,879812	3,956209	3,955092	3,954592	3,953487	3,952443	3,951458	3,950528	3,949651	3,948824	3,948045	3,947311	3,94662
3,919451	3,962223	3,853796	3,879812	3,956209	3,955092	3,954592	3,953487	3,952443	3,951458	3,950528	3,949651	3,948824	3,948045	3,947311
3,958083	3,89835	3,962223	3,853796	3,879812	3,956209	3,955092	3,954592	3,953487	3,952443	3,951458	3,950528	3,949651	3,948824	3,948045
3,955499	3,978247	3,89835	3,962223	3,853796	3,879812	3,956209	3,955092	3,954592	3,953487	3,952443	3,951458	3,950528	3,949651	3,948824
3,98421	3,930143	3,978247	3,89835	3,962223	3,853796	3,879812	3,956209	3,955092	3,954592	3,953487	3,952443	3,951458	3,950528	3,949651
3,988169	3,984791	3,930143	3,978247	3,89835	3,962223	3,853796	3,879812	3,956209	3,955092	3,954592	3,953487	3,952443	3,951458	3,950528
3,998804	3,793352	3,756781	3,639762	3,631656	3,495059	3,509373	3,352401	3,33795	3,349306	3,360987	3,372236	3,383155	3,393758	3,404056
4,025582	3,878861	3,879814	3,880671	3,88152	3,882363	3,883199	3,884029	3,884852	3,88567	3,886481	3,887287	3,888087	3,888881	3,88967

3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,891546	3,892205
3,94536	3,944786	3,944248	3,943743	3,943271	3,94283	3,942418	3,942034	3,941677	3,941346	3,941039	3,940756	3,940495	3,988334	3,892859
3,94597	3,94536	3,944786	3,944248	3,943743	3,943271	3,94283	3,942418	3,942034	3,941677	3,941346	3,941039	3,940756	4,034978	3,896511
3,94662	3,94597	3,94536	3,944786	3,944248	3,943743	3,943271	3,94283	3,942418	3,942034	3,941677	3,941346	3,941039	4,084287	3,897155
3,947311	3,94662	3,94597	3,94536	3,944786	3,944248	3,943743	3,943271	3,94283	3,942418	3,942034	3,941677	3,941346	4,134159	3,897794
3,948045	3,947311	3,94662	3,94597	3,94536	3,944786	3,944248	3,943743	3,943271	3,94283	3,942418	3,942034	3,941677	4,184629	3,89843
3,948824	3,948045	3,947311	3,94662	3,94597	3,94536	3,944786	3,944248	3,943743	3,943271	3,94283	3,942418	3,942034	4,235728	3,899061
3,949651	3,948824	3,948045	3,947311	3,94662	3,94597	3,94536	3,944786	3,944248	3,943743	3,943271	3,94283	3,942418	4,287494	3,899688
3,414062	3,423788	3,433244	3,442441	3,451388	3,460094	3,46857	3,476823	3,484862	3,492695	3,500328	3,507769	3,515025	3,885997	3,900311
3,890454	3,891232	3,892006	3,892774	3,893538	3,894297	3,895051	3,895801	3,896546	3,897287	3,898024	3,898756	3,899485	3,900209	3,90093

Kecepatan Arah X Unsteady T = 6 s	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435
	1,499	2,233631	1,497858	1,490856	1,472494	1,460137	1,448054	1,436252	1,424721	1,41345	1,402431	1,391654	1,381112	1,370796	1,360699
	1,5	1,836795	2,259322	1,527908	1,519826	1,501049	1,488251	1,475751	1,463555	1,451651	1,440029	1,428676	1,417584	1,406743	1,396144
	1,5015	0,756911	1,859717	2,259322	1,527908	1,519826	1,501049	1,488251	1,475751	1,463555	1,451651	1,440029	1,428676	1,417584	1,406743
	1,503	3,549675	0,340311	1,859717	2,259322	1,527908	1,519826	1,501049	1,488251	1,475751	1,463555	1,451651	1,440029	1,428676	1,417584
	1,504	0,85874	3,585351	0,340311	1,859717	2,259322	1,527908	1,519826	1,501049	1,488251	1,475751	1,463555	1,451651	1,440029	1,428676
	1,503	2,741056	0,558305	3,585351	0,340311	1,859717	2,259322	1,527908	1,519826	1,501049	1,488251	1,475751	1,463555	1,451651	1,440029
	1,5015	0,9636	2,761584	0,549862	3,585177	0,330653	1,867082	2,231151	1,505615	1,497951	1,481099	1,469988	1,459053	1,448295	1,437714
	1,5	1,405502	0,605693	1,770928	0,430338	2,277802	0,205125	1,378023	1,60236	1,599218	1,582419	1,567986	1,553905	1,54021	1,526885
	1,49	1,377575	1,367075	1,356668	1,346479	1,336503	1,326731	1,317158	1,307778	1,298584	1,28957	1,280732	1,272063	1,263559	1,255214

1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,223466	1,215868	1,208405
1,350813	1,341132	1,331649	1,322357	1,313251	1,304324	1,295572	1,286988	1,278568	1,270307	1,2622	1,254243	1,644331	0,594805	1,201075
1,385778	1,375638	1,365715	1,356003	1,346493	1,33718	1,328056	1,319117	1,310355	1,301766	1,293344	1,285083	2,066215	0,388989	1,193571
1,396144	1,385778	1,375638	1,365715	1,356003	1,346493	1,33718	1,328056	1,319117	1,310355	1,301766	1,293344	2,594823	0,136247	1,186491
1,406743	1,396144	1,385778	1,375638	1,365715	1,356003	1,346493	1,33718	1,328056	1,319117	1,310355	1,301766	3,216187	-0,097975	1,179531
1,417584	1,406743	1,396144	1,385778	1,375638	1,365715	1,356003	1,346493	1,33718	1,328056	1,319117	1,310355	3,953474	-0,316253	1,172689
1,428676	1,417584	1,406743	1,396144	1,385778	1,375638	1,365715	1,356003	1,346493	1,33718	1,328056	1,319117	4,835654	-0,520715	1,16596
1,427306	1,417071	1,407005	1,397108	1,387376	1,377808	1,3684	1,35915	1,350055	1,341112	1,332319	1,323673	5,886433	-0,716083	1,159342
1,513913	1,501279	1,488969	1,476969	1,465266	1,453849	1,442706	1,431826	1,4212	1,410817	1,400668	1,390745	6,697867	2,120553	1,152833
1,247025	1,238986	1,231094	1,223344	1,215732	1,208254	1,200906	1,193686	1,18659	1,179613	1,172754	1,166009	1,159375	1,152849	1,146429

(lanjutan)



Kecepatan Arah Y
Unsteady
T = 6 s

-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595
-0,39	-0,424966	-0,966948	-0,381616	-0,373363	-0,355326	-0,343368	-0,331688	-0,32028	-0,309132	-0,298234	-0,287579	-0,277158	-0,266962	-0,256985
-0,38	3,676753	-0,452705	-0,989107	-0,404062	-0,394533	-0,375925	-0,363424	-0,351227	-0,339326	-0,327707	-0,316362	-0,305279	-0,294449	-0,283863
-0,37	-0,981636	4,203325	-0,452705	-0,989107	-0,404062	-0,394533	-0,375925	-0,363424	-0,351227	-0,339326	-0,327707	-0,316362	-0,305279	-0,294449
-0,36	1,729766	-0,992138	4,203325	-0,452705	-0,989107	-0,404062	-0,394533	-0,375925	-0,363424	-0,351227	-0,339326	-0,327707	-0,316362	-0,305279
-0,35	-0,867347	2,097797	-0,992138	4,203325	-0,452705	-0,989107	-0,404062	-0,394533	-0,375925	-0,363424	-0,351227	-0,339326	-0,327707	-0,316362
-0,34	0,853096	-0,868517	2,097797	-0,992138	4,203325	-0,452705	-0,989107	-0,404062	-0,394533	-0,375925	-0,363424	-0,351227	-0,339326	-0,327707
-0,33	-2,043415	-1,400249	-2,504842	-1,774199	-2,648679	-1,862933	-2,632674	-2,797395	-2,772014	-2,746947	-2,719459	-2,691263	-2,662496	-2,633277
-0,32	0,742288	0,831733	2,688731	1,735377	6,505775	3,315404	19,2563	18,29979	17,38309	16,41211	15,5628	14,77862	14,05394	13,38314
-0,31	-0,281913	-0,271683	-0,261517	-0,251568	-0,241829	-0,232294	-0,222955	-0,213806	-0,204842	-0,196057	-0,187445	-0,179002	-0,170721	-0,162598

-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,13119	-0,123779	-0,1165
-0,24722	-0,237658	-0,228294	-0,219122	-0,210134	-0,201327	-0,192693	-0,184228	-0,175926	-0,167783	-0,159794	-0,151954	-0,128508	0,229281	-0,109354
-0,273513	-0,26339	-0,253487	-0,243796	-0,23431	-0,225023	-0,215927	-0,207017	-0,198286	-0,18973	-0,181343	-0,173118	-0,13373	0,19868	-0,102874
-0,283863	-0,273513	-0,26339	-0,253487	-0,243796	-0,23431	-0,225023	-0,215927	-0,207017	-0,198286	-0,18973	-0,181343	-0,125187	0,154405	-0,095974
-0,294449	-0,283863	-0,273513	-0,26339	-0,253487	-0,243796	-0,23431	-0,225023	-0,215927	-0,207017	-0,198286	-0,18973	-0,116332	0,108023	-0,089193
-0,305279	-0,294449	-0,283863	-0,273513	-0,26339	-0,253487	-0,243796	-0,23431	-0,225023	-0,215927	-0,207017	-0,198286	-0,107139	0,059435	-0,082529
-0,316362	-0,305279	-0,294449	-0,283863	-0,273513	-0,26339	-0,253487	-0,243796	-0,23431	-0,225023	-0,215927	-0,207017	-0,097582	0,008541	-0,075976
-2,60371	-2,573887	-2,543888	-2,513784	-2,483637	-2,453501	-2,423422	-2,393442	-2,363597	-2,333917	-2,304429	-2,275155	-2,206427	-2,328024	-0,069534
12,76121	12,18371	11,64665	11,14648	10,67999	10,24434	9,836927	9,455441	9,097783	8,762056	8,446545	8,149693	8,618858	-0,219823	-0,063199
-0,154629	-0,146809	-0,139134	-0,131599	-0,124201	-0,116936	-0,1098	-0,10279	-0,095902	-0,089133	-0,08248	-0,07594	-0,06951	-0,063186	-0,056967

Kedalaman Air
Unsteady
T = 6 s

3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773
3,868195	2,253385	3,957224	3,959871	3,965253	3,961637	3,960194	3,958834	3,957553	3,956345	3,955206	3,954134	3,953123	3,952171	3,951275
3,923216	6,273593	2,262595	4,041985	4,042589	4,046643	4,041103	4,037806	4,03466	4,031654	4,028784	4,02604	4,023418	4,02091	4,018511
3,919451	2,087423	6,259194	2,262595	4,041985	4,042589	4,046643	4,041103	4,037806	4,03466	4,031654	4,028784	4,02604	4,023418	4,02091
3,958083	7,884717	2,126429	6,259194	2,262595	4,041985	4,042589	4,046643	4,041103	4,037806	4,03466	4,031654	4,028784	4,02604	4,023418
3,955499	2,422197	7,863616	2,126429	6,259194	2,262595	4,041985	4,042589	4,046643	4,041103	4,037806	4,03466	4,031654	4,028784	4,02604
3,98421	6,295971	2,442361	7,863616	2,126429	6,259194	2,262595	4,041985	4,042589	4,046643	4,041103	4,037806	4,03466	4,031654	4,028784
3,988169	6,102468	11,40177	4,502651	11,68284	3,291786	7,724294	2,90884	3,24371	3,256317	3,281021	3,29795	3,313944	3,329054	3,343331
3,998804	2,794765	2,296825	3,406426	2,462091	4,32431	2,646022	4,077031	3,943564	4,018775	4,01018	4,006612	4,002839	3,999506	3,996588
4,025582	3,878861	3,879814	3,880671	3,88152	3,882363	3,883199	3,884029	3,884852	3,88567	3,886481	3,887287	3,888087	3,888881	3,88967

3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,891546	3,892205
3,950432	3,949639	3,948893	3,948192	3,947533	3,946916	3,946336	3,945794	3,945286	3,944812	3,944369	3,943957	3,803075	4,332721	3,892859
4,016216	4,014019	4,011916	4,009902	4,007973	4,006125	4,004355	4,002658	4,001032	3,999473	3,997979	3,996546	3,631038	4,718931	3,896511
4,018511	4,016216	4,014019	4,011916	4,009902	4,007973	4,006125	4,004355	4,002658	4,001032	3,999473	3,997979	3,490121	4,976928	3,897155
4,02091	4,018511	4,016216	4,014019	4,011916	4,009902	4,007973	4,006125	4,004355	4,002658	4,001032	3,999473	3,348008	5,257675	3,897794
4,023418	4,02091	4,018511	4,016216	4,014019	4,011916	4,009902	4,007973	4,006125	4,004355	4,002658	4,001032	3,204677	5,563477	3,89843
4,02604	4,023418	4,02091	4,018511	4,016216	4,014019	4,011916	4,009902	4,007973	4,006125	4,004355	4,002658	3,060111	5,89693	3,899061
3,356821	3,369568	3,381613	3,392993	3,403745	3,413902	3,423495	3,432555	3,441108	3,449182	3,4568	3,463986	2,4698	5,445519	3,899688
3,994059	3,991899	3,990087	3,988604	3,98743	3,986549	3,985945	3,985603	3,985508	3,985647	3,986008	3,986578	2,849805	5,000087	3,900311
3,890454	3,891232	3,892006	3,892774	3,893538	3,894297	3,895051	3,895801	3,896546	3,897287	3,898024	3,898756	3,899485	3,900209	3,90093

4. Tabel Perhitungan Sungai yang Memiliki Kemiringan Arah Y

Data Masukan	Simbol	Besaran	Satuan
Massa Jenis	??	1000	kg/m ³
Gravitasi	g	9,81	m/s ²
Viskositas	??	0,0008418	N.s/m ²
Kemiringan Dasar Saluran Arah x	Sox	0,0005	m/m
Kemiringan Dasar Saluran Arah y	Soy	0,00005	m/m
Koefisien Manning	n	0,035	
Waktu Penelusuran	dt	0	s
Jarak Penelusuran Arah x	dx	5	m
Jarak Penelusuran Arah y	dy	5	m

Kecepatan Arah X (u)	nx	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ny	jarak	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150
1	5	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,223466	1,215868	1,208405
2	10	1,499	1,471568	1,458981	1,446532	1,434374	1,422495	1,410886	1,399538	1,388441	1,377587	1,366967	1,356574	1,3464	1,336438	1,326682	1,317123	1,307758	1,298578	1,289579	1,280755	1,272101	1,263611	1,255281	1,247107	1,239082	1,231205	1,223469	1,215871	1,208408	1,201075
3	15	1,5	1,458968	1,446662	1,434487	1,422592	1,410967	1,399602	1,388489	1,377618	1,366982	1,356573	1,346383	1,336405	1,326633	1,317059	1,307677	1,298482	1,289467	1,280627	1,271957	1,263452	1,255107	1,246916	1,238877	1,230983	1,223232	1,215619	1,20814	1,200792	1,193571
4	20	1,5015	1,44652	1,4345	1,422605	1,41098	1,399616	1,388503	1,377632	1,366997	1,356588	1,346398	1,33642	1,326648	1,317074	1,307692	1,298497	1,289483	1,280643	1,271973	1,263468	1,255123	1,246933	1,238893	1,231	1,223249	1,215636	1,208157	1,200809	1,193588	1,186491
5	25	1,503	1,434361	1,422618	1,410993	1,399629	1,388516	1,377646	1,367011	1,356602	1,346413	1,336435	1,326663	1,317089	1,307708	1,298513	1,289498	1,280659	1,271989	1,263484	1,255139	1,246949	1,23891	1,231016	1,223266	1,215653	1,208174	1,200826	1,193606	1,186508	1,179531
6	30	1,504	1,422483	1,411006	1,399642	1,38853	1,37766	1,367025	1,356616	1,346427	1,336449	1,326677	1,317104	1,307722	1,298528	1,289513	1,280674	1,272005	1,2635	1,255155	1,246965	1,238926	1,231033	1,223282	1,215669	1,208191	1,200843	1,193622	1,186525	1,179548	1,172689
7	35	1,503	1,410874	1,399655	1,388542	1,377673	1,367038	1,356629	1,34644	1,336463	1,326691	1,317118	1,307737	1,298542	1,289528	1,280689	1,27202	1,263515	1,25517	1,24698	1,238941	1,231048	1,223298	1,215685	1,208207	1,200859	1,193639	1,186542	1,179565	1,172706	1,16596
8	40	1,5015	1,399526	1,388555	1,377686	1,367051	1,356643	1,346454	1,336477	1,326705	1,317132	1,307751	1,298556	1,289542	1,280703	1,272034	1,26353	1,255185	1,246996	1,238957	1,231064	1,223313	1,215701	1,208223	1,200875	1,193655	1,186558	1,179582	1,172722	1,165977	1,159342
9	45	1,5	1,388429	1,377698	1,367063	1,356655	1,346467	1,33649	1,326718	1,317145	1,307765	1,29857	1,289556	1,280718	1,272049	1,263544	1,2552	1,24701	1,238972	1,231079	1,223329	1,215716	1,208238	1,200891	1,193671	1,186574	1,179598	1,172738	1,165993	1,159359	1,152833
10	50	1,49	1,377575	1,367075	1,356668	1,346479	1,336503	1,326731	1,317158	1,307778	1,298584	1,28957	1,280732	1,272063	1,263559	1,255214	1,247025	1,238986	1,231094	1,223344	1,215732	1,208254	1,200906	1,193686	1,18659	1,179613	1,172754	1,166009	1,159375	1,152849	1,146429

(lanjutan)

Kecepatan Arah Y Kondisi Steady Penelusuran ke-10	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046
	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595
	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347
	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309
	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489
	-0,35	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893
	-0,34	-0,35	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529
	-0,33	-0,34	-0,35	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406
	-0,32	-0,33	-0,34	-0,35	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532
	-0,31	-0,281913	-0,271683	-0,261517	-0,251568	-0,241829	-0,232294	-0,222955	-0,213806	-0,204842	-0,196057	-0,187445	-0,179002	-0,170721	-0,162598	-0,154629

-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,13119	-0,123779	-0,1165
-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,13119	-0,109354
-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,102874
-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,095974
-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,089193
-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,082529
-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,075976
-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,069534
-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,063199
-0,146809	-0,139134	-0,131599	-0,124201	-0,116936	-0,1098	-0,10279	-0,095902	-0,089133	-0,08248	-0,07594	-0,06951	-0,063186	-0,056967

Kedalaman Air Kondisi Steady Penelusuran ke-10	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509
	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773
	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103
	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281
	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524
	3,955499	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761
	3,98421	3,955499	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799
	3,988169	3,98421	3,955499	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212
	3,998804	3,988169	3,98421	3,955499	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426
	4,025582	3,878861	3,879814	3,880671	3,88152	3,882363	3,883199	3,884029	3,884852	3,88567	3,886481	3,887287	3,888087	3,888881	3,88967	3,890454

(lanjutan)

3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,891546	3,892205
3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,892859
3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,896511
3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,897155
3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,897794
3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,89843
3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,899061
3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,899688
3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,900311
3,891232	3,892006	3,892774	3,893538	3,894297	3,895051	3,895801	3,896546	3,897287	3,898024	3,898756	3,899485	3,900209	3,90093

Kondisi Konvergen	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517	1,432044	1,418919	1,406129	1,393662	1,381508	1,369656	1,358096	1,346818
	1,548903	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517	1,432044	1,418919	1,406129	1,393662	1,381508	1,369656	1,358096
	1,547385	1,548903	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517	1,432044	1,418919	1,406129	1,393662	1,381508	1,369656
	1,546416	1,547385	1,548903	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517	1,432044	1,418919	1,406129	1,393662	1,381508
	1,545513	1,546416	1,547385	1,548903	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517	1,432044	1,418919	1,406129	1,393662
	1,544188	1,545513	1,546416	1,547385	1,548903	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517	1,432044	1,418919	1,406129
	1,540977	1,544188	1,545513	1,546416	1,547385	1,548903	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517	1,432044	1,418919
	1,537336	1,540977	1,544188	1,545513	1,546416	1,547385	1,548903	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517	1,432044
	1,533754	1,537336	1,540977	1,544188	1,545513	1,546416	1,547385	1,548903	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517
	1,521907	1,533754	1,540977	1,544188	1,545513	1,546416	1,547385	1,548903	1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517
Kecepatan Rata-Rata	1,521907	1,406125	1,39381	1,381643	1,369778	1,358205	1,346914	1,335895	1,32514	1,314641	1,304389	1,294376	1,284595	1,27504	1,265702	1,256575

1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,284584	1,275043	1,26572	1,256608	1,247701	1,238994	1,230479	1,222153	1,214008
1,346818	1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,284584	1,275043	1,26572	1,256608	1,247701	1,238994	1,230479	1,206043
1,358096	1,346818	1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,284584	1,275043	1,26572	1,256608	1,247701	1,238994	1,197996
1,369656	1,358096	1,346818	1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,284584	1,275043	1,26572	1,256608	1,247701	1,190366
1,381508	1,369656	1,358096	1,346818	1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,284584	1,275043	1,26572	1,256608	1,182899
1,393662	1,381508	1,369656	1,358096	1,346818	1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,284584	1,275043	1,26572	1,175589
1,406129	1,393662	1,381508	1,369656	1,358096	1,346818	1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,284584	1,275043	1,168433
1,418919	1,406129	1,393662	1,381508	1,369656	1,358096	1,346818	1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,284584	1,161426
1,432044	1,418919	1,406129	1,393662	1,381508	1,369656	1,358096	1,346818	1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,154564
1,247654	1,238931	1,230402	1,222059	1,213899	1,205916	1,198104	1,190459	1,182976	1,175651	1,168479	1,161457	1,154579	1,147843

(lanjutan)



Kondisi Konvergen	30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719	27,76169	27,51276	27,27018	27,03373	26,8032	26,57839	26,35911	26,14517
	29,9573	30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719	27,76169	27,51276	27,27018	27,03373	26,8032	26,57839	26,35911
	30,35363	29,9573	30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719	27,76169	27,51276	27,27018	27,03373	26,8032	26,57839
	30,30551	30,35363	29,9573	30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719	27,76169	27,51276	27,27018	27,03373	26,8032
	30,58633	30,30551	30,35363	29,9573	30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719	27,76169	27,51276	27,27018	27,03373
	30,54017	30,58633	30,30551	30,35363	29,9573	30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719	27,76169	27,51276	27,27018
	30,69788	30,54017	30,58633	30,30551	30,35363	29,9573	30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719	27,76169	27,51276
	30,65578	30,69788	30,54017	30,58633	30,30551	30,35363	29,9573	30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719	27,76169
	30,6659	30,65578	30,69788	30,54017	30,58633	30,30551	30,35363	29,9573	30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719
	30,6328	27,27082	27,03862	26,80851	26,58411	26,36522	26,15167	25,94327	25,73987	25,5413	25,34741	25,15805	24,97309	24,79239	24,61581	24,44324
Debit Total	304,4018	300,0718	298,586	296,7679	294,829	292,5727	290,3331	287,7883	285,3893	282,6969	280,0754	277,5176	275,0259	272,5979	270,2316	267,9247

25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	24,96458	24,78358	24,60672	24,43388	24,26493	24,09976	23,93825	23,78031	23,62583
26,14517	25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	24,96458	24,78358	24,60672	24,43388	24,26493	24,09976	23,93825	23,78031
26,35911	26,14517	25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	24,96458	24,78358	24,60672	24,43388	24,26493	24,09976	23,93825
26,57839	26,35911	26,14517	25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	24,96458	24,78358	24,60672	24,43388	24,26493	23,19521
26,8032	26,57839	26,35911	26,14517	25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	24,96458	24,78358	24,60672	24,43388	23,05348
27,03373	26,8032	26,57839	26,35911	26,14517	25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	24,96458	24,78358	24,60672	22,91476
27,27018	27,03373	26,8032	26,57839	26,35911	26,14517	25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	24,96458	24,78358	22,77895
27,51276	27,27018	27,03373	26,8032	26,57839	26,35911	26,14517	25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	24,96458	22,64599
27,76169	27,51276	27,27018	27,03373	26,8032	26,57839	26,35911	26,14517	25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	22,51579
24,27455	24,10964	23,94838	23,79067	23,63642	23,48551	23,33787	23,19339	23,05199	22,91358	22,77808	22,64542	22,51551	22,38828
265,6752	263,4812	261,341	259,2526	257,2145	255,2249	253,2825	251,3856	249,5329	247,723	245,9546	244,2265	242,5374	229,9331

Kecepatan Arah X Unsteady T = 3 s	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435
	1,499	1,523691	1,514672	1,500695	1,487531	1,474641	1,462066	1,449794	1,437813	1,426113	1,414682	1,403513	1,392594	1,381918	1,371476
	1,5	1,521923	1,523691	1,514672	1,500695	1,487531	1,474641	1,462066	1,449794	1,437813	1,426113	1,414682	1,403513	1,392594	1,381918
	1,5015	1,0834	1,521923	1,523691	1,514672	1,500695	1,487531	1,474641	1,462066	1,449794	1,437813	1,426113	1,414682	1,403513	1,392594
	1,503	1,537175	1,0834	1,521923	1,523691	1,514672	1,500695	1,487531	1,474641	1,462066	1,449794	1,437813	1,426113	1,414682	1,403513
	1,504	1,202565	1,537175	1,0834	1,521923	1,523691	1,514672	1,500695	1,487531	1,474641	1,462066	1,449794	1,437813	1,426113	1,414682
	1,503	1,528699	1,202565	1,537175	1,0834	1,521923	1,523691	1,514672	1,500695	1,487531	1,474641	1,462066	1,449794	1,437813	1,426113
	1,5015	1,27259	1,528699	1,202565	1,537175	1,0834	1,521923	1,523691	1,514672	1,500695	1,487531	1,474641	1,462066	1,449794	1,437813
	1,5	1,4341	1,237079	1,484808	1,160064	1,484632	1,036386	1,461958	1,459326	1,449661	1,43917	1,429277	1,419538	1,409949	1,400508
	1,49	1,377575	1,367075	1,356668	1,346479	1,336503	1,326731	1,317158	1,307778	1,298584	1,28957	1,280732	1,272063	1,263559	1,255214



1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,223466	1,215868	1,208405
1,36126	1,351261	1,341474	1,33189	1,322504	1,313308	1,304297	1,295465	1,286806	1,278315	1,269987	1,261817	1,2538	1,272624	1,201075
1,371476	1,36126	1,351261	1,341474	1,33189	1,322504	1,313308	1,304297	1,295465	1,286806	1,278315	1,269987	1,261817	1,334221	1,193571
1,381918	1,371476	1,36126	1,351261	1,341474	1,33189	1,322504	1,313308	1,304297	1,295465	1,286806	1,278315	1,269987	1,37091	1,186491
1,392594	1,381918	1,371476	1,36126	1,351261	1,341474	1,33189	1,322504	1,313308	1,304297	1,295465	1,286806	1,278315	1,408614	1,179531
1,403513	1,392594	1,381918	1,371476	1,36126	1,351261	1,341474	1,33189	1,322504	1,313308	1,304297	1,295465	1,286806	1,447384	1,172689
1,414682	1,403513	1,392594	1,381918	1,371476	1,36126	1,351261	1,341474	1,33189	1,322504	1,313308	1,304297	1,295465	1,48728	1,16596
1,426113	1,414682	1,403513	1,392594	1,381918	1,371476	1,36126	1,351261	1,341474	1,33189	1,322504	1,313308	1,304297	1,52836	1,159342
1,391214	1,382064	1,373056	1,364187	1,355455	1,346857	1,338392	1,330056	1,321848	1,313765	1,305804	1,297964	1,290242	1,545772	1,152833
1,247025	1,238986	1,231094	1,223344	1,215732	1,208254	1,200906	1,193686	1,18659	1,179613	1,172754	1,166009	1,159375	1,152849	1,146429

Kecepatan Arah Y Unsteady T = 3 s	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595
	-0,39	-0,427739	-0,409021	-0,396674	-0,382884	-0,370096	-0,357623	-0,345455	-0,333578	-0,321982	-0,310657	-0,299592	-0,28878	-0,27821	-0,267875
	-0,38	0,136571	-0,427739	-0,409021	-0,396674	-0,382884	-0,370096	-0,357623	-0,345455	-0,333578	-0,321982	-0,310657	-0,299592	-0,28878	-0,27821
	-0,37	-0,390502	0,136571	-0,427739	-0,409021	-0,396674	-0,382884	-0,370096	-0,357623	-0,345455	-0,333578	-0,321982	-0,310657	-0,299592	-0,28878
	-0,36	-0,001969	-0,390502	0,136571	-0,427739	-0,409021	-0,396674	-0,382884	-0,370096	-0,357623	-0,345455	-0,333578	-0,321982	-0,310657	-0,299592
	-0,35	-0,361171	-0,001969	-0,390502	0,136571	-0,427739	-0,409021	-0,396674	-0,382884	-0,370096	-0,357623	-0,345455	-0,333578	-0,321982	-0,310657
	-0,34	-0,074007	-0,361171	-0,001969	-0,390502	0,136571	-0,427739	-0,409021	-0,396674	-0,382884	-0,370096	-0,357623	-0,345455	-0,333578	-0,321982
	-0,33	-0,285937	-0,074007	-0,361171	-0,001969	-0,390502	0,136571	-0,427739	-0,409021	-0,396674	-0,382884	-0,370096	-0,357623	-0,345455	-0,333578
	-0,32	-1,08194	-1,051262	-0,862418	-0,873624	-0,600891	-0,623299	-0,188609	-0,235386	-0,225139	-0,216351	-0,206603	-0,196989	-0,187508	-0,178157
	-0,31	-0,281913	-0,271683	-0,261517	-0,251568	-0,241829	-0,232294	-0,222955	-0,213806	-0,204842	-0,196057	-0,187445	-0,179002	-0,170721	-0,162598

-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,13119	-0,123779	-0,1165
-0,257766	-0,247875	-0,238195	-0,22872	-0,219442	-0,210356	-0,201454	-0,192732	-0,184183	-0,175802	-0,167585	-0,159525	-0,151619	-0,158662	-0,109354
-0,267875	-0,257766	-0,247875	-0,238195	-0,22872	-0,219442	-0,210356	-0,201454	-0,192732	-0,184183	-0,175802	-0,167585	-0,159525	-0,18077	-0,102874
-0,27821	-0,267875	-0,257766	-0,247875	-0,238195	-0,22872	-0,219442	-0,210356	-0,201454	-0,192732	-0,184183	-0,175802	-0,167585	-0,203698	-0,095974
-0,28878	-0,27821	-0,267875	-0,257766	-0,247875	-0,238195	-0,22872	-0,219442	-0,210356	-0,201454	-0,192732	-0,184183	-0,175802	-0,226905	-0,089193
-0,299592	-0,28878	-0,27821	-0,267875	-0,257766	-0,247875	-0,238195	-0,22872	-0,219442	-0,210356	-0,201454	-0,192732	-0,184183	-0,250405	-0,082529
-0,310657	-0,299592	-0,28878	-0,27821	-0,267875	-0,257766	-0,247875	-0,238195	-0,22872	-0,219442	-0,210356	-0,201454	-0,192732	-0,274215	-0,075976
-0,321982	-0,310657	-0,299592	-0,28878	-0,27821	-0,267875	-0,257766	-0,247875	-0,238195	-0,22872	-0,219442	-0,210356	-0,201454	-0,298348	-0,069534
-0,168935	-0,15984	-0,15087	-0,142024	-0,133299	-0,124693	-0,116205	-0,107832	-0,099573	-0,091425	-0,083386	-0,075455	-0,067629	-0,182832	-0,063199
-0,154629	-0,146809	-0,139134	-0,131599	-0,124201	-0,116936	-0,1098	-0,10279	-0,095902	-0,089133	-0,08248	-0,07594	-0,06951	-0,063186	-0,056967

(lanjutan)

Kedalaman Air Unsteady T = 3 s	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773
	3,868195	3,879812	3,956209	3,955092	3,954592	3,953487	3,952443	3,951458	3,950528	3,949651	3,948824	3,948045	3,947311	3,94662	3,94597
	3,923216	3,853796	3,879812	3,956209	3,955092	3,954592	3,953487	3,952443	3,951458	3,950528	3,949651	3,948824	3,948045	3,947311	3,94662
	3,919451	3,962223	3,853796	3,879812	3,956209	3,955092	3,954592	3,953487	3,952443	3,951458	3,950528	3,949651	3,948824	3,948045	3,947311
	3,958083	3,89835	3,962223	3,853796	3,879812	3,956209	3,955092	3,954592	3,953487	3,952443	3,951458	3,950528	3,949651	3,948824	3,948045
	3,955499	3,978247	3,89835	3,962223	3,853796	3,879812	3,956209	3,955092	3,954592	3,953487	3,952443	3,951458	3,950528	3,949651	3,948824
	3,98421	3,930143	3,978247	3,89835	3,962223	3,853796	3,879812	3,956209	3,955092	3,954592	3,953487	3,952443	3,951458	3,950528	3,949651
	3,988169	3,984791	3,930143	3,978247	3,89835	3,962223	3,853796	3,879812	3,956209	3,955092	3,954592	3,953487	3,952443	3,951458	3,950528
	3,998804	3,793352	3,756781	3,639762	3,631656	3,495059	3,509373	3,352401	3,33795	3,349306	3,360987	3,372236	3,383155	3,393758	3,404056
	4,025582	3,878861	3,879814	3,880671	3,88152	3,882363	3,883199	3,884029	3,884852	3,88567	3,886481	3,887287	3,888087	3,888881	3,88967

3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,891546	3,892205
3,94536	3,944786	3,944248	3,943743	3,943271	3,94283	3,942418	3,942034	3,941677	3,941346	3,941039	3,940756	3,940495	3,9388334	3,892859
3,94597	3,94536	3,944786	3,944248	3,943743	3,943271	3,94283	3,942418	3,942034	3,941677	3,941346	3,941039	3,940756	4,034978	3,896511
3,94662	3,94597	3,94536	3,944786	3,944248	3,943743	3,943271	3,94283	3,942418	3,942034	3,941677	3,941346	3,941039	4,084287	3,897155
3,947311	3,94662	3,94597	3,94536	3,944786	3,944248	3,943743	3,943271	3,94283	3,942418	3,942034	3,941677	3,941346	4,134159	3,897794
3,948045	3,947311	3,94662	3,94597	3,94536	3,944786	3,944248	3,943743	3,943271	3,94283	3,942418	3,942034	3,941677	4,184629	3,89843
3,948824	3,948045	3,947311	3,94662	3,94597	3,94536	3,944786	3,944248	3,943743	3,943271	3,94283	3,942418	3,942034	4,235728	3,899061
3,949651	3,948824	3,948045	3,947311	3,94662	3,94597	3,94536	3,944786	3,944248	3,943743	3,943271	3,94283	3,942418	4,287494	3,899688
3,414062	3,423788	3,433244	3,442441	3,451388	3,460094	3,46857	3,476823	3,484862	3,492695	3,500328	3,507769	3,515025	3,885997	3,900311
3,890454	3,891232	3,892006	3,892774	3,893538	3,894297	3,895051	3,895801	3,896546	3,897287	3,898024	3,898756	3,899485	3,900209	3,90093

Kecepatan Arah X Unsteady T = 6 s	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435
	1,499	2,233631	1,497858	1,490856	1,472494	1,460137	1,448054	1,436252	1,424721	1,41345	1,402431	1,391654	1,381112	1,370796	1,360699
	1,5	1,836795	2,259322	1,527908	1,519826	1,501049	1,488251	1,475751	1,463555	1,451651	1,440029	1,428676	1,417584	1,406743	1,396144
	1,5015	0,756911	1,859717	2,259322	1,527908	1,519826	1,501049	1,488251	1,475751	1,463555	1,451651	1,440029	1,428676	1,417584	1,406743
	1,503	3,549675	0,340311	1,859717	2,259322	1,527908	1,519826	1,501049	1,488251	1,475751	1,463555	1,451651	1,440029	1,428676	1,417584
	1,504	0,85874	3,585351	0,340311	1,859717	2,259322	1,527908	1,519826	1,501049	1,488251	1,475751	1,463555	1,451651	1,440029	1,428676
	1,503	2,741056	0,558305	3,585351	0,340311	1,859717	2,259322	1,527908	1,519826	1,501049	1,488251	1,475751	1,463555	1,451651	1,440029
	1,5015	0,9636	2,761584	0,549862	3,585177	0,330653	1,867082	2,231151	1,505615	1,497951	1,481099	1,469988	1,459053	1,448295	1,437714
	1,5	1,405502	0,605693	1,770928	0,430338	2,277802	0,205125	1,378023	1,60236	1,599218	1,582419	1,567986	1,553905	1,54021	1,526885
	1,49	1,377575	1,367075	1,356668	1,346479	1,336503	1,326731	1,317158	1,307778	1,298584	1,28957	1,280732	1,272063	1,263559	1,255214



1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,223466	1,215868	1,208405
1,350813	1,341132	1,331649	1,322357	1,313251	1,304324	1,295572	1,286988	1,278568	1,270307	1,2622	1,254243	1,644331	0,594805	1,201075
1,385778	1,375638	1,365715	1,356003	1,346493	1,33718	1,328056	1,319117	1,310355	1,301766	1,293344	1,285083	2,066215	0,388989	1,193571
1,396144	1,385778	1,375638	1,365715	1,356003	1,346493	1,33718	1,328056	1,319117	1,310355	1,301766	1,293344	2,594823	0,136247	1,186491
1,406743	1,396144	1,385778	1,375638	1,365715	1,356003	1,346493	1,33718	1,328056	1,319117	1,310355	1,301766	3,216187	-0,097975	1,179531
1,417584	1,406743	1,396144	1,385778	1,375638	1,365715	1,356003	1,346493	1,33718	1,328056	1,319117	1,310355	3,953474	-0,316253	1,172689
1,428676	1,417584	1,406743	1,396144	1,385778	1,375638	1,365715	1,356003	1,346493	1,33718	1,328056	1,319117	4,835654	-0,520715	1,16596
1,427306	1,417071	1,407005	1,397108	1,387376	1,377808	1,3684	1,35915	1,350055	1,341112	1,332319	1,323673	5,886433	-0,716083	1,159342
1,513913	1,501279	1,488969	1,476969	1,465266	1,453849	1,442706	1,431826	1,4212	1,410817	1,400668	1,390745	6,697867	2,120553	1,152833
1,247025	1,238986	1,231094	1,223344	1,215732	1,208254	1,200906	1,193686	1,18659	1,179613	1,172754	1,166009	1,159375	1,152849	1,146429

Kecepatan Arah Y Unsteady T = 6 s	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595
	-0,39	-0,424966	-0,966948	-0,381616	-0,373363	-0,355326	-0,343368	-0,331688	-0,32028	-0,309132	-0,298234	-0,287579	-0,277158	-0,266962	-0,256985
	-0,38	3,676753	-0,452705	-0,989107	-0,404062	-0,394533	-0,375925	-0,363424	-0,351227	-0,339326	-0,327707	-0,316362	-0,305279	-0,294449	-0,283863
	-0,37	-0,981636	4,203325	-0,452705	-0,989107	-0,404062	-0,394533	-0,375925	-0,363424	-0,351227	-0,339326	-0,327707	-0,316362	-0,305279	-0,294449
	-0,36	1,729766	-0,992138	4,203325	-0,452705	-0,989107	-0,404062	-0,394533	-0,375925	-0,363424	-0,351227	-0,339326	-0,327707	-0,316362	-0,305279
	-0,35	-0,867347	2,097797	-0,992138	4,203325	-0,452705	-0,989107	-0,404062	-0,394533	-0,375925	-0,363424	-0,351227	-0,339326	-0,327707	-0,316362
	-0,34	0,853096	-0,868517	2,097797	-0,992138	4,203325	-0,452705	-0,989107	-0,404062	-0,394533	-0,375925	-0,363424	-0,351227	-0,339326	-0,327707
	-0,33	-2,043415	-1,400249	-2,504842	-1,774199	-2,648679	-1,862933	-2,632674	-2,797395	-2,772014	-2,746947	-2,719459	-2,691263	-2,662496	-2,633277
	-0,32	0,742288	0,831733	2,688731	1,735377	6,505775	3,315404	19,2563	18,29979	17,38309	16,41211	15,5628	14,77862	14,05394	13,38314
	-0,31	-0,281913	-0,271683	-0,261517	-0,251568	-0,241829	-0,232294	-0,222955	-0,213806	-0,204842	-0,196057	-0,187445	-0,179002	-0,170721	-0,162598

-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,13119	-0,123779	-0,1165
-0,24722	-0,237658	-0,228294	-0,219122	-0,210134	-0,201327	-0,192693	-0,184228	-0,175926	-0,167783	-0,159794	-0,151954	-0,128508	0,229281	-0,109354
-0,273513	-0,26339	-0,253487	-0,243796	-0,23431	-0,225023	-0,215927	-0,207017	-0,198286	-0,18973	-0,181343	-0,173118	-0,13373	0,19868	-0,102874
-0,283863	-0,273513	-0,26339	-0,253487	-0,243796	-0,23431	-0,225023	-0,215927	-0,207017	-0,198286	-0,18973	-0,181343	-0,125187	0,154405	-0,095974
-0,294449	-0,283863	-0,273513	-0,26339	-0,253487	-0,243796	-0,23431	-0,225023	-0,215927	-0,207017	-0,198286	-0,18973	-0,116332	0,108023	-0,089193
-0,305279	-0,294449	-0,283863	-0,273513	-0,26339	-0,253487	-0,243796	-0,23431	-0,225023	-0,215927	-0,207017	-0,198286	-0,107139	0,059435	-0,082529
-0,316362	-0,305279	-0,294449	-0,283863	-0,273513	-0,26339	-0,253487	-0,243796	-0,23431	-0,225023	-0,215927	-0,207017	-0,097582	0,008541	-0,075976
-2,60371	-2,573887	-2,543888	-2,513784	-2,483637	-2,453501	-2,423422	-2,393442	-2,363597	-2,333917	-2,304429	-2,275155	-2,206427	-2,328024	-0,069534
12,76121	12,18371	11,64665	11,14648	10,67999	10,24434	9,836927	9,455441	9,097783	8,762056	8,446545	8,149693	8,618858	-0,219823	-0,063199
-0,154629	-0,146809	-0,139134	-0,131599	-0,124201	-0,116936	-0,1098	-0,10279	-0,095902	-0,089133	-0,08248	-0,07594	-0,06951	-0,063186	-0,056967

(lanjutan)

Kedalaman Air
Unsteady
T = 6 s

3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773
3,868195	2,253385	3,957224	3,959871	3,965253	3,961637	3,960194	3,958834	3,957553	3,956345	3,955206	3,954134	3,953123	3,952171	3,951275
3,923216	6,273593	2,262595	4,041985	4,042589	4,046643	4,041103	4,037806	4,03466	4,031654	4,028784	4,02604	4,023418	4,02091	4,018511
3,919451	2,087423	6,259194	2,262595	4,041985	4,042589	4,046643	4,041103	4,037806	4,03466	4,031654	4,028784	4,02604	4,023418	4,02091
3,958083	7,884717	2,126429	6,259194	2,262595	4,041985	4,042589	4,046643	4,041103	4,037806	4,03466	4,031654	4,028784	4,02604	4,023418
3,955499	2,422197	7,863616	2,126429	6,259194	2,262595	4,041985	4,042589	4,046643	4,041103	4,037806	4,03466	4,031654	4,028784	4,02604
3,98421	6,295971	2,442361	7,863616	2,126429	6,259194	2,262595	4,041985	4,042589	4,046643	4,041103	4,037806	4,03466	4,031654	4,028784
3,988169	6,102468	11,40177	4,502651	11,68284	3,291786	7,724294	2,90884	3,24371	3,256317	3,281021	3,29795	3,313944	3,329054	3,343331
3,998804	2,794765	2,296825	3,406426	2,462091	4,32431	2,646022	4,077031	3,943564	4,018775	4,01018	4,006612	4,002839	3,999506	3,996588
4,025582	3,878861	3,879814	3,880671	3,88152	3,882363	3,883199	3,884029	3,884852	3,88567	3,886481	3,887287	3,888087	3,888881	3,88967

3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,891546	3,892205
3,950432	3,949639	3,948893	3,948192	3,947533	3,946916	3,946336	3,945794	3,945286	3,944812	3,944369	3,943957	3,803075	4,332721	3,892859
4,016216	4,014019	4,011916	4,009902	4,007973	4,006125	4,004355	4,002658	4,001032	3,999473	3,997979	3,996546	3,631038	4,718931	3,896511
4,018511	4,016216	4,014019	4,011916	4,009902	4,007973	4,006125	4,004355	4,002658	4,001032	3,999473	3,997979	3,490121	4,976928	3,897155
4,02091	4,018511	4,016216	4,014019	4,011916	4,009902	4,007973	4,006125	4,004355	4,002658	4,001032	3,999473	3,348008	5,257675	3,897794
4,023418	4,02091	4,018511	4,016216	4,014019	4,011916	4,009902	4,007973	4,006125	4,004355	4,002658	4,001032	3,204677	5,563477	3,89843
4,02604	4,023418	4,02091	4,018511	4,016216	4,014019	4,011916	4,009902	4,007973	4,006125	4,004355	4,002658	3,060111	5,89693	3,899061
3,356821	3,369568	3,381613	3,392993	3,403745	3,413902	3,423495	3,432555	3,441108	3,449182	3,4568	3,463986	2,4698	5,445519	3,899688
3,994059	3,991899	3,990087	3,988604	3,98743	3,986549	3,985945	3,985603	3,985508	3,985647	3,986008	3,986578	2,849805	5,000087	3,900311
3,890454	3,891232	3,892006	3,892774	3,893538	3,894297	3,895051	3,895801	3,896546	3,897287	3,898024	3,898756	3,899485	3,900209	3,90093

5. Tabel Perhitungan Kondisi Sungai Lurus dengan Nilai Gesekan dan Viskositas yang Kecil

Table with 4 columns: Data Masukan, Simbol, Besaran, Satuan. Rows include Massa Jenis, Gravitasi, Viskositas, Kemiringan Dasar Saluran Arah x, Kemiringan Dasar Saluran Arah y, Koefisien Manning, Waktu Penelusuran, Jarak Penelusuran Arah x, and Jarak Penelusuran Arah y.

Large data table with columns nx (ny, jarak, 1-30) and rows for Kecepatan Arah X (u), Kecepatan Arah Y (v), and Kedalaman Air (h). Each row contains a grid of numerical values representing flow characteristics at different points.

(lanjutan)

Kondisi Steady Kecepatan Arah X	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435
	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396
	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657
	1,5015	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963
	1,503	1,5015	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583
	1,504	1,503	1,5015	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437
	1,503	1,504	1,503	1,5015	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534
	1,5015	1,503	1,504	1,503	1,5015	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882
	1,5	1,5015	1,503	1,504	1,503	1,5015	1,5	1,499	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491
	1,49	1,377575	1,367075	1,356668	1,346479	1,336503	1,326731	1,317158	1,307778	1,298584	1,28957	1,280732	1,272063	1,263559	1,255214
1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,223466	1,215868	1,208405	
1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,223466	1,215868	
1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,193571	
1,35657	1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,186491	
1,366963	1,35657	1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,179531	
1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,172689	
1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,16596	
1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,159342	
1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435	1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,152833	
1,247025	1,238986	1,231094	1,223344	1,215732	1,208254	1,200906	1,193686	1,18659	1,179613	1,172754	1,166009	1,159375	1,152849	1,146429	
Kondisi Steady Kecepatan Arah Y	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595
	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347
	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309
	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489
	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893
	-0,35	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529
	-0,34	-0,35	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406
	-0,33	-0,34	-0,35	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532
	-0,32	-0,33	-0,34	-0,35	-0,36	-0,37	-0,38	-0,39	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916
	-0,31	-0,281913	-0,271683	-0,261517	-0,251568	-0,241829	-0,232294	-0,222955	-0,213806	-0,204842	-0,196057	-0,187445	-0,179002	-0,170721	-0,162598



-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,13119	-0,123779	-0,1165	
-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,13119	-0,109354	
-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,102874	
-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,095974	
-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,089193	
-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,082529	
-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,075976	
-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,069534	
-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595	-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,063199	
-0,154629	-0,146809	-0,139134	-0,131599	-0,124201	-0,116936	-0,1098	-0,10279	-0,095902	-0,089133	-0,08248	-0,07594	-0,06951	-0,063186	-0,056967	
Kondisi Steady	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773
Kedalaman Air	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103
	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281
	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524
	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761
	3,955499	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799
	3,98421	3,955499	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212
	3,988169	3,98421	3,955499	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426
	3,998804	3,988169	3,98421	3,955499	3,958083	3,919451	3,923216	3,868195	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632
	4,025582	3,878861	3,879814	3,880671	3,88152	3,882363	3,883199	3,884029	3,884852	3,88567	3,886481	3,887287	3,888087	3,888881	3,88967
3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,891546	3,892205	
3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,891546	3,892205
3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,891546
3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882
3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214
3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541
3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862
3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179
3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749
3,890454	3,891232	3,892006	3,892774	3,893538	3,894297	3,895051	3,895801	3,896546	3,897287	3,898024	3,898756	3,899485	3,900209	3,90093	

(lanjutan)



KECEPATAN RATA-RATA

T = 3 s

			1,550485	1,534198	1,51856	1,503146	1,48815	1,473556	1,459349	1,445517	1,432044	1,418919	1,406129	1,393662	1,381508	1,369656
			1,548903	1,596521	1,582615	1,565632	1,549134	1,533222	1,517757	1,502723	1,488101	1,473877	1,460036	1,446562	1,433444	1,420667
			1,547385	1,541234	1,596521	1,582615	1,565632	1,549134	1,533222	1,517757	1,502723	1,488101	1,473877	1,460036	1,446562	1,433444
			1,546416	1,16089	1,541234	1,596521	1,582615	1,565632	1,549134	1,533222	1,517757	1,502723	1,488101	1,473877	1,460036	1,446562
			1,545513	1,55064	1,16089	1,541234	1,596521	1,582615	1,565632	1,549134	1,533222	1,517757	1,502723	1,488101	1,473877	1,460036
			1,544188	1,265834	1,55064	1,16089	1,541234	1,596521	1,582615	1,565632	1,549134	1,533222	1,517757	1,502723	1,488101	1,473877
			1,540977	1,543854	1,265834	1,55064	1,16089	1,541234	1,596521	1,582615	1,565632	1,549134	1,533222	1,517757	1,502723	1,488101
			1,537336	1,315038	1,543854	1,265834	1,55064	1,16089	1,541234	1,596521	1,582615	1,565632	1,549134	1,533222	1,517757	1,502723
			1,533754	1,808817	1,63397	1,730193	1,462178	1,61488	1,218335	1,48706	1,491205	1,479821	1,467886	1,456451	1,44524	1,43425
			1,521907	1,406125	1,39381	1,381643	1,369778	1,358205	1,346914	1,335895	1,32514	1,314641	1,304389	1,294376	1,284595	1,27504
1,358096	1,346818	1,335813	1,325072	1,314587	1,304349	1,29435	1,284584	1,275043	1,26572	1,256608	1,247701	1,238994	1,230479	1,222153	1,214008	
1,40822	1,396091	1,384268	1,372742	1,361502	1,350538	1,339841	1,329402	1,319214	1,309267	1,299554	1,290067	1,2808	1,271746	1,261444	1,2506043	
1,420667	1,40822	1,396091	1,384268	1,372742	1,361502	1,350538	1,339841	1,329402	1,319214	1,309267	1,299554	1,290067	1,2808	1,356043	1,197996	
1,433444	1,420667	1,40822	1,396091	1,384268	1,372742	1,361502	1,350538	1,339841	1,329402	1,319214	1,309267	1,299554	1,290067	1,396046	1,190366	
1,446562	1,433444	1,420667	1,40822	1,396091	1,384268	1,372742	1,361502	1,350538	1,339841	1,329402	1,319214	1,309267	1,299554	1,437333	1,182899	
1,460036	1,446562	1,433444	1,420667	1,40822	1,396091	1,384268	1,372742	1,361502	1,350538	1,339841	1,329402	1,319214	1,309267	1,479949	1,175589	
1,473877	1,460036	1,446562	1,433444	1,420667	1,40822	1,396091	1,384268	1,372742	1,361502	1,350538	1,339841	1,329402	1,319214	1,52394	1,168433	
1,488101	1,473877	1,460036	1,446562	1,433444	1,420667	1,40822	1,396091	1,384268	1,372742	1,361502	1,350538	1,339841	1,329402	1,569359	1,161426	
1,423476	1,412916	1,402566	1,392422	1,38248	1,372738	1,36319	1,353834	1,344666	1,335683	1,32688	1,318254	1,309802	1,301521	1,569001	1,154564	
1,265702	1,256575	1,247654	1,238931	1,230402	1,222059	1,213899	1,205916	1,198104	1,190459	1,182976	1,175651	1,168479	1,161457	1,154579	1,147843	
DEBIT		30,00656	29,69784	29,40216	29,10994	28,82561	28,54889	28,27951	28,01719	27,76169	27,51276	27,27018	27,03373	26,8032	26,57839	
		29,9573	30,97101	31,30579	30,96109	30,63096	30,30786	29,99425	29,68973	29,39393	29,1065	28,82712	28,55546	28,29124	28,03416	
		30,35363	29,698	30,97101	31,30579	30,96109	30,63096	30,30786	29,99425	29,68973	29,39393	29,1065	28,82712	28,55546	28,29124	
		30,30551	22,99852	29,698	30,97101	31,30579	30,96109	30,63096	30,30786	29,99425	29,68973	29,39393	29,1065	28,82712	28,55546	
		30,58633	30,22469	22,99852	29,698	30,97101	31,30579	30,96109	30,63096	30,30786	29,99425	29,68973	29,39393	29,1065	28,82712	
		30,54017	25,17899	30,22469	22,99852	29,698	30,97101	31,30579	30,96109	30,63096	30,30786	29,99425	29,68973	29,39393	29,1065	
		30,69788	30,33784	25,17899	30,22469	22,99852	29,698	30,97101	31,30579	30,96109	30,63096	30,30786	29,99425	29,68973	29,39393	
		30,65578	26,20075	30,33784	25,17899	30,22469	22,99852	29,698	30,97101	31,30579	30,96109	30,63096	30,30786	29,99425	29,68973	
		30,6659	34,30739	30,69234	31,48745	26,55064	28,22051	21,37797	24,9261	24,88784	24,78186	24,66773	24,55749	24,44736	24,33748	
		30,6328	27,27082	27,03862	26,80851	26,58411	26,36522	26,15167	25,94327	25,73987	25,5413	25,34741	25,15805	24,97309	24,79239	
		304,4018	286,8859	287,848	288,744	288,7504	290,0079	289,6781	292,7472	290,673	287,9202	285,2357	282,6241	280,0819	277,6064	

26,35911	26,14517	25,93641	25,73265	25,53374	25,33952	25,14985	24,96458	24,78358	24,60672	24,43388	24,26493	24,09976	23,93825	23,78031	23,62583
27,78397	27,5404	27,30321	27,07217	26,84706	26,62768	26,41382	26,2053	26,00193	25,80353	25,60995	25,42102	25,2366	25,05654	25,75355	23,47477
28,03416	27,78397	27,5404	27,30321	27,07217	26,84706	26,62768	26,41382	26,2053	26,00193	25,80353	25,60995	25,42102	25,2366	27,35802	23,34003
28,29124	28,03416	27,78397	27,5404	27,30321	27,07217	26,84706	26,62768	26,41382	26,2053	26,00193	25,80353	25,60995	25,42102	28,50925	23,19521
28,55546	28,29124	28,03416	27,78397	27,5404	27,30321	27,07217	26,84706	26,62768	26,41382	26,2053	26,00193	25,80353	25,60995	29,71083	23,05348
28,82712	28,55546	28,29124	28,03416	27,78397	27,5404	27,30321	27,07217	26,84706	26,62768	26,41382	26,2053	26,00193	25,80353	30,96519	22,91476
29,1065	28,82712	28,55546	28,29124	28,03416	27,78397	27,5404	27,30321	27,07217	26,84706	26,62768	26,41382	26,2053	26,00193	32,27498	22,77895
29,39393	29,1065	28,82712	28,55546	28,29124	28,03416	27,78397	27,5404	27,30321	27,07217	26,84706	26,62768	26,41382	26,2053	33,64308	22,64599
24,22797	24,11892	24,01044	23,90262	23,79553	23,68925	23,58383	23,47934	23,37583	23,27335	23,17193	23,07161	22,97242	22,8744	30,48567	22,51579
24,61581	24,44324	24,27455	24,10964	23,94838	23,79067	23,63642	23,48551	23,33787	23,19339	23,05199	22,91358	22,77808	22,64542	22,51551	22,38828
275,1953	272,8462	270,557	268,3255	266,1499	264,0281	261,9584	259,9391	257,9685	256,045	254,1671	252,3334	250,5424	248,7929	284,9964	229,9331

6. Tabel Perhitungan akibat Perbedaan Masukan dx dan dy

Data Masukan	Simbol	Besaran	Satuan
Massa Jenis	??	1000	kg/m ³
Gravitasi	g	9,81	m/s ²
Viskositas	??	0,000842	N.s/m ²
Kemiringan Dasar Saluran Arah x	Sox	0,0005	m/m
Kemiringan Dasar Saluran Arah y	Soy	0	m/m
Koefisien Manning	n	0,035	
Waktu Penelusuran	dt	0	s
Jarak Penelusuran Arah x	dx	10	m
Jarak Penelusuran Arah y	dy	10	m

			nx	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		ny	jarak	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Kecepatan Arah X (u)	1	10	1,471568	1,446532	1,422495	1,399538	1,377587	1,356574	1,336438	1,317123	1,298578	1,280755	1,263611	1,247107	1,231205	1,215871	1,201075	
	2	20	1,44652	1,422605	1,399616	1,377632	1,356588	1,33642	1,317074	1,298497	1,280643	1,263468	1,246933	1,231	1,215636	1,200809	1,186491	
	3	30	1,422483	1,399642	1,37766	1,356616	1,336449	1,317104	1,298528	1,280674	1,2635	1,246965	1,231033	1,215669	1,200843	1,186525	1,172689	
	4	40	1,399526	1,377686	1,356643	1,336477	1,317132	1,298556	1,280703	1,26353	1,246996	1,231064	1,215701	1,200875	1,186558	1,172722	1,159342	
	5	50	1,377575	1,356668	1,336503	1,317158	1,298584	1,280732	1,263559	1,247025	1,231094	1,215732	1,200906	1,18659	1,172754	1,159375	1,146429	

(lanjutan)

			nx	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		ny	jarak	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
Kecepatan Arah Y (v)	1	10		-0,374	-0,3495	-0,32592	-0,30341	-0,2819	-0,26131	-0,2415	-0,2227	-0,20456	-0,18713	-0,17038	-0,15426	-0,13874	-0,12378	-0,10935
	2	20		-0,350	-0,32614	-0,30366	-0,28217	-0,26161	-0,24192	-0,22304	-0,20493	-0,18753	-0,1708	-0,15471	-0,13921	-0,12428	-0,10987	-0,09597
	3	30		-0,326	-0,30362	-0,28214	-0,26158	-0,24189	-0,22301	-0,2049	-0,1875	-0,17078	-0,15468	-0,13919	-0,12425	-0,10985	-0,09595	-0,08253
	4	40		-0,303	-0,28211	-0,26155	-0,24186	-0,22298	-0,20487	-0,18747	-0,17075	-0,15466	-0,13916	-0,12423	-0,10983	-0,09593	-0,0825	-0,06953
	5	50		-0,282	-0,26152	-0,24183	-0,22295	-0,20484	-0,18745	-0,17072	-0,15463	-0,13913	-0,1242	-0,1098	-0,0959	-0,08248	-0,06951	-0,05697
Kedalaman Air (h)	1	10		3,872285	3,87402	3,875632	3,877212	3,878761	3,880281	3,881773	3,883238	3,884679	3,886096	3,88749	3,888862	3,890214	3,891546	3,892859
	2	20		3,874121	3,876023	3,877803	3,879553	3,881274	3,882966	3,884633	3,886275	3,887892	3,889487	3,89106	3,892613	3,894146	3,895659	3,897155
	3	30		3,875733	3,877602	3,879352	3,881072	3,882765	3,884431	3,886073	3,88769	3,889285	3,890858	3,89241	3,893943	3,895456	3,896952	3,89843
	4	40		3,877312	3,879151	3,880871	3,882564	3,88423	3,885871	3,887488	3,889083	3,890656	3,892208	3,89374	3,895253	3,896749	3,898227	3,899688
	5	50		3,878861	3,880671	3,882363	3,884029	3,88567	3,887287	3,888861	3,890454	3,892006	3,893538	3,895051	3,896546	3,898024	3,899485	3,90093
Kecepatan Arah X Kondisi Konvergen Steady	1,471568	1,446532	1,422495	1,399538	1,377587	1,356574	1,336438	1,317123	1,298578	1,280755	1,263611	1,247107	1,231205	1,215871	1,201075			
	1,44652	1,471568	1,446532	1,422495	1,399538	1,377587	1,356574	1,336438	1,317123	1,298578	1,280755	1,263611	1,247107	1,231205	1,186491			
	1,422483	1,44652	1,471568	1,446532	1,422495	1,399538	1,377587	1,356574	1,336438	1,317123	1,298578	1,280755	1,263611	1,247107	1,172689			
	1,399526	1,422483	1,44652	1,471568	1,446532	1,422495	1,399538	1,377587	1,356574	1,336438	1,317123	1,298578	1,280755	1,263611	1,159342			
	1,377575	1,356668	1,336503	1,317158	1,298584	1,280732	1,263559	1,247025	1,231094	1,215732	1,200906	1,18659	1,172754	1,159375	1,146429			
Kecepatan Arah Y Kondisi Konvergen Steady	-0,374045	-0,349501	-0,32592	-0,30341	-0,281897	-0,261313	-0,241599	-0,222697	-0,204558	-0,187134	-0,170382	-0,154263	-0,138741	-0,123781	-0,109354			
	-0,349517	-0,374045	-0,349501	-0,32592	-0,30341	-0,281897	-0,261313	-0,241599	-0,222697	-0,204558	-0,187134	-0,170382	-0,154263	-0,138741	-0,095974			
	-0,325937	-0,349517	-0,374045	-0,349501	-0,32592	-0,30341	-0,281897	-0,261313	-0,241599	-0,222697	-0,204558	-0,187134	-0,170382	-0,154263	-0,082529			
	-0,303427	-0,325937	-0,349517	-0,374045	-0,349501	-0,32592	-0,30341	-0,281897	-0,261313	-0,241599	-0,222697	-0,204558	-0,187134	-0,170382	-0,069534			
	-0,281913	-0,261517	-0,241829	-0,222955	-0,204842	-0,187445	-0,170721	-0,154629	-0,139134	-0,124201	-0,1098	-0,095902	-0,08248	-0,06951	-0,056967			
Kedalaman Air Kondisi Konvergen Steady	3,872285	3,87402	3,875632	3,877212	3,878761	3,880281	3,881773	3,883238	3,884679	3,886096	3,88749	3,888862	3,890214	3,891546	3,892859			
	3,874121	3,872285	3,87402	3,875632	3,877212	3,878761	3,880281	3,881773	3,883238	3,884679	3,886096	3,88749	3,888862	3,890214	3,897155			
	3,875733	3,874121	3,872285	3,87402	3,875632	3,877212	3,878761	3,880281	3,881773	3,883238	3,884679	3,886096	3,88749	3,888862	3,89843			
	3,877312	3,875733	3,874121	3,872285	3,87402	3,875632	3,877212	3,878761	3,880281	3,881773	3,883238	3,884679	3,886096	3,88749	3,899688			
	3,878861	3,880671	3,882363	3,884029	3,88567	3,887287	3,888881	3,890454	3,892006	3,893538	3,895051	3,896546	3,898024	3,899485	3,90093			

(lanjutan)

Kecepatan Rata-rata	1,518362	1,488155	1,459355	1,432049	1,406133	1,381513	1,358101	1,335817	1,314591	1,294354	1,275046	1,256611	1,238997	1,222156	1,206043
	1,488147	1,518362	1,488155	1,459355	1,432049	1,406133	1,381513	1,358101	1,335817	1,314591	1,294354	1,275046	1,256611	1,238997	1,190366
	1,459347	1,488147	1,518362	1,488155	1,459355	1,432049	1,406133	1,381513	1,358101	1,335817	1,314591	1,294354	1,275046	1,256611	1,175589
	1,432041	1,459347	1,488147	1,518362	1,488155	1,459355	1,432049	1,406133	1,381513	1,358101	1,335817	1,314591	1,294354	1,275046	1,161426
	1,406125	1,381643	1,358205	1,335895	1,314641	1,294376	1,27504	1,256575	1,238931	1,222059	1,205916	1,190459	1,175651	1,161457	1,147843
Debit	58,79529	57,65144	56,55923	55,52358	54,54055	53,60658	52,71838	51,87298	51,06763	50,29984	49,5673	48,86789	48,19964	47,56075	46,94954
	57,65261	58,79529	57,65144	56,55923	55,52358	54,54055	53,60658	52,71838	51,87298	51,06763	50,29984	49,5673	48,86789	48,19964	46,39042
	56,56037	57,65261	58,79529	57,65144	56,55923	55,52358	54,54055	53,60658	52,71838	51,87298	51,06763	50,29984	49,5673	48,86789	45,82952
	55,5247	56,56037	57,65261	58,79529	57,65144	56,55923	55,52358	54,54055	53,60658	52,71838	51,87298	51,06763	50,29984	49,5673	45,29198
	54,54165	53,61703	52,73044	51,88654	51,0826	50,31611	49,58478	48,88648	48,21927	47,58134	46,97103	46,38678	45,82716	45,29084	44,77657
Total	283,0746	284,2767	283,389	280,4161	275,3574	270,546	265,9739	261,625	257,4848	253,5402	249,7788	246,1894	242,7618	239,4864	229,238
Kecepatan Arah X T=3s	1,471568	1,446532	1,422495	1,399538	1,377587	1,356574	1,336438	1,317123	1,298578	1,280755	1,263611	1,247107	1,231205	1,215871	1,201075
	1,44652	1,489053	1,469861	1,44518	1,421629	1,399147	1,377657	1,357093	1,337393	1,3185	1,300363	1,282935	1,266174	1,282704	1,186491
	1,422483	1,426883	1,489053	1,469861	1,44518	1,421629	1,399147	1,377657	1,357093	1,337393	1,3185	1,300363	1,282935	1,321591	1,172689
	1,399526	1,400301	1,416396	1,471923	1,448444	1,426037	1,404546	1,383916	1,364096	1,345039	1,3267	1,309041	1,292022	1,354303	1,159342
	1,377575	1,356668	1,336503	1,317158	1,298584	1,280732	1,263559	1,247025	1,231094	1,215732	1,200906	1,18659	1,172754	1,159375	1,146429
Kecepatan Arah Y T=3s	-0,374045	-0,349501	-0,32592	-0,30341	-0,281897	-0,261313	-0,241599	-0,222697	-0,204558	-0,187134	-0,170382	-0,154263	-0,138741	-0,123781	-0,109354
	-0,349517	-0,373239	-0,367015	-0,342262	-0,318947	-0,296702	-0,275452	-0,255127	-0,235668	-0,217016	-0,199121	-0,181935	-0,165416	-0,161619	-0,095974
	-0,325937	-0,324871	-0,373239	-0,367015	-0,342262	-0,318947	-0,296702	-0,275452	-0,255127	-0,235668	-0,217016	-0,199121	-0,181935	-0,19015	-0,082529
	-0,303427	-0,286457	-0,292102	-0,323102	-0,300538	-0,278364	-0,257078	-0,236626	-0,216958	-0,198028	-0,179793	-0,162214	-0,145254	-0,16631	-0,069534
	-0,281913	-0,261517	-0,241829	-0,222955	-0,204842	-0,187445	-0,170721	-0,154629	-0,139134	-0,124201	-0,1098	-0,095902	-0,08248	-0,06951	-0,056967
Kedalaman Air T=3s	3,872285	3,87402	3,875632	3,877212	3,878761	3,880281	3,881773	3,883238	3,884679	3,886096	3,88749	3,888862	3,890214	3,891546	3,892859
	3,874121	3,87232	3,940339	3,939179	3,937925	3,936833	3,935889	3,935077	3,934385	3,933802	3,933319	3,932926	3,932615	3,971061	3,897155
	3,875733	3,808844	3,87232	3,940339	3,939179	3,937925	3,936833	3,935889	3,935077	3,934385	3,933802	3,933319	3,932926	4,01128	3,89843
	3,877312	3,757011	3,697155	3,702927	3,711756	3,720015	3,727831	3,735239	3,74227	3,748954	3,755317	3,761381	3,767169	3,887431	3,899688
	3,878861	3,880671	3,882363	3,884029	3,88567	3,887287	3,888881	3,890454	3,892006	3,893538	3,895051	3,896546	3,898024	3,899485	3,90093

(lanjutan)

Kecepatan Arah X T=6s	1,471568	1,446532	1,422495	1,399538	1,377587	1,356574	1,336438	1,317123	1,298578	1,280755	1,263611	1,247107	1,231205	1,215871	1,201075
	1,44652	1,716874	1,459988	1,435874	1,412923	1,390987	1,369998	1,349894	1,330617	1,312114	1,294337	1,277242	1,381387	1,027707	1,186491
	1,422483	1,635637	1,732906	1,481088	1,455959	1,432849	1,410749	1,389594	1,369322	1,349879	1,331213	1,313277	1,548237	0,953738	1,172689
	1,399526	1,210675	1,413107	1,515352	1,495798	1,471131	1,447592	1,425117	1,403632	1,383069	1,363367	1,344469	1,701114	1,419108	1,159342
	1,377575	1,356668	1,336503	1,317158	1,298584	1,280732	1,263559	1,247025	1,231094	1,215732	1,200906	1,18659	1,172754	1,159375	1,146429
Kecepatan Arah Y T=6s	-0,374045	-0,349501	-0,32592	-0,30341	-0,281897	-0,261313	-0,241599	-0,222697	-0,204558	-0,187134	-0,170382	-0,154263	-0,138741	-0,123781	-0,109354
	-0,349517	-0,581602	-0,589772	-0,333361	-0,309721	-0,288081	-0,267383	-0,247566	-0,228571	-0,210347	-0,192845	-0,176023	-0,154407	-0,026997	-0,095974
	-0,325937	-0,49415	-0,930363	-1,126352	-1,072435	-1,021036	-0,972308	-0,926061	-0,88212	-0,840326	-0,800533	-0,762607	-0,716428	-0,621285	-0,082529
	-0,303427	0,130789	0,386511	0,295478	0,272672	0,271084	0,269859	0,26921	0,269068	0,269376	0,270081	0,271139	0,291276	-0,179199	-0,069534
	-0,281913	-0,261517	-0,241829	-0,222955	-0,204842	-0,187445	-0,170721	-0,154629	-0,139134	-0,124201	-0,1098	-0,095902	-0,08248	-0,06951	-0,056967
Kedalaman Air T=6s	3,872285	3,87402	3,875632	3,877212	3,878761	3,880281	3,881773	3,883238	3,884679	3,886096	3,88749	3,888862	3,890214	3,891546	3,892859
	3,874121	3,787896	3,90922	3,944597	3,942498	3,940988	3,939673	3,93853	3,937543	3,936697	3,935976	3,93537	3,871563	4,107221	3,897155
	3,875733	3,702479	3,728888	3,883195	3,886844	3,888564	3,890008	3,891213	3,892211	3,89303	3,893691	3,894216	3,782949	4,161133	3,89843
	3,877312	3,863371	3,687718	3,787973	3,858315	3,860248	3,862081	3,86406	3,866162	3,868369	3,870664	3,873032	3,720074	4,067261	3,899688
	3,878861	3,880671	3,882363	3,884029	3,88567	3,887287	3,888881	3,890454	3,892006	3,893538	3,895051	3,896546	3,898024	3,899485	3,90093

7. Tabel Perhitungan Perubahan Rentang Waktu Penelusuran

Data Masukan	Simbol	Besaran	Satuan
Massa Jenis	??	1000	kg/m ³
Gravitasi	g	9,81	m/s ²
Viskositas	??	0,000842	N.s/m ²
Kemiringan Dasar Saluran Arah x	Sox	0,0005	m/m
Kemiringan Dasar Saluran Arah y	Soy	0	m/m
Koefisien Manning	n	0,035	
Waktu Penelusuran	dt	1,5	s
Jarak Penelusuran Arah x	dx	5	m
Jarak Penelusuran Arah y	dy	5	m



1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,223466	1,215868	1,208405
1,346828	1,336971	1,327318	1,317861	1,308596	1,299515	1,290614	1,281885	1,273325	1,264929	1,25669	1,248605	1,24067	1,233927	1,201075
1,356896	1,346828	1,336971	1,327318	1,317861	1,308596	1,299515	1,290614	1,281885	1,273325	1,264929	1,25669	1,248605	1,23618	1,193571
1,367181	1,356896	1,346828	1,336971	1,327318	1,317861	1,308596	1,299515	1,290614	1,281885	1,273325	1,264929	1,25669	1,292983	1,186491
1,377692	1,367181	1,356896	1,346828	1,336971	1,327318	1,317861	1,308596	1,299515	1,290614	1,281885	1,273325	1,264929	1,312677	1,179531
1,388436	1,377692	1,367181	1,356896	1,346828	1,336971	1,327318	1,317861	1,308596	1,299515	1,290614	1,281885	1,273325	1,332715	1,172689
1,399421	1,388436	1,377692	1,367181	1,356896	1,346828	1,336971	1,327318	1,317861	1,308596	1,299515	1,290614	1,281885	1,35311	1,16596
1,410656	1,399421	1,388436	1,377692	1,367181	1,356896	1,346828	1,336971	1,327318	1,317861	1,308596	1,299515	1,290614	1,373879	1,159342
1,402593	1,392173	1,381958	1,371942	1,362118	1,352482	1,343028	1,333751	1,324646	1,315709	1,306934	1,298318	1,289856	1,385601	1,152833
1,247025	1,238986	1,231094	1,223344	1,215732	1,208254	1,200906	1,193686	1,18659	1,179613	1,172754	1,166009	1,159375	1,152849	1,146429

Kecepatan Arah Y t = 1,5 s	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595
	-0,39	-0,411722	-0,396181	-0,383669	-0,370616	-0,358159	-0,346001	-0,334132	-0,322541	-0,311217	-0,300151	-0,289335	-0,278759	-0,268415	-0,258296
	-0,38	-0,18577	-0,411722	-0,396181	-0,383669	-0,370616	-0,358159	-0,346001	-0,334132	-0,322541	-0,311217	-0,300151	-0,289335	-0,278759	-0,268415
	-0,37	-0,384409	-0,18577	-0,411722	-0,396181	-0,383669	-0,370616	-0,358159	-0,346001	-0,334132	-0,322541	-0,311217	-0,300151	-0,289335	-0,278759
	-0,36	-0,224461	-0,384409	-0,18577	-0,411722	-0,396181	-0,383669	-0,370616	-0,358159	-0,346001	-0,334132	-0,322541	-0,311217	-0,300151	-0,289335
	-0,35	-0,360489	-0,224461	-0,384409	-0,18577	-0,411722	-0,396181	-0,383669	-0,370616	-0,358159	-0,346001	-0,334132	-0,322541	-0,311217	-0,300151
	-0,34	-0,239772	-0,360489	-0,224461	-0,384409	-0,18577	-0,411722	-0,396181	-0,383669	-0,370616	-0,358159	-0,346001	-0,334132	-0,322541	-0,311217
	-0,33	-0,317696	-0,239772	-0,360489	-0,224461	-0,384409	-0,18577	-0,411722	-0,396181	-0,383669	-0,370616	-0,358159	-0,346001	-0,334132	-0,322541
	-0,32	-0,685761	-0,675798	-0,585111	-0,596937	-0,472231	-0,488505	-0,305806	-0,330441	-0,318541	-0,307535	-0,296204	-0,285101	-0,27422	-0,263554
-0,31	-0,281913	-0,271683	-0,261517	-0,251568	-0,241829	-0,232294	-0,222955	-0,213806	-0,204842	-0,196057	-0,187445	-0,179002	-0,170721	-0,162598	

-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,13119	-0,123779	-0,1165
-0,248394	-0,238701	-0,229211	-0,219918	-0,210814	-0,201894	-0,193153	-0,184584	-0,176183	-0,167944	-0,159862	-0,151934	-0,144154	-0,142767	-0,109354
-0,258296	-0,248394	-0,238701	-0,229211	-0,219918	-0,210814	-0,201894	-0,193153	-0,184584	-0,176183	-0,167944	-0,159862	-0,151934	-0,156491	-0,102874
-0,268415	-0,258296	-0,248394	-0,238701	-0,229211	-0,219918	-0,210814	-0,201894	-0,193153	-0,184584	-0,176183	-0,167944	-0,159862	-0,170674	-0,095974
-0,278759	-0,268415	-0,258296	-0,248394	-0,238701	-0,229211	-0,219918	-0,210814	-0,201894	-0,193153	-0,184584	-0,176183	-0,167944	-0,18509	-0,089193
-0,289335	-0,278759	-0,268415	-0,258296	-0,248394	-0,238701	-0,229211	-0,219918	-0,210814	-0,201894	-0,193153	-0,184584	-0,176183	-0,199748	-0,082529
-0,300151	-0,289335	-0,278759	-0,268415	-0,258296	-0,248394	-0,238701	-0,229211	-0,219918	-0,210814	-0,201894	-0,193153	-0,184584	-0,21466	-0,075976
-0,311217	-0,300151	-0,289335	-0,278759	-0,268415	-0,258296	-0,248394	-0,238701	-0,229211	-0,219918	-0,210814	-0,201894	-0,193153	-0,229836	-0,069534
-0,253097	-0,242843	-0,232784	-0,222917	-0,213235	-0,203733	-0,194405	-0,185248	-0,176255	-0,167423	-0,158747	-0,150223	-0,141847	-0,185287	-0,063199
-0,154629	-0,146809	-0,139134	-0,131599	-0,124201	-0,116936	-0,1098	-0,10279	-0,095902	-0,089133	-0,08248	-0,07594	-0,06951	-0,063186	-0,056967



Kedalaman Air t = 1,5 s	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773
	3,868195	3,874458	3,906796	3,906876	3,907153	3,907174	3,907215	3,907275	3,907354	3,907449	3,907561	3,907688	3,90783	3,907985	3,908153
	3,923216	3,862165	3,874458	3,906796	3,906876	3,907153	3,907174	3,907215	3,907275	3,907354	3,907449	3,907561	3,907688	3,90783	3,907985
	3,919451	3,939519	3,862165	3,874458	3,906796	3,906876	3,907153	3,907174	3,907215	3,907275	3,907354	3,907449	3,907561	3,907688	3,90783
	3,958083	3,91065	3,939519	3,862165	3,874458	3,906796	3,906876	3,907153	3,907174	3,907215	3,907275	3,907354	3,907449	3,907561	3,907688
	3,955499	3,966476	3,91065	3,939519	3,862165	3,874458	3,906796	3,906876	3,907153	3,907174	3,907215	3,907275	3,907354	3,907449	3,907561
	3,98421	3,944963	3,966476	3,91065	3,939519	3,862165	3,874458	3,906796	3,906876	3,907153	3,907174	3,907215	3,907275	3,907354	3,907449
	3,988169	3,984451	3,944963	3,966476	3,91065	3,939519	3,862165	3,874458	3,906796	3,906876	3,907153	3,907174	3,907215	3,907275	3,907354
	3,998804	3,906898	3,888877	3,822535	3,819904	3,738849	3,746161	3,64639	3,640862	3,646371	3,652061	3,6575	3,662784	3,667917	3,672907
	4,025582	3,878861	3,879814	3,880671	3,88152	3,882363	3,883199	3,884029	3,884852	3,88567	3,886481	3,887287	3,888087	3,888881	3,88967
	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,891546	3,892205
	3,908333	3,908525	3,908727	3,908894	3,909163	3,909395	3,909636	3,909885	3,910142	3,910406	3,910677	3,910955	3,91124	3,911534	3,892859
3,908153	3,908333	3,908525	3,908727	3,908894	3,909163	3,909395	3,909636	3,909885	3,910142	3,910406	3,910677	3,910955	3,950441	3,896511	
3,907985	3,908153	3,908333	3,908525	3,908727	3,908894	3,909163	3,909395	3,909636	3,909885	3,910142	3,910406	3,910677	3,97035	3,897155	
3,90783	3,907985	3,908153	3,908333	3,908525	3,908727	3,908894	3,909163	3,909395	3,909636	3,909885	3,910142	3,910406	3,990381	3,897794	
3,907688	3,90783	3,907985	3,908153	3,908333	3,908525	3,908727	3,908894	3,909163	3,909395	3,909636	3,909885	3,910142	4,010545	3,89843	
3,907561	3,907688	3,90783	3,907985	3,908153	3,908333	3,908525	3,908727	3,908894	3,909163	3,909395	3,909636	3,909885	4,030853	3,899061	
3,907449	3,907561	3,907688	3,90783	3,907985	3,908153	3,908333	3,908525	3,908727	3,908894	3,909163	3,909395	3,909636	4,051318	3,899688	
3,67776	3,68248	3,687073	3,691544	3,695898	3,70014	3,704274	3,708303	3,712232	3,716065	3,719805	3,723456	3,72702	3,886054	3,900311	
3,890454	3,891232	3,892006	3,892774	3,893538	3,894297	3,895051	3,895801	3,896546	3,897287	3,898024	3,898756	3,899485	3,900209	3,90093	
Kecepatan Arah X t = 3 s	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435
	1,499	1,618379	1,494282	1,482136	1,468313	1,455772	1,443525	1,431564	1,419878	1,408457	1,397293	1,386375	1,375696	1,365247	1,355021
	1,5	1,530567	1,629128	1,506847	1,494251	1,480256	1,467532	1,455112	1,442987	1,431146	1,419579	1,408276	1,397228	1,386425	1,375858
	1,5015	1,198383	1,540164	1,629128	1,506847	1,494251	1,480256	1,467532	1,455112	1,442987	1,431146	1,419579	1,408276	1,397228	1,386425
	1,503	1,717062	1,011749	1,540164	1,629128	1,506847	1,494251	1,480256	1,467532	1,455112	1,442987	1,431146	1,419579	1,408276	1,397228
	1,504	1,273279	1,731909	1,011749	1,540164	1,629128	1,506847	1,494251	1,480256	1,467532	1,455112	1,442987	1,431146	1,419579	1,408276
	1,503	1,656154	1,141722	1,731909	1,011749	1,540164	1,629128	1,506847	1,494251	1,480256	1,467532	1,455112	1,442987	1,431146	1,419579
	1,5015	1,327277	1,664942	1,139574	1,730176	1,009098	1,538612	1,625358	1,503036	1,490527	1,476853	1,464419	1,452269	1,440391	1,428777
	1,5	1,462375	1,144548	1,552588	1,057883	1,626443	0,93354	1,47218	1,51392	1,504182	1,490884	1,478369	1,466126	1,454166	1,442478
	1,49	1,377575	1,367075	1,356668	1,346479	1,336503	1,326731	1,317158	1,307778	1,298584	1,28957	1,280732	1,272063	1,263559	1,255214



1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,223466	1,215868	1,208405	
1,345011	1,335208	1,325607	1,316201	1,306984	1,29795	1,289093	1,280408	1,271889	1,263532	1,255332	1,247284	1,304444	1,113299	1,201075	
1,365521	1,355404	1,345501	1,335805	1,326309	1,317005	1,307889	1,298955	1,290195	1,281606	1,273182	1,264918	1,379478	1,093551	1,193571	
1,375858	1,365521	1,355404	1,345501	1,335805	1,326309	1,317005	1,307889	1,298955	1,290195	1,281606	1,273182	1,454023	1,047265	1,186491	
1,386425	1,375858	1,365521	1,355404	1,345501	1,335805	1,326309	1,317005	1,307889	1,298955	1,290195	1,281606	1,529612	1,001208	1,179531	
1,397228	1,386425	1,375858	1,365521	1,355404	1,345501	1,335805	1,326309	1,317005	1,307889	1,298955	1,290195	1,606297	0,955361	1,172689	
1,408276	1,397228	1,386425	1,375858	1,365521	1,355404	1,345501	1,335805	1,326309	1,317005	1,307889	1,298955	1,684129	0,909706	1,16596	
1,417419	1,406307	1,395434	1,384792	1,374374	1,364173	1,354182	1,344393	1,334802	1,325402	1,316188	1,307153	1,762448	0,863489	1,159342	
1,431054	1,419883	1,408958	1,398268	1,387807	1,377567	1,36754	1,357719	1,348097	1,338669	1,329428	1,320369	1,826398	1,451606	1,152833	
1,247025	1,238986	1,231094	1,223344	1,215732	1,208254	1,200906	1,193686	1,18659	1,179613	1,172754	1,166009	1,159375	1,152849	1,146429	
Kecepatan Arah Y t = 3 s	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595
	-0,39	-0,415245	-0,504916	-0,381045	-0,368953	-0,355582	-0,343514	-0,331729	-0,320219	-0,308973	-0,297982	-0,287236	-0,276728	-0,26645	-0,256393
	-0,38	0,031085	-0,426967	-0,514236	-0,390486	-0,377856	-0,364245	-0,351948	-0,339945	-0,328228	-0,316784	-0,305604	-0,294678	-0,283999	-0,273556
	-0,37	-0,538218	0,235315	-0,426967	-0,514236	-0,390486	-0,377856	-0,364245	-0,351948	-0,339945	-0,328228	-0,316784	-0,305604	-0,294678	-0,283999
	-0,36	-0,076621	-0,542627	0,235315	-0,426967	-0,514236	-0,390486	-0,377856	-0,364245	-0,351948	-0,339945	-0,328228	-0,316784	-0,305604	-0,294678
	-0,35	-0,47838	0,068918	-0,542627	0,235315	-0,426967	-0,514236	-0,390486	-0,377856	-0,364245	-0,351948	-0,339945	-0,328228	-0,316784	-0,305604
	-0,34	-0,140876	-0,478869	0,068918	-0,542627	0,235315	-0,426967	-0,514236	-0,390486	-0,377856	-0,364245	-0,351948	-0,339945	-0,328228	-0,316784
	-0,33	-0,695549	-0,419576	-0,932572	-0,499131	-1,117042	-0,503313	-1,127185	-1,23131	-1,203618	-1,175334	-1,147428	-1,120259	-1,093801	-1,068028
	-0,32	-0,330601	-0,296145	0,024468	-0,148838	0,327703	0,03615	0,743332	0,516962	0,513231	0,504922	0,498672	0,492523	0,48674	0,4813
-0,31	-0,281913	-0,271683	-0,261517	-0,251568	-0,241829	-0,232294	-0,222955	-0,213806	-0,204842	-0,196057	-0,187445	-0,179002	-0,170721	-0,162598	
-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,13119	-0,123779	-0,1165	
-0,24655	-0,236914	-0,227479	-0,218238	-0,209185	-0,200314	-0,191619	-0,183095	-0,174737	-0,166539	-0,158498	-0,150607	-0,140114	-0,079841	-0,109354	
-0,263342	-0,253349	-0,24357	-0,233997	-0,224624	-0,215445	-0,206452	-0,197641	-0,189006	-0,180541	-0,17224	-0,1641	-0,150648	-0,098774	-0,102874	
-0,273556	-0,263342	-0,253349	-0,24357	-0,233997	-0,224624	-0,215445	-0,206452	-0,197641	-0,189006	-0,180541	-0,17224	-0,15574	-0,11628	-0,095974	
-0,283999	-0,273556	-0,263342	-0,253349	-0,24357	-0,233997	-0,224624	-0,215445	-0,206452	-0,197641	-0,189006	-0,180541	-0,16091	-0,134252	-0,089193	
-0,294678	-0,283999	-0,273556	-0,263342	-0,253349	-0,24357	-0,233997	-0,224624	-0,215445	-0,206452	-0,197641	-0,189006	-0,166156	-0,15271	-0,082529	
-0,305604	-0,294678	-0,283999	-0,273556	-0,263342	-0,253349	-0,24357	-0,233997	-0,224624	-0,215445	-0,206452	-0,197641	-0,171481	-0,171674	-0,075976	
-1,042916	-1,018442	-0,994582	-0,971317	-0,948625	-0,926486	-0,904883	-0,883796	-0,86321	-0,843106	-0,82347	-0,804286	-0,767312	-0,793595	-0,069534	
0,476186	0,47138	0,466865	0,462626	0,458647	0,454916	0,451419	0,448144	0,445081	0,442217	0,439543	0,43705	0,461469	-0,194967	-0,063199	
-0,154629	-0,146809	-0,139134	-0,131599	-0,124201	-0,116936	-0,1098	-0,10279	-0,095902	-0,089133	-0,08248	-0,07594	-0,06951	-0,063186	-0,056967	

(lanjutan)

Kedalaman Air t = 3 s	3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773
	3,868195	3,566815	3,90713	3,907673	3,908966	3,908553	3,908527	3,908523	3,908542	3,908582	3,90864	3,908718	3,908812	3,908923	3,909049
	3,923216	4,157961	3,570671	3,942478	3,942175	3,942918	3,941707	3,940911	3,940166	3,93947	3,938819	3,938212	3,937645	3,937118	3,936627
	3,919451	3,494781	4,151932	3,570671	3,942478	3,942175	3,942918	3,941707	3,940911	3,940166	3,93947	3,938819	3,938212	3,937645	3,937118
	3,958083	4,420194	3,511084	4,151932	3,570671	3,942478	3,942175	3,942918	3,941707	3,940911	3,940166	3,93947	3,938819	3,938212	3,937645
	3,955499	3,627022	4,411393	3,511084	4,151932	3,570671	3,942478	3,942175	3,942918	3,941707	3,940911	3,940166	3,93947	3,938819	3,938212
	3,98421	4,276331	3,635416	4,411393	3,511084	4,151932	3,570671	3,942478	3,942175	3,942918	3,941707	3,940911	3,940166	3,93947	3,938819
	3,988169	4,374326	4,842203	4,087442	4,789353	3,803889	4,298323	3,696573	3,797453	3,799605	3,804307	3,807249	3,810035	3,812676	3,815181
	3,998804	3,590034	3,394822	3,727629	3,429967	3,895643	3,469311	3,785773	3,765489	3,799817	3,800796	3,802727	3,804413	3,806131	3,807876
	4,025582	3,878861	3,879814	3,880671	3,88152	3,882363	3,883199	3,884029	3,884852	3,88567	3,886481	3,887287	3,888087	3,888881	3,88967
	3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,891546	3,892205
	3,90919	3,909344	3,909511	3,909691	3,909882	3,910083	3,910296	3,910518	3,910749	3,910989	3,911237	3,911493	3,887538	3,98888	3,892859
3,936172	3,93575	3,93536	3,935	3,934669	3,934365	3,934088	3,933835	3,933606	3,9334	3,933216	3,933052	3,869806	4,071859	3,896511	
3,936627	3,936172	3,93575	3,93536	3,935	3,934669	3,934365	3,934088	3,933835	3,933606	3,9334	3,933216	3,845128	4,121124	3,897155	
3,937118	3,936627	3,936172	3,93575	3,93536	3,935	3,934669	3,934365	3,934088	3,933835	3,933606	3,9334	3,820137	4,171971	3,897794	
3,937645	3,937118	3,936627	3,936172	3,93575	3,93536	3,935	3,934669	3,934365	3,934088	3,933835	3,933606	3,794818	4,224481	3,89843	
3,938212	3,937645	3,937118	3,936627	3,936172	3,93575	3,93536	3,935	3,934669	3,934365	3,934088	3,933835	3,769152	4,278741	3,899061	
3,817557	3,819811	3,821952	3,823985	3,825917	3,827753	3,829499	3,83116	3,832739	3,834243	3,835674	3,837037	3,650782	4,225714	3,899688	
3,809644	3,811434	3,813242	3,815066	3,816904	3,818753	3,820613	3,82248	3,824353	3,826232	3,828114	3,829999	3,627926	4,061382	3,900311	
3,890454	3,891232	3,892006	3,892774	3,893538	3,894297	3,895051	3,895801	3,896546	3,897287	3,898024	3,898756	3,899485	3,900209	3,90093	
Kecepatan Arah X t = 6s	1,498	1,484622	1,471726	1,458976	1,446527	1,434369	1,422491	1,410882	1,399534	1,388437	1,377583	1,366963	1,35657	1,346396	1,336435
	1,499	46,85008	3,749373	0,947533	1,473031	1,448423	1,441581	1,429732	1,418152	1,406829	1,395755	1,384921	1,37432	1,363944	1,353785
	1,5	1,243691	137,0203	3,874828	0,977927	1,481912	1,459147	1,452087	1,440047	1,428289	1,416799	1,40557	1,394591	1,383854	1,37335
	1,5015	15343,84	1,28441	142,3006	3,87622	0,981633	1,482849	1,460333	1,453498	1,441676	1,430127	1,418838	1,407801	1,397007	1,386448
	1,503	9,334442	9904,552	1,330812	142,3113	3,888785	0,993748	1,494792	1,472092	1,465085	1,453099	1,441395	1,42996	1,418785	1,40786
	1,504	70308,41	9,586673	7917,535	1,340631	142,305	3,888537	0,993659	1,494719	1,472027	1,465029	1,453052	1,441355	1,429926	1,418756
	1,503	5,727819	378629,6	1,930682	51863,73	2,417796	367,9675	3,3509	1,440014	1,419287	1,400346	1,390048	1,379991	1,37017	1,360573
	1,5015	195,6045	5,277786	1906,51	4,075073	112,8726	-1,45515	6,129279	1,634034	1,585588	1,553315	1,543294	1,530439	1,517818	1,505425
	1,5	-0,553329	192,0777	-3,198245	1442,126	-0,120623	79,8976	-3,299629	2,593196	1,348847	1,383334	1,361091	1,354123	1,347124	1,340119
	1,49	1,377575	1,367075	1,356668	1,346479	1,336503	1,326731	1,317158	1,307778	1,298584	1,28957	1,280732	1,272063	1,263559	1,255214

1,326678	1,31712	1,307754	1,298575	1,289576	1,280752	1,272098	1,263608	1,255278	1,247104	1,239079	1,231202	1,223466	1,215868	1,208405
1,343837	1,334092	1,324545	1,315189	1,306018	1,297026	1,288209	1,279561	1,271076	1,262751	1,02597	1,994451	0,681893	1,335836	1,201075
1,363072	1,353011	1,343162	1,333516	1,324067	1,314809	1,305735	1,296841	1,28812	1,279567	0,896731	2,201139	0,972289	1,794079	1,193571
1,376116	1,366002	1,356101	1,346404	1,336906	1,3276	1,31848	1,30954	1,300775	1,292179	0,689081	2,657335	0,921266	2,493267	1,186491
1,397177	1,386726	1,376502	1,366494	1,356697	1,347104	1,337708	1,328501	1,31948	1,310637	0,491199	3,047494	2,008084	3,201776	1,179531
1,407835	1,397156	1,386709	1,376487	1,366482	1,356687	1,347095	1,3377	1,328495	1,319475	0,288624	3,333984	7,087723	4,008716	1,172689
1,351189	1,34201	1,333026	1,32423	1,315614	1,307171	1,298895	1,290779	1,282818	1,275006	-0,161285	4,249995	20,27323	2,716912	1,16596
1,49326	1,481317	1,469595	1,458089	1,446795	1,435711	1,42483	1,414151	1,403668	1,393377	0,588794	2,309506	202,2442	9,773172	1,159342
1,333118	1,326129	1,319159	1,312217	1,305308	1,298436	1,291607	1,284825	1,278093	1,271414	-0,67261	3,26629	23,48348	5,155356	1,152833
1,247025	1,238986	1,231094	1,223344	1,215732	1,208254	1,200906	1,193686	1,18659	1,179613	1,172754	1,166009	1,159375	1,152849	1,146429

Kecepatan Arah Y t = 6s	-0,4	-0,386862	-0,374228	-0,361713	-0,349496	-0,337567	-0,325916	-0,314532	-0,303406	-0,292529	-0,281893	-0,271489	-0,261309	-0,251347	-0,241595
	-0,39	1500,247	-1,266292	-1,843816	0,309343	-0,29741	-0,275011	-0,269481	-0,258754	-0,248291	-0,238079	-0,228109	-0,218372	-0,208858	-0,19956
	-0,38	-0,272507	4529,9	-2,163016	-1,683645	0,459551	-0,125206	-0,108651	-0,107638	-0,101328	-0,095099	-0,088948	-0,082874	-0,076877	-0,070956
	-0,37	54996,03	2,138841	4139,809	-2,411373	-1,922781	0,199569	-0,36359	-0,341493	-0,335043	-0,323588	-0,312397	-0,301457	-0,29076	-0,280298
	-0,36	5,625295	67015,4	2,329439	4139,797	-2,420693	-1,932222	0,190665	-0,372252	-0,349927	-0,343259	-0,331597	-0,320208	-0,309079	-0,298202
	-0,35	6752,619	17,0427	82634,98	2,928375	8411,712	-0,696116	3,324534	9,217858	8,933197	8,579799	8,22517	7,894664	7,586138	7,297693
	-0,34	-5,537063	363703,6	-3,78461	253376,5	1,652002	706,3064	-3,495358	-3,321373	-3,217076	-3,309662	-3,381993	-3,446788	-3,503921	-3,553932
	-0,33	16,92851	0,392468	623,6956	-0,842345	2630,52	-0,152386	326,1935	47,92807	70,30702	63,98301	59,72435	55,56419	51,82213	48,44665
	-0,32	-2,386152	0,605866	-8,128928	5,496545	-5,231709	2,489853	-6,489976	-2,253766	-2,731064	-2,482928	-2,455287	-2,416635	-2,380105	-2,343902
-0,31	-0,281913	-0,271683	-0,261517	-0,251568	-0,241829	-0,232294	-0,222955	-0,213806	-0,204842	-0,196057	-0,187445	-0,179002	-0,170721	-0,162598	

-0,232046	-0,222693	-0,213532	-0,204554	-0,195756	-0,18713	-0,178673	-0,170379	-0,162243	-0,15426	-0,146427	-0,138738	-0,13119	-0,123779	-0,1165
-0,190471	-0,181581	-0,172885	-0,164375	-0,156045	-0,14789	-0,139902	-0,132077	-0,12441	-0,116895	-0,108956	-0,253732	-0,026408	-0,01457	-0,109354
-0,065111	-0,05934	-0,053643	-0,048019	-0,042467	-0,036987	-0,031576	-0,026234	-0,020961	-0,015756	-0,009491	-0,231261	0,322351	-0,383644	-0,102874
-0,270062	-0,260046	-0,250241	-0,240642	-0,231241	-0,222033	-0,21301	-0,204168	-0,195501	-0,187003	-0,17694	-0,38803	0,114606	-0,447854	-0,095974
-0,287568	-0,277168	-0,266995	-0,25704	-0,247297	-0,237759	-0,228419	-0,21927	-0,210307	-0,201523	-0,190539	-0,400569	0,056627	-0,465456	-0,089193
7,027622	6,774389	6,536614	6,313053	6,102585	5,904194	5,716961	5,540052	5,37271	5,214245	5,071559	3,186931	14,28633	3,652995	-0,082529
-3,597334	-3,634613	-3,666226	-3,692603	-3,714146	-3,731233	-3,744214	-3,753419	-3,759151	-3,761695	-3,760976	-3,268243	-6,340959	-3,597515	-0,075976
45,39367	42,62523	40,10859	37,81538	35,72096	33,80388	32,04539	30,42905	28,94046	27,56689	26,32782	11,57401	56,94287	5,193507	-0,069534
-2,30804	-2,27253	-2,23738	-2,202598	-2,168187	-2,13415	-2,100489	-2,067205	-2,034298	-2,001766	-1,96493	-0,272641	6,245877	-0,143173	-0,063199
-0,154629	-0,146809	-0,139134	-0,131599	-0,124201	-0,116936	-0,1098	-0,10279	-0,095902	-0,089133	-0,08248	-0,07594	-0,06951	-0,063186	-0,056967

(lanjutan)

Kedalaman Air
t = 6s

3,870603	3,871448	3,872374	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	3,88103	3,881773
3,868195	32,39855	1,11238	6,545085	4,124158	4,103125	4,083686	4,080897	4,076741	4,072768	4,068968	4,065331	4,061849	4,058514	4,055319
3,923216	11,82007	14,74002	0,941092	6,435898	4,014194	3,991338	3,973906	3,97337	3,971523	3,969782	3,968141	3,966594	3,965134	3,963758
3,919451	31,3468	8,007806	12,69788	0,918365	6,448746	4,018404	3,995017	3,977698	3,977348	3,975663	3,974066	3,972552	3,971116	3,969754
3,958083	22,50716	-18,06817	7,419677	12,70174	0,953713	6,483247	4,052355	4,028171	4,010083	4,008991	4,006591	4,004303	4,002123	4,000043
3,955499	-20,7336	61,96137	-30,22679	22,32605	3,421018	1,013708	6,357098	5,256856	5,240837	5,171379	5,123345	5,078104	5,035472	4,995275
3,98421	1,185147	-4,402161	1,726453	46,62902	0,969773	53,37597	0,492817	1,839888	1,530904	1,64099	1,722066	1,803088	1,880573	1,954636
3,988169	3,069758	16,10619	1,381114	13,50655	3,904472	5,42079	2,827421	5,166539	5,943663	5,901376	5,86443	5,824687	5,785702	5,747524
3,998804	3,89217	6,896213	4,109843	1,021442	3,120237	0,798032	6,048979	1,928982	1,416251	1,471289	1,509907	1,550312	1,59008	1,628757
4,025582	3,878861	3,879814	3,880671	3,88152	3,882363	3,883199	3,884029	3,884852	3,88567	3,886481	3,887287	3,888087	3,888881	3,88967

3,882509	3,883238	3,883962	3,884679	3,885391	3,886096	3,886796	3,88749	3,888179	3,888862	3,889541	3,890214	3,890882	3,891546	3,892205
4,052256	4,04932	4,046504	4,043802	4,04121	4,038721	4,036331	4,034036	4,031832	4,029713	4,228725	3,160314	5,694134	3,638245	3,892859
3,96246	3,961237	3,960083	3,958997	3,957973	3,957008	3,956101	3,955246	3,954443	3,953688	4,40547	2,476031	7,764756	3,563549	3,896511
3,968462	3,967236	3,966074	3,964972	3,963926	3,962934	3,961994	3,961103	3,960259	3,959458	4,615498	2,032921	10,73019	3,597105	3,897155
3,998059	3,996166	3,994359	3,992635	3,990988	3,989415	3,987913	3,986478	3,985108	3,983798	4,84415	1,682288	15,71562	3,709149	3,897794
4,957355	4,921565	4,88777	4,855843	4,82567	4,797142	4,770161	4,744634	4,720474	4,697603	5,885476	1,579594	28,40476	4,241376	3,89843
2,025389	2,092946	2,15742	2,218922	2,277562	2,333449	2,38669	2,437387	2,485642	2,531553	3,752889	0,468633	35,13244	3,957798	3,899061
5,710193	5,673737	5,638177	5,603528	5,569797	5,53699	5,505105	5,47414	5,444088	5,41494	6,445512	2,97124	18,12352	6,315166	3,899688
1,666373	1,702959	1,738546	1,773164	1,806841	1,839605	1,871486	1,902509	1,9327	1,962085	3,869136	0,210083	53,07485	2,062988	3,900311
3,890454	3,891232	3,892006	3,892774	3,893538	3,894297	3,895051	3,895801	3,896546	3,897287	3,898024	3,898756	3,899485	3,900209	3,90093

8. Tabel Perhitungan Kondisi Sungai dengan Ruas Melebar

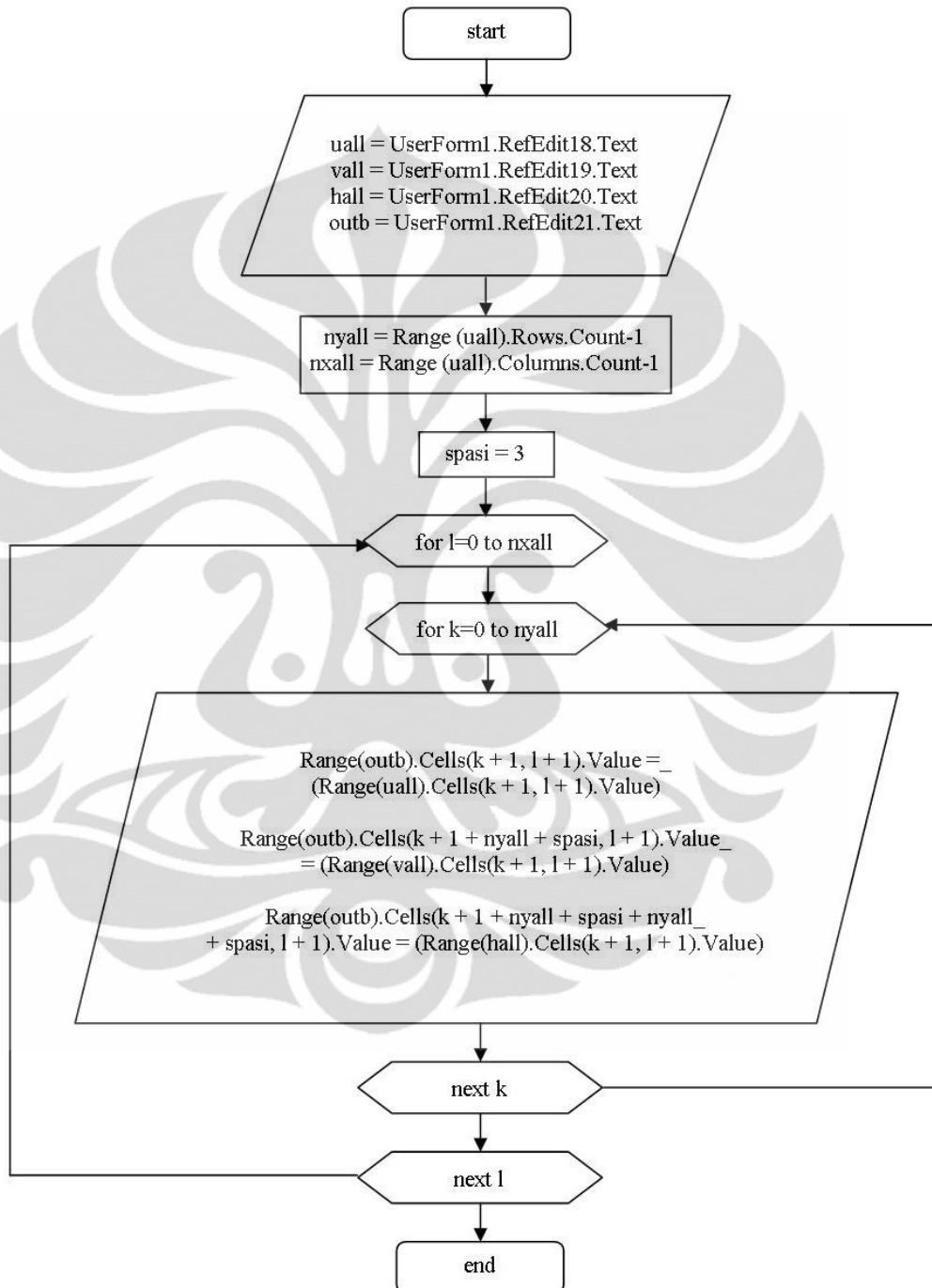
Data Masukan	Simbol	Besaran	Satuan
Massa Jenis	??	1000	kg/m ³
Gravitasi	g	9,81	m/s ²
Viskositas	??	0,000842	N.s/m ²
Kemiringan Dasar Saluran Arah x	Sox	0,0005	m/m
Kemiringan Dasar Saluran Arah y	Soy	0	m/m
Koefisien Manning	n	0,035	
Waktu Penelusuran	dt	0	s
Jarak Penelusuran Arah x	dx	5	m
Jarak Penelusuran Arah y	dy	5	m

(lanjutan)

Kecepatan Arah Y													
Penelusuran pertama	-0,39	-0,374045	-0,361718	-0,349501	-0,337572	-0,32592	-0,314536	-0,30341	-0,292533	-0,281897	-0,271493	-0,261313	
	-0,38	-0,39	-0,374045	-0,361718	-0,349501	-0,337572	-0,32592	-0,314536	-0,30341	-0,292533	-0,281897	-0,271493	-0,261313
	-0,37	-0,38	-0,361734	-0,349713	-0,337796	-0,326156	-0,314784	-0,30367	-0,292805	-0,28218	-0,271789	-0,261917	
	-0,36	-0,37	-0,349517	-0,33778	-0,326141	-0,314769	-0,303655	-0,29279	-0,282166	-0,271775	-0,261607	-0,252367	
	-0,35	-0,36	-0,337588	-0,326125	-0,314754	-0,30364	-0,292776	-0,282152	-0,27176	-0,261593	-0,251643	-0,243013	
	-0,34	-0,35	-0,325937	-0,314738	-0,303625	-0,29276	-0,282137	-0,271745	-0,261579	-0,251629	-0,241889	-0,23385	
	-0,33	-0,34	-0,314553	-0,303609	-0,292745	-0,282121	-0,27173	-0,261564	-0,251614	-0,241875	-0,232339	-0,224872	
	-0,32	-0,33	-0,303427	-0,292729	-0,282106	-0,271715	-0,261548	-0,251599	-0,24186	-0,232324	-0,222985	-0,2146072	
	-0,31	-0,281913	-0,271683	-0,261517	-0,251568	-0,241829	-0,232294	-0,222955	-0,213806	-0,204842	-0,196057	-0,187445	
Kedalaman Air													
Penelusuran pertama	3,868195	3,872285	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,879524	3,880281	
	3,923216	3,868195	3,872285	3,873202	3,87402	3,874831	3,875632	3,876426	3,877212	3,87799	3,878761	3,882224	
	3,919451	3,923216	3,873302	3,874311	3,875221	3,876124	3,877018	3,877904	3,878783	3,879654	3,880518	3,882966	
	3,958083	3,919451	3,874121	3,875121	3,876023	3,876917	3,877803	3,878682	3,879553	3,880417	3,881274	3,883702	
	3,955499	3,958083	3,874931	3,875923	3,876817	3,877703	3,878581	3,879452	3,880316	3,881173	3,882023	3,884431	
	3,98421	3,955499	3,875733	3,876716	3,877602	3,878481	3,879352	3,880216	3,881072	3,881922	3,882765	3,885154	
	3,988169	3,98421	3,876526	3,877502	3,87838	3,879251	3,880115	3,880972	3,881821	3,882664	3,883501	3,885871	
	3,998804	3,988169	3,877312	3,87828	3,879151	3,880015	3,880871	3,881721	3,882564	3,8834	3,88423	3,886582	

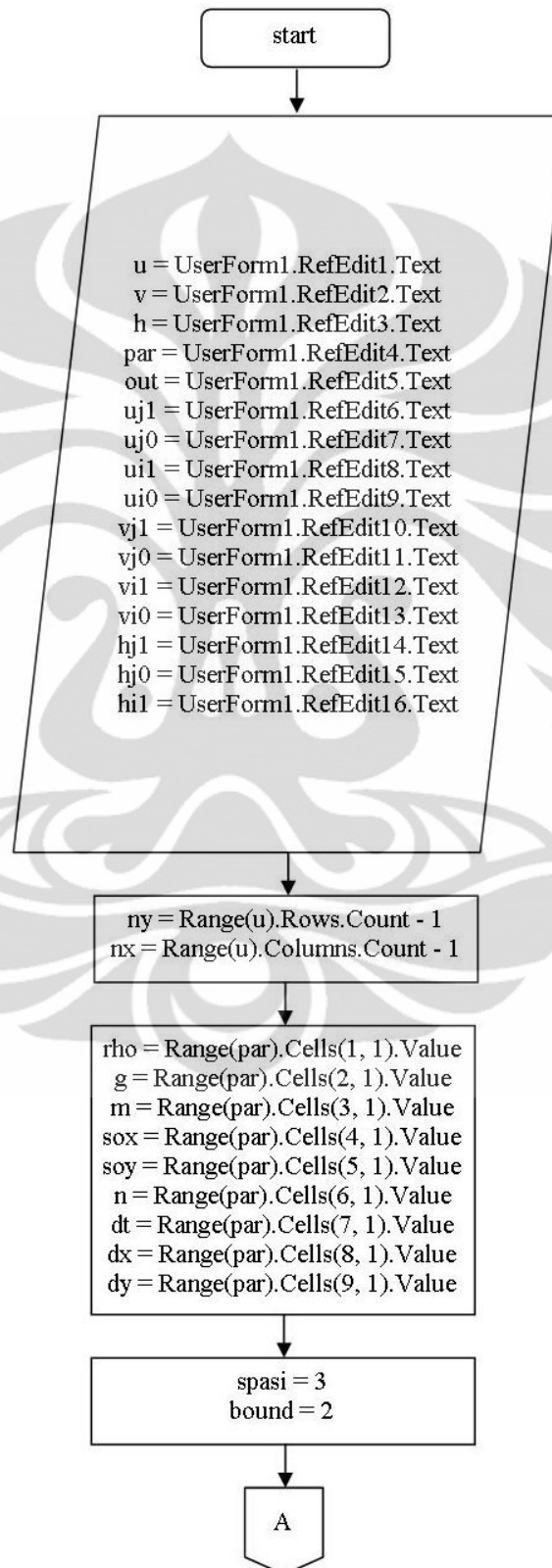
Lampiran 4. Algoritma Program

Algoritma Pemindahan Kondisi Batas

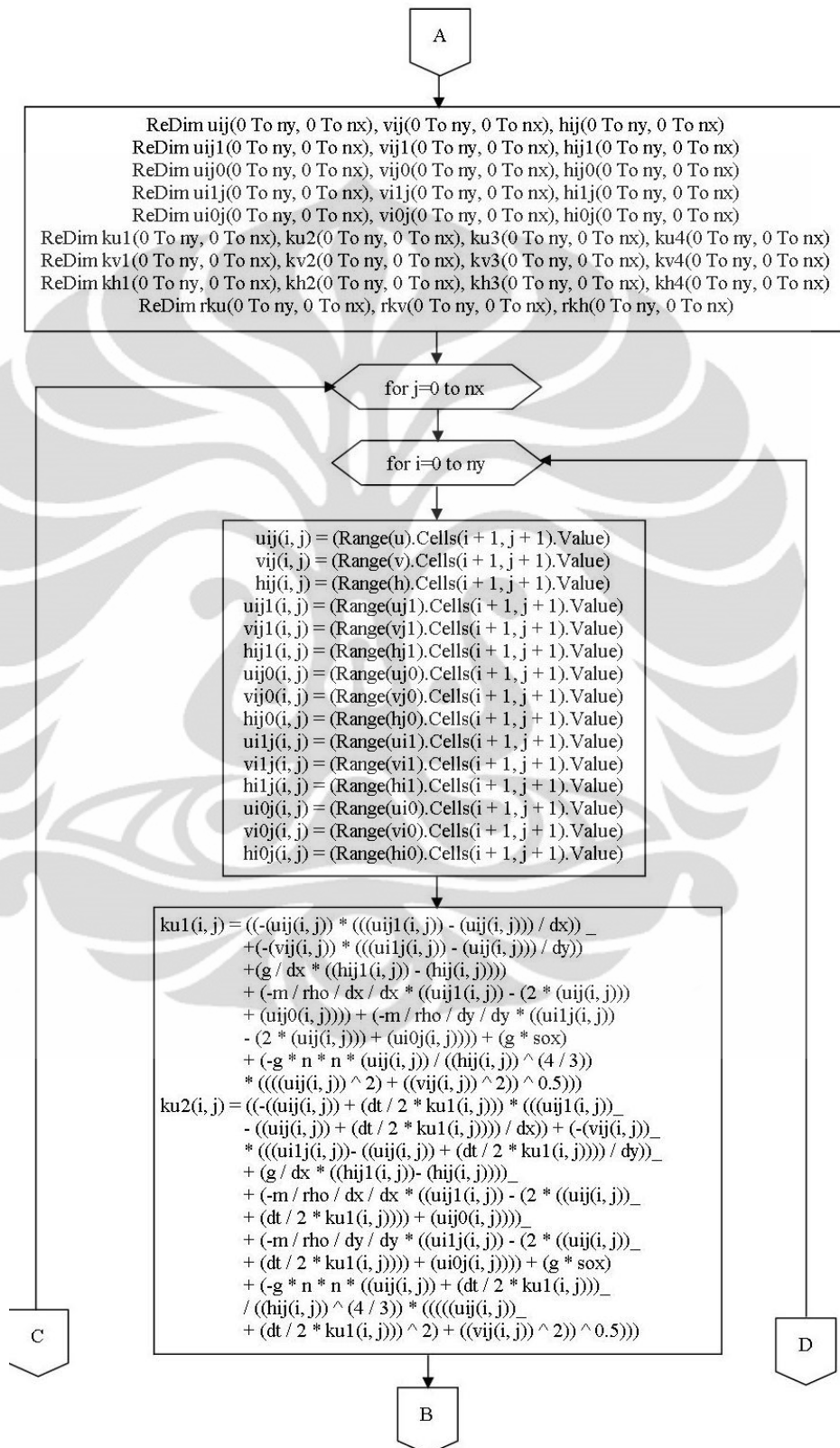


(lanjutan)

Algoritma Perhitungan



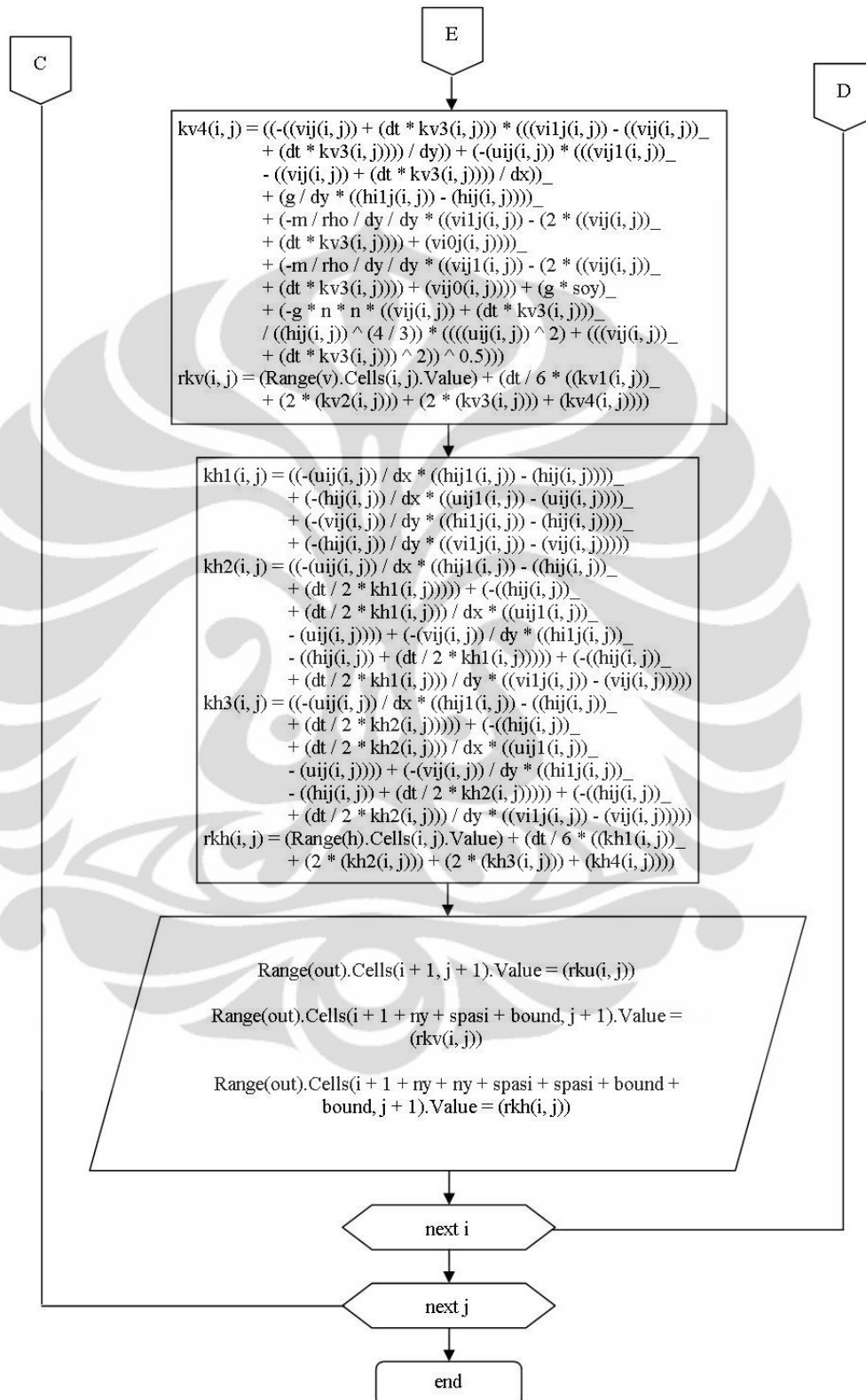
(lanjutan)



(lanjutan)

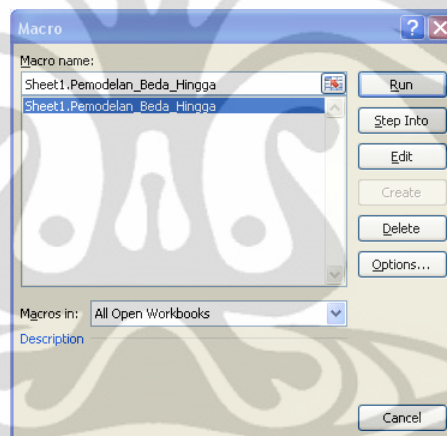


(lanjutan)



Lampiran 5. User Manual

1. Masukkan data ke dalam tabel data masukan (parameter)
2. Buat tiga buah model sungai
3. Masukkan parameter (data) kecuali dt
4. Masukkan nilai-nilai kondisi batas sungai dan kondisi awal sungai. Kondisi batas dan awal sungai dapat diisi sesuai dengan data di lapangan ataupun secara hipotetik. Jika melakukan pengisian secara hipotetik, perlu diperhatikan kesesuaian antara debit, kecepatan, dan kedalaman air berdasarkan teori kekekalan massa dan *rating curve*
5. Jalankan program dengan mengklik *Macros* dalam *Developer Tab*
6. Pilih program '*Sheet1.Pemodelan_Beda_Hingga*'



7. Klik tombol '*Run*'
8. Isi kotak dialog program

9. Jika salah memasukkan data dan ingin mengosongkan kembali kotak dialog tersebut sebelum memulai perhitungan, klik tombol '*Hapus Semua*'
10. Klik tombol '*Pindah Batas*'
11. Klik tombol '*Hitung*'

12. Tutup program dengan mengeklik tombol ‘Keluar’
13. Ulangi perhitungan dengan masukan yang berupa hasil perhitungan sebelumnya
14. Lakukan pengecekan konvergensi secara manual
15. Jika hasil perhitungan sudah konvergen, diperoleh hasil perhitungan *steady*
16. Untuk menghitung kondisi *unsteady*, masukkan parameter dt
17. Jalankan program
18. Isi kotak dialog
19. Jika salah memasukkan data dan ingin mengosongkan kembali kotak dialog tersebut sebelum memulai perhitungan, klik tombol ‘Hapus Semua’
20. Jalankan kembali program dengan mengeklik tombol ‘Pindah Batas’
21. Klik tombol ‘Hitung’
22. Jika belum mencapai waktu penelusuran, jalankan lagi program dengan dt yang sama dan masukkan berupa hasil perhitungan penelusuran waktu sebelumnya.
23. Jika sudah mencapai waktu penelusuran yang diinginkan, klik ‘Keluar’