



UNIVERSITAS INDONESIA

KUANTIFIKASI EFEK PENYEMPITAN SUNGAI AKIBAT
PEMASANGAN ILEGAL DARI PERANCAH
DENGAN MODEL *HEC-RAS*

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

KEISHA ANGGRAINI

0606072383

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
KEKHUSUSAN KEAIRAN
DEPOK
JANUARI 2011**



UNIVERSITY OF INDONESIA

**QUANTIFICATION OF RIVER CHOKING EFFECT DUE TO
ILLEGAL INSTALATION OF SCAFFOLDING
WITH HEC-RAS MODEL**

UNDERGRADUATE THESIS

Proposed as one of the requirement to obtain the Bachelor degree in Engineering

KEISHA ANGGRAINI

0606072383

**FACULTY OF ENGINEERING
CIVIL ENGINEERING STUDY PROGRAM
WATER RESOURCE MANAGEMENT SPECIFICITY
DEPOK
JANUARI 2011**

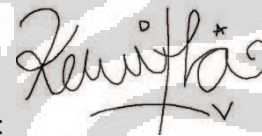
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Keisha Anggraini

NPM : 0606072383

Tanda Tangan :



Tanggal : 7 Januari 2011

STATEMENT OF ORIGINALTY

This undergraduate thesis authorized by my self,
and all sources which referred or quoted
had been write down correctly.

Name : Keisha Anggraini

NPM : 0606072383

Signature :



Date : January 7th 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Keisha Anggraini

NPM : 0606072383

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Simulasi Perubahan Muka Air Akibat Penyempitan
Sungai Oleh Perancah Rumah Dengan Model Hec-Ras

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

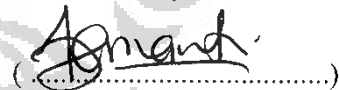
DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Ir. Herr Soeryantono M.Sc., Ph.D.



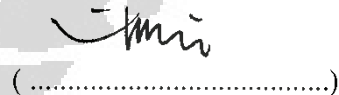
(.....)

Pembimbing II : Dwinanti Rika, ST.MT.



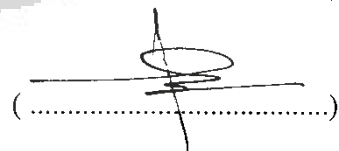
(.....)

Penguji : Ir. Siti Murniningsih MS.



(.....)

Penguji : Toha Saleh, ST, MSc.



(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 7 Januari 2011

PAGE OF ENDORSEMENT

This undergraduate thesis is submitted by

Name : Keisha Anggraini

NPM : 0606072383

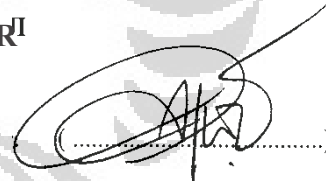
Study Program : Civil Engineering

Judul Skripsi : Simulation Of Water Surface Fluctuation In River
Contraction Caused By House Scaffolding With
Hec-Ras Model

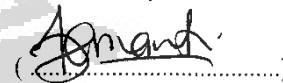
Has been successfully maintained in the face of examiners and accepted as part of the requirement necessary to obtain the Bachelor degree in Engineering, Civil Engineering Program, Faculty of Engineering, University of Indonesia.

BOARD OF EXAMINER¹

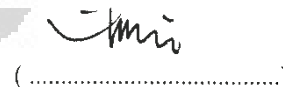
Pembimbing I : Ir. Herr Soeryantono M.Sc., Ph.D.



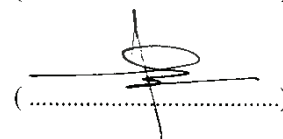
Pembimbing II : Dwinanti Rika, ST.MT.



Penguji : Ir. Siti Murniningsih MS.



Penguji : Toha Saleh, ST, MSc.



Defined in : Depok

Date : January 7th 2011

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. 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 yang tak terhingga kepada:

- (1) Ir. Herr Soeryantono M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing I yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi, dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.
- (2) Dwinanti Rika, ST.MT. selaku dosen pembimbing II yang juga telah memberikan waktunya untuk memberi pengarahan serta mengoreksi kesalahan-kesalahan yang saya perbuat.
- (3) Ibunda tersayang, Hj. Delly Anne, yang menjadi motivasi terbesar atas penyelesaian skripsi ini. Terima kasih atas doa dan dukungan yang tak habis diberikan.
- (4) Ayahanda tersayang, Amral Daniel, yang dalam sakitnya masih selalu antusias mengikuti perkembangan penelitian ini.
- (5) Nenek tercinta Hj. Saharni Hamzah (Alm) yang tak sempat menyaksikan kelulusan saya karena kepergiannya di tengah-tengah pengerjaan skripsi ini.
- (6) Teman-teman terbaik saya, Onen, Putri, Dian, Sharah, Tiarna, Vivi, Wulan, Bertha, Ayi ,atas semangat dan tawa yang selalu berhasil mengusir kejenuhan selama penyusunan skripsi ini.
- (7) Teman-teman Teknik Sipil 2006 atas dukungan yang begitu besar selama ini.
- (8) Semua pihak yang telah banyak membantu menyelesaikan skripsi ini

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlipat ganda atas kemurahan hati yang telah ikhlas membantu penyusunan skripsi ini, semoga bermanfaat dan memperoleh berkah-Nya.

Depok, 7 Januari 2011

Penulis

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

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

Nama : Keisha Anggraini
NPM : 0606072383
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 :

Simulasi Perubahan Muka Air Akibat Penyempitan Sungai Oleh Perancah Rumah Dengan Model *HEC-RAS*.

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). 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 : 7 Januari 2011

Yang menyatakan



(Keisha Anggraini)

ABSTRAK

Nama : Keisha Anggraini
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Simulasi Perubahan Muka Air Akibat Penyempitan Sungai
Oleh Perancah Rumah Dengan Model *Hec-Ras*.

Bantaran sungai yang melewati daerah padat penduduk sering kali dilanggar oleh dengan pembangunan rumah-rumah di atasnya, sehingga keberadaannya mengurangi lebar efektif sungai. Simulasi penyempitan sungai tersebut dilakukan dengan menggunakan suatu model matematis berupa program *HEC-RAS*. Simulasi ini bertujuan untuk mengkuantifikasikan pengaruh penyempitan sungai oleh perancah terhadap persentase kenaikan muka air berdasarkan fluktuasi debit aliran *steady* dan *unsteady*. Konfigurasi penyempitan divariasikan berdasarkan jarak perancah lateral (X) dan longitudinal (Y) saluran, dan lebar bukaan tengah. Dari simulasi ini dapat disimpulkan bahwa semakin rapat jarak antar perancah dan semakin sempit bukaan maka persentase ketinggian muka air semakin besar di sepanjang penyempitan.

Kata kunci:

Simulasi, *HEC-RAS*, penyempitan sungai, perancah, ketinggian muka air.

ABSTRACT

Name : Keisha Anggraini
Study Program : Civil Engineering
Title : Simulation Of Water Surface Fluctuation In River Contraction
Caused By House Scaffolding With Hec-Ras Model

Floodplain that passes through a densely populated area is often being intruded by an illegal built of temporary hut, hence the effective width of the river is reduced. A river choking simulation is run using HEC-RAS. This simulation is to quantify the effect of river choking due to illegal installation of scaffolding towards the percentage of water level fluctuation based on steady and unsteady flow. The contraction configurations are varied on their lateral distance (x), longitudinal distance (y), and center opening. The simulation shows that the closer the distance between the scaffoldings and the narrower the opening, the percentage of water level increases along the contraction area.

Keyword:

Simulation, HEC-RAS, river contraction, scaffolding, water surface increase.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penulisan.....	2
1.3. Ruang Lingkup Pembahasan.....	2
1.4. Sistematika Penulisan	3
2. PENYEMPITAN PADA SALURAN TERBUKA (<i>CHANNEL CONTRACTION</i>).....	5
2.1. Pengaruh Gravitasi Pada Aliran Saluran Terbuka	6
2.2. Persamaan Yang Dipakai Dalam Perhitungan Aliran Terbuka.....	6
2.2.1. Persamaan Kekekalan Massa	6
2.2.2. Persamaan Kekekalan Momentum.....	8
2.3. Penyempitan Saluran Terbuka	9
2.4. Penyempitan Saluran Oleh Perancah	10
2.5. Hidrolika Aliran Yang Digunakan Oleh HEC-RAS.....	11
2.5.1. Kehilangan Tinggi Energi	14
2.5.2. Kapasitas Angkut Penampang.....	15
2.5.3. Tinggi Energi Kinetik Rata-Rata	17
2.5.4. Tinggi Hilang Karena Gesekan.....	18
3. METODE SIMULASI ALIRAN PADA PENYEMPITAN	20
3.1. Pengamatan Lokasi Tinjauan	21
3.2. Observasi Kerja <i>HEC-RAS</i>	22
3.2.1. Simulasi Aliran Oleh <i>HEC-RAS</i>	22
3.2.2. Penyimpanan Data dan Manajemen Data Pada <i>HEC-RAS</i>	23
3.3.3. Perhitungan Hidrolika Sungai Pada <i>HEC-RAS</i>	24
3.3.4. Tampilan <i>Output</i> Perhitungan Pada <i>HEC-RAS</i>	25
3.3. Pengecekan Kemampuan <i>HEC-RAS</i>	25
3.4. Geometri Sungai dan Konfigurasi Perancah	28

4. SIMULASI, HASIL, DAN ANALISA.....	31
4.1. Komponen <i>Input</i> Geometri Sungai	31
4.1.1. Saluran Tanpa Penyempitan.....	33
4.1.2. Saluran Dengan Penyempitan Oleh Perancah.....	36
4.1.3. Saluran Dengan Penyempitan Oleh Blok Perkerasan	41
4.2. Komponen Aliran Sungai.....	43
4.2.1. Komponen Aliran <i>Steady</i>	44
4.2.2. Komponen Aliran <i>Unsteady</i>	45
4.3. Hasil Dan Analisa Simulasi <i>HEC-RAS</i>	47
4.3.1. <i>Output</i> Saluran Tanpa Penyempitan.....	48
4.3.2. <i>Output</i> Simulasi Saluran Berperancah	52
4.3.2. <i>Output</i> Simulasi Saluran Terblok.....	58
4.3.4. Analisa Hubungan Kerapatan Perancah Terhadap Perubahan Kenaikan Muka Air Untuk Aliran <i>Steady</i>	59
4.3.5. Analisa Hubungan Kerapatan Perancah Terhadap Perubahan Kenaikan Muka Air Untuk Aliran <i>Unsteady</i>	63
5. KESIMPULAN DAN SARAN	68
5.1. Kesimpulan	68
5.2. Saran.....	70
DAFTAR PUSTAKA	71
LAMPIRAN 1	
LAMPIRAN 2	
LAMPIRAN 3	

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kombinasi Aliran Saluran Terbuka Satu Dimensi.....	5
Tabel 2. 2 Koefisien Penyempitan Dan Pelebaran Untuk Aliran Subkritis	15
Tabel 2. 3 Koefisien Manning Metode Cowan	16
Tabel 3.1 Konfigurasi Perancah	30
Tabel 4.1. Data Geometri Saluran	32
Tabel 4. 2 Hasil Simulasi Saluran Tanpa Penyempitan Hilir	49
Tabel 4. 3 Hasil Simulasi Saluran Tanpa Penyempitan Bagian Tengah	50
Tabel 4. 1 Hubungan Kerapatan Perancah Dengan Persentase Kenaikan Muka Air <i>Steady</i> Pada Stasiun 2000.....	61
Tabel 4. 2 Hubungan Kerapatan Perancah Dengan Persentase Kenaikan Muka Air <i>Steady</i> Pada Stasiun 1000.....	62
Tabel 4. 3 Hubungan Kerapatan Perancah Dengan Persentase Kenaikan Muka Air <i>Unsteady</i> Pada Stasiun 2000	66
Tabel 4. 4 Hubungan Kerapatan Perancah Dengan Persentase Kenaikan Muka Air <i>Unsteady</i> Pada Stasiun 1000	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.2 Penyempitan Pada Sungai Ciliwung	1
Gambar 2. 1 Saluran Yang Menyempit.....	9
Gambar 2.2 Penyempitan Pada Saluran	10
Gambar 2.3 Perancah Rumah.....	10
Gambar 2.4 Diagram Aliran Berubah Beraturan	14
Gambar 2.5 Pembagian Penampang Kapasitas Angkut.....	16
Gambar 2.6 Hitungan Tinggi Energi Kinetik Rata-Rata Di Suatu Penampang	17
Gambar 3.1 Bagan Alir Metodologi Penelitian	20
Gambar 3.2 Sungai Ciliwung Di Daerah Bukit Duri, Kampung Melayu	21
Gambar 3.3 Jendela Utama <i>HEC-RAS</i>	23
Gambar 3.4 Tampak Atas Sketsa Konfigurasi Perancah Untuk Pengecekan	26
Gambar 3.5 Potongan Melintang Saluran	26
Gambar 3.6 Tampak Samping Saluran	27
Gambar 3.7 Jendela Tampak Memasukan Data Aliran	27
Gambar 3.8 Profil Muka Air Memanjang Saluran	27
Gambar 3.9 Grafik Kecepatan	28
Gambar 3.10 Profil Melintang Saluran	28
Gambar 3.11 Tampak Atas Konfigurasi Perancah.....	29
Gambar 4. 1 Profil Memanjang Saluran Tanpa Penyempitan.....	34
Gambar 4. 2 Profil Melintang Saluran Bagian Hilir	34
Gambar 4. 3 <i>Cross Section Data</i> Saluran Bagian Hilir.....	35
Gambar 4. 4 Profil Melintang Saluran Bagian Tengah.....	35
Gambar 4. 5 <i>Cross Section Data</i> Saluran Bagian Tengah	36
Gambar 4. 6 Tampak Atas Konfigurasi X2,4-Y1	37
Gambar 4. 7 Geometri Data Konfigurasi X2,4-Y1	38
Gambar 4. 8 Pemilihan Opsi <i>Obstruction</i>	39
Gambar 4. 9 <i>Obstructed Areas</i>	39
Gambar 4. 10 Profil Melintang Konfigurasi X2,4-Y1	39
Gambar 4. 11 Interpolasi <i>Cross Section</i>	40
Gambar 4. 12 Profil Memanjang Konfigurasi X2,4-Y1	40
Gambar 4. 13 Tampak Atas Konfigurasi X0(5).....	41
Gambar 4. 14 Geometri Data Konfigurasi X0(5).....	42
Gambar 4. 15 <i>Obstructed Areas</i> Blok Perkerasan	42
Gambar 4. 16 Profil Melintang Konfigurasi X0(5).....	42
Gambar 4. 17 Data Aliran <i>Steady</i>	43
Gambar 4. 18 Kondisi Batas Hilir.....	44
Gambar 4. 19 Data Aliran <i>Unsteady</i>	45
Gambar 4. 20 <i>Input Hydrograph</i>	46
Gambar 4. 21 Plot Hidrograf Ideal.....	46

Gambar 4. 22 Hidrograf Kotak	47
Gambar 4. 23 <i>Output</i> Hidrograf Kotak Pada Stasiun 1000.....	48
Gambar 4. 24 Profil Muka Air Saluran Bagian Hilir	49
Gambar 4. 25 Grafik Perubahan Kedalaman Saluran Bagian Hilir	49
Gambar 4. 26 Profil Muka Air Saluran Bagian Tengah.....	50
Gambar 4. 27 Grafik Kedalaman Air Saluran Bagian Tengah	50
Gambar 4. 28 Grafik <i>Stage Hydrograph</i> Saluran Hilir	51
Gambar 4. 29 Grafik <i>Stage Hydrograph</i> Saluran Tengah.....	52
Gambar 4. 30 Profil Muka Air <i>Steady</i> Konfigurasi 2,9-Y1	53
Gambar 4. 31 Profil Muka Air <i>Steady</i> Konfigurasi 1,4-Y1	53
Gambar 4. 32 Profil Muka Air <i>Steady</i> Konfigurasi 0,5-Y1	53
Gambar 4. 33 Grafik Kedalaman Aliran <i>Steady</i> Konfigurasi X2,9-Y1	54
Gambar 4. 34 Grafik Kedalaman Aliran <i>Steady</i> Konfigurasi X1,4-Y1	54
Gambar 4. 35 Grafik Kedalaman Aliran <i>Steady</i> Konfigurasi X0,5-Y1	55
Gambar 4. 36 Profil Muka Air <i>Unsteady</i> Konfigurasi 2,9-Y1.....	55
Gambar 4. 37 Profil Muka Air <i>Unsteady</i> Konfigurasi 1,4-Y1.....	56
Gambar 4. 38 Profil Muka Air <i>Unsteady</i> Konfigurasi 0,5-Y1.....	56
Gambar 4. 39 Grafik <i>Stage Hydrograph</i> Konfigurasi X2,9-Y1.....	56
Gambar 4. 40 Grafik <i>Stage Hydrograph</i> Konfigurasi X1,4-Y1.....	57
Gambar 4. 41 Grafik <i>Stage Hydrograph</i> Konfigurasi X0,5-Y1.....	57
Gambar 4. 42 Profil Muka Air <i>Steady</i> Konfigurasi X0(5).....	58
Gambar 4. 43 Grafik Kedalaman Aliran <i>Steady</i> Konfigurasi X0(5).....	58
Gambar 4. 44 Profil Muka Air <i>Unsteady</i> Konfigurasi X0(5)	58
Gambar 4. 45 Grafik Kedalaman Aliran <i>Steady</i> Konfigurasi X0(7).....	59

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Melihat betapa pentingnya peran sebuah sungai terhadap kehidupan manusia dengan berbagai fungsinya, maka kondisi ideal sungai sebisa mungkin harus dipertahankan. Sebagai contoh sebuah sungai harus memiliki dataran banjir yang bebas dari bangunan sehingga sungai mampu menampung debit maksimum saat curah hujan maksimum.

Geometri dan aliran sungai yang seharusnya dinamis terhadap alam kini dipaksa untuk mengikuti keinginan manusia. Rumah-rumah tanpa izin dibangun di areal garis sempadan sungai yang seharusnya bebas dari bangunan. Posisi rumah yang berada melebihi batas sebelah dalam tanggul sungai tentu saja mengurangi lebar efektif sungai. Keberadaan rumah-rumah tersebut kini lepas dari pengontrolan pihak pemerintah, khususnya Dinas Tata Kota setempat.



Gambar 1.1 Penyempitan pada Sungai Ciliwung

Tiang-tiang bambu penyangga rumah tersebut atau disebut perancah yang berderet pada suatu segmen sungai dengan panjang tertentu menghambat aliran air. Kondisi seperti ini disebut penyempitan lateral dan dampak dari penyempitan yang terjadi dengan jarak pendek ini yaitu yang disebut dengan *choking condition* atau kondisi tersedak. Pada *choking condition* aliran air yang melewati

penyempitan dapat berupa aliran subkritis dan superkritis. Di ambang penyempitan akan terjadi pembendungan akibat adanya energi yang tertahan. Jika aliran subkritis yang mengalir maka efek dari pembendungan yang terjadi akan jauh ke hulu atau disebut dengan *backwater*. Namun, jika aliran superkritis yang terjadi maka pembendungan tidak memberikan dampak kenaikan muka air yang jauh ke hulu. Sedangkan pada bagian hilir setelah air melewati bagian yang menyempit akan terjadi pelepasan energi tiba-tiba. Hal ini dapat menimbulkan penggerusan dasar sungai.

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penyempitan yang terjadi pada sungai terhadap perubahan karakteristik sungai itu sendiri serta seberapa jauh penyempitan tersebut dapat ditoleransi maka dilakukanlah sebuah proses perhitungan pada model matematis untuk mengkuantifikasikan dampak dari penyempitan akibat perancah tersebut.

1.2 Tujuan

Berangkat dari latar belakang yang telah dijabarkan sebelumnya maka tujuan dari penulisan skripsi ini yaitu mengkuantifikasikan pengaruh penyempitan sungai oleh perancah rumah terhadap persentase kenaikan muka air berdasarkan fluktuasi debit aliran *steady* dan *unsteady*. Diharapkan hasil perhitungan dari percobaan ini dapat dijadikan bahan rujukan bagi pemerintah, khususnya Dinas Tata Kota, untuk memonitor dan mengendalikan keberadaan rumah-rumah berperancah di pinggir sungai.

1.3 Ruang Lingkup Pembahasan

Untuk menghindari pelebaran topik yang tidak sesuai dengan tujuan utama yang ingin dicapai, maka perlu dilakukan pembatasan ruang lingkup sesuai dengan tujuan utama penulisan ini, yaitu:

- Data-data yang dipakai pada percobaan merupakan data hipotetik, tanpa melalui hasil pengujian lapangan dan laboratorium, yang disesuaikan

dengan kemungkinan yang terjadi pada kondisi nyata yaitu mengacu kepada kondisi penyempitan di Sungai Ciliwung bagian hilir,

- Segmen sungai yang akan dimodelkan berada pada alur sungai yang lurus dan tidak terdapat percabangan,
- Perubahan geometri sungai hanya terjadi akibat penambahan perancah pada tampang,
- Pemodelan dalam satu dimensi,
- Aliran air pada saluran merupakan aliran *steady* dan aliran *unsteady*,
- Tipe aliran adalah subkritis sesuai dengan karakteristik aliran Sungai Ciliwung Hilir yang tenang,
- Penyempitan merupakan penyempitan lateral dengan penyebab penyempitan berupa perancah bambu.

1.4 Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan pada skripsi ini akan terdiri dari 6 bab, yaitu Pendahuluan, Penyempitan Pada Saluran Terbuka, Metode Simulasi Aliran Pada Penyempitan, Percobaan Simulasi Aliran dan Analisa Output Pada HEC-RAS, dan Kesimpulan.

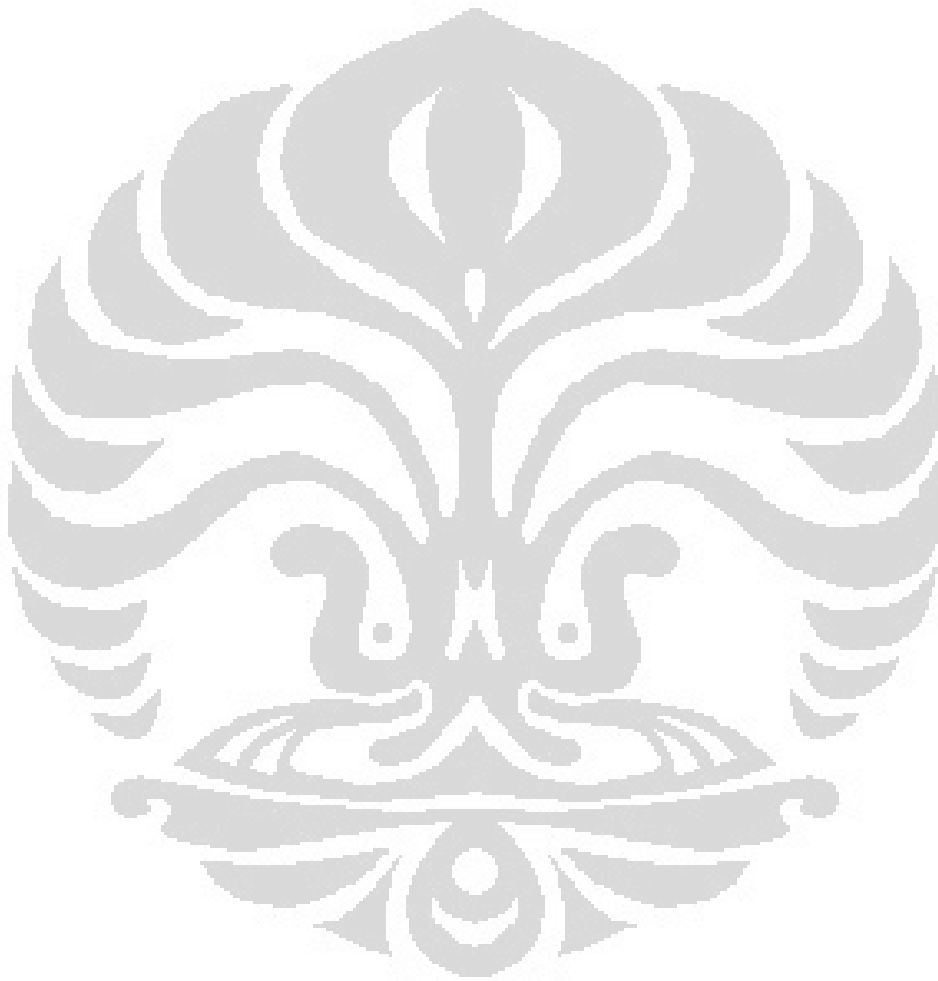
Pada BAB I, Pendahuluan, akan memaparkan latar belakang, tujuan penulisan, ruang lingkup pembahasan, serta sistematika penulisan.

Pada BAB II, Penyempitan Pada Saluran Terbuka, berisi tentang prinsip matematis yang digunakan pada aliran di saluran terbuka serta pada penyempitan. Selanjutnya persamaan inilah yang digunakan HEC-RAS untuk mensimulasikan aliran akibat penyempitan.

Pada BAB III, Metode Simulasi Aliran Pada Penyempitan, menjelaskan tentang bagan alir penelitian yang akan dilakukan serta konfigurasi perancah yang akan dibuat dan kemudian disimulasikan pada BAB IV.

Pada BAB IV, Percobaan Simulasi Aliran dan Analisa Output Pada HEC-RAS, simulasi aliran untuk tiap-tiap konfigurasi akan dilaksanakan kemudian hasilnya dianalisa berdasarkan pembendungan yang terjadi.

Pada BAB V, Kesimpulan, berisi kesimpulan yang didapat dari hasil penulisan skripsi ini meliputi proses yang berlangsung, hasil yang didapat, analisa, serta rekomendasi.



BAB II

PENYEMPITAN PADA SALURAN TERBUKA (*CHANNEL CONTRACTION*)

Aliran pada saluran terbuka diklasifikasikan berdasarkan kombinasi antara tipe aliran dan geometri saluran, yaitu *steady* atau *unsteady*, dan *uniform* atau *nonuniform*. Aliran *steady* menunjukkan bahwa kecepatan serta kedalaman air independen terhadap waktu, sedangkan *uniform* menunjukkan keduanya independen terhadap jarak searah aliran. Aliran *unsteady* menunjukkan bahwa kecepatan dan kedalaman air berubah berdasarkan perubahan waktu, sedangkan *nonuniform* menunjukkan keduanya berubah terhadap jarak. Kombinasi tersebut terangkum dalam Tabel 2.1; jarak yang dimaksud dimisalkan searah sumbu x .

Tabel 2. 1 Kombinasi Aliran Saluran Terbuka Satu Dimensi

Tipe 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>	$V = V(x,t)$	$y = y(x,t)$

Sumber: *Mechanics of Fluids*, Potter dan Wiggert, 1997

Dari beberapa kombinasi tersebut, yang akan dibahas lebih jauh pada penelitian ini adalah aliran *steady nonuniform* dan *unsteady nonuniform*. Aliran *steady nonuniform* sering terjadi pada sungai atau saluran buatan dimana terdapat dua jenis aliran, yaitu *rapidly varied flow* dan *gradually varied flow*. *Rapidly varied flow* merupakan aliran pada saluran terbuka yang berubah secara tiba-tiba. Sedangkan *gradually varied flow* adalah aliran yang berubah perlahan. Aliran *unsteady nonuniform* sering terjadi pada saluran alam seperti gelombang banjir pada sungai.

2.1. Pengaruh Gravitasi Pada Aliran Saluran Terbuka

Gaya gravitasi besar pengaruhnya terhadap aliran saluran terbuka. Sebagai contoh, perbedaan tinggi dari dua buah *reservoir* akan membuat air mengalir pada saluran yang menghubungkan keduanya. Parameter yang mewakili dari efek gravitasi ini adalah bilangan Froude,

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (2.1)$$

Dimana V adalah kecepatan aliran, g adalah gaya gravitasi, dan L adalah panjang saluran.

Dengan mengetahui besar dari bilangan Froude, kita dapat menentukan jenis aliran yang mengalir pada saluran terbuka. Jika $Fr < 1$, aliran disebut subkritis dimana kecepatan aliran cenderung rendah dan kedalaman air tinggi. Jika $Fr > 1$, aliran disebut superkritis dimana kecepatan cenderung tinggi dan kedalaman rendah. Sedangkan jika $Fr = 1$, aliran yang terjadi adalah aliran kritis.

2.2. Persamaan Yang Dipakai Dalam Perhitungan Aliran Terbuka

Persamaan umum yang dipakai pada perhitungan aliran saluran terbuka adalah persamaan kekekalan massa, kekekalan momentum, serta kekekalan energi. Ketiga persamaan ini berasal dari satu persamaan yang sama, yang kemudian diturunkan untuk mendapatkan persamaan akhir yang lebih spesifik. Disini akan dijabarkan persamaan differensial dari 2 persamaan yang paling penting yaitu massa dan momentum. Persamaan energi sendiri dapat diwakili oleh persamaan momentum yang diturunkan menjadi persamaan Bernoulli.

2.2.1. Persamaan Kekekalan Massa

Persamaan pertama yang akan dibahas adalah persamaan kekekalan massa atau disebut juga persamaan kontinuitas. Penjabaran rumus kekekalan massa berikut berdasarkan diktat mata kuliah mekanika fluida oleh Ir. Herr Soeryantono M.Sc., Ph.D, tahun 2008. Pada persamaan kekekalan massa ini disebutkan bahwa jumlah dari perubahan massa pada *control volume* (c.v) terhadap waktu dan perubahan

massa yang keluar masuk dinding $c.v.$ sama dengan nol, yang jika diformulasikan akan menjadi

$$\text{---} \quad (2.2)$$

Control volume berbentuk balok dengan sisi dx , dy , dan dz dipilih untuk memudahkan analisa sehingga persamaan 2.2 akan menjadi

$$\text{---} \quad (2.3)$$

Dengan menggunakan aturan rantai (*chain rule*), maka suku pertama pada persamaan 2.3 akan menjadi

$$\text{---} \quad (2.4)$$

Jika pada arah sumbu x kecepatan adalah V_x , dimana V_x masuk ke dalam $c.v$ secara tegak lurus menembus dinding salah satu c maka . Dengan begitu, total massa yang masuk melalui bidang ini adalah sebesar , dan ketika keluar melalui dinding satunya besarnya massa ini berubah menjadi

$$\text{---} \quad (2.5)$$

sehingga jumlah total massa yang keluar masuk dinding menjadi

$$\text{---} \quad (2.6)$$

Diasumsikan bahwa nilai A_x tidak berubah searah sumbu x , namun besarnya tetap maka

$$\text{---} \quad (2.7)$$

Dengan cara penurunan yang sama kemudian akan di dapat persamaan jumlah massa menembus dinding searah sumbu y dan z yaitu

$$\text{---} \quad ,$$

$$\dots \dots \dots (2.8)$$

Jika persamaan 2.4 dan 2.8 disubstitusikan ke dalam persamaan 2.2 maka persamaan kekekalan massa akan menjadi

$$\dots \dots \dots (2.9)$$

2.2.2. Persamaan Kekekalan Momentum

Konservasi momentum untuk sebuah *control volume* menyatakan bahwa besar momentum yang memasuki c.v (flux momentum) ditambah dengan jumlah dari semua gaya luar yang bekerja pada c.v sama dengan nilai akumulasi semua momentum. Persamaan umum momentum di dalam suatu *control volume* adalah

$$\dots \dots \dots (2.10)$$

Disini akan dijabarkan penurunan untuk arah sumbu x.

atau

$$\dots \dots \dots (2.11)$$

Gaya luar yang bekerja pada permukaan *control volume* terdiri dari tegangan normal dan tegangan geser. tegangan dilambangkan oleh τ_{ij} dimana $i=x, y, z$ dan $j=x, y, z$. Untuk tegangan normal $i=j$, sedangkan untuk tegangan geser bila $i \neq j$. Dengan demikian, pada arah x, akan berlaku:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho Q^2}{g A^3} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho Q^2}{g A^3} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho Q^2}{g A^3} \right) \\ & \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho Q^2}{g A^3} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho Q^2}{g A^3} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho Q^2}{g A^3} \right) \end{aligned} \quad (2.12)$$

Dengan memasukkan persamaan 2.12 ke dalam persamaan 2.11 maka persamaan momentum akan menjadi

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho Q^2}{g A^3} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho Q^2}{g A^3} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho Q^2}{g A^3} \right) \\ \text{atau} & \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho Q^2}{g A^3} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho Q^2}{g A^3} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho Q^2}{g A^3} \right) \end{aligned} \quad (2.13a)$$

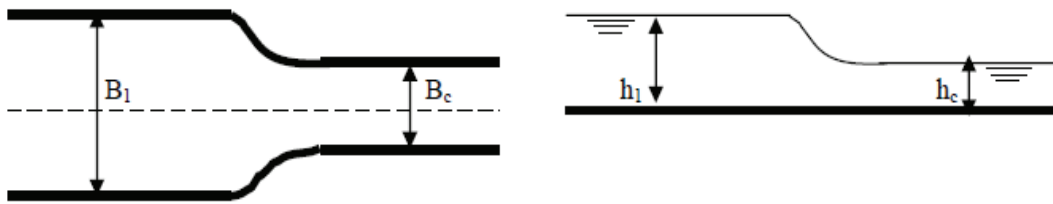
Persamaan untuk sumbu y dan z dapat dilakukan dengan langkah yang sama, sehingga didapat persamaan

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho Q^2}{g A^3} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho Q^2}{g A^3} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho Q^2}{g A^3} \right) \quad (2.13b)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho Q^2}{g A^3} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho Q^2}{g A^3} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\rho Q^2}{g A^3} \right) \quad (2.13c)$$

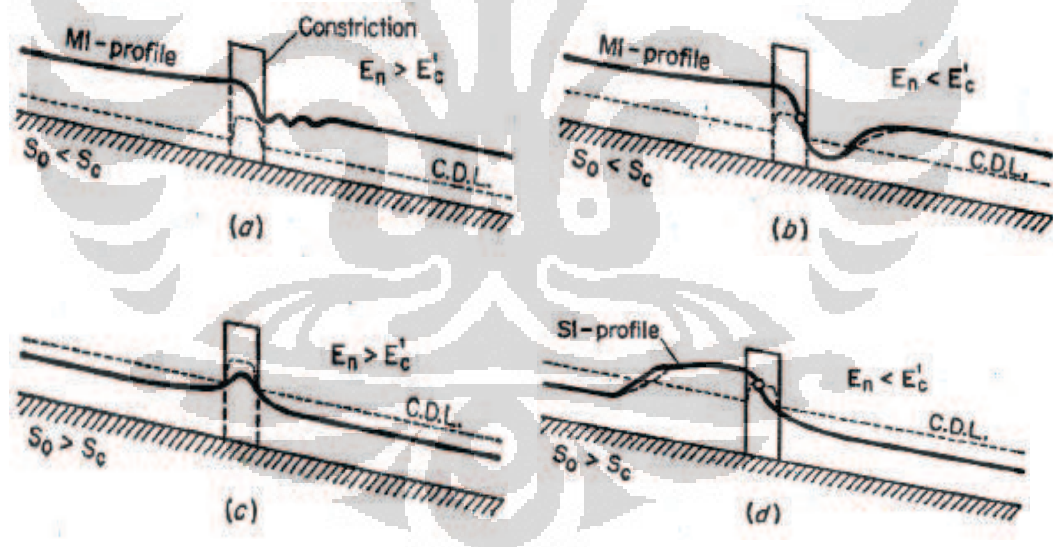
2.3. Penyempitan Saluran Terbuka

Menurut Ven Te Chow dalam bukunya *Open Channel Hydraulics*, penyempitan sungai pada saluran terbuka merupakan suatu pengurangan atau reduksi dari luas penampang melintang suatu sungai secara tiba-tiba. Dampak dari penyempitan terhadap aliran bergantung pada kondisi batas, debit aliran, dan tipe aliran.



Gambar 2. 1 Saluran Yang Menyempit

Apabila lebar B berkurang q akan mendekati q_c , atau akan menjadi kritis pada lebar yang sama dengan B_c . Ketika suatu aliran pada sungai merupakan aliran subkritis, penyempitan akan mengakibatkan adanya *backwater* yang terjadi jauh ke arah hulu saluran (Gambar 2.2a dan 2.2b). Ketika aliran superkritis yang mengalir, penyempitan hanya akan memberi gangguan kepada bagian aliran pada penyempitan dan tidak akan timbul *backwater* ke hulu (Gambar 2.2c). Jika muka air pada bagian hulu penyempitan terbencong hingga ketinggian yang melebihi tinggi kritis, maka profil aliran S1 akan terjadi sedikit ke arah hulu diakhiri dengan terjadinya *hydraulic jump* (Gambar 2.2d).



Gambar 2.2 Penyempitan Pada Saluran Aliran Seragam (A,B) Aliran Subkritis; (C,D) Aliran Superkritis. (Sumber: Buku *Open Channel Hydraulics* oleh Ven Te chow)

2.4. Penyempitan Saluran Oleh Perancah

Telah dijelaskan bahwa penyempitan yang akan dibahas adalah penyempitan sungai akibat dari keberadaan perancah rumah-rumah yang ada di pinggir saluran.

Perancah sendiri merupakan tonggak-tonggak penyangga rumah tidak permanen di bantaran sungai (gambar 2.3). Perancah tersebut terbuat dari bambu dengan diameter kurang lebih 10cm dan keberadaannya menyebabkan ada lebih dari satu bukaan pada hulu penyempitan. Dengan banyaknya perancah luas penampang saluran (A) berkurang, namun keliling basah bertambah. Hal ini kemudian akan mempengaruhi jari-jari hidrolis (R). Dari rumus manning berikut dapat terlihat bahwa kecepatan pada penyempitan akan berkurang

$$v = \frac{1.49 R^{2/3} S^{1/2}}{n} \quad (2.14)$$

Lebar sungai yang tiba-tiba menyempit membuat adanya energi yang tertahan pada hulu penyempitan sehingga terjadi pembendungan. Efek pembendungan ini yang kemudian akan dikuantifikasikan dengan cara membuat presentase tinggi pembendungan dengan tinggi muka air normal dengan beberapa variasi debit.



Gambar 2.3 Perancah Rumah

Prinsip perhitungan hidraulika dari perancah ini sama dengan penyempitan akibat dari *pier bridge* dimana menggunakan persamaan *Saint Venant* yang akan dijelaskan kemudian. Sedangkan untuk mempermudah mensimulasikan sebuah penyempitan sungai akibat perancah, penulis memilih untuk menggunakan sebuah program simulator aliran sungai yang sudah dikenal luas penggunaannya dalam hidraulika sungai yaitu HEC-RAS.

Hydrologic Engineering Center - River Analysis System (HEC-RAS) adalah program komputer untuk memodelkan serta menganalisa aliran sungai, yang dibuat oleh Hydrologic Engineering Center (HEC), salah satu divisi di dalam Institute for Water Resources (IWR), di bawah US Army Corps of Engineers (USACE). HEC-RAS merupakan model satu dimensi aliran *steady* and *unsteady*. HEC-RAS versi terbaru saat ini, Versi 4.0, beredar sejak Maret 2008. HEC-RAS 4.0 memiliki empat komponen model satu dimensi: 1) hitungan profil muka air aliran *steady*, 2) simulasi aliran *unsteady*, 3) hitungan transpor sedimen, dan 4) hitungan kualitas air. Satu elemen penting dalam HEC-RAS adalah keempat komponen tersebut memakai data geometri yang sama, rutin hitungan hidraulika yang sama, serta beberapa fitur desain hidraulik yang dapat diakses setelah hitungan profil muka air berhasil dilakukan. HEC-RAS merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan fitur graphical user interface, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik, serta pelaporan.

2.5. Hidrolika Aliran Yang Digunakan Oleh HEC-RAS

Pada prinsipnya perhitungan hidraulika aliran bertujuan untuk mencari kedalaman dan kecepatan aliran sepanjang alur yang timbul akibat adanya debit yang masuk ke saluran dan kedalaman aliran di batas hilir. Persamaan yang digunakan bersumber kepada persamaan kekekalan massa dan momentum. Hitungan hidraulika aliran di dalam HEC-RAS dilakukan dengan membagi aliran kedalam dua kategori, yaitu *steady* dan *unsteady*. HEC-RAS menggunakan metode hitungan yang berbeda untuk masing-masing kategori aliran tersebut.

Untuk aliran *steady*, HEC-RAS memakai persamaan energi kecuali di tempat-tempat yang kedalaman alirannya melewati kedalaman kritis. Perhitungan dilakukan dengan iterasi langkah per langkah secara berurutan. Persamaan energi sendiri merupakan penurunan persamaan momentum dengan asumsi-asumsi sebagai berikut:

- a. aliran *steady*
- b. laju kehilangan energy Δh sepanjang ∂x didefinisikan sebagai

- c. tinjauan satu dimensi pada sistem yang mempunyai kemiringan terhadap sumbu horizontal sebesar θ .

Solusinya sendiri adalah sebagai berikut:

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{Q^2}{gA} + \frac{1}{2} y^2 \right) + \frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dx} + y \frac{dQ}{dx} = 0 \tag{2.15}$$

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{Q^2}{gA} + \frac{1}{2} y^2 \right) + \frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dx} + y \frac{dQ}{dx} = 0 \tag{2.16}$$

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{Q^2}{gA} + \frac{1}{2} y^2 \right) + \frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dx} + y \frac{dQ}{dx} = 0 \tag{2.17}$$

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{Q^2}{gA} + \frac{1}{2} y^2 \right) + \frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dx} + y \frac{dQ}{dx} = 0 \tag{2.18}$$

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{Q^2}{gA} + \frac{1}{2} y^2 \right) + \frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dx} + y \frac{dQ}{dx} = 0 \tag{2.19}$$

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{Q^2}{gA} + \frac{1}{2} y^2 \right) + \frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dx} + y \frac{dQ}{dx} = 0 \tag{2.20}$$

sehingga

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{Q^2}{gA} + \frac{1}{2} y^2 \right) + \frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dx} + y \frac{dQ}{dx} = 0 \tag{2.21}$$

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{Q^2}{gA} + \frac{1}{2} y^2 \right) + \frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dx} + y \frac{dQ}{dx} = 0 \tag{2.22}$$

Sedangkan persamaan (kekekalan) momentum digunakan oleh HEC-RAS di tempat terjadi *hydraulic jump*, pertemuan alur, dan aliran dangkal melalui jembatan. Di tempat terjadi terjunan, aliran melalui peluap, dan aliran melalui bendung, HEC-RAS memakai persamaan-persamaan empiris. Untuk aliran *unsteady*, HEC-RAS memakai persamaan kekekalan massa (*continuity*,

conservation of mass) dan persamaan momentum. Perhitungan dilakukan secara simultan untuk setiap titik pada saluran.

Di dalam referensi manual HEC-RAS tertulis bahwa bentuk persamaan energi yang kemudian digunakan oleh HEC-RAS adalah seperti berikut:

$$(2.23)$$

Arti variabel-variabel dalam persamaan di atas adalah:

y_1, y_2 = kedalaman aliran,

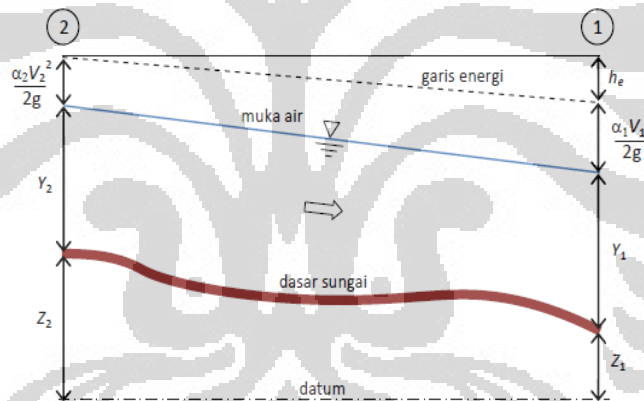
z_1, z_2 = elevasi dasar saluran,

V_1, V_2 = kecepatan rata-rata (debit dibagi luas penampang basah),

α_1, α_2 = koefisien,

g = percepatan gravitasi,

h_e = kehilangan tinggi energi.



Gambar 2.4 Diagram Aliran Berubah Beraturan

Gambar 2.4 mengilustrasikan profil aliran yang menunjukkan komponen aliran sesuai dengan suku-suku pada persamaan energi. Dari diagram aliran pada Gambar 2.4, tampak bahwa kedalaman aliran diukur ke arah vertikal. Hal ini membawa konsekuensi bahwa hitungan profil muka air dengan HEC-RAS hanya cocok untuk kasus alur sungai yang memiliki kemiringan dasar kecil.

2.5.1. Kehilangan Tinggi Energi

Terdapat dua komponen kehilangan (tinggi) energi, h_e , di antara dua penampang lintang, yaitu kehilangan energi karena gesekan (*friction losses*) dan kehilangan

energi karena perubahan penampang (*contraction or expansion losses*). Kehilangan energi antara penampang 2 dan 1 dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{---} \quad \text{---} \quad (2.24)$$

Dalam persamaan di atas,

L = panjang penggal sungai antar kedua penampang yang diberi bobot menurut debit,

S_f = *representative friction slope* antar kedua penampang,

C = koefisien kehilangan energi akibat perubahan penampang (kontraksi atau ekspansi) dan besarnya sendiri dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Koefisien Penyempitan Dan Pelebaran Untuk Aliran Subkritis

	Contraction	Expansion
<i>No transition loss computed</i>	0.0	0.0
<i>Gradual transitions</i>	0.1	0.3
<i>Typical bridge section</i>	0.3	0.5
<i>Abrupt transitions</i>	0.6	0.8

Sumber: Panduan Manual *HEC-RAS*

Panjang penggal sungai antar dua penampang yang diberi bobot sesuai dengan debit, L , dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{---} \quad (2.25)$$

Dalam persamaan di atas,

L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} = panjang penggal sungai di sisi kiri (left overbank), alur utama (main channel), dan sisi kanan (right overbank),

Q_{lob} , Q_{ch} , Q_{rob} = debit yang mengalir melalui left overbank, main channel, dan right overbank.

2.5.2. Kapasitas Angkut Penampang

Kapasitas angkut dan kecepatan rata-rata di suatu penampang dihitung dengan membagi penampang menjadi beberapa bagian; di setiap bagian, kecepatan terbagi merata. Bagian-bagaian tersebut dikelompokkan menjadi tiga alur yaitu alur kiri (left overbank), alur utama (main channel), dan alur kanan (right

overbank). Alur kiri ataupun kanan dapat terdiri dari beberapa bagian, sedangkan alur utama umumnya terdiri dari satu bagian penampang. Satu nilai koefisien Manning n ditetapkan di setiap bagian penampang tersebut. Di setiap bagian penampang, kapasitas angkut dihitung dengan memakai persamaan Manning berikut:

$$- \quad (2.26)$$

$$- \quad (2.27)$$

Dalam persamaan tersebut,

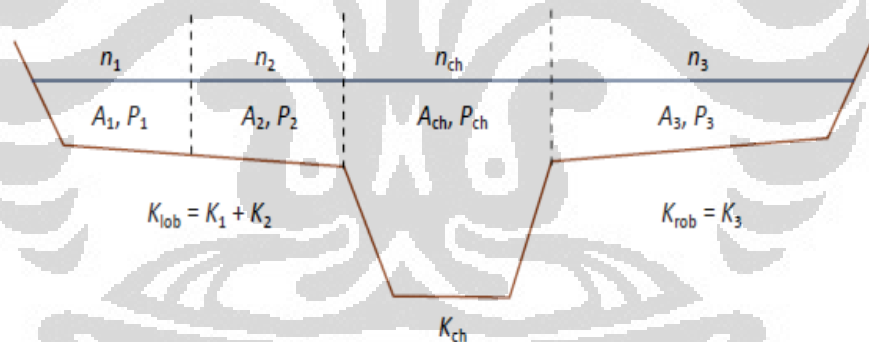
K = kapasitas angkut tiap bagian penampang,

n = koefisien kekasaran Manning tiap bagian penampang,

A = luas penampang basah tiap bagian penampang,

R = radius hidraulik tiap bagian penampang.

Kapasitas angkut total suatu penampang adalah jumlah kapasitas angkut seluruh bagian penampang (lihat Gambar 33).



Gambar 2.5 Pembagian Penampang Kapasitas Angkut

Koefisien Manning (n) yang dimasukkan didapat dengan menggunakan Metode Cowan (1956). Berikut merupakan rumus dari Metode Cowan dari buku *Open Channel Hydraulic* oleh Ven Te Chow:

$$, \quad (2.28)$$

dimana:

n_b = nilai dasar n untuk saluran lurus rata dengan material alami,

n_1 = nilai keseragaman bentuk dasar,

n_2 = nilai untuk variasi bentuk penampang,

n_3 = nilai untuk *obstruction*,

n_4 = nilai untuk vegetasi dan kondisi aliran,

m_5 = faktor koreksi meander saluran.

Nilai untuk masing-masing variabel pada rumus Cowan didapat dari tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Koefisien Manning Metode Cowan

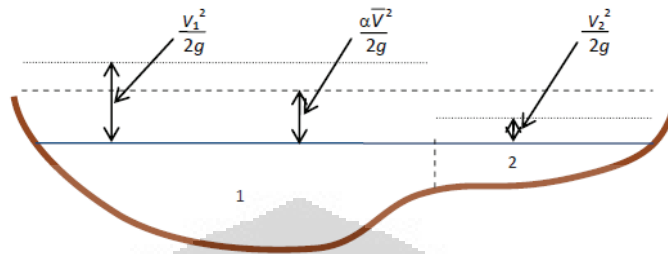
Channel conditions		Values	
<i>Material involved</i>	<i>Earth</i>	n_0	0.020
	<i>Rock cut</i>		0.025
	<i>Fine gravel</i>		0.024
	<i>Coarse gravel</i>		0.028
<i>Degree of irregularity</i>	<i>Smooth</i>	n_1	0.000
	<i>Minor</i>		0.005
	<i>Moderate</i>		0.010
	<i>Severe</i>		0.020
<i>Variations of channel cross section</i>	<i>Gradual</i>	n_2	0.000
	<i>Alternating occasionally</i>		0.005
	<i>Alternating frequently</i>		0.010 - 0.015
<i>Relative effect of obstructions</i>	<i>Negligible</i>	n_3	0.000
	<i>Minor</i>		0.010 - 0.015
	<i>Appreciable</i>		0.020 - 0.030
	<i>Severe</i>		0.040 - 0.060
<i>Vegetation</i>	<i>Low</i>	n_4	0.005 - 0.010
	<i>Medium</i>		0.010 - 0.025
	<i>High</i>		0.025 - 0.050
	<i>Very high</i>		0.050 - 0.100
<i>Degree of meandering</i>	<i>Minor</i>	m_5	1.000
	<i>Appreciable</i>		1.150
	<i>Severe</i>		1.300

Sumber: Buku *Open Channel Hydraulic* Oleh Ven Te Chow, 1959.

2.5.3. Tinggi Energi Kinetik Rata-Rata

Karena HEC-RAS adalah model satu-dimensi, maka walaupun suatu penampang lintang dikelompokkan kedalam beberapa bagian, namun hanya ada satu muka air di penampang lintang tersebut. Dengan demikian, di satu penampang hanya ada satu nilai tinggi energi kinetik (rata-rata). Untuk satu muka air, tinggi energi kinetik rata-rata dihitung dengan merata-ratakan tinggi energi kinetik di ketiga

bagian penampang (left overbank, main channel, right overbank) yang diberi bobot berdasarkan debit di setiap bagian penampang. Gambar 2.6 menunjukkan contoh hitungan tinggi energi kinetik rata-rata di sebuah penampang yang dibagi menjadi right overbank dan main channel (tak ada left overbank).



Gambar 2.6 Hitungan Tinggi Energi Kinetik Rata-Rata Di Suatu Penampang

Untuk menghitung tinggi energi kinetik rata-rata, diperlukan koefisien tinggi kecepatan, α , yang dihitung dengan cara sebagai berikut:

tinggi energi kinetik rata-rata = tinggi kecepatan yang diberi bobot sesuai dengan debit

$$\frac{\sum Q_i v_i^3}{\sum Q_i v_i} \quad (2.29)$$

dan dengan demikian:

$$\alpha = \frac{\sum Q_i v_i^3}{\sum Q_i v_i^2} \quad (2.30)$$

atau pada umumnya:

$$\alpha = \frac{\sum Q_i v_i^3}{\sum Q_i v_i^2} \quad (2.31)$$

2.5.4. Tinggi Hilang Karena Gesekan

Kehilangan energi akibat gesekan (friction loss) merupakan perkalian antara kemiringan garis energi karena gesekan (friction slope), S_f , dan panjang penggal sungai antara dua penampang, L . Kemiringan garis energi karena gesekan (friction slope) di suatu penampang dihitung dengan persamaan Manning

$$S_f = \frac{K_n}{R^{4/3} V} \quad (2.32)$$

selain persamaan di atas, HEC-RAS memiliki opsi beberapa persamaan lain untuk menghitung friction slope.

Kapasitas Angkut Rata-rata (untuk aliran steady)

$$\text{—————} \quad (2.33)$$

Friction Slope Rata-rata (untuk aliran unsteady)

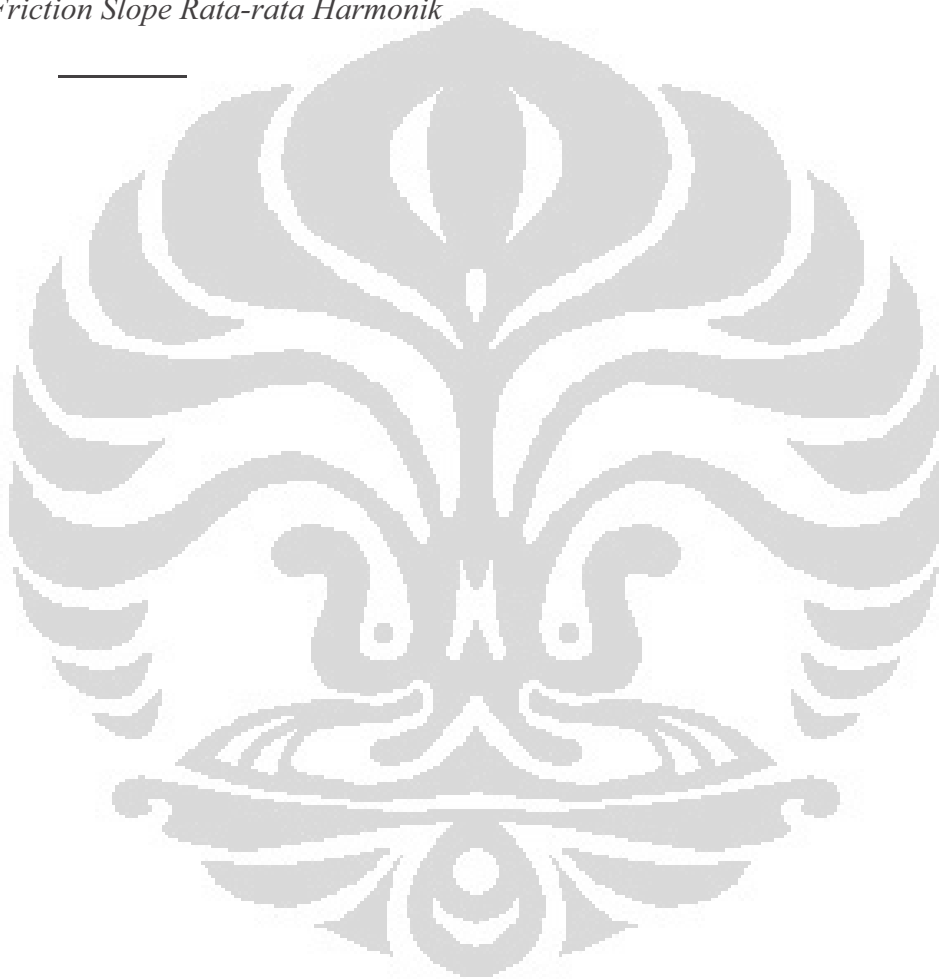
$$\text{—————} \quad (2.34)$$

Friction Slope Rata-rata Geometrik

$$\text{—————} \quad (2.35)$$

Friction Slope Rata-rata Harmonik

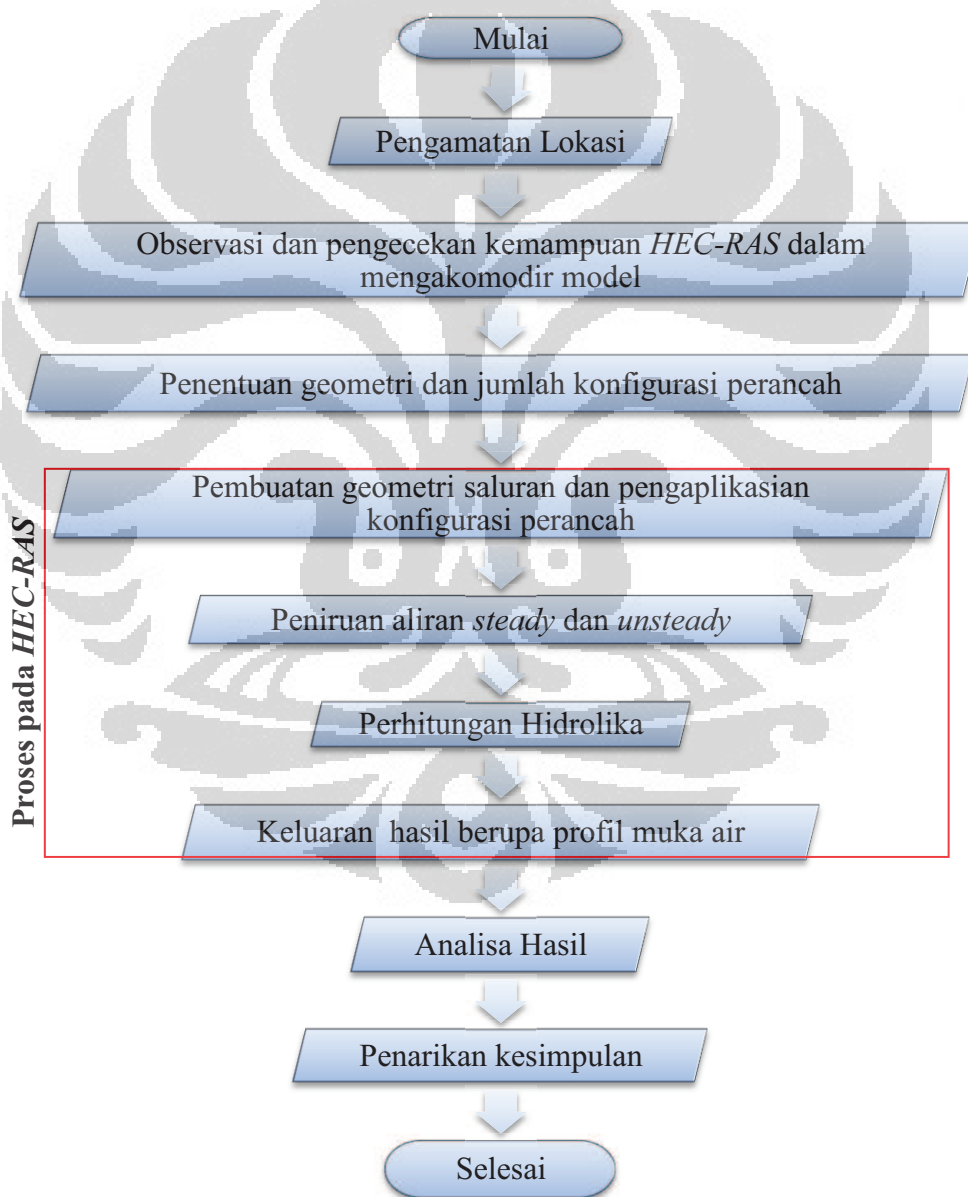
$$\text{—————} \quad (2.36)$$



BAB III

METODE SIMULASI ALIRAN PADA PENYEMPITAN

Sebagai kerangka acuan mengenai detail kegiatan yang dilakukan pada penelitian ini maka disusunlah sebuah metodologi penelitian dari awal hingga akhirnya mendapatkan sebuah kesimpulan dari tujuan awal penelitian. Metodologi penyusunan skripsi ini dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Bagan Alir Metodologi Penelitian

3.1. Pengamatan Lokasi Tinjauan

Simulasi aliran pada *HEC-RAS* merujuk kepada kondisi sungai ciliwung hilir di daerah Jatinegara. Kata merujuk disini mejelaskan bahwa yang penulis lakukan murni hanya pengamatan bukan pengukuran untuk mendapatkan data-data segmen Sungai Ciliwung tersebut secara presisi. Hal ini dikarenakan data-data yang kemudian akan dimasukkan ke dalam simulator merupakan data hipotetik.

Pada potongan sungai yang diamati terjadi reduksi lebar sungai akibat perancah rumah di pinggir sungai. Jumlah perancah yang begitu banyak tentu saja menimbulkan dampak hidrolis bagi sungai. Akibat nyata yang sering kita lihat adalah banjir. Kata banjir sebenarnya kurang tepat jika diberikan kepada kondisi rumah berperancah tersebut ketika tergenang, karena sebetulnya rumah-rumah tersebut dibangun di dataran banjir sungai itu sendiri (Gambar 3.2). Bagian sungai yang seharusnya dapat menampung aliran air pada saat debit tinggi kini tidak lagi dapat berfungsi dengan semestinya.

Berdasarkan pengamatan dapat diperkirakan lebar sungai yang seharusnya 15 m mengalami penyempitan hingga 5 m akibat perancah. Jarak antar perancah sendiri berbeda-beda, namun dapat terbilang rapat. Ketika pengamatan dilakukan debit aliran tergolong kecil, kedalaman air pun diperkirakan hanya sedalam 2 m (asumsi jika tidak ada sampah).



Gambar 3.2 Sungai Ciliwung di daerah Bukit Duri, Kampung Melayu Maret 2010 (a), April 2010 (b)

3.2. Observasi Kerja *HEC-RAS*

Sebelum menggunakan *HEC-RAS* untuk melakukan penelitian, maka diperlukan sebuah observasi untuk mengetahui sejauh mana aplikasi ini dapat memuat perhitungan matematis yang diinginkan. Observasi ini meliputi kemampuan *HEC-RAS* dalam melakukan simulasi aliran, penyimpanan dan manajemen data, perhitungan hidrolika, serta tampilan dan laporan hasil.

3.2.1. Simulasi Aliran Oleh *HEC-RAS*

Simulasi aliran terbuka (*open channel*) merupakan salah satu cara untuk mempelajari pola aliran di sepanjang saluran. Ada dua cara yang dapat dilakukan untuk melakukan simulasi, yaitu secara nyata air dialirkan di dalam saluran yang dibuat dengan skala laboratorium (model fisik) atau dengan menggunakan suatu rangkaian perhitungan hidraulik yang umumnya diwadahi oleh perangkat aplikasi komputer (model matematis). Apabila pada model fisik dilakukan pengukuran atau pengamatan untuk mendapatkan parameter aliran, pada model matematis parameter aliran diperoleh melalui hitungan atau penyelesaian persamaan matematis. Dalam skripsi ini penulis memilih melakukan perhitungan dengan sebuah model matematis bernama *HEC-RAS*.

Simulasi aliran pada suatu model dilakukan dengan lima langkah pokok, langkah-langkah tersebut yaitu: 1) penyiapan tempat, 2) peniruan geometri sungai/saluran, 3) peniruan aliran, 4) pengukuran atau hitungan kecepatan dan kedalaman aliran, dan 5) presentasi dan interpretasi hasil.

Penyiapan tempat. Langkah pertama untuk melakukan suatu simulasi aliran adalah menyiapkan tempat yang akan dipakai untuk membuat model. Untuk model matematis, penyiapan tempat mencakup penyediaan memori serta folder tempat penyimpanan model, input, dan output.

Peniruan geometri. Peniruan geometri dimaksudkan untuk memindahkan geometri sungai atau saluran yang sesungguhnya (prototipe) ke sungai atau saluran tiruan (model). Untuk model matematis, geometri sungai ditirukan dengan mempertahankan ukuran sesuai dengan ukuran sesungguhnya (skala 1:1). Dalam

penelitian ini data yang digunakan adalah data hipotetik, sehingga tidak dilakukan pengukuran pada prototipe.

Pengukuran atau hitungan kecepatan dan kedalaman aliran. Parameter aliran utama yang ingin diketahui dan dikaji adalah kecepatan dan kedalaman aliran. Untuk model fisik, kecepatan dan kedalaman aliran diperoleh melalui pengukuran di titik-titik ukur atau stasiun pengukuran. Untuk model matematis, kedua besaran tersebut diperoleh melalui hitungan di sejumlah titik yang ditetapkan, yang dikenal sebagai titik hitung.

Presentasi dan interpretasi hasil. Variabel aliran yang diukur atau dihitung ditampilkan dalam bentuk grafik atau tabel. Grafik dan tabel umumnya membantu dalam interpretasi hasil simulasi.

3.2.2. Penyimpanan Data dan Manajemen Data Pada *HEC-RAS*

Penyimpanan data dilakukan ke dalam “flat” files (format ASCII dan biner), serta file HEC-DSS. Data masukan dari pemakai *HEC-RAS* disimpan kedalam file-file yang dikelompokkan menjadi: project, plan, geometry, steady flow, dan unsteady flow. Hasil keluaran model disimpan kedalam binary file. Data dapat ditransfer dari *HEC-RAS* ke program aplikasi lain melalui HEC-DSS file.



Gambar 3.3 Jendela Utama *HEC-RAS*

Manajemen data dilakukan melalui user interface. Pemakai diminta untuk menuliskan satu nama file untuk project yang sedang dia buat. *HEC-RAS* akan menciptakan beberapa file secara otomatis (file-file: plan, geometry, steady flow,

unsteady flow, output, etc.) dan menamainya sesuai dengan nama file project yang dituliskan oleh pemakai. Penggantian nama file, pemindahan lokasi penyimpanan file, penghapusan file dilakukan oleh pemakai melalui fasilitas interface; operasi tersebut dilakukan berdasarkan *project-by-project*. Penggantian nama, pemindahan lokasi penyimpanan, ataupun penghapusan file yang dilakukan dari luar *HEC-RAS* (dilakukan langsung pada folder), biasanya akan menyebabkan kesulitan pada saat pemakaian *HEC-RAS* karena perubahan yang dilakukan dari luar *HEC-RAS* tersebut kemungkinan besar tidak dikenali oleh *HEC-RAS*. Oleh karena itu, operasi atau modifikasi file-file harus dilakukan melalui perintah dari dalam *HEC-RAS*.

3.2.3. Perhitungan Hidrolika Sungai Pada *HEC-RAS*

Steady Flow Water Surface Component. Aplikasi ini berfungsi untuk menghitung profil muka air aliran *steady* berubah beraturan (*steady gradually varied flow*). Program mampu memodelkan jaring sungai, sungai dendritik, maupun sungai tunggal. Regime aliran yang dapat dimodelkan adalah aliran sub-kritik, super-kritik, maupun campuran antara keduanya.

Langkah hitungan profil muka air yang dilakukan oleh modul aliran *steady HEC-RAS* didasarkan pada penyelesaian persamaan energi (satu-dimensi). Kehilangan energi dianggap diakibatkan oleh gesekan dan kontraksi/ekspansi.

Persamaan momentum dipakai manakala dijumpai aliran berubah tiba-tiba (*rapidly varied flow*), misalnya campuran regime aliran subkritis dan superkritis (*hydraulic jump*), aliran melalui jembatan, aliran di percabangan sungai (*stream junctions*), juga ketika aliran melewati penyempitan akibat perancah. Modul aliran *steady HEC-RAS* mampu memperhitungkan pengaruh berbagai hambatan aliran, seperti jembatan (*bridges*), gorong-gorong (*culverts*), bendung (*weirs*), ataupun hambatan di bantaran sungai. Untuk aliran *unsteady HEC-RAS* menggunakan persamaan massa dan momentum yang kemudian dihitung pendekatan beda hingga. Jika untuk aliran *steady HEC-RAS* menghitung dengan iterasi untuk tiap

(Δx), sedangkan untuk aliran *unsteady* perhitungan dilakukan secara simultan di tiap titik sepanjang saluran.

3.2.4. Tampilan *Output* Perhitungan Pada *HEC-RAS*

Fasilitas grafik yang disediakan oleh *HEC-RAS* mencakup grafik X-Y alur sungai, penampang lintang, rating curves, hidrograf, dan grafik-grafik lain yang merupakan plot X-Y berbagai variabel hidraulik. *HEC-RAS* menyediakan pula fitur plot 3D beberapa penampang lintang sekaligus. Hasil keluaran model dapat pula ditampilkan dalam bentuk tabel. Pemakai dapat memilih antara memakai tabel yang telah disediakan oleh *HEC-RAS* atau membuat/mengedit tabel sesuai kebutuhan. Grafik dan tabel dapat ditampilkan di layar, dicetak, atau dicopy ke clipboard untuk dimasukkan kedalam program aplikasi lain (*word processor*, *spreadsheet*).

Fasilitas pelaporan pada *HEC-RAS* dapat berupa pencetakan data masukan dan keluaran hasil pada *printer* atau *plotter*.

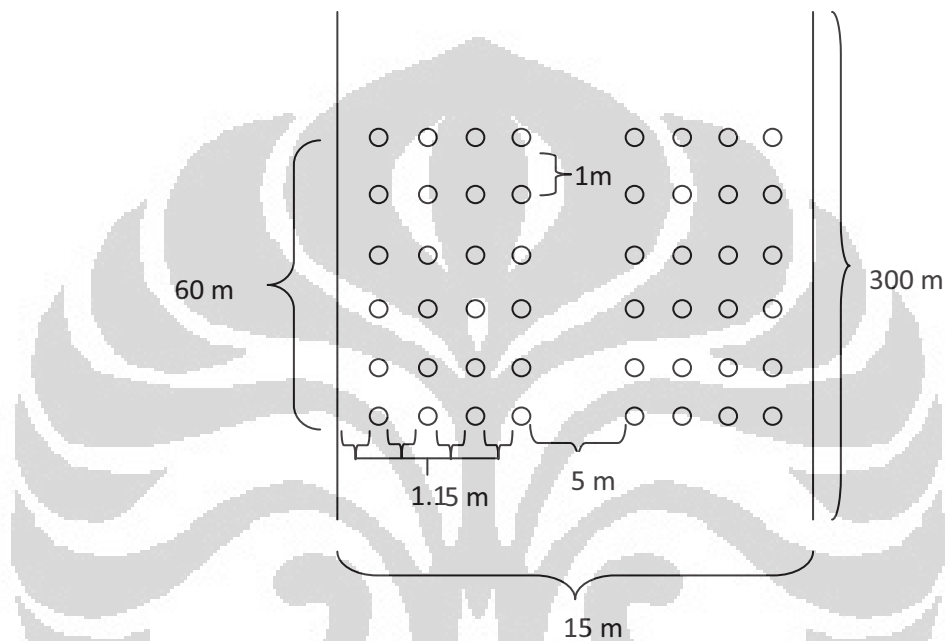
3.3. Pengecekan Kemampuan *HEC-RAS*

Untuk memastikan bahwa program ini nantinya dapat menjalankan simulasi penyempitan saluran oleh perancah, penulis melakukan sebuah pengecekan sekaligus latihan. Pengecekan ini bertujuan untuk mengetahui serapat apakah jarak antar perancah yang dapat diaplikasikan. Langkah pengecekan sebetulnya sama dengan langkah untuk melakukan simulasi yang sebenarnya.

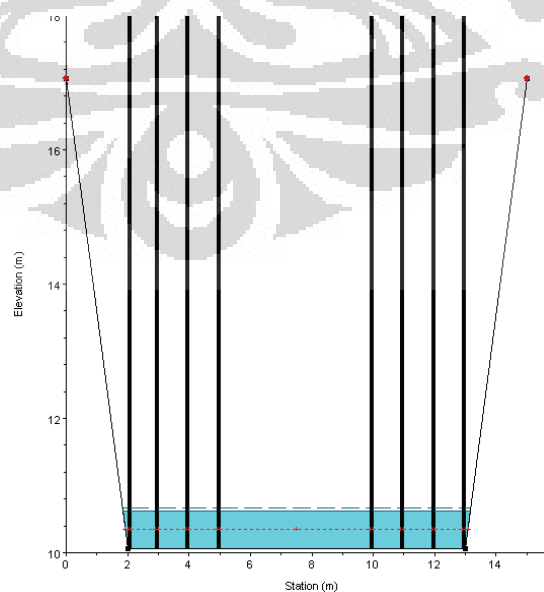
Detail langkah pengecekan *HEC-RAS* adalah sebagai berikut:

1. Membuat sketsa penyempitan yang akan disimulasikan (Gambar 3.4).
2. Membuat geometri sungai pada *HEC-RAS* serta mengaplikasikan perancah pada penampang melintang sungai (Gambar 3.5 dan Gambar 3.6). Pengaplikasian perancah pada penampang melintang menggunakan opsi *Obstruction* pada program. Opsi ini memungkinkan pengguna untuk menetapkan area yang terblokir pada penampang melintang saluran. Dengan adanya *obstruction* area yang dihitung berkurang, sedangkan keliling basah bertambah.

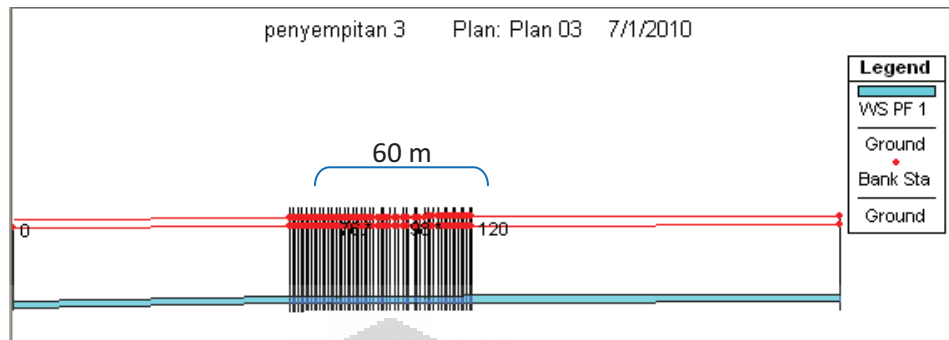
3. Pemasukan debit aliran steady pada program. Untuk pengecekan ini penulis menggunakan debit kecil yaitu sebesar $5 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan tinggi muka air normal sebesar 0.5 m (Gambar 3.7).
4. Setelah simulasi aliran *steady* dan perhitungan dijalankan dengan Output hasil dari perhitungan *HEC-RAS* berupa rofil muka air dan grafik kecepatan seperti gambar 3.8 dan gambar 3.9.



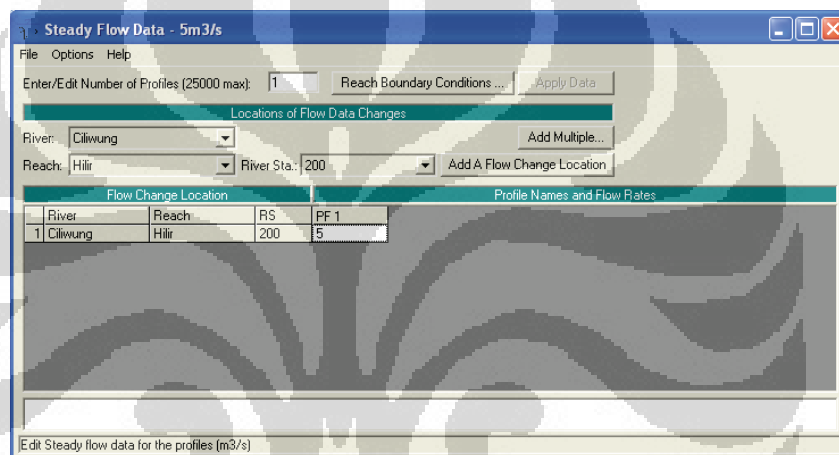
Gambar 3.4 Tampak Atas Sketsa Konfigurasi Perancah Untuk Pengecekan



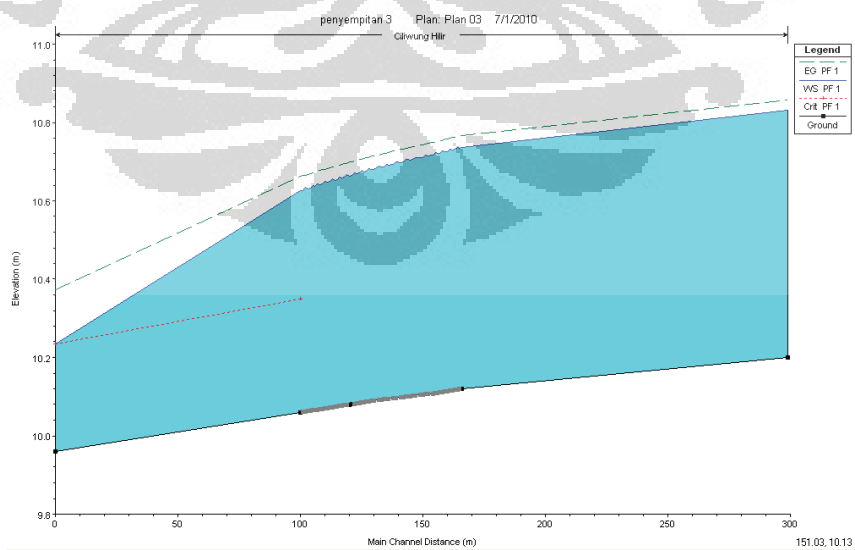
Gambar 3.5 Potongan Melintang Saluran



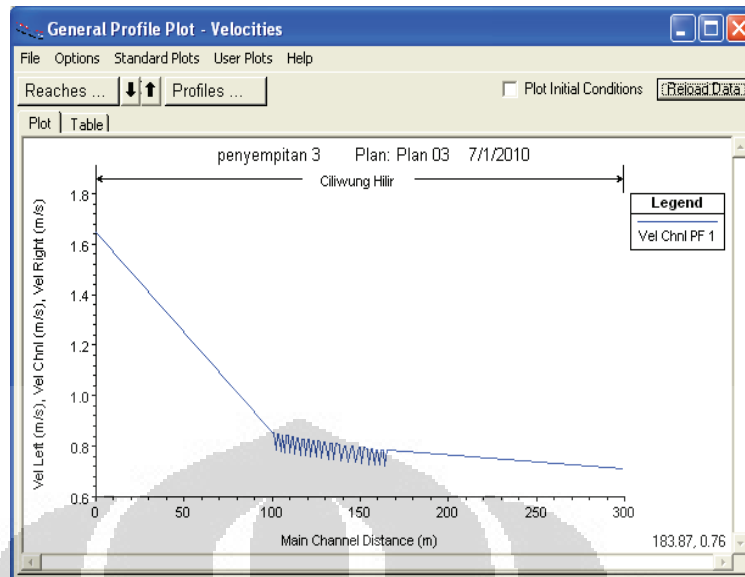
Gambar 3.6 Tampak Samping Saluran



Gambar 3.7 Jendela Tampak Memasukan Data Aliran



Gambar 3.8 Profil Muka Air Memanjang Saluran



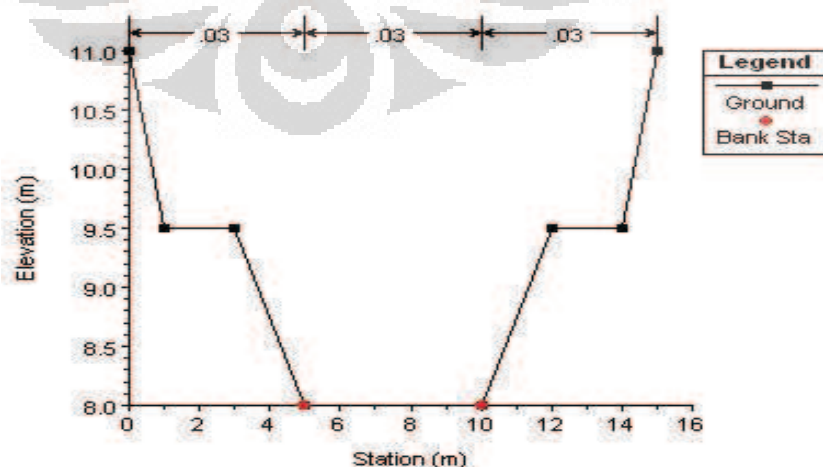
Gambar 3.9 Grafik Kecepatan

Perhitungan pada model dapat dijalankan dan tidak muncul notifikasi *error*, hal ini menandakan bahwa *HEC-RAS* dapat menjalankan simulasi yang diinginkan. Perhitungan ini merupakan gambaran mengenai langkah-langkah simulasi aliran akibat perancah yang akan dijelaskan lebih rinci di bab berikutnya.

3.4. Geometri Sungai dan Konfigurasi Perancah

Sungai yang akan disimulasikan adalah Sungai Ciliwung bagian hilir dengan asumsi geometri sebagai berikut:

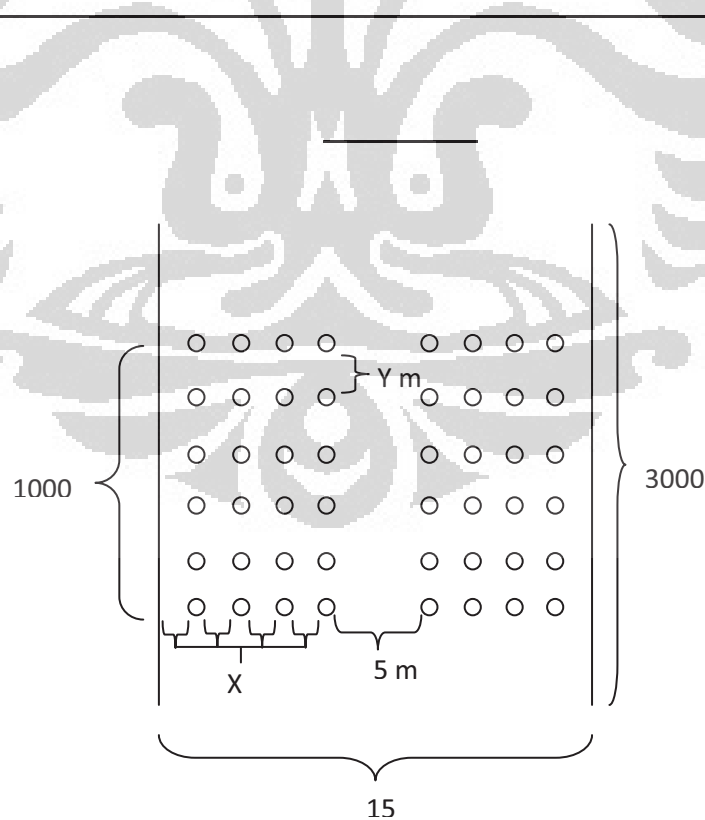
- alur saluran lurus dengan panjang 3000 m,
- bentuk profil melintang saluran seperti pada gambar 3.10,



Gambar 3.10 Profil Melintang Saluran

- kemiringan dasar 0,001,
- panjang penyempitan oleh perancah 1000 m dari stasiun 1000 hingga stasiun 2000,
- diameter perancah (d) sebesar 0.1 m,
- lebar bukaan penyempitan (D) yang letaknya di tengah saluran,
- jumlah perancah adalah n ,
- jarak antar perancah sejauh X .
- Debit aliran ditetapkan mengalir dari stasiun 3000 (hulu)
- Di stasiun 0 (hilir) ketinggian air diatur dengan memasukkan nilai *Friction Slope* untuk mendapatkan muka air normal

Gambar 3.11 ada tampak atas dari saluran berperancah. Untuk nilai Y dibiasikan dengan besar 1 m, 5 m, dan 15 m. Sedangkan nilai X sendiri didapat dari rumus berikut:



Gambar 3.11 Tampak Atas Konfigurasi Perancah

Kesemua konfigurasi penyempitan yang akan disimulasikan dirangkum dalam tabel 3.1. Untuk tiap konfigurasi perancah kemudian akan disimulasikan 2 tipe aliran yaitu *steady* dan *unsteady*.

Tabel 3.1 Konfigurasi Perancah

No.	D	d	n	X	Y
1	5 m	0.1 m	2	2.4 m	1 m
					5 m
					15 m
2	5 m	0.1 m	4	1.15 m	1 m
					5 m
					15 m
3	5 m	0.1 m	10	0.4 m	1 m
					5 m
					15 m
4	5 m	0.1 m	50	0 m	1 m
					5 m
					15 m
5	3 m	0.1 m	2	2,9 m	1 m
					5 m
					15 m
6	3 m	0.1 m	4	1,4 m	1 m
					5 m
					15 m
7	3 m	0.1 m	10	0,5 m	1 m
					5 m
					15 m
8	3 m	0.1 m	50	0 m	1 m
					5 m
					15 m
9	7 m	0.1 m	2	1,9 m	1 m
					5 m
					15 m
10	7 m	0.1 m	4	0,9 m	1 m
					5 m
					15 m
11	7 m	0.1 m	10	0,3 m	1 m
					5 m
					15 m
12	7 m	0.1 m	50	0 m	1 m
					5 m
					15 m

BAB IV

SIMULASI, HASIL, DAN ANALISA

Simulasi aliran saluran terbuka pada HEC-RAS dapat dilakukan melalui beberapa tahapan. Prosesnya terdiri dari tiga komponen yaitu komponen *input*, komponen simulasi aliran, dan komponen *output*. Data *input* yang perlu dimasukkan ke dalam program adalah data geometri saluran, data debit, dan kondisi batas untuk saluran tersebut. Komponen simulasi aliran yang dilakukan terdiri dari dua tipe aliran yaitu *steady* dan *unsteady*. Komponen terakhir adalah penyajian hasil simulasi. Selanjutnya analisa hidrolika dilakukan terhadap *output* dari masing-masing skenario serta membandingkannya antar skenario penyempitan saluran yang berbeda.

4.1. Komponen *Input* Geometri Sungai

Geometri sungai yang akan dimodelkan terdiri dari 3 skenario, yaitu saluran tanpa penyempitan, saluran dengan penyempitan berupa perancah, serta penyempitan akibat blok perkerasan. Penjelasan untuk *input* data ke dalam Program HEC-RAS tidak jauh berbeda dengan tahap pengecekan kemampuan HEC-RAS yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

Selain data geometri berupa elevasi dasar sungai dan lebarnya, perlu juga dimasukkan koefisien Manning untuk mendeskripsikan kekasaran dasar saluran dan koefisien perubahan penampang saluran tersebut. Pada HEC-RAS koefisien manning dibagi menjadi tiga daerah, yaitu bagian kiri saluran, bagian tengah atau saluran utama, dan bagian kiri saluran. Koefisien Manning (n) yang dimasukkan didapat dengan menggunakan Metode Cowan (1956) dengan persamaan 2.28.

Oleh karena variasi yang dibuat pada saluran hanya akibat dari *obstruction* berupa perancah, maka besar kecilnya nilai dari koefisien manning hanya disebabkan oleh konfigurasi dan jumlah perancah yang dipasang pada saluran. Nilai n_1 ; n_2 ;

n_4 ; m_5 dibuat tetap yaitu sebesar 0,02 ; 0 : 0 ; 1. Oleh karena itu, rumus Koefisien Manning yang dipakai adalah sebagai berikut:

$$(4.2)$$

Untuk koefisien kontraksi dan ekspansi dibuat sama untuk semua konfigurasi. Berdasarkan tabel 2.2, maka besarnya koefisien kontraksi dan ekspansi untuk saluran berperancah berturut-turut adalah sebesar 0,6 dan 0,8. Sedangkan untuk saluran polos koefisien, perubahan penampang dibuat nol. Terdapat 42 kasus yang akan disimulasikan pada simulasi aliran saluran terbuka satu dimensi ini. Data-data geometri yang akan dimasukkan ke dalam HEC-RAS disajikan dalam tabel 4.3.

Tabel 4.1. Data Geometri Saluran

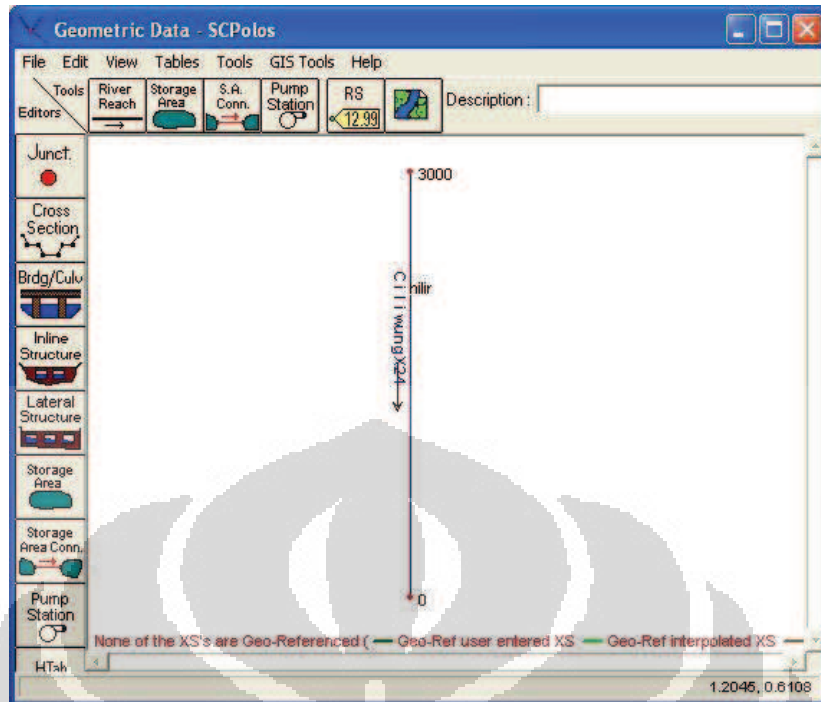
No	Nama Konfigurasi	Lebar Bukaannya	Jarak Melintang Aliran (X)	Jarak Searah Aliran (Y)	n Left Bank	n Main Channel	n right Bank
1	Saluran Hilir	15 m	0 m	0 m	0.03	0.03	0.03
2	Saluran Tengah	30 m	0 m	0 m	0.05	0.03	0.05
3	X2,4-Y1	5m	2,4 m	1 m	0.033	0.031	0.033
4	X2,4-Y5	5m	2,4 m	5 m	0.04	0.037	0.04
5	X2,4-Y15	5m	2,4 m	15 m	0.043	0.04	0.043
6	X1,15-Y1	5m	1,15 m	1 m	0.036	0.031	0.036
7	X1,15-Y5	5m	1,15 m	5 m	0.043	0.037	0.043
8	X1,15-Y15	5m	1,15 m	15 m	0.046	0.04	0.046
9	X0,4-Y1	5m	0,4 m	1 m	0.045	0.031	0.045
10	X0,4-Y5	5m	0,4 m	5 m	0.052	0.037	0.052
11	X0,4-Y15	5m	0,4 m	15 m	0.055	0.04	0.055
12	X0(5)	5m	0 m	0 m	0.030	0.050	0.030
13	X2,9-Y1	3 m	2,9 m	1 m	0.035	0.03	0.035
14	X2,9-Y5	3 m	2,9 m	5 m	0.042	0.03	0.042
15	X2,9-Y15	3 m	2,9 m	15 m	0.045	0.03	0.045
16	X1,4-Y1	3 m	1,4 m	1 m	0.04	0.03	0.04
17	X1,4-Y5	3 m	1,4 m	5 m	0.047	0.03	0.047
18	X1,4-Y15	3 m	1,4 m	15 m	0.05	0.03	0.05

No	Nama Konfigurasi	Lebar Bukaannya	Jarak Melintang Aliran (X)	Jarak Searah Aliran (Y)	n Left Bank	n Main Channel	n right Bank
19	X0,5-Y1	3 m	0,5 m	1 m	0.05	0.03	0.05
20	X0,5-Y5	3 m	0,5 m	5 m	0.057	0.03	0.057
21	X0,5-Y15	3 m	0,5 m	15 m	0.06	0.03	0.06
2	X0(3)	3 m	0 m	0 m	0 m	0.03	0 m
23	X1,9-Y1	7 m	1,9 m	1 m	0.033	0.035	0.033
24	X1,9-Y5	7 m	1,9 m	5 m	0.04	0.042	0.04
25	X1,9-Y15	7 m	1,9 m	15 m	0.043	0.045	0.043
26	X0,9-Y1	7 m	0,9 m	1 m	0.038	0.035	0.038
27	X0,9-Y5	7 m	0,9 m	5 m	0.045	0.042	0.045
28	X0,9-Y15	7 m	0,9 m	15 m	0.047	0.045	0.047
29	X0,3-Y1	7 m	0,3 m	1 m	0.045	0.038	0.045
30	X0,3-Y5	7 m	0,3 m	5 m	0.052	0.045	0.052
31	X0,3-Y15	7 m	0,3 m	15 m	0.055	0.048	0.055
32	X0(7)	7 m	0 m	0 m	0.35	0.03	0.035

4.1.1. Saluran Tanpa Penyempitan

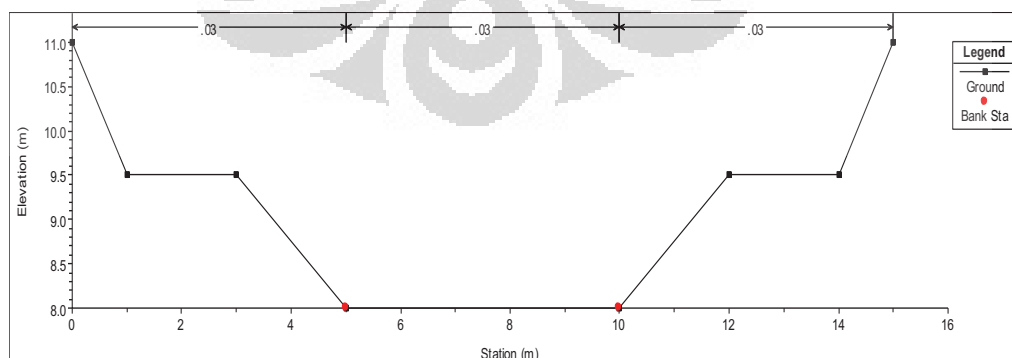
Untuk Saluran tanpa penyempitan, geometrinya divariasikan menjadi dua tipe geometri. Variasi pertama yaitu saluran tanpa penyempitan bagian hilir. Pemodelan saluran ini merujuk kepada potongan sungai ciliwung bagian hilir di daerah Jatinegara. Variasi kedua yaitu saluran tanpa penyempitan bagian tengah. Saluran ini dibuat mirip dengan potongan Sungai Ciliwung bagian tengah yang mengalir melewati Kota Depok.

Panjang saluran yang digambarkan pada HEC-RAS adalah sama untuk kedua tipe saluran. Yang membedakan antara keduanya adalah lebar serta kedalaman saluran. Pada kondisi ideal sebuah sungai, seharusnya sungai bagian hilir memiliki lebar yang lebih besar dari pada sungai bagian tengah ataupun hulu. Namun, pada kenyataannya bagian hilir sungai yang melewati kota besar cenderung memiliki lebar yang kecil akibat dari terpakainya bantaran sungai untuk lahan terbangun.

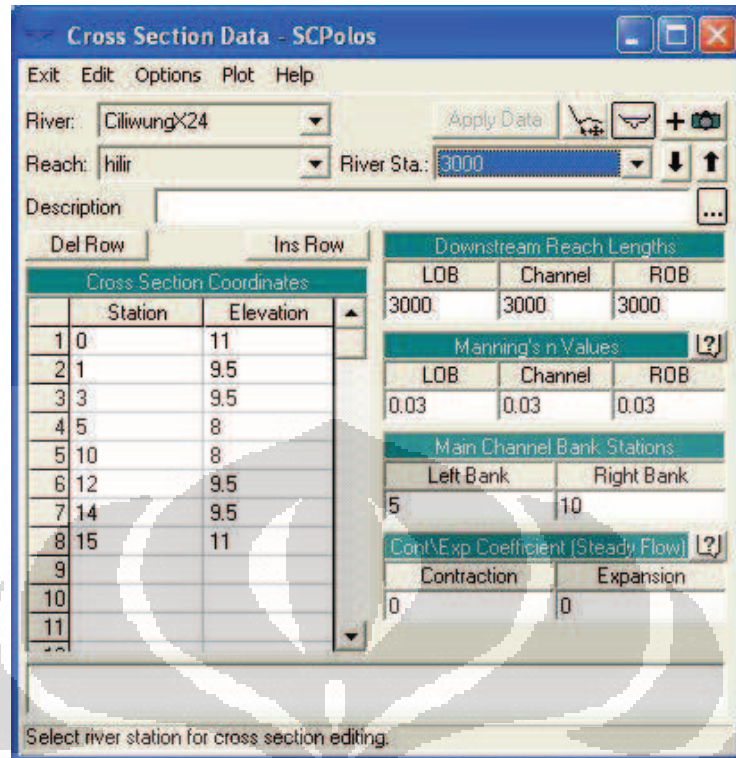


Gambar 4. 1 Profil Memanjang Saluran Tanpa Penyempitan

Yang perlu dilakukan untuk memodelkan saluran ini adalah dengan memilih opsi *River Reach* pada jendela *Geometric Data* (Gambar 4.1). Tarik garis untuk menggambar alur. Selanjutnya yang perlu dilakukan adalah memasukkan data geometri untuk potongan melintang saluran dengan memilih opsi *Cross Section* di sebelah kiri. Jendela baru akan muncul dimana ada tabel untuk memasukkan koordinat titik pembentuk jarak dan kedalaman profil melintang saluran, nilai koefisien Manning, dan koefisien kontraksi dan ekspansi.

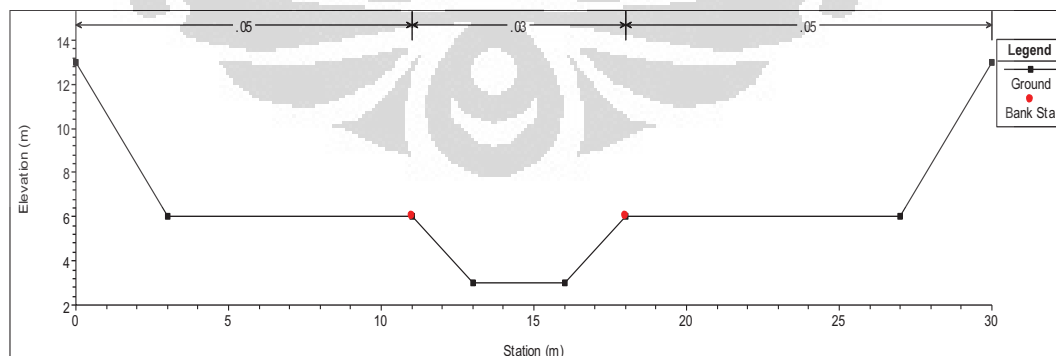


Gambar 4. 2 Profil Melintang Saluran Bagian Hilir

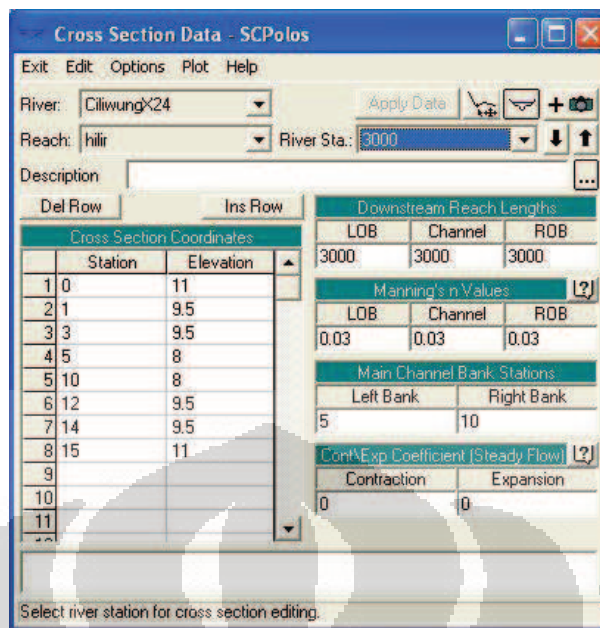


Gambar 4.3 Cross Section Data Saluran Bagian Hilir

Untuk saluran bagian hilir, lebar saluran adalah sebesar 15 m dan kedalaman sebesar 3 m (Gambar 4.2). Dari persamaan 4.2 dipilih n_3 sebesar 0.01 karena dianggap penghalang yang ada sangat sedikit jumlahnya. Oleh karena itu, n saluran ini untuk sisi kiri, tengah, dan kanan adalah sebesar 0.03. Nilai koefisien kontraksi dan ekspansi dibuat nol karena pada saluran ini tidak terjadi perubahan luas dari profil melintang sungai (Gambar 4.3)



Gambar 4.4 Profil Melintang Saluran Bagian Tengah

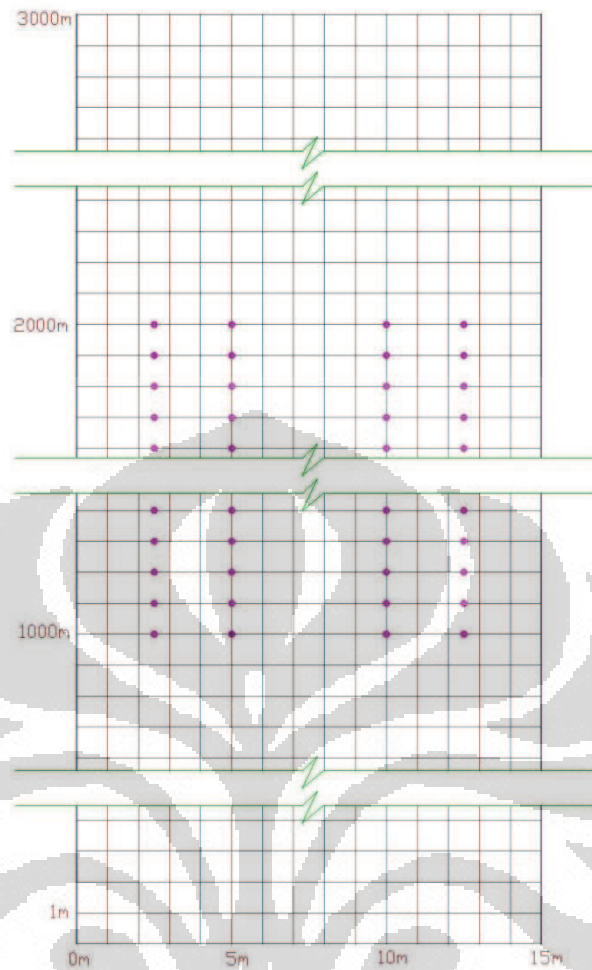


Gambar 4. 5 Cross Section Data Saluran Bagian Tengah

Sedangkan untuk saluran bagian tengah, lebarnya sebesar 30 m dengan kedalaman sebesar 5 m (Gambar 4.4). Nilai Koefisien Manning untuk saluran ini berbeda antara sisi kanan, kiri, dan tengahnya. Nilai n di sisi kiri dan kanan dibuat lebih besar karena terdapat vegetasi yang tumbuh di bantaran saluran ini. Sedagkan koefisien kontraksi dan ekspansinya dibuat sama dengan saluran bagian hilir. Setelah semua data geometri saluran dimasukkan klik opsi *Apply Data* untuk kemudian memunculkan plot gambar profil melintang saluran. Kemudian simpan data geomteri ini.

4.1.2. Saluran Dengan Penyempitan Oleh Perancah

Selanjutnya saluran dimodifikasi dengan menambahkan penyempitan. Penyempitan yang dimodelkan diakibatkan oleh perancah rumah. Perancah ini diaplikasikan dari stasiun 1000 sampai stasiun 2000. Konfigurasi perancah rumah dibuat dengan beberapa variasi. Variasi-variasi dari konfigurasi tersebut dibuat dengan merubah tiga hal, yaitu jarak antar perancah melintang saluran, jarak searah aliran, dan lebar bukaan di tengah penampang. Langkah-langkah memodelkannya ke dalam HEC-RAS hampir sama dengan pembuatan geomteri saluran tanpa penyempitan.



Gambar 4. 6 Tampak Atas Konfigurasi X2,4-Y1

Penjelasan berikut merupakan langkah-langkah pembuatan geometri saluran berperancah X2,4-Y1 untuk mewakili semua konfigurasi perancah yang detailnya dapat dilihat pada lampiran. Konfigurasi ini memiliki 2 baris perancah masing-masing di bagian kiri dan kanan saluran. Dengan bukaan tengah selebar 5 m menjadikan jarak antar perancah melintang sungai sebesar 2,4 m. Sedangkan jarak searah aliran sungai sebesar 1 m. Gambar 4.6 merupakan tampak atas dari konfigurasi ini. Data-data geometri kemudian dimasukkan ke dalam tabel yang ada pada jendela *Cross Section Data* (Gambar 4.7).

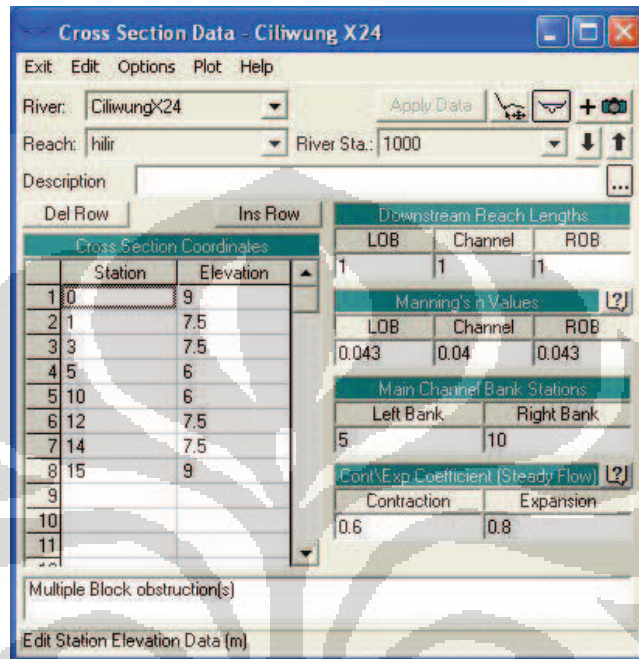
Berdasarkan Table 4.1 nilai koefisien Manning dari konfigurasi ini didapat dari perhitungan berikut:

$$\text{Bagian kiri} \rightarrow n = (0,002 + 0 + 0 + 0,018 + 0,005) \cdot 1 = 0,043,$$

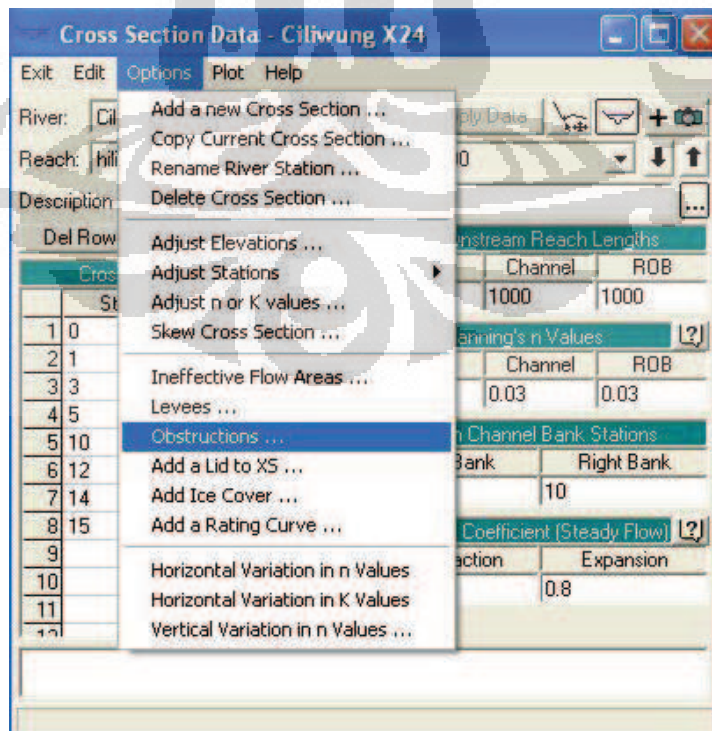
$$\text{Bagian tengah} \rightarrow n = (0,002 + 0 + 0 + 0,015 + 0,005) \cdot 1 = 0,040,$$

Bagian kanan $\rightarrow n = (0,002 + 0 + 0 + 0,018 + 0,005) 1 = 0,043$.

Untuk Koefisien kontraksi dan ekspansi dipilih dari tabel 4.2 yaitu sebesar 0,6 dan 0,8 untuk tipe *abrupt obstruction*. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya luas saluran secara tiba-tiba akibat pengaplikasian perancah.

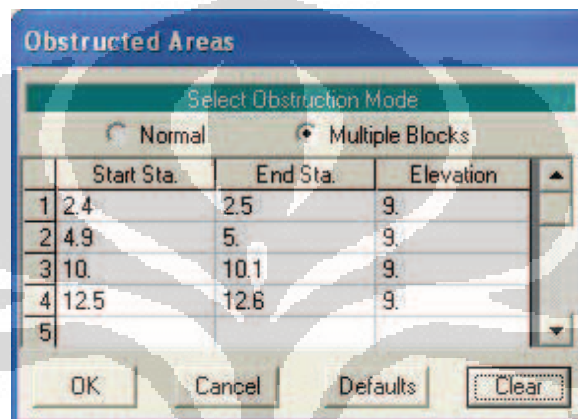


Gambar 4. 7 Geometri Data Konfigurasi X2,4-Y1

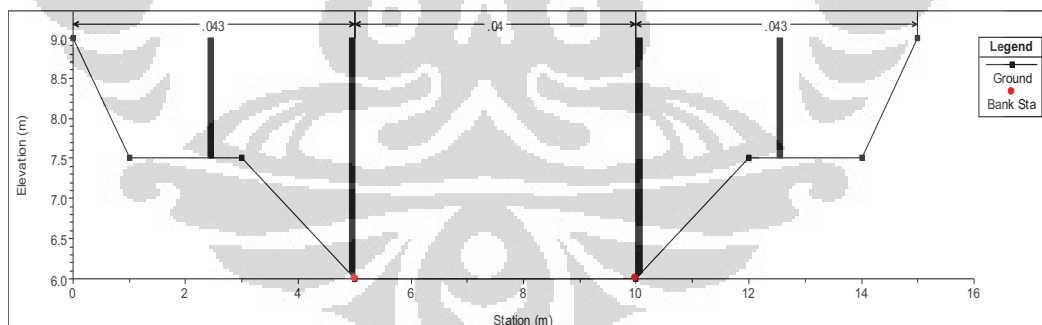


Gambar 4. 8 Pemilihan Opsi *Obstruction*

Langkah berikutnya adalah memasukkan data untuk perancahnya dengan memilih menu *Options* pada jendela *Cross Section Data*. Kemudian pilih *Obstruction* hingga keluar jendela baru yaitu *Obstructed Areas* (Gambar 4.9). Pada tabel itu koordinat serta elevasi perancah dimasukkan. *Start Sta.* dan *End Sta.* adalah koordinat titik pada jarak lateral saluran. Sedangkan kolom *Elevasi* untuk menetapkan tinggi perancah yang akan diaplikasikan. Setelah diaplikasikan susunan perancah akan seperti gambar 4.9.



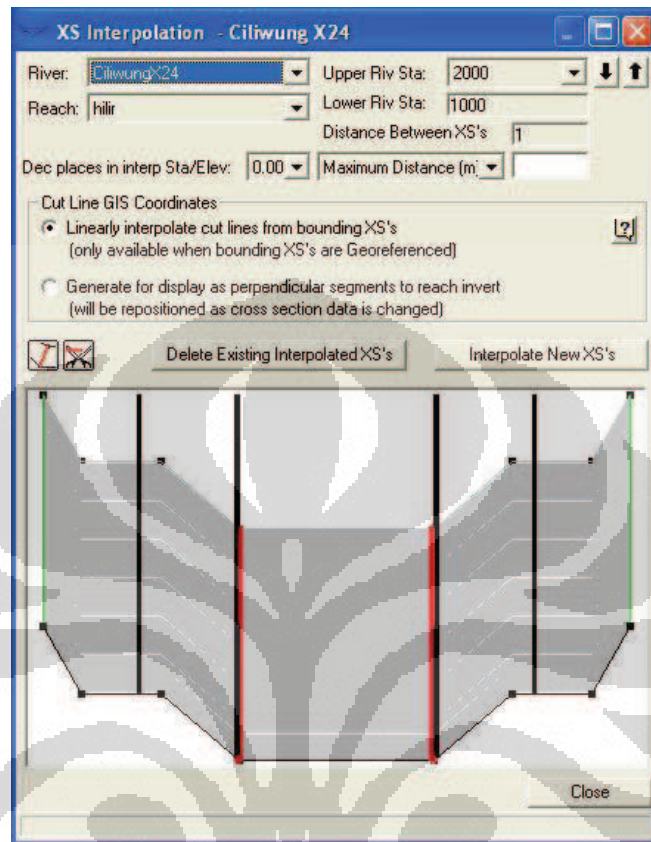
Gambar 4.9 *Obstructed Areas*



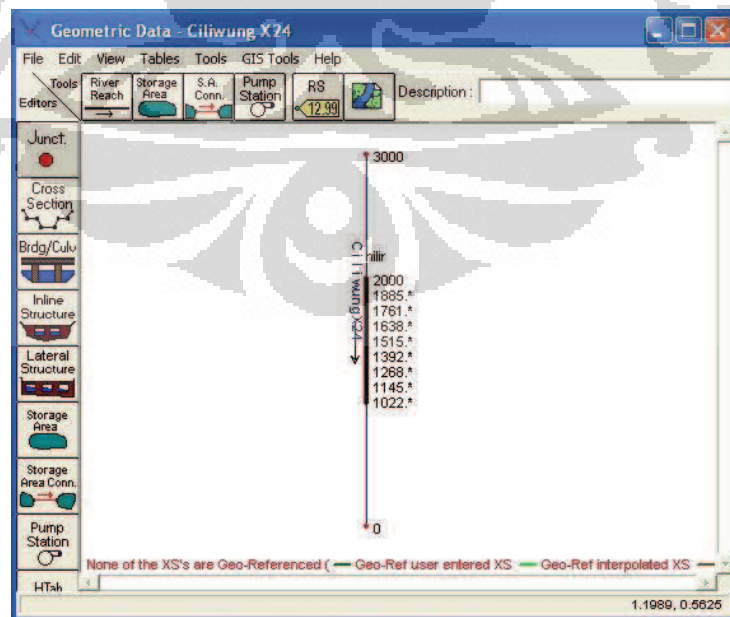
Gambar 4.10 Profil Melintang Konfigurasi X2,4-Y1

Setelah menggambar saluran dari tampak atas dan memasukkan data geometri untuk potongan melintang saluran, langkah selanjutnya adalah menginterpolasi penampang antara stasiun 1000 dan 2000 dengan jarak masing-masing potongan sebesar 1 m (Gambar 4.10). Caranya dengan memilih opsi *Tools* → *XS Interpolation* → *Between 2XS's*. Dengan memasukkan jarak maksimum antara

profil melintang yang diinterpolasi sebesar 1m, maka profil-profil melintang baru akan muncul diantara stasiun 1000 dan stasiun 2000 (Gambar 4.11).

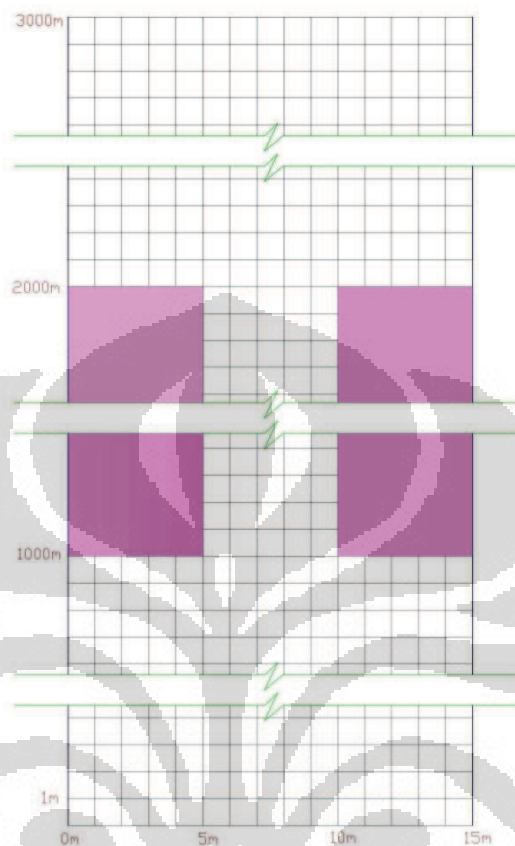


Gambar 4. 11 Interpolasi *Cross Section*



Gambar 4. 12 Profil Memanjang Konfigurasi X2,4-Y1

4.1.3. Saluran Dengan Penyempitan Oleh Blok Perkerasan



Gambar 4. 13 Tampak Atas Konfigurasi X0(5)

Setelah sebelumnya geometri sungai divariasikan antara saluran polos dan berperancah, kini dibuatlah simulasi untuk saluran dengan hambatan berupa blok perkerasan. Panjang penyempitan akibat blok ini adalah sepanjang 1000m dari stasiun 1000 sampai stasiun 2000 (Gambar 4.13). Pada tipe ketiga ini dianggap jumlah perancah sangat rapat sehingga jarak antar perancah melintang dan searah aliran adalah 0 m. Lebar dan letak bukaan untuk saluran tipe ini juga divariasikan seperti saluran berperancah. Berikut akan dijelaskan *input* geometri untuk blok perkerasan dengan bukaan 5 m di tengah yaitu X0(5). Sedangkan untuk X0(7) dan X0(3) langkahnya mengikuti X0(5) dengan detail geometri dapat dilihat pada lampiran.

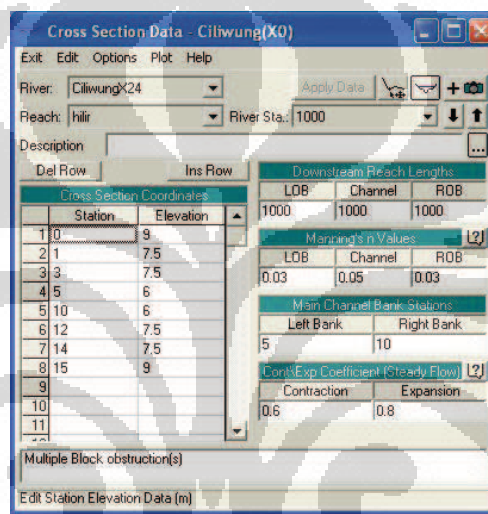
Untuk koefisien Manning sendiri pada *main channel* nilainya lebih besar karena gesekan yang terjadi bukan hanya antara air dan dasar saluran namun juga antara

air dengan dinding blok perkerasan. Pada bantaran kiri dan kanan saluran sendiri koefisien manning sebenarnya tidak dihitung karena bagian itu tidak dilewati air. Namun demikian, HEC-RAS tetap mengharuskan pengisian koefisien manning untuk daerah tersebut. Perhitungan koefisien Manningnya sendiri adalah sebagai berikut:

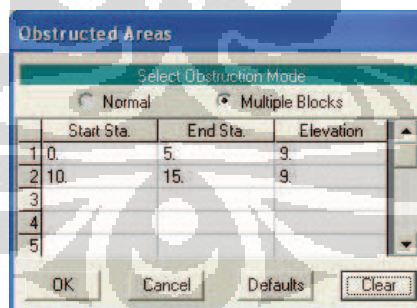
Bagian kiri → $n = (0,002 + 0 + 0 + 0,005 + 0,005) 1 = 0,03$

Bagian tengah → $n = (0,002 + 0 + 0 + 0,005 + 0,005) 1 = 0,05$

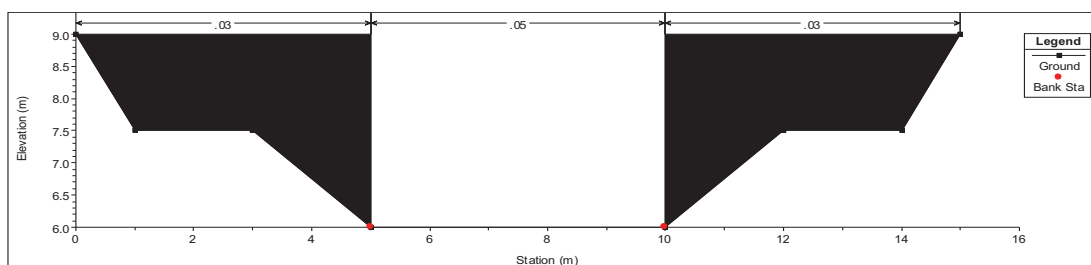
Bagian kanan → $n = (0,002 + 0 + 0 + 0,005 + 0,005) 1 = 0,03$



Gambar 4. 14 Geometri Data Konfigurasi X0(5)



Gambar 4. 15 Obstructed Areas Blok Perkerasan



Gambar 4. 16 Profil Melintang Konfigurasi X0(5)

4.2. Komponen Aliran Sungai

Setelah membuat geometri dari tiap kasus yang dimodelkan, langkah selanjutnya adalah memasukkan data aliran berupa aliran *steady* dan *unsteady*. Untuk tiap kasus data aliran *steady* yang dipakai sama, namun untuk *unsteady* terdapat tiga hidrograf banjir yang disimulasikan, yaitu hidrograf ideal, hidrograf kotak, dan hidrograf Ciliwung Tahun 1994. Hidrograf ideal dipakai untuk semua kasus. Hidrograf kotak dipakai hanya untuk konfigurasi X0,4-Y1 karena tujuannya hanya untuk pengecekan apakah perhitungan yang dilakukan HEC-RAS berjalan stabil atau tidak. Hidrograf Ciliwung Tahun 1994 dipakai hanya untuk saluran dengan perancah paling banyak, dan penyempitan akibat blok perkerasan. Hal ini bertujuan untuk melihat seberapa besar saluran mampu menampung debit banjir yang sebenarnya serta seperti apa perilaku yang ditimbulkan.

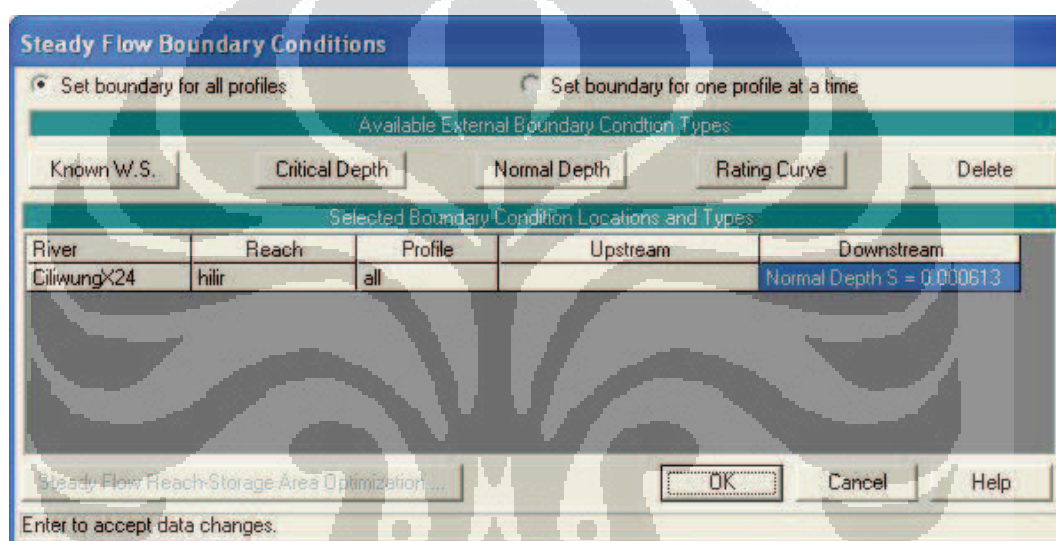
4.2.1. Komponen Aliran Steady

Aliran *steady* yang disimulasikan adalah sebanyak 11 data, yaitu 5 m³/s, 7,5 m³/s, 10 m³/s, 12,5 m³/s, 15 m³/s, 17,5 m³/s, 20 m³/s, 22,5 m³/s, 25 m³/s, 27,5 m³/s, dan 30 m³/s. Dengan meng-klik simbol *edit/enter steady flow data*, maka kita dapat memasukkan data aliran yang kita inginkan pada tabel yang tersedia (Gambar 4.17). Sebelumnya masukkan dulu angka untuk jumlah data yg dimasukkan, yaitu sebesar 11 buah data. Setelah itu klik *reach boundary condition* untuk mengatur batasan pada hilir dari saluran ini.

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates										
River	Reach	RS	PF 1	PF 2	PF 3	PF 4	PF 5	PF 6	PF 7	PF 8	PF 9	PF 10	PF 11
1 Ciliwung*24	hilir	3000	5	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30

Gambar 4. 17 Data Aliran Steady

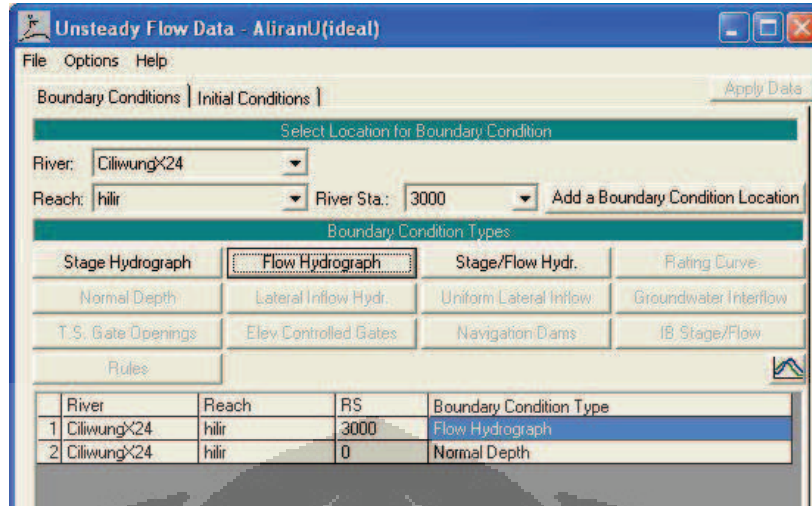
Selanjutnya adalah menentukan kondisi batas untuk saluran ini. Kondisi batas ditetapkan sama untuk semua data aliran. Dari semua opsi untuk menentukan kondisi batas dipilih kedalaman normal sebagai kondisi batas aliran. Perhitungannya dengan menggunakan persamaan umum *friction Slope* (Persamaan 2.31). Nilai Q pada persamaan tersebut didapat dengan meratakan 11 debit yang disimulasikan sehingga didapat angka 17,5 m³/s Dengan memasukkan Nilai A sebesar 31,08 m², R sebesar 0,95 m, dan koefisien Manning (n) yang dipilih berdasarkan nilai yang sering dipakai yaitu 0,00425, maka didapat nilai S_f sebesar 0,000613 (Gambar 4.18).



Gambar 4. 18 Kondisi Batas Hilir

4.2.2 Komponen Aliran *Unsteady*

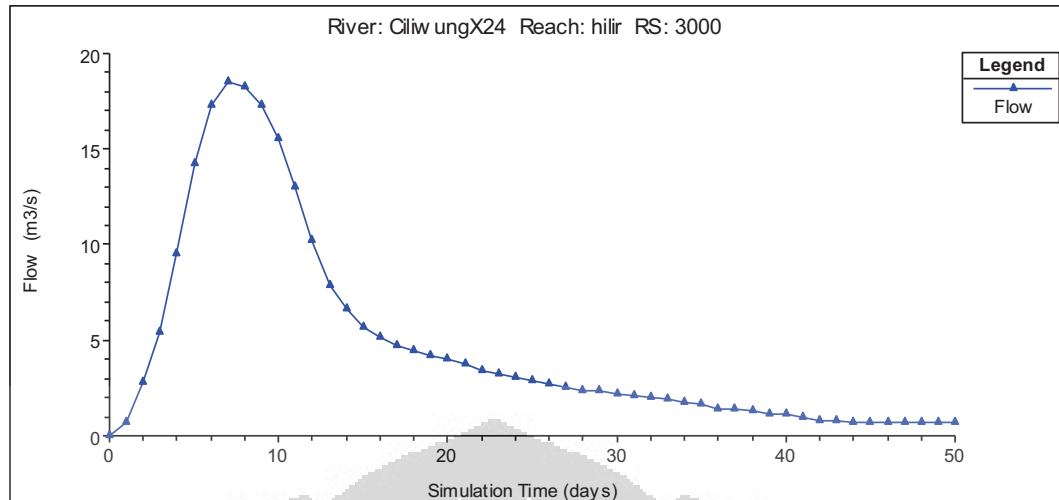
Untuk memulai memasukkan data aliran *unsteady*, kita memilih opsi *unsteady flow data* pada jendela utama HEC-RAS. Selanjutnya kita diminta untuk memilih tipe kondisi batas untuk hulu dan hilir saluran. Untuk bagian hulu yaitu di stasiun 3000 kondisi batasnya berupa *hydrograf flow* dan untuk bagian hilir kondisi batasnya berupa *normal depth* (Gambar 4.19). Dengan meng-klik *flow hydrograph* data-data debit dimasukkan ke dalam tabel yang ada (Gambar 4.20). Pilih interval waktu antara tiap debit sebesar satu hari. Selanjutnya klik opsi *plot data* maka akan keluar grafik hidrograf seperti Gambar 4.50. Untuk kondisi batas hilir di stasiun nol, dipilih *normal depth*. dan besarnya S_f dibuat sama dengan pada aliran *steady*.



Gambar 4. 19 Data Aliran *Unsteady*

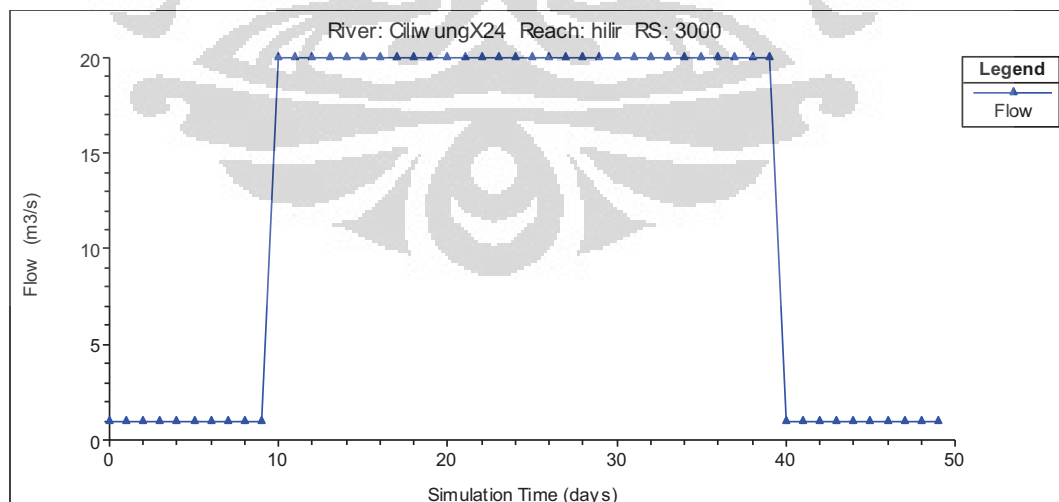


Gambar 4. 20 Input Hydrograph



Gambar 4.21 Plot Hidrograf Ideal

Plot hidrograf seperti diatas disimulasikan untuk setiap kasus dan konfigurasi perancah. Hidrograf ini merupakan debit banjir yang dihitung di Pintu Air Manggarai, diambil dari Skripsi Mursid yang berjudul Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Daerah Aliran Sungai Ciliwung Terhadap Debit Banjir (1997). Simulasi dijalankan berdasarkan hitungan waktu per hari. Namun untuk mengecek kestabilan program ini dalam menghitung simulasi aliran *unsteady*, dimasukkan juga hidrograf kotak seperti pada gambar 4.22 ke dalam simulasi untuk kasus konfigurasi perancah X0,4-Y1.



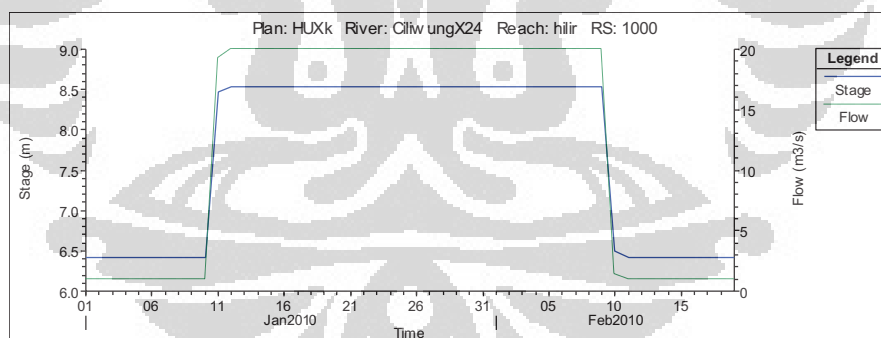
Gambar 4.22 Hidrograf Kotak

4.3. Hasil Dan Analisa Simulasi *HEC-RAS*

Setelah melalui proses *running* maka profil muka air untuk tiap-tiap kasus baik *steady* maupun *unsteady* dapat ditampilkan. Tampilannya dapat berupa grafik maupun tabel. Untuk hasil simulasi aliran *steady*, ketinggian muka air berubah terhadap perubahan debit yang dialirkan. Sedangkan untuk aliran *unsteady* hasil simulasi dalam grafik maupun tabel berubah berdasarkan perubahan waktu.

Sebelum mengalirkan hidrograf ideal seperti pada gambar 4.21 pada setiap kasus yang dibuat, pengecekan terhadap kestabilan *HEC-RAS* dalam menghitung aliran *unsteady* dilakukan. Setelah hidrograf kotak disimulasikan, hasilnya dapat terlihat pada gambar 4.23 yang merupakan gambar hidrograf pada stasiun 1000 dimana aliran telah melewati penyempitan.

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa bentuk hidrograf kotak dapat bertahan dan tidak berubah bentuk dari mulai dialirkan pada stasiun 3000 (hulu saluran) hingga kemudian sampai pada stasiun 1000 (akhir penyempitan). Hal ini menunjukkan bahwa program *HEC-RAS* dapat stabil saat melakukan perhitungan simulasi aliran *unsteady*.



Gambar 4. 23 Output Hidrograf Kotak Pada Stasiun 1000

4.3.1. Output Saluran Tanpa Penyempitan

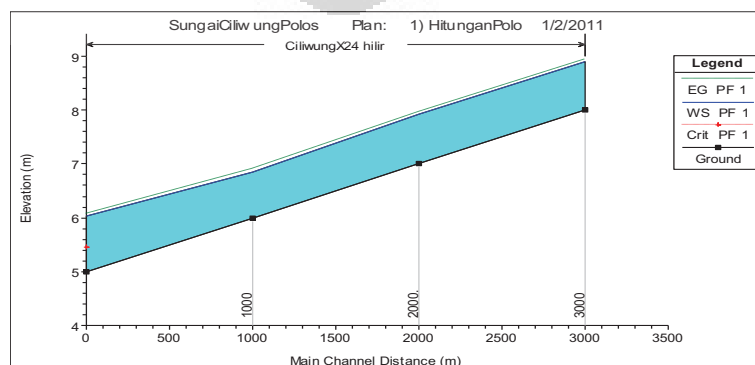
Dengan memilih menu *View Profiles*, kita dapat mengetahui profil muka air yang terbentuk pada saluran yang disimulasikan. Yang pertama akan dijelaskan yaitu profil muka air dari saluran tanpa penyempitan bagian hilir. Dari tabel 4.2, dapat dilihat bahwa kedalaman air mengalami penurunan dari stasiun 3000 ke stasiun 2000 dan kenaikan dari stasiun 2000 ke stasiun 0. Penurunan kedalaman dari

0,89 menjadi 0,92 disebabkan adanya kehilangan energi yang terjadi ketika air melewati stasiun 3000 menuju stasiun 2000. Oleh karena tidak terjadi perubahan penampang sepanjang saluran, maka kehilangan energi yang terjadi diakibatkan oleh gesekan air dengan lantai dan dinding saluran.

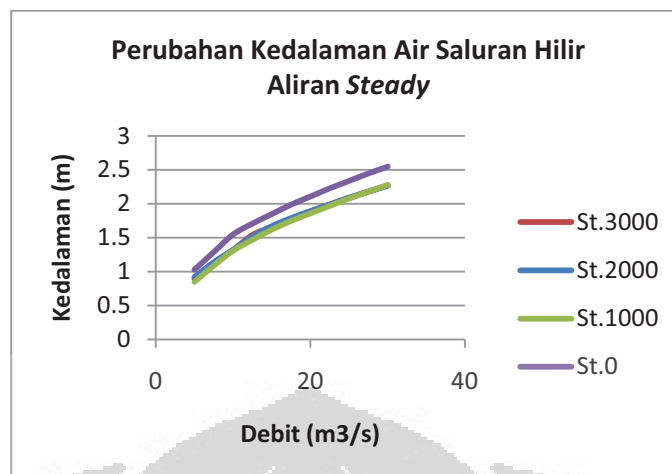
Sedangkan, dari stasiun 2000 ke stasiun 0, kedalaman air meningkat dari 0,85 m menjadi 1.03 m. Hal ini menandakan terjadi pelepasan energi ketika air lewat diantara kedua stasiun tersebut. Berdasarkan rumus bilangan Froude, panjang saluran dan kecepatan mempengaruhi tipe aliran yang terjadi, baik subkritis, kritis, ataupun superkritis. Karena panjang saluran dibuat tetap, maka perubahan bilangan froude yang terjadi diakibatkan terjadinya perubahan kecepatan. Namun demikian, karena besarnya bilangan Froude pada semua stasiun dibawah 1 maka aliran yang terjadi adalah aliran subkritis. Gambar 4.24 merupakan profil muka air dari saluran ini. Sedangkan gambar 4.25 merupakan grafik yang menampilkan perubahan ketinggian muka air untuk tiap stasiun terhadap perubahan debit aliran *steady*.

Tabel 4. 2 Hasil Simulasi Saluran Tanpa Penyempitan Hilir

River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Depth (m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Froude # Chl
3000	5	8	8.89	0.89	8.94	0.99	0.33
2000	5	7	7.92	0.92	7.96	0.96	0.32
1000	5	6	6.85	0.85	6.9	1.04	0.36
0	5	5	6.03	1.03	6.06	0.84	0.26



Gambar 4. 24 Profil Muka Air Saluran Bagian Hilir

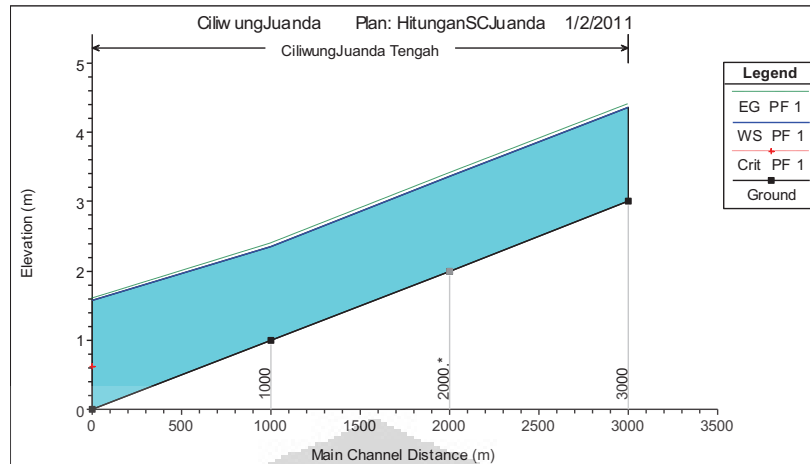


Gambar 4. 25 Grafik Perubahan Kedalaman Saluran Bagian Hilir

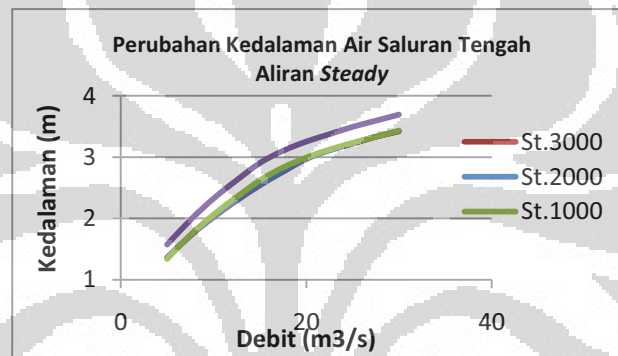
Selanjutnya, untuk saluran tanpa penyempitan bagian tengah kedalaman air dapat dilihat pada tabel 4.3. Perubahan kedalaman air pada saluran ini dapat dilihat pada tabel tersebut. Kehilangan energi terjadi dari stasiun 3000 ke stasiun 1000. Hal ini ditandai dengan turunnya ketinggian muka air serta naiknya kecepatan pada segmen saluran tersebut. Sedangkan pelepasan energi terjadi dari stasiun 1000 ke stasiun 0 yang ditandai oleh kecepatan aliran yang berkurang. Profil muka air yang terbentuk sepanjang saluran dapat dilihat pada gambar 4.26. Air mengalir dari kanan ke kiri. Gambar 4.27 merupakan grafik perubahan ketinggian air terhadap perubahan debit dan perbandingannya untuk tiap stasiun.

Tabel 4. 3 Hasil Simulasi Saluran Tanpa Penyempitan Bagian Tengah

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Depth	E.G. Elev	Vel Chnl	Froude # Chl
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	
3000	5	3	4.36	1.36	4.4	0.94	0.29
2000	5	2	3.36	1.36	3.41	0.94	0.29
1000	5	1	2.34	1.34	2.39	0.96	0.29
0	5	0	1.57	1.57	1.6	0.79	0.23



Gambar 4.26 Profil Muka Air Saluran Bagian Tengah

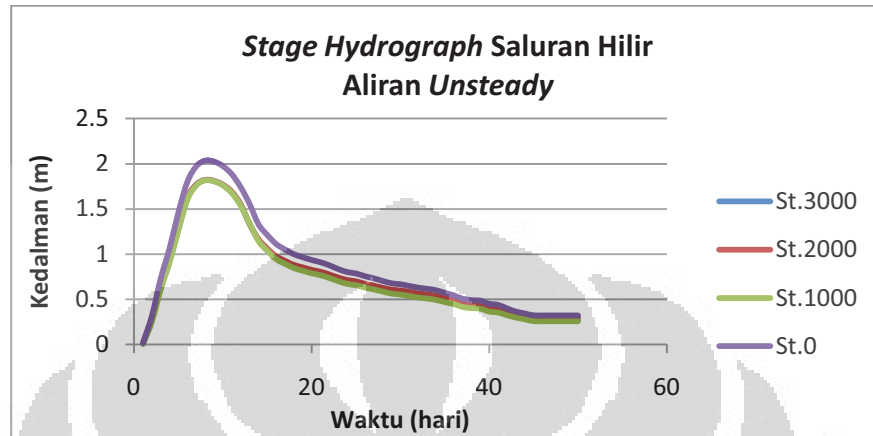


Gambar 4.27 Grafik Kedalaman Air Saluran Bagian Tengah

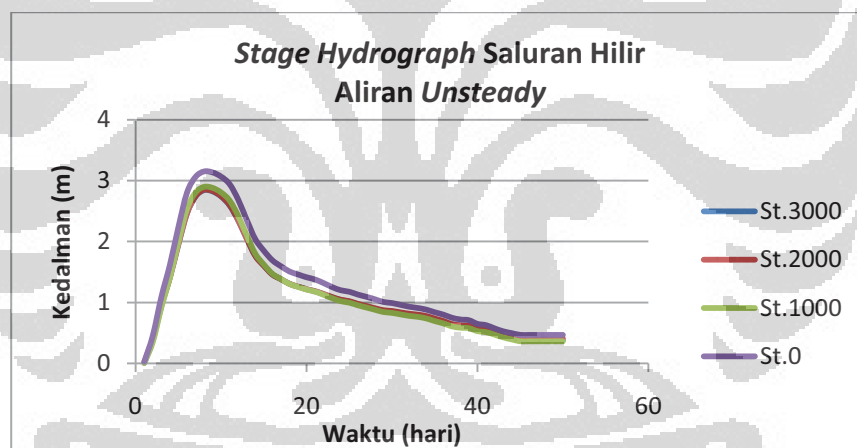
Bila dibandingkan antara kedalaman air pada tabel 4.2 dan tabel 4.3 terlihat bahwa justru saluran tanpa penyempitan bagian tengah memiliki kedalaman air yang lebih tinggi padahal luas penampang basah totalnya lebih besar daripada saluran bagian hilir. Hasil ini disebabkan karena luas penampang basah *main channel* dari saluran tengah lebih kecil dibandingkan luas penampang basah dari saluran hilir. Sedangkan, lebar bantaran dari saluran tengah lebih besar. Akibatnya ketika aliran yang melewati saluran memiliki debit yang kecil, air hanya mengisi bagian *main channel* saja, sehingga muka air pada *main channel* saluran tengah lebih tinggi dibanding pada saluran hilir.

Jika Untuk aliran *unsteady*, hasil perhitungan yang ditampilkan berupa *stage hydrograph*. Gambar 4.28 dan 4.29 menjelaskan perubahan kedalaman air terhadap waktu dan perbandingannya dengan tiap-tiap stasiun. Tidak jauh berbeda dengan hasil simulasi *steady* pada kedua grafik ini juga tampak bahwa ketinggian

muka air di stasiun 0 merupakan yang paling tinggi. Penyebabnya adalah gesekan air dengan dasar sepanjang saluran membuat kecepatan aliran berkurang sehingga ketinggian muka air bertambah.



Gambar 4. 28 Grafik Stage Hydrograph Saluran Hilir



Gambar 4. 29 Grafik Stage Hydrograph Saluran Tengah

4.3.2. Output Simulasi Saluran Berperancah

Berikut akan dijelaskan *output* perhitungan dari simulasi untuk saluran berperancah. Penjelasan terdiri dari *output* untuk aliran *steady* dan *output* untuk aliran *unsteady* untuk masing lebar bukaan. Yang menjadi fokus pembahasan untuk keduanya adalah perubahan kedalaman air pada tiap-tiap stasiun pada saluran, serta penyebab perubahan yang terjadi.

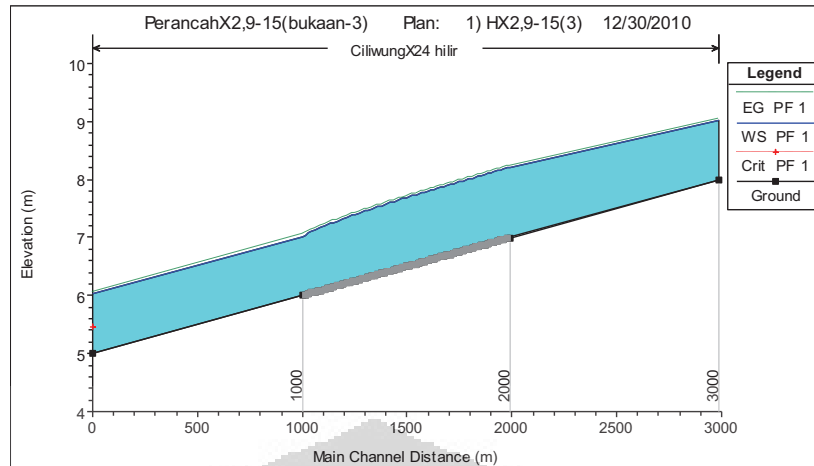
Untuk tipe bukaan 3 m, grafik hubungan antara kedalaman air dan debit aliran untuk tiap stasiun diwakili oleh Konfigurasi X2,9-Y1, Konfigurasi X1,4-Y1, dan Konfigurasi X0,5-Y1 karena ketiga konfigurasi tersebut adalah konfigurasi dengan jarak antar perancah searah aliran paling rapat. Sehingga dianggap konfigurasi ini dapat mewakili konfigurasi lain dengan jarak yang lebih besar.

Gambar 4.30 menampilkan profil muka air untuk Konfigurasi X2,9-Y1 dimana jarak antar perancah melintang sungai sebesar 2,9 m serta jarak antar perancah searah aliran sebesar 1m. Pada profil muka air ini terlihat ada aliran yang tertahan sebelum stasiun 1000 ke arah hulu. Muka air normal di stasiun 3000, namun bertambah tinggi ke arah stasiun 2000. Diantara stasiun 2000 dan stasiun 1000 tampak muka air sedikit cembung karena disinilah letak perancah-perancah yang mengurangi luas profil melintang saluran secara tiba-tiba berawal. Kehilangan energi akibat kekasaran dasar saluran juga turut mempengaruhi perubahan ketinggian air yang terjadi dari hulu ke hilir. Pada segmen ini kecepatan aliran melambat.

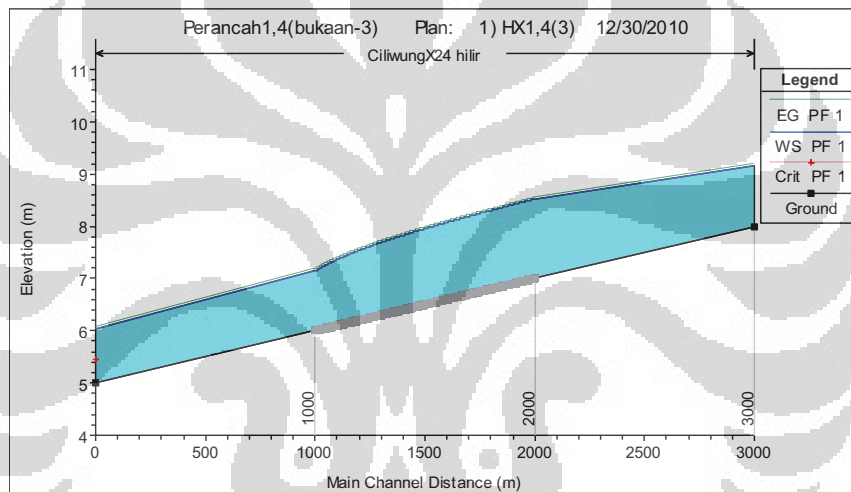
Ketinggian air mulai menurun dari stasiun 1000 hingga stasiun 0. Oleh karena pada stasiun 1000 terjadi ekspansi saluran secara tiba-tiba, energi yang tadinya tertahan oleh perancah kini terlepas secara tiba-tiba. Hal ini menyebabkan pada segmen ini kecepatan aliran bertambah.

Hal yang sama pun terjadi pada profil muka air untuk Konfigurasi X1,4-Y1 dan X0,5-Y1 dengan jarak melintang saluran berturut-turut sebesar 1,4 m dan 0,5 m. Terjadi pembendungan aliran dari stasiun 1000 ke arah hulu yang menyebabkan ketinggian air meningkat. Sedangkan terjadi penurunan ketinggian muka air dari stasiun 1000 hingga stasiun 0 yang diikuti dengan bertambahnya kecepatan aliran.

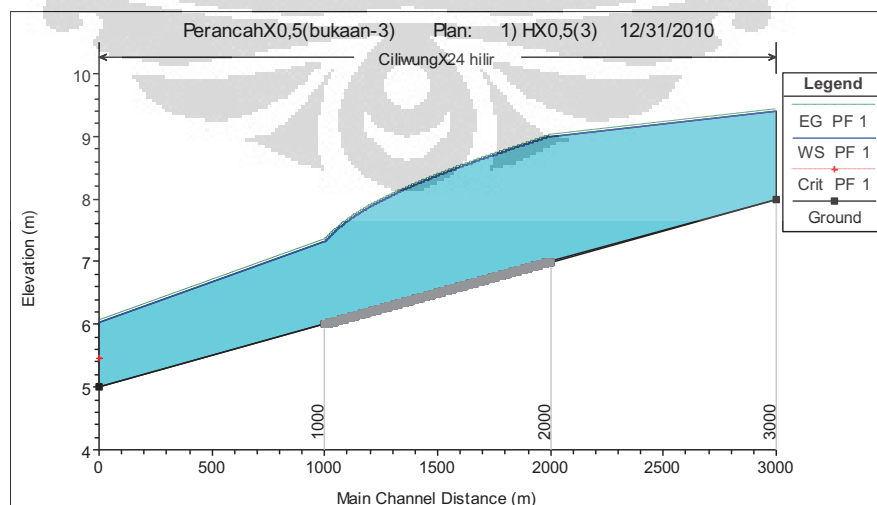
Jika dilihat dari profil muka air ketiga konfigurasi tersebut, dapat diketahui bahwa dari Konfigurasi X2,9-Y1 hingga konfigurasi X0,5-Y1 muka air semakin cembung. Ini menandakan bahwa pembendungan yang terjadi semakin tinggi jika jarak antar perancah melintang sungai semakin rapat.



Gambar 4. 30 Profil Muka Air *Steady* Konfigurasi 2,9-Y1

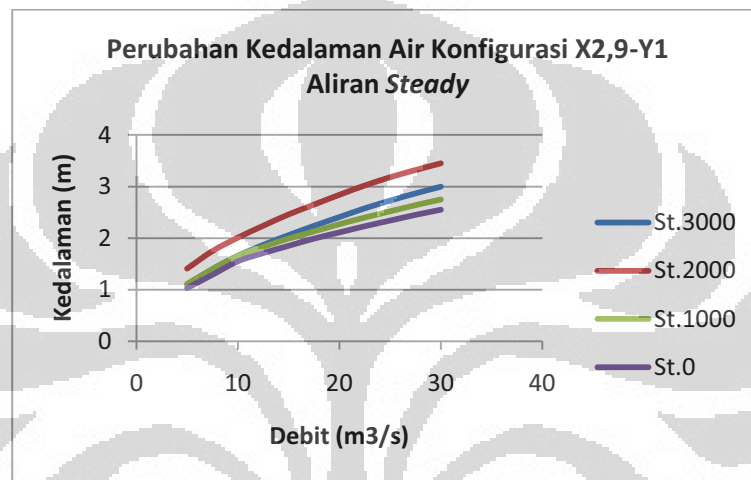


Gambar 4. 31 Profil Muka Air *Steady* Konfigurasi 1,4-Y1

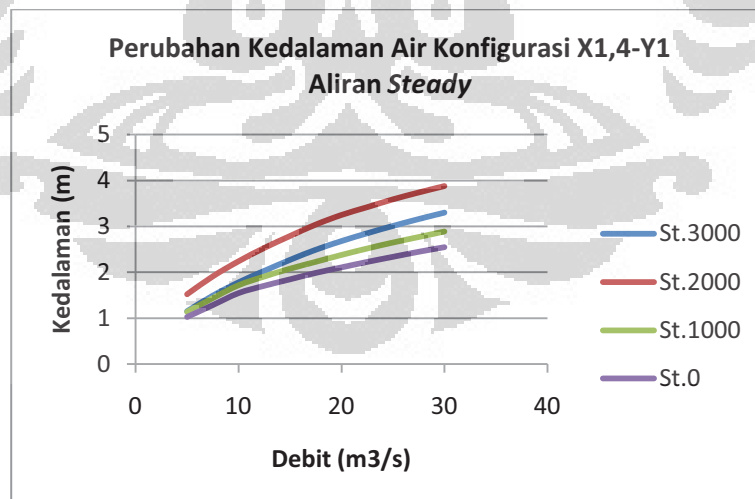


Gambar 4. 32 Profil Muka Air *Steady* Konfigurasi 0,5-Y1

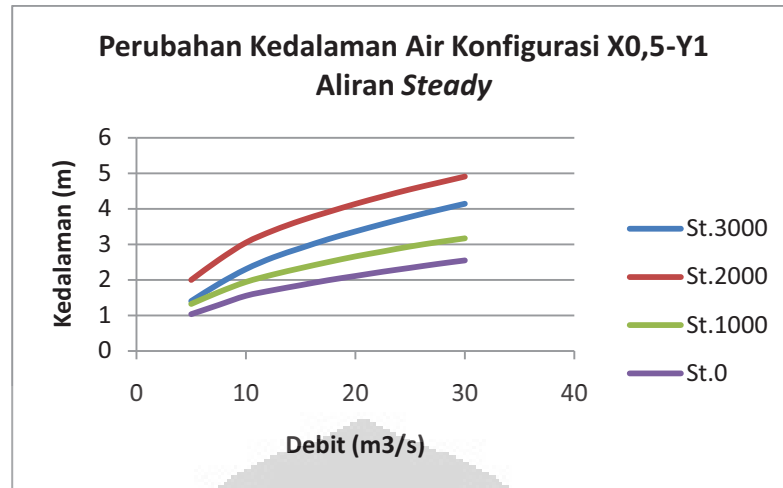
Gambar 4.33 hingga gambar 4.35 merupakan grafik yang membandingkan ketinggian air dari stasiun 0 hingga stasiun 1000 untuk tiap nilai debit aliran *steady* yang dialirkan. Di ketiga grafik tersebut terlihat bahwa pada stasiun 2000 muka air berada pada ketinggian paling besar. Hal ini disebabkan karena pada stasiun 2000 penyempitan lebar saluran berawal. Aliran subkritis yang mengalir dari stasiun 3000 tiba-tiba terhalang oleh perancah yang juga meredam energi aliran.



Gambar 4. 33 Grafik Kedalaman Aliran *Steady* Konfigurasi X2,9-Y1

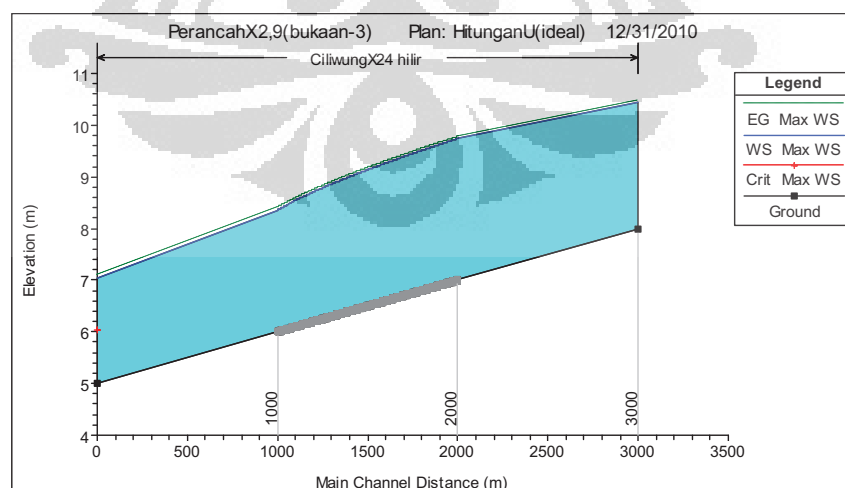


Gambar 4. 34 Grafik Kedalaman Aliran *Steady* Konfigurasi X1,4-Y1

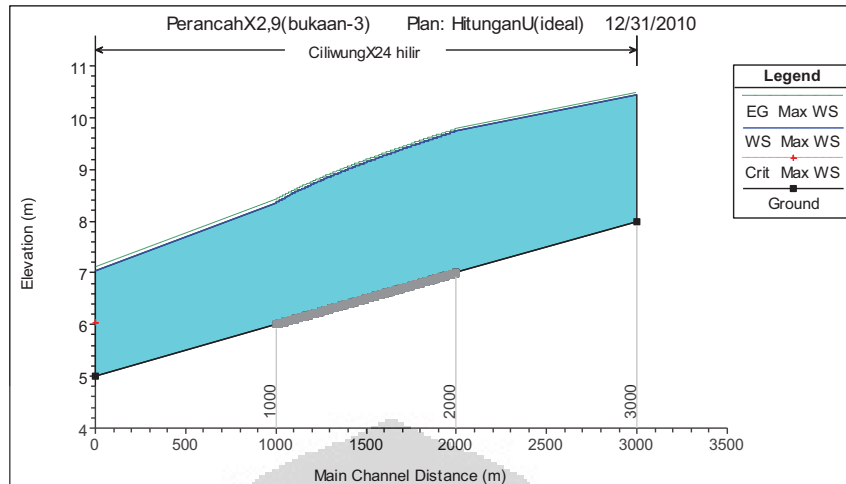


Gambar 4.35 Grafik Kedalaman Aliran *Steady* Konfigurasi X0,5-Y1

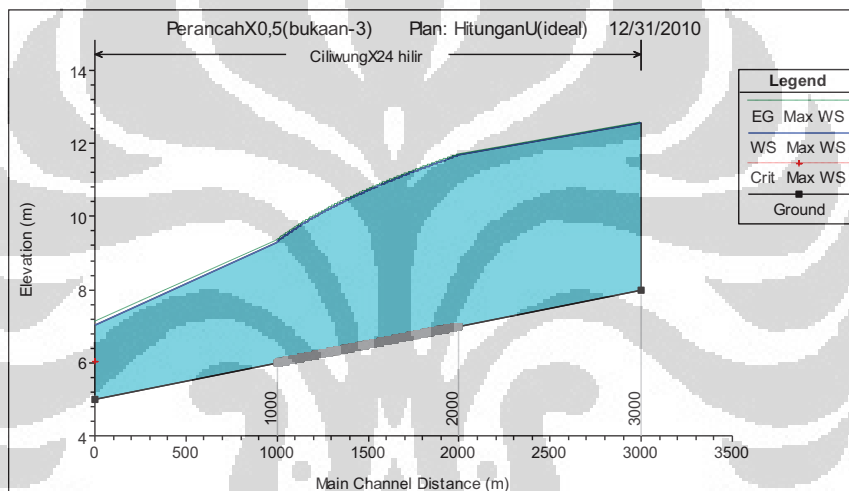
Untuk hasil simulasi *unsteady* profil muka airnya terlihat dari gambar hasilnya dapat dilihat pada gambar 4.36, gambar 4.37, dan gambar 4.38. Pada ketiga grafik tersebut terjadi kenaikan muka air dari stasiun 1000 ke stasiun 2000. Hal ini menunjukkan pembendungan yang terjadi akibat perancah. Muka air paling rendah pun juga berada pada stasiun 0 yang disebabkan oleh adanya pelepasan energi tiba-tiba sehingga kecepatan aliran meningkat pada segmen tersebut. *Stage hydrograph* untuk stasiun 3000 dari konfigurasi X2,9-Y1 hingga X0,5-Y1 semakin lama semakin mendekati *stage hydrograph* pada stasiun 2000. Hal ini menandakan bahwa semakin rapat perancah yang menghalangi aliran, maka pengaruh pembendungan yang terjadi semakin jauh ke hulu.



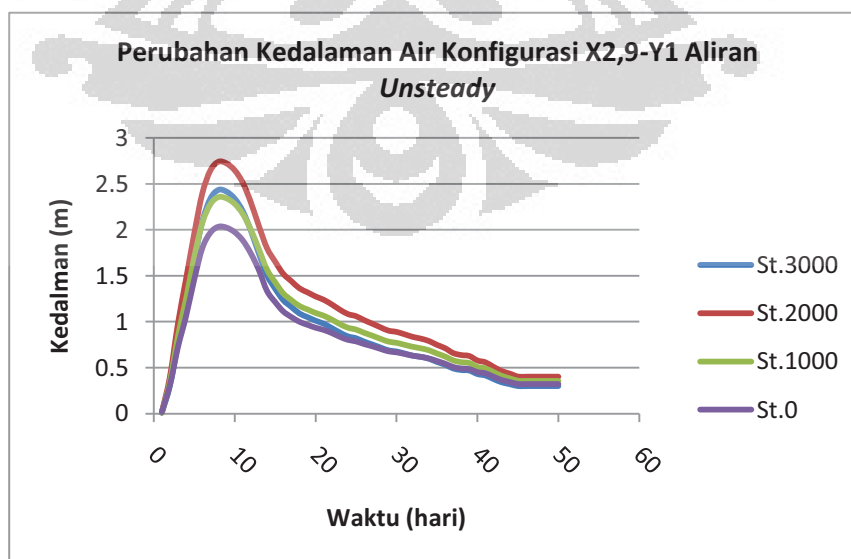
Gambar 4.36 Profil Muka Air *Unsteady* Konfigurasi 2,9-Y1



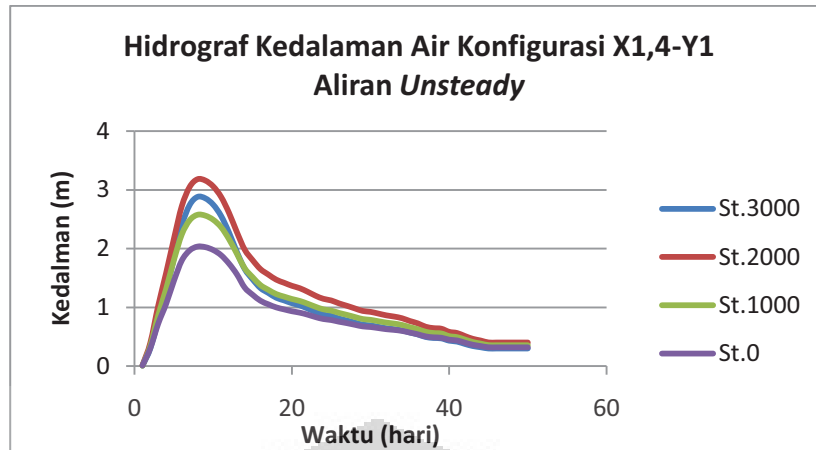
Gambar 4. 37 Profil Muka Air *Unsteady* Konfigurasi 1,4-Y1



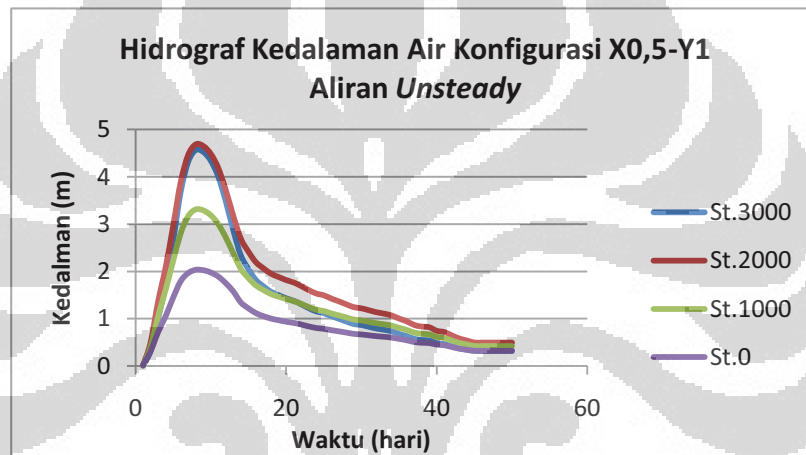
Gambar 4. 38 Profil Muka Air *Unsteady* Konfigurasi 0,5-Y1



Gambar 4. 39 Grafik *Stage Hydrograph* Konfigurasi X2,9-Y1



Gambar 4. 40 Grafik *Stage Hydrograph* Konfigurasi X1,4-Y1

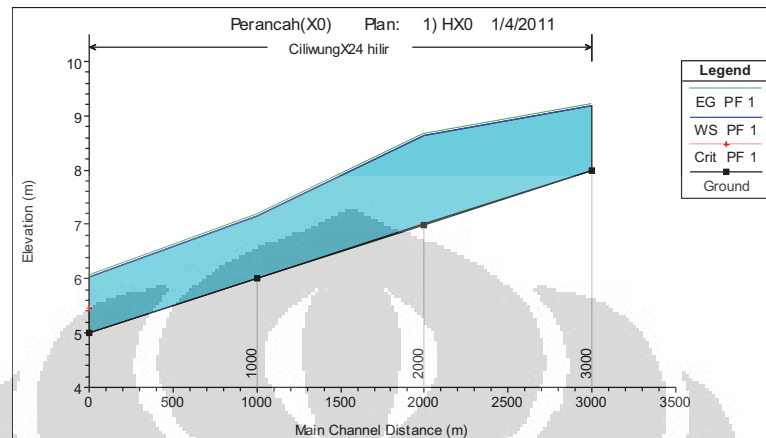


Gambar 4. 41 Grafik *Stage Hydrograph* Konfigurasi X0,5-Y1

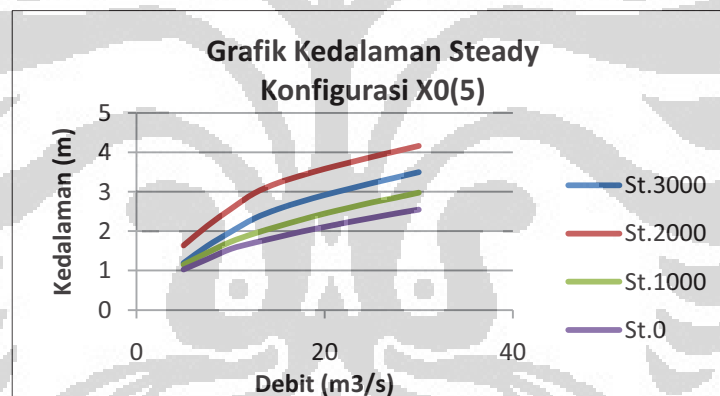
4.3.3. *Output* Simulasi Saluran Terblok

Persentase pembendungan juga dihitung untuk saluran dengan blok yang menjadi penyebab penyempitan saluran. Dengan adanya perkerasan ini, air tidak mengalir melalui bantaran saluran, namun hanya mengalir melalui bukaan di tengah saluran. Gambar 4.41 menunjukkan perubahan kedalaman untuk blok perkerasan dengan bukaan 5 m. Karakteristik aliran yang terbentuk tidak berbeda dengan saluran berperancah. Pada stasiun 2000 pembendungan terjadi paling besar. Muka airnya paling tinggi karena di stasiun inilah luas penampang basah saluran menyempit drastis dari 15 m menjadi 5m. Penyempitan secara tiba-tiba inilah yang menimbulkan efek pembendungan aliran ke arah hulu karena energi yang dibawa oleh aliran tertahan dengan adanya penghalang tersebut. Daya tampung

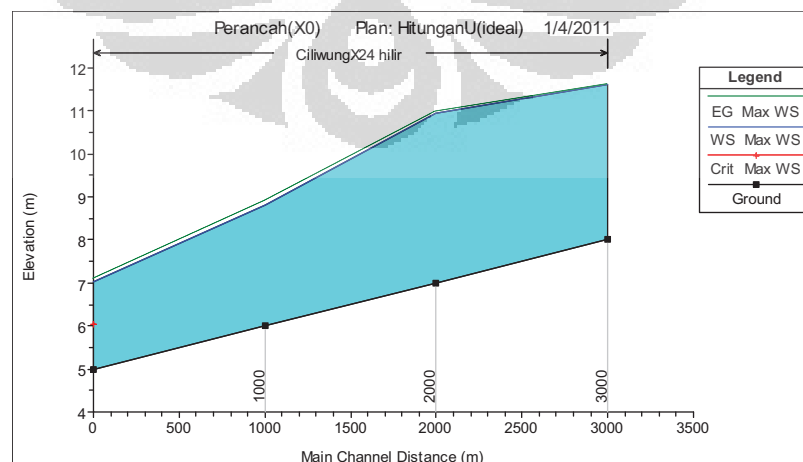
saluran pun kemudian berkurang. Dari stasiun 2000 hingga stasiun 1000 tinggi muka air semakin turun. Dari stasiun 1000 ke stasiun 0 aliran kemali turun hingga mencapai kedalaman normal.



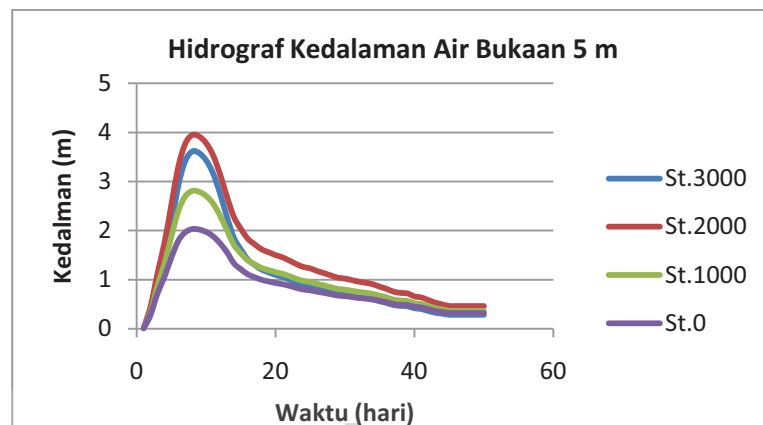
Gambar 4. 42 Profil Muka Air *Steady* Konfigurasi X0(5)



Gambar 4. 43 Grafik Kedalaman Aliran *Steady* Konfigurasi X0(5)



Gambar 4. 44 Profil Muka Air *Unsteady* Konfigurasi X0(5)



Gambar 4. 45 Grafik Kedalaman Aliran *Steady* Konfigurasi X0(7)

4.3.4. Analisa Hubungan Kerapatan Perancah Terhadap Perubahan Kenaikan Muka Air Untuk Aliran *Steady*

Untuk menganalisa hubungan perubahan konfigurasi perancah terhadap kenaikan muka air langkah pertama adalah dengan membuat persentase tinggi muka air pada saluran berperancah dengan saluran tanpa perancah. Oleh karena saluran yang dipasang perancah merupakan sungai bagian hilir, maka tinggi muka air normal yang menjadi acuan adalah tinggi muka air pada saluran tanpa penyempitan bagian hilir. Perubahan persentase muka air akibat perancah ditinjau dari tiga aspek, yaitu perubahan kerapatan perancah searah longitudinal saluran (Y), searah lateral saluran (X), dan akibat dari variasi bukaan di tangan saluran. Ketiga aspek ini kemudian akan dianalisa hubungannya dengan persentase kenaikan tinggi muka air.

Untuk aliran *steady*, hubungan antara kerapatan dan persentase kenaikan muka air disajikan dalam tabel 4.3 dan tabel 4.4 dimana letak titik pengamatan berada pada stasiun 2000 dan 1000. Stasiun 2000 merupakan stasiun dimana penyempitan berawal dan stasiun 1000 dimana penyempitan berakhir. Pada kolom pertama grafik yang ditampilkan merupakan hubungan antara kerapatan perancah searah aliran atau longitudinal untuk masing-masing lebar bukaan. Pada grafik ini jarak antar perancah melintang saluran (X) dibuat tetap, sedangkan jarak antar perancah searah aliran (y) divariasikan menjadi 1 m, 5m, dan 15m.

Pada grafik kerapatan longitudinal dengan bukaan 3 m, terlihat bahwa konfigurasi perancah dengan jarak Y sebesar 1 m, berada paling atas diantara kedua grafik lainnya. Saluran dengan jarak Y sebesar 5 m dan 15 m secara berurutan berada dibawahnya. Karakter seperti ini juga ditunjukkan pada grafik untuk bukaan 5 m dan 7m. Dimana konfigurasi dengan jarak Y 1m selalu berada paling atas dan konfigurasi dengan jarak Y 15m berada paling bawah. Hal ini menunjukkan bahwa semakin rapat jarak perancah searah aliran maka semakin tinggi kenaikan persentase muka air pada stasiun 2000. Hal serupa juga terjadi pada stasiun 1000 dimana perbandingan untuk tiap grafik menampilkan karakteristik yang samadengan stasiun 2000. Yang membedakan adalah pada stasiun 2000 persen kenaikannya secara keseluruhan lebih besar daripada stasiun 1000. Ini membuktikan bahwa pada awal penyempitan, aliran melambat akibat adanya energi yang tertahan.

Hal serupa terjadi pada grafik di kolom kedua, dimana yang disajikan merupakan hubungan antara perubahan kerapatan perancah jarak lateral saluran (X) dan persentase kenaikan muka air. Pada grafik ini, jarak Y dibuat tetap sebesar 1 m untuk tiap-tiap lebar bukaan. Pada grafik bukaan 3 m, jarak X sebesar 0,5 meter berada di paling atas yang menandakan persentase kenaikan muka airnya paling besar. Sedangkan konfigurasi dengan jarak X sebesar 2,9 m berada paling bawah yang berarti persentase kenaikan muka airnya paling kecil.

Bila tabel 4.3 yang menampilkan hubungan kerapatan dan kenaikan muka air pada stasiun 2000 dan tabel 4.4 pada stasiun 1000 dibandingkan, maka secara keseluruhan persentase kenaikan muka air semakin ke hulu semakin turun. Hal ini disebabkan efek pembendungan yang pada saat aliran terhalang perancah. Setelahnya ketinggian air kembali ke kedalaman normal pada stasiun 0 setelah melewati hilir penyempitan.

Hal ini menandakan bahwa untuk aliran *steady* semakin kecil jarak antar perancah atau semakin rapat perancah searah lateral saluran (X) maka persentase kenaikan muka air dari muka air normal semakin kecil. Oleh karena persentase kenaikan muka air untuk bukaan 3 m hingga bukaan 7 m pun semakin ke bawah angkanya

Tabel 4. 1 Hubungan Kerapatan Perancah Dengan Persentase Kenaikan Muka Air Steady Pada Stasiun 2000

Bukaan	Variasi Kerapatan Longitudinal (Y)	Blok	Variasi Kerapatan Lateral (X)
3 m	<p>Perubahan Muka Air St.2000 Konfigurasi X0,5</p> <p>Air(%)</p> <p>Debit Steady (m3/s)</p>	<p>Perubahan Muka Air St.2000 Saluran Terblok</p> <p>(%)</p> <p>Debit Steady (m3/s)</p>	<p>Perubahan Muka Air St.2000 Konfigurasi Y1</p> <p>Air(%)</p> <p>Debit Steady (m3/s)</p>
5 m	<p>Perubahan Muka Air St.2000 Konfigurasi X0,4</p> <p>Air(%)</p> <p>Debit Steady (m3/s)</p>	<p>Perubahan Muka Air St.2000 Saluran Terblok Bukaan 5 M</p> <p>Air(%)</p> <p>Debit Steady (m3/s)</p>	<p>Perubahan Muka Air St.2000 Konfigurasi Y1</p> <p>Air(%)</p> <p>Debit Steady (m3/s)</p>
7 m	<p>Perubahan Muka Air St.2000 Konfigurasi X0,3</p> <p>Air(%)</p> <p>Debit Steady (m3/s)</p>	<p>Perubahan Muka Air St.2000 Saluran Terblok Bukaan 7 M</p> <p>Air(%)</p> <p>Debit Steady (m3/s)</p>	<p>Perubahan Muka Air St.2000 Konfigurasi Y1</p> <p>Air(%)</p> <p>Debit Steady (m3/s)</p>

Tabel 4. 2 Hubungan Kerapatan Perancah Dengan Persentase Kenaikan Muka Air Steady Pada Stasiun 1000

Bukaan	Kerapatan Longitudinal (Y)	Blok	Kerapatan Lateral (X)
3 m	<p>Perubahan Muka Air St.1000 Konfigurasi X0,5</p> <p>Perubahan Muka Air (%)</p> <p>Debit Steady (m3/s)</p>	<p>Perubahan Muka Air St.1000 Saluran Terblok</p> <p>Perubahan Muka Air (%)</p> <p>Debit Steady (m3/s)</p>	<p>Perubahan Muka Air St.1000 Konfigurasi Y1</p> <p>Perubahan Muka Air (%)</p> <p>Debit Steady (m3/s)</p>
5 m	<p>Perubahan Muka Air St.1000 Konfigurasi X0,4</p> <p>Perubahan Muka Air (%)</p> <p>Debit Steady (m3/s)</p>	<p>Perubahan Muka Air St.1000 Saluran Terblok</p> <p>Perubahan Muka Air (%)</p> <p>Debit Steady (m3/s)</p>	<p>Perubahan Muka Air St.1000 Konfigurasi Y1</p> <p>Perubahan Muka Air (%)</p> <p>Debit Steady (m3/s)</p>
7 m	<p>Perubahan Muka Air St.2000 Konfigurasi X0,3</p> <p>Perubahan Muka Air (%)</p> <p>Debit Steady (m3/s)</p>	<p>Perubahan Muka Air St.1000 Saluran Terblok</p> <p>Perubahan Muka Air (%)</p> <p>Debit Steady (m3/s)</p>	<p>Perubahan Muka Air St.1000 Konfigurasi Y1</p> <p>Perubahan Muka Air (%)</p> <p>Debit Steady (m3/s)</p>

semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lebar bukaan pada tengah saluran, maka semakin kecil persentase kenaikan muka air untuk aliran *steady*.

Hubungan tersebut dapat disebabkan oleh meningkatnya kehilangan energi akibat keberadaan perancah semakin besar jika perancah semakin rapat. Kehilangan energi ini bukan hanya disebabkan oleh berkurangnya luas penampang basah saluran secara tiba-tiba akibat adanya perancah, namun juga akibat dari meningkatnya gesekan antara air dengan keliling basah dari perancah.

4.3.4. Analisa Hubungan Kerapatan Perancah Terhadap Perubahan Kenaikan Muka Air Untuk Aliran *Unsteady*

Untuk grafik aliran *unsteady*, perubahan persentase kenaikan muka air ditinjau dari perubahan waktu dalam satuan hari pada tabel 4.5 dan tabel 4.6. Pada grafik kerapatan longitudinal ketiga grafik pada kolom satu, terlihat bahwa konfigurasi perancah dengan jarak Y sebesar 1 m, berada paling atas diantara kedua grafik lainnya. Saluran dengan jarak Y sebesar 5 m dan 15 m secara berurutan berada dibawahnya. Karakter seperti ini juga ditunjukkan pada grafik untuk bukaan 5 m dan 7m. Dimana konfigurasi dengan jarak Y 1 m selalu berada paling atas dan konfigurasi dengan jarak Y 15m berada paling bawah. Pada saluran terblok, persentase kenaikan muka air untuk bukaan 3 m, lebih tinggi dari pada persentase kenaikan muka air pada saluran dengan bukaan 5 m dan 7 m. Sedangkan grafik lebar bukaan 7 m berada paling rendah. Blok ini memberikan pengaruh yang sama dengan perancah terhadap kenaikan muka air. Hal ini menunjukkan bahwa semakin rapat jarak perancah searah aliran maka semakin tinggi persentase kenaikan persentase muka air pada stasiun 2000 untuk aliran *unsteady*.

Pada stasiun 1000 persentase kenaikan muka air menurun dari stasiun 2000. Hal ini menandakan bahwa disepanjang penyempitan energi yang terlepas lebih besar daripada energi yang tertahan. Akibatnya kecepatan aliran berubah terhadap perubahan jarak sepanjang aliran.

Hal serupa terjadi pada grafik di kolom kedua, dimana yang disajikan merupakan hubungan antara perubahan kerapatan perancah jarak lateral saluran (X) dan persentase kenaikan muka air. Pada grafik ini, jarak Y dibuat tetap sebesar 1 m untuk tiap-tiap lebar bukaan. Pada grafik bukaan 3 m, jarak X sebesar 0,5 meter berada di paling atas yang menandakan persentase kenaikan muka airnya paling besar. Sedangkan konfigurasi dengan jarak X sebesar 2,9 m berada paling bawah yang berarti persentase kenaikan muka airnya paling kecil.

Untuk saluran terblok karakteristiknya hampir sama dengan saluran berperancah. Pada saluran terblok dengan bukaan 3 m, kenaikan muka air paling tinggi dibandingkan dengan bukaan 5 m, 7 m. Sedangkan bukaan terlebar sebesar 7 m, memiliki kenaikan muka air paling rendah. Hal ini menunjukkan pula bahwa untuk aliran *unsteady* pemasangan blok pada saluran juga memberikan efek yang sama dengan pemasangan perancah karena blok tersebut sama saja dengan konfigurasi perancah dengan jarak 0 m ke arah X dan Y .

Bila tabel 4.5 yang menampilkan hubungan kerapatan dan kenaikan muka air pada stasiun 2000 dan tabel 4.6 pada stasiun 1000 dibandingkan, maka secara keseluruhan persentase kenaikan muka air semakin ke hulu semakin turun. Hal ini disebabkan efek pembendungan yang pada saat aliran terhalang perancah dan kemudian energi itu terlepas hingga hilir penyempitan. Setelahnya ketinggian air kembali ke kedalaman normal pada stasiun 0.

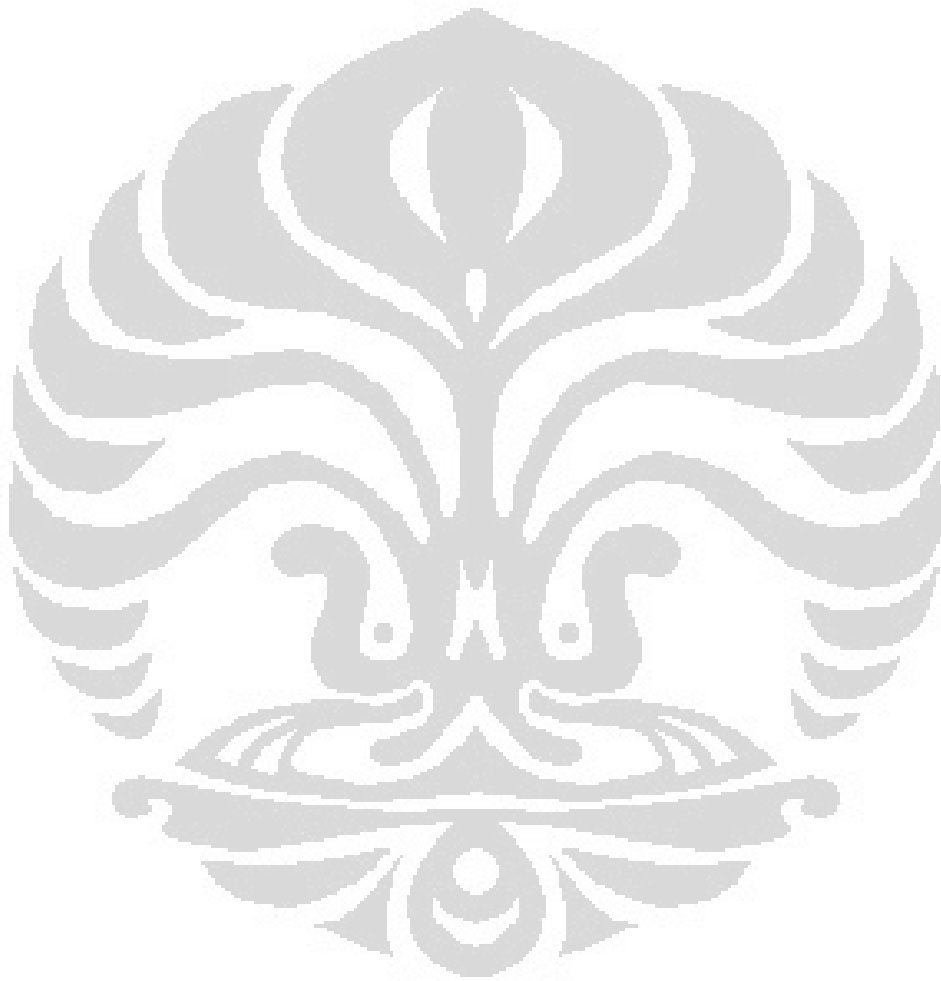
Hal ini menandakan bahwa semakin kecil jarak antar perancah atau semakin rapat perancah searah lateral saluran (X) maka persentase kenaikan muka air dari muka air normal semakin kecil. Oleh karena persentase kenaikan muka air untuk bukaan 3 m hingga bukaan 7 m pun semakin ke bawah angkanya semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lebar bukaan pada tengah saluran, maka semakin kecil persentase kenaikan muka air untuk aliran *steady*. Hubungan tersebut dapat disebabkan oleh meningkatnya kehilangan energi akibat keberadaan perancah semakin besar jika perancah semakin rapat. Kehilangan energi ini bukan hanya disebabkan oleh berkurangnya luas penampang basah saluran secara tiba-tiba akibat adanya perancah, namun juga akibat dari meningkatnya gesekan antara air dengan keliling basah dari perancah.

Tabel 4. 3 Hubungan Kerapatan Perancah Dengan Persentase Kenaikan Muka Air *Unsteady* Pada Stasiun 2000

Bukaan	Variasi Kerapatan Longitudinal (Y)	Blok	Variasi Kerapatan Lateral (X)
3 m			
5 m			
7 m			

Tabel 4. 4 Hubungan Kerapatan Perancah Dengan Persentase Kenaikan Muka Air *Unsteady* Pada Stasiun 1000

Bukaan	Variasi Kerapatan Longitudinal (Y)	Blok	Variasi Kerapatan Lateral (X)
3 m			
5 m			
7 m			



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dengan menggunakan Model *HEC-RAS* ketinggian muka air untuk berbagai kasus pada saluran terbuka dapat disimulasikan baik untuk aliran *steady* maupun *unsteady* dengan tipe aliran subkritis. Pada penelitian ini tipe saluran yang dibuat adalah saluran tanpa penyempitan, saluran dengan penyempitan berupa perancah, dan saluran terblok. Saluran berperancah divariasikan jarak lateral saluran (X), jarak searah aliran (Y), dan lebar bukaan tengah dari lebih renggang ke yang lebih rapat.

Kerapatan perancah di sisi kanan dan kiri saluran berbanding terbalik dengan lebar bukaan, semakin besar lebar bukaan pada tengah profil melintang sungai maka jarak antar perancah searah lateral sungai menjadi lebih kecil. Konfigurasi dengan lebar bukaan 7 m, memiliki jarak perancah terapat sebesar 0,3 m. Sedangkan konfigurasi dengan lebar bukaan 3 m, memiliki jarak perancah terapat sebesar 0,5 m.

Persentase kenaikan muka air dihitung dari ketinggian muka air pada saluran normal yaitu saluran tanpa penyempitan bagian hilir. Berdasarkan simulasi yang telah dijalankan dengan *HEC-RAS*, maka pengaruh penyempitan saluran oleh perancah rumah terhadap persentase kenaikan muka air dari muka air normal dapat terlihat. Untuk aliran *steady* persentase muka air pada stasiun 2000 (awal penyempitan) paling tinggi yaitu sebesar 16,61 % diakibatkan oleh jarak lateral perancah (X) 0,5 m dan jarak longitudinal aliran (Y) 1 m berdasarkan debit aliran tertinggi yaitu $30 \text{ m}^3/\text{s}$. Jarak tersebut merupakan jarak perancah paling rapat pada konfigurasi. Untuk aliran *unsteady* persentase muka air pada stasiun 2000 (awal penyempitan) paling tinggi yaitu sebesar 32,46% diakibatkan oleh jarak X dan Y yang sama dengan simulasi *steady*. Karakteristik ini juga terjadi pada stasiun pengamatan 3000 (hulu saluran), 1000(akhir penyempitan). Selanjutnya dapat disimpulkan bahwa pada kasus penyempitan saluran ini, semakin rapat jarak antar

perancah semakin tinggi pula persentase kenaikan muka airnya sepanjang daerah penyempitan.

Perubahan ketinggian muka air yang terjadi lebih banyak dipengaruhi oleh gaya gesek yang menghambat aliran dibandingkan dengan akibat perubahan momentum. Oleh karena akibat yang ditimbulkan antara saluran berperancah dan saluran terblok memberikan hasil yang sama, maka dapat dikatakan bahwa blok tersebut sebenarnya merupakan perancah dengan jumlah yang sangat banyak, sehingga jarak diantaranya semakin rapat, baik jarak lateral (X) maupun jarak searah aliran (Y).

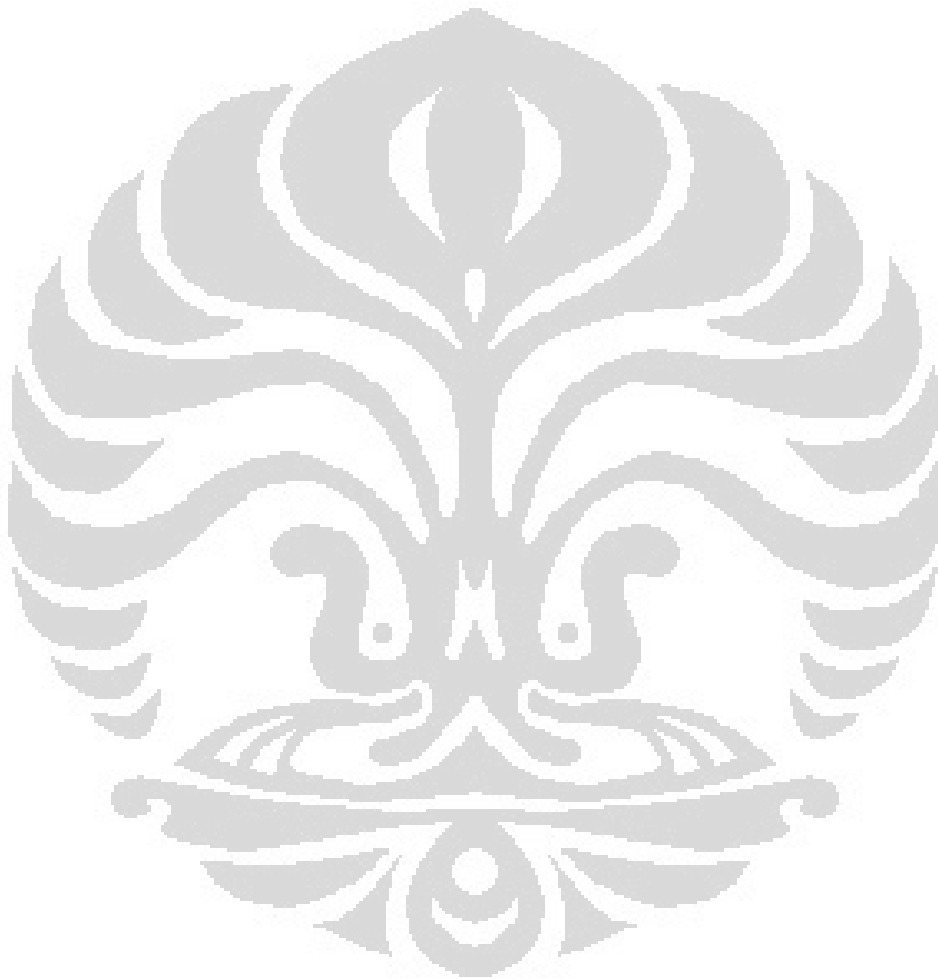
5.2. Saran

Diperlukan variasi lebih banyak pada geometri saluran yang disimulasikan. Pada penelitian ini geometri saluran yang dibuat hanya dengan alur lurus. Untuk penelitian selanjutnya alur sungai dapat dibuat dengan *meander*. Dapat pula diberikan variasi pada lokasi dan konfigurasi perancahnya. Variasi lain yang bisa ditambahkan adalah dengan merubah diameter dari perancah karena pada penelitian ini diameter perancah dibuat tetap sebesar 0,1 m.

Perlu kajian dan pemikiran lebih lanjut untuk menentukan nilai koefisien Manning yang dimasukkan untuk tiap konfigurasi perancah agar nilai koefisien tersebut dapat lebih mewakili bentuk dan konfigurasi perancahnya. Hal ini tentu dapat mempengaruhi hasil perhitungan agar lebih mewakili kondisi nyata. Untuk koefisien kontraksi dan ekspansi yang dipakai masih digeneralisasikan untuk semua jenis kerapatan perancah. Untuk studi lebih lanjut, koefisien ini dapat divariasikan tergantung kerapatan dari perancah yang diaplikasikan.

Pada percobaan ini untuk menentukan nilai dari *friction slope* rumus yang dipakai untuk aliran steady dan unsteady keduanya sama dengan merata-ratakan nilai koefisien Manning dan debit *steady*. Agar hasil dari simulasi lebih presisi maka perlu dilakukan perhitungan yang lebih detail untuk tiap komponen *head loss*.

Pada kondisi nyata perlu dilakukan suatu cara untuk mencegah munculnya perancah pada saluran-saluran yang melewati daerah dengan aktivitas penduduk tinggi. Salah satunya adalah dengan membuat tanggul tegak lurus dasar saluran sehingga kecenderungan untuk memasang perancah pada tanggul yang miring dapat dicegah.



DAFTAR PUSTAKA

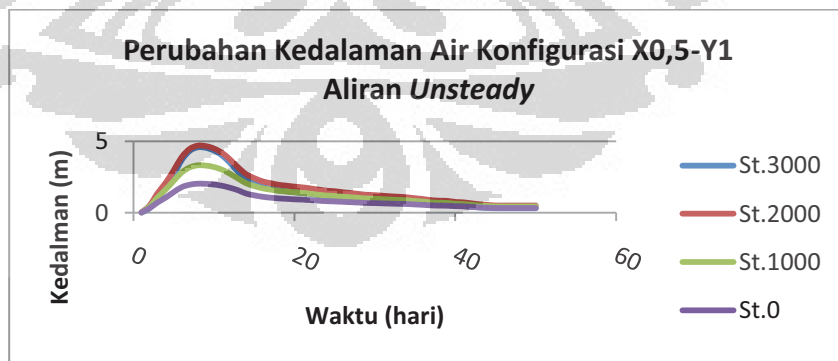
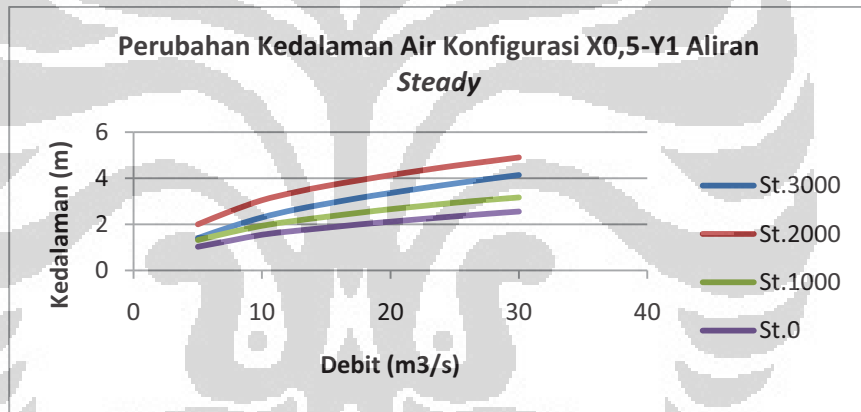
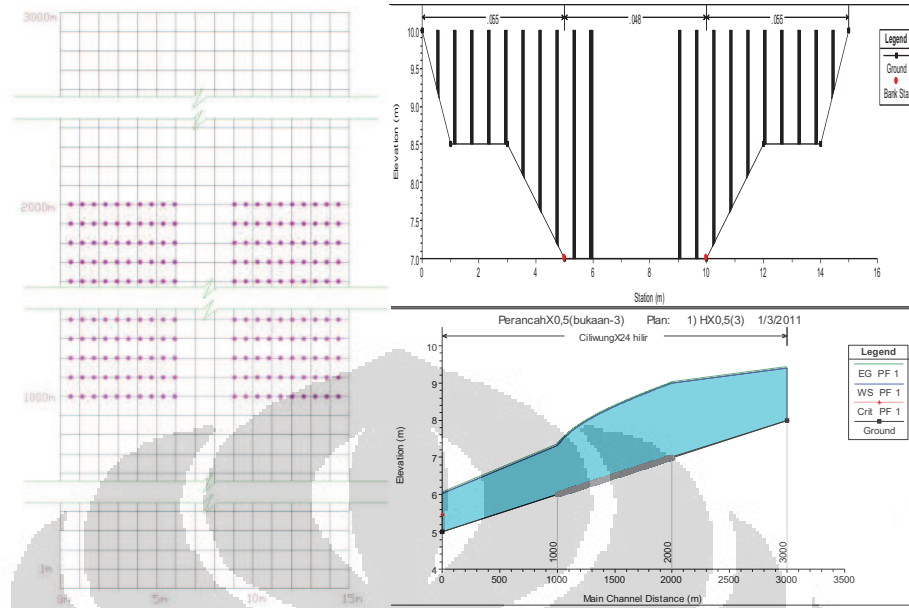
- C. Potter, Merle dan David C. Wiggert. *Mechanics Of Fluids International Edition*, Prentice-Hall, Inc. 1997
- Chow, V.T., *Open Channel Hydraulic*, McGraw-Hill Book Compsny, Inc, New York. 1959
- Brunner, G. W., *HEC-RAS Hydraulic Reference Manual*, US Army Corps Of Engineer. 2008.
- Brunner, G. W., *HEC-RAS Users Manual* US Army Corps Of Engineer. 2008.
- Febriana, Yudha, *Analisis Sistem Drainase Medokan Terhadap Fluktuasi Debit Kali Wonokromo*, Skripsi Sarjana, Teknik Sipil, Program Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia Depok, 2009.
- Mursid, “*Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Daerah Aliran Sungai Ciliwung Terhadap Debit Banjir*”, Skripsi Sarjana, Teknik Sipil, Program Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia Depok, 1997.
- Soeryantono, Herr, *Diktat Mata Kuliah Mekanika Fluida Teknik Sipil Universitas Indonesia*, 2010.
- Sleigh, P. A. dan Goodwill I.M., *The St Venant Equations*, School of Civil Engineering, University of Leeds. 2000.
- Swamee, P.K. dan Basak B.C., *Design Of Open Channel Contraction Transitions*. ASCE, 2010.
- Waluyadi, H., Jayadi R., Legono D., *Kajian Penanganan Banjir Kali Ciliwung Dki Jakarta Ditinjau Dari Aspek Hidro-Ekonomi (Studi Kasus Pada Ruas Cawang – Pintu Air Manggarai)*. Jurnal Forum Teknik Sipil No. XVII/3-September 2007.
- Warner, G. C, Brunner G. W. , Wolf B. C., Piper S. S., *HEC-RAS Aplication Guide*, US Army Corps Of Engineer. 2008.



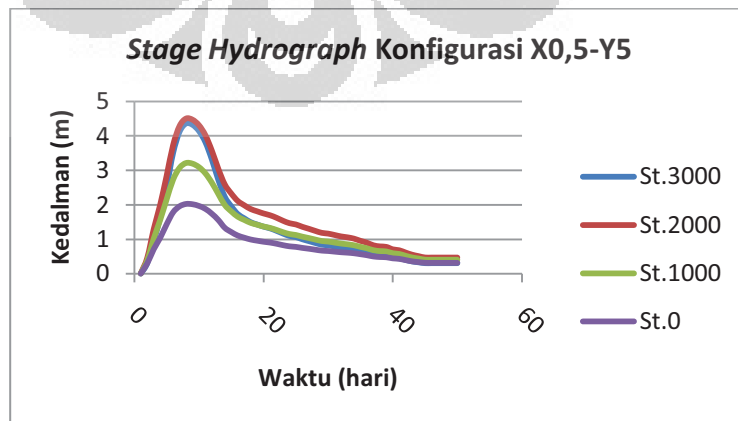
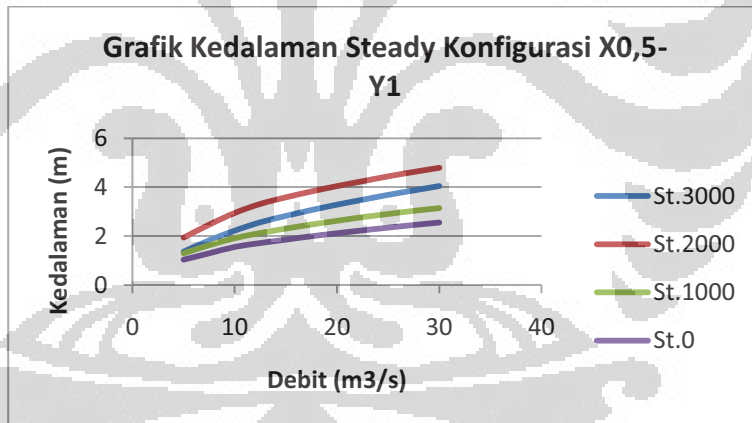
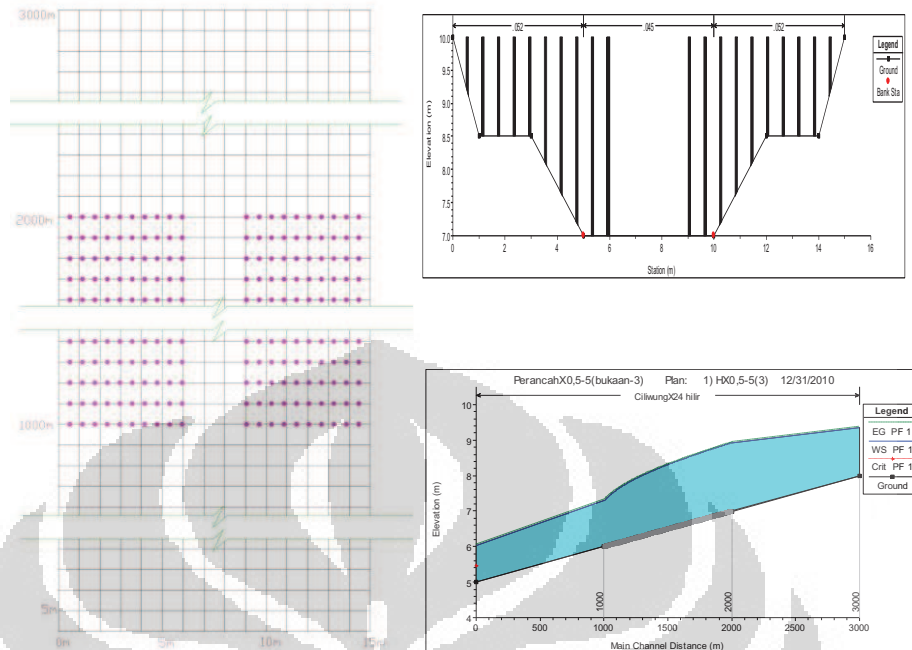
LAMPIRAN 1

GEOMETRI SALURAN DAN HASIL SIMULASI

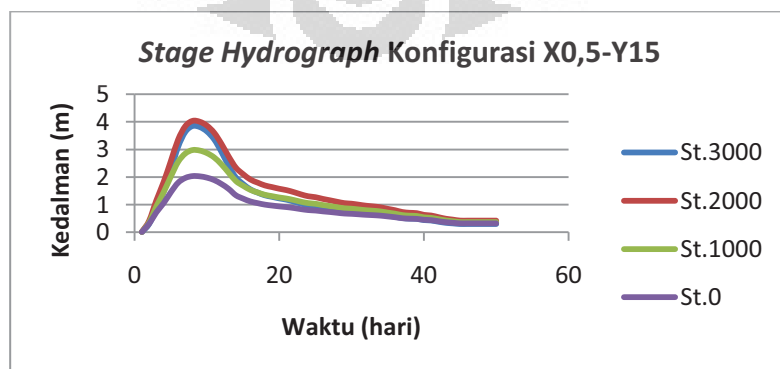
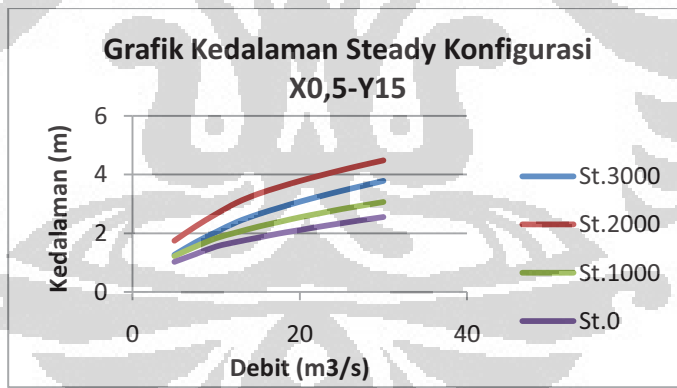
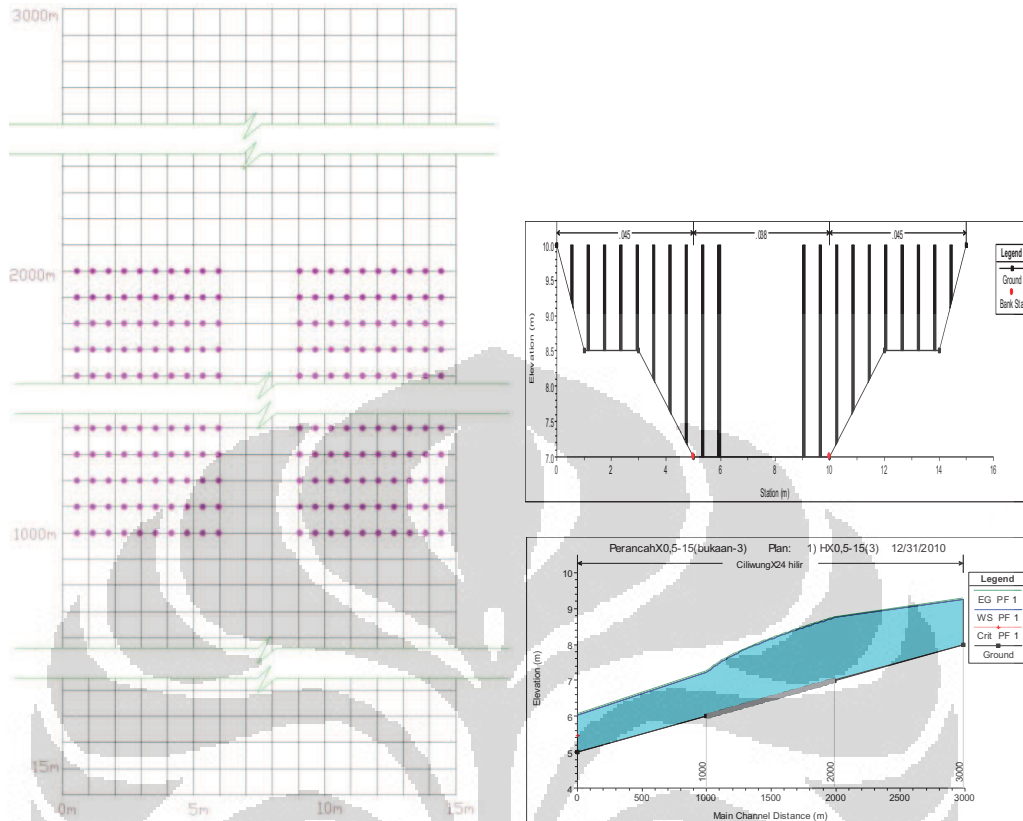
Konfigurasi X0,5-Y1



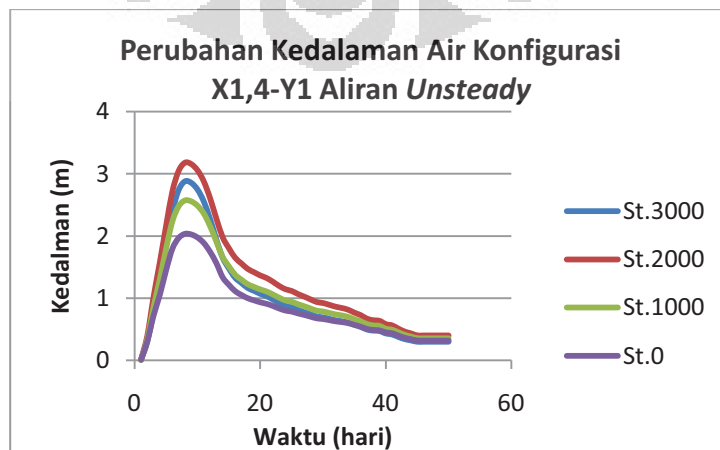
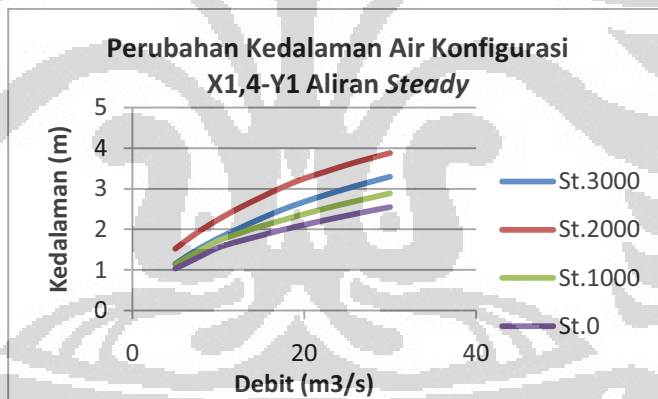
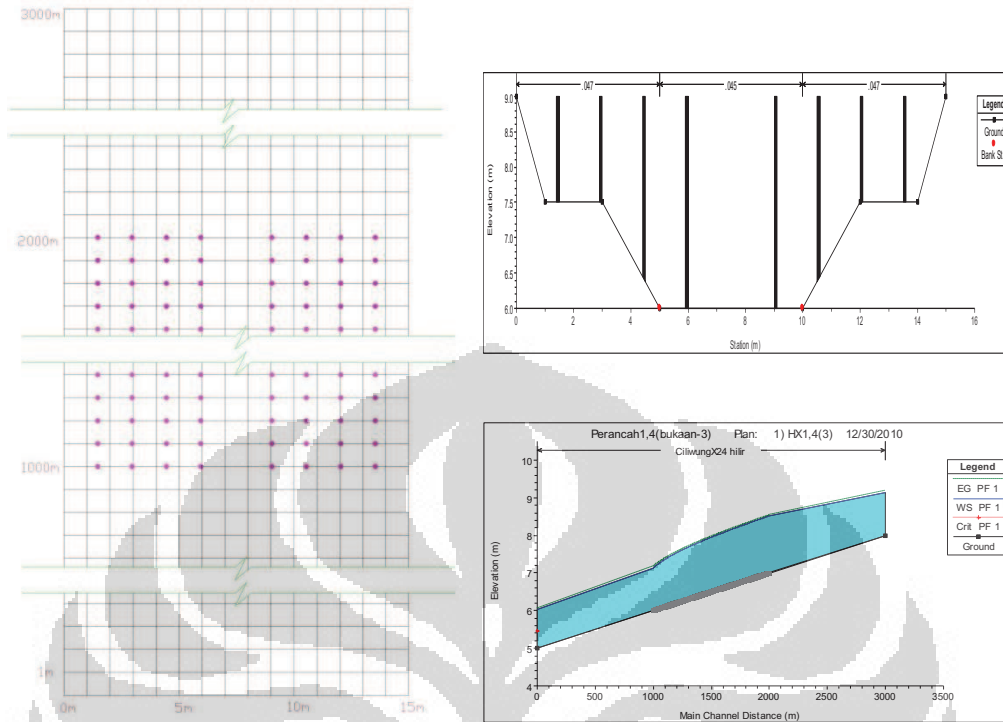
Konfigurasi X0,5-Y5



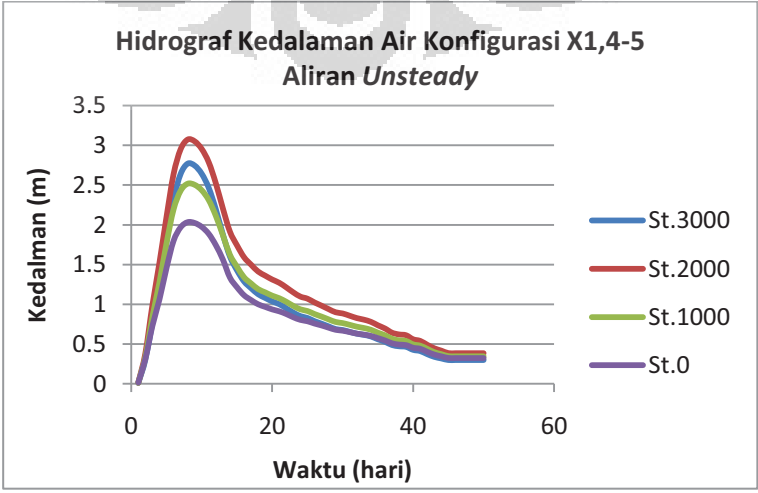
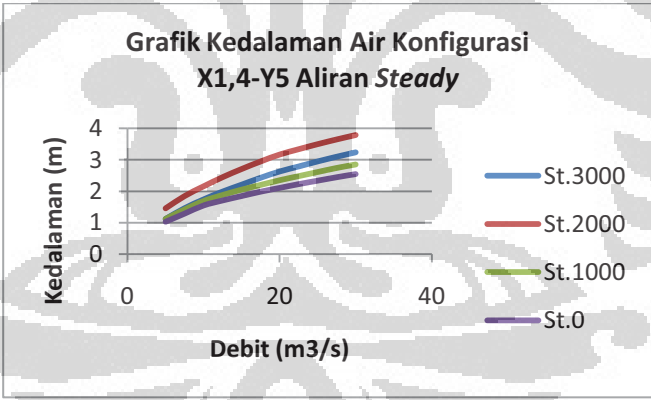
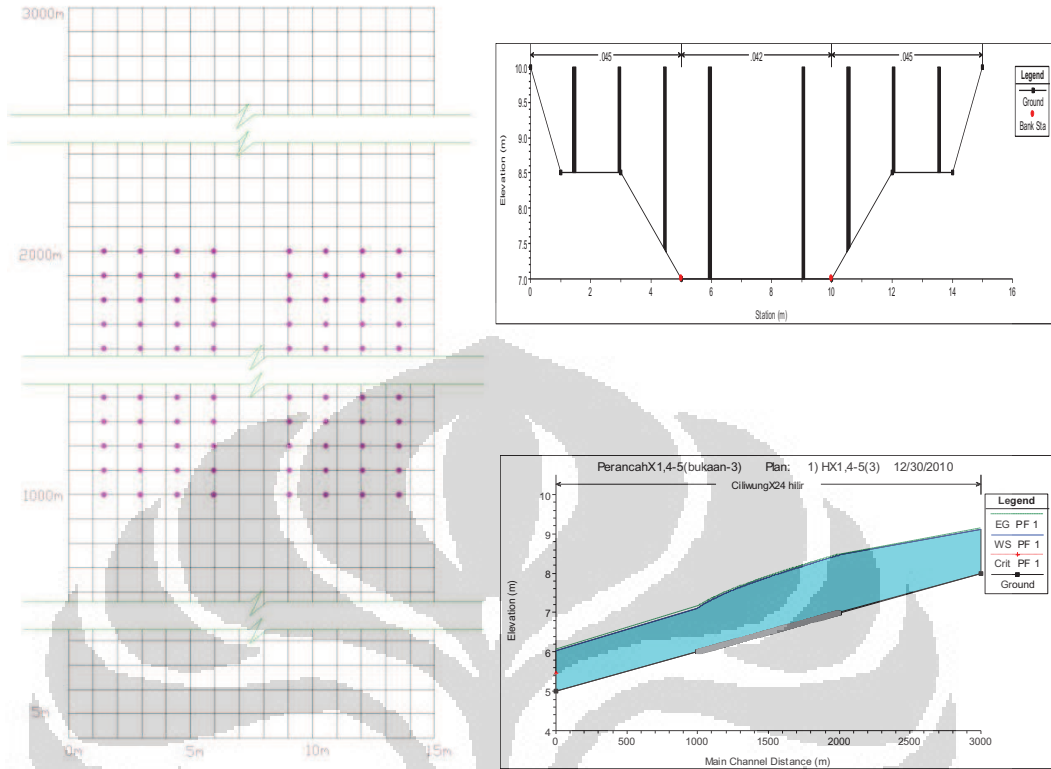
Konfigurasi X0,5-Y15



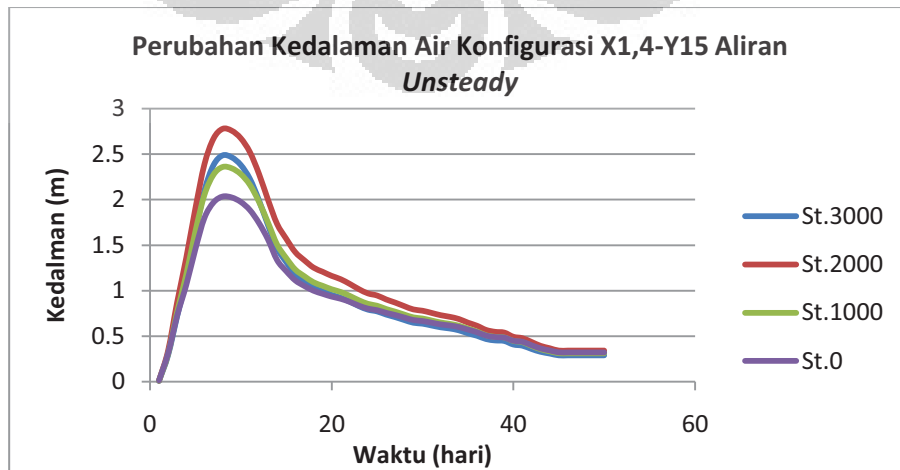
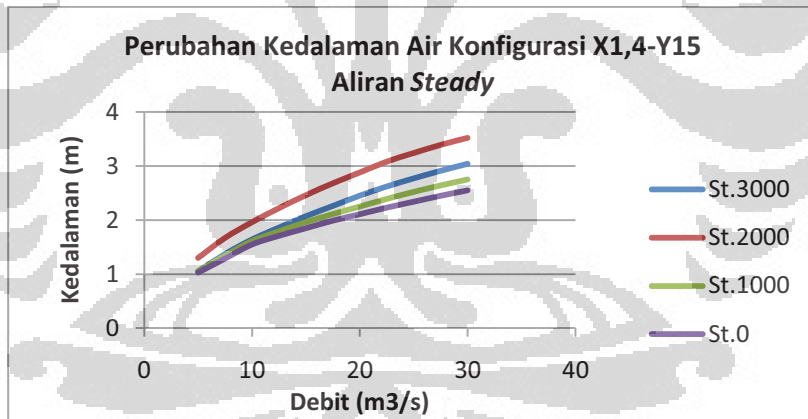
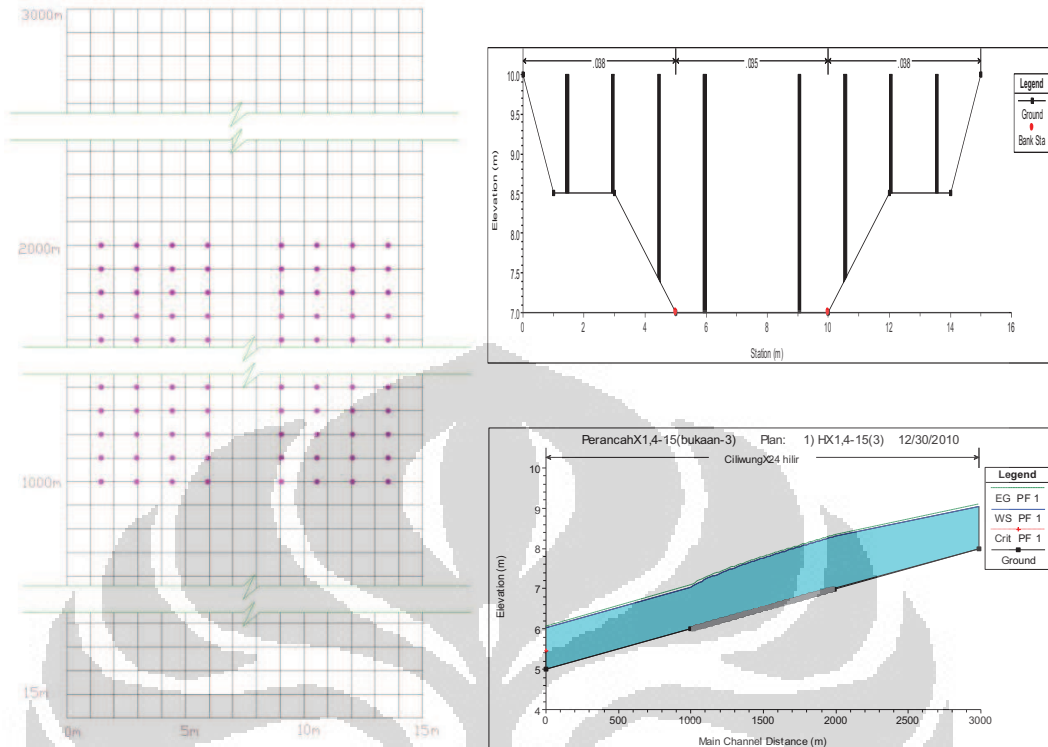
Konfigurasi X1,4-Y1



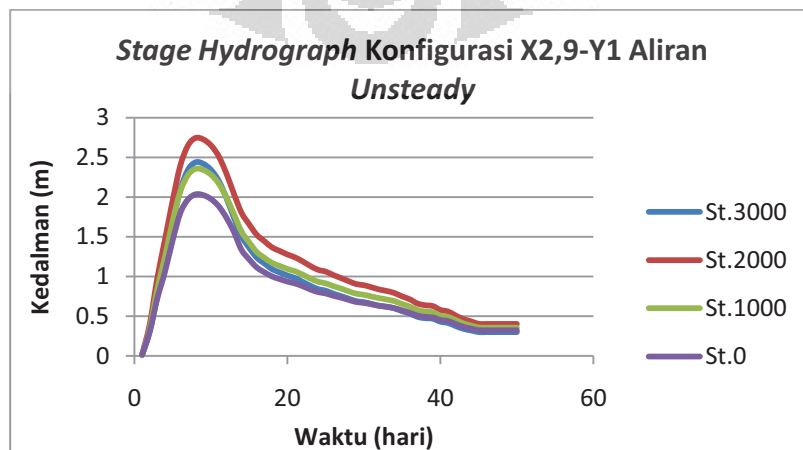
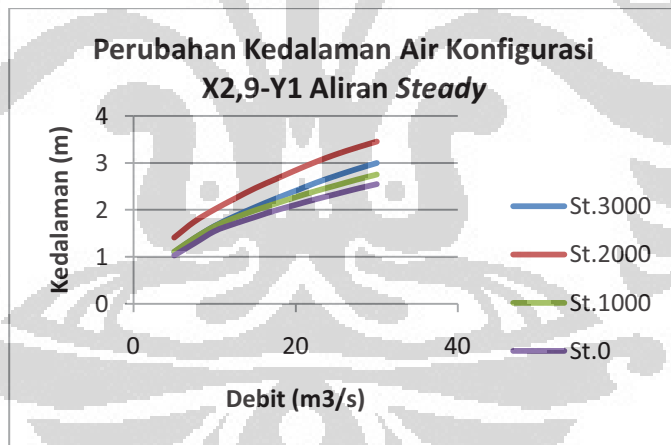
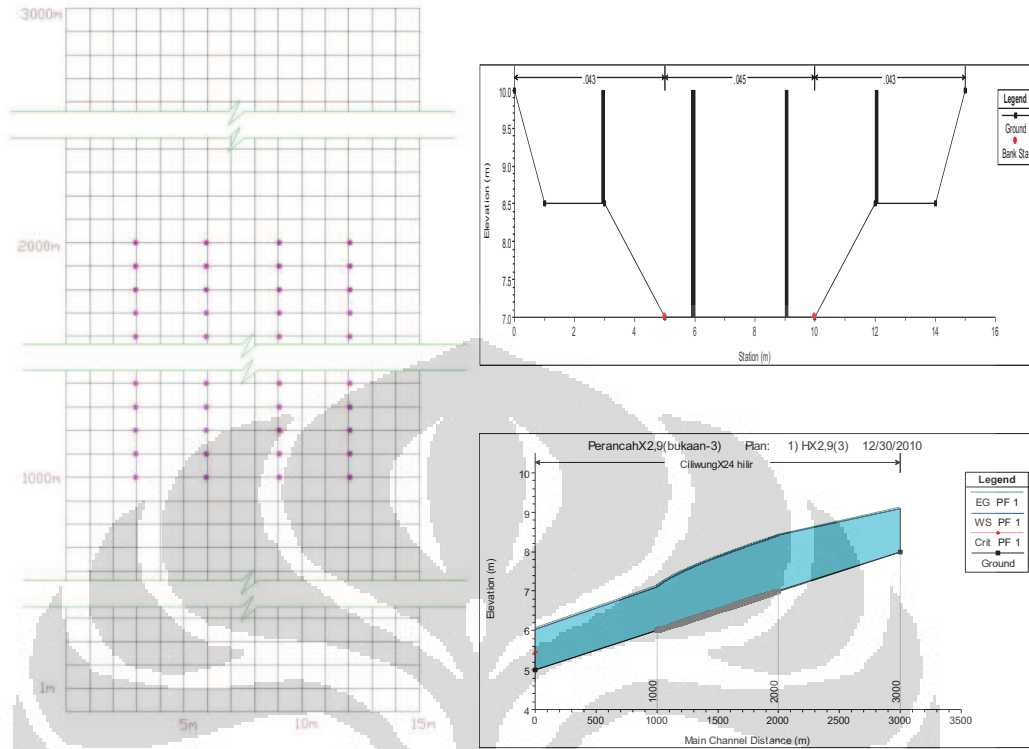
Konfigurasi X1,4-Y5



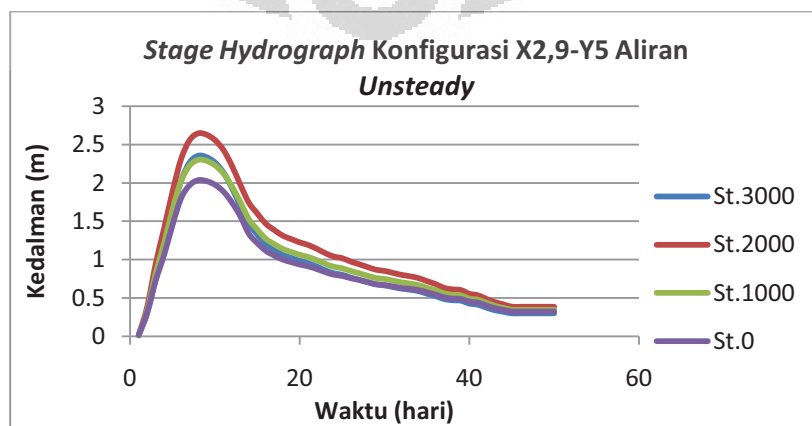
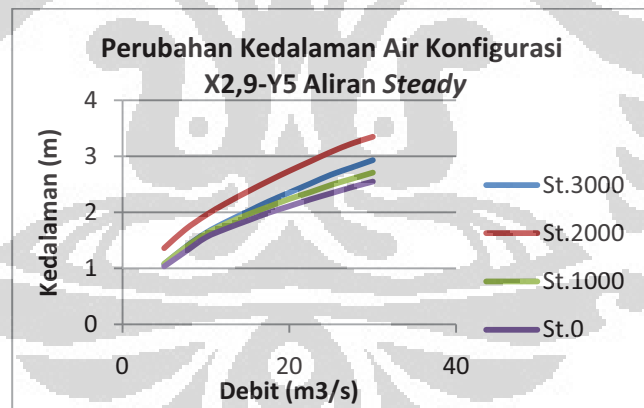
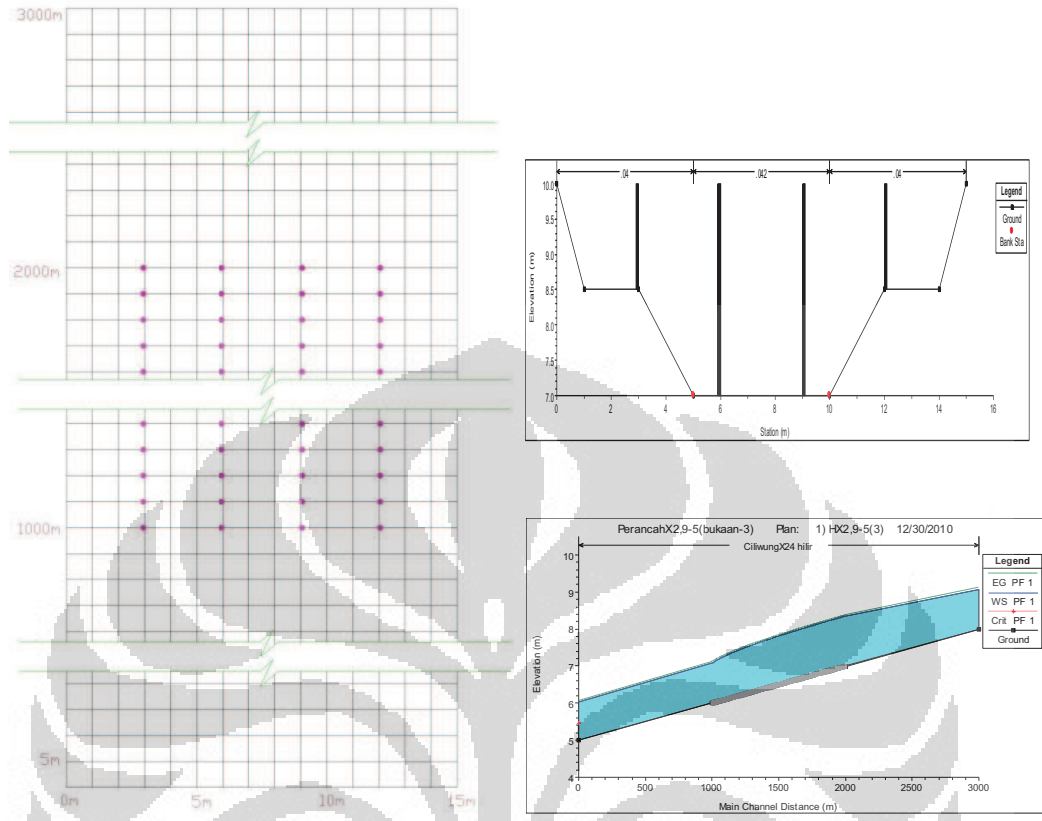
Konfigurasi X1,4-Y15



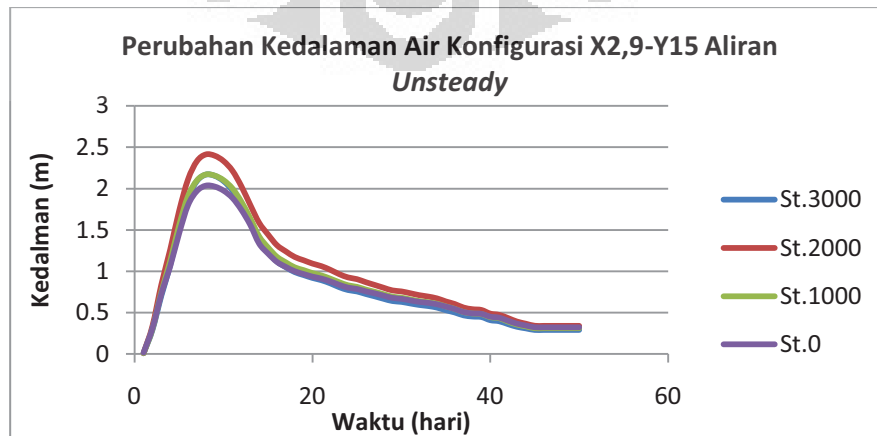
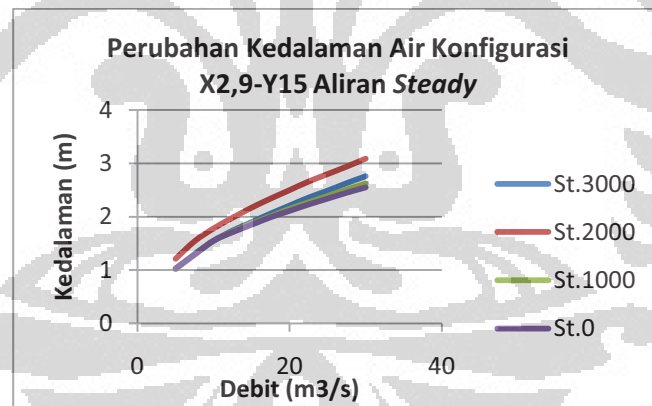
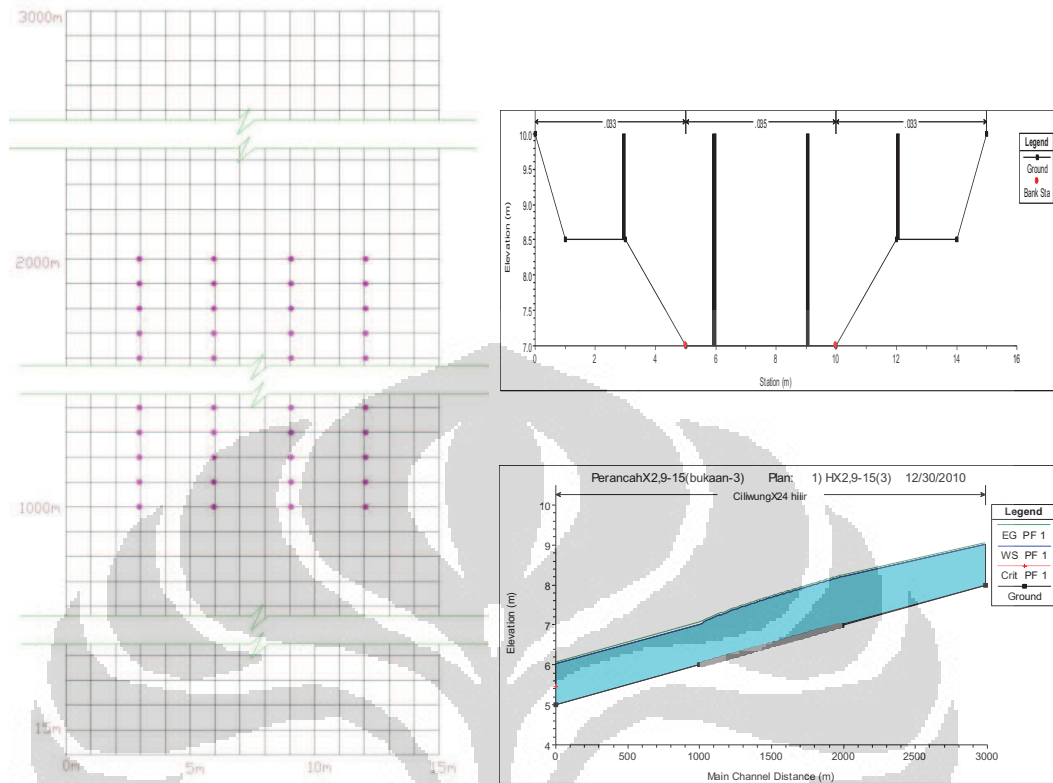
Konfigurasi X2,9-Y1



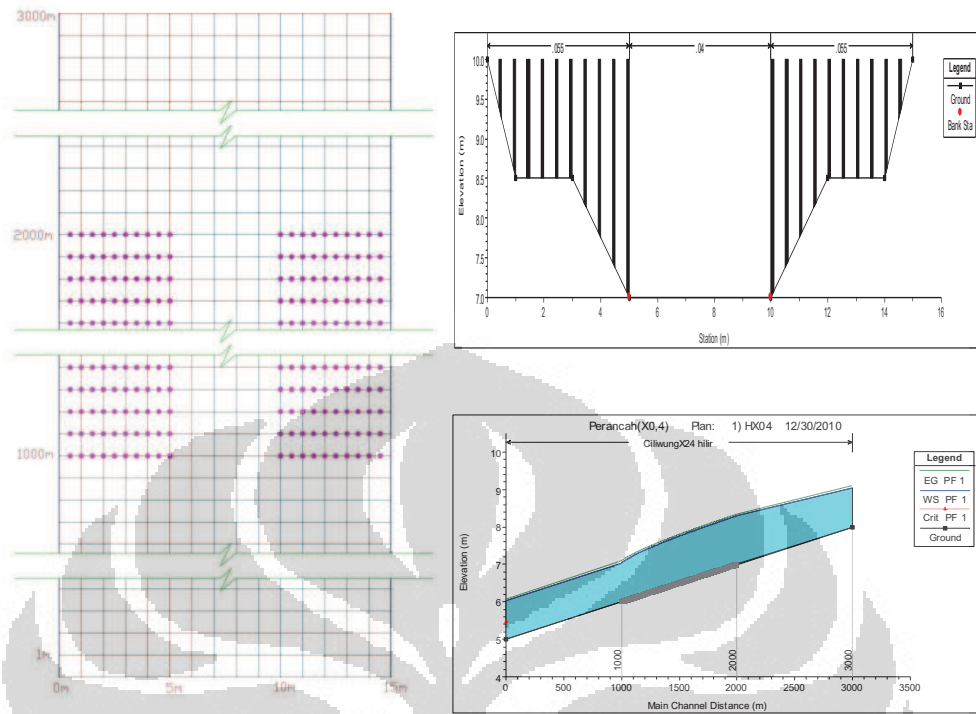
Konfigurasi X2,9-Y5



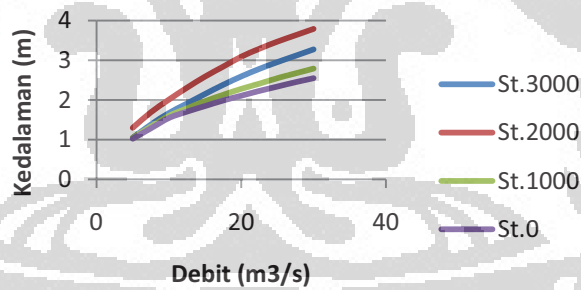
Konfigurasi X2,9-Y15



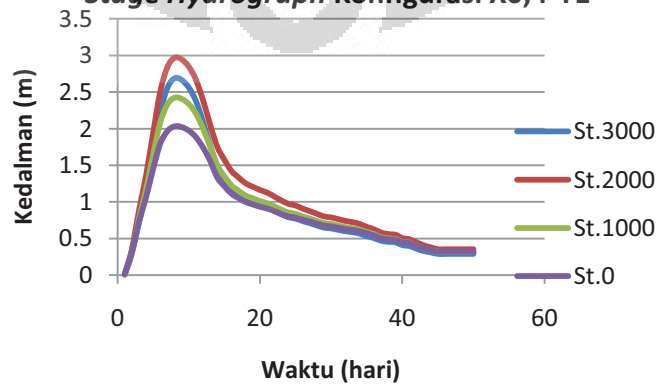
Konfigurasi X0,4-Y1



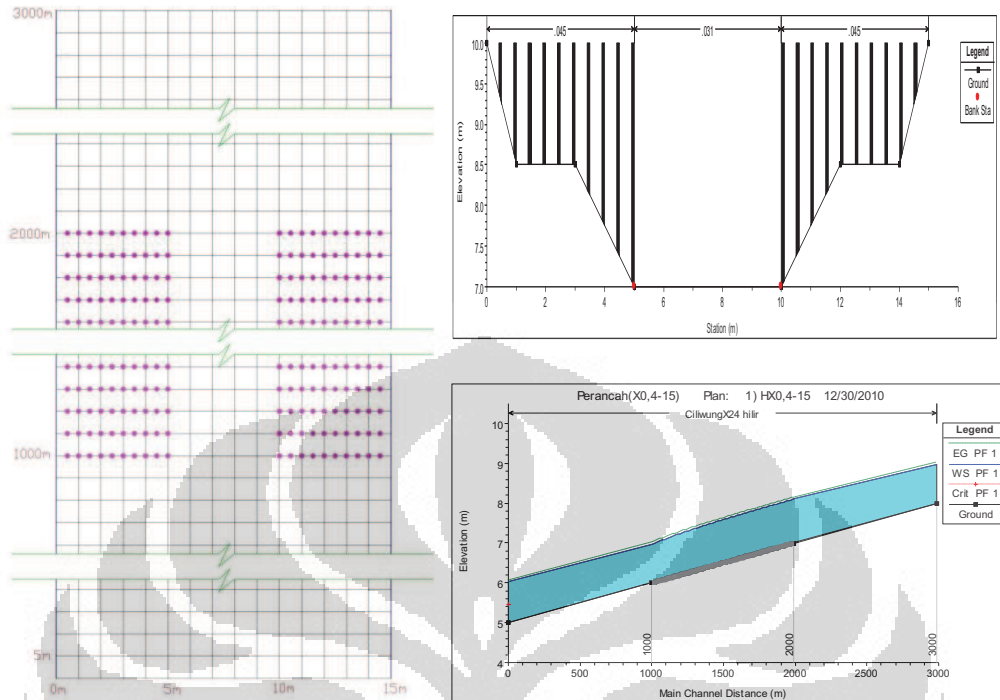
Stage Hydrograph Konfigurasi X0,4-Y1



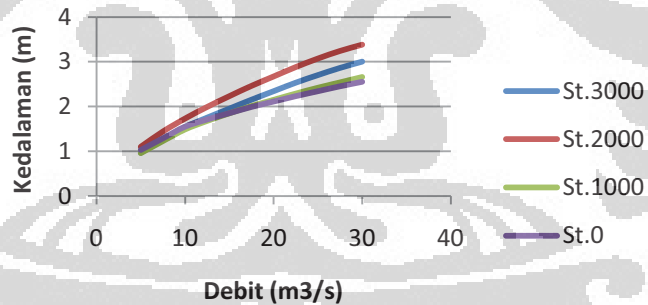
Stage Hydrograph Konfigurasi X0,4-Y1



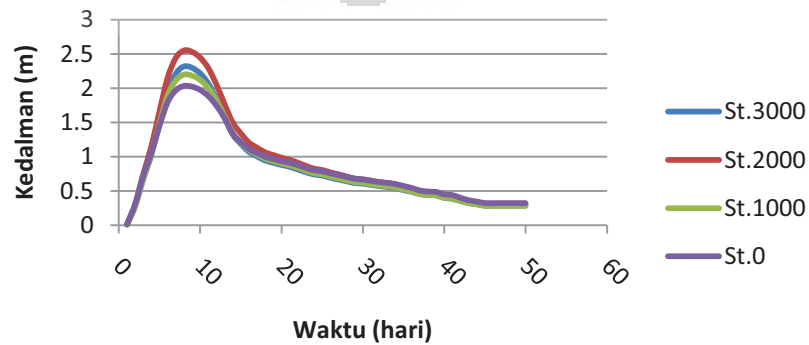
Konfigurasi X0,4-Y5



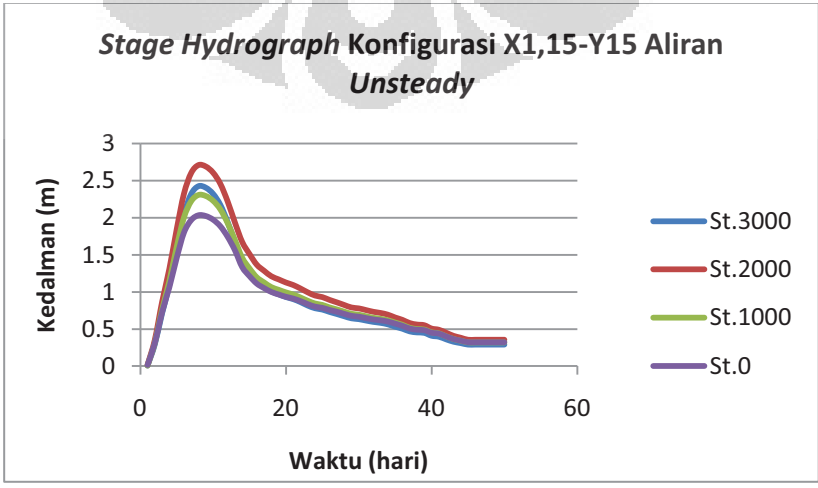
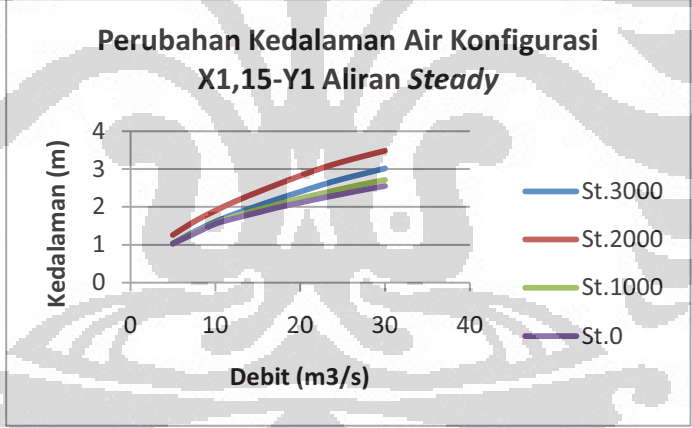
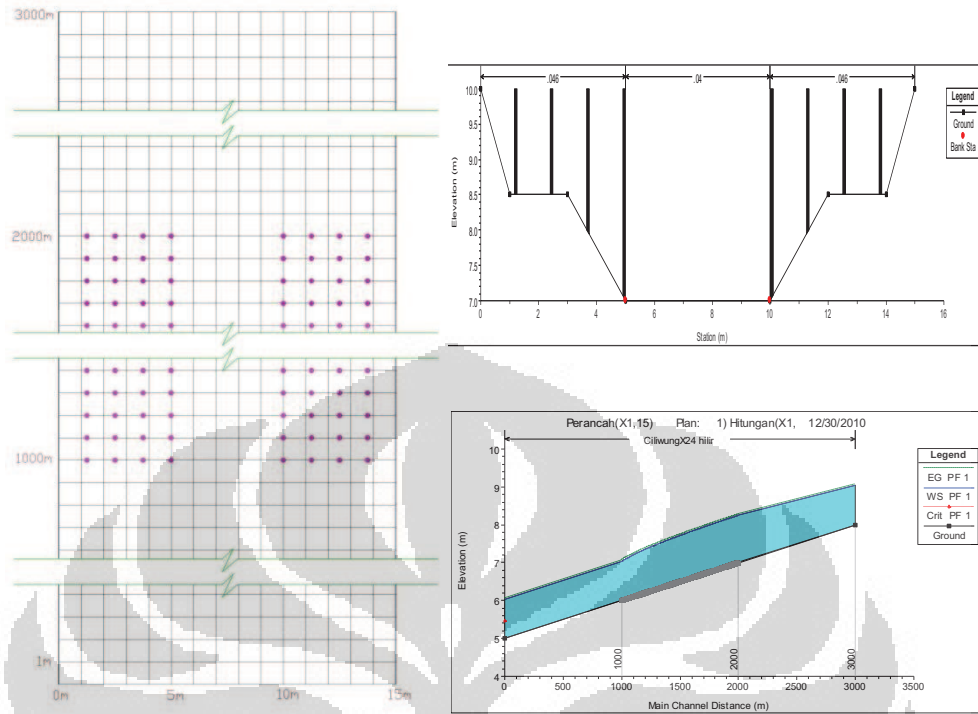
Perubahan Kedalaman Air Konfigurasi X1,15-Y15 Aliran Steady



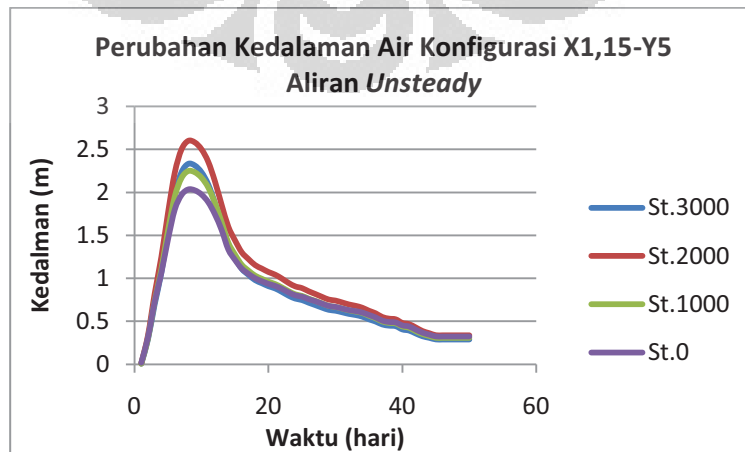
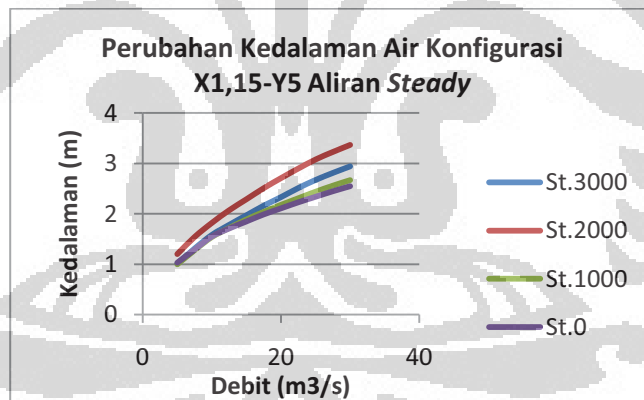
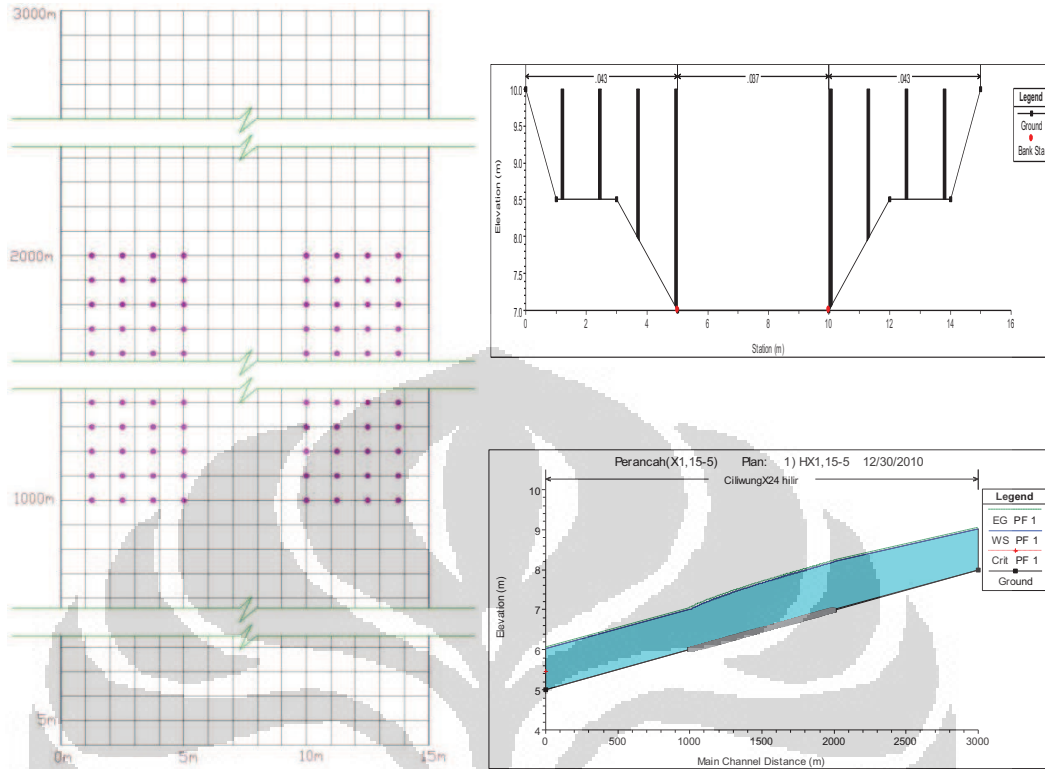
Stage Hydrograph Konfigurasi X0,4-Y15



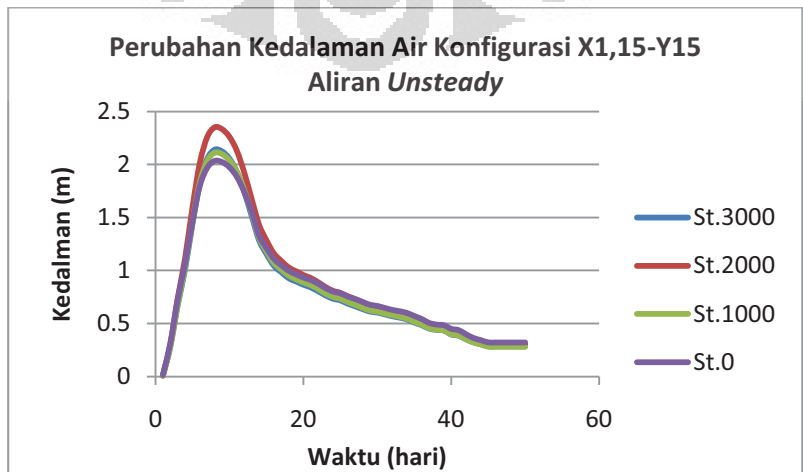
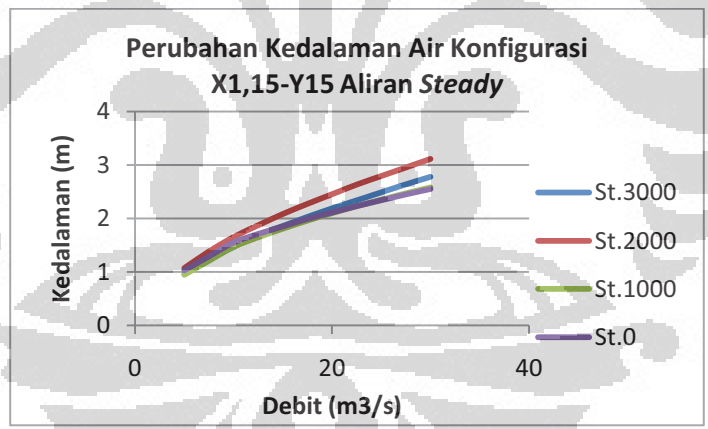
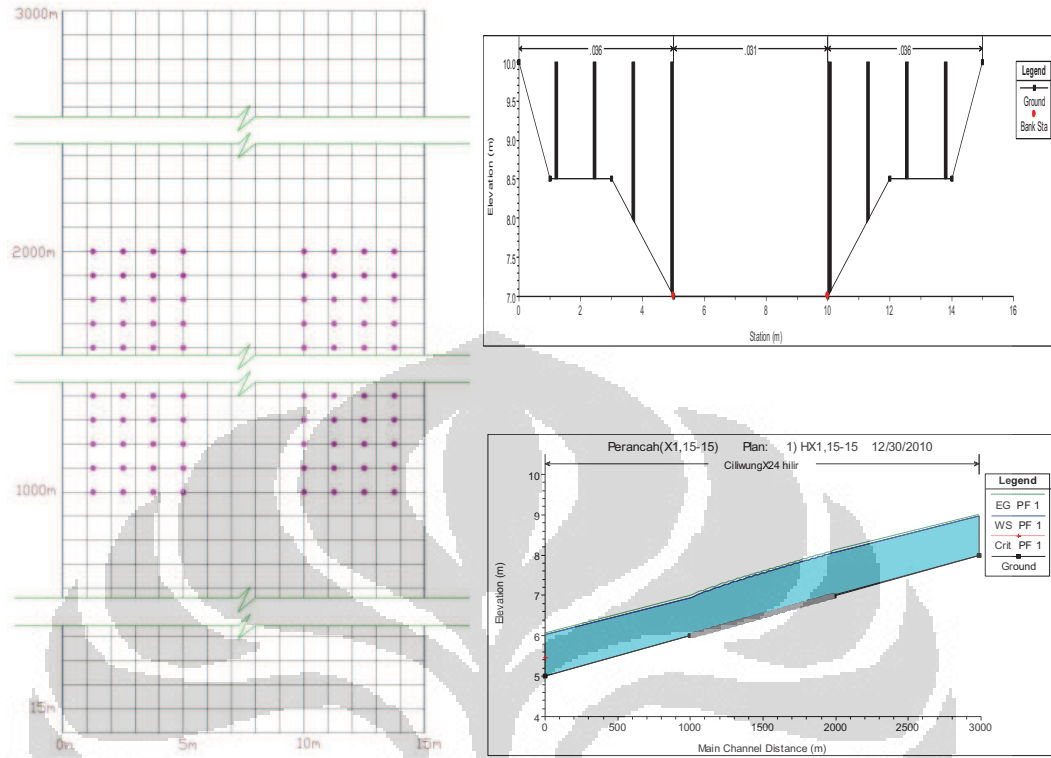
Konfigurasi X1,15-Y1



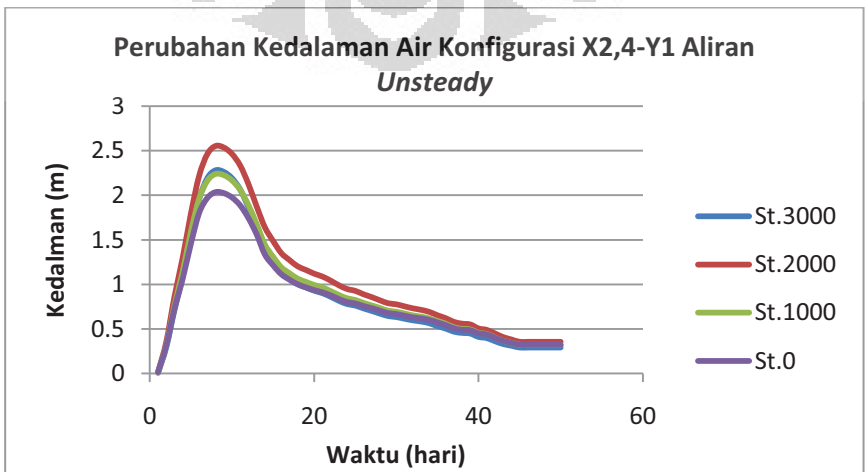
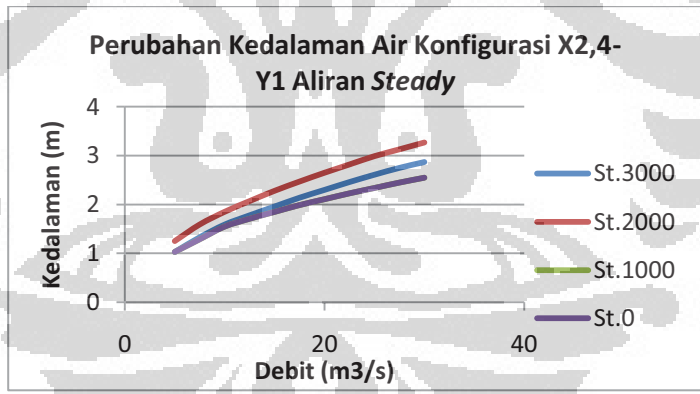
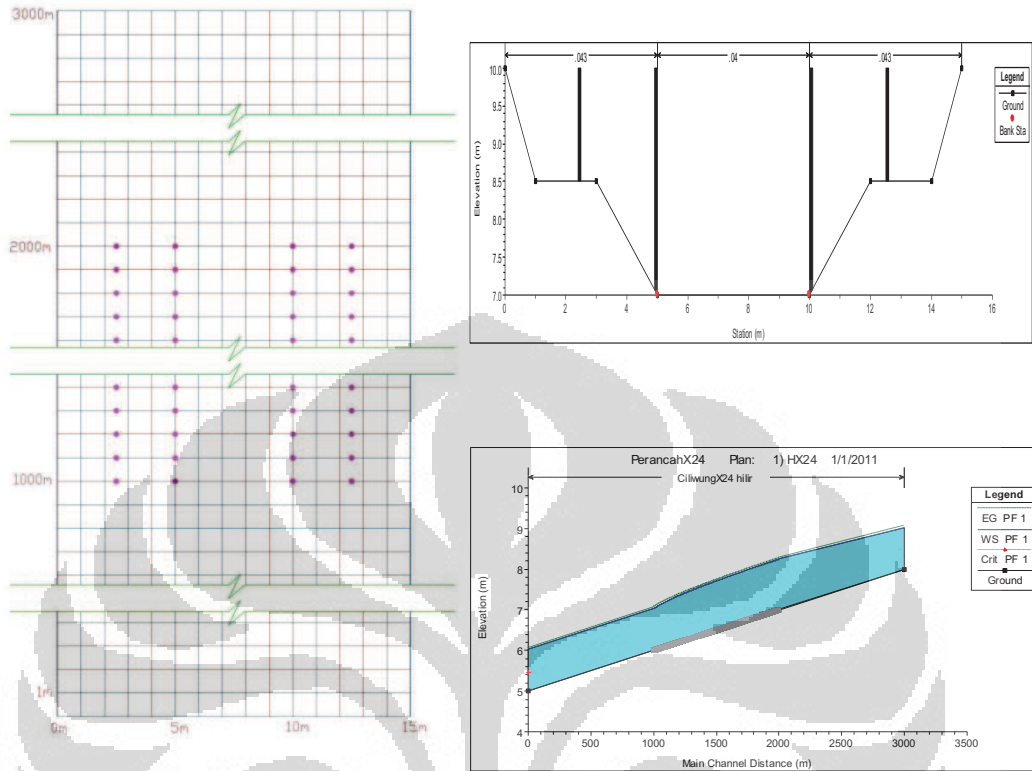
Konfigurasi X1,15-Y5



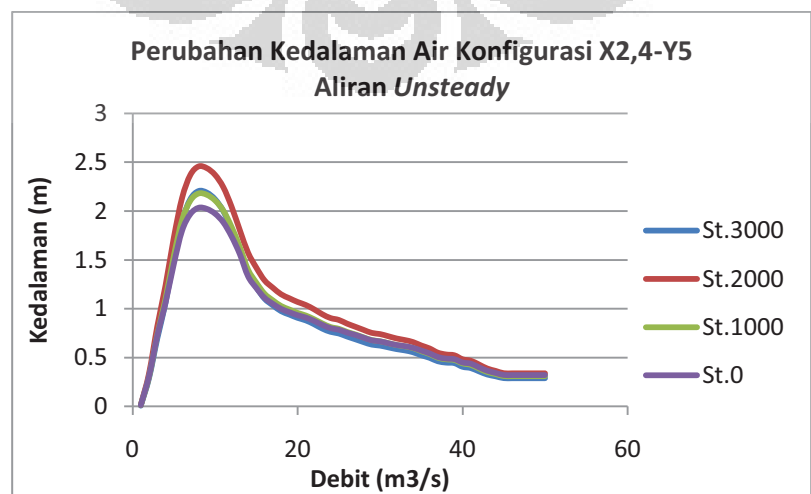
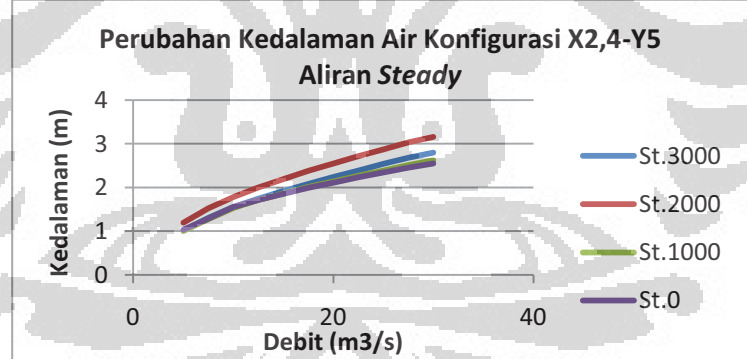
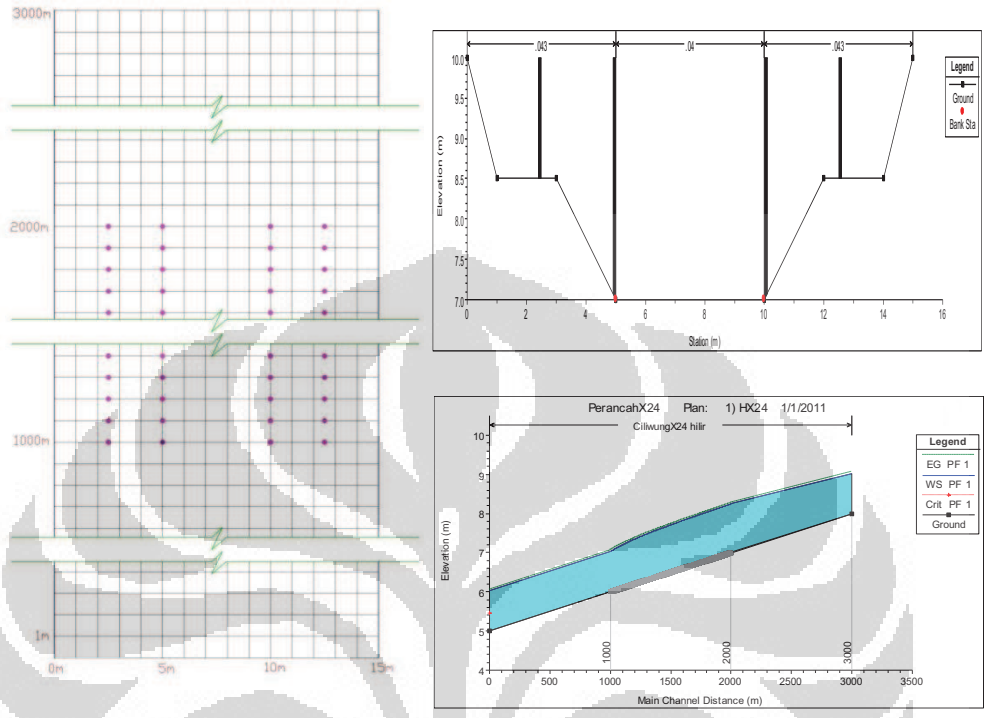
Konfigurasi X1,15-Y15



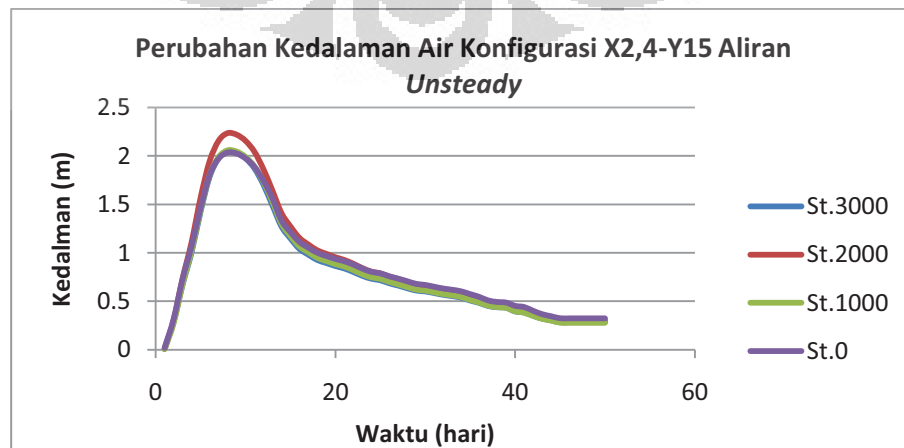
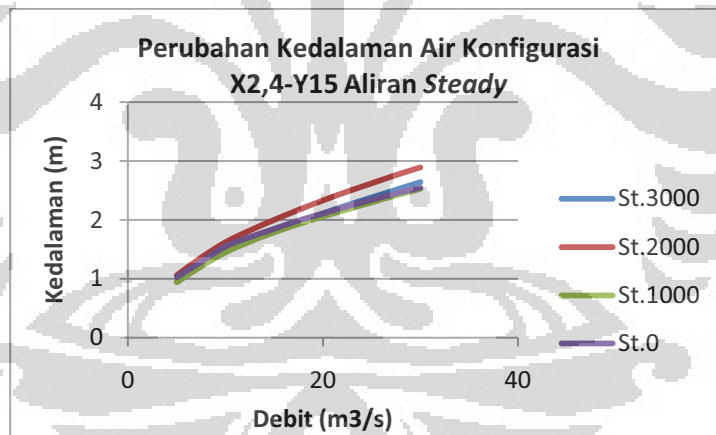
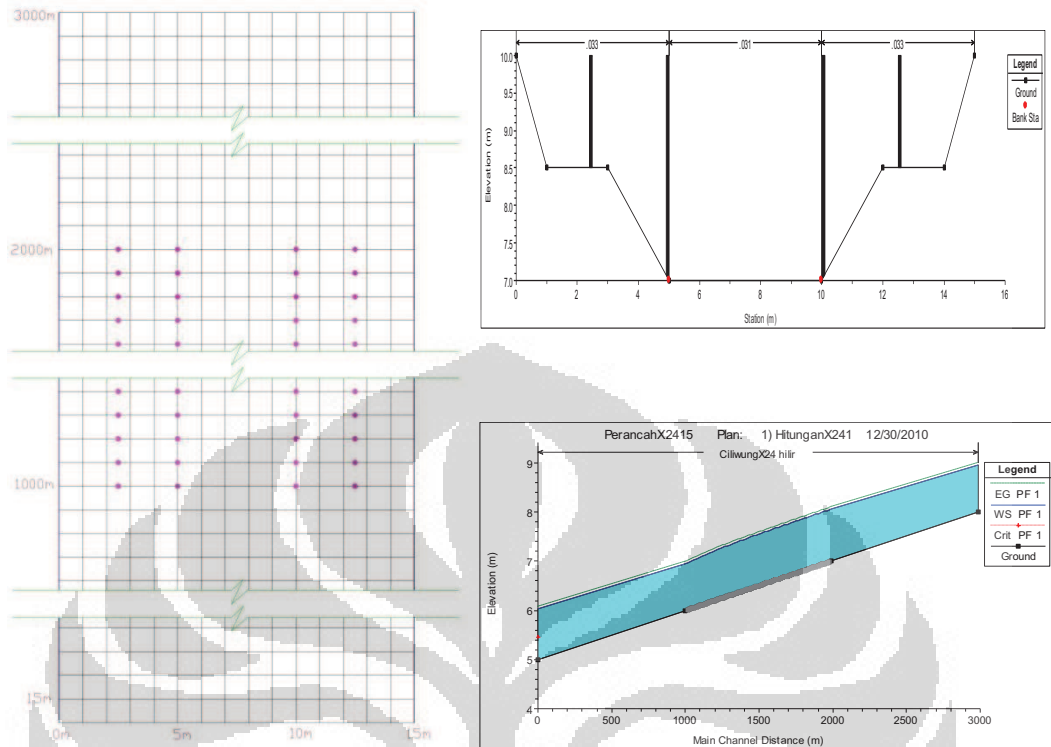
Konfigurasi X2,4-Y1



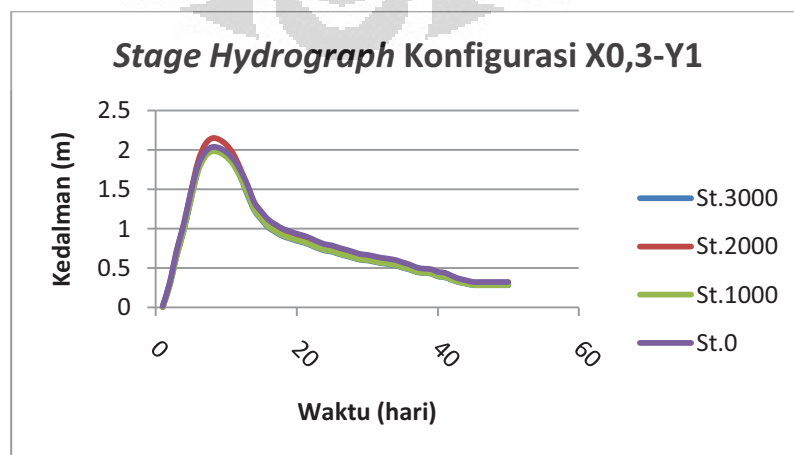
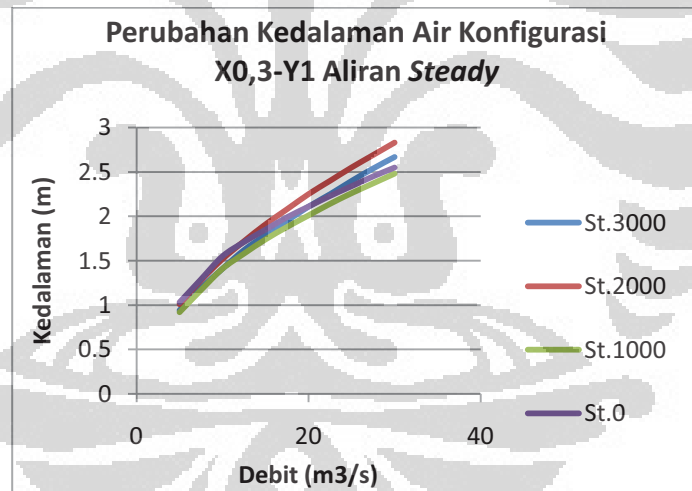
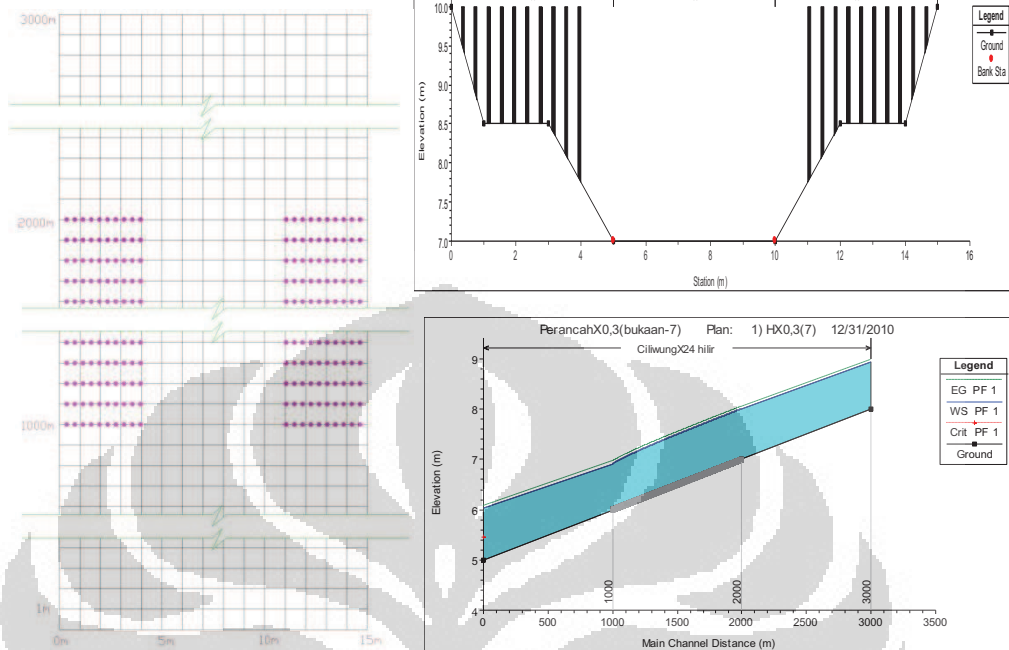
Konfigurasi X2,4-Y5



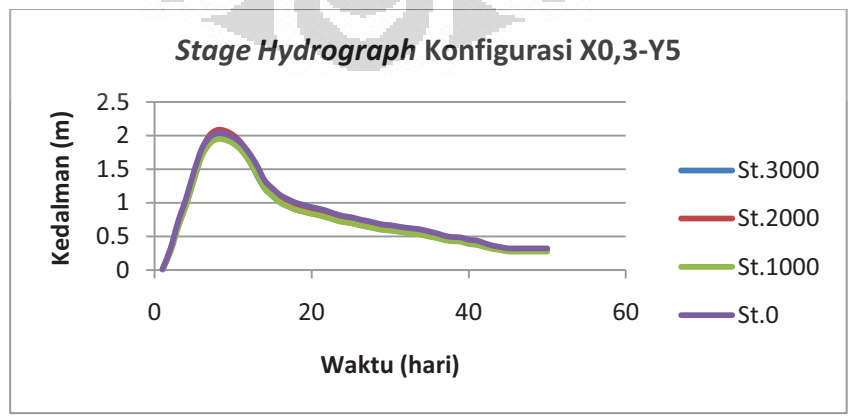
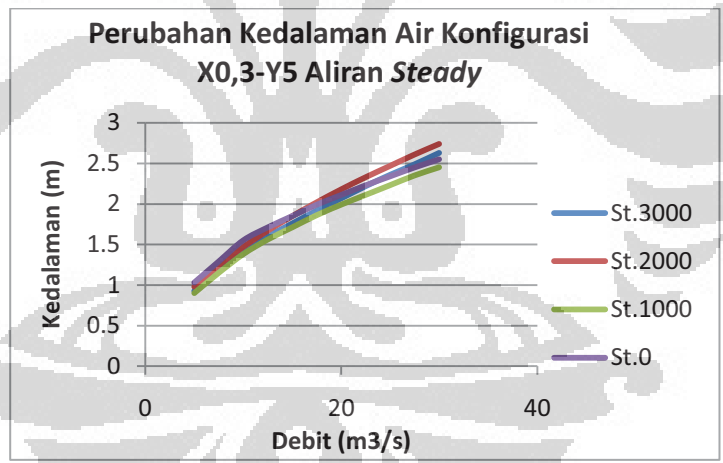
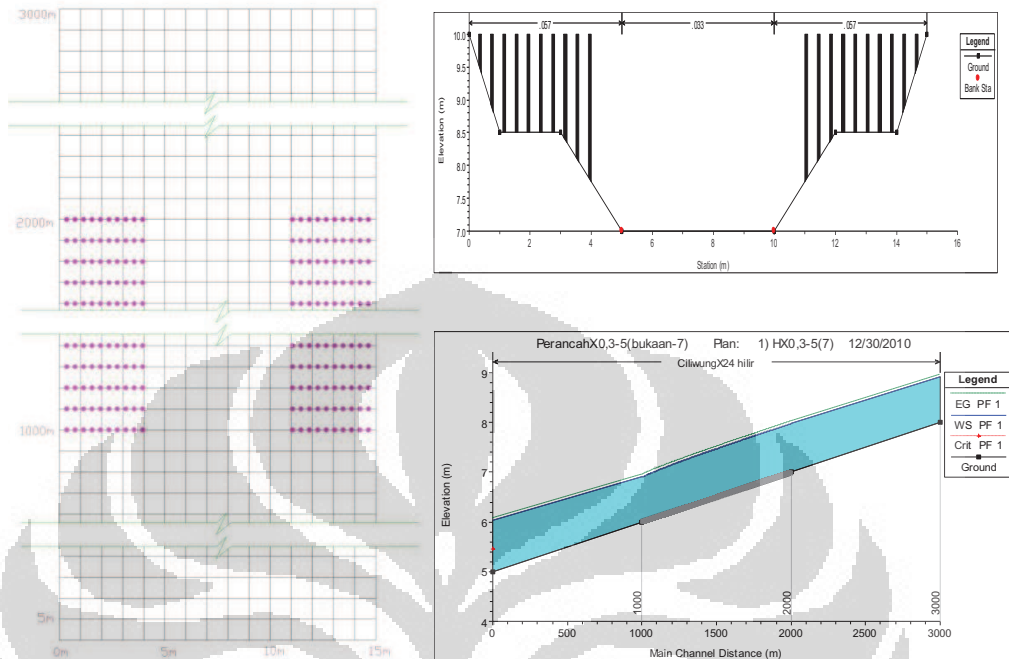
Konfigurasi X2,4-Y15



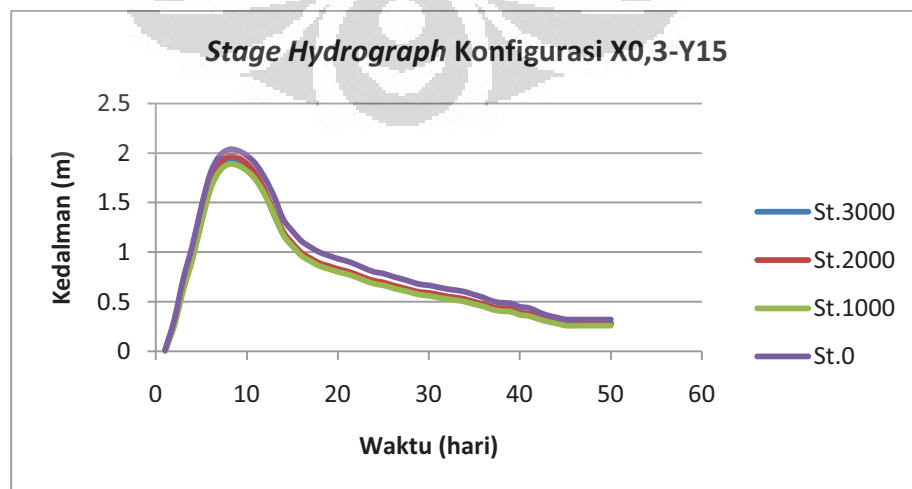
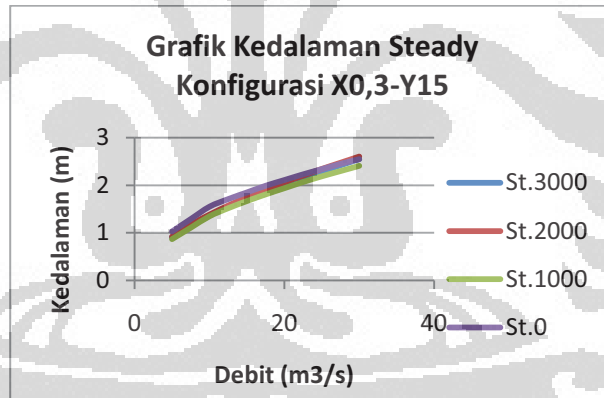
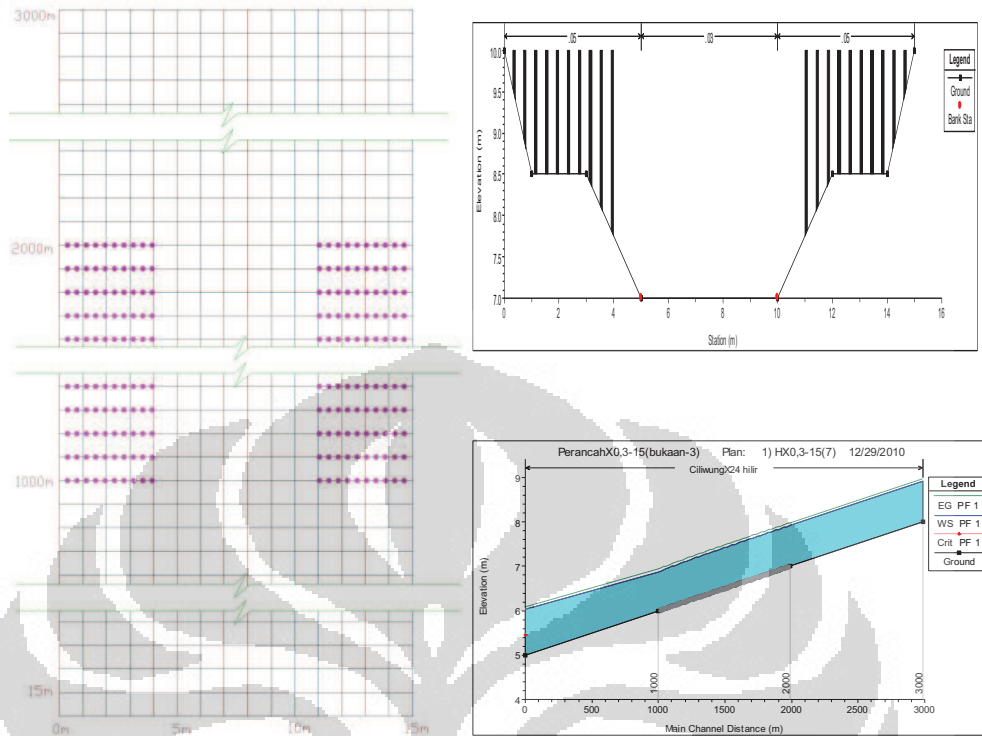
Konfigurasi X0,3-Y1



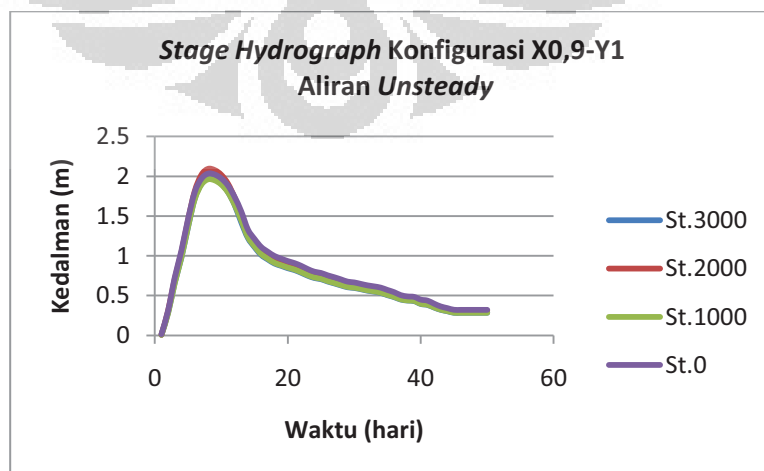
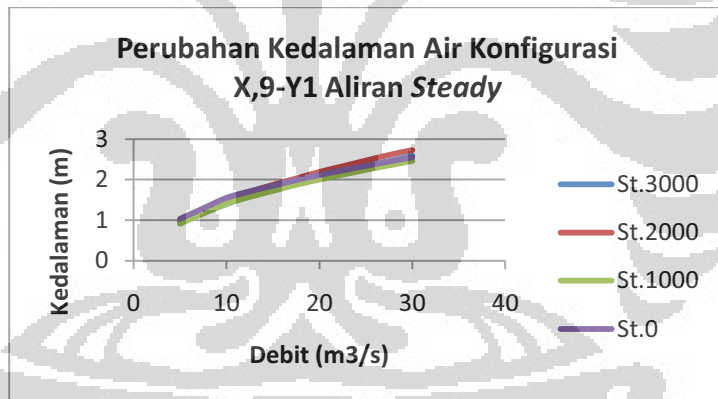
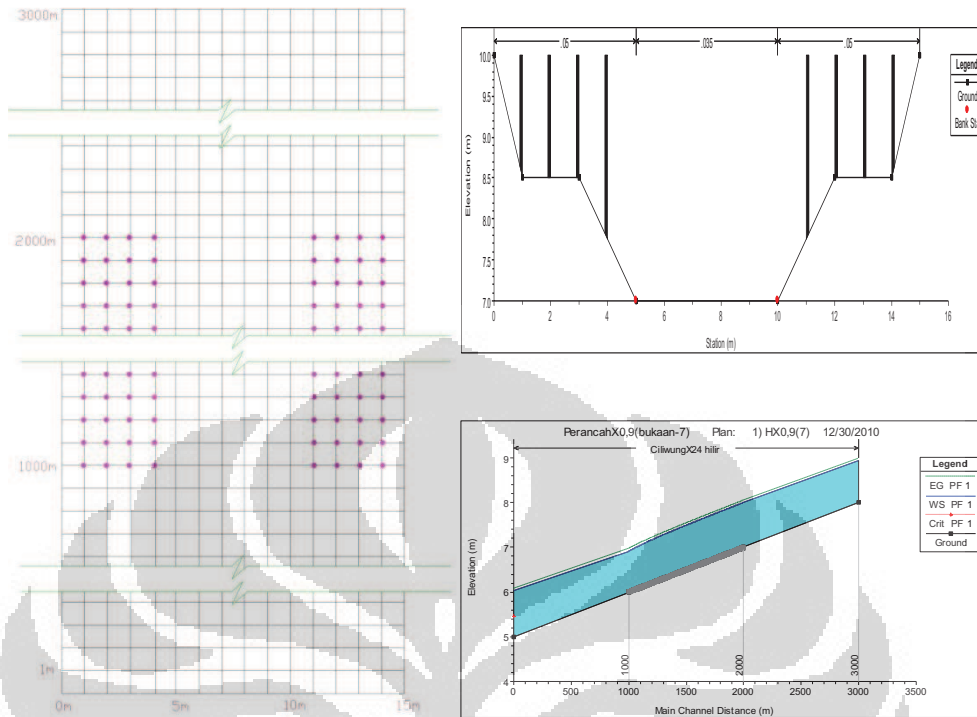
Konfigurasi X0,3-Y5



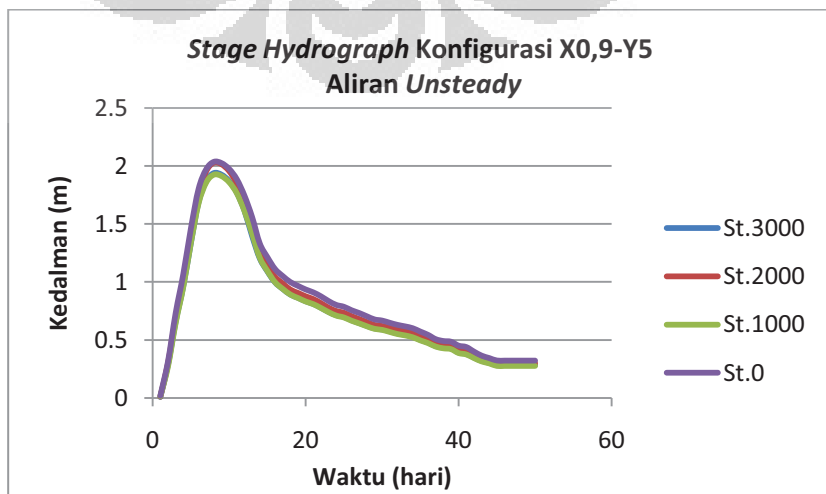
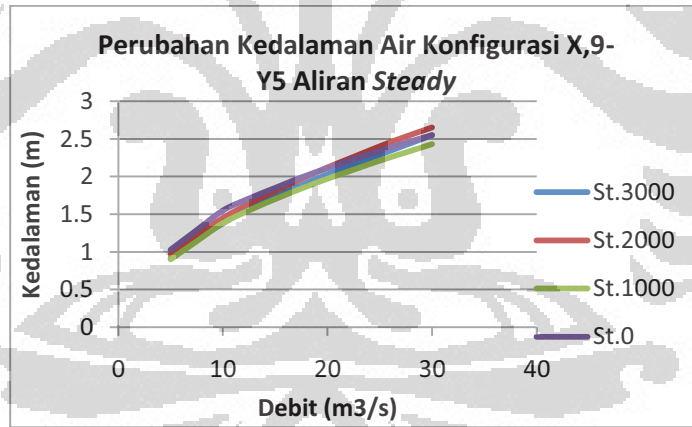
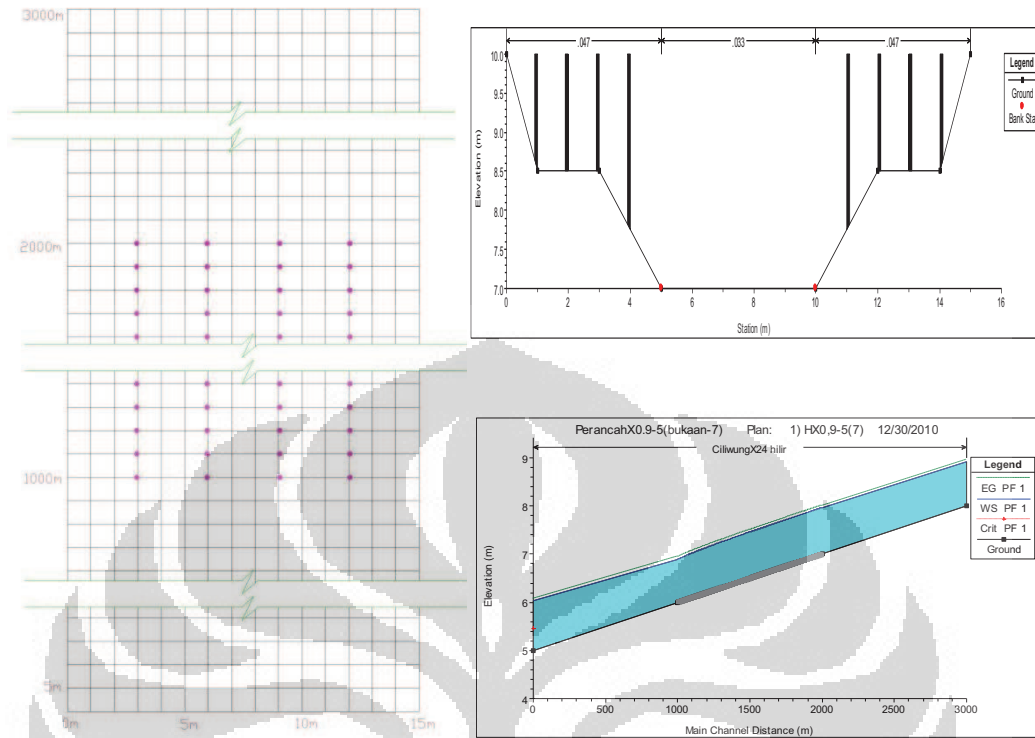
Konfigurasi X0,3-Y15



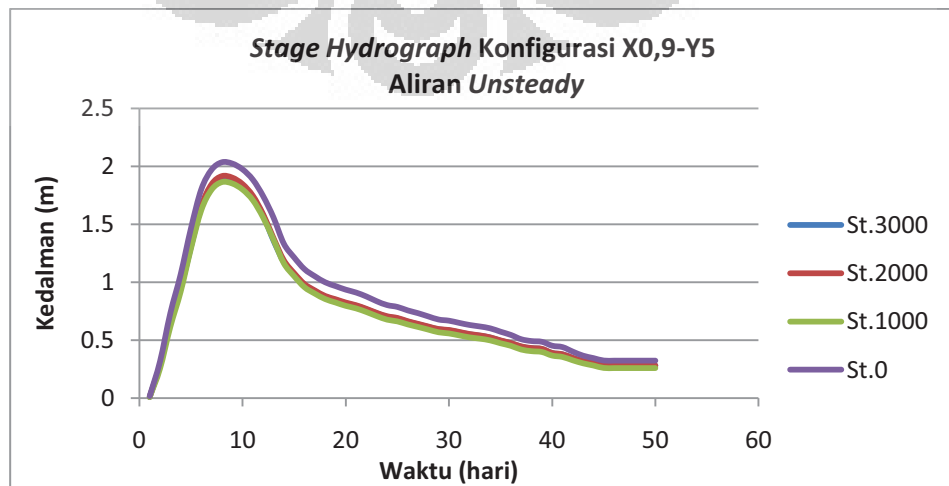
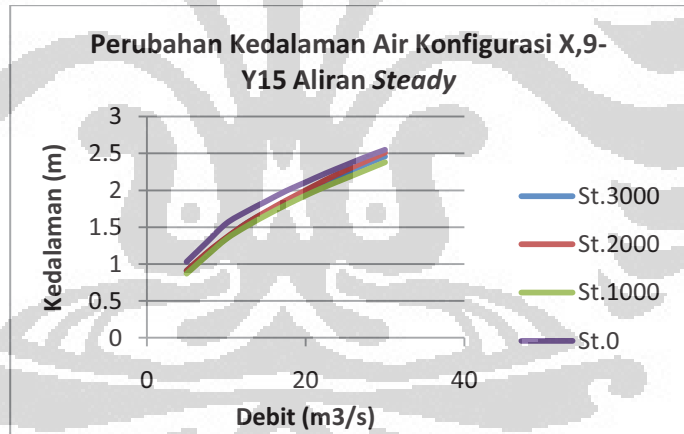
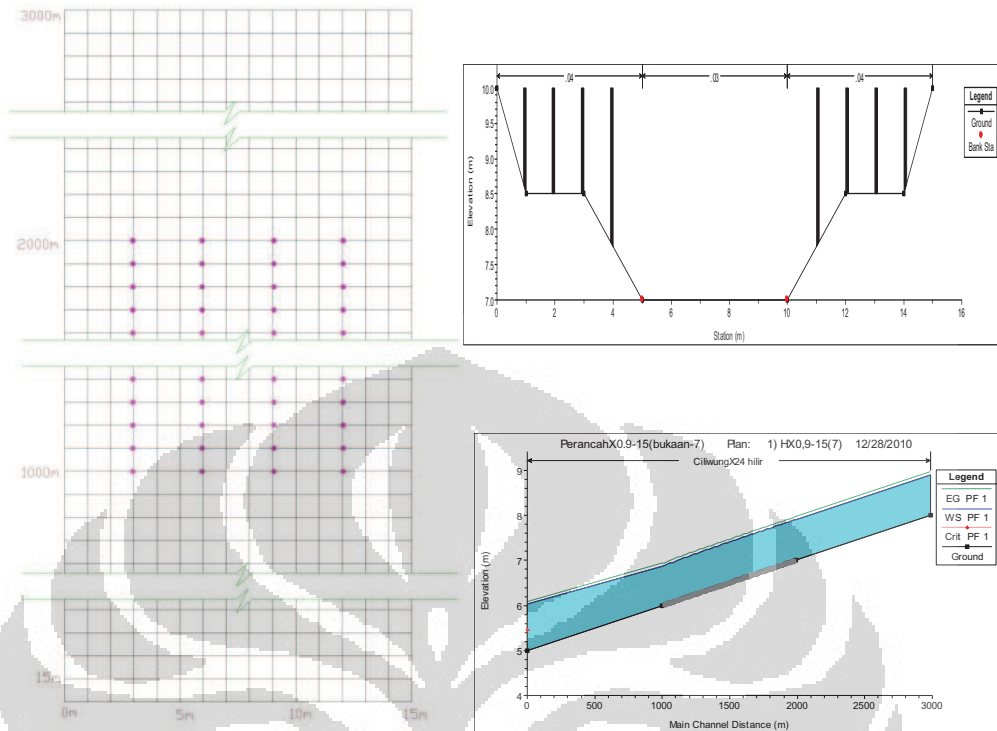
Konfigurasi X0,9-Y1



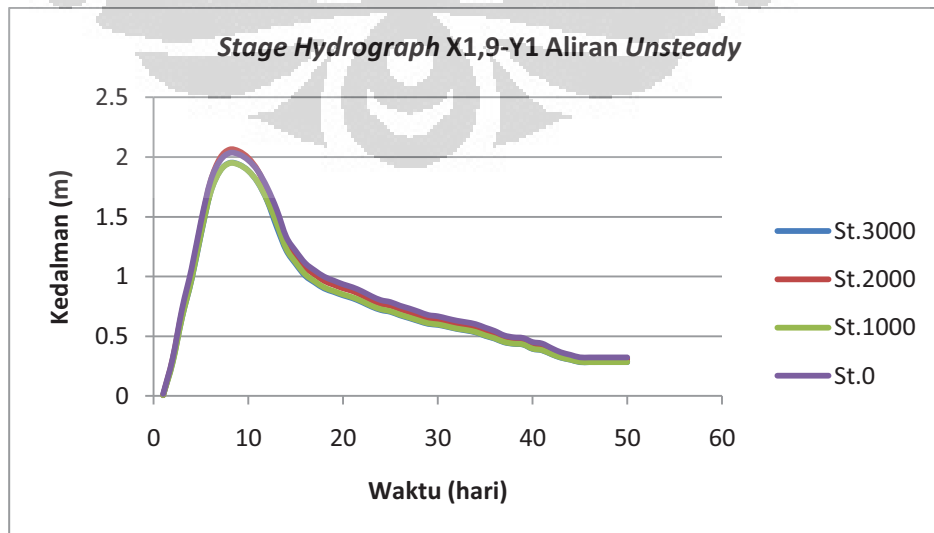
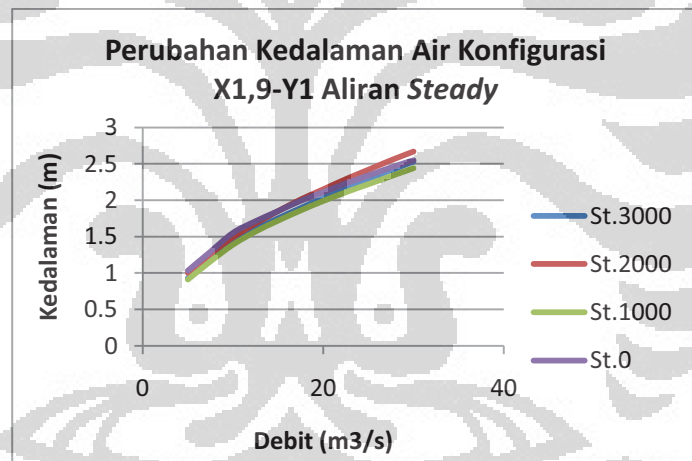
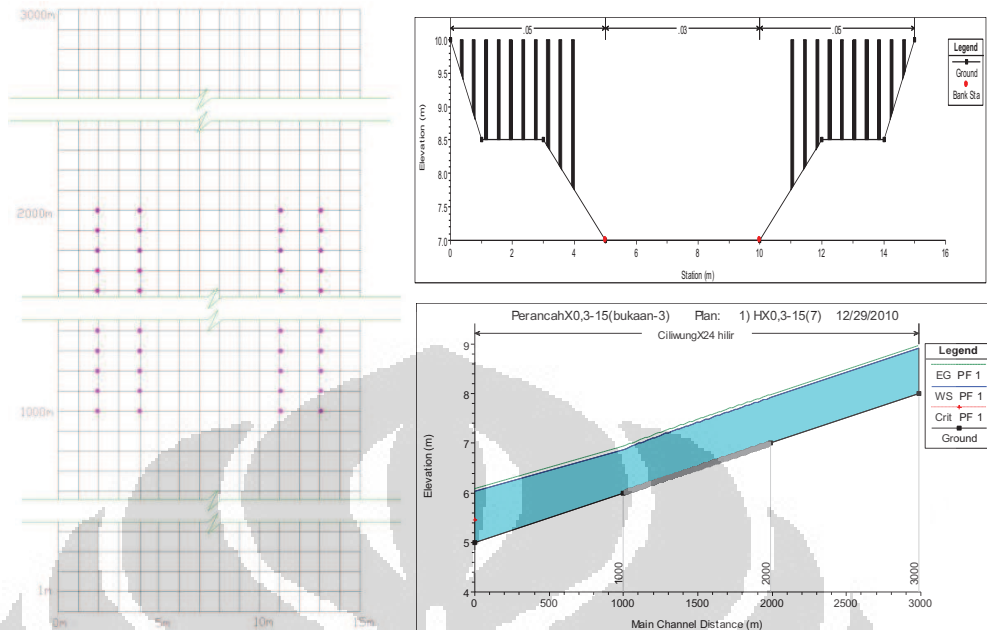
Konfigurasi X0,9-Y5



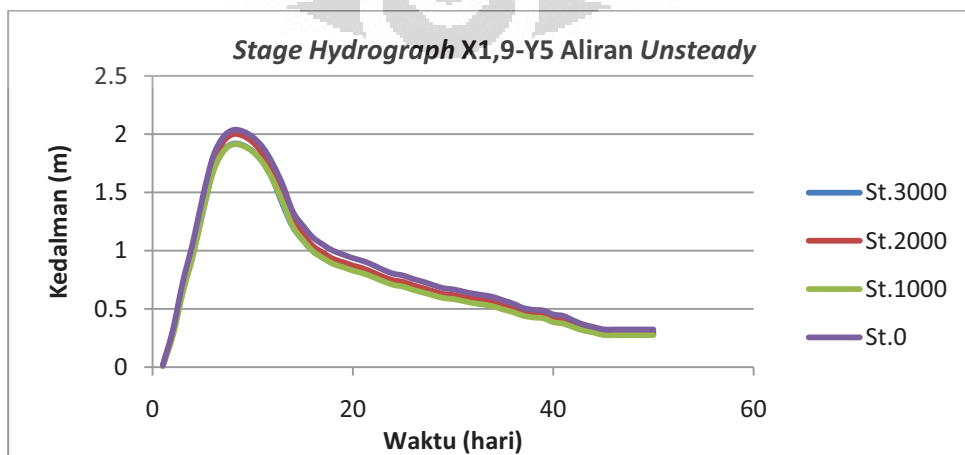
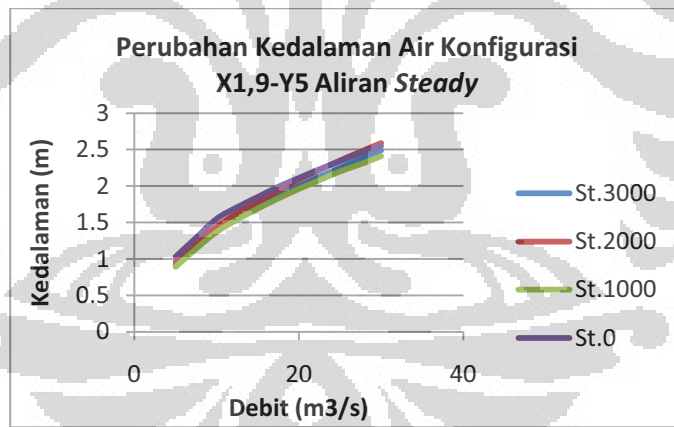
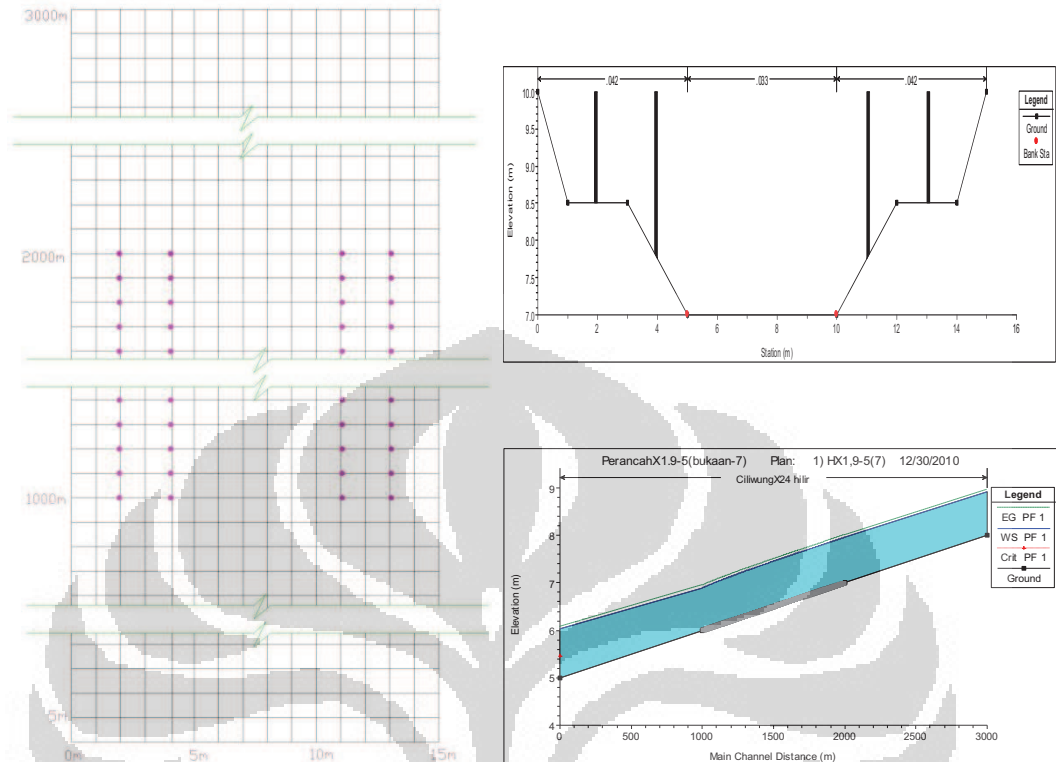
Konfigurasi X0,9-Y15



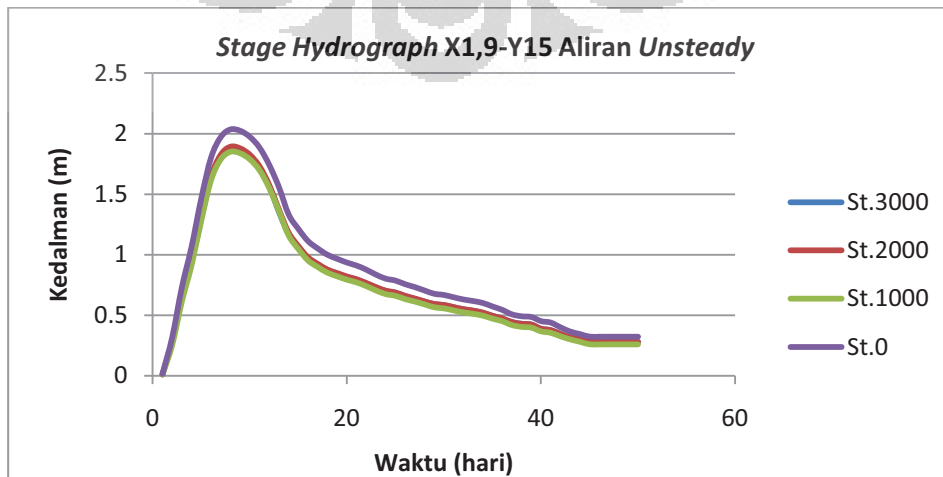
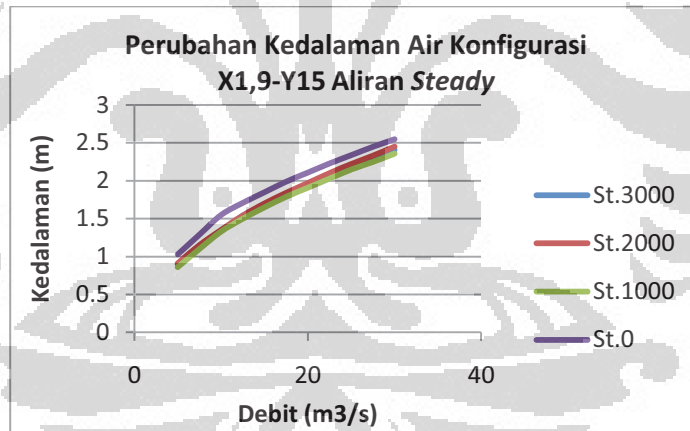
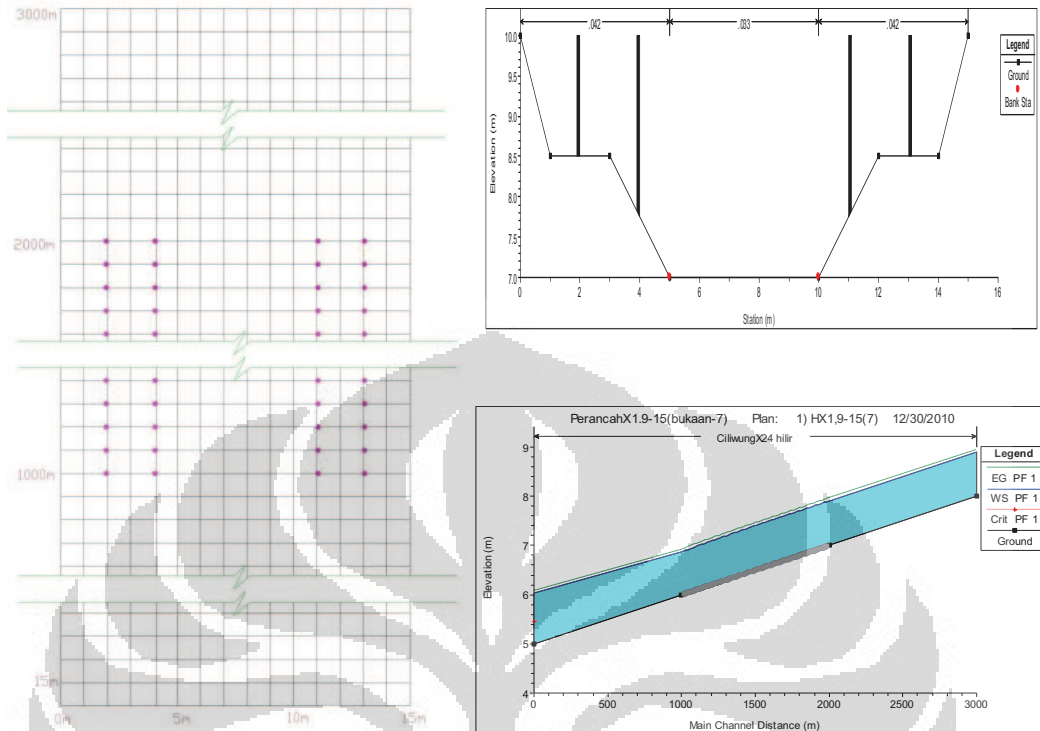
Konfigurasi X1,9-Y1



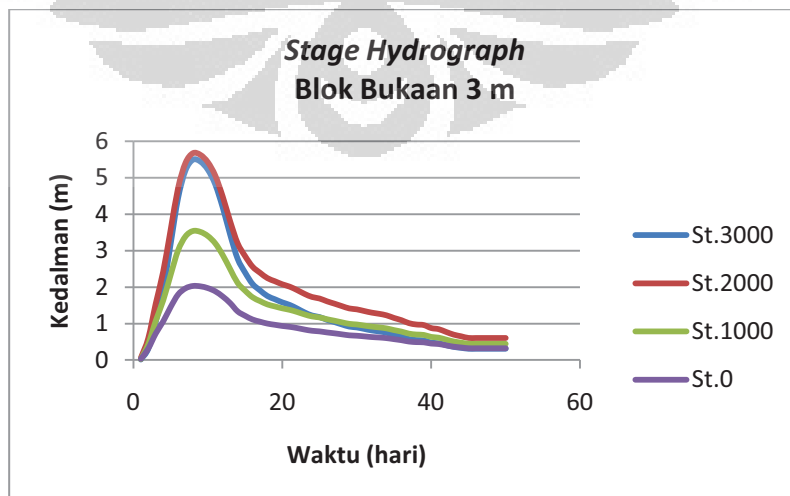
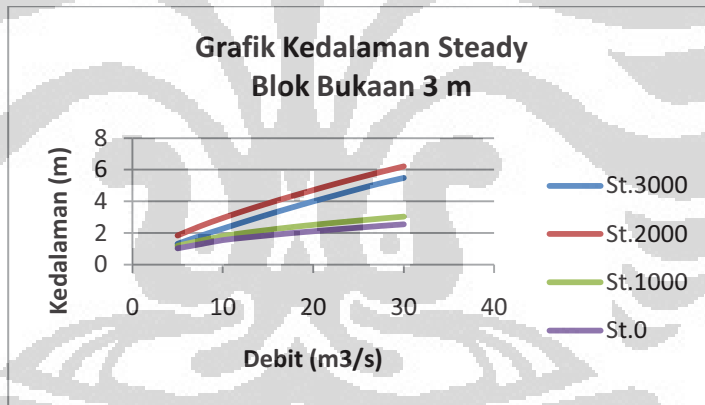
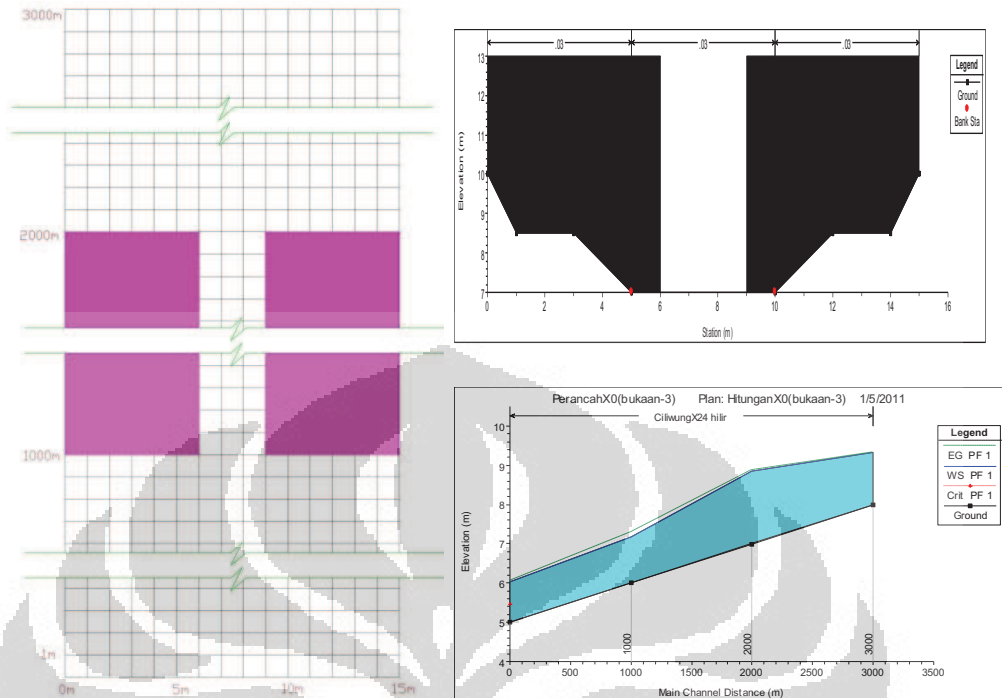
Konfigurasi X1,9-Y5



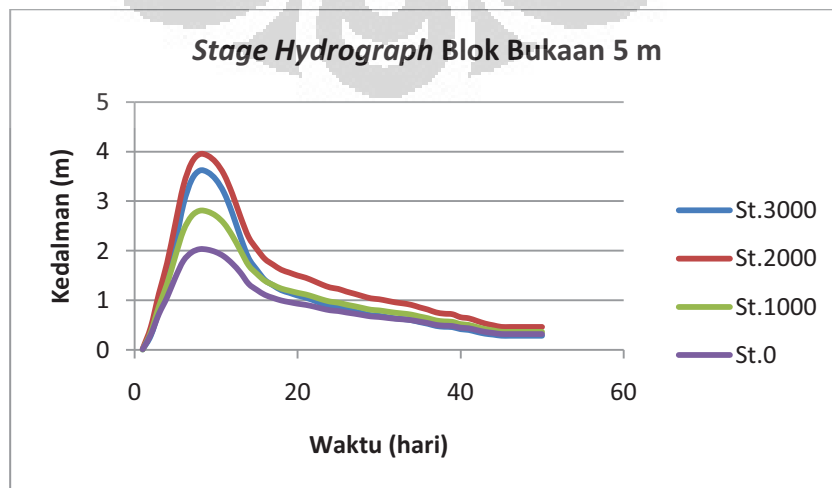
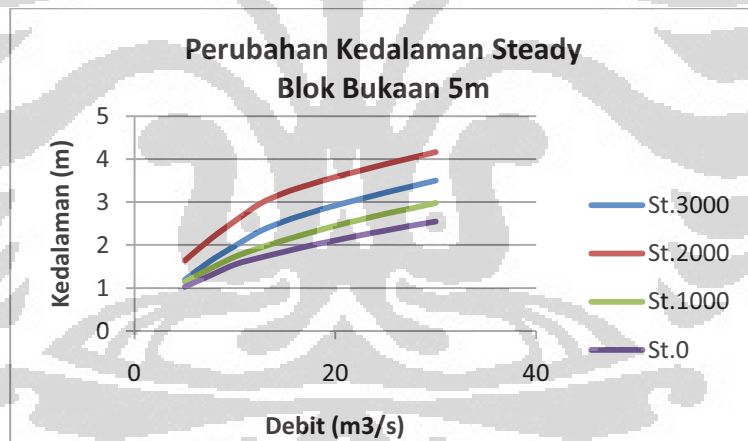
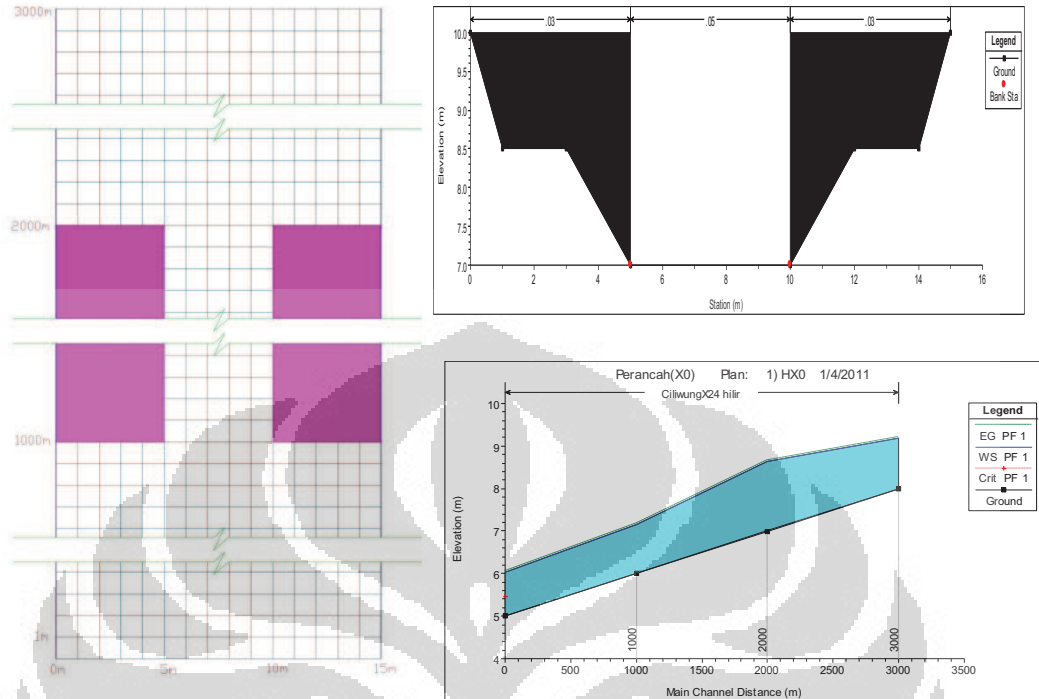
Konfigurasi X1,9-Y15



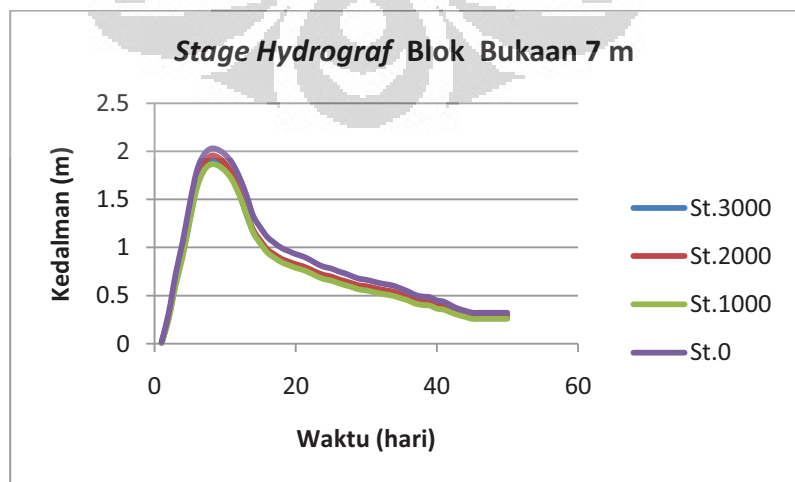
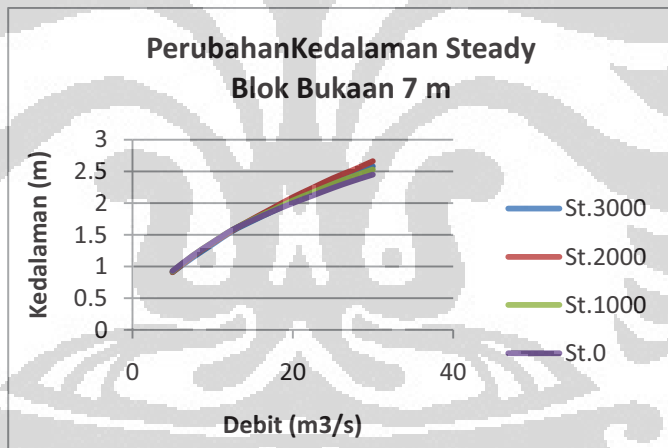
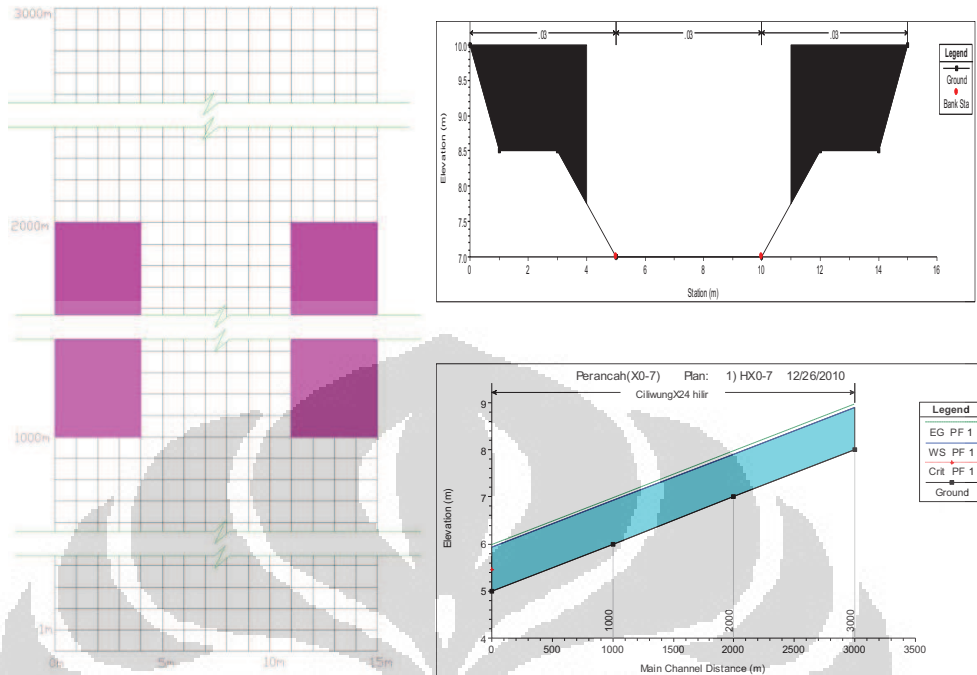
Konfigurasi X0(3)



Konfigurasi X0(5)



1. Konfigurasi X0(7)





LAMPIRAN 2

PERBANDINGAN KENAIKAN MUKA AIR ANTAR VARIASI

TABEL PERBANDINGAN GRAFIK KERAPATAN PERANCAH ALIRAN *STEADY* ST.3000

Bukaan	Variasi Kerapatan Longitudinal (Y)	Blok	Variasi Kerapatan Lateral (X)
3 m	<p>Perubahan Muka Air St.3000 Konfigurasi X0,5</p> <p>Perubahan Muka Air St.3000 Konfigurasi X0,5</p> <p>Y-axis: Kenaikan Muka Air (%)</p> <p>X-axis: Debit Steady (m3/s)</p>	<p>Perubahan Muka Air St.3000 Saluran Terblok</p> <p>Perubahan Muka Air St.3000 Saluran Terblok</p> <p>Y-axis: Kenaikan Muka Air (%)</p> <p>X-axis: Debit Steady (m3/s)</p>	<p>Perubahan Muka Air St.3000 Konfigurasi Y1</p> <p>Perubahan Muka Air St.3000 Konfigurasi Y1</p> <p>Y-axis: Kenaikan Muka Air (%)</p> <p>X-axis: Debit Steady (m3/s)</p>
5 m	<p>Perubahan Muka Air St.3000 Konfigurasi X0,4</p> <p>Perubahan Muka Air St.3000 Konfigurasi X0,4</p> <p>Y-axis: Kenaikan Muka Air (%)</p> <p>X-axis: Debit Steady (m3/s)</p>	<p>Perubahan Muka Air St.3000 Saluran Terblok</p> <p>Perubahan Muka Air St.3000 Saluran Terblok</p> <p>Y-axis: Kenaikan Muka Air (%)</p> <p>X-axis: Debit Steady (m3/s)</p>	<p>Perubahan Muka Air St.3000 Konfigurasi Y1</p> <p>Perubahan Muka Air St.3000 Konfigurasi Y1</p> <p>Y-axis: Kenaikan Muka Air (%)</p> <p>X-axis: Debit Steady (m3/s)</p>
7 m	<p>Perubahan Muka Air St.3000 Konfigurasi X0,3</p> <p>Perubahan Muka Air St.3000 Konfigurasi X0,3</p> <p>Y-axis: Kenaikan Muka Air (%)</p> <p>X-axis: Debit Steady (m3/s)</p>	<p>Perubahan Muka Air St.3000 Saluran Terblok</p> <p>Perubahan Muka Air St.3000 Saluran Terblok</p> <p>Y-axis: Kenaikan Muka Air (%)</p> <p>X-axis: Debit Steady (m3/s)</p>	<p>Perubahan Muka Air St.3000 Konfigurasi Y1</p> <p>Perubahan Muka Air St.3000 Konfigurasi Y1</p> <p>Y-axis: Kenaikan Muka Air (%)</p> <p>X-axis: Debit Steady (m3/s)</p>

TABEL PERBANDINGAN GRAFIK KERAPATAN PERANCAH ALIRAN UNSTEADY ST.3000

Bukaan	Variasi Kerapatan Longitudinal (Y)	Blok	Variasi Kerapatan Lateral (X)
3 m			
5 m			
7 m			