TUGAS AKHIR (RC14-1501)

STUDI SEDIMENTASI KOLAM PELABUHAN PASURUAN DI MUARA SUNGAI GEMBONG

MEGA AFRIANDINI
NRP 3110 100 080

Dosen Pembimbing
Ir. Bambang Sarwono, M.Sc
Dr. techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc

JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

FINAL PROJECT (RC14-1501)

THE SEDIMENTATION STUDY OF PASURUAN PORT ON GEMBONG RIVER ESTUARY

MEGA AFRIANDINI
NRP 3110 100 080

Supervisor
Ir. Bambang Sarwono, M.Sc
Dr. techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc

DEPARTEMENT OF CIVIL ENGINEERING
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

STUDI SEDIMENTASI KOLAM PELABUHAN PASURUAN DI MUARA SUNGAI GEMBONG

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :
MEGA AFRIANDINI
NRP. 3110 100 080

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Ir. Bambang Sarwono, M.Sc (..)
   NIP : 195303021987011001

2. Dr. techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc (..)
   NIP : 197212021998021001

SURABAYA
JULI, 2015

STUDI SEDIMENTASI KOLAM PELABUHAN PASURUAN DI MUARA SUNGAI GEMBONG

Nama	**: Mega Afriandini**
NRP	**: 3110 100 080**
Jurusan / Fakultas	**: Teknik Sipil / FTSP**
Dosen Pembimbing	**: Ir. Bambang Sarwono, M.Sc**
	Dr. techn. Umboro L, S.T., M.Sc

Abstrak

Pasuruan memiliki kondisi geografis yang strategis, berbatasan dengan kota-kota besar yang bergerak di bidang industri, perdagangan dan jasa. Pasuruan juga memiliki potensi yang berkembang di tiga bidang tersebut. Untuk keperluan transportasi, dibutuhkan pelabuhan yang dapat membongkar muat barang yang dibutuhkan. Saat ini kondisi pelabuhan Pasuruan mengalami penurunan jumlah kapal yang melakukan aktivitas bongkar muat. Hal ini disebabkan karena sedimentasi yang menumpuk di dasar kolam pelabuhan mengakibatkan kedalaman kolam berkurang.

Untuk mengoptimalkankan fungsinya sebagai pelabuhan rakyat, perlu dilakukan pemodelan sedimentasi untuk mengetahui kondisi sedimentasi di kolam pelabuhan. Selain itu studi tersebut dilakukan untuk mendapatkan solusi pengendalian sedimentasi yang tepat. Studi sedimentasi dilakukan dengan simulasi Quasi-Unsteady Flow dengan menggunakan software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System). Simulasi dilakukan dalam durasi 1 tahun dengan masukan data harian berupa data debit sebagai kondisi batas hulu, data tinggi pasang surut sebagai kondisi batas hilir dan sampel sedimen di sepanjang

lokasi studi. Simulasi dilakukan sepanjang 10,496 km dari mulut sungai. Sedangkan analisa difokuskan pada RS 1 sampai RS 24 (sepanjang 1,2 km) yang dimanfaatkan sebagai kolam pelabuhan. Simulasi yang dilakukan menggunakan 3 rumus angkutan yang sesuai dengan kondisi lokasi studi. Tiga rumus tersebut meliputi Ackers-White, Laursen-Copeland dan Yang.

Hasil simulasi menunjukkan terjadinya sedimentasi di muara sungai Gembong. Volume angkutan sedimen yang berada di kolam pelabuhan Pasuruan berdasarkan hasil simulasi dengan menggunakan rumus angkutan Ackers-White, Laursen-Copeland dan Yang, berturut-turut adalah 34.850,2 m^3*, 5.422,4* m^3 *dan 695,83* m^3*. Perubahan dasar kolam dermaga yang terjadi berdasarkan simulasi HEC-RAS sebesar 2,01 m (Ackers-White), 0,51 m (Laursen-Copeland) dan 0,096 m (Yang).*

Dari hasil pemodelan kemudian direncanakan solusi untuk mengatasi sedimentasi yang terjadi. Salah satunya dengan pengerukan. Perencanaan pengerukan didasarkan pada simulasi 5 tahun untuk melihat dampak sedimentasi dalam jangka panjang. Pengerukan direncanakan dengan menggunakan kapal keruk mekanis jenis trailing suction hopper dredger.

Kata kunci : Pelabuhan Pasuruan , Pengerukan Pemeliharaan , Sedimentasi, Simulasi Quasi-Unsteady Flow, Sungai Gembong

THE SEDIMENTATION STUDY OF PASURUAN PORT ON GEMBONG RIVER ESTUARY

Name	**: Mega Afriandini**
NRP	**: 3110 100 080**
Department / Faculty	**: Civil Engineering FTSP**
Supervisor	**: Ir. Bambang Sarwono, M.Sc**
	Dr. techn. Umboro L, S.T., M.Sc

Abstract

Pasuruan, a geographically-strategic regency bordered on some developing cities has worked on industry, trading and services. Pasuruan itself owned those three profitable potential such as those cities. In case of transportation, it surely needs wide enough area to do loading and unloading the goods they need. Nowadays, Pasuruan Port experienced decrease in number of the ships did loading and unloading. One of them was because of the sedimentation on the bed river and cause the decrease of the port depth.

To optimalize the function as public port, it is necessary to do sedimentation study and know the sedimentation in the port. Besides, it could give a right solution to control the sedimentation. Sedimentation study is held by Quasi-Unsteady Flow in HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River System Analysis System). The duration of the simulation is a year with daily data input, those are discharge data as the upstream boundary condition, high tides as the downstream boundary condition and the sediment sample along the study site. The simulation is conducted along 10,496 km from the river mouth. But the analysis is held in focus at RS 1 until RS 24 (along 1,2 km) which is used as port. And it will use three

sediment transport functions whice are suitable with the real condition. Those three are Ackers-White, Laursen-Copeland and Yang.

The simulation output show some sedimentation in the estuary. The sediment transport volume according to the simulation output used Ackers-White, Laursen-Copeland and Yang functions is consecutively 34.850,2 m^3, 5.422,4 m^3 and 695,83 m^3. The bed elevation change according to the HEC-RAS simulation is 2,01 m (Ackers-White), 0,51 m (Laursen-Copeland) and 0,096 m (Yang).

From the model result, then plan the solution to solve the sedimentation. It can be solved by maintenance dredging. The maintenance dredging planning is done based on 5 years simulation to see the long-term effect of sedimentation. Dredging can be carried out with trailing suction hopper dredger.

Key words : Gembong River, Maintenance Dredging, Pasuruan Port, Quasi-Unsteady Flow Simulation, Sedimentation

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT. Dengan rahmat dan petunjukNya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini dengan lancar. Tugas Akhir ini disusun berdasarkan minat bidang yang ingin dipelajari dan dipahami oleh penulis dengan lebih detail. Tugas akhir ini berjudul "Studi Sedimentasi Kolam Pelabuhan Pasuruan di Muara Sungai Gembong". Tugas akhir ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat kelulusan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITS.

Selama penyusunan Tugas Akhir ini, penulis mendapat banyak bimbingan, dukungan dan pengarahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayah dan ibu serta Mbak Putri, atas doa, dukungan dan kasih sayangnya selama ini.
2. Ditjen Dikti Kementrian Pendidikan Nasional yang telah memberikan dukungan kepada mahasiswa, termasuk penulis, dengan Beasiswa Bidik Misi.
3. Bapak Ir. Bambang Sarwono, M.Sc dan Bapak Dr. techn. Umboro Lasminto, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing, atas segala bimbingan, saran dan waktunya dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Guru-guru penulis sejak TK, SD, SMP, SMA hingga perguruan tinggi serta guru mengaji penulis atas ilmu pengetahuan, pelajaran dan pengalaman yang telah diberikan dengan ikhlas.
5. Ranita, Suli, Ines, Dian, Farida, Retno, Icus, dan Titis atas waktu luang, kebersamaan dan dukungannya selama ini.
6. Rahma, Icha, Nia dan Nikma, teman-teman sekosan Gebang Wetan 19A, atas kebersamaan dan dukungannya selama ini.

7. Teman-teman angkatan 2010 S1 Teknik Sipil ITS.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, terdapat beberapa kekurangan yang kami buat, maka kami berharap kritik dan saran dari pembaca. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat. Terima kasih.

Surabaya, Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

Cover……………………………………………………...... i

Cover kedua…………………………………………….... iii

Lembar Pengesahan……………………………………... v

Abstrak..…………………………………………………. vii

Abstract………………………………………………….. ix

Kata Pengantar…………………………………………... xi

Daftar Isi………………………………………………… xiii

Daftar Tabel……………………………………………... xix

Daftar Gambar…………………………………………... xxi

Bab I Pendahuluan………………………………………. 1

1.1 Latar Belakang……………………………………… 1

1.2 Rumusan Permasalahan…………………………….. 3

1.3 Tujuan………………………………………………. 3

1.4 Batasan Masalah……………………………………. 4

1.5 Manfaat…………………………………………….... 4

Bab II Tinjauan Pustaka………………………………… 5

2.1 Pelabuhan………………………………………….... 5

2.2 Muara Sungai……………………………………….. 5

2.2.1 Morfologi muara sungai………………………. 6

2.1.2.1 Muara yang didominasi gelombang laut… 6
2.1.2.2 Muara yang didominasi debit sungai……. 6
2.1.2.3 Muara yang didominasi pasang surut……. 7
2.2.2 Pengelolaan muara sungai……………………. 7
2.2.2.1 Mulut sungai selalu terbuka……………... 8
2.2.2.2 Mulut sungai boleh tertutup……………... 9
2.3 Sedimentasi…………………………………………. 10
2.3.1 Angkutan sedimen……..……………………... 11
2.4 Pemodelan Sedimentasi dengan *Software* HEC-RAS 12
2.4.1 *Quasi-unsteady flow (aliran tidak tetap semu)*.. 13
2.4.2 Keseimbangan sedimen……………………….. 15
2.4.3 Perhitungan kapasitas angkutan………………. 16
2.4.4 Perubahan dasar saluran………………………. 25
2.5 Upaya Pengendalian Sedimentasi…………………... 26
2.5.1 Pengerukan pemeliharaan (*maintenance dredging*)……………………………………... 27
2.5.2 Tahapan persiapan pengerukan pemeliharaan… 27
2.5.2.1 Survei lokasi dan investigasi……………. 28
2.5.2.2 Survei hidrografi………………………... 28
2.5.2.3 Sistem survei otomatis………………….. 30
2.5.2.4 Kondisi dasar perairan………………….. 30

2.5.2.5 Pengukuran arus………………………… 31

2.5.2.6 Tinggi dan arah gelombang…………….... 31

2.5.2.7 Pasang surut…………………………….. 31

2.5.2.8 Temperatur dan salinitas air…………….. 32

2.5.2.9 Padatan tersuspensi……………………... 32

2.5.2.10 Angkutan sedimen…………………….. 33

2.5.2.11 Penyelidikan tanah…………………….. 33

2.5.3 Tahapan pengerukan pemeliharaan………….. 33

2.5.3.1 Penghancuran material (*disintegration of the in-situ material*)…………………… 34

2.5.3.2 Pengangkatan material (*raising of the material*)……………………………….... 34

2.5.3.3 Pengangkutan material (*horizontal transport of the material*)……………… 35

2.5.3.4 Penempatan material (*placement of the material*)……………………………….... 36

Bab III Metodologi………………………………………… 39

3.1 Metode Pengerjaan………………………………… 39

3.1.1 Survei pendahuluan dan studi literatur……….... 39

3.1.2 Pengumpulan data…………………………….. 39

3.1.3 Pemodelan sedimentasi dengan program HEC-RAS 4.1.0……………………………………... 40

3.2 Diagram Alir Pengerjaan…………………………… 40

Bab IV Analisa Data dan Pembahasan…………………….. 43

4.1 Analisa Data……………………………………... 43

4.1.1 Pemodelan muara Sungai Gembong………….. 43

4.1.2 Input kondisi batas hulu………………………. 46

4.1.3 Input kondisi batas hilir……………………….. 48

4.1.4 Analisa sampel sedimen………………………. 52

4.1.5 Kalibrasi model muara Sungai Gembong pada HEC-RAS 4.1.0…………………………….. 60

4.2 Simulasi Angkutan Sedimen……………………….. 65

4.2.1 Input data aliran dan sedimen…………………. 66

4.2.1.1 Input data *Quasy*-*Unsteady Flow Editor*… 66

4.2.1.2 Input data *Sediment Data Editor*……….. 71

4.2.2 Pemilihan rumus angkutan pada HEC-RAS 4.1.0………………………………………… 73

4.2.3 Simulasi *Quasy*-*Unsteady* dengan HEC-RAS 4.1.0………………………………………… 76

4.2.3.1 Analisa dengan rumus angkutan Ackers-White………………………………… 80

4.2.3.2 Analisa dengan rumus angkutan Laursen-Copeland…………………………….. 89

4.2.3.3 Analisa dengan rumus angkutan Yang....... 99

4.2.4 Analisa dan perbandingan hasil simulasi *Quasy-Unsteady*……………………………………. 109

4.3 Perencanaan Pengerukan Muara……………………. 110
Bab V Kesimpulan dan Saran……………………………… 123
5.1 Kesimpulan………………………………………. 123
5.2 Saran…………………………………………….... 123
Daftar Pustaka……………………………………………… 125
Lampiran…………………………………………………… 127

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Ukuran Butir yang Digunakan dalam HEC-RAS 4.1.0.. 17

Tabel 4.1 Debit di Hulu Warugdowo pada tahun 2011........... 46

Tabel 4.2 Presentase Butiran Tertahan Ayakan pada Sampel Lokasi 1 Bagian Hulu (Warungdowo)................................... 58

Tabel 4.3 Presentase Butiran Tertahan Ayakan pada Sampel Lokasi 2 Plered.. 58

Tabel 4.4 Presentase Butiran Tertahan Ayakan pada Sampel Lokasi 3 Gang Makam….. 59

Tabel 4.5 Presentase Butiran Tertahan Ayakan pada Sampel Lokasi 4 Bagian Hilir (Pelabuhan).. 59

Tabel 4.6 Perbandingan Tinggi Muka Air di Hulu................. 61

Tabel 4.7 Rincian Penampang Melintang dengan Data Sedimen yang Digunakan... 72

Tabel 4.8 Cakupan Masukan Parameter yang Dikembangkan pada Tiap Rumusan... 75

Tabel 4.9 *Output* HEC-RAS (Rumus Ackers-White), Perubahan Volume Dasar di Muara Sungai Gembong pada Setiap Akhir Bulan Tahun 2011 (m^3)..................................... 83

Tabel 4.10 *Output* HEC-RAS (Rumus Laursen-Copeland), Perubahan Volume Dasar di Muara Sungai Gembong pada Setiap Akhir Bulan Tahun 2011 (m^3)..................................... 93

Tabel 4.11 *Output* HEC-RAS (Rumus Yang), Perubahan Volume Dasar di Muara Sungai Gembong pada Setiap Akhir Bulan Tahun 2011 (m^3)... 103

Tabel 4.12 Perbandingan Hasil Simulasi *Quasi-Unsteady* pada Muara Sungai Gembong... 109
Tabel 4.13 Perubahan Elevasi Dasar Saluran di Muara Setelah Simulasi 5 Tahun (Rumus Angkutan Ackers-White)... 111
Tabel 4.14 Perubahan Elevasi Dasar Saluran di Muara Setelah Simulasi 5 Tahun (Rumus Angkutan Laursen-Copeland)... 112
Tabel 4.15 Perubahan Elevasi Dasar Saluran di Muara Setelah Simulasi 5 Tahun (Rumus Angkutan Yang)............ 113
Tabel 4.16 Output HEC-RAS dengan Rumus Ackers-White, dalam Penyajian Volume Perubahan Dasar Saluran Muara dalam Simulasi 5 Tahun.. 115
Tabel 4.17 Output HEC-RAS dengan Rumus Laursen-Copeland, dalam Penyajian Volume Perubahan Dasar Saluran Muara dalam Simulasi 5 Tahun............................... 117
Tabel 4.18 Output HEC-RAS dengan Rumus Yang, dalam Penyajian Volume Perubahan Dasar Saluran Muara dalam Simulasi 5 Tahun.. 119

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Letak Pasuruan di Jawa Timur..................... 1

Gambar 1.2 Lokasi Pelabuhan Pasuruan di Muara Sungai Gembong.. 2

Gambar 2.1 Skema Jenis Muatan Sedimen....................... 11

Gambar 2.2 Rangkaian Aliran *Quasi-Unsteady* dengan Tahapan Waktu.. 14

Gambar 2.3 Skema Kontrol Volume yang Digunakan HEC-RAS untuk Perhitungan Sedimen............................ 16

Gambar 2.4 Irisan yang Digunakan untuk Mendistribusikan Erosi atau Deposisi Volume Secara Longitudinal Sepanjang Kontrol Volume.......................... 26

Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan................................ 41

Gambar 4.1 Skema Muara Sungai Gembong pada tampilan HEC-RAS 4.1.0.. 44

Gambar 4.2 Bangunan Air Plered..................................... 45

Gambar 4.3 Lokasi Data Pasang Surut dari Alur Pelayaran Timur Surabaya (Karang Kleta).. 48

Gambar 4.4 Perbandingan Data Pasang Surut Pengamatan dan Peramalan.. 50

Gambar 4.5 Grafik Pasang Surut Harian Karang Kleta tahun 2011... 51

Gambar 4.6 Lokasi Pengambilan Sedimen........................ 52

Gambar 4.7 *Sediment Grab* untuk Mengambil Sampel Sedimen.. 53

Gambar 4.8 Hasil Ayakan Sampel Sedimen Lokasi 1........ 54

Gambar 4.9 Hasil Ayakan Sampel Sedimen Lokasi 2......... 55

Gambar 4.10 Hasil Ayakan Sampel Sedimen Lokasi 3....... 56

Gambar 4.11 Hasil Ayakan Sampel Sedimen Lokasi 4....... 57

Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Tinggi Muka Air dengan Nilai Koefisien n = 0.03....................................... 63

Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Tinggi Muka Air dengan Nilai Koefisien n = 0.025...................................... 64

Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Tinggi Muka Air dengan Nilai Koefisien n = 0.02....................................... 64

Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Tinggi Muka Air dengan Nilai Koefisien n = 0.015...................................... 65

Gambar 4.16 Tampilan Jendela *Gate Time Series*............. 67

Gambar 4.17 Model Bangunan Air Plered pada HEC-RAS 4.1.0... 68

Gambar 4.18 *Flow Series* untuk Kondisi Batas Hulu......... 69

Gambar 4.19 *Stage Series* untuk Kondisi Batas Hilir.......... 70

Gambar 4.20 Tampilan Jendela *Temperature Series*.......... 71

Gambar 4.21 Tampilan HEC-RAS untuk Data Distribusi Ayakan Butiran Sampel Sedimen Lokasi 1........................ 72

Gambar 4.22 Tampilan Jendela *Sediment Output Options*. 77

Gambar 4.23 Lokasi Kolam Pelabuhan di Muara Sungai Gembong... 78

Gambar 4.24 Detail Muara Sungai dari Skema Sungai Gembong... 79

Gambar 4.25 Detail Lokasi Beberapa Bentuk Sedimen dengan Menggunakan Rumus Ackers-White.................... 81

Gambar 4.26 Perubahan Volume Dasar Sepanjang Muara selama 1 Tahun dengan Menggunakan Rumusan Ackers-White.. 85

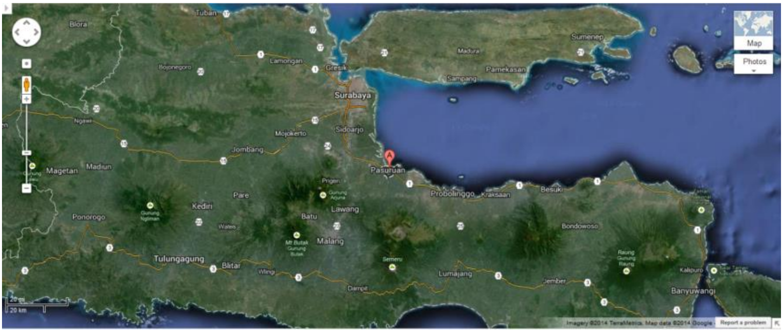
Gambar 4.27 Perubahan Elevasi Dasar Sepanjang Saluran Selama Simulasi Menggunakan Rumus Angkutan Ackers-White………………………………………… 87
Gambar 4.28 Detail Lokasi Beberapa Bentuk Sedimen dengan Menggunakan Rumus Laursen-Copeland............. 91
Gambar 4.29 Perubahan Volume Dasar Sepanjang Muara selama 1 Tahun dengan Menggunakan Rumusan Laursen-Copeland.. 95
Gambar 4.30 Perubahan Elevasi Dasar Sepanjang Saluran Selama Simulasi Menggunakan Rumus Angkutan Laursen-Copeland... 97
Gambar 4.31 Detail Lokasi Beberapa Bentuk Sedimen dengan Menggunakan Rumus Yang.................................. 101
Gambar 4.32 Perubahan Volume Dasar Sepanjang Muara selama 1 Tahun dengan Menggunakan Rumusan Yang...... 105
Gambar 4.33 Perubahan Elevasi Dasar Sepanjang Saluran Selama Simulasi Menggunakan Rumus Angkutan Yang... 107

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kota Pasuruan memiliki lokasi geografis yang strategis diantara kota Sidoarjo, Malang dan Probolinggo dan menjadi akses utama dari Surabaya menuju daerah timur Jawa Timur. Selain itu kota ini juga berbatasan dengan Selat Madura di sisi utara. Kota-kota besar tersebut bergerak di bidang industri, perdagangan dan jasa. Pasuruan sendiri memiliki potensi yang tidak kalah dengan kota-kota tersebut. Terdapat beberapa pabrik berskala besar sampai industri kecil dan menengah yang sedang berkembang. Dalam hal transportasi, dibutuhkan area yang cukup luas untuk aktivitas bongkar barang yang dibutuhkan maupun untuk aktivitas muat barang yang dihasilkan. Dimana kegiatan tersebut kurang efektif jika dilakukan pada jalur darat. Maka pemerintah berupaya untuk mengembangkan potensi tersebut, salah satunya dengan pengembangan pelabuhan.



Gambar 1.1 Letak Pasuruan di Jawa Timur
Sumber : Google Earth

Pelabuhan Pasuruan terletak di Jalan Yos Sudarso kota Pasuruan. Komoditas yang dibongkar di Pelabuhan Pasuruan saat ini berupa kayu log. Sementara untuk komoditas yang dimuat berupa garam dan alat berat. Dengan potensi yang dimiliki daerah

hinterland yang dilayani, komoditas yang dibongkar muat dapat berkembang dengan adanya sarana dan prasarana yang memadai. Di samping perannya sebagai pelabuhan rakyat, pelabuhan Pasuruan juga bisa menjadi penopang Pelabuhan Tanjung Perak disamping pelabuhan-pelabuhan lainnya di Jawa Timur.

Gambar 1.2 Lokasi Pelabuhan Pasuruan di Muara Sungai Gembong
Sumber : Google Earth

Pelabuhan ini terletak di muara sungai Gembong dan memanfaatkan aliran sungai tersebut sebagai kolam dermaga. Sungai sebagai saluran alami tidak hanya mengalirkan air, namun

juga membawa angkutan sedimen hasil erosi dari DAS dan alurnya. Dalam kurun waktu tertentu, sedimen ini akan mengendap di dasar sungai dan mengurangi kedalaman kolam pelabuhan. Hal ini tentu menggangu alur keluar masuk pelabuhan. Karena kapal yang hendak melakukan aktivitas bongkar muat memiliki batas kedalaman tertentu untuk bisa bersandar. Selain itu, kolam pelabuhan yang dangkal mengakibatkan kapal yang bisa sandar terbatas pada draft tertentu.

Untuk mengatasi permasalahan yang terjadi akibat sedimentasi, perlu dilakukan studi mengenai sedimentasi yang terjadi. Dari hasil studi tersebut, dapat diketahui pola sedimentasi yang terjadi di muara sungai dan solusi pemeliharaan yang dapat dilakukan agar kedalaman yang dibutuhkan kapal untuk bersandar dapat terjaga.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang timbul dan akan dibahas dalam studi sedimentasi dan upaya pengendalian muara sungai Gembong untuk keperluan kolam pelabuhan Pasuruan, yaitu :

1. Berapa volume angkutan sedimen yang berada di kolam Pelabuhan Pasuruan?
2. Bagaimana perubahan kedalaman kolam dermaga akibat adanya sedimentasi?
3. Bagaimana cara yang tepat untuk mengendalikan sedimentasi yang terjadi di kolam pelabuhan?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengetahui volume angkutan sedimen yang mengendap dikolam pelabuhan.
2. Mengetahui perubahan kedalaman kolam pelabuhan akibat endapan sedimen.
3. Merencanakan pengendalian muara sungai yang dapat mengendalikan angkutan sedimen sehingga kedalaman kolam pelabuhan dapat terjaga.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah :

1. Fokusan area studi yang dianalisa terbatas pada aliran sungai yang dimanfaatkan menjadi kolam pelabuhan.
2. Tidak memperhitungkan pengaruh gelombang dan sedimen dari arah pantai.
3. Beberapa data yang digunakan dalam analisa adalah data-data sekunder kecuali sampel sedimen.
4. Untuk pemodelan sedimentasi digunakan program bantu HEC-RAS 4.1.0 (*Hydrologic Engineering Center – River Analysis System*) dengan tipe simulasi aliran tak permanen semu (*quasy-unsteady flow*)

1.5 Manfaat

Manfaat dari perencanaan pada Tugas Akhir ini adalah :

1. Sebagai referensi dalam penanganan masalah sedimentasi di kolam pelabuhan yang terletak di muara sungai.
2. Sebagai referensi dalam perencanaan upaya pengendalian sedimentasi pada kolam pelabuhan yang tereletak di muara sungai.
3. Sebagai referensi bagi masyarakat umum, mahasiswa, pemerintah ataupun instansi lain yang akan merencanakan pengembangan pelabuhan Pasuruan.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pelabuhan

Pelabuhan adalah daerah perairan yang terlindung dari gelombang, dilengkapi dengan fasilitas terminal laut meliputi dermaga sebagai tambatan kapal untuk melakukan aktivitas bongkar muat barang, peralatan bongkar muat barang (seperti : *crane*), lapangan penumpukan untuk menumpuk barang dan gudang penyimpanan untuk menyimpan barang yang dibongkar muat untuk waktu yang lebih lama (Triatmodjo, 2009). Ditinjau dari segi teknis, pelabuhan dapat dibagi menjadi : a) pelabuhan alam, secara alami lokasinya telah terlindung dari badai dan gelombang, misalnya oleh suatu pulau, atau terletak di teluk, estuari atau muara sungai dimana pengaruh gelombang sangat kecil, b) pelabuhan buatan, lokasi pelabuhan terlindung oleh struktur bangunan pemecah gelombang dan c) pelabuhan semi alam, yang merupakan campuran dari dua tipe lainnya, misalnya pelabuhan yang terletak di muara sungai dan di kedua sisinya dibangun *jetty* untuk menahan masuknya transpor sedimen sepanjang pantai ke muara sungai.

Pelabuhan sebagai tempat berlabuhnya kapal-kapal diharapkan memiliki kedalaman air yang cukup. Sehingga, upaya-upaya tertentu harus dilakukan untuk menjaga kedalaman daerah lingkungan kerja pelabuhan. Khususnya pelabuhan yang terletak di muara sungai yang mendapatkan pengaruh dari debit sungai, pasang surut air laut, dan gelombang.

2.2 Muara Sungai

Muara sungai merupakan bagian hilir sungai yang terhubung dengan laut, sedang estuari adalah bagian muara sungai yang masih mendapat pengaruh dari pasang surut air laut. Muara sungai memiliki fungsi mengalirkan debit sungai ke laut. Dengan letaknya yang berada di hilir dan berhubungan dengan laut, maka muara sungai juga harus mampu mengalirkan debit air yang ditimbulkan

pasang surut air laut, yang bisa jadi lebih besar dari debit sungai itu sendiri.

2.2.1 Morfologi muara sungai

Terdapat tiga faktor dominan yang mempengaruhi muara sungai, yaitu gelombang, debit sungai dan pasang surut (Nur Yuwono,1994). Ketiga faktor tersebut mempengaruhi secara simultan, namun biasanya terdapat salah satu faktor yang lebih dominan. Pada sungai yang kecil dan bermuara di laut yang luas, maka faktor yang lebih menentukan adalah gelombang. Sedangkan pada sungai yang bermuara di laut yang tenang, faktor yang lebih dominan adalah debit sungainya. Berdasarkan tiga faktor tersebut, muara sungai dibedakan menjadi tiga kelompok (Triatmodjo,1999).

2.2.1.1 Muara yang didominasi gelombang laut

Gelombang besar yang terjadi pada pantai berpasir dapat menyebabkan angkutan sedimen, baik dalam arah tegak lurus maupun sejajar/sepanjang pantai. Angkutan sedimen sepanjang pantai terdiri dari dua komponen, angkutan sedimen dalam bentuk mata gergaji di garis pantai dan angkutan sedimen sepanjang pantai di *surf zone*. Angkutan sedimen tersebut dapat bergerak masuk ke sungai dan mengendap disana karena kondisi gelombang yang sudah tenang. Banyaknya sedimen yang mengendap berbanding lurus dengan besar gelombang. Jika sungai memiliki debit yang kecil, maka kecepatan arus tidak mampu mengerosi sedimen yang terjadi sehingga muara sungai dapat benar-benar tertutup oleh sedimen.

2.2.1.2 Muara yang didominasi debit sungai

Muara ini terjadi pada sungai dengan debit cukup besar yang bermuara di laut yang relatif tenang. Jenis sungai ini membawa angkutan sedimen yang cukup besar dari bagian hulu. Sedimen yang sampai di muara sungai berupa suspensi dengan diameter partikel yang kecilnya

sampai berukuran mikron. Sifat-sifat sedimennya cenderung kohesif dan lebih bergantung pada gaya-gaya permukaan daripada gaya beratnya. Pada kondisi tertentu, gaya tolak-menolak antar partikel berkurang dan partikel-partikel akan bergabung membentuk flokon dengan diameter lebih besar dibanding partikel individu. Kecepatan endapnya juga meningkat. Pada periode air surut, sedimen akan terdorong ke muara dan menyebar ke laut. Namun pada satu siklus pasang surut jumlah sedimen yang mengendap lebih banyak daripada yang tererosi, sehingga terjadi pengendapan di depan mulut sungai. Proses ini jika terjadi berulang-ulang, muara sungai akan maju ke arah laut dan membentuk delta.

2.2.1.3 Muara yang didominasi pasang surut

Apabila tinggi pasang surut cukup besar, volume air pasang akan masuk ke sungai dalam jumlah yang besar dan terakumulasi dengan air dari hulu sungai. Pada periode air surut, volume air yang besar itu akan mengalir keluar sungai dalam periode tertentu yang tergantung pada tipe pasang surut. Dengan demikian kecepatan arus selama periode surut cukup potensial untuk membentuk muara sungai. Muara sungai tipe ini biasanya berbentuk corong atau lonceng. Angkutan sedimen yang terjadi berasal dari sungai dan laut. Dan beberapa endapan terjadi di muara sungai.

2.2.2 Pengelolaan muara sungai

Permasalahan muara sungai didominasi oleh perilaku sedimen yang dapat mengakibatkan pendangkalan mulut sungai. Pendangkalan ini dapat mengakibatkan dua masalah pokok berikut :

1. Ketidaklancaran pembuangan debit banjir ke laut sehingga terjadi luapan air di daerah hulu
2. Terganggunya kapal-kapal yang memanfaatkan mulut sungai sebagai alur pelayaran.

Untuk menanggulangi masalah tersebut perlu dilakukan penanganan dan strategi pengelolaan muara sungai. Strategi itu ditentukan berdasarkan beberapa pertimbangan, diantaranya adalah pemanfaatan muara sungai, biaya pekerjaan dan dampak bangunan terhadap lingkungan, biaya operasi dan pemeliharaan, ketersediaan bahan bangunan, dan sebagainya.

Ada dua pilihan dasar yang perlu ditinjau, terkait muara tesebut akan dibiarkan selalu terbuka atau diperbolehkan sesekali tertutup. Apabila muara sungai dimanfaatkan sebagai alur pelayaran, tentu muara sungai tersebut harus selalu terbuka, sehingga perlu dibangun *jetty* panjang yang menjorok ke laut sampai area gelombang pecah. Namun jika muara sungai dimanfaatkan untuk melewatkan debit banjir ke laut, ada beberapa alternatif yang bisa dipilih (Triatmodjo,1999).

2.2.2.1 Mulut sungai selalu terbuka

Agar mulut sungai dapat selalu terbuka, maka perlu dibangun dua *jetty* panjang untuk menghindari sedimentasi di dalam alur dan pembentukan *sand bar*. Sedimentasi yang terjadi disebabkan baik oleh angkutan sedimen dalam arah tegak lurus garis pantai maupun dari sepanjang pantai. *Jetty* dibuat cukup panjang menjorok ke arah laut sampai ujungnya tidak terganggu dengan gerakan sedimen, yaitu pada area diluar gelombang pecah.

Lokasi gelombang pecah bisa berubah sesuai dengan pasang surut yang terjadi. Penentuan panjang *jetty* didasarkan pada muka air surut, sedang tinggi gelombang disesuaikan dengan gelombang rencana. Untuk panjang *jetty* di sebelah kiri dan kanan boleh berbeda tergantung pada arah gelombang yang dominan. Karena angkutan sedimen sepanjang pantai sudah terhalang, maka akan terjadi perubahan yang signifikan pada garis pantai di sekitar bangunan. Di sebelah hulu (terhadap arah angkutan sedimen sepanjang pantai) akan terjadi sedimentasi sedang di sebelah hilir akan mengalami erosi yang dapat

merugikan. Oleh karena itu, perlu dibuat bangunan pengendali erosi berupa dinding *revetment*, *groin*, pemecah gelombang atau kombinasi ketiganya. Namun pengendapan masih bisa terjadi di mulut sungai saat perubahan garis pantai telah mencapai ujung *jetty* sehingga angkutan sedimen sepanjang pantai dapat melewatinya dan masuk ke muara sungai.

Pembangunan *jetty* dan bangunan pendukungnya perlu dipelajari kelayakannya. Mengingat biaya yang diperlukan dalam pembangunan tersebut cukup besar. Pada umumnya, bangunan ini dibuat untuk muara sungai yang dimanfaatkan untuk keperluan alur pelayaran. Alur pelayaran harus terletak pada laut yang tenang supaya kapal bisa masuk ke area pelabuhan.

2.2.2.2 Mulut sungai boleh tertutup

Alternatif ini memungkinkan mulut sungai tetap (tidak membelok) atau boleh berpindah. Pembelokan mulut sungai dapat mengakibatkan alur sungai semakin panjang, sehingga secara hidrolis dapat mengurangi kemampuannya untuk melewatkan debit air. Selain itu juga dapat mengakibatkan daerah pembelokannya mengalami erosi. Untuk menahan pembelokan mulut sungai, perlu dibuat *jetty* sedang, pendek, bangunan di tebing mulut sungai atau dilakukan pengerukan rutin endapan dengan menggunakan alat berat. Cara terakhir dilakukan jika alur sungai direncanakan boleh membelok.

Pengerukan endapan di mulut sungai merupakan alternatif paling sederhana dan ekonomis. Pengerukan dapat dilakukan dengan alat berat untuk dapat mengeruk dalam volume besar sehingga didapatkan alur yang maksimal. Bagian endapan yang dikeruk adalah searah dengan alur sungai. Permasalahan terjadi jika datang gelombang yang cukup besar atau rentang waktu

pengerukan dengan masa banjir terlalu lama sehingga alur yang telah dikeruk kembali tertutup.

2.3 Sedimentasi

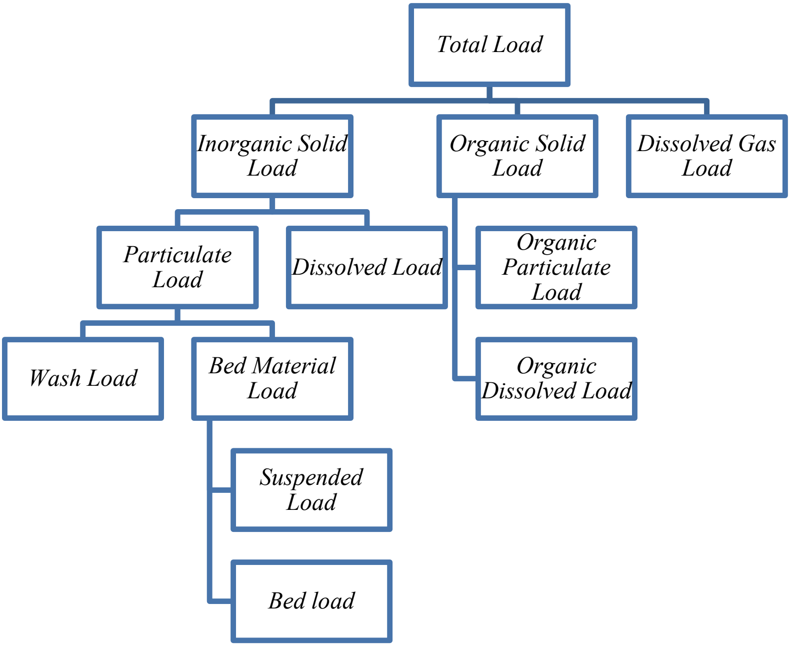
Menurut Mulyanto, 2007, sungai sebagai saluran alami memiliki fungsi utama dalam mengalirkan air dan mengangkut sedimen hasil erosi pada DAS dan alurnya, dimana keduanya berlangsung secara bersamaan dan saling mempengaruhi.

Sedimen adalah pecahan-pecahan material umumnya terdiri atas uraian batu-batuan secara fisis dan kimiawi. Partikel seperti ini mempunyai ukuran dari yang besar (*boulder*) sampai yang sangat halus (koloid) dengan bentuk yang bervariasi dari bulat, lonjong, sampai persegi. Pada umumnya partikel yang bergerak dengan cara bergulung, meluncur dan meloncat disebut angkutan muatan dasar (*bed-load transport*), sedangkan partikel yang bergerak dengan melayang disebut angkutan muatan layang (*suspended load transport*). Material sedimen adalah kuarsa, saat partikel sedimen terlepas mereka akan terangkut oleh gaya gravitasi, angin dan/atau air.

Angkutan sedimen di sungai yang bergerak oleh aliran air, sangat erat berhubungan dengan erosi tanah permukaan karena hujan. Air yang meresap ke tanah dapat mengakibatkan longsoran tanah yang kemudian masuk ke sungai sehingga mempunyai andil yang sangat besar pada jumlah angkutan sedimen di sungai. Seluruh proses merupakan siklus yang saling terkait antara erosi tanah → angkutan sedimen → pengendapan.

Karena muatan dasar senantiasa bergerak, maka permukaan dasar sungai kadang-kadang naik (agradasi) tetapi kadang-kadang turun (degradasi) dan naik turunnya dasar sungai disebut alterasi dasar sungai (*river bed alteration*). Muatan melayang tidak berpengaruh pada alterasi dasar sungai, tetapi dapat mengendap di dasar waduk atau muara sungai, yang menimbulkan pendangkalan – pendangkalan waduk atau muara sungai tersebut yang dapat menimbulkan masalah berikutnya (Anasiru,2006).

2.3.1 Angkutan sedimen



Gambar 2.1 Skema Jenis Muatan Sedimen
Sumber : Lawrence Dingman, 2009

Berdasarkan Lawrence Dingman, 2009, angkutan sedimen yang berada pada aliran sungai dapat dibedakan membentuk skema pada gambar diatas. Namun angkutan sedimen yang berpengaruh dalam aliran sungai dan akan dibahas adalah *bed material load* yang merupakan bagian dari *particulate load*.

Particulate load merupakan material yang terdiri dari partikel-partikel yang berlainan dan cukup besar untuk terpengaruh Gaya Brown. Secara nominal, partikel-partikel tersebut memiliki diameter lebih besar dari 10^{-4} mm. Material ini secara tipikal terdiri dari mineral quartz (SiO_2) dalam jumlah besar dengan proporsi yang bermacam-macam terhadap mineral lainnya tergantung kondisi geografisnya.

Partikel-partikel berukuran pasir atau lebih kecil (diameter < 2 mm) biasanya terdiri dari satu jenis mineral, sedangkan partikel yang lebih besar terdiri dari beberapa jenis mineral (dengan didominasi oleh quartz).

Wash load merupakan bagian dari *particulate load* yang tidak terdapat pada dasar saluran dan tepi sungai. Merupakan material yang lebih halus (bisa berbentuk *clay* atau *silt*) yang ikut dalam aliran berasal dari darat atau dari es dan bertahan dalam suspensi dalam waktu yang lama walaupun alirannya sangat kecil. Karena keberadaannya yang hampir terpisah dari kondisi hidrolika, *wash load* sering tidak diperhitungkan.

Bed material load merupakan bagian dari *particulate load* yang dapat ditemukan di dasar dan tepi sungai. Jenis material inilah yang berperan dalam pergerakan, perpindahan dan pengendapan sedimen. *Bed material load* terdiri dari dua bagian, yaitu *bed load* dan *suspended load* :

a. *Bed load*. Merupakan bagian dari *bed material load* yang terdiri dari butiran berdiameter sedang yang bergerak dan berpindah di dasar saluran. Partikel berukuran kerikil biasa berpindah dalam gerakan menggelinding, sedangkan yang berukuran pasir biasa berpindah dalam gerakan meluncur.
b. *Suspended load*. Merupakan bagian dari *bed material load* yang terbawa oleh turbulensi dan berpindah dalam aliran air pada ketinggian yang lebih tinggi dari butiran berdiameter sedang diatas dasar saluran.

2.4 Pemodelan Sedimentasi dengan *Software* HEC-RAS

Sistem pemodelan ini diperuntukkan untuk simulasi perhitungan angkutan sedimen satu dimensi yang dihasilkan dari penggerusan dan pengendapan pada periode waktu tertentu yang biasanya tahunan. Potensi angkutan sedimen dihitung berdasarkan pembagian ukuran butiran, dengan demikian memungkinkan simulasi *sorting* dan *armoring*. Pemodelan ini didesain untuk menyimulasikan terjadinya gerusan dan endapan pada alur sungai dalam waktu jangka panjang dengan modifikasi frekuensi dan

durasi debit air yang mengalir atau modifikasi geometri saluran. Sistem tersebut dapat mengevaluasi pengendapan pada sungai dan memprediksi kebutuhan pengerukan untuk proses pengendaliannya.

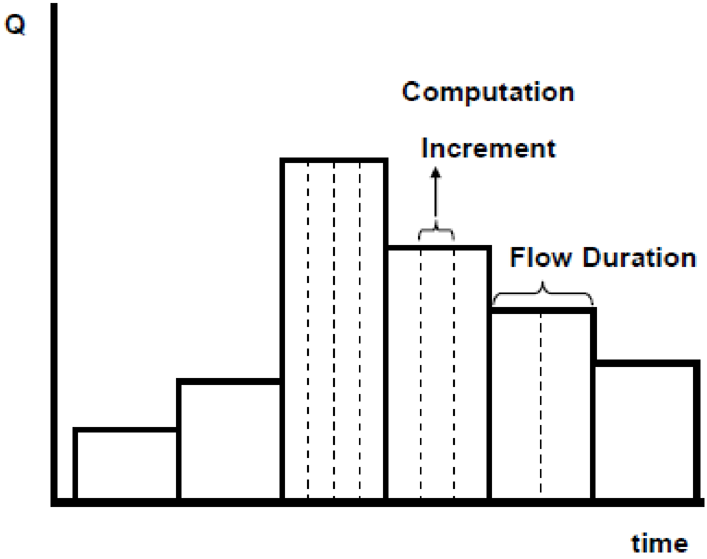
Pemodelan angkutan sedimen terkenal kerumitannya. Karena data yang digunakan untuk memperkirakan perubahan dasar sungai tidak pasti dan teori yang diterapkan merupakan teori empiris dan sangat sensitif terhadap perubahan variabel-variabel fisiknya. Walaupun demikian, dengan data yang baik (akurat), pemodel bisa menggunakan pemodelan sedimen terkalibrasi untuk memperkirakan kecenderungan (*trend*) regional dalam jangka panjang. *Trend* tersebut dapat digunakan dalam perencanaan dan evaluasi alternatif proyek. HEC-RAS telah memasukkan kerangka kerja yang dapat menampilkan pemodelan angkutan sedimen.

2.4.1 *Quasi-unsteady flow* (aliran tidak tetap semu)

Sebelum HEC-RAS melakukan perhitungan angkutan sedimen, kondisi hidrolika sungai harus terlebih dulu ditentukan. HEC-RAS menggunakan penyederhanaan hidrodinamika, sebuah pendekatan yang biasa digunakan dalam banyak pemodelan angkutan sedimen. *Quasi-unsteady flow* diasumsikan mendekati hidrograf kontinu dengan serangkaian profil aliran *steady* yang berlainan. Untuk setiap catatan rangkaian alirannya, aliran akan tetap kontstan pada waktu tertentu. Penggunaan asumsi aliran dalam *steady* lebih mudah dikembangkan daripada *unsteady*, dan program juga dapat melakukan pemodelan dengan lebih cepat.

Tiap profil aliran *steady* yang berlainan akan dibagi dalam blok-blok waktu yang lebih kecil untuk perhitungan angkutan sedimen. HEC-RAS menggunakan tiga macam tahapan waktu, dimana satu tahapan waktu merupakan pembagian dari tahapan waktu sebelumnya. Tiga tahapan waktu tersebut adalah *flow duration*, *computation increment* dan *mixing time step*. *Flow duration* merupakan tahapan waktu paling kasar yang mewakili jangka waktu dimana aliran atau sedimen

diasumsikan konstan. *Computation increment* merupakan pembagian waktu yang lebih lanjut dari *flow duration*. Walaupun alirannya tetap sama selama *flow duration*, geometri dasar sungai dan hidrodinamika bisa berubah atau diperbarui pada tahapan waktu ini. Selain itu stabilitas model sangat sensitif dengan tahapan waktu ini, karena geometri dasar sungai dapat berubah pada akhir tahapan waktu ini. Ketika *computation increment* terlalu lama, maka geometri dasar sungai tidak cukup sering diperbarui dan hasil model menjadi berubah-ubah (U.S.Army Corps of Engineers,2010).



Gambar 2.2 Rangkaian Aliran *Quasi-Unsteady* dengan Tahapan Waktu

Sumber : HEC-RAS Reference Manual

Computation increment dibagi lagi menjadi *bed mixing time step*. Pada setiap *mixing time step* pada sebuah *computation increment*, bathimetri, parameter hidrolik dan potensi angkutan untuk tiap ukuran butir akan tetap konstan. Sehingga, perhitungan untuk erosi dan deposisi berlangsung

pada tahapan waktu ini, dan ini dapat menyebabkan perubahan pada susunan *bed mixing layers*. Profil gradasi vertikal diatur ulang sebagai respon akibat perpindahan atau penambahan material. Karena gradasi lapisan aktif berubah selama tahapan waktu ini, kapasitas angkutan sedimen akan berubah walaupun hidrodinamikanya tetap konstan (U.S. Army Corps of Engineers, 2010).

2.4.2 Keseimbangan sedimen

Aktivitas penelusuran sedimen dalam HEC-RAS menggunakan persamaan keseimbangan sedimen yang lebih dikenal dengan persamaan Exner :

$$(1-\lambda_p)B\frac{\partial \eta}{\partial t} = -\frac{\partial Q_s}{\partial x} \qquad \text{.........(2.1)}$$

dimana :

B = lebar saluran

η = elevasi saluran

λp = porositas lapisan aktif

t = waktu

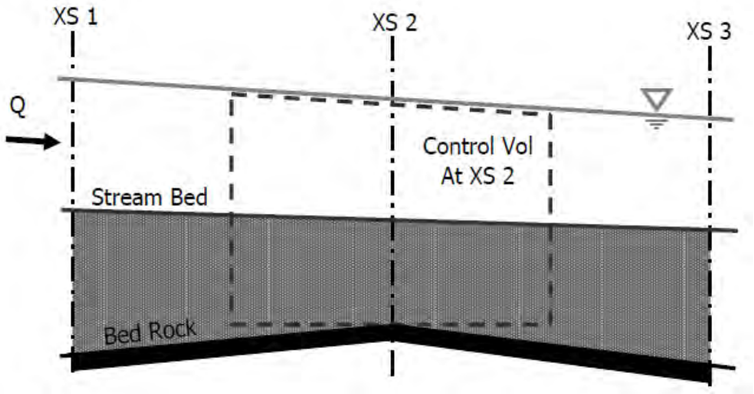
x = jarak

Qs = muatan sedimen yang terangkut

Persamaan tersebut secara sederhana menyatakan bahwa perubahan volume sedimen dalam sebuah kontrol volume (misal: agradasi dan degradasi) adalah sama dengan selisih muatan yang masuk dengan yang keluar (U.S. Army Corps of Engineers, 2010).

Persamaan keseimbangan sedimen ini diselesaikan dengan menghitung kapasitas angkutan sedimen melalui kontrol volume yang dihubungkan dengan tiap penampang melintang. Kapasitas ini dibandingkan dengan persediaan sedimen yang memasuki kontrol volume. Apabila kapasitas lebih besar dibandingkan dengan persediaan, maka terdapat defisit/kekurangan sedimen yang dapat dipenuhi dengan proses pengikisan sedimen dasar sungai. Dan apabila

persediaan melebihi kapasitas, maka terdapat surplus/kelebihan sedimen yang mengakibatkan material terendapkan.



Gambar 2.3 Skema Kontrol Volume yang Digunakan HEC-RAS untuk Perhitungan Sedimen

Sumber : HEC-RAS Reference Manual

2.4.3 Perhitungan kapasitas angkutan

Ruas kanan dari persamaan kesimbangan sedimen pada rumus 2.1 merupakan gradien sedimen sepanjang kontrol volume yang membandingkan sedimen yang masuk dengan sedimen yang keluar. Sedimen yang masuk merupakan sedimen yang memasuki kontrol volume dari bagian hulu dan dari beberapa sumber lokal yang ada (sedimen yang masuk secara lateral). Jumlah maksimum dari sedimen yang dapat meninggalkan kontrol volume, merupakan sebuah fungsi dari jumlah sedimen yang dapat dipindahkan oleh air. Hal ini disebut dengan kapasitas angkutan sedimen, yang dihitung pada tiap kontrol volume untuk masing-masing *bed mixing time step* (U.S. Army Corps of Engineers, 2010).

a. Kelas Butiran (*Grain Classes*)

HEC-RAS membagi material sedimen menjadi beberapa kelas butiran. Rentang dari material yang dapat diangkut,

antara 0,002 mm sampai 2048 mm, terbagi dalam 20 kelas butiran. Semua partikel pada tiap kelas butiran diwakili oleh ukuran butiran tunggal. HEC-RAS menggunakan rata-rata geometrik dari kelas butiran untuk menampilkan ukuran butiran pada tiap kelas. Pada tabel 2. menunjukkan kelas butiran yang digunakan dalam HEC-RAS (U.S. Army Corps of Engineers, 2010).

Tabel 2.1 Klasifikasi Ukuran Butiran yang Digunakan dalam HEC-RAS 4.1.0

Sumber : HEC-RAS User Manual

Grain Classes		Lower Bound	Upper Bound	Mean Diameter	Geometric Mean
Clay	Clay	0.002	0.004	0.003	0.00283
Very Fine Silt	VFM	0.004	0.008	0.006	0.00566
Fine Silt	FM	0.008	0.016	0.011	0.0113
Medium Silt	MM	0.016	0.032	0.023	0.0226
Coarse Silt	CM	0.032	0.0625	0.045	0.0447
Very Fine Sand	VFS	0.0625	0.125	0.088	0.0884
Fine Sand	FS	0.125	0.25	0.177	0.177
Medium Sand	MS	0.25	0.5	0.354	0.354
Course Sand	CS	0.5	1	0.707	0.707
Very Course Sand	VCS	1	2	1.41	1.41
Very Fine Gravel	VFG	2	4	2.83	2.83
Fine Gravel	FG	4	8	5.66	5.66
Medium Gravel	MG	8	16	11.3	11.3
Coarse Gravel	CG	16	32	22.6	22.6
Very Coarse Gravel	VCG	32	64	45.3	45.3
Small Cobbles	SC	64	128	90.5	90.5
Large Cobbles	LC	128	256	181	181
Small Boulders	SB	256	512	362	362
Medium Boulders	MB	512	1024	724	724
Large Boulders	LB	1024	2048	1448	1450

b. Potensi Angkutan Sedimen (*Sediment Transport Potential*)

Merupakan sebuah ukuran dari seberapa banyak material dari kelas butiran tertentu yang bisa diangkut oleh sebuah

kondisi hidrodinamik. Potensi angkutan dihitung dengan salah satu persamaan angkutan sedimen yang tersedia dalam program. Karena sebagian besar persamaan ini dikembangkan untuk penggunaan ukuran butiran tunggal, seperti d_{50} (atau dengan dua ukuran butiran, yaitu d_{50} dan d_{90}), maka persamaan diterapkan secara tersendiri untuk setiap kelas butiran yang ditampilkan dalam sistem. Nilai ini, dihitung secara terpisah untuk tiap kelas butiran tanpa memperhatikan kelazimannya di dasar sungai, yang disebut potensi angkutan. Saat ini terdapat 7 fungsi potensi angkutan sedimen yang digunakan dalam HEC-RAS (U.S. Army Corps of Engineers, 2010).

Terdapat beberapa fungsi angkutan yang telah dikembangkan. Karena angkutan sedimen sangat sensitif terhadap banyaknya variabel, potensi yang dihitung dengan persamaan yang berbeda dapat menghasilkan perhitungan yang berbeda, tergantung pada bagaimana material dan hidrodinamika dari lokasi yang ditinjau dibandingkan dengan parameter-parameter yang dikembangkan oleh fungsi angkutan. Sebisa mungkin, fungsi angkutan yang dipilih telah dikembangkan untuk gradasi yang mirip dan parameter hidrolik yang ditemukan pada lokasi yang ditinjau. Berikut uraian singkat mengenai persamaan-persamaan angkutan yang digunakan dan sensitivitas dari setiap persamaan.

1. **Ackers dan White**

   Menurut Ackers dan White (1973) dalam Yang (1996), Ackers dan White menggunakan pendekatan konsep *Stream Power* yang ditemukan oleh Bagnold. Ackers dan White menerapkan analisa dimensi untuk mengetahui tingkat angkutan sedimen dalam beberapa parameter tanpa dimensi (*dimensionless*). Mereka merumuskan bahwa tegangan geser efektif yang menyebabkan pergerakan sedimen kasar hanya ada pada dasar saluran. Sementara untuk sedimen pasir, dimana

pergerakan sedimen melayang lebih mendominasi, sehingga tegangan geser total yang efektif mengakibatkan sedimen bergerak.

Persamaan ini merupakan fungsi muatan total yang dikembangkan dari data saluran air (*flume*) untuk gradasi-gradasi yang relatif seragam dengan rentang jenis sedimen pasir (*sand*) sampai kerikil (*fine gravels*). Hidrodinamika dipilih untuk mencakup rentang konfigurasi dasar sungai, yang meliputi kondisi dasar seperti *ripples*, *dunes* dan *plane*. Sedimen melayang dinyatakan dalam sebuah fungsi kecepatan geser sementara muatan dasar dinyatakan dalam fungsi tegangan geser.

$$X = \frac{G_{gr} d S}{D\left(\frac{U_*}{V}\right)^n} \qquad \text{.......................(2.2)}$$

$$G_{gr} = C\left(\frac{F_{gr}}{A} - 1\right)^m \qquad \text{.............(2.3)}$$

Dimana :

X : konsentrasi sedimen (dalam satuan ppm, *parts per million* oleh berat)

Ggr : parameter angkutan sedimen

d : ukuran partikel sedimen, diameter

S : *specific gravity* dari sedimen, $\frac{\gamma_s}{\gamma}$

D : kedalaman air

U* : kecepatan geser

V : kecepatan aliran

n : eksponen transisi, tergantung pada ukuran sedimen

C, m: koefisien yang ditentukan oleh Ackers dan White dari hasil laboratorium

Fgr : parameter gerakan sedimen

A : parameter gerakan permulaan sedimen

2. Engelund Hansen

Engelund dan Hansen (1972) dalam Yang (1996) menyatakan bahwa persamaan ini juga menggunakan

pendekatan konsep *Stream Power* Bagnold dan prinsip kemiripan untuk menemukan fungsi angkutan sedimen. Persamaan ini termasuk persamaan muatan total yang dikembangkan dalam saluran air (*flume*). Digunakan untuk sedimen dengan ukuran butiran antara 0,19 mm dan 0,93 mm. Penggunaan rumus angkutan ini seharusnya diterapkan pada dasar saluran dengan bentuk *dune*. Namun Hansen menunjukkan bahwa rumus ini juga bisa diterapkan pada *upper flow regime* yang secara umum memiliki karakteristik sedimen dengan ukuran lebih besar daripada *lower flow regime*. Persamaan ini relatif mudah, membutuhkan data kecepatan, tegangan dasar dan diameter rata-rata (d_{50}) dari material. Persamaan ini sebaiknya digunakan untuk jenis sedimen pasir.

$$g_s = 0{,}05\, \gamma_s V^2 \sqrt{\frac{d_{50}}{g\left(\frac{\gamma_s}{\gamma}-1\right)}} \left[\frac{\tau_o}{(\gamma_s-\gamma)d_{50}}\right]^{3/2} \quad \text{............(2.4)}$$

Dimana :

g_s : angkutan sedimen

γ : berat jenis air

γ_s : berat jenis sedimen

V : kecepatan saluran rata-rata

τ_o : tegangan geser dasar saluran

d_{50} : median diameter partikel

3. Laursen Copeland

Menurut Laursen (1958) dalam Yang (1996), Laursen mengembangkan hubungan fungsional antara kondisi aliran dengan debit sedimen yang dihasilkan.

Persamaan ini juga termasuk persamaan muatan total yang juga dikembangkan dalam *flume* dan kemudian dikembangkan oleh Madden di Sungai Arkansas. Kelebihan persamaan ini adalah rentang ukuran butiran yang dikembangkan mencapai jenis *silt*. Persamaan-

persamaan angkutan lainnya yang digunakan di HEC-RAS belum ada yang dikembangkan untuk rentang data *silt*.

$$C_m = 0.01\,\gamma\left(\frac{d_s}{D}\right)^{7/6}\left(\frac{\tau'_o}{\tau_c} - 1\right) f\left(\frac{u_*}{\omega}\right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2.5)$$

Dimana :

C_m : konsentrasi sedimen dalam berat/volume
γ : berat jenis air
d_s : *mean* diameter partikel
D : kedalaman efektif aliran
τ'_o : tegangan geser dasar akibat daya tahan butiran
τ_c : tegangan geser dasar kritis
$f\left(\frac{u_*}{\omega}\right)$: fungsi rasio kecepatan geser terhadap kecepatan jatuh

Pada rumus 2.5, parameter $\left(\frac{\tau'_o}{\tau_c} - 1\right)$ mempengaruhi penentuan muatan sedimen dasar dan parameter $\left(\frac{u_*}{\omega}\right)$ berhubungan dengan muatan sedimen melayang.

4. **Meyer-Peter Mùller**

Dalam Yang (1996) dinyatakan bahwa fungsi angkutan sedimen ini dikembangkan oleh Meyer-Peter dan Mϋller dari rumus Meyer-Peter dengan pengamatan dan analisa selama 14 tahun. Rumus tersebut menggunakan pendekatan kemiringan energi.

Persamaan ini termasuk persamaan yang pertama dikembangkan dan masih sering digunakan. Persamaan ini merupakan persamaan muatan dasar yang dikembangkan dari eksperimen saluran air dengan kondisi dasar sungai berupa pasir dan kerikil.

$$\gamma\left(\frac{K_s}{K_r}\right)^{3/2} RS = 0.047(\gamma_s - \gamma)d + 0.25\rho^{1/3}{q_b}^{2/3} \ldots\ldots(2.6)$$

Dimana :

γ : berat jenis air
γ_s : berat jenis sedimen

Ks : koefisien kekasaran
Kr : koefisien kekasaran berdasarkan butiran
R : jari-jari hidrolis
S : kemiringan garis energi
d : rata-rata diameter partikel
ρ : massa jenis air
q_b : muatan dasar dalam air (dalam berat per satuan waktu dan lebar)

5. Toffaleti

Toffaleti menggunakan konsep dari Einstein untuk menghitung muatan yang tidak terambil sebagai sampel. Dalam pendekatannya, Toffaleti membuat penyederhanaan sebagai berikut :

a. Lebar saluran dengan debit sedimen sejajar seperti sebuah saluran persegi dengan lebar B dan kedalaman R, dimana R juga merupakan jari-jari hidrolis saluran
b. Total kedalaman aliran dibagi menjadi 4 zona (*upper zone*, *middle zone*, *lower zone* dan *bed zone*)

Pendekatan yang digunakan Toffaleti awalnya menghitung konsentrasi muatan dasar dari hubungan empiris untuk debit muatan melayang pada *lower-zone*. Kemudian menggunakan hasil perhitungan konsentrasi tersebut untuk menghitung muatan dasar.

Konsentrasi sedimen pada zona atas, tengah dan bawah adalah sebagai berikut :

$$C_i = C_{ui}\left(\frac{y}{D}\right)^{-1.5Z_i} \quad \text{...........(2.7)}$$

$$C_i = C_{mi}\left(\frac{y}{D}\right)^{-Z_i} \quad \text{...........(2.8)}$$

$$C_i = C_{Li}\left(\frac{y}{D}\right)^{-0.756Z_i} \quad \text{...........(2.9)}$$

$$Z_i = \frac{\omega_i V}{C_Z D S} \quad \text{....................(2.10)}$$

$$C_Z = 260.67 - 0.667T \quad \text{...........(2.11)}$$

Dimana :
C_{ui} : Konsentrasi sedimen pada zona atas

C_{mi} : Konsentrasi sedimen pada zona tengah
C_{Li} : Konsentrasi sedimen pada zona bawah
Z_i : Eksponen
ω_i : kecepatan jatuh sedimen dengan ukuran d_i pada temperatur T
V : kecepatan aliran rata-rata
S : kemiringan aliran
T : temperatur dalam °F

6. Yang

Berdasarkan Yang (1996), Yang melakukan pengujian dan pengamatan asumsi dasar yang digunakan dalam penentuan rumus angkutan sedimen konvensional. Dan menyimpulkan bahwa asumsi yang digunakan untuk menentukan jumlah muatan sedimen dengan menggunakan debit air, kecepatan aliran rata-rata, kemiringan energi atau tegangan geser patut dipertanyakan. Sehingga penerapan rumus-rumus yang menggunakan asumsi tersebut juga patut dipertanyakan. Persamaan ini merupakan persamaan angkutan muatan total yang berdasarkan angkutan dalam *Stream Power*, sebuah produk dari kecepatan dan tegangan geser. Fungsi ini dikembangkan dan diuji untuk berbagai macam saluran air dan data lapangan. Persamaan ini terdiri dari dua hubungan terpisah antara angkutan pasir dan kerikil. Perpindahan dari pasir ke kerikil sangat merata untuk menghindari ketidakseimbangan yang besar.

Persamaan yang diberikan dibedakan dalam ukuran butiran sedimennya:

Untuk pasir dengan d < 2 mm

$$\log C_{ts} = 5.435 - 0.286 \log\frac{\omega d}{v} - 0.457 \log\frac{U_*}{\omega} + \left(1.799 - 0.409 \log\frac{\omega d}{v} - 0.314 \log\frac{U_*}{\omega}\right) \log\left(\frac{VS}{\omega} - \frac{V_{cr}S}{\omega}\right) \text{ ....(2.12)}$$

Untuk pasir dengan d > 2 mm

$$\log C_{tg} = 6.681 - 0.633 \log \frac{\omega d}{v} - 4.816 \log \frac{U_*}{\omega} + \left(2.784 - 0.305 \log \frac{\omega d}{v} - 0.282 \log \frac{U_*}{\omega}\right) \log \left(\frac{VS}{\omega} - \frac{V_{cr}S}{\omega}\right) \quad \text{.......................................(2.13)}$$

Dimana :

C_{ts} : konsentrasi total *sand* (dalam ppm)
C_{tg} : konsentrasi total *gravel* (dalam ppm)
ω : kecepatan jatuh partikel
d : median diameter partikel
v : viskositas kinematis
U* : kecepatan geser
V : kecepatam aliran rata-rata
S : kemiringan aliran
Vcr : kecepatan aliran kritis

c. Kapasitas Angkutan (*Transport Capacity*)

Setelah perhitungan potensi angkutan selesai untuk setiap kelas butiran, maka angkutan total untuk sistem gradasi yang sebenarnya perlu dihitung. Karena masing-masing potensi telah dihitung tanpa memperhatikan jumlah kelas-kelas butiran yang sebenarnya, potensi kelas butiran harus dibagi rata berdasarkan jumlah relatifnya.

Kapasitas angkutan untuk setiap kelas butiran merupakan perkalian dari potensi angkutan dengan presentase kelas butiran yang berada di dasar sungai. Oleh karena itu, kapasitas angkutan total adalah :

$$T_c = \sum_{j=1}^{n} \beta_j T_j \quad \text{.....................(2.14)}$$

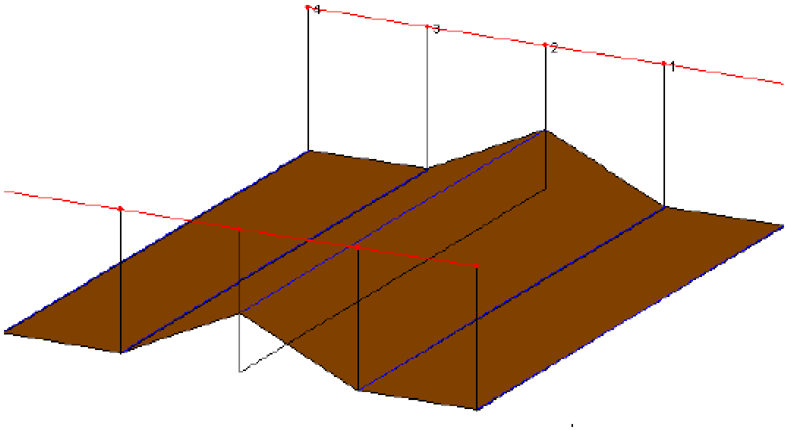
Dimana : Tc merupakan kapasitas angkutan, n adalah nilai kelas ukuran butiran, Bj merupakan presentase lapisan aktif yang terdiri dari material kelas ukuran butir “j” dan Tj merupakan potensi angkutan yang dihitung untuk material dalam kelas butiran “j”.

Persamaan keseimbangan diterapkan untuk setiap kelas butiran secara terpisah. Total kapasitas tidak digunakan dalam program ini. Kapasitas yang dihitung digunakan

untuk dibandingkan dengan persediaan untuk setiap kelas butiran dan untuk penentuan kelebihan atau kekurangan material untuk setiap kelas butiran (U.S. Army Corps of Engineers, 2010).

2.4.4 Perubahan dasar saluran

Setelah penentuan kurang atau lebihnya material untuk proses fisik, dilanjutkan dengan perhitungan massa final deposisi atau erosi. Massa ini harus ditambahkan atau dikurangi dari kontrol volume dengan mengubah *station* penampang melintang atau titik elevasi. Massa ini dikonversi menjadi volume dan perubahannya dalam volume dibagi merata secara efektif di sepanjang "irisan" hulu sampai hilir (diasumsikan seperti penampang melintang internal) yang memungkinkan tinggi irisan dapat dihitung (sehingga memberikan nilai volume yang tepat) (U.S. Army Corps of Engineers, 2010). Sebuah perubahan dasar saluran dapat dilihat pada *station* 2 sungai berikut :



Gambar 2.4 Irisan yang Digunakan untuk Mendistribusikan Erosi atau Deposisi Volume Secara Longitudinal Sepanjang Kontrol Volume
Sumber : HEC-RAS Reference Manual

2.5 Upaya Pengendalian Sedimentasi

Setelah mengetahui permasalahan utama di suatu muara sungai, selanjutnya dapat ditentukan cara penanganannya. Metode yang dipilih bisa bervariasi dan memberikan hasil serta ketahanan yang berbeda sesuai dengan metode yang digunakan. Metode tersebut bisa berupa pengerukan pemeliharaan yang bersifat sementara dan repetitif, perlu dilakukan secara berkala dalam periode ulang tertentu. Metode lain yang dapat dilakukan adalah membuat bangunan pelindung pantai yang bersifat lebih tahan lama dan memiliki manfaat dalam jangka panjang.

Seperti telah disebutkan sebelumnya, aliran sungai Gembong dimanfaatkan sebagai alur pelayaran bagi kapal-kapal yang singgah di Pelabuhan Pasuruan. Sehingga kedalaman kolam pelabuhan harus selalu terjaga demi kelancaran aktivitas bongkar muat. Semntara itu, proses sedimen yang terjadi pada aliran sungai merupakan proses alami yang akan selalu terjadi. Sehingga dalam

mengatasi kejadian sedimentasi yang terjadi pada sungai, fokusan awal yang perlu dilakukan adalah menghilangkan endapan sedimen yang terjadi.

2.5.1 Pengerukan pemeliharaan (*maintenance dredging*)

Berdasarkan SNI 19-6471.4-2000 tentang Tata Cara Pengerukan Muara Sungai dan Pantai - Bagian 4 : Pelaksanaan dan Pengawasan, pengerukan pemeliharaan merupakan kegiatan khusus berupa pemindahan tanah yang baru terendapkan yang terdiri dari sedimen halus. Biasanya material yang dipindahkan tidak tebal dan lunak. Pengerukan pemeliharaan bertujuan untuk menjaga kedalaman semula yang telah mengalami pendangkalan endapan, dan menggunakan alat yang ringan dalam selang waktu paling cepat beberapa minggu dan paling lama beberapa tahun.

Karena sedimen yang dikeruk tidak terlalu tebal dan biasanya memiliki kekuatan yang cukup rendah, maka alat keruk yang digunakan tidak membutuhkan daya yang sangat besar. Hampir setiap jenis alat keruk dapat digunakan dalam pekerjaan *maintenance dredging*. Pada umumnya, menggunakan alat keruk jenis *trailing suction hopper dredger, bed leveler, grab dredger, bucket dredger* atau *suction dredger*.

Seperti telah disebutkan sebelumnya, pekerjaan pengerukan pemeliharaan perlu dilakukan secara berkala. Dan frekuensi tersebut bergantung pada laju sedimentasi yang terjadi di area tersebut. Sebagai upaya penghematan, perlu dilakukan upaya untuk memperpanjang selang waktu pengerukan. Hal tersebut bisa dilakukan dengan pengerukan lebih, yaitu dengan meningkatkan kuantitas volume kerukan atau melakukan pengerukan lebih dalam.

2.5.2 Tahapan persiapan pengerukan pemeliharaan

Berdasarkan SNI 19-6471.1-2000 tentang Tata Cara Pengerukan Muara Sungai dan Pantai – Bagian 1 : Survei Lokasi dan Investigasi, tahapan-tahapan dalam pelaksanaan

pengerukan pemeliharaan yang perlu diperhatikan akan dijelaskan berikut ini :

2.5.2.1 Survei lokasi dan investigasi

Dalam melakukan pengerukan pemeliharaan, perlu mengetahui karakteristik dari tanah yang akan dikeruk. Hal ini berkaitan dengan alat keruk yang akan digunakan. Selain itu juga perlu mengetahui kondisi lingkungan sekitar lokasi pengerukan. Pada beberapa tempat, beberapa informasi terkait pekerjaan terdahulu bisa jadi tersedia, namun hal tersebut perlu dievaluasi terlebih dahulu. Bagaimanapun jika informasi tidak cukup tersedia maka perlu dilakukan investigasi ke lokasi. Hal-hal lain yang harus diamati adalah adanya fasilitas umum, struktur sensitif milik suatu instansi, dan air dangkal yang mungkin terjadi di lokasi pengerukan.

2.5.2.2 Survei hidrografi

Untuk melakukan pengerukan pemeliharaan, perlu mengetahui informasi terkait elevasi dasar secara menyeluruh. Hal ini bertujuan untuk merencanakan kedalaman pengerukan yang akan dilakukan serta kuantitasnya. Pemilihan alat keruk, waktu pelaksanaan pekerjaan dan keamanan pelayaran dipengaruhi oleh kondisi elavasi dasar sungai. Survei hidrografi dapat dilakukan dengan beberapa pengukuran berikut :

1. **Detail bathimetri**
   Survei detail bathimetri dilakukan berdasarkan tujuan yang ingin dicapai. Jika survei dilakukan untuk mengukur kuantitas pengerukan yang dibutuhkan untuk perhitungan pembayaran kepada kontraktor, maka jalur survei harus cukup rapat sekitar 10 sampai 25 m sehingga variasi penampang dan elevasi detail dapat diketahui. Jika survei dilakukan untuk mendapatkan petunjuk dalam navigasi dan

pemasangan alat, maka jalur survei ± 100 m sudah cukup baik. Survei yang kurang detail tidak dianjurkan untuk tujuan pengukuran. Jalur survei yang dibuat harus diusahakan tegak lurus terhadap kontur dasar sungai.

2. **Pengukuran kedalaman**
   Elevasi dasar sungai pada umumnya ditentukan dengan mengukur kedalaman air di atas dasar sungai dan sekaligus mengukur muka air terhadap datum yang ada. Pengukuran ini seharusnya dilakukan pada satu lokasi secara akurat selama periode survei. Kedalaman perairan dapat diukur dengan menggunakan *echo sounder*. Namun jika di sekitar lokasi survei terdapat struktur bangunan, maka hasil pengukuran dipengaruhi oleh gema dari sisi sekitarnya. Penentuan elevasi dasar di perairan memiliki akurasi yang lebih rendah jika dibandingkan penentuan elevasi dasar yang dilakukan di daratan. Karena akurasi pengukuran tersebut dipengaruhi oleh karakteristik material dasar perairan. Untuk mendapatkan hasil yang baik seluruh jalur pengerukan harus dilewati dari arah yang sama. Selain itu, ketelitian pengukuran dapat dilakukan jika kondisi perairan tenang.
3. **Kerapatan pengukuran ke dalam berdasarkan masa**
   Jika pengukuran kedalaman tidak dapat dilakukan dengan baik, seperti yang terjadi pada daerah yang penuh lumpur. Maka alternatif yang bisa dilakukan adalah dengan menentukan tingkat kerapatan dan menggunakan data tersebut sebagai dasar untuk menentukan kedalaman yang aman untuk keperluan navigasi. Pengukuran tersebut dapat digunakan untuk mengurangi frekuensi dan kuantitas pengerukan di pelabuhan dan alur pelayaran. Alat yang dapat

digunakan untuk mengukur kerapatan material dasar sungai adalah *density meter*.

4. **Penentuan posisi**
   Metode dan ketelitian dalam penentuan posisi di perairan agak ketinggalan jika dibandingkan dengan metode yang telah dikembangkan di daratan. Suvei hidrografis dilakukan dari kapal yang bergerak pada permukaan yang bergerak, oleh karena itu metode penentuan posisi bersifat dinamis. Jika berbagai komponen pengukuran posisi tidak diatur dengan baik terhadap waktu, maka akan menimbulkan sumber permasalahan.

2.5.2.3 Sistem survei otomatis

Dengan adanya kemajuan teknologi maka dapat pula memanfaatkan otomatisasi dalam survei. Namun kemajuan tersebut dapat memberikan manfaat yang positif untuk survei berulang pada area yang luas. Sistem otomatis ini berguna bagi otoritas pelabuhan yang bertanggung jawab untuk mempertahankan kedalaman dengan cara pengerukan di area pelabuhan yang luas dan sekitarnya, dan bagi kontraktor yang melaksanakan pekerjaan pengerukan dalam skala besar.

2.5.2.4 Kondisi dasar perairan

Keadaan dasar perairan merupakan hal yang penting untuk pekerjaan desain yang meliputi pengerukan dan pemilihan alat keruk. Beberapa karakteristik kondisi dasar perairan dapat diukur secara langsung dengan menggunakan alat seperti *scan-sonar* dan *echo sounder*. Tekstur dasar laut dapat diperlihatkan oleh *side-scan sonar*. Alat ini juga menginformasikan adanya singkapan batuan, jaringan pipa dasar laut, bangkai kapal karam, sampah atau debris umum. Sementara untuk pemetaan terumbu karang, rumput laut dan lain-lain dapat diketahui dengan pencitraan satelit. Untuk kondisi dasar yang lebih

rinci dapat dipastikan oleh penyelam atau kamera bawah laut.

2.5.2.5 Pengukuran arus

Pengetahuan mengenai kecepatan dan arah arus sangat penting untuk mengetahui kemungkinan distribusi sedimen tersuspensi, kinerja alat keruk dan stabilitas dasar perairan. Kecepatan dan arah arus mengalami variasi pada dasar sampai permukaan perairan pada keadaan pasang yang berbeda, yang juga dipengaruhi oleh fluktuasi debit sungai dan musim yang berbeda dalam setahun. *Current meter* dapat diletakkan menggantung dari kapal atau dapat dipasang pada pelampung berjangkar dan ditinggalkan untuk merekam secara otomatis. Rekaman harus diperoleh selama 1 periode pasang surut untuk dapat mendapatkan petunjuk mengenai kecepatan dan arah arus.

2.5.2.6 Tinggi dan arah gelombang

Rekaman gelombang harus dikumpulkan selama mungkin, sebelum pelaksanaan pekerjaan pengerukan. Rekaman tersebut meliputi data detail mengenai tinggi, periode dan arah gelombang serta durasinya terutama selama kondisi ekstrim. Tinggi dan periode gelombang diukur dengan menggunakan alat pelampung atau yang dipasang di dasar. Jika terjadi kondisi gelombang yang kompleks, arah gelombang sebagai alternatif dapat diukur dengan radar yang dipasang di pantai atau dengan satelit.

2.5.2.7 Pasang surut

Lokasi pelabuhan yang terletak di muara sungai, tentu muka airnya dipengaruhi oleh fluktuasi pasang surut. Pada umumnya, catatan data pasang surut telah tersedia dan peramalan telah dipublikasikan dalam bentuk tabel. Namun peramalan tersebut perlu dikoreksi dengan pengamatan langsung. Pengamatan pasang surut dapat dilakukan dalam periode pasang surut perbani selama

minimal 24 jam kemudian pada periode pasang surut purnama selama 24 jam. Idealnya, pengamatan tersebut dilakukan secara kontinu setidaknya selama 15 hari sampai 29 hari. Catatan pasang surut dapat diperoleh dengan pemasangan AWLR, peiskal sederhana yang dipasang di pantai atau alat ukur pasang surut pneumatik yang diikatkan pada suatu bidang datum yang telah ditentukan.

2.5.2.8 Temperatur dan salinitas air

Di kawasan tropis pengaruh temperatus air yang tinggi dan salinitas yang tnggi relatif penting dalam hubungannya dengan pekerjaan di lokasi pengerukan. Temperatur dan salinitas air mempengaruhi kerapatan air dan mempengaruhi kedalaman serta kinerja alat survei kedalaman seperti *echo sounder*. Investigasi lokal untuk lokasi pada daerah tropis dengan temperatur yang tinggi harus meliputi pengukuran secara teratur dari temperatur dan kadar garam, khususnya selama fase musim yang ekstrim.

2.5.2.9 Padatan tersuspensi

Sebelum melakukan pengerukan, perlu terlebih dahulu mengetahui padatan dalam bentuk suspensi. Hal ini akan mempengaruhi formasi alat keruk pada saat memotong jalur deposit. Karena pergerakannya akan memicu laju pelumpuran yang besar. Untuk mengetahui kondisi padatan yang terendap di dasar sungai, maka perlu untuk mengukur konsentrasi sedimen dengan pengambilan contoh pada titik-titik kedalaman selama siklus pasang surut. Pengambilan contoh tersebut juga dilakukan untuk membentuk pola variasi lokal yang mungkin terjadi dan untuk menentukan arah angkutan sedimen primer.

2.5.2.10 Angkutan sedimen

Selain angkutan sedimen berbentuk suspensi, terdapat angkutan signifikan yang mengendap di dasar sungai dan

berasal dari aliran air. Masalah khusus dapat timbul di dekat pantai dimana terdapat angkutan sejajar pantai yang melintasi alur pelayaran atau bangunan pelabuhan yang terletak di muara sungai. Jika laju angkutan tinggi, maka biaya akan menjadi mahal dan menjadi tidak praktis untuk mempertahankan kedalaman alur pelayaran.

2.5.2.11 Penyelidikan tanah

Penyelidikan tanah diperlukan untuk mengetahui sifat-sifat geoteknik tanah yang akan dikeruk. Karena hal tersebut dapat mempengaruhi kinerja alat keruk. Pada lokasi pengerukan dimana kedalaman tanah yang harus dipindahkan terbatas beberapa meter saja, bisa menggunakan penyelidikan tanah yang sederhana seperti *vibrocoring*. Namun jika material yang harus dikeruk berupa batuan maka penyelidikan tanah yang dilakukan adalah dengan pengeboran dari bangunan terapung. Penyelidikan harus dilakukan dalam daerah yang direncanakan akan dikeruk. Walaupun biasanya sudah ada hasil penyelidikan lain di luar daerah yang diusulkan untuk dapat digunakan, hasil tersebut harus diperiksa terlebih dahulu. Penyelidikan tanah yang kurang baik dapat meningkatkan biaya-biaya yang timbul dari munculnya pekerjaan tambahan akibat kurangnya informasi terkait sifat geoteknik yang berada di daerah tersebut.

2.5.3 Tahapan pengerukan pemeliharaan

Karakteristik tahapan pengerukan pemeliharaan berbeda sesuai dengan alat yang digunakan dan kondisi lingkungan lokasi pengerukan. Secara umum tahapan pengerukan pengerukan pemeliharaan terdiri dari (Eisma, 2006):

2.5.3.1 Penghancuran material (*disintegration of the in-situ material*)

Penghancuran material pada umumnya dilakukan dengan alat pemotong seperti *cutter head*, *draghead* atau pisau pemotong pada *bucket*. Untuk sedimen dengan jenis halus, proses ini bisa dilakukan dengan mudah. Sedangkan untuk sedimen yang keras seperti batuan, maka proses ini akan lebih sulit. Terdapat beberapa aspek lingkungan yang perlu diperhatikan pada saat tahapan ini berlangsung :

1. Meningkatnya sedimen suspensi. Proses penghancuran dapat merusak kohesi dari material dan partikel-partikel material dapat terbawa air menjadi sedimen suspensi akibat dari gerakan pemotongan tersebut.
2. Tercampurnya lapisan tanah. Ketika menggunakan alat keruk untuk memotong lapisan yang tebal (sehingga menggabungkan pergerakan memotong secara horizontal dan vertikal) tidak bisa menghindari tercampurnya lapisan-lapisan yang berbeda.
3. Pengenceran. Untuk mempermudah proses penghancuran ini, biasanya dilakukan penambahan air pada material selama pemotongan. Dan perbandingan tanah dengan air berbeda tergantung dengan tipe *dredger* yang digunakan.

2.5.3.2 Pengangkatan material (*raising of the material*)

Selama tahapan kedua ini berlangsung, material yang sebelumnya sudah dihancurkan kemudian diangkat dari permukaan air. Tahapan ini bisa dilakukan secara mekanis atau hidrolis. Untuk cara mekanis, material diangkat dengan menggunakan *bucket* (*backhoe dipper* atau *bucket ladder dredger*). Sedangkan untuk cara hidrolis, material dapat diangkat menggunakan pipa penghisap (*cutter suction*, *trailing suction hopper* dan *disk bottom*). Aspek-aspek lingkungan yang perlu diperhatikan antara lain :

1. Lepasnya sedimen suspensi. Pada material yang diangkat secara mekanis dengan menggunakan *bucket* terbuka, material yang dikeruk secara tidak langsung bersinggungan dengan air di sekitarnya yang dapat mengakibatkan pengenceran (*dilution*) dan meningkatnya sedimen suspensi pada lapisan air selama proses tersebut berlangsung.
2. Lepas dan berpindahnya lapisan yang meluap. Pada saat proses pengangkatan, ada kalanya material yang sedang diangkat tumpah dan jatuh kembali ke air dan tertinggal di dasar sungai.
3. Berat jenis material. Permasalahan lain yang dialami pada pengangkatan hidrolis adalah karena metode ini membutuhkan penambahan air untuk menyesuaikan berat jenis cairan yang bisa dihisap oleh alat keruk hidrolis. Penyesuaian dibutuhkan antara kapasitas pemotongan dengan kapasitas pemompaan untuk menghasilkan campuran yang optimum.
4. Luapan air yang terjadi saat pengoperasian tongkang. Pengoperasian tongkang untuk pengangkatan material yang sudah dikeruk dapat mengakibatkan berpindahnya sedimen yang berada di bawahnya.

2.5.3.3 Pengangkutan material (*horizontal transport of the material*)

Tahapan ketiga dari proses pengerukan adalah pemindahan material yang sudah dikeruk menuju tempat yang sudah disediakan sebagai relokasi akhir. Ini dapat dicapai dengan salah satu dari dua metode, yaitu pengangkutan hidrolis menggunakan pipa dan pengangkutan menggunakan tongkang.

Masing-masing metode tergantung pada masing-masing tipe kapal keruk. Pengangkutan menggunakan tongkang secara umum dipilih untuk pengerukan mekanis, sedangkan pengangkutan dengan pipa terjadi pada

pengerukan hidrolis. Aspek-aspek lingkungan yang perlu diperhatikan antara lain :

1. Keamanan. Penggunaan tongkang akan membuat kru kapal mengalami kontak langsung dengan material yang dikeruk, apalagi jika material tersebut terkontaminasi.
2. *Dilution*. Pengenceran lebih banyak terjadi pada penggunaan kapal keruk hidrolis dimana berat jenis maksimum ditentukan agar pipa dapat mengalirkan material dengan pompa.
3. Polusi udara dan suara. Dampak potensial yang cukup signifikan pada aspek ini adalah pada penggunaan tongkang sebagai alat pemindahan.

2.5.3.4 Penempatan material (*placement of the material*)

Tahapan terakhir dari pengerukan adalah penempatan material di tempat akhir yang telah disediakan atau tempat sementara untuk penanganan lebih lanjut. Terdapat beberapa pilihan yang dapat dijadikan alternatif dalam tahapan ini : reklamasi, penambahan pasir pantai, relokasi di darat, relokasi bawah tanah, relokasi bawah laut, atau relokasi di area terpencil. Beberapa dampak relokasi yang perlu diperhatikan :

1. Perubahan habitat makhluk hidup. Dampak terbesar dari relokasi, khususnya relokasi darat, adalah padatnya habitat dan rusaknya habitat alami pada lokasi tersebut, begitu pun yang terjadi di bawah laut walaupun dampaknya tidak terlalu terlihat.
2. Penyebaran material yang ditumpuk. Pada lokasi pembuangan di bawah laut, gelombang dan arus dapat mengakibatkan penyebaran material berbutir halus dalam air selama atau sesudah pembuangan. Sedangkan pada lokasi pembuangan di darat, angin dan air hujan dapat mengakibatkan penyebaran material setelah material mengering.

3. Polusi suara dan udara. Pemindahan material menggunakan transportasi berupa truk dapat mengakibatkan pencemaran suara dan udara.
4. Kualitas air tanah. Jika pemilihan lokasi pembuangan kurang tepat dan desain atau konstruksi bangunan pelindung buruk maka dapat berdampak buruk pada air tanah akibat terjadinya kebocoran.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB III
METODOLOGI

Dalam mengerjakan tugas akhir ini, perlu mengetahui sedimentasi di muara sungai Gembong, yang dimanfaatkan sebagai kolam pelabuhan Pasuruan, untuk kemudian disimulasi dengan program bantu HEC-RAS. Dari hasil keluaran simulasi tersebut, dapat diketahui volume perubahan dasar saluran dan titik-titik potongan melintang yang mengalami perubahan dasar permukaan akibat erosi maupun sedimentasi. Dengan mengetahui hal tersebut, dapat dilakukan upaya yang tepat untuk mengendalikan sedimen yang terjadi.

3.1 Metode Pengerjaan

Metode simulasi yang dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah dengan menggunakan aliran tidak tetap-semu (*quasi-unsteady flow*) satu dimensi HEC-RAS 4.1.0. Adapun tahapan pengerjaan yang dilakukan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

3.1.1 Survei pendahuluan dan studi literatur

Sebelum mengerjakan tugas akhir ini, perlu melakukan survei awal di muara Sungai Gembong untuk mendapatkan kondisi aktual lapangan dan mengamati permasalahan yang terjadi. Selanjutnya, perlu juga melakukan studi literatur untuk mendapatkan referensi dan informasi yang mendalam terkait teori-teori yang berhubungan dalam melakukan analisa permasalahan yang menjadi pembahasan tugas akhir ini.

3.1.2 Pengumpulan data

Data-data yang diperlukan dalam pengerjaan tugas akhir ini terdiri dari data primer dan sekunder yang meliputi hal-hal berikut :

- Data primer, yang diperoleh secara langsung di lapangan, yaitu pengambilan sampel sedimen di lokasi

studi untuk mengetahui ukuran dan jenis partikel serta distribusi ukuran partikel dari sedimen yang mengendap di lokasi studi.

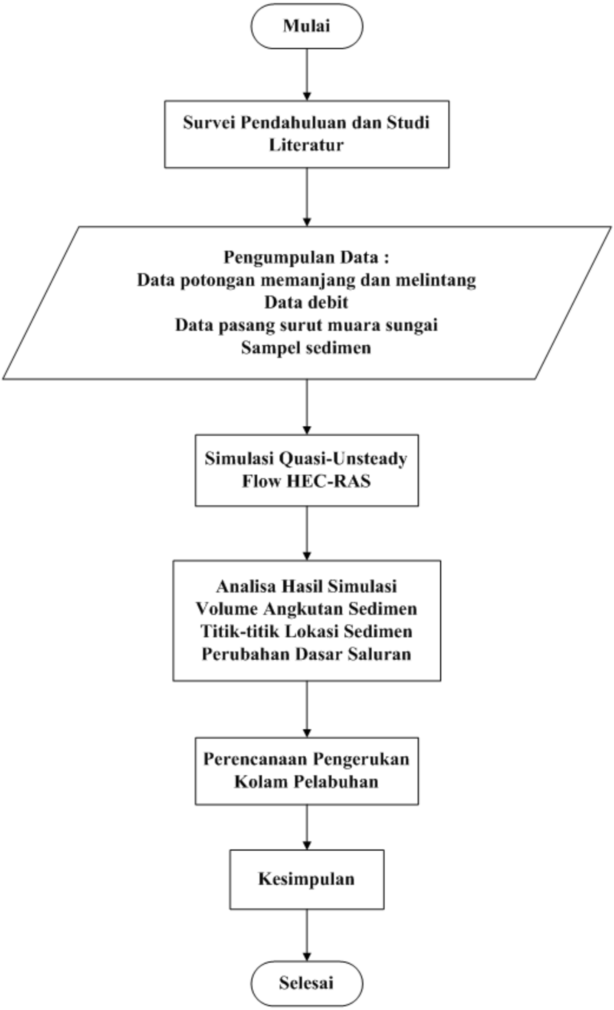
- Data sekunder, diperoleh dari instansi terkait yang melakukan pengamatan, meliputi :
    - Data karakteristik muara Sungai Gembong
      Meliputi data potongan melintang dan potongan memanjang aliran hulu sampai muara Sungai Gembong
    - Data pengukuran debit Sungai Gembong
      Digunakan untuk mengetahui debit yang masuk ke muara Sungai Gembong
    - Data pasang surut muara Sungai Gembong
      Digunakan untuk mengetahui elevasi muka air di muara Sungai Gembong

3.1.3 Pemodelan sedimentasi dengan program HEC-RAS

Setelah semua data yang dibutuhkan untuk menjalankan pemodelan telah tersedia, maka selanjutnya yang perlu dilakukan adalah melakukan pemodelan sedimentasi yang terjadi di kolam pelabuhan Pasuruan. Dari hasil tersebut akan diketahui bagaimana kondisi sedimentasi yang terjadi untuk selanjutnya direncanakan upaya-upaya untuk mengendalikan sedimentasi.

3.2 Diagram Alir Pengerjaan

Metodologi dalam penyusunan tugas akhir ini ditampilkan dalam diagram alir seperti berikut ini (Gambar 3.1):



Gambar 3.1 Diagram Alir

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

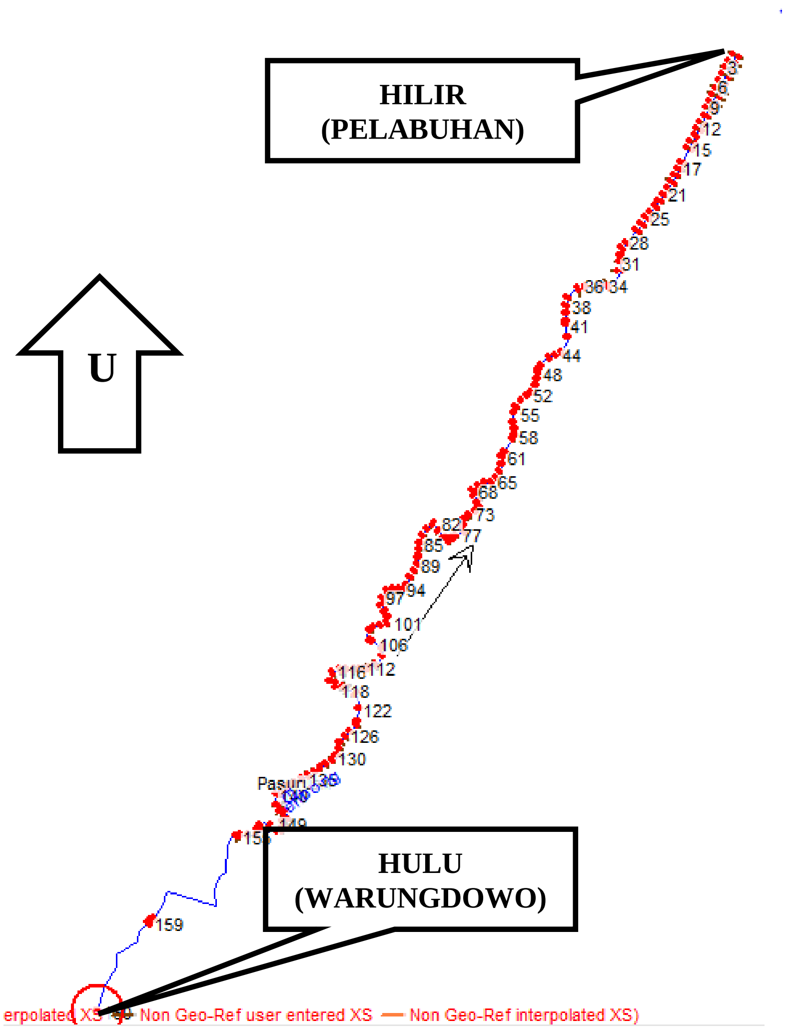
BAB IV
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Studi sedimentasi yang dilakukan di muara Sungai Gembong ini bertujuan untuk mengetahui volume angkutan sedimen yang mengendap di kolam pelabuhan Pasuruan. Volume angkutan sedimen didapatkan dari simulasi aliran tak permanen semu (*quasi-unsteady flow*) dengan program bantu HEC-RAS 4.1.0. Sedangkan untuk input data yang dibutuhkan meliputi data geometrik lokasi studi, data pencatatan debit air dari hulu sungai dan catatan pasang surut di hilir sungai, serta sampel sedimen yang diambil dari beberapa lokasi dalam wilayah lokasi studi.

4.1 Analisa Data

4.1.1 Pemodelan muara sungai gembong

Untuk mendapatkan kondisi yang sesuai dengan lokasi studi, perlu dibuat sebuah pemodelan yang didasarkan pada data-data eksisting yang ada. Sehingga untuk keperluan pemodelan kondisi muara sungai Gembong, diperlukan data geometrik seperti skema sungai dan penampang melintang. Data penampang melintang yang digunakan dalam pemodelan ini memberikan kondisi aktual muara Sungai Gembong sepanjang 10,496 km dari mulut sungai. Data yang dimasukkan memiliki interval jarak antar penampang melintang rata-rata 50 meter. Data tersebut didapatkan dari UPT PSDA WS Gembong Pekalen berdasarkan proyek normalisasi tahun 2010.



Gambar 4.1 Skema Muara Sungai Gembong pada tampilan HEC-RAS 4.1.0

Sumber : HEC-RAS 4.1.0

Tampak atas skema sungai yang menjadi area lokasi studi yang dimodelkan di program HEC-RAS 4.1.0 dapat dilihat pada gambar 4.1. Penampang melintang sepanjang lokasi studi didefinisikan sebagai RS (*river station*) 1 yang terletak paling hilir sampai RS 161 yang terletak paling hulu. Area muara yang dimanfaatkan sebagai kolam pelabuhan terletak pada RS 1 sampai RS 24. Peta sungai Gembong yang lebih detail dapat dilihat di Lampiran 1 dan Lampiran 2. Sedangkan penampang melintang dapat dilihat pada Lampiran 3.

Pada lokasi studi tersebut, terdapat struktur bangunan air yang melintang pada aliran sungai. Bangunan tersebut terletak di desa Pleret yang berjarak 0,7 km dari hulu Warungdowo ke arah hilir. Struktur tersebut juga dimodelkan pada program HEC-RAS 4.1.0 pada saat memasukkan data geometrik sebagai *inline structure* pada RS 158.

Gambar 4.2 Bangunan Air Plered
Sumber : Dokumentasi Penulis

4.1.2 Input kondisi batas hulu

Data masukan yang dijadikan kondisi batas di bagian hulu berupa data debit di area hulu sungai yang dicatat dari pos pengukuran Warungdowo di kecamatan Pohjentrek. Data yang dimasukkan tercatat selama Januari 2011 sampai Desember 2011. Berikut datanya:

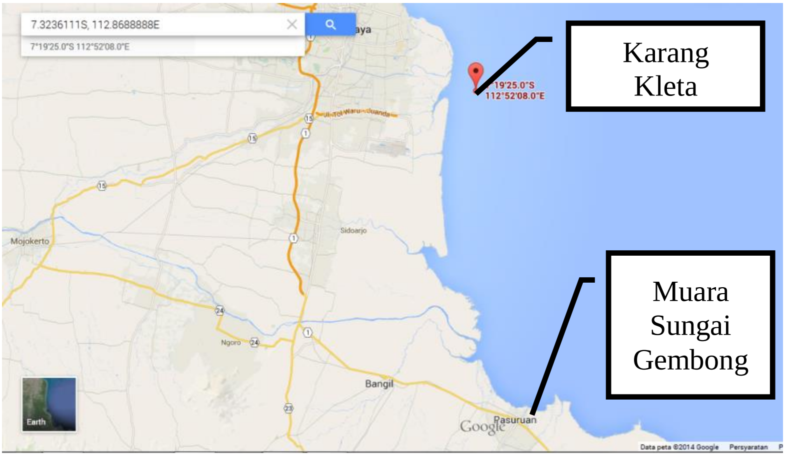
Tabel 4.1 Debit Hulu di Warungdowo pada tahun 2011
Sumber : UPT PSDA WS Gembong Pekalen Pasuruan

Tanggal	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1	11.694	9.788	14.420	12.106	15.256	8.522	20.349	20.342	18.097	16.623	17.378	19.680
2	10.392	12.460	12.276	13.864	17.070	11.222	20.169	20.237	17.797	17.963	17.140	17.773
3	8.932	22.234	10.543	36.609	16.842	16.902	21.059	18.277	17.857	18.402	17.668	20.440
4	9.711	31.651	15.330	15.304	11.729	11.596	21.119	19.157	17.506	18.602	18.277	19.999
5	14.252	16.402	21.270	16.571	13.808	18.226	20.470	19.177	17.626	18.084	42.690	20.637
6	13.300	15.837	20.739	13.808	15.316	23.155	19.970	18.433	47.026	18.362	24.181	70.587
7	12.641	17.344	14.120	13.570	15.438	12.439	19.790	17.836	19.146	20.402	30.981	35.724
8	10.251	12.025	14.606	13.222	13.203	13.539	20.179	16.666	18.621	19.911	28.181	22.110
9	21.067	12.375	15.205	22.415	19.840	15.569	19.852	16.746	17.618	18.847	36.914	23.219
10	11.522	9.688	17.696	19.546	11.823	12.295	21.052	16.626	18.468	18.981	22.836	20.526
11	9.747	10.140	19.303	17.924	10.341	9.946	21.432	17.746	21.183	17.917	19.148	18.775
12	12.571	9.301	13.880	19.087	34.654	9.972	21.603	17.626	19.277	17.917	18.608	18.582
13	9.559	8.147	12.193	12.639	20.622	11.552	21.212	17.866	18.889	18.821	18.908	24.360
14	15.269	22.741	13.931	15.730	18.255	10.176	24.092	17.706	18.605	16.800	18.481	23.684
15	11.240	16.906	19.537	15.049	14.462	9.221	20.152	17.946	17.777	19.934	18.951	28.763

16	10.411	12.384	27.384	18.812	16.329	10.361	19.072	17.986	20.861	18.998	20.031	23.299
17	8.239	11.755	14.151	15.111	12.663	14.317	18.663	18.026	22.138	28.567	20.007	21.696
18	8.733	11.079	12.311	16.069	13.819	10.097	19.092	18.026	19.018	27.327	17.957	24.986
19	13.590	15.600	10.730	13.362	17.784	14.440	18.607	18.816	18.914	19.759	18.777	28.308
20	12.972	10.677	13.098	10.429	12.322	9.830	18.427	18.398	16.623	20.424	20.078	24.386
21	10.773	9.051	10.260	9.491	11.397	10.070	18.307	18.696	16.440	28.669	24.201	27.049
22	11.796	10.148	9.790	11.229	14.753	9.686	18.763	18.440	16.430	20.859	24.055	38.155
23	11.261	18.658	15.685	12.436	18.121	9.197	18.568	18.126	16.680	17.624	21.527	26.116
24	11.752	10.446	11.851	18.407	16.924	8.437	16.992	18.136	16.403	17.986	20.207	23.452
25	11.003	12.297	9.452	10.869	15.214	8.456	19.397	21.176	16.743	16.251	21.803	31.112
26	12.704	17.991	17.426	8.002	11.932	8.226	19.798	19.446	17.230	17.776	22.672	30.210
27	14.383	12.917	13.668	8.247	12.806	7.796	19.792	18.526	17.470	15.914	18.472	24.756
28	11.565	11.578	12.534	10.637	9.436	7.730	37.612	18.552	17.230	17.451	18.143	21.257
29	11.548		16.672	10.311	7.786	7.849	19.842	18.623	16.690	16.745	17.496	19.428
30	22.171		16.750	10.121	7.926	7.742	20.357	19.902	17.990	16.527	18.852	21.502
31	11.870		12.389		8.282		19.697	18.583		17.350		21.203

4.1.3 Input kondisi batas hilir

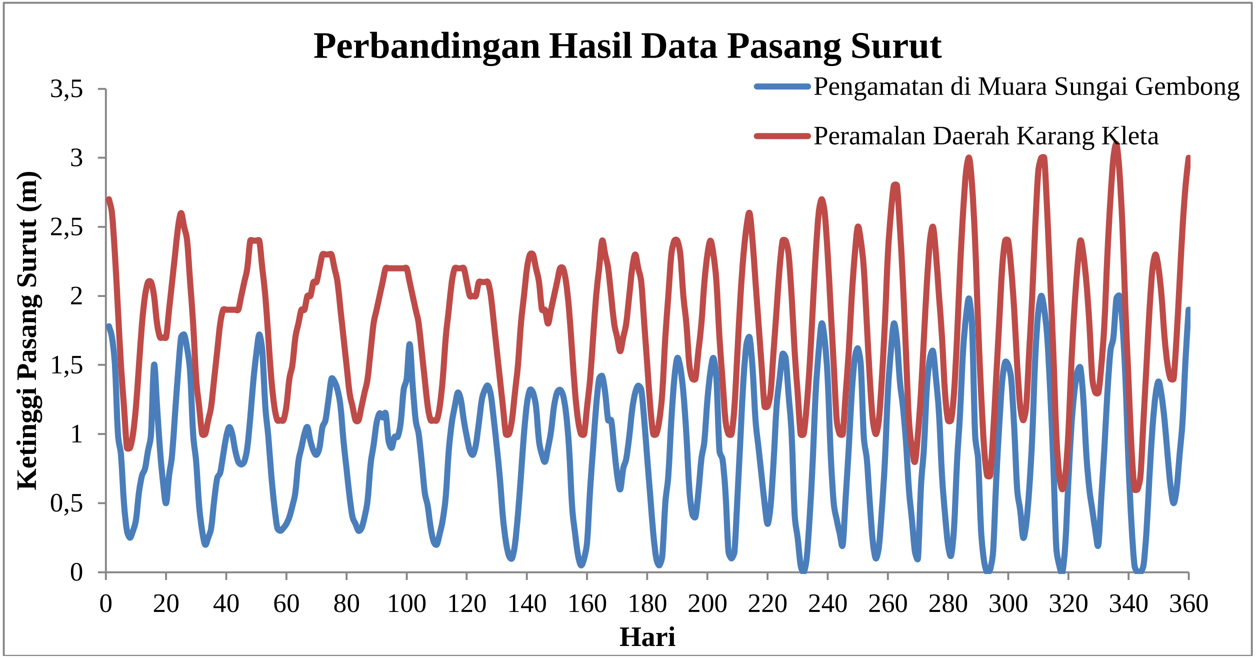
Sedangkan untuk data yang digunakan sebagai kondisi batas di hilir lokasi studi adalah data pasang surut permukaan air laut yang didapatkan di muara Sungai Gembong. Data pengamatan yang didapatkan adalah selama 15 hari selama 24 September sampai 8 Oktober 2013. Sedangkan data masukan yang dibutuhkan adalah selama 1 tahun. Sehingga data yang digunakan adalah catatan data peramalan pasang surut yang telah disesuaikan dengan pengamatan di muara Sungai Gembong. Karang Kleta atau alur pelayaran timur Surabaya terletak di sebelah barat laut muara sungai. Lokasi Karang Kleta dari muara sungai Gembong dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.3 Lokasi Muara Sungai Gembong dari Alur Pelayaran Timur Surabaya (Karang Kleta)
Sumber : Google Map

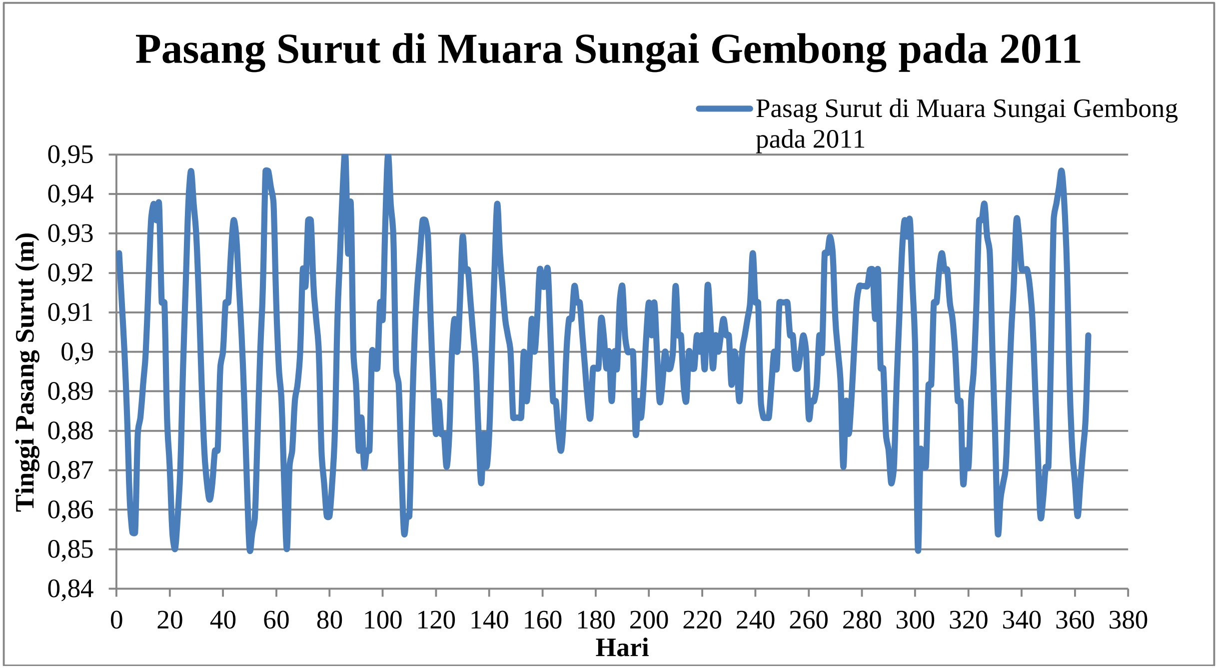
Rentang data yang digunakan menyesuaikan dengan data debit yang dimasukkan, yakni pada tahun 2011. Data pengamatan pasang surut didapatkan dari studi *detail enginering design* rehabilitasi fasilitas pelabuhan Pasuruan.

Sementara untuk data peramalan pasang surut didapatkan dari Buku Peramalan Pasang Surut Kepulauan Indonesia yang diterbitkan oleh Dinas Hidrooseanografi TNI AL. Perbedaan tinggi pasang surut dari pengamatan di muara sungai Gembong dengan peramalan pasang surut adalah 0,9 m. Pola pasang surut kedua data dapat dilihat pada gambar 4.4. Ramalan tinggi pasang surut harian tahun 2011 yang sudah disesuaikan dengan pengamatan, dan digunakan sebagai masukan data untuk simulasi *quasi-unsteady flow* ditampilkan pada gambar 4.5 atau pada Lampiran 4.



Gambar 4.4 Perbandingan Data Pasang Surut Pengamatan dan Peramalan

Sumber : Buku Peramalan Pasang Surut Kepulauan Indonesia Tahun 2013 dan Laporan Studi Detail Engineering Design Pengembangan Pelabuhan Pasuruan Tahun 2013

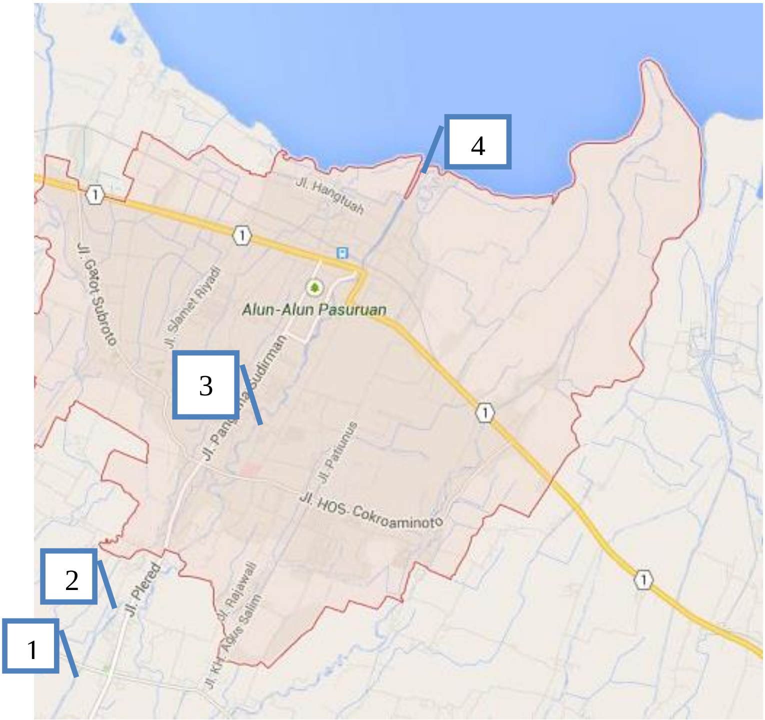


Gambar 4.5 Grafik Pasang Surut Harian Muara Sungai Gembong Tahun 2011

Sumber : Buku Peramalan Pasang Surut Kepulauan Indonesia Tahun 2011

4.1.4 Analisa sampel sedimen

Data sedimen yang digunakan dalam pemodelan angkutan sedimen ini berasal dari hasil analisa sedimen yang diambil langsung dari beberapa lokasi studi. Pengambilan sedimen dilakukan dengan menggunakan alat pengambil sedimen (*sediment grab*) di empat titik sepanjang lokasi studi. Alat *sediment grab* dapat dilihat pada gambar 4.7. Pemilihan empat lokasi tersebut didasarkan pada kemudahan pengambilan sedimen di sungai. Yakni dengan adanya jembatan atau pinggiran sungai yang bisa dicapai oleh alat. Empat titik lokasi tersebut dapat dilihat pada gambar 4.6 berikut.

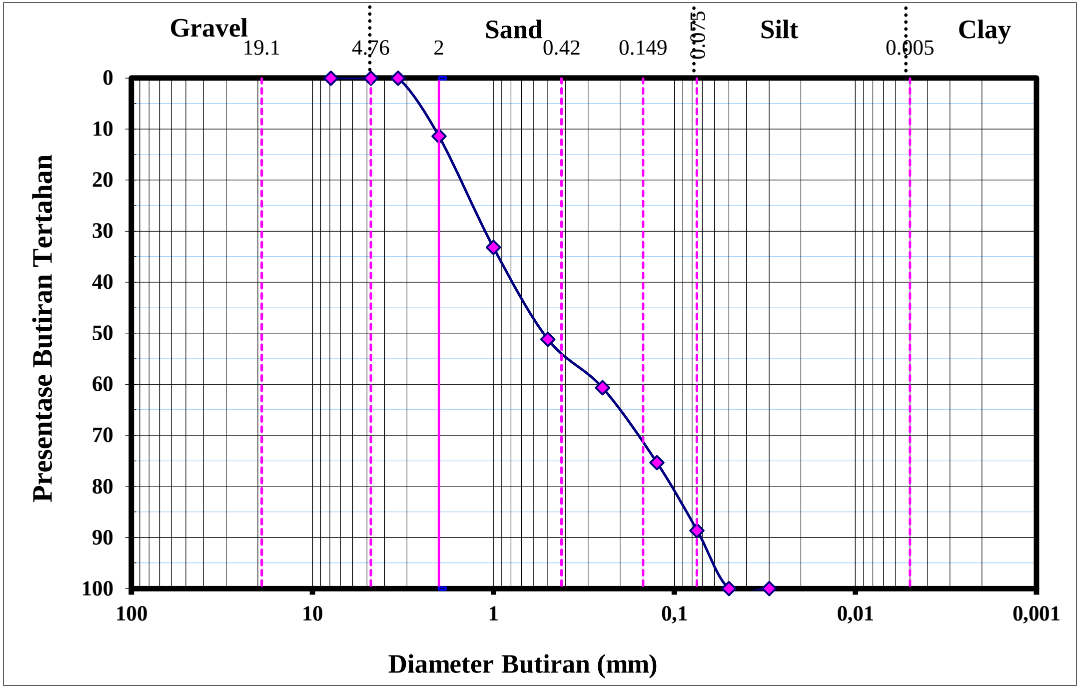


Gambar 4.6 Lokasi Pengambilan Sedimen
Sumber : Google Map

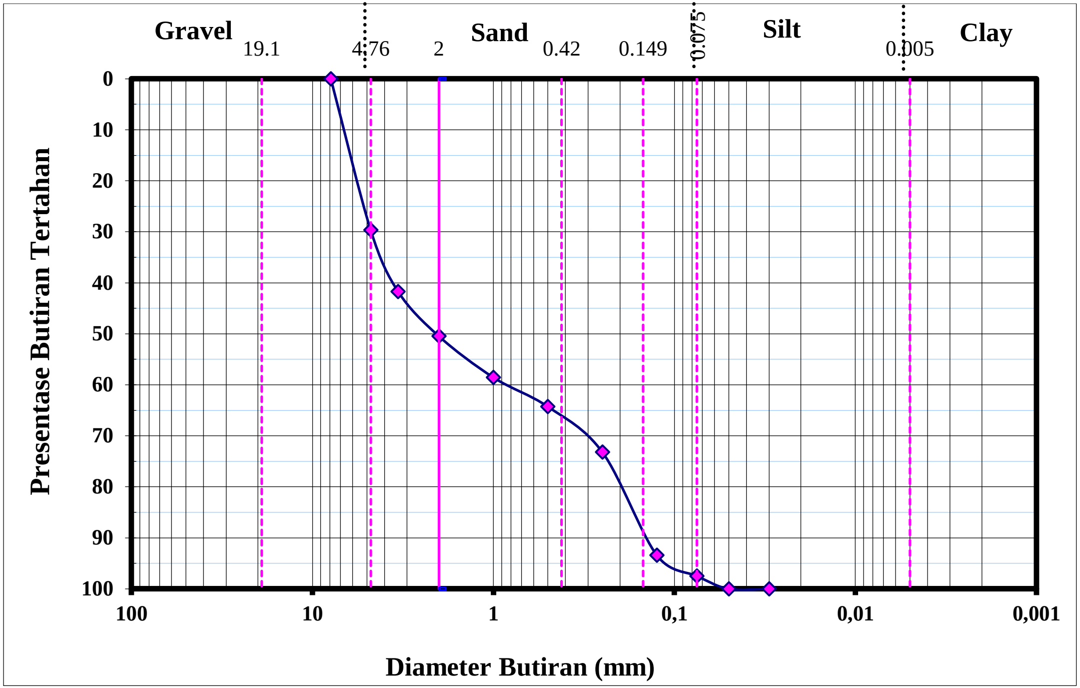
Keterangan :
Lokasi 1 : Hulu (Warungdowo)
Lokasi 2 : Pleret
Lokasi 3 : Gang Makam
Lokasi 4 : Hilir (Pelabuhan)

Pengambilan sedimen dilakukan pada tanggal 25 Nopember 2014 dan dianalisa pada 3-4 Desember 2014. Sampel yang sudah diambil kemudian dianalisa di laboratorium. Analisa yang dilakukan berupa analisa ayakan untuk mengetahui presentase setiap ukuran butiran pada sedimen yang diambil. Dari hasil analisa ayakan tersebut, dapat diketahui karakteristik sedimen yang ditunjukkan dalam bentuk grafik distribusi ukuran butiran seperti berikut.

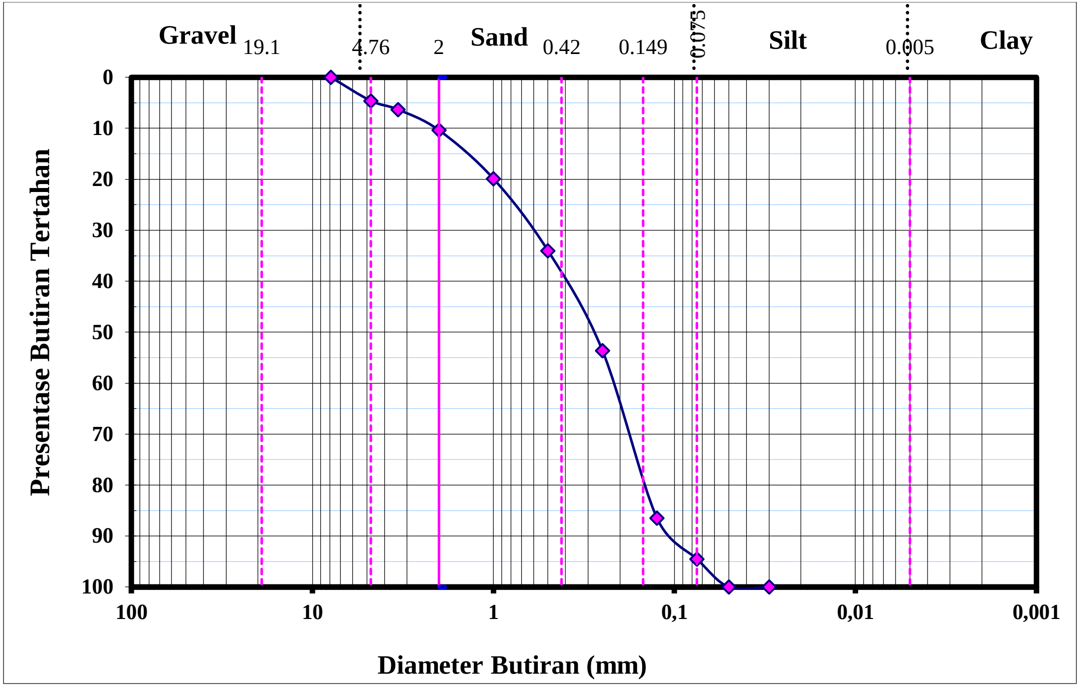
Gambar 4.7 *Sediment Grab* untuk Mengambil Sampel Sedimen
Sumber : Google Images



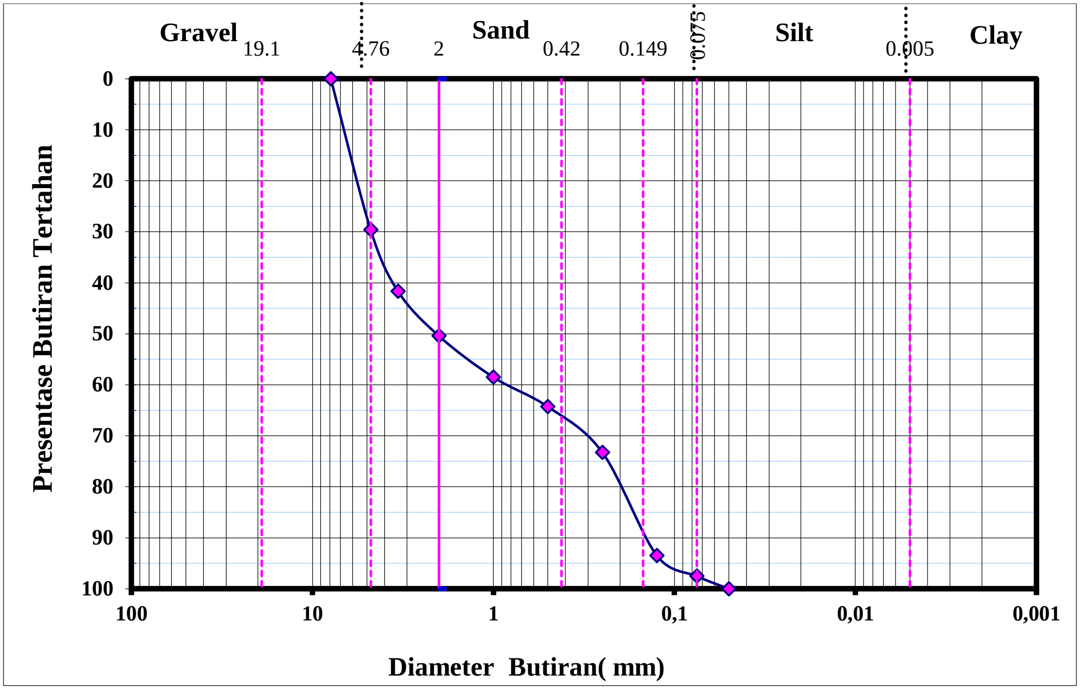
Gambar 4.8 Hasil Ayakan Sampel Sedimen Lokasi 1



Gambar 4.9 Hasil Ayakan Sampel Sedimen Lokasi 2



Gambar 4.10 Hasil Ayakan Sampel Sedimen Lokasi 3



Gambar 4.11 Hasil Ayakan Sampel Sedimen Lokasi 4

Tabel 4.2 Presentase Butiran Tertahan Ayakan pada Sampel Lokasi 1 Bagian Hulu (Warungdowo)

Diameter (mm)	Butiran Tertahan			
	Berat		Presentase	
	Total (gram)	Contoh (gram)	(%)	Σ (%)
19.05	0	0	0	0
12.7	0	0	0	0
7.9	0	0	0	0
4.76	0	0	0	0
3.36	0	0	0	0
2	24	6	11.3744	11.3744
1	29.5	11.5	21.8010	33.1754
0.5	27.5	9.5	18.0095	51.1849
0.25	23	5	9.4787	60.6636
0.125	25.75	7.75	14.6919	75.3555
0.075	25	7	13.2701	88.6256
0.05	24	6	11.3744	100

Tabel 4.3 Presentase Butiran Tertahan Ayakan pada Sampel Lokasi 2 Pleret

Diameter (mm)	Butiran Tertahan			
	Berat		Presentase	
	Total (gram)	Contoh (gram)	(%)	Σ (%)
19.05	0	0	0	0
12.7	0	0	0	0
7.9	0	0	0	0
4.76	106	88	29.6496	29.6496
3.36	53.75	35.75	12.0451	41.6947
2	44	26	8.7601	50.4548
1	42	24	8.0863	58.5411
0.5	35	17	5.7278	64.2689
0.25	44.5	26.5	8.9286	73.1975
0.125	78	60	20.2156	93.4131

0.075	30.05	12.05	4.06	97.4731
0.05	25.5	7.5	2.5269	100

Tabel 4.4 Presentase Butiran Tertahan Ayakan pada Sampel Lokasi 3 Gang Makam

Diameter (mm)	Butiran Tertahan			
	Berat		Presentase	
	Total (gram)	Contoh (gram)	(%)	Σ (%)
19.05	0	0	0	0
12.7	0	0	0	0
7.9	0	0	0	0
4.76	26	8	4.611	4.611
3.36	21	3	1.729	6.34
2	25	7	4.035	10.375
1	34.5	16.5	9.510	19.885
0.5	42.5	24.5	14.121	34.006
0.25	52	34	19.597	53.603
0.125	75	57	32.853	86.456
0.075	32	14	8.069	94.525
0.05	27.5	9.5	5.475	100

Tabel 4.5 Presentase Butiran Tertahan Ayakan pada Sampel Lokasi 4 Bagian Hilir (Pelabuhan)

Diameter (mm)	Butiran Tertahan			
	Berat		Presentase	
	Total (gram)	Contoh (gram)	(%)	Σ (%)
19.05	0	0	0	0
12.7	0	0	0	0
7.9	0	0	0	0
4.76	69.25	51.25	29.6243	29.6243
3.36	38.85	20.85	12.052	41.6763
2	33.1	15.1	8.7283	50.4046
1	32	14	8.0925	58.4971

0.5	28	10	5.7804	64.2775
0.25	33.5	15.5	8.9595	73.2370
0.125	53	35	20.2312	93.4682
0.075	25	7	4.0462	97.5144
0.05	22.3	4.3	2.4856	100
0.03	0	0	0	100

Berdasarkan hasil analisa ayakan yang dilakukan di laboratorium tersebut, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar sedimen yang berada di aliran sungai tersebut berjenis pasir. Berdasarkan klasifikasi tanah USCS (*Unified Soil Classification System*), jika jumlah butiran yang lolos ayakan diameter 0.075 mm kurang dari 50 % dan jumlah butiran yang tertahan ayakan diameter 4.76 mm kurang dari 50 % termasuk dalam jenis tanah pasir. Grafik distribusi ukuran butiran yang didapatkan dari hasil analisa ayakan empat sampel tersebut akan digunakan sebagai masukan data sedimen pada simulasi *quasi-unsteady flow* dengan program bantu HEC-RAS 4.1.0.

4.1.5 Kalibrasi model muara Sungai Gembong pada HEC-RAS 4.1.0

Pemodelan saluran air menggunakan HEC-RAS 4.1.0 seringkali belum bisa mewakili kondisi sebenarnya di lapangan karena keterbatasan data yang dimasukkan. Sehingga untuk menyesuaikan dengan kondisi lapangan, perlu dilakukan kalibrasi untuk memastikan seberapa dekat kondisi model yang dibuat dengan kondisi di lapangan.

Kalibrasi model muara pada HEC-RAS 4.1.0 dapat dilakukan dengan menyesuaikan angka koefisien kekasaran Manning (n) yang dimasukkan pada geometrik saluran. Melihat kondisi saluran yang berupa saluran buatan, angka koefisien Manning yang digunakan beragam mulai dari 0.015 hingga 0.03. Untuk keperluan kalibrasi maka digunakan empat nilai koefisien Manning yakni 0.015, 0.02, 0.025 dan 0.03 dalam simulasi aliran tak permanen-semu ini. Pada tabel 4.6 akan disajikan tinggi muka air di hulu hasil simulasi dengan

nilai koefisien Manning yang bervariasi dan dibandingkan dengan tinggi muka air yang tercatat oleh pos pengukuran Warungdowo. Hasil yang disajikan berikut ini hanya akan menampilkan hasil pada bulan Juni 2011. Hasil selengkapnya dalam satu tahun untuk masing-masing nilai Manning serta hasil pengamatan selama satu tahun dapat dilihat pada Lampiran 5,6,7,8 dan 9.

Tabel 4.6 Perbandingan Tinggi Muka Air di Hulu

Tanggal	Elevasi asli	Elevasi hasil HEC-RAS			
		n = 0.015	n = 0.02	n = 0.025	n = 0.03
1-Jun-11	1.29	1.08	1.14	1.18	1.21
2-Jun-11	1.44	1.18	1.25	1.30	1.35
3-Jun-11	1.65	1.35	1.45	1.52	1.59
4-Jun-11	1.43	1.19	1.27	1.32	1.37
5-Jun-11	1.69	1.39	1.49	1.57	1.64
6-Jun-11	1.87	1.52	1.64	1.73	1.81
7-Jun-11	1.48	1.23	1.30	1.36	1.41
8-Jun-11	1.57	1.26	1.34	1.41	1.46
9-Jun-11	1.66	1.32	1.41	1.48	1.55
10-Jun-11	1.51	1.23	1.30	1.36	1.41
11-Jun-11	1.37	1.15	1.21	1.26	1.30
12-Jun-11	1.4	1.15	1.21	1.26	1.30
13-Jun-11	1.49	1.20	1.27	1.33	1.38
14-Jun-11	1.41	1.15	1.22	1.27	1.31
15-Jun-11	1.37	1.12	1.18	1.23	1.26
16-Jun-11	1.44	1.16	1.23	1.28	1.32
17-Jun-11	1.61	1.29	1.38	1.44	1.50
18-Jun-11	1.41	1.15	1.22	1.27	1.31
19-Jun-11	1.6	1.30	1.38	1.45	1.51

20-Jun-11	1.36	1.15	1.21	1.26	1.30
21-Jun-11	1.39	1.15	1.22	1.27	1.31
22-Jun-11	1.37	1.14	1.20	1.25	1.29
23-Jun-11	1.35	1.12	1.18	1.23	1.27
24-Jun-11	1.3	1.09	1.15	1.19	1.23
25-Jun-11	1.29	1.09	1.15	1.20	1.23
26-Jun-11	1.27	1.09	1.14	1.18	1.22
27-Jun-11	1.23	1.07	1.12	1.16	1.19
28-Jun-11	1.21	1.07	1.12	1.16	1.19
29-Jun-11	1.19	1.07	1.13	1.17	1.20
30-Jun-11	1.19	1.07	1.12	1.16	1.19

Untuk mengetahui performa hasil model yang dibandingkan dengan data pengukuran, digunakan parameter statistik yaitu dengan menentukan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE). Nilai RMSE yang semakin kecil menunjukkan hasil yang semakin sesuai dengan kondisi asli atau pengukuran di lapangan. Untuk setiap nilai koefisien Manning yang digunakan akan dihitung nilai RMSE-nya dengan rumus berikut ini:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \hat{x_i})^2}{n}} \quad \text{..........................(4.1)}$$

dimana : i = Nomor node

n = Jumlah node

x_i = Data target

$\hat{x_i}$ = Data prediksi

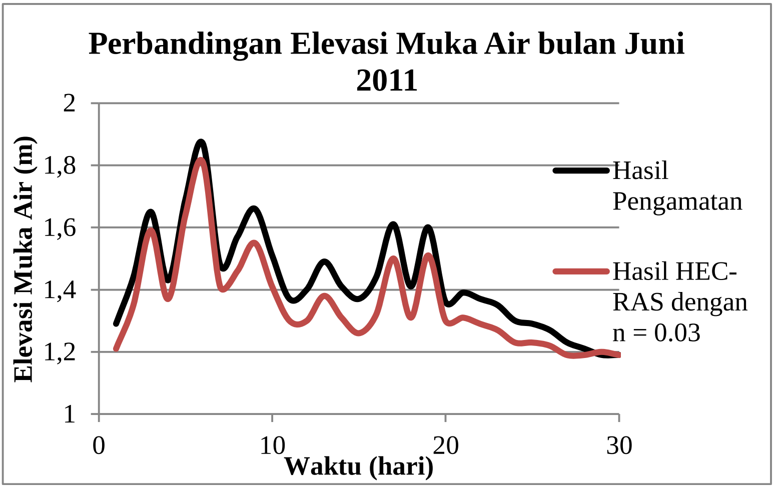
Besar nilai RMSE masing-masing nilai koefisien *Manning* diatas adalah sebagai berikut :

- Nilai koefisien *Manning* n = 0.015
  Nilai RMSE = 0.25073
- Nilai koefisien *Manning* n = 0.02

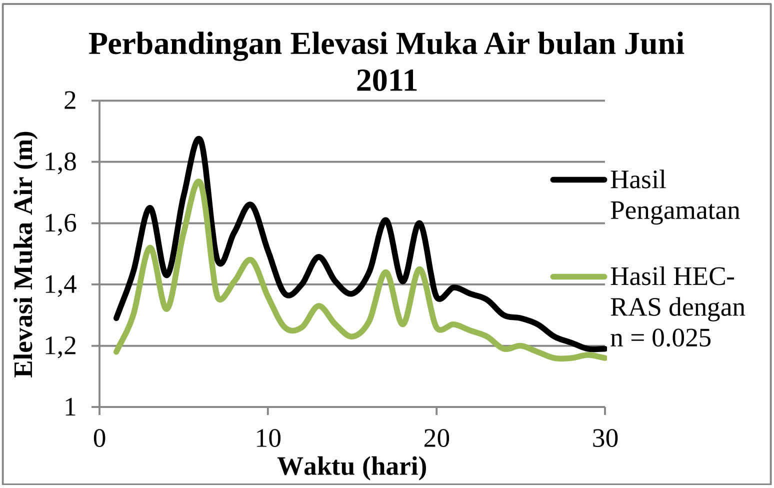
Nilai RMSE = 0.17979

- Nilai koefisien *Manning* n = 0.025
  Nilai RMSE = 0.12555
- Nilai koefisien *Manning* n = 0.03
  Nilai RMSE = 0.08093

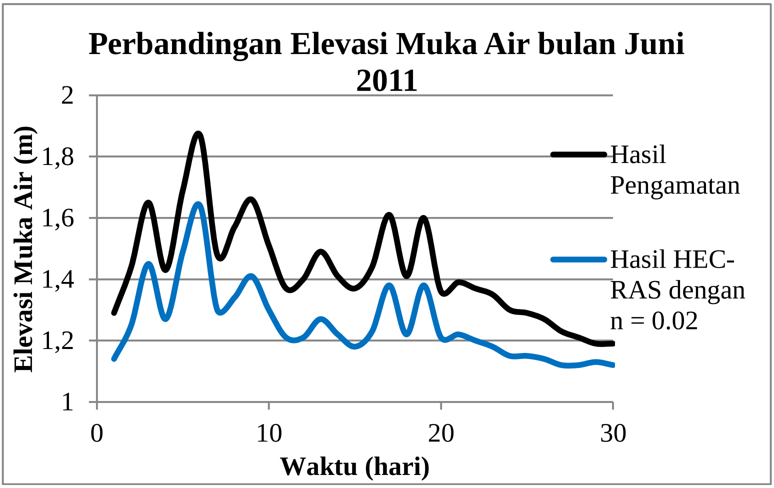
Dari perbandingan nilai RMSE tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan nilai koefisien *Manning* n = 0.03 akan menghasilkan kondisi yang lebih sesuai dengan lapangan daripada yang lainnya. Sehingga selanjutnya pemodelan angkutan sedimen akan menggunakan nilai koefisien *Manning* n = 0.03.



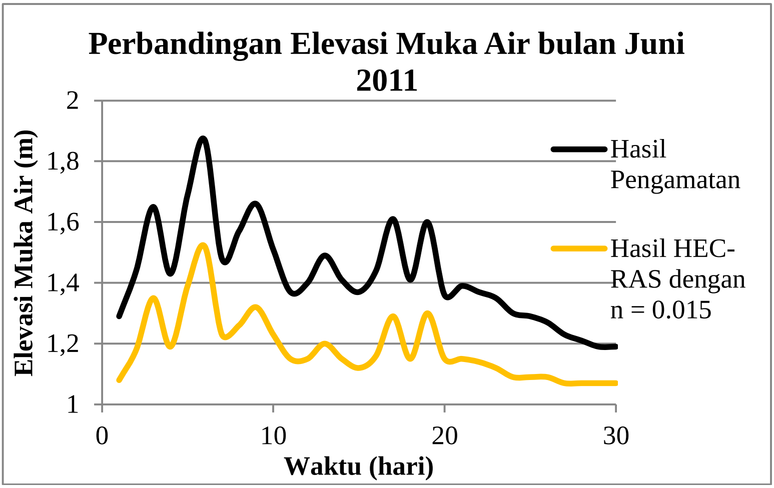
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Tinggi Muka Air dengan Nilai Koefisien n = 0.03



Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Tinggi Muka Air dengan Nilai Koefisien n = 0.025



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Tinggi Muka Air dengan Nilai Koefisien n = 0.02



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Tinggi Muka Air dengan Nilai Koefisien n = 0.015

4.2 Simulasi Angkutan Sedimen

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, simulasi angkutan sedimen yang digunakan adalah analisa aliran tak permanen-semu atau *quasi-unsteady flow* dalam program bantu HEC-RAS 4.1.0. Terdapat dua data yang perlu dimasukkan melalui opsi *data editor*, yakni *quasi-unsteady flow editor* untuk memasukkan kondisi batas hulu dan hilir serta temperatur aliran. Dan *sediment data editor* untuk memasukkan hasil analisa distribusi ayakan butiran dari sampel yang sudah diambil dari lokasi studi.

Selain memasukkan data-data tersebut, perlu juga menentukan *time step* atau tahapan waktu dari simulasi. Simulasi aliran tak permanen-semu memiliki tiga tahapan waktu. Yaitu *flow duration, computation increment* dan *mixing time step*. Yang dapat ditentukan adalah *flow duration* dan *computation increment. Flow duration* dalam simulasi ini selama 24 jam dan *computation increment* selama 12 jam. Penentuan tahapan waktu simulasi ini terdapat pada opsi *quasi-unsteady flow editor*.

4.2.1 Input data aliran dan sedimen

4.2.1.1 Input data *Quasi-Unsteady Flow Editor*

Pada jendela opsi *quasi-unsteady flow editor*, data yang akan dimasukkan adalah data debit sebagai kondisi batas hulu dan data pasang surut di muara sebagai kondisi batas hilir. Selain kedua data tersebut, perlu juga memasukkan data tinggi bukaan pintu untuk *inline structure* yang juga dimodelkan dalam simulasi ini yaitu Bangunan Air Plered. Serta informasi temperatur aliran selama masa simulasi juga dimasukkan ke dalam program.

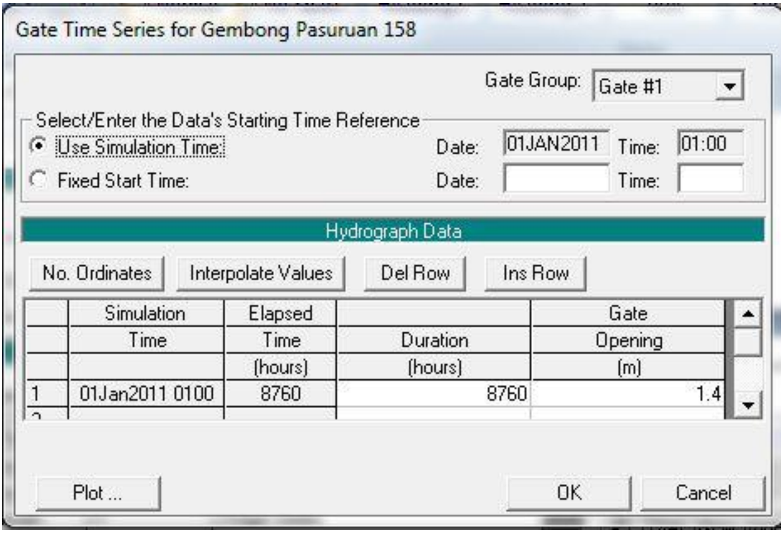
Sebagai masukan data di hulu lokasi studi, data debit yang dimasukkan selama 1 tahun pada 2011. Sehingga opsi yang dipilih adalah *flow series* seperti pada gambar 4.18. Data debit yang dimasukkan merupakan kumpulan data debit harian. *Computation increment* ditentukan selama 12 jam. Untuk setiap nilai debit harian, HEC-RAS akan menghitung angkutan sedimen yang terjadi sesuai pada durasi *time step* yang ditentukan.

Untuk masukan data kondisi batas hilir, data pasang surut yang dimasukkan juga selama 1 tahun pada 2011. Opsi yang dipilih adalah *stage series* atau serangkaian data elevasi yang dapat dilihat pada gambar 4.19. Data pasang surut yang dimasukkan merupakan data elevasi rata-rata muka air dalam satu hari antara muka air terendah dan tertinggi. Durasi *time step* yang digunakan HEC-RAS pada data masukan di hilir sama dengan pada data masukan di hulu lokasi studi.

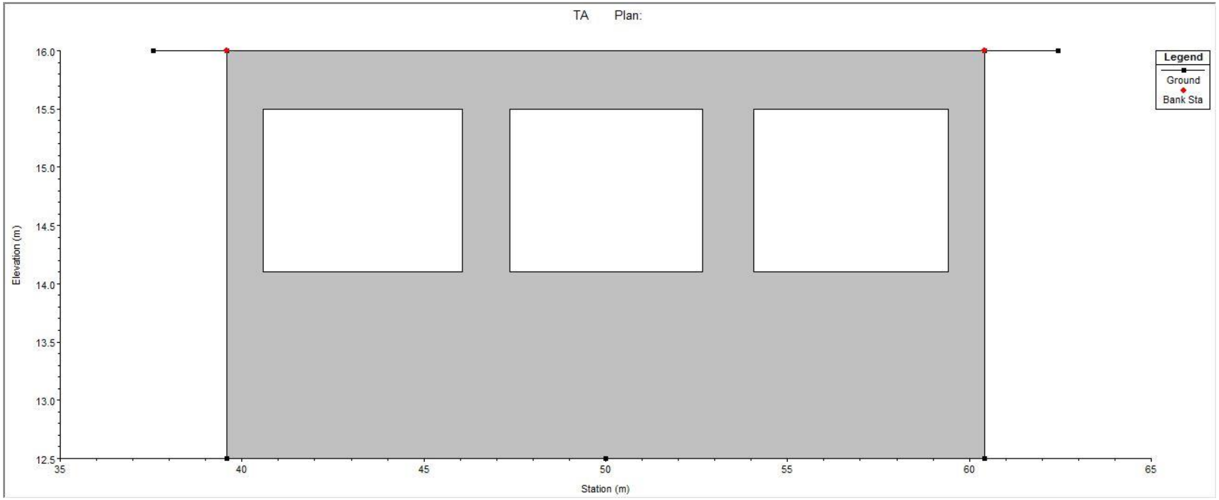
Dalam pemodelan ini, pada sepanjang aliran yang dibuat terdapat satu bangunan air di daerah Plered. Maka perlu menyertakan masukan data tinggi bukaan pintu air selama durasi *time step* yang ditentukan. Bangunan air tersebut memiliki tiga pintu bukaan yang memiliki tinggi yang sama. Ketiga bukaan pintu tersebut ditentukan

setinggi 1.4 m atau selalu terbuka dan diasumsikan bernilai tetap selama simulasi berlangsung.

Detail penampang melintang pada Bangunan Air Plered dapat dilihat pada gambar 4.17. Dan jendela *Gate Time Series* untuk memasukkan tinggi bukaan ketiga pintu air dapat dilihat pada gambar 4.16. Parameter temperatur dimasukkan sebagai masukan data terakhir pada *quasi-unsteady flow editor* sebesar 26° C seperti pada gambar 4.20.



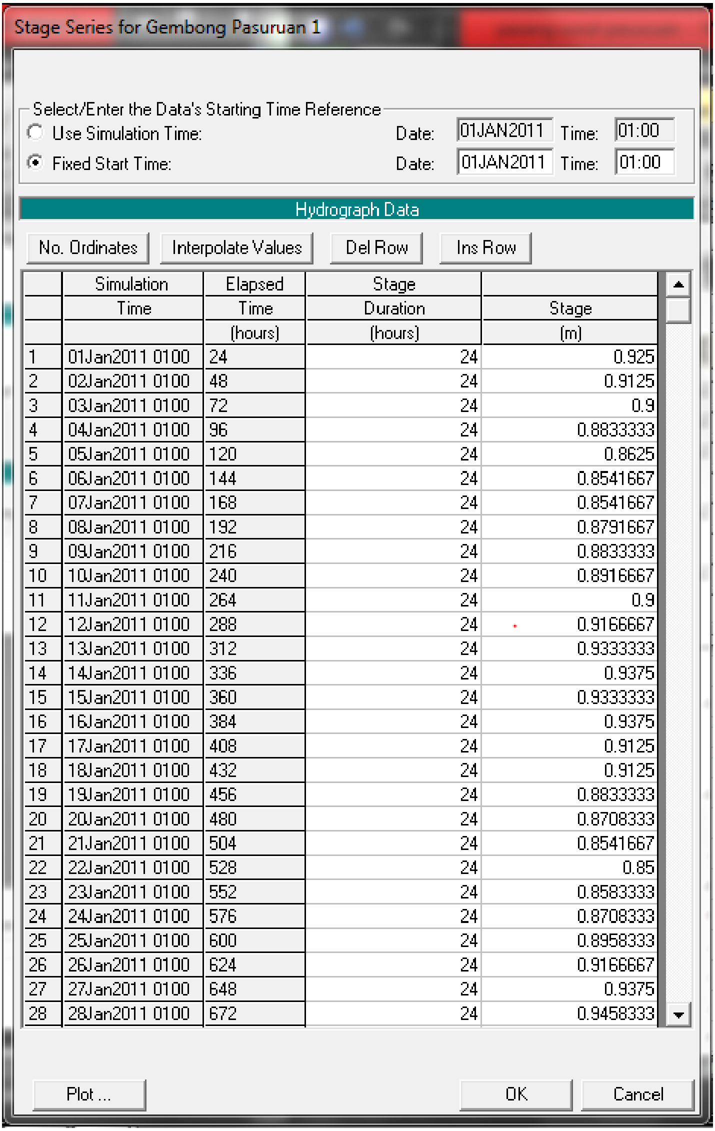
Gambar 4.16 Tampilan Jendela *Gate Time Series*
Sumber : HEC-RAS 4.1.0



Gambar 4.17 Model Bangunan Air Plered pada HEC-RAS 4.1.0

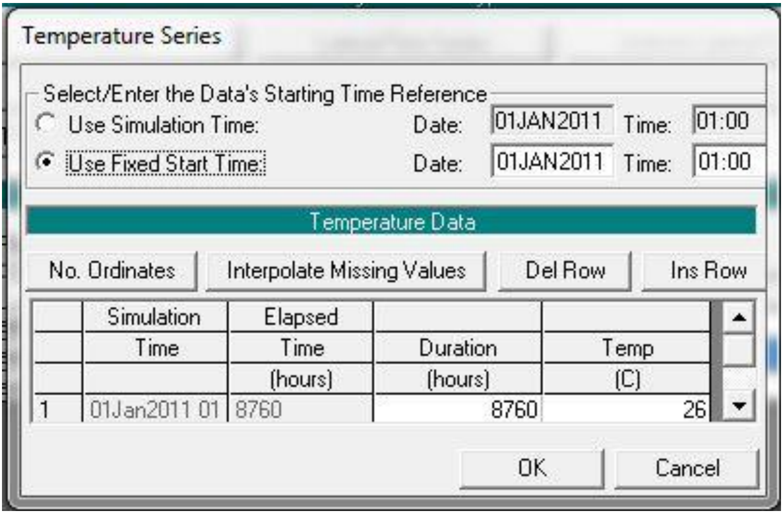
Sumber : HEC-RAS 4.1.0

Gambar 4.18 *Flow Series* untuk Kondisi Batas Hulu
Sumber : HEC-RAS 4.1.0



	Simulation Time	Elapsed Time (hours)	Stage Duration (hours)	Stage (m)
1	01Jan2011 0100	24	24	0.925
2	02Jan2011 0100	48	24	0.9125
3	03Jan2011 0100	72	24	0.9
4	04Jan2011 0100	96	24	0.8833333
5	05Jan2011 0100	120	24	0.8625
6	06Jan2011 0100	144	24	0.8541667
7	07Jan2011 0100	168	24	0.8541667
8	08Jan2011 0100	192	24	0.8791667
9	09Jan2011 0100	216	24	0.8833333
10	10Jan2011 0100	240	24	0.8916667
11	11Jan2011 0100	264	24	0.9
12	12Jan2011 0100	288	24	0.9166667
13	13Jan2011 0100	312	24	0.9333333
14	14Jan2011 0100	336	24	0.9375
15	15Jan2011 0100	360	24	0.9333333
16	16Jan2011 0100	384	24	0.9375
17	17Jan2011 0100	408	24	0.9125
18	18Jan2011 0100	432	24	0.9125
19	19Jan2011 0100	456	24	0.8833333
20	20Jan2011 0100	480	24	0.8708333
21	21Jan2011 0100	504	24	0.8541667
22	22Jan2011 0100	528	24	0.85
23	23Jan2011 0100	552	24	0.8583333
24	24Jan2011 0100	576	24	0.8708333
25	25Jan2011 0100	600	24	0.8958333
26	26Jan2011 0100	624	24	0.9166667
27	27Jan2011 0100	648	24	0.9375
28	28Jan2011 0100	672	24	0.9458333

Gambar 4.19 *Stage Series* untuk Kondisi Batas Hilir
Sumber : HEC-RAS 4.1.0



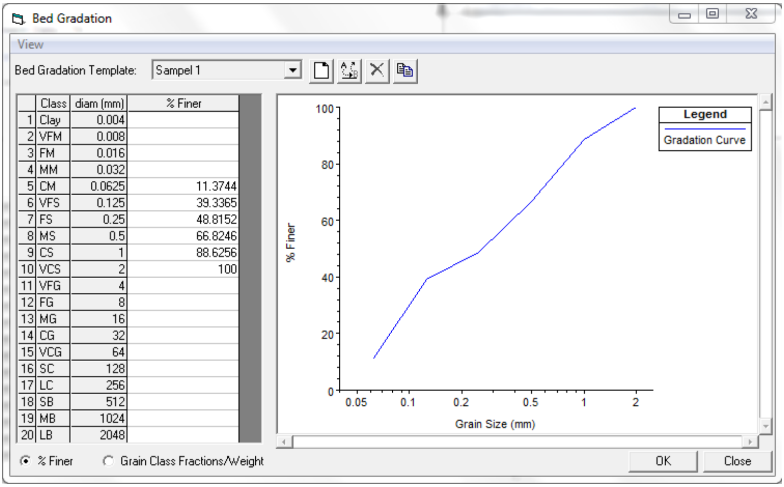
Gambar 4.20 Tampilan Jendela *Temperature Series*
Sumber : HEC-RAS 4.1.0

4.2.1.2 Input data *Sediment Data Editor*

Hasil analisa ayakan distribusi butiran dari sampel sedimen yang telah diambil dari lokasi studi akan dimasukkan pada opsi *Sediment Data Editor* yang terdapat pada HEC-RAS 4.1.0. Gradasi dari sampel sedimen yang sudah dianalisa di laboratorium dimasukkan melalui opsi *Define/Edit Bed Gradation*. Masukan data untuk sampel sedimen dilakukan dengan memasukkan presentase kumulatif sedimen yang lolos untuk ukuran ayakan tertentu. HEC-RAS memiliki standar ukuran ayakan sendiri sehingga data sedimen yang ada disesuaikan terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke jendela *Sediment Data Editor*. Tampilan jendela untuk masukan data gradasi sampel sedimen dapat dilihat pada gambar 4.21.

Setelah mendefinisikan sampel sedimen yang telah dianalisa, kemudian memasukkan data sedimen tersebut

untuk setiap penampang melintang sesuai dengan titik pengambilan sedimennya. Rincian penampang melintang dengan data sedimennya tertera pada tabel 4.7. Sedimen yang terdapat pada penampang melintang diantara titik-titik pengambilan sampel sedimen diasumsikan memiliki gradasi yang sama dengan sedimen yang diambil dari titik pengambilan terdekat.



Gambar 4.21 Tampilan HEC-RAS untuk Data Distribusi Ayakan Butiran Sampel Sedimen Lokasi 1
Sumber : HEC-RAS 4.1.0

Tabel 4.7 Rincian Penampang Melintang dengan Data Sedimen yang Digunakan

Sampel Sedimen	Titik Pengambilan Sedimen	Untuk Penampang Melintang
I	RS 161	RS 161 – RS 157
II	RS 156	RS 156 – RS 86
III	RS 85	RS 85 – RS 31
IV	RS 7	RS 30 – RS 1

Selain input grafik ayakan sedimen dan penentuan sampel sedimen yang digunakan untuk tiap penampang

melintang, juga perlu menentukan kondisi batas sedimen model yang dibuat. Kondisi batas sedimen yang digunakan adalah *Equilibrium Load*. *Equilibrium load* hanya tersedia untuk penampang melintang hulu, yang ditentukan dengan kapasitas angkutan. HEC-RAS akan menghitung kapasitas angkutan sedimen untuk tiap *time step* pada penampang melintang tertentu dan akan digunakan sebagai aliran sedimen yang masuk. Karena masukan aliran disamakan dengan kapasitas untuk tiap ukuran butiran, maka tidak terjadi agradasi atau degradasi pada penampang melintang hulu ini atau dalam kondisi seimbang.

4.2.2 Pemilihan rumus angkutan pada HEC-RAS 4.1.0

Pemodelan angkutan sedimen umumnya sulit untuk mendapatkan hasil yang akurat karena proses sedimentasi dalam saluran dipengaruhi oleh banyak faktor. Selain itu, perhitungan yang dilakukan memiliki kekurangan untuk menggambarkan beragam kondisi lapangan yang sesuai. Oleh karena itu, rumusan yang digunakan dalam perhitungan angkutan sedimen perlu menyesuaikan kondisi lokasi studi.

Dalam analisa angkutan sedimen, pemilihan rumus angkutan sangat menentukan kualitas hasil perhitungan. Hal ini dikarenakan setiap rumus angkutan dibuat berdasarkan kondisi-kondisi spesifik di lapangan yang meliputi kondisi geometri saluran, ukuran butiran sedimennya dan besaran debit yang terjadi. Sehingga dari sekian banyak rumus angkutan yang ada akan dipilih beberapa rumusan angkutan saja yang sesuai dengan karakteristik sampel sedimen dan kondisi geometrik lokasi studi. Berikut adalah referensi untuk setiap rumusan yang digunakan di HEC-RAS 4.1.0:

1. Ackers-White

   Merupakan persamaan angkutan *total load*. Persamaan angkutan sedimen ini dikembangkan dari percobaan *flume* dengan gradasi-gradasi yang relatif seragam dengan rentang jenis sedimen pasir sampai kerikil.

Dapat digunakan untuk kondisi dasar saluran yang beragam.

2. Engelund Hansen

   Merupakan persamaan angkutan *total load*. Persamaan angkutan ini juga dikembangkan dari percobaan *flume* dengan gradasi yang relatif seragam dengan jenis sedimen pasir berukuran 0.19 – 0.93 mm.
3. Laursen-Copeland

   Merupakan persamaan angkutan *total load*. Persamaan angkutan sedimen ini juga awalnya dikembangkan dari percobaan *flume* yang kemudian dikembangkan dalam percobaan sungai. Kelebihan persamaan angkutan ini adalah rentang cakupan sedimennya yang bisa digunakan untuk jenis sedimen lanau (*silt*).
4. Meyer-Peter Mùller

   Merupakan persamaan angkutan *bed load*. Persamaan ini dikembangkan dari percobaan *flume* dengan kondisi dasar sungai berupa pasir dan kerikil. Namun rumus ini yang paling sukses digunakan pada kondisi dasar saluran berkerikil.
5. Toffaleti

   Merupakan persamaan angkutan *total load*. Secara umum, persamaan angkutan ini digunakan pada sungai yang sangat lebar. Dikembangkan pada kondisi sedimen berpasir, rumusan ini sangat sesuai untuk angkutan dengan angkutan melayang yang signifikan.
6. Yang

   Merupakan persamaan angkutan *total load*. Dapat digunakan untuk kondisi sedimen pasir maupun kerikil.

Tabel 4.8 Cakupan Masukan Parameter yang Dikembangkan pada Tiap Rumusan

Sumber : HEC-RAS Reference Manual

Parameter / Rumus Angkutan	d	d_m	s	V	D	S	W	T
Ackers-White (*flume*)	0.04 - 7.0	NA	1.0 - 2.7	0.07 - 7.1	0.01 - 1.4	0.00006 - 0.037	0.23 - 4.0	46 - 89
Englund-Hansen (*flume*)	NA	0.19 - 0.93	NA	0.65 - 6.34	0.19 - 1.33	0.000055 - 0.019	NA	45 - 93
Laursen (*field*)	NA	0.08 - 0.7	NA	0.068 - 7.8	0.67 - 54	0.0000021 - 0.0018	63 - 3640	32 - 93
Laursen (*flume*)	NA	0.011 - 29	NA	0.7 - 9.4	0.03 - 3.6	0.00025 - 0.025	0.25 - 6.6	46 - 83
Meyer-Peter Muller (*flume*)	0.4 - 29	NA	1.25 - 4.0	1.2 - 9.4	0.03 - 3.9	0.0004 - 0.02	0.5 - 6.6	NA
Tofaletti (*field*)	0.062 - 4.0	0.095 - 0.76	NA	0.7 - 7.8	0.07 - 56.7	0.000002 - 0.0011	63 - 3640	32 - 93
Tofaletti (*flume*)	0.062 - 4.0	0.45 - 0.91	NA	0.7 - 6.3	0.07 - 1.1	0.00014 - 0.019	0.8 - 8	40 - 93
Yang (*field-sand*)	0.15 - 1.7	NA	NA	0.8 - 6.4	0.04 - 50	0.000043 - 0.028	0.44 - 1750	32 - 94
Yang (*field-gravel*)	2.5 - 7.0	NA	NA	1.4 - 5.1	0.08 - 0.72	0.0012 - 0.029	0.44 - 1750	32 - 94

Keterangan :

d : diameter partikel secara keseluruhan (mm)

d_m : median diameter partikel, d_{50} (mm)

s : *specific gravity* sedimen

V : rata-rata kecepatan saluran (fps)

D : kedalaman saluran (ft)

S : kemiringan saluran

W : lebar saluran (ft)

T : temperatur air (^{o}F)

NA : data tidak tersedia

Area sungai Gembong yang menjadi lokasi studi memiliki karakteristik sedimen sebagian besar pasir dengan rentang butiran 0.05 – 4.76 mm. Kemudian memiliki rata-rata kecepatan saluran sebesar 0.500833 m/s atau 1.643234 fps. Kedalaman saluran mencapai 2.25 – 4 m atau 7.38 – 13.12 ft, lebar saluran sekitar 20 – 55 m atau 65.62 – 180.455 ft dan kemiringan saluran sebesar 0.001477. Temperatur air sebesar 26 ^{o}C atau 78.8 ^{o}F. Dengan menggunakan masukan data-data tersebut dan dibandingkan dengan rentang parameter yang ditampilkan pada tabel 4.8, digunakan rumusan Ackers-White, Laursen-Copeland dan Yang sebagai rumusan angkutan yang digunakan dalam simulasi sedimen ini. Hasil simulasi dari masing-masing rumusan tersebut akan dibandingkan untuk ditentukan hasil yang paling mewakili kondisi lapangan.

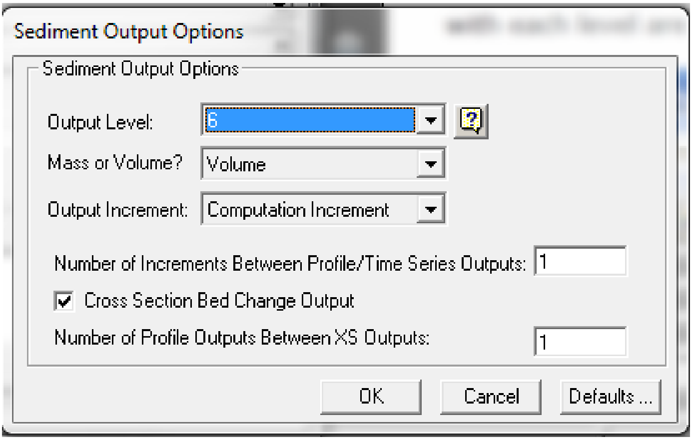
4.2.3 Simulasi *Quasi-Unsteady* dengan HEC-RAS 4.1.0

Setelah memasukkan data kondisi batas hulu dan hilir serta data sedimen, HEC-RAS dapat menjalankan simulasi *quasi-unsteady*. Saat akan memulai simulasi, terdapat beberapa pengaturan yang khusus terkait simulasi sedimen. Seperti *Sediment Computation Options and Tolerances* dan *Sediment Output Options*.

Pengaturan yang diatur dalam *Sediment Computation Options and Tolerances* adalah jumlah iterasi pengikisan dan pelapisan pada dasar saluran tiap *computation increment*,

perubahan dasar saluran minimum dan perubahan penampang melintang minimum sebelum melanjutkan perhitungan berikutnya. Opsi-opsi tersebut dapat disesuaikan dengan pengaturan *default* atau diubah dengan tujuan untuk mempercepat simulasi atau sebaliknya membuat model menjadi lebih sensitif dengan perubahan dasar saluran.

Sementara untuk pilihan *Sediment Output Options*, pemodel dapat mengubah jumlah variabel output yang akan dihitung HEC-RAS dengan memilih level output dari angka 1-6. Kemudian pemodel juga dapat memilih output yang dihasilkan dalam bentuk massa atau volume. Pemilihan waktu *output increment* juga ditentukan pada jendela ini dimana terdapat pilihan *computation increment*, *flow duration*, *hours*, dan *days*. Pemilihan ini berpengaruh pada hasil yang ditampilkan, yaitu di akhir waktu tersebut. Selain itu, pemodel juga dapat menentukan jumlah *increment* antara *profile output* yang ditampilkan. Dan jika kotak *cross section bed change output* dicentang, maka pemodel dapat menentukan jumlah *output* penampang melintang yang ditampilkan.

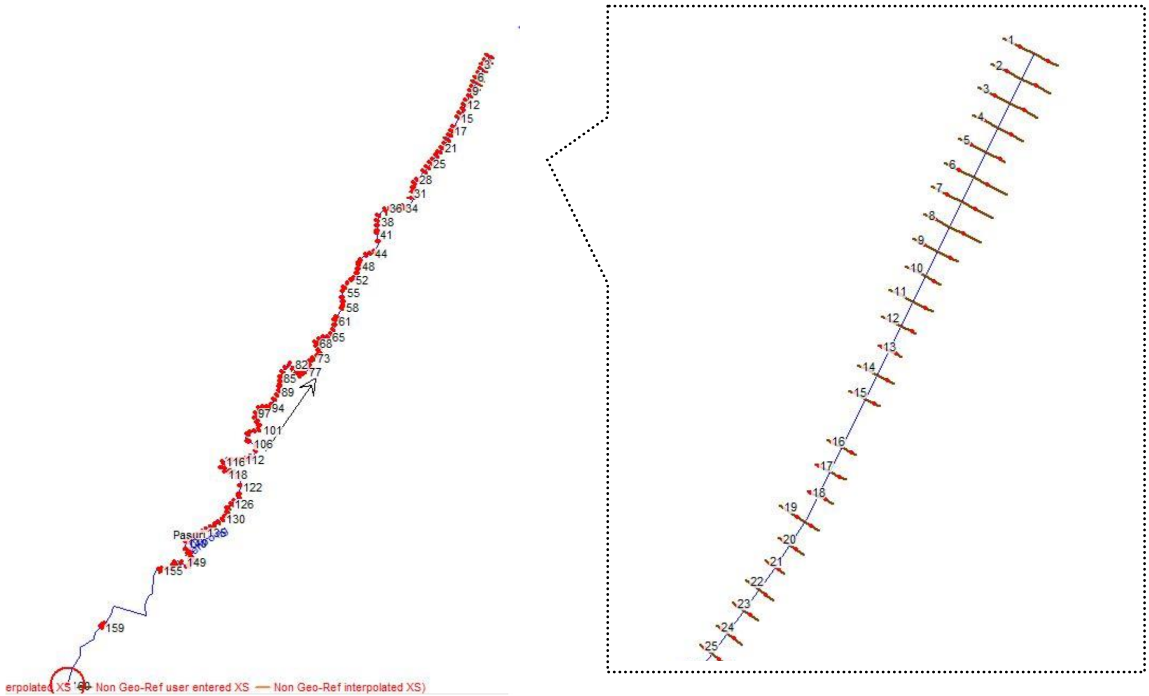


Gambar 4.22 Tampilan Jendela *Sediment Output Options*
Sumber : HEC-RAS 4.1.0

Setelah melakukan simulasi *quasi-unsteady flow*, HEC-RAS akan menghasilkan *output* yang menunjukkan perubahan dasar saluran yang terjadi selama durasi simulasi dan volume kumulatif perubahan dasar sepanjang lokasi studi. *Output* yang berupa volume kumulatif perubahan dasar saluran merupakan hasil selisih dari volume kumulatif yang masuk dengan volume kumulatif yang keluar pada tiap titik RS (*river station*). Pemilihan opsi pada jendela *Sediment Output Options* seperti pada gambar 4.22 akan dapat menampilkan volume perubahan dasar saluran pada tiap penampang melintang (titik *river station*nya) pada tiap akhir *computation increment*nya yaitu tiap 12 jam.

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, analisa akan difokuskan pada hasil di kolam pelabuhan, yaitu dari RS 24 hingga RS 1. Lokasi muara pada simulasi dapat dilihat pada gambar berikut.

Gambar 4.23 Lokasi Kolam Pelabuhan di Muara Sungai Gembong
Sumber : Google Map



Gambar 4.24 Detail Muara Sungai dari Skema Sungai Gembong

Sumber : HEC-RAS 4.1.0

4.2.3.1 Analisa dengan rumus angkutan Ackers-White

Dari hasil simulasi *quasi-unsteady* dengan rumus angkutan Ackers-White, pada akhir tahun 2011 terjadi agradasi di sepanjang muara. Perubahan elevasi yang terjadi maksimal sebesar 2 m pada RS 14. Sedangkan volume angkutan sedimen kumulatifnya sebesar 34.850,2 m^3. Pada tabel 4.9 dapat dilihat pada RS 22 dan 21 awalnya mengalami degradasi, ditunjukkan dengan perubahan volume yang bernilai negatif namun pada akhirnya mengalami sedimentasi seperti penampang lainnya.

Perubahan volume kumulatif dan perubahan elevasi dasar disajikan dalam tabel 4.9, gambar 4.26 dan gambar 4.27. Hasil simulasi berupa volume yang keluar saluran, volume yang masuk saluran berikut perubahan volumenya dapat dilihat pada Lampiran 10. Hasil perubahan elevasi untuk tiap penampang sepanjang muara dapat dilihat pada Lampiran 11. Berikut gambar detail muara sungai Gembong dan titik-titik lokasi yang mengalami sedimentasi paling tinggi.

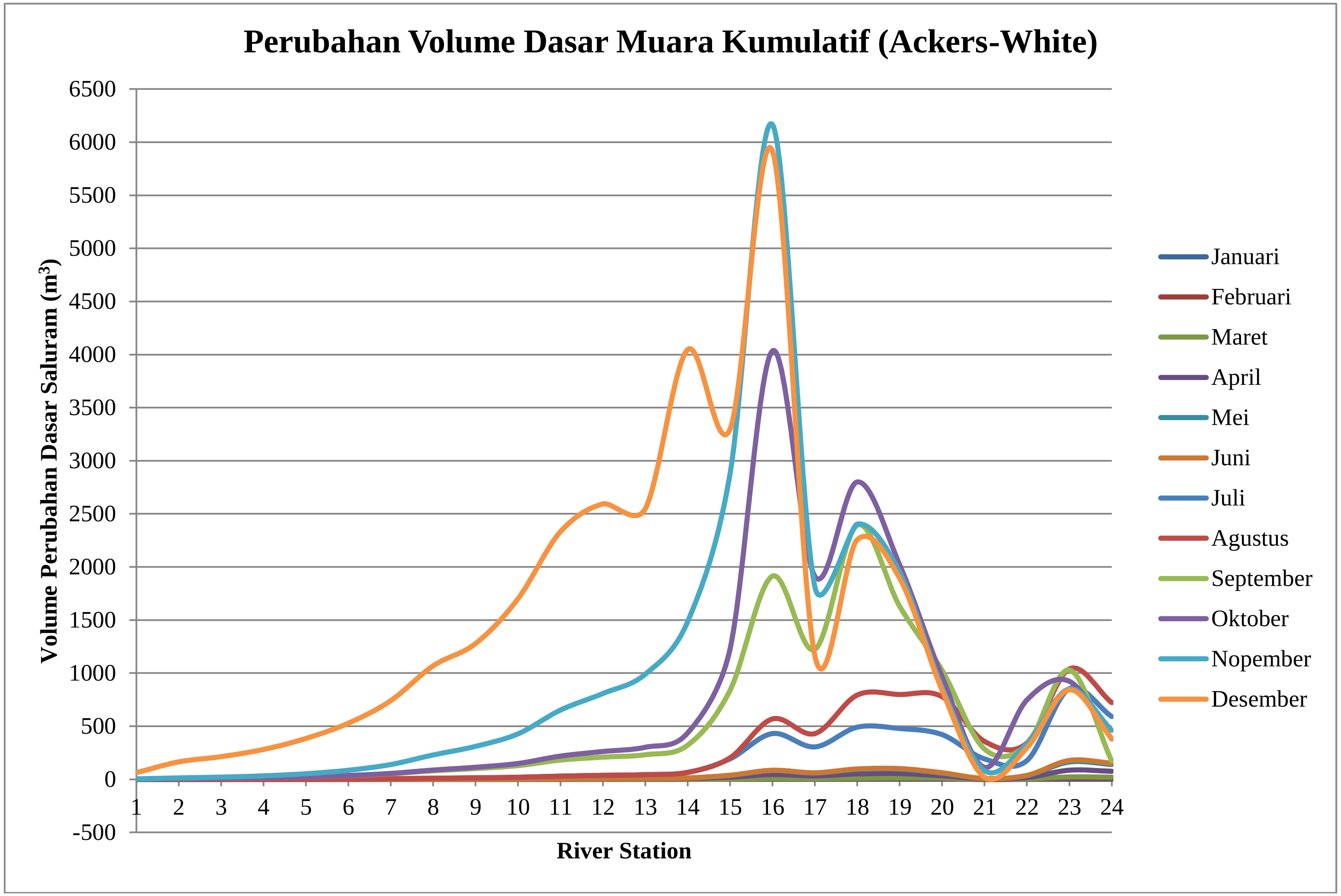
Gambar 4.25 Detail Lokasi Beberapa Bentuk Sedimentasi dengan Menggunakan Rumus Ackers-White
Sumber : HEC-RAS 4.1.0 dan Google Map

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

Tabel 4.9 *Output* HEC-RAS (Rumus Ackers-White), Perubahan Volume Dasar di Muara Sungai Gembong pada Setiap Akhir Bulan Tahun 2011 (m^3)

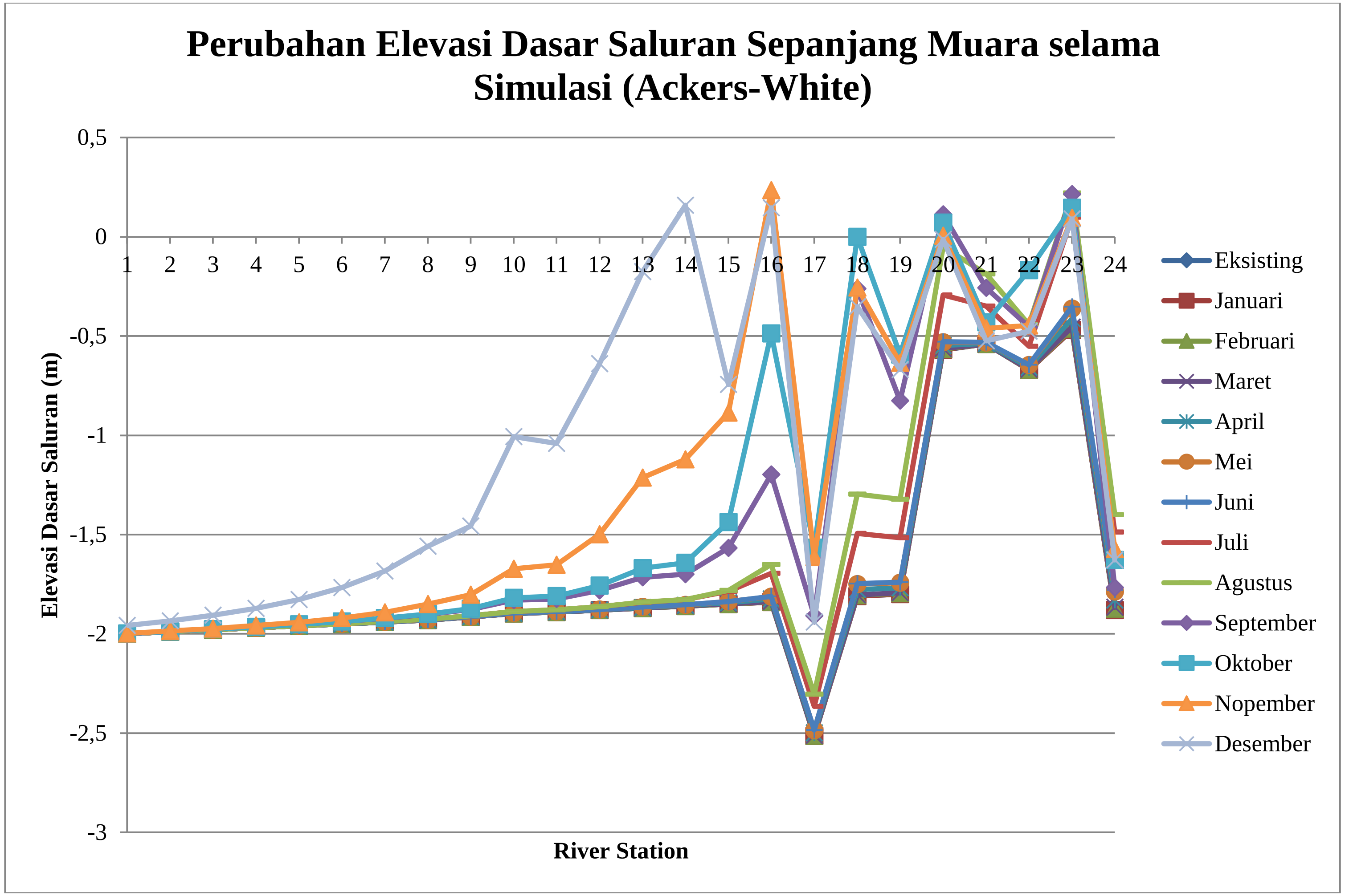
RS	31-Jan-11	28-Feb-11	31-Mar-11	30-Apr-11	31-May-11	30-Jun-11	31-Jul-11	31-Aug-11	30-Sep-11	31-Oct-11	30-Nov-11	31-Dec-11
24	0.3500403	9.926962	20.43922	75.9062	139.687	152.4347	591.2701	722.1751	172.3642	380.6036	462.4107	383.8788
23	0.2996337	10.83276	22.13765	86.05499	162.7587	177.7139	853.3551	1039.217	1029.548	923.5287	850.0811	842.3421
22	-0.2744581	1.460142	3.809517	16.26246	34.52267	37.35461	176.4208	341.5276	326.6743	747.3558	335.6682	296.4123
21	-0.6091489	-1.231428	-0.6187441	2.749305	7.296097	7.883735	192.4109	357.4008	285.2473	112.8904	80.98647	19.36269
20	0.6858218	6.291393	10.65582	33.18913	58.06774	62.1354	421.071	778.3075	1026.7	966.0308	864.2213	839.0244
19	0.4509632	7.202075	12.84939	53.99582	95.6526	101.0941	478.4594	798.8282	1629.484	2019.827	1949.805	1893.06
18	0.1811924	5.412697	9.809884	51.19308	93.15685	97.78802	491.1636	793.5924	2392.627	2800.503	2403.363	2256.779
17	0.08569647	3.247497	5.662512	32.58012	59.33203	61.63227	305.4071	430.6142	1223.182	1911.76	1812.66	1164.161
16	0.09310884	4.322735	7.269886	45.45708	82.76718	85.36877	430.9221	568.7867	1913.361	4034.218	6165.597	5917.405
15	0.01678783	1.708153	2.590024	20.72449	37.57338	38.10878	192.7579	202.4817	837.575	1225.98	2876.814	3296.895
14	0.002478987	0.4945247	0.7031621	6.814147	12.25738	12.35181	64.70793	65.73366	321.2635	436.5902	1483.871	4045.823
13	0.001213484	0.3094569	0.4301604	4.527866	8.10313	8.152132	43.57694	44.04602	231.6144	301.8929	989.4472	2546.882
12	0.000793627	0.2500054	0.3402257	3.836589	6.826077	6.859264	37.19207	37.47443	208.9626	261.8676	807.8794	2593.242
11	0.000449404	0.1861371	0.2476496	3.05368	5.396809	5.41676	30.0021	30.14873	181.3557	218.7185	651.8908	2331.294
10	0.000183452	0.1092581	0.1414914	1.946614	3.409315	3.418149	19.44702	19.5003	128.7305	149.2206	428.0608	1699.964
9	8.44196E-05	0.07174727	0.09067962	1.384778	2.402702	2.407094	14.04164	14.06358	101.3057	113.6462	310.4882	1278.618
8	3.49239E-05	0.04566487	0.05623948	0.9688541	1.662545	1.664546	9.998643	10.00659	80.0074	87.21871	229.3941	1068.891
7	9.75426E-06	0.02296165	0.02745037	0.5486799	0.9280117	0.9286534	5.780564	5.78239	52.45337	55.67155	139.2471	740.7961
6	2.70975E-06	0.01150089	0.0133979	0.3099084	0.5164036	0.5166078	3.330766	3.33119	34.31523	35.746	85.32433	528.5869
5	7.55325E-07	0.005763905	0.006566334	0.1752739	0.2876938	0.2877588	1.920555	1.920655	22.5167	23.15305	52.80049	384.9735
4	2.08601E-07	0.002854668	0.00319014	0.09803043	0.1584991	0.1585195	1.094628	1.094652	14.61475	14.89443	32.51726	281.2608
3	6.09296E-08	0.001464561	0.001610482	0.05667879	0.09030607	0.09031281	0.6444749	0.6444809	9.785141	9.912858	20.76886	213.6083
2	1.74577E-08	0.000749061	0.000812053	0.03277163	0.05144101	0.0514432	0.3794355	0.379437	6.573333	6.631312	13.34787	164.298
1	2.3569E-09	0.000186151	0.000199262	0.009255717	0.01430755	0.01430788	0.1091582	0.1091583	2.169111	2.181834	4.222025	62.63671
												34850.1946

"Halaman ini sengaja dikosongkan"



Gambar 4.26 Perubahan Volume Dasar Sepanjang Muara selama 1 Tahun Simulasi Menggunakan Rumus Ackers-White

"Halaman ini sengaja dikosongkan"



Gambar 4.27 Perubahan Dasar Saluran Sepanjang Muara berdasarkan Rumus Angkutan Ackers-White

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

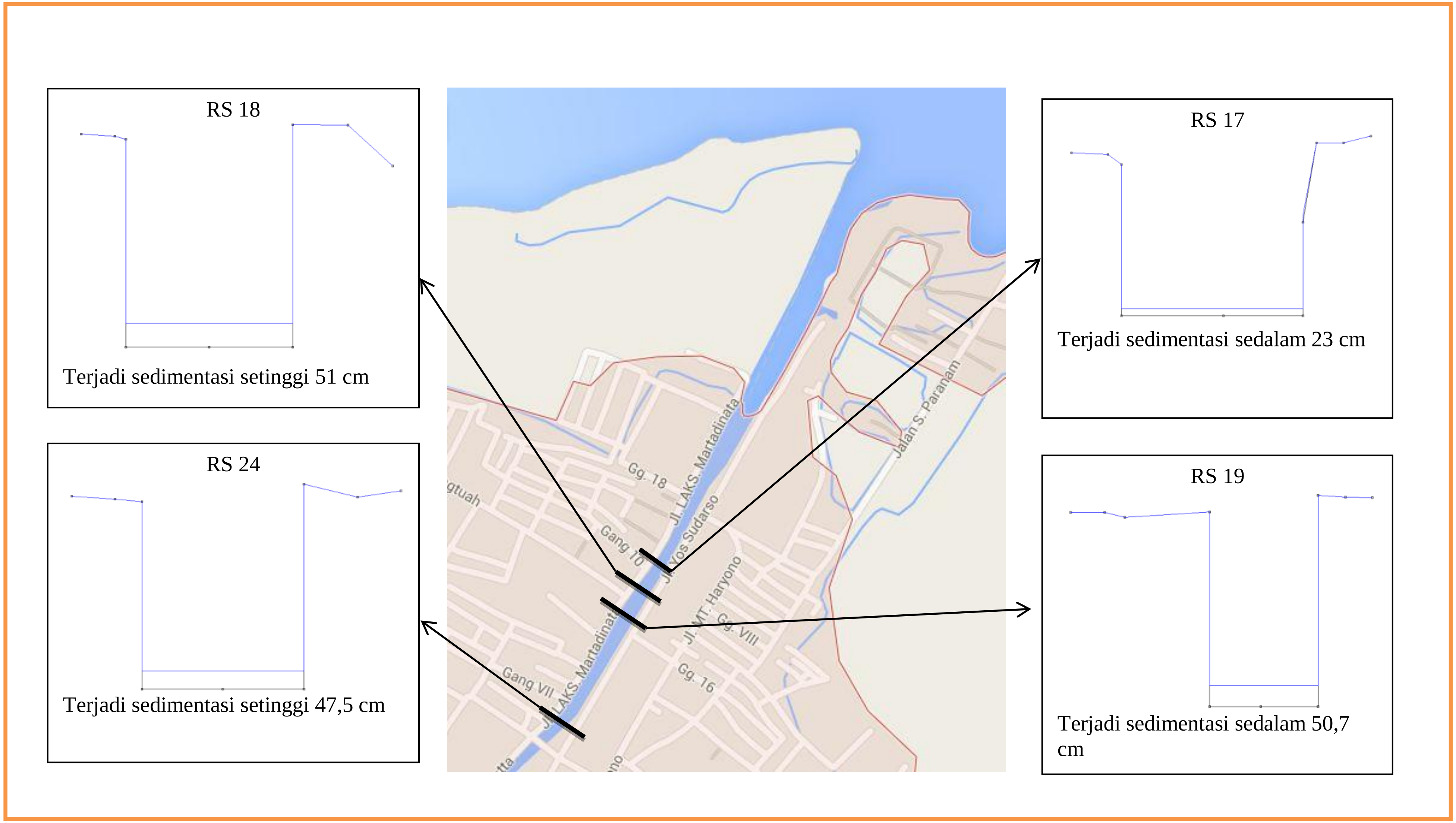
4.2.3.2 Analisa dengan rumus angkutan Laursen-Copeland

Hasil simulasi *quasi-unsteady* dengan menggunakan rumus angkutan Laursen-Copeland menunjukkan ada 2 titik, yaitu RS 22 dan 21 yang mengalami degradasi. Titik penampang melintang yang mengalami agradasi tertinggi terletak pada RS 18 setinggi 51 cm. Untuk volume angkutan sedimen kumulatifnya sebesar 5422,4 m^3. Berbeda dengan *output* yang dihasilkan dari rumus angkutan Ackers-White yang menunjukkan adanya degradasi pada RS 21 dan 22 di awal simulasi. Hasil dari rumus angkutan Laursen-Copeland dari awal simulasi selalu menunjukkan bahwa RS 21 dan 22 mengalami degradasi.

Hasil degradasi yang ditunjukkan pada RS 21 dan RS 22 disebabkan oleh adanya selisih volume sedimen yang masuk dan keluar. Kapasitas angkutan sedimen dari profil RS 22 lebih besar dari kapasitas angkutan sedimen profil RS 21 yang berada di sebelah hilirnya. Hal ini bisa dilihat dari lebar salurannya, terlihat terjadi penyempitan dari saluran dengan lebar 30 m menuju 20 m. Sehingga untuk memenuhi kelebihan kapasitas profil RS 22 tersebut, terjadi proses pengikisan sedimen dasar sungai atau degradasi. Begitu pun yang terjadi pada profil RS 21, yang sebaliknya memiliki kapasitas angkutan lebih kecil daripada profil RS 20 yang berada di hilirnya. Sehingga untuk memenuhi kapasitas angkutan yang dimiliki RS 20, terjadi pengikisan dasar sungai dari profil RS 21.

Perubahan volume kumulatif dan perubahan elevasi dasar disajikan dalam tabel 4.10, gambar 4.29 dan gambar 4.30. Hasil simulasi berupa volume yang keluar saluran, volume yang masuk saluran berikut perubahan volumenya dapat dilihat pada Lampiran 12. Hasil perubahan elevasi untuk tiap penampang sepanjang muara dapat dilihat pada

Lampiran 13. Berikut gambar detail muara sungai Gembong dan titik-titik lokasi yang mengalami sedimentasi paling tinggi.



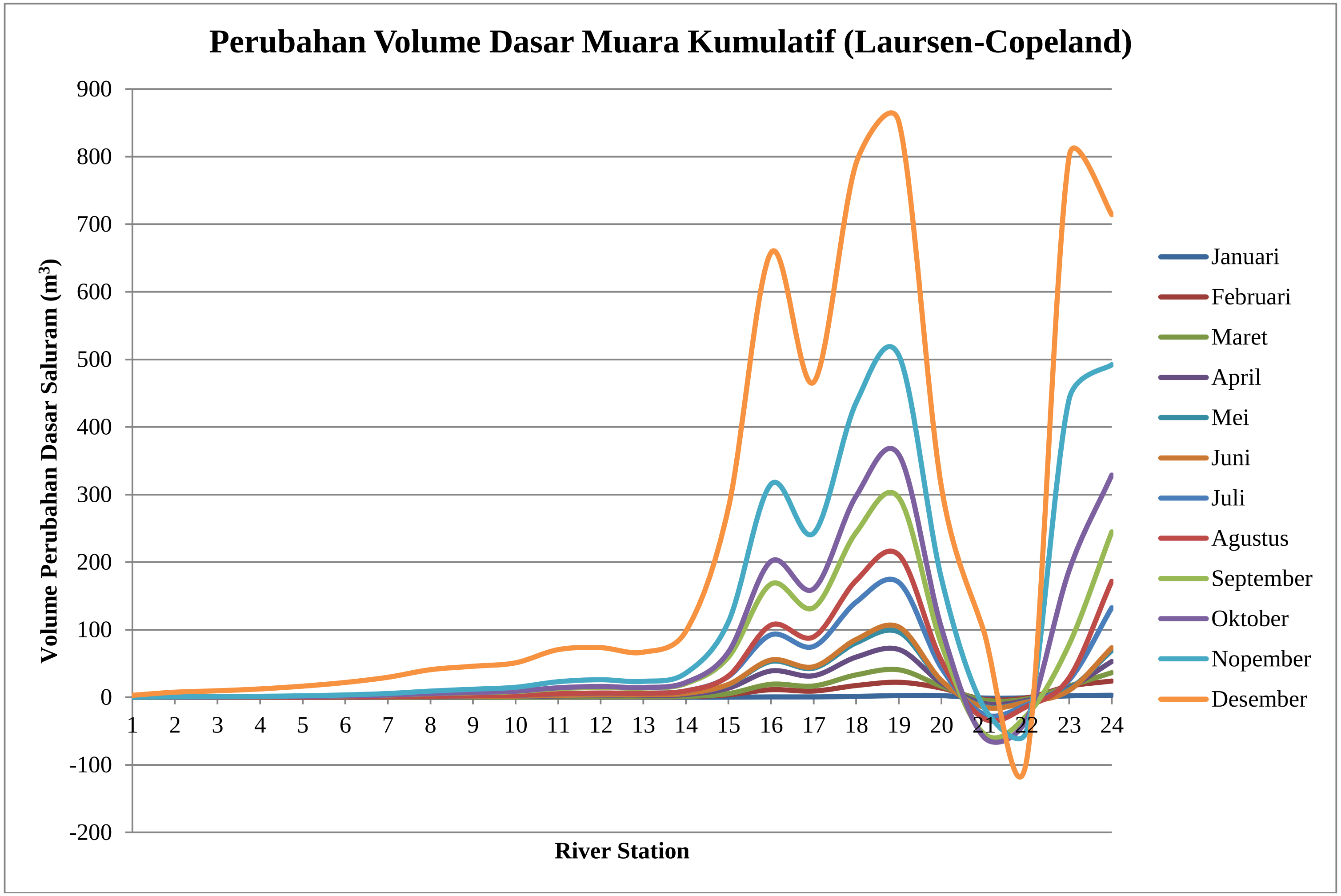
Gambar 4.28 Detail Lokasi Beberapa Bentuk Sedimen dengan Menggunakan Rumus Laursen-Copeland
Sumber : HEC-RAS 4.1.0 dan Google Map

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

Tabel 4.10 *Output* HEC-RAS (Rumus Laursen-Copeland), Perubahan Volume Dasar di Muara Sungai Gembong pada Setiap Akhir Bulan Tahun 2011 (m^3)

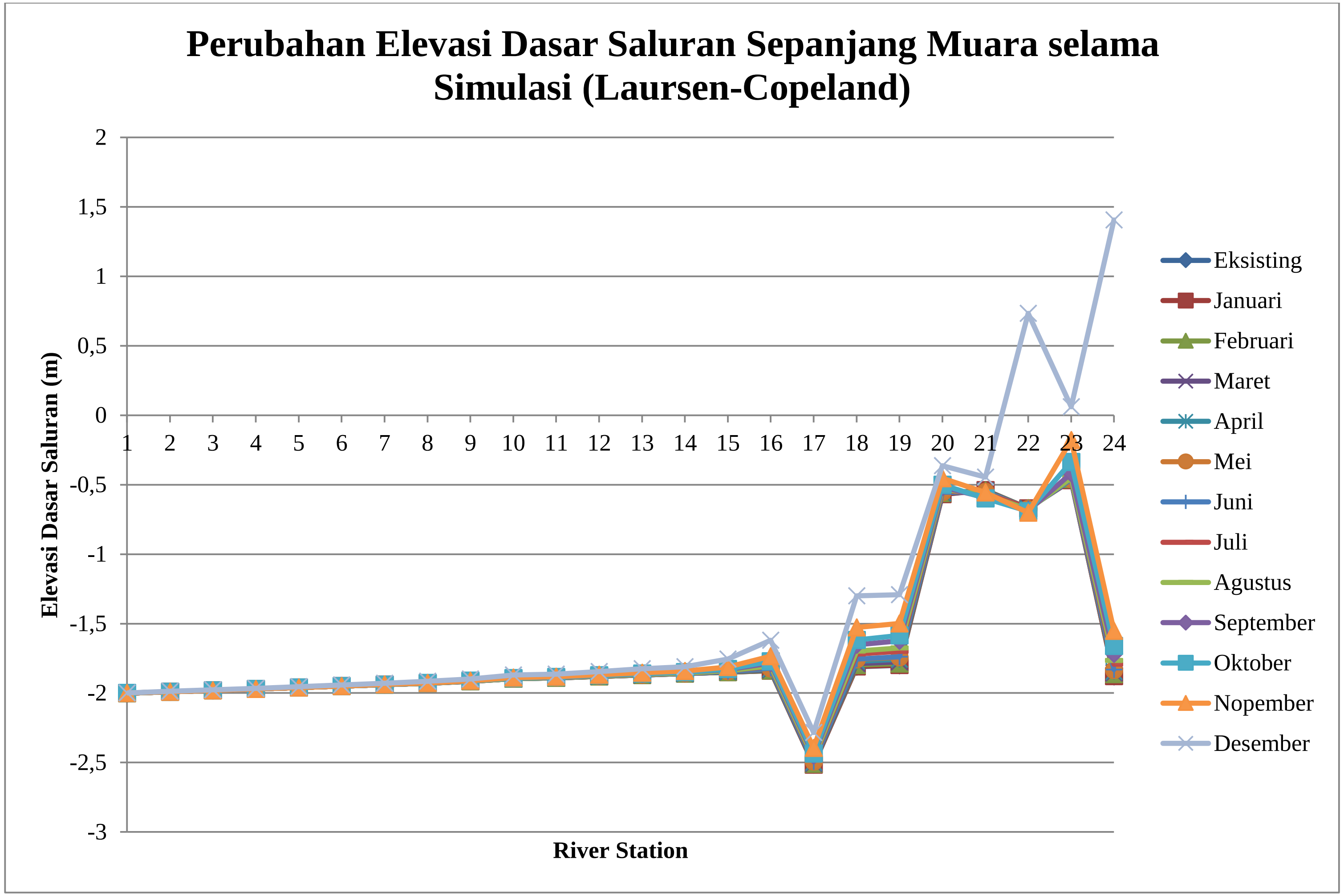
RS	31-Jan-11	28-Feb-11	31-Mar-11	30-Apr-11	31-May-11	30-Jun-11	31-Jul-11	31-Aug-11	30-Sep-11	31-Oct-11	30-Nov-11	31-Dec-11
24	2.969357	24.00178	36.37963	52.9405	69.01771	73.31735	132.4935	171.7237	244.7977	328.8517	492.1396	714.3687
23	2.137302	16.36951	16.59112	14.30366	12.24741	10.17199	25.3701	28.89583	78.23036	187.7502	441.2768	800.2149
22	-0.792862	-0.8594385	-2.593564	-4.63405	-6.680663	-7.294749	-11.18782	-13.93048	-26.92499	-32.69976	-49.78842	-93.95167
21	-1.143585	-3.04009	-4.190323	-9.228833	-13.48456	-14.51152	-25.14472	-31.73197	-53.94717	-59.18027	-15.41857	96.71581
20	2.417092	13.52477	16.36066	21.16073	24.52366	24.92141	43.57867	54.35393	78.71152	102.9813	175.8863	311.4522
19	2.496055	22.16762	40.642	70.7059	96.58202	103.9711	169.986	210.6718	295.3778	358.9773	505.9659	851.5554
18	1.285107	17.39054	33.12885	59.51113	80.55671	85.61758	140.9664	172.937	244.1311	298.0813	436.3565	790.7
17	0.5177963	9.226056	16.72516	31.8707	43.11099	45.17033	75.23099	89.36394	132.6145	160.4542	242.7002	466.1929
16	0.5137269	11.20336	19.24008	38.96408	53.03501	55.13435	92.50701	106.8326	167.6191	201.2146	315.3692	658.0441
15	0.08530971	3.666298	5.386151	13.5156	18.75198	19.09737	30.83544	31.60946	59.54079	67.06233	111.8391	280.5768
14	0.008593773	0.9997023	1.368275	4.057147	5.723964	5.784128	9.349912	9.40044	20.34931	22.00053	35.8132	97.80943
13	-0.000403926	0.5987926	0.7943524	2.56147	3.623468	3.646445	5.927123	5.87635	13.67142	14.46484	23.48071	66.74773
12	0.01291149	0.562547	0.7625564	2.442601	3.509834	3.567511	6.008535	6.287464	14.60134	16.01554	25.94366	73.39325
11	0.01028142	0.4243529	0.5697532	1.948215	2.81725	2.861352	4.936988	5.182192	12.80417	14.03824	23.01706	70.51431
10	0.002286742	0.2329345	0.2993805	1.155816	1.676277	1.692644	2.947384	3.027986	8.385464	8.984279	14.77228	51.00727
9	0.00362494	0.1664379	0.2141348	0.8539506	1.239314	1.252253	2.213635	2.274709	6.740061	7.205921	11.89562	45.91041
8	0.002500945	0.1107394	0.1399951	0.598205	0.8682133	0.8757479	1.563045	1.594207	5.225558	5.528928	9.127163	40.81211
7	0.000566603	0.05259814	0.06342941	0.3210505	0.4657434	0.4679603	0.8526738	0.8601304	3.26171	3.391655	5.551236	29.57092
6	0.000177915	0.02613592	0.030662	0.1773531	0.2565241	0.2572961	0.4785466	0.4810905	2.082086	2.142786	3.462123	21.90471
5	7.42736E-05	0.01316512	0.0151297	0.09891511	0.1424254	0.1427219	0.2712347	0.2724077	1.341276	1.371085	2.185538	16.45756
4	6.78571E-05	0.006798344	0.007758889	0.0553944	0.07929743	0.07943986	0.1539151	0.15464	0.8606282	0.8759898	1.37719	12.35317
3	5.86142E-05	0.003886549	0.004526001	0.03288934	0.04678942	0.04689631	0.0920226	0.09262002	0.5735962	0.5824529	0.9032288	9.610372
2	5.23506E-05	0.002216082	0.002617208	0.01944142	0.02744978	0.0275216	0.05473422	0.05513882	0.3830222	0.3881387	0.5935081	7.530024
1	1.16848E-05	0.000564306	0.000653905	0.005444182	0.007630643	0.007645376	0.01553516	0.01561956	0.1250416	0.1264048	0.1905477	2.911638
												5422.402044

"Halaman ini sengaja dikosongkan"



Gambar 4.29 Perubahan Volume Dasar Sepanjang Muara selama 1 Tahun Simulasi Menggunakan Rumus Laursen-Copeland

"Halaman ini sengaja dikosongkan"



Gambar 4.30 Perubahan Elevasi Dasar Sepanjang Saluran selama Simulasi Menggunakan Rumus Angkutan Laursen-Copeland

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

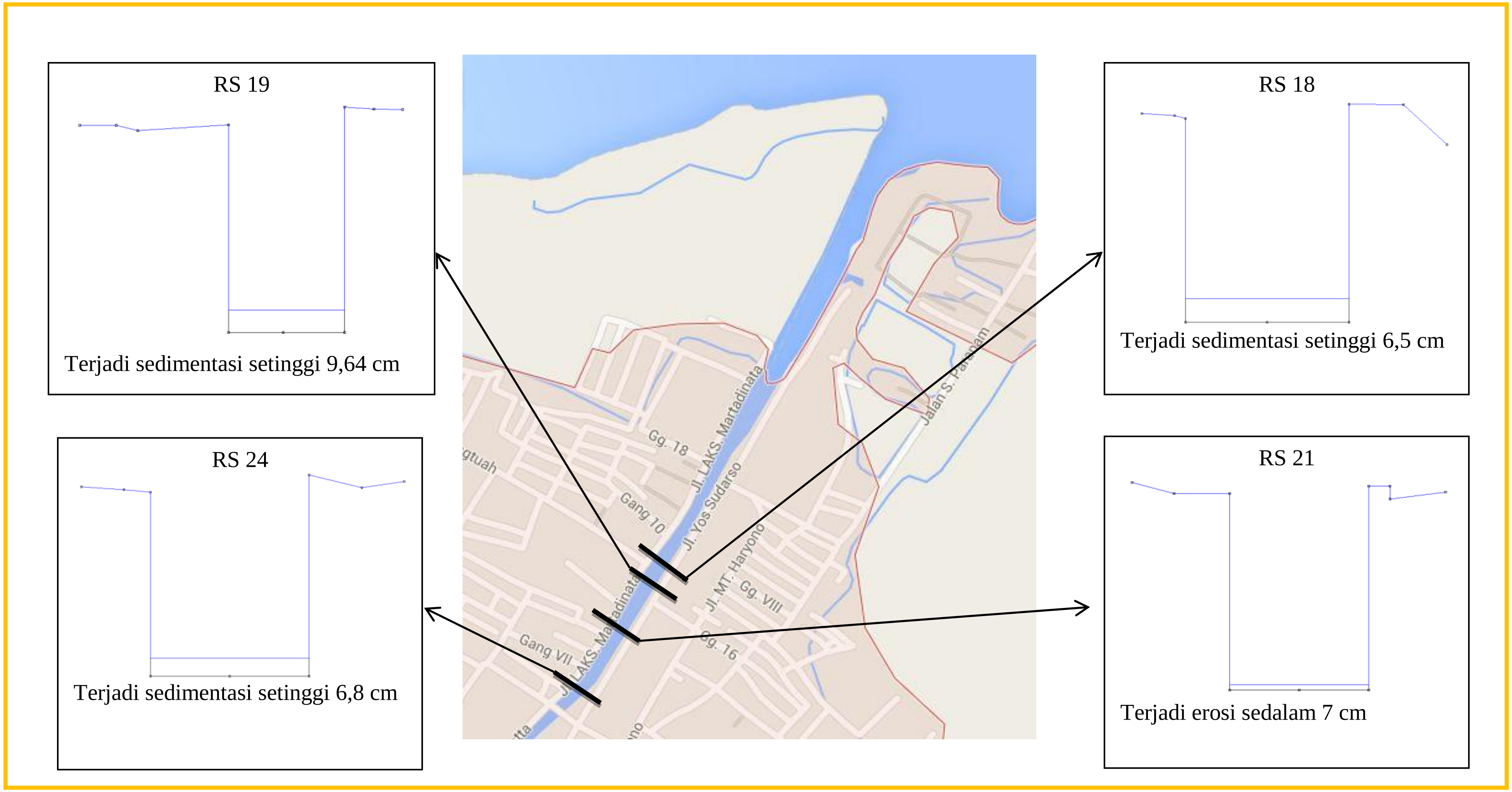
4.2.3.3 Analisa dengan rumus angkutan Yang

Hasil simulasi *quasi-unsteady* dengan menggunakan rumus angkutan Yang menunjukkan ada titik yang mengalami agradasi maupun degradasi. Hal ini ditunjukkan dengan adanya volume perubahan dasar saluran baik yang bernilai positif yang menunjukkan terjadinya agradasi, maupun yang bernilai negatif yang menunjukkan terjadinya degradasi.

Perubahan elevasi kejadian sedimentasi yang terjadi maksimal sebesar 9,64 cm pada RS 19. Sedangkan perubahan elevasi kejadian erosi adalah sebesar 7,14 cm pada RS 21. Untuk volume angkutan sedimen kumulatifnya sebesar 695,83 m^3. Pada *output* yang dihasilkan rumus angkutan menunjukkan tidak hanya 2 titik yang mengalami degradasi, sebagaimana yang ditunjukkan dua rumus angkutan lainnya. Ada beberapa titik seperti RS 14, RS 7, RS 6 dan RS 2 yang mengalami degradasi. Seperti yang terjadi pada RS 21 dan RS 22, di RS 14 juga mengalami penyempitan saluran karena lebar saluran RS 13 di hilirnya lebih kecil. Sehingga untuk memenuhi kapasitas angkutan sedimen RS 14, terjadilah degradasi.

Perubahan volume kumulatif dan perubahan elevasi dasar disajikan dalam tabel 4.11, gambar 4.32 dan gambar 4.33. Hasil simulasi berupa volume yang keluar saluran, volume yang masuk saluran berikut perubahan volumenya dapat dilihat pada Lampiran 14. Hasil perubahan elevasi untuk tiap penampang sepanjang muara dapat dilihat pada Lampiran 15. Berikut gambar detail muara sungai Gembong dan titik-titik lokasi yang mengalami sedimentasi paling tinggi.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"



Gambar 4.31 Detail Lokasi Beberapa Bentuk Sedimentasi dengan Menggunakan Rumus Yang

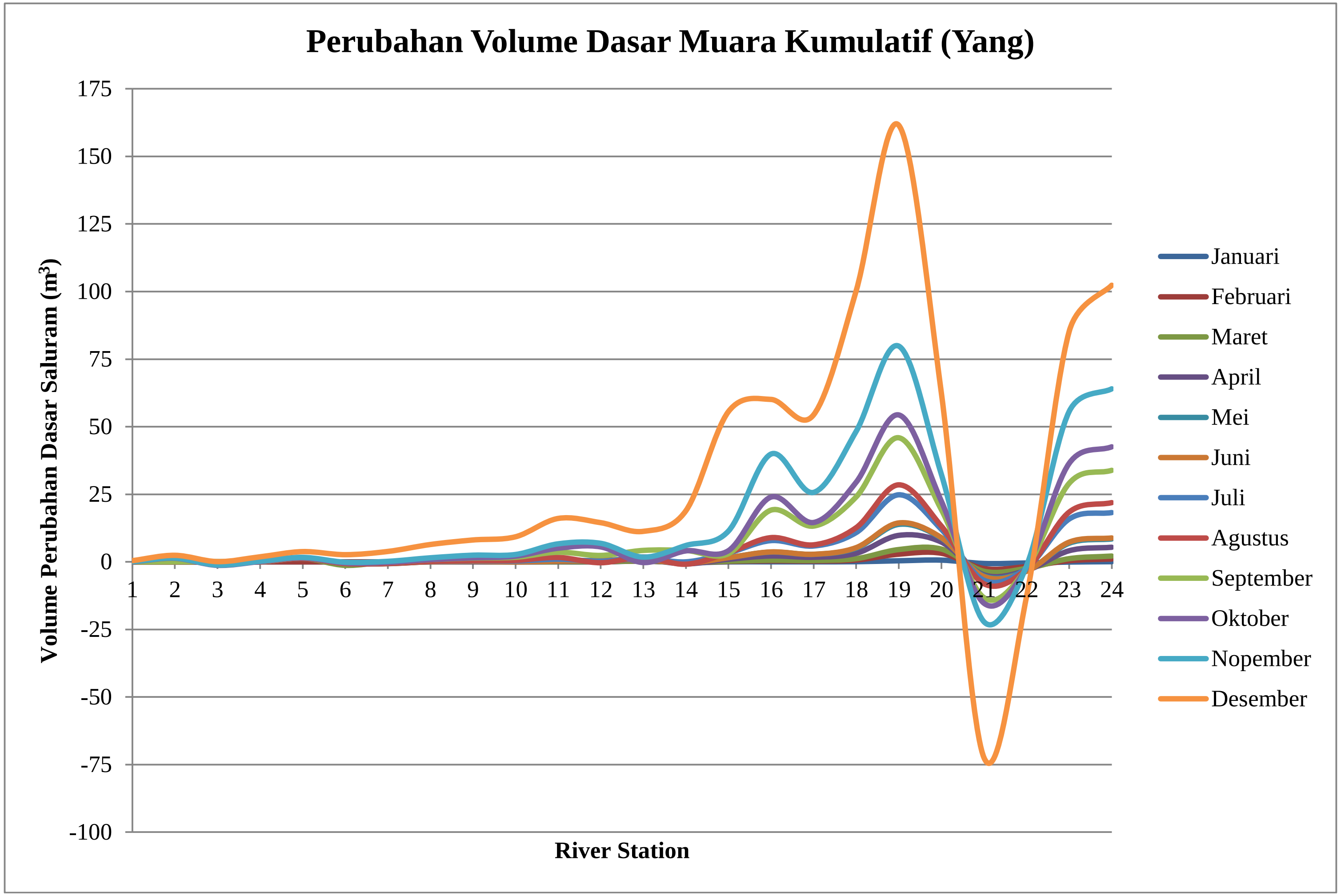
Sumber : HEC-RAS 4.1.0 dan Google Map

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

Tabel 4.11 *Output* HEC-RAS (Rumus Yang), Perubahan Volume Dasar di Muara Sungai Gembong pada Setiap Akhir Bulan Tahun 2011 (m^3)

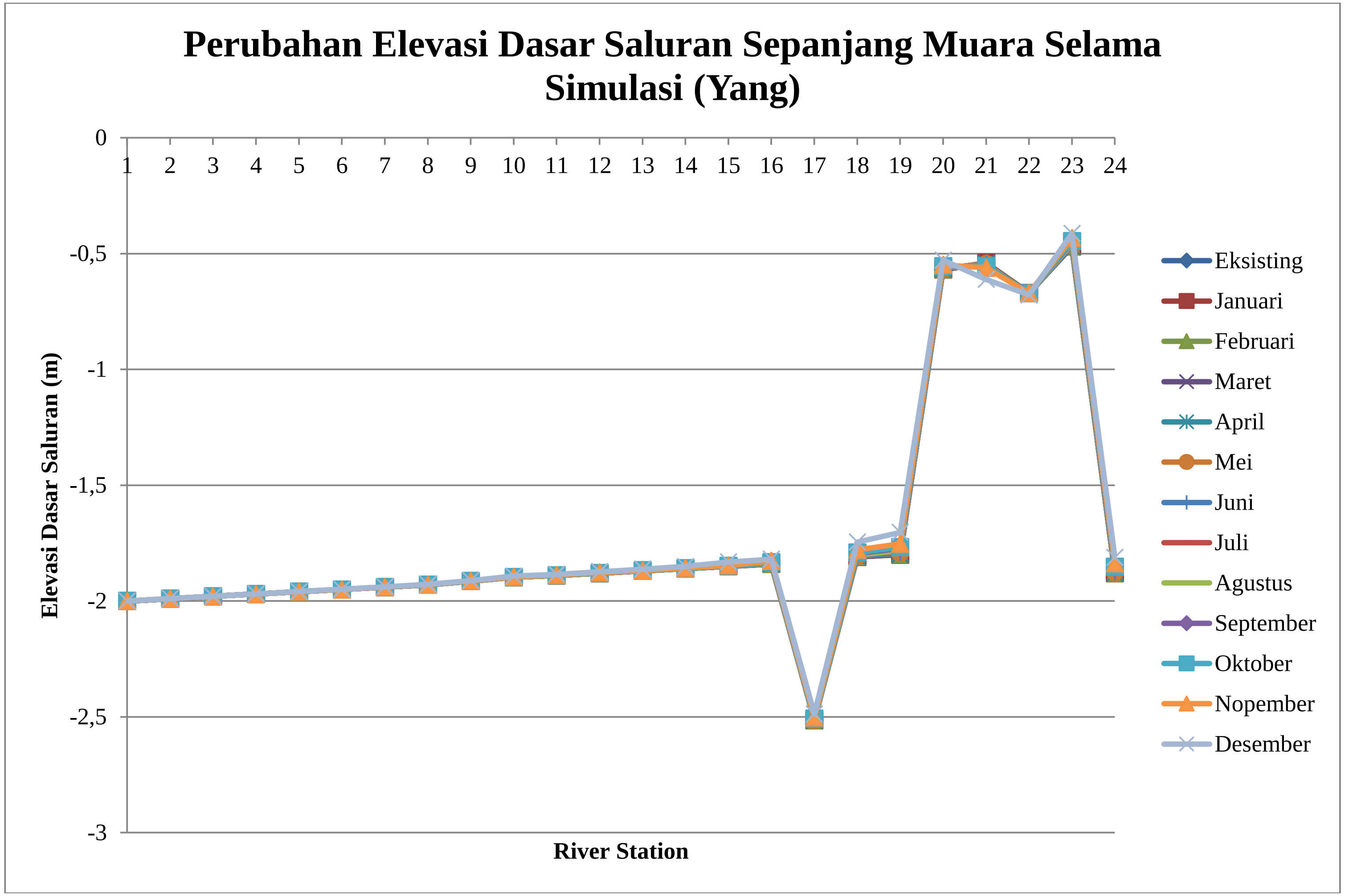
RS	31-Jan-11	28-Feb-11	31-Mar-11	30-Apr-11	31-May-11	30-Jun-11	31-Jul-11	31-Aug-11	30-Sep-11	31-Oct-11	30-Nov-11	31-Dec-11
24	0.07909929	1.076786	2.102597	5.425824	8.432144	8.86805	18.22186	21.91774	33.84917	42.59557	63.9778	102.3084
23	-0.05678767	0.4354987	1.147052	4.131562	6.843983	7.320655	15.82779	18.40973	29.03074	36.45173	55.55994	85.14424
22	-0.4086662	-1.765147	-2.452574	-3.175999	-3.313637	-3.456417	-2.336694	-2.724515	-2.406205	-2.153725	-1.525141	-12.89694
21	-0.5933686	-2.507617	-3.487624	-4.820014	-5.230853	-5.403584	-6.775329	-8.090788	-13.2134	-15.24875	-22.17875	-72.40668
20	0.6722891	3.221632	4.68527	7.349626	8.744516	8.985944	12.0438	13.23899	19.33867	22.47445	32.34926	62.43003
19	0.4268659	2.872571	4.508497	9.836321	13.83493	14.43245	24.80565	28.50387	45.88715	54.39346	79.78719	161.4773
18	0.07849873	0.6850915	1.149528	3.18536	5.019612	5.30348	10.83987	12.6767	24.03518	29.50603	48.26775	100.2713
17	0.02908004	0.2999575	0.484193	1.719887	2.742871	2.840278	5.87787	6.30684	13.25503	14.60781	25.67149	54.383
16	0.02954455	0.3693758	0.570611	2.193791	3.573372	3.706945	7.87511	8.973893	19.14565	24.01406	39.84328	60.06853
15	0.003188931	0.1346326	0.2070985	0.9619423	1.557038	1.578936	3.313893	3.408455	3.047739	4.181229	11.36242	55.57681
14	-0.3054508	-0.2706955	-0.2571163	-0.7299501	-0.5369805	-0.5331919	0.02284006	-0.8492059	4.225702	4.106461	6.027994	18.87832
13	0.3085201	0.2904685	0.2978361	0.8320029	0.9518949	0.9529242	1.341511	1.803039	4.254514	-0.2115356	1.735507	11.27098
12	0.001124775	0.04981538	0.05746826	0.4219964	0.5360709	0.53639	0.2787785	-0.3105403	2.393593	5.575241	6.825875	14.48276
11	-0.001346516	0.0261701	0.03158368	0.2531589	0.3373405	0.3356913	0.988245	1.650344	3.581865	5.088714	6.640454	16.04278
10	-0.01645161	-0.01205689	-0.009918104	0.09528328	0.02289385	0.02665236	0.3374884	0.5727121	1.723223	2.149184	2.688256	9.266936
9	0.009547976	0.02061468	0.02221179	0.09061809	0.2535062	0.2549368	0.4405344	0.5363074	1.390069	1.536322	2.438584	8.082273
8	0.003024156	0.009764837	0.01057141	0.02946721	0.05777131	0.0583965	0.1703114	0.2039727	0.8468746	0.8906045	1.471774	6.405667
7	0.00499952	0.007417715	-0.0048898	-0.6462794	-0.6331738	-0.6329214	-0.5760729	-0.5688426	-0.1580787	-0.1479721	0.166964	3.836983
6	0.000437073	0.00151676	-1.30869	-0.6101803	-0.6042361	-0.6156861	-0.5893787	-0.5878233	-0.318355	-0.3147368	-0.1385577	2.649722
5	4.78778E-05	0.000550413	1.314388	1.311154	1.314401	1.321266	1.34294	1.343282	1.521374	1.522919	1.630711	3.779837
4	2.19695E-05	0.000261648	0.005415364	0.01611619	0.01946499	0.02143533	0.03181106	0.0318869	0.1488688	0.1495599	0.2148113	1.857689
3	9.14817E-05	0.000217914	0.001055189	0.007985927	0.01012198	0.01167661	0.01815179	0.01817781	0.09731486	-1.244036	-1.201661	0.0824156
2	3.6539E-05	-0.03934023	-0.03637139	-0.0339334	-0.03330795	-0.03254564	-0.02896821	-0.02895566	0.02467441	1.363548	1.390178	2.410466
1	4.35907E-06	0.004111439	0.004204791	0.004645196	0.004900589	0.00495082	0.005971605	0.005972456	0.02378576	0.02460867	0.03282202	0.4312713
												695.8340899

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



Gambar 4.32 Perubahan Volume Dasar Sepanjang Muara selama 1 Tahun Simulasi Menggunakan Rumus Yang

"Halaman ini sengaja dikosongkan"



Gambar 4.33 Perubahan Elevasi Dasar Sepanjang Saluran Selama Simulasi Menggunakan Rumus Angkutan Yang

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

4.2.4 Analisa dan perbandingan hasil simulasi *Quasi-Unsteady*

Dari simulasi yang telah dilakukan dengan menggunakan 3 rumusan angkutan yang berbeda, hasil simulasi kemudian dapat dianalisa. Terlihat bahwa ketiga rumusan angkutan tersebut menunjukkan nilai yang berbeda walaupun letak kejadian agradasi atau degradasi bisa jadi sama. Hal ini disebabkan adanya perbedaan konsep yang digunakan dalam setiap rumusan angkutan tersebut.

Pada titik RS 21 dan 22 mengalami degradasi pada rumus angkutan Laursen-Copeland dan Yang selama simulasi, dan hanya pada awal simulasi pada hasil simulasi dengan rumus angkutan Ackers-White. Perbandingan hasil simulasi ketiga rumus angkutan dalam total volume *bed change* kumulatif dan perubahan dasar saluran ditampilkan pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Perbandingan Hasil Simulasi *Quasi-Unsteady* pada Muara Sungai Gembong

Rumusan Angkutan	**Total Volume *Bed Change* Kumulatif (m^3)**	**Perubahan Dasar Saluran Maksimum (cm)**	**Perubahan Dasar Saluran Minimum (cm)**
Ackers-White	34850,2	201	-
Laursen-Copeland	5422,4	51	-
Yang	695,83	9,64	-7,14

Dari hasil perbandingan tersebut, dapat diketahui bahwa rumus angkutan Ackers-White menghasilkan *output* angkutan sedimen terbesar. Hal ini dapat dilihat dari total volume *bed change* kumulatif maupun perubahan dasar saluran yang terjadi. Perubahan dasar saluran mencapai sekitar 2 m. Sementara berdasarkan pengamatan di lapangan, sedimentasi

yang terjadi sekitar 1-2 m akibat dari hasil sedimentasi selama bertahun-tahun.

4.3 Perencanaan Pengerukan Muara

Dari simulasi *quasi-unsteady flow* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan adanya titik-titik lokasi di kolam pelabuhan yang mengalami pengendapan. Sehingga untuk kelancaran kegiatan bongkar muat yang dilakukan di area pelabuhan yang berlokasi di muara sungai tersebut, maka perlu direncanakan pengerukan secara berkala. Selain mengetahui volume kumulatif yang mengendap di muara, simulasi yang telah dilakukan dengan HEC-RAS juga menghasilkan *output* berupa perubahan elevasi dasar saluran. Data tersebut dapat digunakan untuk melakukan perencanaan pengerukan sedimen kolam pelabuhan, berupa kedalaman sedimen yang dikeruk.

Untuk keperluan perencanaan pengerukan ini, akan dilakukan simulasi selama lima tahun untuk mengetahui dampak sedimentasi yang menumpuk dalam jangka panjang. Simulasi akan dilakukan dengan nilai Manning n = 0.03 dan menggunakan tiga rumus angkutan seperti sebelumnya, yaitu Ackers-White, Laursen-Copeland dan Yang. Data yang digunakan adalah data debit dan tinggi pasang surut pada tahun 2010, 2011, 2012, 2013 dan 2014. Hasil simulasi ditampilkan dalam tabel yang menyajikan volume perubahan dasar saluran kumulatif dan penyajian titik lokasi yang mengalami perubahan dasar saluran.

Simulasi *quasi-unsteady flow* selama 5 tahun ini menunjukkan hasil yang konsisten dengan simulasi tahunan. Kecenderungan yang terjadi adalah agradasi, dan hanya 2 *river station* yang mengalami degradasi, yaitu RS 22 dan RS 21. Kejadian degradasi dapat dilihat pada hasil simulasi rumus angkutan Laursen-Copeland dan Yang. Sedangkan hasil simulasi rumus angkutan Ackers-White tidak menunjukkan adanya degradasi. Perubahan volume dasar saluran ketiga hasil simulasi dapat dilihat di tabel 4.16, 4.17 dan 4.18. Hasil simulasi berupa volume yang keluar saluran, volume yang masuk saluran berikut

perubahan volumenya dapat dilihat pada Lampiran 16, 17 dan 18. Sedangkan hasil perubahan elevasi selama simulasi dapat dilihat pada tabel 4.13, 4.14 dan 4.15. Hasil tersebut dapat dijadikan referensi dalam perencanaan pengerukan.

Tabel 4.13 Perubahan Elevasi Dasar Saluran di Muara setelah Simulasi 5 Tahun (Rumus Angkutan Ackers-White)

RS	Elevasi		Perubahan Elevasi (m)
	1 Januari 2010	31 Desember 2014	
24	-1.88	2.3013	4.1813
23	-0.47	2.7763	3.2463
22	-0.67	2.3355	3.0055
21	-0.5401	0.5127	1.0528
20	-0.57	2.3727	2.9427
19	-1.8001	2.3744	4.1745
18	-1.8099	0.3637	2.1736
17	-2.5149	-1.3104	1.2045
16	-1.8401	0.8952	2.7353
15	-1.8501	0.5466	2.3967
14	-1.8599	0.8799	2.7398
13	-1.8699	-0.6002	1.2697
12	-1.88	0.7912	2.6712
11	-1.8901	-0.1303	1.7598
10	-1.8971	0.351	2.2481
9	-1.9141	-0.0307	1.8834
8	-1.93	0.437	2.367
7	-1.9401	-0.5432	1.3969
6	-1.9501	0.6068	2.5569

5	-1.9599	-0.8116	1.1483
4	-1.9699	0.4572	2.4271
3	-1.98	-1.7211	0.2589
2	-1.99	0.5364	2.5264
1	-2.0001	-1.6322	0.3679

Tabel 4.14 Perubahan Elevasi Dasar Saluran di Muara setelah Simulasi 5 Tahun (Rumus Angkutan Laursen-Copeland)

RS	Elevasi		Perubahan Elevasi (m)
	1 Januari 2010	31 Desember 2014	
24	-1.88	-0.286	1.594
23	-0.47	1.3292	1.7992
22	-0.67	1.4244	2.0944
21	-0.5401	0.0195	0.5596
20	-0.57	1.4444	2.0144
19	-1.8001	0.1104	1.9105
18	-1.8099	-0.6805	1.1294
17	-2.5149	0.4584	2.9733
16	-1.8401	-0.0807	1.7594
15	-1.8501	0.3983	2.2484
14	-1.8599	-0.4029	1.457
13	-1.8699	-0.5784	1.2915
12	-1.88	-0.2968	1.5832
11	-1.8901	-0.0367	1.8534
10	-1.8971	-0.5356	1.3615
9	-1.9141	0.3075	2.2216
8	-1.93	-0.0222	1.9078

7	-1.9401	0.0764	2.0165
6	-1.9501	0.2199	2.17
5	-1.9599	-0.0476	1.9123
4	-1.9699	-0.0467	1.9232
3	-1.98	-0.23	1.75
2	-1.99	-0.0394	1.9506
1	-2.0001	-0.6248	1.3753

Tabel 4.15 Perubahan Elevasi Dasar Saluran di Muara setelah Simulasi 5 Tahun (Rumus Angkutan Yang)

RS	Elevasi		Perubahan Elevasi (m)
	1 Januari 2010	31 Desember 2014	
24	-1.88	-0.2422	1.6378
23	-0.47	0.7651	1.2351
22	-0.67	0.5935	1.2635
21	-0.5401	-0.5162	0.0239
20	-0.57	0.5276	1.0976
19	-1.8001	0.0274	1.8275
18	-1.8099	-0.6865	1.1234
17	-2.5149	-1.637	0.8779
16	-1.8401	0.0412	1.8813
15	-1.8501	-0.5295	1.3206
14	-1.8599	-0.4891	1.3708
13	-1.8699	-0.751	1.1189
12	-1.88	-0.8598	1.0202
11	-1.8901	-1.145	0.7451
10	-1.8971	-0.9787	0.9184

9	-1.9141	-1.3787	0.5354
8	-1.93	-1.2077	0.7223
7	-1.9401	-1.4886	0.4515
6	-1.9501	-1.5997	0.3504
5	-1.9599	-1.6756	0.2843
4	-1.9699	-1.7403	0.2296
3	-1.98	-1.8014	0.1786
2	-1.99	-1.8321	0.1579
1	-2.0001	-1.9538	0.0463

Dari simulasi yang dilakukan selama 5 tahun tanpa ada solusi pengendalian atau pemeliharaan kedalaman alur, terlihat bahwa tinggi sedimen bisa mencapai 2-3 m. Dari hasil ketiga simulasi dapat disimpulkan bahwa sedimentasi akan menjadi permasalahan yang serius bagi alur pelayaran sebuah pelabuhan. Terlebih jika tidak ada solusi pengendalian yang dilakukan untuk menanggulangi atau mengurangi pengaruh sedimentasi yang terjadi. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengerukan secara berkala sebagai solusi sementara. Sedangkan untuk jangka panjang dan untuk pengembangan pelabuhan, perlu direncanakan struktur yang dapat mengendalikan laju sedimen yang terjadi.

Tabel 4.16 *Output* HEC-RAS dengan Rumus Ackers-White, dalam Penyajian Volume Perubahan Dasar Saluran Muara dalam Simulasi 5 Tahun

RS	30-Jun-10	31-Dec-10	30-Jun-11	31-Dec-11	30-Jun-12	31-Dec-12	30-Jun-13	31-Dec-13	30-Jun-14	31-Dec-14
24	31.67725	162.4807	27.30054	146.8641	92.21578	183.7809	136.2493	89.2774	76.20861	145.8867
23	1104.456	1249.125	1564.924	1576.901	1410.935	1471.979	1603.092	1854.625	1519.692	1572.972
22	644.1207	983.6317	-108.4264	-58.43009	-137.8033	-116.8252	221.3061	57.78876	-56.95928	104.0899
21	1120.02	1401.317	1591.656	1531.863	1404.268	1409.619	1075.577	1149.483	1086.578	1189.154
20	881.386	834.0064	908.2947	972.3963	738.6507	764.158	378.4963	417.2383	331.6844	341.8178
19	534.3635	163.5126	282.5751	378.6044	169.6541	259.3534	311.0357	336.1894	388.702	558.3607
18	2927.497	3246.771	3268.655	3304.109	3263.773	3284.628	3268.278	3274.976	3267.257	3286.345
17	2055.787	1485.808	1493.548	1774.693	1588.128	1726.053	2039.473	1919.83	2472.663	2629.521
16	6833.09	7215.263	7403.595	7437.996	7086.106	7201.158	6723.822	6672.549	6561.592	6752.921
15	6740.195	7403.6	7125.628	6982.843	6755.222	6795.529	6511.052	6468.526	6465.184	6632.056
14	3962.235	5116.812	5275.561	5230.902	5153.419	5074.136	5289.73	5110.31	5083.442	5309.224
13	2640.938	2220.159	1903.074	1619.505	1503.854	1472.681	1090.204	1067.332	1009.609	1057.745
12	3826.243	5206.667	5403.36	5298.264	5267.737	5136.991	5260.183	5161.429	5152.88	5158.167
11	5812.723	5381.183	5031.744	4426.613	4218.354	3974.376	3415.927	3413.836	3392.017	3383.614
10	3637.52	4042.278	4163.357	3886.539	3868.327	3603.276	3353.448	3254.51	2855.821	2835.753
9	5022.61	5845.649	5695.679	5019.665	5106.131	4728.551	4745.397	4558.057	4339.424	4173.57
8	6464.088	6796.415	6870.568	6709.846	6877.554	6710.05	6900.132	6820.735	6935.075	6901.904
7	4393.685	4031.791	4060.778	4009.126	4028.369	3988.818	3948.684	3981.778	3933.223	3950.984
6	3601.171	7426.638	7438.512	7419.526	7508.353	7439.451	7552.017	7527.847	7565.952	7512.918
5	2784.79	3455.725	3454.45	3458.562	3464.042	3443.034	3368.57	3283.809	3270.642	3295.602
4	2193.028	7383.606	7382.303	7267.861	7259.222	7255.258	7245.194	7242.873	7234.502	6882.777
3	1812.801	3174.337	1653.483	943.6683	926.1709	873.2461	813.1404	800.7464	755.8939	844.4291
2	1519.237	7561.039	7922.598	7599.108	8103.71	7628.832	8531.066	8422.121	9647.541	10382.19
1	630.5619	911.9878	951.7787	933.6579	931.9188	890.4637	903.1137	884.995	914.2544	916.5952
										85818.5964

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

Tabel 4.17 *Output* HEC-RAS dengan Rumus Laursen-Copeland, dalam Penyajian Volume Perubahan Dasar Saluran Muara dalam Simulasi 5 Tahun

RS	30-Jun-10	31-Dec-10	30-Jun-11	31-Dec-11	30-Jun-12	31-Dec-12	30-Jun-13	31-Dec-13	30-Jun-14	31-Dec-14
24	244.3976	180.2483	501.8113	1049.796	1603.312	1896.015	1873.906	2006.214	2182.712	2392.473
23	402.5194	783.8474	1108.379	759.3472	879.9601	734.9389	645.3713	746.2524	678.4406	665.8932
22	-235.56	-347.4181	-378.5432	-76.57013	148.1111	372.9706	-543.9175	-681.7418	-378.5075	-347.9416
21	-625.4206	-422.277	545.0337	-34.26563	288.772	80.60294	174.3228	574.892	608.2832	563.5582
20	143.7215	100.736	811.0939	771.6245	839.264	796.3614	-75.66636	-166.6829	-55.93013	-36.28945
19	853.8154	1130.351	1780.003	1664.997	1731.659	1666.476	1435.172	2279.323	2739.357	3191.775
18	809.1294	1646.765	2491.033	2507.713	2405.716	2422.401	2077.016	2280.418	1759.539	1687.825
17	475.4433	1149.649	1437.171	2361.476	2647.557	2480.738	3257.243	4278.96	4858.566	5937.237
16	741.1099	2011.391	2532.762	6066.194	5599.51	6004.835	5592.313	5680.057	6059.313	5051.214
15	414.9481	1191.483	1337.282	2937.722	5131.408	5124.847	4754.618	4476.422	5418.331	6674.777
14	139.5306	485.6577	532.6633	1750.169	3681.482	3821.312	3950.353	4158.137	3750.039	2843.742
13	112.4848	369.4915	400.6285	1228.188	2248.944	2131.578	1949.768	1820.437	2089.962	1926.365
12	115.8579	422.1317	449.2019	1159.059	3256.547	3780.423	3942.451	4133.25	3363.765	3133.628
11	145.5252	478.5329	500.2739	1113.034	3187.494	3688.095	4326.577	4774.806	5003.406	5285.286
10	98.35125	373.4258	387.021	829.3167	2531.725	3065.598	3047.215	3077.121	2879.078	2579.303
9	114.9303	386.2749	395.9137	745.0092	2059.092	2440.749	4639.394	5055.096	5820.828	6202.089
8	127.6515	404.9087	411.7762	708.41	1943.231	2358.171	5660.867	5791.152	5543.815	5437.693
7	101.9616	332.2007	335.9641	545.1144	1404.156	1683.239	4194.38	5030.237	5653.689	5752.089
6	84.36735	274.6469	276.7354	428.0777	1048.68	1246.821	4091.807	5312.931	6029.151	6187.396
5	71.7201	230.88	232.0472	343.3365	796.5436	937.2489	3241.076	4145.502	5562.133	5459.616
4	62.08873	191.9945	192.6486	274.778	606.1755	705.6512	2618.177	3364.739	5484.944	5417.333
3	56.57196	168.1824	168.5675	231.7793	484.0462	556.9704	2187.052	2755.78	5233.606	5284.022
2	51.13007	147.9261	148.1062	196.5267	388.6808	442.0073	1855.652	2300.186	5340.249	5918.326
1	22.7039	63.20491	63.24545	81.45654	152.9689	171.935	754.4914	909.0416	1950.764	2446.48
										89653.88935

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

Tabel 4.18 *Output* HEC-RAS dengan Rumus Yang, dalam Penyajian Volume Perubahan Dasar Saluran Muara dalam Simulasi 5 Tahun

RS	30-Jun-10	31-Dec-10	30-Jun-11	31-Dec-11	30-Jun-12	31-Dec-12	30-Jun-13	31-Dec-13	30-Jun-14	31-Dec-14
24	90.57814	229.0135	274.1721	738.6396	1007.623	1091.348	1607.656	1796.546	2233.382	2457.871
23	36.45966	77.55013	121.8534	725.7825	327.7698	367.5714	271.7231	360.9289	241.4275	259.6424
22	-209.5276	-301.0582	-286.077	-165.763	-268.5663	-260.4606	-50.33373	50.16076	141.2149	194.2992
21	-137.7631	-405.0844	-399.1227	-153.7725	-257.2397	-218.7338	-195.1246	-115.5301	-48.41093	24.5683
20	27.96369	43.60371	64.84364	409.3521	237.5579	258.9541	234.7422	318.0027	379.908	427.0791
19	251.9634	524.6638	546.4684	887.3617	1144.924	1179.055	1119.104	1159.01	1196.847	1130.677
18	264.412	682.4032	706.4671	1120.111	2195.106	2248.547	1815.073	1882.387	1799.938	1736.64
17	107.0146	284.2576	296.3628	523.8734	1276.03	1363.853	1533.724	1704.29	1610.047	1746.177
16	125.9716	365.0023	382.9848	743.3692	2195.143	2364.142	4665.134	5043.301	5529.773	5589.98
15	73.45627	214.8991	222.0065	396.9304	1198.672	1284.006	2297.941	2499.327	3372.179	3922.613
14	27.66287	45.57684	45.72259	43.03283	391.0669	428.065	873.4227	1002.078	2366.034	2743.537
13	17.50088	80.06853	82.12579	180.9472	448.4438	476.1078	849.8351	931.1115	1376.014	1678.548
12	31.22297	101.3798	102.0735	176.203	438.4527	466.583	930.2442	1019.113	1752.82	2124.943
11	34.44606	107.1054	109.8174	170.7957	413.3957	439.678	869.9097	955.0361	1702.644	2041.949
10	24.27934	78.38	78.84774	119.5535	314.94	334.8879	748.8517	817.6345	1442.83	1749.893
9	26.63484	82.85071	83.64371	116.3393	285.3421	302.0659	685.7833	65.4475	576.7769	803.5198
8	26.56633	83.95703	84.42089	113.1538	262.465	276.9965	711.8213	1242.007	1818.288	2078.576
7	20.26261	66.89972	67.10115	87.84117	197.9308	208.3082	531.2394	708.5881	1123.849	1300.634
6	17.06786	57.01567	57.11704	71.09237	152.8409	160.2817	471.5802	543.1318	867.7568	1010.039
5	14.49128	48.42568	48.43797	60.48303	121.8566	127.2262	388.6952	422.939	709.8241	820.2877
4	12.32544	41.51285	41.58144	50.61229	90.27839	94.11845	316.1157	336.0348	567.543	652.5781
3	11.00823	36.91655	36.81526	43.76139	82.48952	85.34302	281.2274	294.943	477.865	544.5306
2	8.053423	31.01055	31.05885	36.47484	65.56496	67.66969	250.5775	260.7042	428.5611	479.2892
1	2.209855	12.42672	12.37273	14.43787	25.28996	26.05137	49.96362	18.35629	84.22165	106.221
										35624.0924

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

Pengerukan kolam pelabuhan ini bersifat *maintenance dredging*, dalam hal ini sebagai upaya pemeliharaan fungsi alur pelayaran agar dapat berfungsi dengan optimal. Peralatan yang digunakan untuk *maintenance dredging* berupa *trailing suction hopper dredger*.

Secara umum tahapan pengerukan ada 3, yaitu penggalian, pengangkutan dan pembuangan material. Pada jenis kapal *trailing suction hopper dredger* ini, penggalian dilakukan oleh *drag head* dengan dibantu *waterjet* yang dapat memancarkan air dengan tekanan tinggi. Tujuannya adalah untuk memisahkan material dan mengambil material dari dasar air. Ada juga yang dilengkapi *active rotating cutter* dan *cutting blade* yang dapat memotong material yang keras. Sementara untuk pengangkutan dan pembuangan, kapal ini menggunakan sistem pipa.

Keuntungan kapal keruk jenis ini adalah cocok untuk mengeruk alur pelayaran dan efisien untuk material halus yang berada di muara. Namun biaya servis cukup tinggi sehingga akan merugikan jika volume material yang dikeruk sedikit. Kelemahan yang lainnya adalah hasil kerukan pada permukaan tanahnya tidak rata, dan hal ini tidak terlalu berpengaruh pada kelangsungan kolam pelabuhan karena yang lebih diutamakan adalah optimalnya fungsi muara tersebut sebagai kolam pelabuhan.

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Volume angkutan sedimen yang berada di kolam pelabuhan Pasuruan berdasarkan hasil simulasi *quasi-unsteady flow* dengan menggunakan rumus angkutan Ackers-White, Laursen-Copeland dan Yang, berturut-turut adalah 34.850,2 m^3, 5.422 m^3, dan 695,83 m^3.
2. Perubahan kedalaman kolam dermaga yang terjadi akibat adanya sedimentasi berdasarkan rumus angkutan Ackers-White, Laursen-Copeland dan Yang berturut-turut sebesar 2,01 m, 0,5 m dan 0,096 m selama satu tahun. Sementara berdasarkan pengamatan di lapangan, sedimentasi yang terjadi sekitar 1-2 m akibat dari hasil sedimentasi selama beberapa tahun.
3. Pengendalian sedimen yang direncanakan setelah melakukan simulasi tersebut adalah perencanaan pengerukan pemeliharaan yang didasarkan pada simulasi 5 tahun untuk melihat dampak sedimentasi dalam jangka panjang.

5.2 Saran

1. Simulasi akan menghasilkan *output* yang maksimal jika *input* yang dimasukkan juga sesuai dengan kondisi lapangan dan sebaiknya mayoritas data diambil secara langsung.
2. Simulasi yang dilakukan dengan program HEC-RAS 4.1.0 merupakan pemodelan 1 dimensi sehingga masih belum mewakili kondisi lapangan yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yang lain.
3. Simulasi muara sungai yang dipengaruhi tinggi pasang surut sebaiknya dilakukan dalam interval jam sebagaimana perubahan tinggi pasang surutmya.

4. Hasil simulasi sedimentasi yang dilakukan sebaiknya dibandingkan dengan pengamatan yang lebih akurat, atau hasil pekerjaan pengerukan yang telah dilakukan oleh dinas terkait pada tahun-tahun sebelumnya.
5. Perencanaan pemeliharaan yang diuraikan hanya sebatas pembahasan singkat tentang aktivitas pengerukan. Perencanaan lebih lanjut bisa dilakukan dengan menghitung anggaran biaya dan metode pelaksanaan di lapangan.
6. Pengendalian sedimentasi berupa pengerukan yang direncanakan bersifat sementara, sehingga perlu ada perencanaan lanjutan berupa pembangunan struktur yang dapat mengendalikan laju sedimentasi dalam jangka panjang dan bisa digunakan untuk keperluan pengembangan pelabuhan.

DAFTAR PUSTAKA

Anasiru,Triyanti. 2006. **Angkutan Sedimen pada Muara Sungai Palu.** Universitas Tadulako, Palu

Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Pemerintah Kota Pasuruan. 2010. **Laporan Akhir: Rencana Pengembangan Kawasan Pelabuhan Kota Pasuruan**

Badan Standarisasi Nasioal. 2012. **Tata Cara Pengerukan Muara Sungai dan Pantai – Bagian 1 : Survei Lokasi dan Investigasi**

Badan Standarisasi Nasioal. 2012. **Tata Cara Pengerukan Muara Sungai dan Pantai – Bagian 4 : Pelaksanaan dan Pengawasan**

Dingman, Lawrence. 2009. ***Fluvial Hydraulics***. New York : Oxford University Press

Eisma, D. 2006. ***Dredging in Coastal Waters***. Leiden : Taylor & Francis

Kementrian Perhubungan, 2013. **Laporan Interim : Studi *Detail Engineering Design* Rehabilitasi / Pengembangan Fasilitas Pelabuhan Pasuruan**

Mulyanto, HR. 2007. **Sungai, Fungsi dan Sifat-sifatnya**. Yogyakarta : Graha Ilmu

Sosrodarsono, Suyono., Tominaga, Masateru. 1994. **Perbaikan dan Pengaturan Sungai**. Surabaya : Pradnya Paramita

Trihatmodjo, Bambang. 1999. **Teknik Pantai**. Yogyakarta : Beta Offset

Trihatmodjo, Bambang. 2009. **Perencanaan Pelabuhan**. Yogyakarta : Beta Offset

Trihatmodjo, Bambang. 2012. **Perencanaan Bangunan Pantai**. Yogyakarta : Beta Offset

U.S.Army Corps of Engineers. 2010. **HEC-RAS Hydraulic Reference Manual**. California: Hydrologic Engineering Center

Yang, Chih Ted. 1996. **Sediment Transport: Theory and Practice**. Singapore : McGraw Hill Book Company

Yuwono, Nur. 1994. **Perencanaan Bangunan *Jetty*.** Yogyakarta: Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi, PAU-IT-UGM

Lampiran 4 Data Rata-Rata Tinggi Pasang Surut Pasuruan pada Tahun 2011

Tanggal	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1	0.925	0.892	0.913	0.875	0.888	0.883	0.908	0.892	0.883	0.888	0.892	0.888
2	0.913	0.875	0.896	0.883	0.879	0.900	0.904	0.888	0.883	0.879	0.892	0.904
3	0.900	0.867	0.888	0.871	0.879	0.888	0.896	0.900	0.892	0.888	0.913	0.917
4	0.883	0.863	0.867	0.875	0.871	0.896	0.900	0.896	0.900	0.900	0.913	0.933
5	0.863	0.867	0.850	0.875	0.879	0.908	0.888	0.896	0.896	0.913	0.921	0.929
6	0.854	0.875	0.871	0.900	0.900	0.900	0.900	0.904	0.913	0.917	0.925	0.921
7	0.854	0.875	0.875	0.896	0.908	0.908	0.896	0.900	0.913	0.917	0.921	0.921
8	0.879	0.896	0.888	0.896	0.900	0.921	0.913	0.904	0.913	0.917	0.921	0.921
9	0.883	0.900	0.892	0.913	0.913	0.917	0.917	0.896	0.913	0.917	0.913	0.917
10	0.892	0.913	0.900	0.908	0.929	0.917	0.904	0.917	0.904	0.921	0.908	0.908
11	0.900	0.913	0.921	0.933	0.921	0.921	0.900	0.908	0.904	0.921	0.900	0.892
12	0.917	0.925	0.917	0.950	0.921	0.904	0.900	0.896	0.896	0.908	0.888	0.875
13	0.933	0.933	0.933	0.938	0.913	0.888	0.900	0.904	0.896	0.921	0.888	0.858
14	0.938	0.929	0.933	0.929	0.904	0.888	0.879	0.900	0.900	0.896	0.867	0.863
15	0.933	0.917	0.917	0.896	0.896	0.879	0.888	0.904	0.904	0.896	0.875	0.871
16	0.938	0.904	0.908	0.892	0.879	0.875	0.883	0.908	0.900	0.879	0.871	0.871
17	0.913	0.888	0.900	0.871	0.867	0.883	0.892	0.904	0.883	0.875	0.888	0.900
18	0.913	0.867	0.875	0.854	0.879	0.900	0.904	0.904	0.888	0.867	0.896	0.933
19	0.883	0.850	0.867	0.858	0.871	0.908	0.913	0.892	0.888	0.871	0.913	0.938
20	0.871	0.854	0.858	0.858	0.879	0.908	0.904	0.900	0.892	0.892	0.933	0.942
21	0.854	0.858	0.858	0.883	0.900	0.917	0.913	0.896	0.904	0.908	0.933	0.946
22	0.850	0.879	0.867	0.904	0.921	0.913	0.900	0.888	0.900	0.925	0.938	0.938
23	0.858	0.900	0.879	0.917	0.938	0.913	0.888	0.900	0.925	0.933	0.929	0.921
24	0.871	0.917	0.908	0.925	0.925	0.904	0.892	0.904	0.925	0.929	0.925	0.892
25	0.896	0.946	0.925	0.933	0.917	0.896	0.900	0.908	0.929	0.933	0.900	0.875
26	0.917	0.946	0.942	0.933	0.908	0.888	0.896	0.913	0.925	0.917	0.879	0.867
27	0.938	0.942	0.950	0.929	0.904	0.883	0.896	0.925	0.908	0.900	0.854	0.858
28	0.946	0.938	0.925	0.908	0.900	0.896	0.900	0.913	0.900	0.850	0.863	0.867
29	0.938		0.938	0.892	0.883	0.896	0.917	0.913	0.892	0.875	0.867	0.875
30	0.929		0.900	0.879	0.883	0.896	0.904	0.888	0.871	0.871	0.871	0.883
31	0.913		0.892		0.883		0.904	0.883		0.871		0.904

Lampiran 5 Data Tinggi Muka Air Hulu Hasil Perhitungan HEC-RAS dengan Nilai Manning n = 0.03

Tanggal	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1	1.150	1.100	1.300	1.280	1.460	1.210	1.740	1.810	1.750	1.700	1.720	1.800
2	1.110	1.190	1.230	1.350	1.530	1.350	1.740	1.800	1.740	1.750	1.710	1.730
3	1.060	1.490	1.160	2.050	1.530	1.590	1.770	1.730	1.740	1.770	1.740	1.830
4	1.080	1.750	1.340	1.410	1.320	1.370	1.770	1.770	1.730	1.780	1.760	1.810
5	1.230	1.330	1.530	1.460	1.410	1.640	1.750	1.770	1.730	1.760	2.470	1.830
6	1.200	1.320	1.520	1.360	1.470	1.810	1.740	1.740	2.580	1.770	1.970	3.020
7	1.180	1.370	1.310	1.350	1.480	1.410	1.740	1.720	1.790	1.840	2.170	2.270
8	1.100	1.200	1.320	1.340	1.390	1.460	1.750	1.680	1.770	1.820	2.090	1.860
9	1.430	1.210	1.350	1.670	1.650	1.550	1.740	1.680	1.740	1.790	2.330	1.900
10	1.150	1.110	1.430	1.580	1.340	1.410	1.790	1.680	1.770	1.790	1.920	1.810
11	1.090	1.130	1.490	1.530	1.270	1.300	1.800	1.720	1.870	1.750	1.790	1.750
12	1.180	1.100	1.310	1.570	2.110	1.300	1.810	1.720	1.800	1.750	1.770	1.740
13	1.080	1.050	1.250	1.330	1.690	1.380	1.800	1.730	1.780	1.780	1.780	1.940
14	1.270	1.540	1.310	1.460	1.610	1.310	1.900	1.720	1.770	1.700	1.760	1.920
15	1.140	1.370	1.510	1.430	1.470	1.260	1.770	1.730	1.740	1.820	1.780	2.080
16	1.110	1.220	1.750	1.570	1.540	1.320	1.730	1.730	1.860	1.790	1.820	1.910
17	1.040	1.190	1.330	1.440	1.390	1.500	1.720	1.740	1.900	2.110	1.820	1.850
18	1.060	1.170	1.270	1.480	1.440	1.310	1.740	1.740	1.790	2.070	1.740	1.960
19	1.220	1.330	1.200	1.370	1.600	1.510	1.720	1.770	1.790	1.820	1.770	2.070
20	1.200	1.160	1.300	1.250	1.380	1.300	1.710	1.750	1.700	1.840	1.820	1.940
21	1.130	1.100	1.190	1.210	1.340	1.310	1.710	1.760	1.690	2.110	1.960	2.030
22	1.160	1.140	1.170	1.290	1.490	1.290	1.730	1.750	1.690	1.860	1.950	2.340
23	1.150	1.430	1.400	1.340	1.620	1.270	1.720	1.740	1.700	1.740	1.870	2.000
24	1.160	1.150	1.250	1.570	1.580	1.230	1.670	1.740	1.690	1.750	1.820	1.910
25	1.140	1.220	1.160	1.280	1.510	1.230	1.760	1.860	1.700	1.680	1.880	2.150
26	1.190	1.420	1.460	1.140	1.380	1.220	1.770	1.800	1.720	1.740	1.910	2.120
27	1.250	1.250	1.330	1.150	1.420	1.190	1.780	1.760	1.730	1.670	1.760	1.960
28	1.160	1.200	1.290	1.270	1.260	1.190	2.310	1.760	1.720	1.730	1.740	1.840
29	1.160		1.440	1.250	1.170	1.200	1.780	1.770	1.700	1.700	1.720	1.770
30	1.480		1.450	1.240	1.180	1.190	1.800	1.810	1.750	1.690	1.770	1.850
31	1.170		1.290		1.200		1.780	1.770		1.720		1.840

Lampiran 6 Data Tinggi Muka Air Hulu Hasil Perhitungan HEC-RAS dengan Nilai Manning n = 0.025

Tanggal	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1	1.130	1.090	1.260	1.230	1.400	1.180	1.660	1.730	1.670	1.620	1.640	1.700
2	1.090	1.170	1.190	1.300	1.470	1.300	1.660	1.730	1.660	1.670	1.630	1.640
3	1.050	1.440	1.140	1.940	1.460	1.520	1.690	1.660	1.660	1.680	1.650	1.730
4	1.070	1.670	1.290	1.360	1.280	1.320	1.700	1.690	1.650	1.690	1.670	1.710
5	1.210	1.300	1.470	1.410	1.360	1.570	1.680	1.700	1.660	1.670	2.330	1.740
6	1.180	1.280	1.460	1.310	1.420	1.730	1.660	1.670	2.430	1.680	1.860	2.810
7	1.160	1.330	1.260	1.310	1.420	1.360	1.660	1.650	1.710	1.750	2.050	2.140
8	1.090	1.170	1.280	1.290	1.340	1.410	1.680	1.610	1.700	1.740	1.970	1.770
9	1.390	1.180	1.300	1.600	1.570	1.480	1.670	1.610	1.660	1.700	2.200	1.810
10	1.130	1.090	1.380	1.510	1.290	1.360	1.710	1.610	1.690	1.700	1.820	1.720
11	1.080	1.110	1.430	1.460	1.230	1.260	1.720	1.650	1.780	1.670	1.700	1.660
12	1.160	1.080	1.270	1.510	2.000	1.260	1.730	1.650	1.720	1.660	1.680	1.660
13	1.070	1.040	1.210	1.290	1.620	1.330	1.720	1.660	1.710	1.700	1.690	1.840
14	1.240	1.480	1.270	1.400	1.540	1.270	1.810	1.650	1.700	1.620	1.670	1.820
15	1.130	1.320	1.450	1.380	1.410	1.230	1.690	1.660	1.670	1.730	1.690	1.970
16	1.100	1.190	1.670	1.510	1.480	1.280	1.660	1.660	1.770	1.700	1.720	1.810
17	1.030	1.170	1.290	1.380	1.350	1.440	1.650	1.660	1.810	1.990	1.720	1.760
18	1.050	1.150	1.230	1.420	1.390	1.270	1.660	1.660	1.710	1.960	1.650	1.860
19	1.200	1.290	1.170	1.330	1.540	1.450	1.650	1.690	1.710	1.720	1.680	1.960
20	1.180	1.130	1.250	1.210	1.340	1.260	1.640	1.680	1.620	1.750	1.720	1.840
21	1.110	1.080	1.150	1.170	1.300	1.270	1.640	1.690	1.620	1.990	1.850	1.920
22	1.140	1.120	1.140	1.250	1.430	1.250	1.660	1.680	1.620	1.760	1.850	2.200
23	1.130	1.380	1.340	1.290	1.550	1.230	1.650	1.670	1.630	1.650	1.770	1.900
24	1.140	1.130	1.210	1.510	1.510	1.190	1.600	1.670	1.620	1.660	1.730	1.820
25	1.120	1.190	1.120	1.230	1.450	1.200	1.680	1.770	1.630	1.600	1.780	2.030
26	1.170	1.370	1.400	1.110	1.330	1.180	1.700	1.720	1.640	1.650	1.800	2.010
27	1.220	1.210	1.280	1.120	1.370	1.160	1.700	1.690	1.650	1.590	1.660	1.860
28	1.140	1.170	1.240	1.230	1.220	1.160	2.190	1.690	1.640	1.640	1.650	1.750
29	1.140		1.380	1.210	1.140	1.170	1.710	1.690	1.620	1.610	1.630	1.690
30	1.430		1.390	1.210	1.150	1.160	1.730	1.730	1.670	1.610	1.680	1.760
31	1.150		1.240		1.170		1.710	1.690		1.640		1.750

Lampiran 7 Data Tinggi Muka Air Hulu Hasil Perhitungan HEC-RAS dengan Nilai Manning n = 0.02

Tanggal	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1	1.120	1.070	1.230	1.190	1.340	1.140	1.570	1.640	1.590	1.550	1.560	1.620
2	1.080	1.150	1.160	1.250	1.400	1.250	1.570	1.640	1.580	1.590	1.550	1.560
3	1.040	1.400	1.110	1.820	1.390	1.450	1.600	1.580	1.580	1.600	1.570	1.650
4	1.060	1.610	1.250	1.300	1.230	1.270	1.610	1.610	1.570	1.610	1.590	1.630
5	1.190	1.260	1.410	1.340	1.300	1.490	1.590	1.610	1.580	1.590	2.190	1.650
6	1.170	1.250	1.400	1.260	1.350	1.640	1.580	1.590	2.290	1.600	1.750	2.610
7	1.150	1.290	1.230	1.250	1.360	1.300	1.570	1.570	1.640	1.660	1.930	2.040
8	1.080	1.150	1.240	1.240	1.280	1.340	1.590	1.530	1.620	1.650	1.860	1.690
9	1.360	1.160	1.260	1.510	1.490	1.410	1.580	1.540	1.590	1.620	2.070	1.720
10	1.120	1.070	1.330	1.440	1.240	1.300	1.620	1.530	1.610	1.620	1.730	1.650
11	1.070	1.090	1.370	1.400	1.180	1.210	1.630	1.570	1.700	1.590	1.620	1.600
12	1.150	1.060	1.220	1.430	1.870	1.210	1.640	1.570	1.640	1.580	1.600	1.590
13	1.060	1.020	1.170	1.240	1.530	1.270	1.630	1.580	1.630	1.610	1.610	1.760
14	1.220	1.430	1.230	1.340	1.470	1.220	1.720	1.570	1.620	1.550	1.600	1.740
15	1.110	1.290	1.390	1.320	1.350	1.180	1.610	1.580	1.590	1.650	1.610	1.870
16	1.090	1.160	1.580	1.430	1.410	1.230	1.580	1.580	1.690	1.620	1.630	1.730
17	1.020	1.140	1.240	1.320	1.290	1.380	1.570	1.580	1.720	1.880	1.630	1.690
18	1.040	1.120	1.190	1.350	1.330	1.220	1.580	1.580	1.630	1.850	1.570	1.780
19	1.180	1.250	1.140	1.270	1.460	1.380	1.570	1.610	1.620	1.640	1.600	1.860
20	1.160	1.110	1.210	1.170	1.280	1.210	1.560	1.600	1.550	1.660	1.640	1.760
21	1.100	1.060	1.120	1.130	1.250	1.220	1.560	1.610	1.540	1.890	1.760	1.830
22	1.130	1.090	1.100	1.200	1.370	1.200	1.580	1.600	1.540	1.680	1.750	2.090
23	1.110	1.340	1.290	1.240	1.470	1.180	1.570	1.590	1.550	1.580	1.680	1.810
24	1.130	1.100	1.170	1.430	1.440	1.150	1.520	1.590	1.540	1.590	1.640	1.740
25	1.110	1.160	1.090	1.190	1.390	1.150	1.600	1.680	1.550	1.530	1.690	1.930
26	1.150	1.320	1.340	1.080	1.270	1.140	1.610	1.630	1.570	1.580	1.720	1.910
27	1.200	1.180	1.230	1.090	1.310	1.120	1.610	1.600	1.580	1.520	1.580	1.780
28	1.120	1.140	1.200	1.180	1.180	1.120	2.070	1.610	1.570	1.570	1.570	1.680
29	1.120		1.330	1.170	1.110	1.130	1.630	1.610	1.550	1.540	1.550	1.620
30	1.390		1.330	1.160	1.110	1.120	1.640	1.650	1.590	1.530	1.600	1.680
31	1.130		1.200		1.130		1.620	1.610		1.560		1.670

Lampiran 8 Data Tinggi Muka Air Hulu Hasil Perhitungan HEC-RAS dengan Nilai Manning n = 0.015

Tanggal	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1	1.110	1.060	1.200	1.150	1.270	1.080	1.460	1.540	1.490	1.450	1.460	1.510
2	1.080	1.140	1.140	1.200	1.320	1.180	1.460	1.540	1.480	1.490	1.450	1.460
3	1.030	1.370	1.090	1.700	1.310	1.350	1.490	1.490	1.490	1.500	1.470	1.530
4	1.060	1.550	1.220	1.250	1.170	1.190	1.490	1.510	1.480	1.500	1.490	1.520
5	1.180	1.240	1.360	1.280	1.230	1.390	1.480	1.510	1.480	1.490	2.020	1.530
6	1.150	1.220	1.350	1.210	1.270	1.520	1.470	1.490	2.110	1.490	1.630	2.350
7	1.140	1.260	1.190	1.200	1.280	1.230	1.470	1.480	1.530	1.550	1.790	1.880
8	1.070	1.130	1.200	1.190	1.210	1.260	1.480	1.440	1.520	1.540	1.730	1.580
9	1.330	1.140	1.220	1.430	1.400	1.320	1.470	1.450	1.490	1.510	1.920	1.610
10	1.110	1.060	1.280	1.360	1.170	1.230	1.510	1.440	1.510	1.510	1.610	1.540
11	1.060	1.070	1.320	1.320	1.130	1.150	1.520	1.470	1.590	1.480	1.520	1.490
12	1.140	1.050	1.190	1.350	1.730	1.150	1.530	1.470	1.540	1.480	1.490	1.490
13	1.050	1.010	1.140	1.180	1.430	1.200	1.520	1.480	1.520	1.500	1.500	1.630
14	1.200	1.380	1.190	1.270	1.370	1.150	1.590	1.480	1.520	1.450	1.490	1.610
15	1.100	1.250	1.330	1.250	1.270	1.120	1.500	1.480	1.490	1.530	1.500	1.730
16	1.080	1.140	1.500	1.350	1.320	1.160	1.470	1.480	1.580	1.510	1.530	1.610
17	1.010	1.120	1.200	1.260	1.220	1.290	1.460	1.490	1.610	1.740	1.530	1.570
18	1.030	1.100	1.150	1.280	1.250	1.150	1.480	1.490	1.530	1.720	1.470	1.650
19	1.160	1.220	1.100	1.210	1.370	1.300	1.460	1.510	1.520	1.520	1.500	1.730
20	1.150	1.090	1.170	1.120	1.210	1.150	1.460	1.500	1.460	1.540	1.530	1.640
21	1.090	1.040	1.090	1.090	1.180	1.150	1.460	1.510	1.450	1.740	1.580	1.700
22	1.120	1.080	1.080	1.140	1.280	1.140	1.470	1.500	1.450	1.550	1.620	1.930
23	1.100	1.300	1.240	1.180	1.380	1.120	1.470	1.490	1.450	1.470	1.560	1.670
24	1.120	1.090	1.140	1.350	1.350	1.090	1.430	1.490	1.450	1.480	1.530	1.610
25	1.090	1.140	1.070	1.140	1.300	1.090	1.490	1.570	1.450	1.430	1.570	1.790
26	1.140	1.280	1.290	1.040	1.200	1.090	1.510	1.530	1.470	1.470	1.540	1.770
27	1.180	1.160	1.190	1.050	1.230	1.070	1.510	1.500	1.480	1.420	1.480	1.650
28	1.110	1.120	1.160	1.130	1.120	1.070	1.910	1.500	1.470	1.460	1.470	1.560
29	1.110		1.270	1.120	1.060	1.070	1.520	1.510	1.450	1.440	1.450	1.510
30	1.360		1.270	1.110	1.060	1.070	1.540	1.540	1.490	1.430	1.490	1.570
31	1.120		1.160		1.080		1.520	1.510		1.460		1.560

Lampiran 9 Data Tinggi Muka Air Hulu Hasil Pengamatan di Pos Warungdowo

Tanggal	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
1	1.080	1.240	1.460	1.440	1.270	1.290	1.200	1.230	1.140	1.130	1.170	1.210
2	1.160	1.230	1.410	1.500	1.390	1.440	1.190	1.200	1.140	1.120	1.140	1.180
3	1.180	1.360	1.350	2.240	1.340	1.650	1.180	1.150	1.130	1.110	1.210	1.220
4	1.230	1.240	1.280	1.500	1.270	1.430	1.190	1.170	1.130	1.120	1.170	1.240
5	1.170	1.250	1.480	1.320	1.260	1.690	1.180	1.170	1.140	1.110	1.440	1.300
6	1.350	1.290	1.290	1.380	1.240	1.870	1.160	1.140	1.750	1.110	1.210	1.620
7	1.460	1.160	1.230	1.450	1.250	1.480	1.160	1.140	1.270	1.270	1.340	1.510
8	1.320	1.210	1.250	1.480	1.230	1.570	1.160	1.130	1.160	1.190	1.280	1.350
9	1.660	1.230	1.240	1.620	1.560	1.660	1.160	1.140	1.170	1.170	1.260	1.410
10	1.410	1.180	1.390	1.490	1.360	1.510	1.210	1.130	1.140	1.160	1.130	1.380
11	1.300	1.240	1.470	1.590	1.320	1.370	1.230	1.110	1.200	1.150	1.070	1.340
12	1.240	1.220	1.420	1.710	1.900	1.400	1.260	1.110	1.170	1.150	1.090	1.300
13	1.220	1.130	1.390	1.420	1.790	1.490	1.230	1.120	1.150	1.120	1.100	1.250
14	1.240	1.780	1.450	1.260	1.690	1.410	1.320	1.110	1.140	1.130	1.070	1.530
15	1.140	1.560	1.580	1.290	1.540	1.370	1.180	1.120	1.130	1.200	1.110	1.580
16	1.280	1.380	1.760	1.470	1.550	1.440	1.140	1.120	1.280	1.130	1.160	1.530
17	1.090	1.310	1.480	1.470	1.400	1.610	1.140	1.120	1.230	1.200	1.230	1.300
18	1.090	1.270	1.400	1.610	1.530	1.410	1.150	1.120	1.160	1.390	1.190	1.380
19	1.190	1.500	1.250	1.540	1.640	1.600	1.160	1.140	1.170	1.260	1.360	1.750
20	1.360	1.250	1.230	1.400	1.450	1.360	1.150	1.130	1.180	1.280	1.400	1.480
21	1.340	1.170	1.220	1.300	1.330	1.390	1.150	1.100	1.170	1.620	1.300	1.340
22	1.290	1.270	1.200	1.360	1.410	1.370	1.160	1.100	1.180	1.450	1.200	1.690
23	1.260	1.330	1.550	1.400	1.700	1.350	1.160	1.080	1.170	1.150	1.270	1.460
24	1.220	1.250	1.320	1.640	1.660	1.300	1.160	1.090	1.180	1.110	1.280	1.280
25	1.170	1.340	1.230	1.410	1.570	1.290	1.170	1.230	1.170	1.110	1.540	1.330
26	1.310	1.370	1.400	1.170	1.430	1.270	1.250	1.140	1.140	1.120	1.550	1.300
27	1.430	1.240	1.400	1.300	1.500	1.230	1.260	1.170	1.140	1.110	1.340	1.220
28	1.220	1.210	1.350	1.400	1.320	1.210	1.570	1.170	1.140	1.050	1.250	1.210
29	1.180		1.580	1.430	1.210	1.190	1.260	1.160	1.120	1.050	1.210	1.210
30	1.730		1.620	1.340	1.220	1.190	1.260	1.160	1.120	1.070	1.180	1.300
31	1.300		1.410		1.270		1.240	1.160		1.070		1.370

Lampiran 10 *Output* Simulasi dengan Ackers-White

RS	31JAN2011 -Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31JAN2011- Volume Out Cum: All (m^3)	31JAN2011- Volume In Cum: All (m^3)	28FEB2011- Volume Bed Change Cum: All (m^3)	28FEB2011- Volume Out Cum: All (m^3)	28FEB2011- Volume In Cum: All (m^3)	31MAR2011- Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31MAR2011- Volume Out Cum: All (m^3)	31MAR2011- Volume In Cum: All (m^3)
24	0.3500403	0.9348491	1.284889	9.926962	40.75883	50.68579	20.43922	76.22934	96.66856
23	0.2996337	0.6352154	0.9348491	10.83276	29.92608	40.75883	22.13765	54.09169	76.22934
22	-0.2744581	0.9096735	0.6352154	1.460142	28.46593	29.92608	3.809517	50.28217	54.09169
21	-0.6091489	1.518822	0.9096735	-1.231428	29.69736	28.46593	-0.6187441	50.90092	50.28217
20	0.6858218	0.8330006	1.518822	6.291393	23.40597	29.69736	10.65582	40.2451	50.90092
19	0.4509632	0.3820374	0.8330006	7.202075	16.2039	23.40597	12.84939	27.39571	40.2451
18	0.1811924	0.2008449	0.3820374	5.412697	10.7912	16.2039	9.809884	17.58582	27.39571
17	0.08569647	0.1151485	0.2008449	3.247497	7.543701	10.7912	5.662512	11.92331	17.58582
16	0.09310884	0.02203964	0.1151485	4.322735	3.220966	7.543701	7.269886	4.653427	11.92331
15	0.01678783	0.00525181	0.02203964	1.708153	1.512812	3.220966	2.590024	2.063403	4.653427
14	0.00247899	0.00277282	0.00525181	0.4945247	1.018288	1.512812	0.7031621	1.360241	2.063403
13	0.00121348	0.00155934	0.00277282	0.3094569	0.7088307	1.018288	0.4301604	0.9300804	1.360241
12	0.00079363	0.00076571	0.00155934	0.2500054	0.4588253	0.7088307	0.3402257	0.5898547	0.9300804
11	0.0004494	0.00031631	0.00076571	0.1861371	0.2726882	0.4588253	0.2476496	0.3422051	0.5898547
10	0.00018345	0.00013286	0.00031631	0.1092581	0.1634302	0.2726882	0.1414914	0.2007137	0.3422051
9	8.442E-05	4.8437E-05	0.00013286	0.07174727	0.09168292	0.1634302	0.09067962	0.1100341	0.2007137
8	3.4924E-05	1.3513E-05	4.8437E-05	0.04566487	0.04601805	0.09168292	0.05623948	0.05379461	0.1100341
7	9.7543E-06	3.7584E-06	1.3513E-05	0.02296165	0.0230564	0.04601805	0.02745037	0.02634425	0.05379461
6	2.7098E-06	1.0487E-06	3.7584E-06	0.01150089	0.01155551	0.0230564	0.0133979	0.01294634	0.02634425
5	7.5533E-07	2.9335E-07	1.0487E-06	0.00576391	0.0057916	0.01155551	0.00656633	0.00638001	0.01294634
4	2.086E-07	8.4749E-08	2.9335E-07	0.00285467	0.00293693	0.0057916	0.00319014	0.00318987	0.00638001
3	6.093E-08	2.3819E-08	8.4749E-08	0.00146456	0.00147237	0.00293693	0.00161048	0.00157939	0.00318987
2	1.7458E-08	6.3615E-09	2.3819E-08	0.00074906	0.00072331	0.00147237	0.00081205	0.00076733	0.00157939
1	2.3569E-09	4.0046E-09	6.3615E-09	0.00018615	0.00053716	0.00072331	0.00019926	0.00056807	0.00076733

Lampiran 10 *Output* Simulasi dengan Ackers-White (lanjutan)

RS	30APR2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30APR2011-Volume Out Cum: All (m^3)	30APR2011-Volume In Cum: All (m^3)	31MAY2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31MAY2011-Volume Out Cum: All (m^3)	31MAY2011-Volume In Cum: All (m^3)	30JUN2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30JUN2011-Volume Out Cum: All (m^3)	30JUN2011-Volume In Cum: All (m^3)
24	75.9062	366.0018	441.908	139.687	673.2805	812.9675	152.4347	711.4455	863.8802
23	86.05499	279.9468	366.0018	162.7587	510.5218	673.2805	177.7139	533.7316	711.4455
22	16.26246	263.6844	279.9468	34.52267	475.9991	510.5218	37.35461	496.377	533.7316
21	2.749305	260.935	263.6844	7.296097	468.703	475.9991	7.883735	488.4933	496.377
20	33.18913	227.7459	260.935	58.06774	410.6353	468.703	62.1354	426.3579	488.4933
19	53.99582	173.7501	227.7459	95.6526	314.9827	410.6353	101.0941	325.2638	426.3579
18	51.19308	122.557	173.7501	93.15685	221.8258	314.9827	97.78802	227.4758	325.2638
17	32.58012	89.97691	122.557	59.33203	162.4938	221.8258	61.63227	165.8435	227.4758
16	45.45708	44.51982	89.97691	82.76718	79.72661	162.4938	85.36877	80.47475	165.8435
15	20.72449	23.79533	44.51982	37.57338	42.15323	79.72661	38.10878	42.36597	80.47475
14	6.814147	16.98118	23.79533	12.25738	29.89585	42.15323	12.35181	30.01416	42.36597
13	4.527866	12.45331	16.98118	8.10313	21.79272	29.89585	8.152132	21.86203	30.01416
12	3.836589	8.616726	12.45331	6.826077	14.96664	21.79272	6.859264	15.00277	21.86203
11	3.05368	5.563046	8.616726	5.396809	9.569836	14.96664	5.41676	9.586005	15.00277
10	1.946614	3.616432	5.563046	3.409315	6.160521	9.569836	3.418149	6.167856	9.586005
9	1.384778	2.231653	3.616432	2.402702	3.757819	6.160521	2.407094	3.760761	6.167856
8	0.9688541	1.262799	2.231653	1.662545	2.095274	3.757819	1.664546	2.096215	3.760761
7	0.5486799	0.7141194	1.262799	0.9280117	1.167262	2.095274	0.9286534	1.167562	2.096215
6	0.3099084	0.404211	0.7141194	0.5164036	0.6508586	1.167262	0.5166078	0.6509539	1.167562
5	0.1752739	0.2289371	0.404211	0.2876938	0.3631649	0.6508586	0.2877588	0.3631952	0.6509539
4	0.09803043	0.1309067	0.2289371	0.1584991	0.2046658	0.3631649	0.1585195	0.2046757	0.3631952
3	0.05667879	0.07422788	0.1309067	0.09030607	0.1143597	0.2046658	0.09031281	0.1143629	0.2046757
2	0.03277163	0.04145624	0.07422788	0.05144101	0.06291871	0.1143597	0.0514432	0.06291966	0.1143629
1	0.00925572	0.03220053	0.04145624	0.01430755	0.04861116	0.06291871	0.01430788	0.04861178	0.06291966

Lampiran 10 *Output* Simulasi dengan Ackers-White (lanjutan)

RS	31JUL2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31JUL2011-Volume Out Cum: All (m^3)	31JUL2011-Volume In Cum: All (m^3)	31AUG2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31AUG2011-Volume Out Cum: All (m^3)	31AUG2011-Volume In Cum: All (m^3)	30SEP2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30SEP2011-Volume Out Cum: All (m^3)	30SEP2011-Volume In Cum: All (m^3)
24	591.2701	3774.585	4365.855	722.1751	5545.382	6267.558	172.3642	12070.27	12242.64
23	853.3551	2921.23	3774.585	1039.217	4506.166	5545.382	1029.548	11040.73	12070.27
22	176.4208	2744.809	2921.23	341.5276	4164.638	4506.166	326.6743	10714.05	11040.73
21	192.4109	2552.398	2744.809	357.4008	3807.237	4164.638	285.2473	10428.8	10714.05
20	421.071	2131.327	2552.398	778.3075	3028.93	3807.237	1026.7	9402.104	10428.8
19	478.4594	1652.868	2131.327	798.8282	2230.102	3028.93	1629.484	7772.62	9402.104
18	491.1636	1161.704	1652.868	793.5924	1436.509	2230.102	2392.627	5379.993	7772.62
17	305.4071	856.2972	1161.704	430.6142	1005.895	1436.509	1223.182	4156.812	5379.993
16	430.9221	425.3751	856.2972	568.7867	437.1082	1005.895	1913.361	2243.451	4156.812
15	192.7579	232.6172	425.3751	202.4817	234.6265	437.1082	837.575	1405.876	2243.451
14	64.70793	167.9093	232.6172	65.73366	168.8929	234.6265	321.2635	1084.612	1405.876
13	43.57694	124.3323	167.9093	44.04602	124.8469	168.8929	231.6144	852.9977	1084.612
12	37.19207	87.14024	124.3323	37.47443	87.37242	124.8469	208.9626	644.0351	852.9977
11	30.0021	57.13814	87.14024	30.14873	57.22369	87.37242	181.3557	462.6794	644.0351
10	19.44702	37.69112	57.13814	19.5003	37.72339	57.22369	128.7305	333.9489	462.6794
9	14.04164	23.64948	37.69112	14.06358	23.65981	37.72339	101.3057	232.6432	333.9489
8	9.998643	13.65084	23.64948	10.00659	13.65322	23.65981	80.0074	152.6358	232.6432
7	5.780564	7.870278	13.65084	5.78239	7.870833	13.65322	52.45337	100.1824	152.6358
6	3.330766	4.539512	7.870278	3.33119	4.539644	7.870833	34.31523	65.8672	100.1824
5	1.920555	2.618957	4.539512	1.920655	2.618988	4.539644	22.5167	43.35049	65.8672
4	1.094628	1.524329	2.618957	1.094652	1.524337	2.618988	14.61475	28.73574	43.35049
3	0.6444749	0.8798538	1.524329	0.6444809	0.8798557	1.524337	9.785141	18.9506	28.73574
2	0.3794355	0.5004183	0.8798538	0.379437	0.5004187	0.8798557	6.573333	12.37727	18.9506
1	0.3912601	0.5004183	0.1091583	0.3912604	0.5004187	2.169111	10.20816	12.37727	2.181834

Lampiran 10 *Output* Simulasi dengan Ackers-White (lanjutan)

RS	31OCT2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31OCT2011-Volume Out Cum: All (m^3)	31OCT2011-Volume In Cum: All (m^3)	30NOV2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30NOV2011-Volume Out Cum: All (m^3)	30NOV2011-Volume In Cum: All (m^3)	31DEC2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31DEC2011-Volume Out Cum: All (m^3)	31DEC2011-Volume In Cum: All (m^3)
24	380.6036	16469.68	16850.28	462.4107	22606.85	23069.27	383.8788	34927.17	35311.05
23	923.5287	15546.15	16469.68	850.0811	21756.77	22606.85	842.3421	34084.83	34927.17
22	747.3558	14798.79	15546.15	335.6682	21421.11	21756.77	296.4123	33788.42	34084.83
21	112.8904	14685.9	14798.79	80.98647	21340.12	21421.11	19.36269	33769.05	33788.42
20	966.0308	13719.87	14685.9	864.2213	20475.9	21340.12	839.0244	32930.03	33769.05
19	2019.827	11700.05	13719.87	1949.805	18526.09	20475.9	1893.06	31036.97	32930.03
18	2800.503	8899.544	11700.05	2403.363	16122.73	18526.09	2256.779	28780.19	31036.97
17	1911.76	6987.784	8899.544	1812.66	14310.07	16122.73	1164.161	27616.03	28780.19
16	4034.218	2953.565	6987.784	6165.597	8144.472	14310.07	5917.405	21698.63	27616.03
15	1225.98	1727.586	2953.565	2876.814	5267.658	8144.472	3296.895	18401.73	21698.63
14	436.5902	1290.995	1727.586	1483.871	3783.786	5267.658	4045.823	14355.91	18401.73
13	301.8929	989.1025	1290.995	989.4472	2794.339	3783.786	2546.882	11809.03	14355.91
12	261.8676	727.2349	989.1025	807.8794	1986.46	2794.339	2593.242	9215.783	11809.03
11	218.7185	508.5164	727.2349	651.8908	1334.569	1986.46	2331.294	6884.489	9215.783
10	149.2206	359.2958	508.5164	428.0608	906.5081	1334.569	1699.964	5184.525	6884.489
9	113.6462	245.6496	359.2958	310.4882	596.02	906.5081	1278.618	3905.908	5184.525
8	87.21871	158.4309	245.6496	229.3941	366.6258	596.02	1068.891	2837.017	3905.908
7	55.67155	102.7594	158.4309	139.2471	227.3787	366.6258	740.7961	2096.221	2837.017
6	35.746	67.01335	102.7594	85.32433	142.0544	227.3787	528.5869	1567.634	2096.221
5	23.15305	43.8603	67.01335	52.80049	89.25386	142.0544	384.9735	1182.66	1567.634
4	14.89443	28.96587	43.8603	32.51726	56.73661	89.25386	281.2608	901.3996	1182.66
3	9.912858	19.05301	28.96587	20.76886	35.96775	56.73661	213.6083	687.7913	901.3996
2	6.631312	12.4217	19.05301	13.34787	22.61987	35.96775	164.298	523.4933	687.7913
1	2.181834	10.23987	12.4217	4.222025	18.39785	22.61987	62.63671	460.8566	523.4933

Lampiran 11 *Output* Simulasi dengan Ackers-White dalam Perubahan Elevasi Dasar

RS	Elevasi Dasar												
	Eksisting	31-Jan-11	28-Feb-11	31-Mar-11	30-Apr-11	31-May-11	30-Jun-11	31-Jul-11	31-Aug-11	30-Sep-11	31-Oct-11	30-Nov-11	31-Dec-11
24	-1.88	-1.8798	-1.8734	-1.8664	-1.8294	-1.7869	-1.7784	-1.4871	-1.4003	-1.767	-1.628	-1.5735	-1.6282
23	-0.47	-0.4698	-0.4628	-0.4552	-0.4126	-0.3615	-0.3515	9.79E-02	0.221	0.2145	0.1453	0.0961	0.0895
22	-0.67	-0.67	-0.6687	-0.6672	-0.658	-0.6464	-0.6445	-0.552	-0.4422	-0.4541	-0.1678	-0.4472	-0.4749
21	-0.5401	-0.5401	-0.5401	-0.5401	-0.5366	-0.5328	-0.5318	-0.3499	-0.1871	-0.2569	-0.4306	-0.4616	-0.5239
20	-0.57	-0.5695	-0.5658	-0.5629	-0.5479	-0.5313	-0.5286	-0.2926	-0.0511	0.1131	0.0717	0.0048	-0.013
19	-1.8001	-1.7999	-1.7958	-1.7925	-1.7679	-1.7429	-1.7397	-1.5165	-1.3224	-0.8256	-0.5938	-0.635	-0.6695
18	-1.8099	-1.8098	-1.8064	-1.8036	-1.7768	-1.7496	-1.7466	-1.4945	-1.2963	-0.2613	-7.00E-04	-0.2565	-0.3526
17	-2.5149	-2.5149	-2.5133	-2.5121	-2.4988	-2.4856	-2.4845	-2.3649	-2.304	-1.9095	-1.5659	-1.6134	-1.9409
16	-1.8401	-1.84	-1.8386	-1.8376	-1.8248	-1.8122	-1.8113	-1.6956	-1.6501	-1.198	-0.4863	0.2345	0.146
15	-1.8501	-1.8501	-1.8496	-1.8493	-1.8432	-1.8375	-1.8373	-1.7853	-1.782	-1.5681	-1.4374	-0.8865	-0.7434
14	-1.8599	-1.8599	-1.8596	-1.8595	-1.8565	-1.8538	-1.8537	-1.8275	-1.827	-1.6993	-1.6416	-1.1218	0.1586
13	-1.8699	-1.8699	-1.8697	-1.8697	-1.8669	-1.8645	-1.8645	-1.8409	-1.8406	-1.7155	-1.6687	-1.2126	-0.1752
12	-1.88	-1.88	-1.8799	-1.8798	-1.8782	-1.8768	-1.8768	-1.8626	-1.8624	-1.782	-1.7571	-1.4991	-0.6384
11	-1.8901	-1.8901	-1.89	-1.89	-1.889	-1.8881	-1.8881	-1.8791	-1.8791	-1.8239	-1.8103	-1.6525	-1.0416
10	-1.8971	-1.8971	-1.897	-1.897	-1.8961	-1.8953	-1.8953	-1.8869	-1.8868	-1.8295	-1.8188	-1.6726	-1.0065
9	-1.9141	-1.9141	-1.9141	-1.9141	-1.9136	-1.9133	-1.9133	-1.9091	-1.9091	-1.8779	-1.8734	-1.8029	-1.4565
8	-1.93	-1.93	-1.93	-1.93	-1.9297	-1.9294	-1.9294	-1.9265	-1.9265	-1.9023	-1.8998	-1.8505	-1.5594
7	-1.9401	-1.9401	-1.94	-1.94	-1.9399	-1.9397	-1.9397	-1.938	-1.938	-1.9219	-1.9208	-1.8918	-1.6832
6	-1.9501	-1.9501	-1.9501	-1.9501	-1.95	-1.9499	-1.9499	-1.949	-1.949	-1.9382	-1.9377	-1.9205	-1.7669
5	-1.9599	-1.9599	-1.9599	-1.9599	-1.9598	-1.9598	-1.9598	-1.9592	-1.9592	-1.9521	-1.9519	-1.9416	-1.8266
4	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9695	-1.9695	-1.9648	-1.9647	-1.9585	-1.871
3	-1.98	-1.98	-1.98	-1.98	-1.98	-1.98	-1.98	-1.9798	-1.9798	-1.9766	-1.9766	-1.9729	-1.9068
2	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-1.9899	-1.9899	-1.9878	-1.9878	-1.9856	-1.9349
1	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2	-2	-1.9987	-1.9986	-1.9973	-1.9584

Lampiran 12 *Output* Simulasi dengan Laursen-Copeland

RS	31JAN2011 - Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31JAN2011- Volume Out Cum: All (m^3)	31JAN2011- Volume In Cum: All (m^3)	28FEB2011- Volume Bed Change Cum: All (m^3)	28FEB2011- Volume Out Cum: All (m^3)	28FEB2011- Volume In Cum: All (m^3)	31MAR2011- Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31MAR2011- Volume Out Cum: All (m^3)	31MAR2011- Volume In Cum: All (m^3)
24	2.969357	7.557506	10.52686	24.00178	92.86092	116.8627	36.37963	145.5786	181.9583
23	2.137302	5.420204	7.557506	16.36951	76.49142	92.86092	16.59112	128.9875	145.5786
22	-0.792862	6.213066	5.420204	-0.8594385	77.35085	76.49142	-2.593564	131.5811	128.9875
21	-1.143585	7.35665	6.213066	-3.04009	80.39095	77.35085	-4.190323	135.7714	131.5811
20	2.417092	4.939558	7.35665	13.52477	66.86617	80.39095	16.36066	119.4107	135.7714
19	2.496055	2.443503	4.939558	22.16762	44.69855	66.86617	40.642	78.76875	119.4107
18	1.285107	1.158396	2.443503	17.39054	27.30802	44.69855	33.12885	45.63989	78.76875
17	0.5177963	0.6405998	1.158396	9.226056	18.08196	27.30802	16.72516	28.91473	45.63989
16	0.5137269	0.1268729	0.6405998	11.20336	6.878601	18.08196	19.24008	9.674656	28.91473
15	0.08530971	0.04156314	0.1268729	3.666298	3.212302	6.878601	5.386151	4.288505	9.674656
14	0.00859377	0.03296937	0.04156314	0.9997023	2.2126	3.212302	1.368275	2.92023	4.288505
13	-0.00040393	0.03337329	0.03296937	0.5987926	1.613808	2.2126	0.7943524	2.125878	2.92023
12	0.01291149	0.0204618	0.03337329	0.562547	1.051261	1.613808	0.7625564	1.363321	2.125878
11	0.01028142	0.01018038	0.0204618	0.4243529	0.6269077	1.051261	0.5697532	0.793568	1.363321
10	0.00228674	0.00789364	0.01018038	0.2329345	0.3939732	0.6269077	0.2993805	0.4941874	0.793568
9	0.00362494	0.0042687	0.00789364	0.1664379	0.2275353	0.3939732	0.2141348	0.2800527	0.4941874
8	0.00250095	0.00176776	0.0042687	0.1107394	0.1167959	0.2275353	0.1399951	0.1400576	0.2800527
7	0.0005666	0.00120116	0.00176776	0.05259814	0.06419779	0.1167959	0.06342941	0.07662822	0.1400576
6	0.00017792	0.00102324	0.00120116	0.02613592	0.03806188	0.06419779	0.030662	0.04596622	0.07662822
5	7.4274E-05	0.00094897	0.00102324	0.01316512	0.02489676	0.03806188	0.0151297	0.03083652	0.04596622
4	6.7857E-05	0.00088111	0.00094897	0.00679834	0.01809842	0.02489676	0.00775889	0.02307763	0.03083652
3	5.8614E-05	0.0008225	0.00088111	0.00388655	0.01421187	0.01809842	0.004526	0.01855163	0.02307763
2	5.2351E-05	0.00077014	0.0008225	0.00221608	0.01199579	0.01421187	0.00261721	0.01593442	0.01855163
1	1.1685E-05	0.00075846	0.00077014	0.00056431	0.01143148	0.01199579	0.00065391	0.01528051	0.01593442

Lampiran 12 *Output* Simulasi dengan Laursen-Copeland (Lanjutan)

RS	30APR2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30APR2011-Volume Out Cum: All (m^3)	30APR2011-Volume In Cum: All (m^3)	31MAY2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31MAY2011-Volume Out Cum: All (m^3)	31MAY2011-Volume In Cum: All (m^3)	30JUN2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30JUN2011-Volume Out Cum: All (m^3)	30JUN2011-Volume In Cum: All (m^3)
24	52.9405	250.5488	303.4893	69.01771	329.1985	398.2162	73.31735	343.0601	416.3774
23	14.30366	236.2451	250.5488	12.24741	316.9511	329.1985	10.17199	332.8881	343.0601
22	-4.63405	240.8792	236.2451	-6.680663	323.6318	316.9511	-7.294749	340.1828	332.8881
21	-9.228833	250.108	240.8792	-13.48456	337.1164	323.6318	-14.51152	354.6943	340.1828
20	21.16073	228.9473	250.108	24.52366	312.5927	337.1164	24.92141	329.7729	354.6943
19	70.7059	158.2414	228.9473	96.58202	216.0107	312.5927	103.9711	225.8019	329.7729
18	59.51113	98.73027	158.2414	80.55671	135.454	216.0107	85.61758	140.1843	225.8019
17	31.8707	66.85957	98.73027	43.11099	92.34298	135.454	45.17033	95.01395	140.1843
16	38.96408	27.89549	66.85957	53.03501	39.30797	92.34298	55.13435	39.87961	95.01395
15	13.5156	14.3799	27.89549	18.75198	20.55599	39.30797	19.09737	20.78224	39.87961
14	4.057147	10.32275	14.3799	5.723964	14.83203	20.55599	5.784128	14.99811	20.78224
13	2.56147	7.76128	10.32275	3.623468	11.20856	14.83203	3.646445	11.35166	14.99811
12	2.442601	5.318678	7.76128	3.509834	7.698724	11.20856	3.567511	7.784153	11.35166
11	1.948215	3.370464	5.318678	2.81725	4.881474	7.698724	2.861352	4.922802	7.784153
10	1.155816	2.214648	3.370464	1.676277	3.205197	4.881474	1.692644	3.230158	4.922802
9	0.8539506	1.360697	2.214648	1.239314	1.965883	3.205197	1.252253	1.977905	3.230158
8	0.598205	0.762492	1.360697	0.8682133	1.09767	1.965883	0.8757479	1.102157	1.977905
7	0.3210505	0.4414415	0.762492	0.4657434	0.6319263	1.09767	0.4679603	0.6341971	1.102157
6	0.1773531	0.2640884	0.4414415	0.2565241	0.3754022	0.6319263	0.2572961	0.376901	0.6341971
5	0.09891511	0.1651732	0.2640884	0.1424254	0.2329769	0.3754022	0.1427219	0.2341791	0.376901
4	0.0553944	0.1097788	0.1651732	0.07929743	0.1536795	0.2329769	0.07943986	0.1547392	0.2341791
3	0.03288934	0.0768895	0.1097788	0.04678942	0.10689	0.1536795	0.04689631	0.1078429	0.1547392
2	0.01944142	0.05744808	0.0768895	0.02744978	0.07944025	0.10689	0.0275216	0.08032132	0.1078429
1	0.00544418	0.0520039	0.05744808	0.00763064	0.0718096	0.07944025	0.00764538	0.07267594	0.08032132

Lampiran 12 *Output* Simulasi dengan Laursen-Copeland (Lanjutan)

RS	31JUL2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31JUL2011-Volume Out Cum: All (m^3)	31JUL2011-Volume In Cum: All (m^3)	31AUG2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31AUG2011-Volume Out Cum: All (m^3)	31AUG2011-Volume In Cum: All (m^3)	30SEP2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30SEP2011-Volume Out Cum: All (m^3)	30SEP2011-Volume In Cum: All (m^3)
24	132.4935	577.1363	709.6298	171.7237	684.711	856.4346	244.7977	1066.489	1311.286
23	25.3701	551.7662	577.1363	28.89583	655.8152	684.711	78.23036	988.2584	1066.489
22	-11.18782	562.954	551.7662	-13.93048	669.7457	655.8152	-26.92499	1015.183	988.2584
21	-25.14472	588.0988	562.954	-31.73197	701.4776	669.7457	-53.94717	1069.13	1015.183
20	43.57867	544.5201	588.0988	54.35393	647.1237	701.4776	78.71152	990.419	1069.13
19	169.986	374.5341	544.5201	210.6718	436.4519	647.1237	295.3778	695.0412	990.419
18	140.9664	233.5677	374.5341	172.937	263.5149	436.4519	244.1311	450.9102	695.0412
17	75.23099	158.3367	233.5677	89.36394	174.1509	263.5149	132.6145	318.2956	450.9102
16	92.50701	65.82969	158.3367	106.8326	67.31837	174.1509	167.6191	150.6765	318.2956
15	30.83544	34.99425	65.82969	31.60946	35.70891	67.31837	59.54079	91.13569	150.6765
14	9.349912	25.64433	34.99425	9.40044	26.30847	35.70891	20.34931	70.78638	91.13569
13	5.927123	19.71721	25.64433	5.87635	20.43212	26.30847	13.67142	57.11496	70.78638
12	6.008535	13.70868	19.71721	6.287464	14.14465	20.43212	14.60134	42.51362	57.11496
11	4.936988	8.771689	13.70868	5.182192	8.96246	14.14465	12.80417	29.70945	42.51362
10	2.947384	5.824305	8.771689	3.027986	5.934474	8.96246	8.385464	21.32399	29.70945
9	2.213635	3.610669	5.824305	2.274709	3.659764	5.934474	6.740061	14.58392	21.32399
8	1.563045	2.047625	3.610669	1.594207	2.065557	3.659764	5.225558	9.358367	14.58392
7	0.8526738	1.194951	2.047625	0.8601304	1.205427	2.065557	3.26171	6.096657	9.358367
6	0.4785466	0.7164043	1.194951	0.4810905	0.7243366	1.205427	2.082086	4.01457	6.096657
5	0.2712347	0.4451696	0.7164043	0.2724077	0.4519289	0.7243366	1.341276	2.673294	4.01457
4	0.1539151	0.2912545	0.4451696	0.15464	0.2972888	0.4519289	0.8606282	1.812666	2.673294
3	0.0920226	0.1992319	0.2912545	0.09262002	0.2046688	0.2972888	0.5735962	1.23907	1.812666
2	0.05473422	0.1444977	0.1992319	0.05513882	0.1495299	0.2046688	0.3830222	0.8560476	1.23907
1	0.01553516	0.1289625	0.1444977	0.01561956	0.1339104	0.1495299	0.1250416	0.731006	0.8560476

Lampiran 12 *Output* Simulasi dengan Laursen-Copeland (Lanjutan)

RS	31OCT2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31OCT2011-Volume Out Cum: All (m^3)	31OCT2011-Volume In Cum: All (m^3)	30NOV2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30NOV2011-Volume Out Cum: All (m^3)	30NOV2011-Volume In Cum: All (m^3)	31DEC2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31DEC2011-Volume Out Cum: All (m^3)	31DEC2011-Volume In Cum: All (m^3)
24	328.8517	1382.507	1711.358	492.1396	2323.591	2815.731	714.3687	4731.183	5445.551
23	187.7502	1194.756	1382.507	441.2768	1882.314	2323.591	800.2149	3930.968	4731.183
22	-32.69976	1227.456	1194.756	-49.78842	1932.103	1882.314	-93.95167	4024.919	3930.968
21	-59.18027	1286.636	1227.456	-15.41857	1947.521	1932.103	96.71581	3928.203	4024.919
20	102.9813	1183.655	1286.636	175.8863	1771.635	1947.521	311.4522	3616.751	3928.203
19	358.9773	824.678	1183.655	505.9659	1265.669	1771.635	851.5554	2765.196	3616.751
18	298.0813	526.5967	824.678	436.3565	829.3126	1265.669	790.7	1974.496	2765.196
17	160.4542	366.1425	526.5967	242.7002	586.6124	829.3126	466.1929	1508.303	1974.496
16	201.2146	164.9278	366.1425	315.3692	271.2431	586.6124	658.0441	850.2589	1508.303
15	67.06233	97.8655	164.9278	111.8391	159.404	271.2431	280.5768	569.6821	850.2589
14	22.00053	75.86497	97.8655	35.8132	123.5908	159.404	97.80943	471.8727	569.6821
13	14.46484	61.40013	75.86497	23.48071	100.1101	123.5908	66.74773	405.1249	471.8727
12	16.01554	45.38459	61.40013	25.94366	74.16644	100.1101	73.39325	331.7317	405.1249
11	14.03824	31.34636	45.38459	23.01706	51.14938	74.16644	70.51431	261.2173	331.7317
10	8.984279	22.36208	31.34636	14.77228	36.3771	51.14938	51.00727	210.2101	261.2173
9	7.205921	15.15615	22.36208	11.89562	24.48148	36.3771	45.91041	164.2997	210.2101
8	5.528928	9.627226	15.15615	9.127163	15.35432	24.48148	40.81211	123.4876	164.2997
7	3.391655	6.235571	9.627226	5.551236	9.80308	15.35432	29.57092	93.91664	123.4876
6	2.142786	4.092785	6.235571	3.462123	6.340956	9.80308	21.90471	72.01193	93.91664
5	1.371085	2.7217	4.092785	2.185538	4.155418	6.340956	16.45756	55.55437	72.01193
4	0.8759898	1.84571	2.7217	1.37719	2.778229	4.155418	12.35317	43.2012	55.55437
3	0.5824529	1.263257	1.84571	0.9032288	1.875	2.778229	9.610372	33.59083	43.2012
2	0.3881387	0.8751186	1.263257	0.5935081	1.281492	1.875	7.530024	26.0608	33.59083
1	0.1264048	0.7487138	0.8751186	0.1905477	1.090944	1.281492	2.911638	23.14916	26.0608

Lampiran 13 *Output* Simulasi dengan Laursen-Copeland dalam Perubahan Elevasi Dasar

RS	Elevasi Dasar												
	Eksisting	**31-Jan-11**	**28-Feb-11**	**31-Mar-11**	**30-Apr-11**	**31-May-11**	**30-Jun-11**	**31-Jul-11**	**31-Aug-11**	**30-Sep-11**	**31-Oct-11**	**30-Nov-11**	**31-Dec-11**
24	-1.88	-1.878	-1.864	-1.8558	-1.8447	-1.834	-1.8311	-1.7922	-1.766	-1.7174	-1.6614	-1.5531	1.405
23	-0.47	-0.4686	-0.459	-0.4587	-0.459	-0.4605	-0.4618	-0.4531	-0.4509	-0.4185	-0.3357	-0.1778	0.0613
22	-0.67	-0.67	-0.6691	-0.6706	-0.6724	-0.674	-0.674	-0.6673	-0.6788	-0.6874	-0.692	-0.7024	0.7327
21	-0.5401	-0.5401	-0.542	-0.5435	-0.5482	-0.5521	-0.5537	-0.5632	-0.5708	-0.5928	-0.5982	-0.5558	-0.4444
20	-0.57	-0.5684	-0.561	-0.559	-0.5556	-0.5536	-0.5534	-0.5413	-0.5339	-0.5166	-0.5015	-0.4533	-0.3634
19	-1.8001	-1.7987	-1.7869	-1.7759	-1.7579	-1.7424	-1.738	-1.6991	-1.6746	-1.6238	-1.5858	-1.4982	-1.2924
18	-1.8099	-1.8091	-1.7987	-1.7885	-1.7714	-1.7578	-1.7545	-1.7192	-1.6983	-1.6522	-1.6173	-1.5281	-1.2996
17	-2.5149	-2.5147	-2.5104	-2.5067	-2.4992	-2.4936	-2.4926	-2.4779	-2.4709	-2.4495	-2.4358	-2.3952	-2.2849
16	-1.8401	-1.8399	-1.8363	-1.8336	-1.827	-1.8222	-1.8215	-1.8091	-1.8042	-1.7837	-1.7724	-1.7341	-1.619
15	-1.8501	-1.8501	-1.8489	-1.8483	-1.8456	-1.8438	-1.8437	-1.8398	-1.8395	-1.8301	-1.8275	-1.8125	-1.7557
14	-1.8599	-1.8599	-1.8594	-1.8592	-1.8579	-1.857	-1.857	-1.8552	-1.8552	-1.8497	-1.8489	-1.842	-1.811
13	-1.8699	-1.8699	-1.8695	-1.8694	-1.8682	-1.8675	-1.8675	-1.866	-1.866	-1.8608	-1.8603	-1.8542	-1.8255
12	-1.88	-1.88	-1.8797	-1.8796	-1.8789	-1.8784	-1.8783	-1.8772	-1.8771	-1.8732	-1.8725	-1.8679	-1.8457
11	-1.8901	-1.8901	-1.8899	-1.8899	-1.8894	-1.889	-1.889	-1.8883	-1.8882	-1.8854	-1.8849	-1.8817	-1.8643
10	-1.8971	-1.8971	-1.897	-1.8969	-1.8965	-1.8962	-1.8962	-1.8955	-1.8955	-1.8927	-1.8924	-1.8893	-1.8703
9	-1.9141	-1.9141	-1.9141	-1.9141	-1.9138	-1.9137	-1.9137	-1.9134	-1.9133	-1.9117	-1.9116	-1.9099	-1.8977
8	-1.93	-1.93	-1.93	-1.9299	-1.9298	-1.9297	-1.9297	-1.9295	-1.9294	-1.9282	-1.9281	-1.9268	-1.9159
7	-1.9401	-1.9401	-1.94	-1.94	-1.9399	-1.9399	-1.9399	-1.9398	-1.9398	-1.9389	-1.9389	-1.9381	-1.9298
6	-1.9501	-1.9501	-1.9501	-1.9501	-1.95	-1.95	-1.95	-1.9499	-1.9499	-1.9494	-1.9494	-1.9489	-1.9425
5	-1.9599	-1.9599	-1.9599	-1.9599	-1.9598	-1.9598	-1.9598	-1.9598	-1.9598	-1.9594	-1.9594	-1.9591	-1.9542
4	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9696	-1.9696	-1.9694	-1.9656
3	-1.98	-1.98	-1.98	-1.98	-1.98	-1.98	-1.98	-1.9799	-1.9799	-1.9798	-1.9798	-1.9797	-1.9767
2	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-1.9899	-1.9899	-1.9898	-1.9875
1	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2	-2	-2	-1.9982

Lampiran 14 *Output* Simulasi dengan Yang

RS	31JAN2011 - Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31JAN2011- Volume Out Cum: All (m^3)	31JAN2011- Volume In Cum: All (m^3)	28FEB2011- Volume Bed Change Cum: All (m^3)	28FEB2011- Volume Out Cum: All (m^3)	28FEB2011- Volume In Cum: All (m^3)	31MAR2011- Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31MAR2011- Volume Out Cum: All (m^3)	31MAR2011- Volume In Cum: All (m^3)
24	0.07909929	0.1853633	0.2644626	1.076786	3.870366	4.947153	2.102597	6.976104	9.078701
23	-0.05678767	0.242151	0.1853633	0.4354987	3.434868	3.870366	1.147052	5.829051	6.976104
22	-0.4086662	0.6508172	0.242151	-1.765147	5.200015	3.434868	-2.452574	8.281626	5.829051
21	-0.5933686	1.244186	0.6508172	-2.507617	7.707631	5.200015	-3.487624	11.76925	8.281626
20	0.6722891	0.5718967	1.244186	3.221632	4.486	7.707631	4.68527	7.083979	11.76925
19	0.4268659	0.1450308	0.5718967	2.872571	1.613429	4.486	4.508497	2.575482	7.083979
18	0.07849873	0.06653205	0.1450308	0.6850915	0.928337	1.613429	1.149528	1.425954	2.575482
17	0.02908004	0.03745201	0.06653205	0.2999575	0.6283795	0.928337	0.484193	0.9417614	1.425954
16	0.02954455	0.007907456	0.03745201	0.3693758	0.2590037	0.6283795	0.570611	0.3711504	0.9417614
15	0.003188931	0.004718525	0.007907456	0.1346326	0.1243711	0.2590037	0.2070985	0.1640519	0.3711504
14	-0.3054508	0.3101693	0.004718525	-0.2706955	0.3950666	0.1243711	-0.2571163	0.4211682	0.1640519
13	0.3085201	0.001649187	0.3101693	0.2904685	0.1045981	0.3950666	0.2978361	0.1233322	0.4211682
12	0.001124775	0.000524412	0.001649187	0.04981538	0.05478274	0.1045981	0.05746826	0.06586389	0.1233322
11	-0.00134652	0.001870928	0.000524412	0.0261701	0.02861264	0.05478274	0.03158368	0.03428021	0.06586389
10	-0.01645161	0.01832253	0.001870928	-0.01205689	0.04066953	0.02861264	-0.0099181	0.04419832	0.03428021
9	0.009547976	0.00877456	0.01832253	0.02061468	0.02005485	0.04066953	0.02221179	0.02198652	0.04419832
8	0.003024156	0.005750403	0.00877456	0.009764837	0.01029001	0.02005485	0.01057141	0.01141511	0.02198652
7	0.00499952	0.000750883	0.005750403	0.007417715	0.002872299	0.01029001	-0.0048898	0.01630491	0.01141511
6	0.000437073	0.00031381	0.000750883	0.00151676	0.001355539	0.002872299	-1.30869	1.324994	0.01630491
5	4.78778E-05	0.000265933	0.00031381	0.000550413	0.000805126	0.001355539	1.314388	0.0106068	1.324994
4	2.19695E-05	0.000243963	0.000265933	0.000261648	0.000543478	0.000805126	0.005415364	0.005191441	0.0106068
3	9.14817E-05	0.000152481	0.000243963	0.000217914	0.000325564	0.000543478	0.001055189	0.004136252	0.005191441
2	3.6539E-05	0.000115942	0.000152481	-0.03934023	0.0396658	0.000325564	-0.03637139	0.04050764	0.004136252
1	4.35907E-06	0.000111583	0.000115942	0.004111439	0.03555436	0.0396658	0.004204791	0.03630285	0.04050764

Lampiran 14 *Output* Simulasi dengan Yang (Lanjutan)

RS	30APR2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30APR2011-Volume Out Cum: All (m^3)	30APR2011-Volume In Cum: All (m^3)	31MAY2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31MAY2011-Volume Out Cum: All (m^3)	31MAY2011-Volume In Cum: All (m^3)	30JUN2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30JUN2011-Volume Out Cum: All (m^3)	30JUN2011-Volume In Cum: All (m^3)
24	5.425824	22.46281	27.88863	8.432144	35.51223	43.94437	8.86805	37.05886	45.92691
23	4.131562	18.33125	22.46281	6.843983	28.66825	35.51223	7.320655	29.7382	37.05886
22	-3.175999	21.50725	18.33125	-3.313637	31.98188	28.66825	-3.456417	33.19462	29.7382
21	-4.820014	26.32726	21.50725	-5.230853	37.21274	31.98188	-5.403584	38.5982	33.19462
20	7.349626	18.97763	26.32726	8.744516	28.46822	37.21274	8.985944	29.61226	38.5982
19	9.836321	9.141315	18.97763	13.83493	14.63329	28.46822	14.43245	15.17981	29.61226
18	3.18536	5.955954	9.141315	5.019612	9.613681	14.63329	5.30348	9.876327	15.17981
17	1.719887	4.236067	5.955954	2.742871	6.87081	9.613681	2.840278	7.036049	9.876327
16	2.193791	2.042276	4.236067	3.573372	3.297438	6.87081	3.706945	3.329104	7.036049
15	0.9619423	1.080333	2.042276	1.557038	1.7404	3.297438	1.578936	1.750168	3.329104
14	-0.7299501	1.810283	1.080333	-0.5369805	2.277381	1.7404	-0.5331919	2.28336	1.750168
13	0.8320029	0.9782806	1.810283	0.9518949	1.325486	2.277381	0.9529242	1.330436	2.28336
12	0.4219964	0.5562842	0.9782806	0.5360709	0.7894148	1.325486	0.53639	0.7940459	1.330436
11	0.2531589	0.3031253	0.5562842	0.3373405	0.4520743	0.7894148	0.3356913	0.4583545	0.7940459
10	0.09528328	0.2078421	0.3031253	0.02289385	0.4291804	0.4520743	0.02665236	0.4317022	0.4583545
9	0.09061809	0.117224	0.2078421	0.2535062	0.1756742	0.4291804	0.2549368	0.1767654	0.4317022
8	0.02946721	0.08775675	0.117224	0.05777131	0.1179029	0.1756742	0.0583965	0.1183689	0.1767654
7	-0.6462794	0.7340361	0.08775675	-0.6331738	0.7510768	0.1179029	-0.6329214	0.7512903	0.1183689
6	-0.6101803	1.344216	0.7340361	-0.6042361	1.355313	0.7510768	-0.6156861	1.366976	0.7512903
5	1.311154	0.03306228	1.344216	1.314401	0.04091142	1.355313	1.321266	0.04571003	1.366976
4	0.01611619	0.01694609	0.03306228	0.01946499	0.02144643	0.04091142	0.02143533	0.0242747	0.04571003
3	0.007985927	0.008960164	0.01694609	0.01012198	0.01132445	0.02144643	0.01167661	0.01259809	0.0242747
2	-0.0339334	0.04289357	0.008960164	-0.03330795	0.0446324	0.01132445	-0.03254564	0.04514373	0.01259809
1	0.004645196	0.03824837	0.04289357	0.004900589	0.03973181	0.0446324	0.00495082	0.04019291	0.04514373

Lampiran 14 *Output* Simulasi dengan Yang (Lanjutan)

RS	31JUL2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31JUL2011-Volume Out Cum: All (m^3)	31JUL2011-Volume In Cum: All (m^3)	31AUG2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31AUG2011-Volume Out Cum: All (m^3)	31AUG2011-Volume In Cum: All (m^3)	30SEP2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30SEP2011-Volume Out Cum: All (m^3)	30SEP2011-Volume In Cum: All (m^3)
24	18.22186	75.30024	93.5221	21.91774	84.5677	106.4855	33.84917	158.0069	191.8561
23	15.82779	59.47245	75.30024	18.40973	66.15797	84.5677	29.03074	128.9762	158.0069
22	-2.336694	61.80915	59.47245	-2.724515	68.88248	66.15797	-2.406205	131.3824	128.9762
21	-6.775329	68.58447	61.80915	-8.090788	76.97327	68.88248	-13.2134	144.5958	131.3824
20	12.0438	56.54068	68.58447	13.23899	63.73428	76.97327	19.33867	125.2571	144.5958
19	24.80565	31.73503	56.54068	28.50387	35.23042	63.73428	45.88715	79.36995	125.2571
18	10.83987	20.89516	31.73503	12.6767	22.55372	35.23042	24.03518	55.33476	79.36995
17	5.87787	15.01729	20.89516	6.30684	16.24688	22.55372	13.25503	42.07973	55.33476
16	7.87511	7.14218	15.01729	8.973893	7.272985	16.24688	19.14565	22.93407	42.07973
15	3.313893	3.828287	7.14218	3.408455	3.86453	7.272985	3.047739	19.88634	22.93407
14	2.28E-02	3.805447	3.828287	-0.8492059	4.713736	3.86453	4.225702	15.66063	19.88634
13	1.341511	2.463936	3.805447	1.803039	2.910697	4.713736	4.254514	11.40612	15.66063
12	0.2787785	2.185158	2.463936	-0.3105403	3.221237	2.910697	2.393593	9.012525	11.40612
11	0.988245	1.196913	2.185158	1.650344	1.570893	3.221237	3.581865	5.43066	9.012525
10	0.3374884	0.8594244	1.196913	0.5727121	0.9981809	1.570893	1.723223	3.707437	5.43066
9	0.4405344	0.4188899	0.8594244	0.5363074	0.4618735	0.9981809	1.390069	2.317368	3.707437
8	0.1703114	0.2485786	0.4188899	0.2039727	0.2579007	0.4618735	0.8468746	1.470493	2.317368
7	-0.5760729	0.8246515	0.2485786	-0.5688426	0.8267433	0.2579007	-0.1580787	1.628572	1.470493
6	-0.5893787	1.41403	0.8246515	-0.5878233	1.414567	0.8267433	-0.318355	1.946927	1.628572
5	1.34294	0.07109012	1.41403	1.343282	0.07128483	1.414567	1.521374	0.425553	1.946927
4	0.03181106	0.03927907	0.07109012	0.0318869	0.03939793	0.07128483	0.1488688	0.2766842	0.425553
3	0.01815179	0.02112728	0.03927907	0.01817781	0.02122012	0.03939793	0.09731486	0.1793694	0.2766842
2	-0.02896821	0.05009549	0.02112728	-0.02895566	0.05017577	0.02122012	0.02467441	0.154695	0.1793694
1	0.005971605	0.04412389	0.05009549	0.005972456	0.04420331	0.05017577	0.02378576	0.1309092	0.154695

Lampiran 14 *Output* Simulasi dengan Yang (Lanjutan)

RS	31OCT2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31OCT2011-Volume Out Cum: All (m^3)	31OCT2011-Volume In Cum: All (m^3)	30NOV2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30NOV2011-Volume Out Cum: All (m^3)	30NOV2011-Volume In Cum: All (m^3)	31DEC2011-Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31DEC2011-Volume Out Cum: All (m^3)	31DEC2011-Volume In Cum: All (m^3)
24	42.59557	188.8491	231.4447	63.9778	299.2299	363.2077	102.3084	596.7739	699.0823
23	36.45173	152.3974	188.8491	55.55994	243.67	299.2299	85.14424	511.6296	596.7739
22	-2.153725	154.5511	152.3974	-1.525141	245.1951	243.67	-12.89694	524.5266	511.6296
21	-15.24875	169.7999	154.5511	-22.17875	267.3739	245.1951	-72.40668	596.9333	524.5266
20	22.47445	147.3254	169.7999	32.34926	235.0246	267.3739	62.43003	534.5032	596.9333
19	54.39346	92.93194	147.3254	79.78719	155.2374	235.0246	161.4773	373.0259	534.5032
18	29.50603	63.42591	92.93194	48.26775	106.9697	155.2374	100.2713	272.7546	373.0259
17	14.60781	48.8181	63.42591	25.67149	81.2982	106.9697	54.383	218.3716	272.7546
16	24.01406	24.80404	48.8181	39.84328	41.45492	81.2982	60.06853	158.3031	218.3716
15	4.181229	20.62281	24.80404	11.36242	30.0925	41.45492	55.57681	102.7263	158.3031
14	4.106461	16.51635	20.62281	6.027994	24.06451	30.0925	18.87832	83.84794	102.7263
13	-0.2115356	16.72788	16.51635	1.735507	22.329	24.06451	11.27098	72.57696	83.84794
12	5.575241	11.15264	16.72788	6.825875	15.50312	22.329	14.48276	58.0942	72.57696
11	5.088714	6.06393	11.15264	6.640454	8.86267	15.50312	16.04278	42.05142	58.0942
10	2.149184	3.914746	6.06393	2.688256	6.174415	8.86267	9.266936	32.78448	42.05142
9	1.536322	2.378425	3.914746	2.438584	3.735831	6.174415	8.082273	24.70221	32.78448
8	0.8906045	1.48782	2.378425	1.471774	2.264057	3.735831	6.405667	18.29654	24.70221
7	-0.1479721	1.635792	1.48782	0.166964	2.097093	2.264057	3.836983	14.45956	18.29654
6	-0.3147368	1.950529	1.635792	-0.1385577	2.235651	2.097093	2.649722	11.80984	14.45956
5	1.522919	0.4276097	1.950529	1.630711	0.6049398	2.235651	3.779837	8.030001	11.80984
4	0.1495599	0.2780499	0.4276097	0.2148113	0.3901285	0.6049398	1.857689	6.172312	8.030001
3	-1.244036	1.522086	0.2780499	-1.201661	1.591789	0.3901285	0.0824156	6.089896	6.172312
2	1.363548	0.1585381	1.522086	1.390178	0.2016112	1.591789	2.410466	3.67943	6.089896
1	0.02460867	0.1339295	0.1585381	0.03282202	0.1687892	0.2016112	0.4312713	3.248158	3.67943

Lampiran 15 *Output* Simulasi dengan Yang dalam Perubahan Elevasi Dasar

RS	Elevasi Dasar												
	Eksisting	31-Jan-11	28-Feb-11	31-Mar-11	30-Apr-11	31-May-11	30-Jun-11	31-Jul-11	31-Aug-11	30-Sep-11	31-Oct-11	30-Nov-11	31-Dec-11
24	-1.88	-1.88	-1.8793	-1.8786	-1.8764	-1.8744	-1.874	-1.8679	-1.8654	-1.8575	-1.8516	-1.8374	-1.8119
23	-0.47	-0.47	-0.4697	-0.4692	-0.4672	-0.4654	-0.4651	-0.4595	-0.4578	-0.4507	-0.4457	-0.433	-0.4133
22	-0.67	-0.67	-0.67	-0.6715	-0.6715	-0.6715	-0.6715	-0.6715	-0.6715	-0.6711	-0.6711	-0.6706	-0.6787
21	-0.5401	-0.5401	-0.5421	-0.5421	-0.5444	0.5444	-0.5444	-0.5459	-0.5475	-0.5532	-0.5547	-0.5618	-0.6115
20	-0.57	-0.5695	-0.5678	-0.5669	-0.5651	-0.5641	-0.564	-0.562	-0.5612	-0.5571	-0.555	-0.5484	-0.5284
19	-1.8001	-1.7999	-1.7984	-1.7975	-1.7943	-1.7919	-1.7915	-1.7854	-1.7831	-1.7727	-1.7677	-1.7525	-1.7037
18	-1.8099	-1.8099	-1.8095	-1.8092	-1.8078	-1.8067	-1.8065	-1.8029	-1.8017	-1.7944	-1.7908	-1.7787	-1.7451
17	-2.5149	-2.5149	-2.5148	-2.5147	-2.5141	-2.5136	-2.5135	-2.512	-2.5117	-2.5084	-2.5077	-2.5023	-2.4879
16	-1.8401	-1.8401	-1.84	-1.8399	-1.8393	-1.8389	-1.8388	-1.8374	-1.8371	-1.8336	-1.832	-1.8267	-1.8192
15	-1.8501	-1.8501	-1.8501	-1.8501	-1.8498	-1.8496	-1.8496	-1.849	-1.849	-1.8491	-1.8487	-1.8463	-1.8314
14	-1.8599	-1.8599	-1.8599	-1.8599	-1.8599	-1.8599	-1.8599	-1.8599	-1.8599	-1.8578	-1.8578	-1.8566	-1.8505
13	-1.8699	-1.8697	-1.8697	-1.8697	-1.8694	-1.8693	-1.8693	-1.8691	-1.8687	-1.8671	-1.8669	-1.8688	-1.8624
12	-1.88	-1.88	-1.88	-1.88	-1.8798	-1.8798	-1.8798	-1.8796	-1.8796	-1.8789	-1.8788	-1.8767	-1.8732
11	-1.8901	-1.8901	-1.8901	-1.8901	-1.89	-1.8899	-1.8899	-1.8897	-1.8895	-1.8888	-1.8887	-1.8876	-1.8842
10	-1.8971	-1.8971	-1.8971	-1.8971	-1.897	-1.897	-1.897	-1.8969	-1.8968	-1.8962	-1.8961	-1.8955	-1.8922
9	-1.9141	-1.9141	-1.9141	-1.9141	-1.9141	-1.9141	-1.9141	-1.914	-1.914	-1.9136	-1.9136	-1.9133	-1.9112
8	-1.93	-1.93	-1.93	-1.93	-1.93	-1.93	-1.93	-1.9299	-1.9299	-1.9297	-1.9297	-1.9295	-1.9278
7	-1.9401	-1.9401	-1.94	-1.94	-1.94	-1.94	-1.94	-1.9400	-1.9400	-1.94	-1.94	-1.94	-1.9387
6	-1.9501	-1.9501	-1.9501	-1.9501	1.9501	-1.9501	-1.9501	-1.9501	-1.9501	-1.9501	-1.9501	-1.9501	-1.9492
5	-1.9599	-1.9599	-1.9599	-1.9594	-1.9594	-1.9594	-1.9594	-1.9594	-1.9594	-1.9593	-1.9593	-1.9593	-1.9586
4	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9699	-1.9698	-1.9693
3	-1.98	-1.98	-1.98	-1.98	-1.98	-1.98	-1.98	-1.98	-1.98	-1.9799	-1.9799	-1.9799	-1.9799
2	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-1.99	-1.9896	-1.9896	-1.9892
1	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-2.0001	-1.9998

Lampiran 16 *Output* Simulasi 5 Tahun dengan Ackers-White

RS	30JUN2010 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30JUN2010 Volume Out Cum: All (m^3)	30JUN2010 Volume In Cum: All (m^3)	31DEC2010 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31DEC2010 Volume Out Cum: All (m^3)	31DEC2010 Volume In Cum: All (m^3)
24	31.67725	79578.5	79610.18	162.4807	146234	146396.5
23	1104.456	78474.05	79578.5	1249.125	144984.9	146234
22	644.1207	77829.93	78474.05	983.6317	144001.3	144984.9
21	1120.02	76709.91	77829.93	1401.317	142600	144001.3
20	881.386	75828.52	76709.91	834.0064	141766	142600
19	534.3635	75294.16	75828.52	163.5126	141602.5	141766
18	2927.497	72366.66	75294.16	3246.771	138355.7	141602.5
17	2055.787	70310.88	72366.66	1485.808	136869.9	138355.7
16	6833.09	63477.78	70310.88	7215.263	129654.6	136869.9
15	6740.195	56737.59	63477.78	7403.6	122251	129654.6
14	3962.235	52775.35	56737.59	5116.812	117134.2	122251
13	2640.938	50134.41	52775.35	2220.159	114914	117134.2
12	3826.243	46308.17	50134.41	5206.667	109707.4	114914
11	5812.723	40495.45	46308.17	5381.183	104326.2	109707.4
10	3637.52	36857.93	40495.45	4042.278	100283.9	104326.2
9	5022.61	31835.32	36857.93	5845.649	94438.27	100283.9
8	6464.088	25371.23	31835.32	6796.415	87641.85	94438.27
7	4393.685	20977.54	25371.23	4031.791	83610.06	87641.85
6	3601.171	17376.38	20977.54	7426.638	76183.42	83610.06
5	2784.79	14591.58	17376.38	3455.725	72727.7	76183.42
4	2193.028	12398.56	14591.58	7383.606	65344.09	72727.7
3	1812.801	10585.75	12398.56	3174.337	62169.75	65344.09
2	1519.237	9066.518	10585.75	7561.039	54608.72	62169.75
1	630.5619	8435.955	9066.518	911.9878	53696.73	54608.72

Lampiran 16 *Output* Simulasi 5 Tahun dengan Ackers-White (Lanjutan)

RS	30JUN2011 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30JUN2011 Volume Out Cum: All (m^3)	30JUN2011 Volume In Cum: All (m^3)	31DEC2011 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31DEC2011 Volume Out Cum: All (m^3)	31DEC2011 Volume In Cum: All (m^3)
24	27.30054	172641	172668.3	146.8641	224792.2	224939.1
23	1564.924	171076	172641	1576.901	223215.3	224792.2
22	-108.4264	171184.5	171076	-58.43009	223273.8	223215.3
21	1591.656	169592.8	171184.5	1531.863	221741.9	223273.8
20	908.2947	168684.5	169592.8	972.3963	220769.5	221741.9
19	282.5751	168401.9	168684.5	378.6044	220390.9	220769.5
18	3268.655	165133.3	168401.9	3304.109	217086.8	220390.9
17	1493.548	163639.7	165133.3	1774.693	215312.1	217086.8
16	7403.595	156236.1	163639.7	7437.996	207874.1	215312.1
15	7125.628	149110.5	156236.1	6982.843	200891.3	207874.1
14	5275.561	143834.9	149110.5	5230.902	195660.4	200891.3
13	1903.074	141931.9	143834.9	1619.505	194040.8	195660.4
12	5403.36	136528.5	141931.9	5298.264	188742.6	194040.8
11	5031.744	131496.8	136528.5	4426.613	184316	188742.6
10	4163.357	127333.4	131496.8	3886.539	180429.4	184316
9	5695.679	121637.7	127333.4	5019.665	175409.8	180429.4
8	6870.568	114767.2	121637.7	6709.846	168699.9	175409.8
7	4060.778	110706.4	114767.2	4009.126	164690.8	168699.9
6	7438.512	103267.9	110706.4	7419.526	157271.3	164690.8
5	3454.45	99813.41	103267.9	3458.562	153812.7	157271.3
4	7382.303	92431.12	99813.41	7267.861	146544.8	153812.7
3	1653.483	90777.63	92431.12	943.6683	145601.2	146544.8
2	7922.598	82855.03	90777.63	7599.108	138002.1	145601.2
1	951.7787	81903.26	82855.03	933.6579	137068.4	138002.1

Lampiran 16 *Output* Simulasi 5 Tahun dengan Ackers-White (Lanjutan)

RS	30JUN2012 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30JUN2012 Volume Out Cum: All (m^3)	30JUN2012 Volume In Cum: All (m^3)	31DEC2012 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31DEC2012 Volume Out Cum: All (m^3)	31DEC2012 Volume In Cum: All (m^3)
24	92.21578	373166.7	373258.9	183.7809	385854.7	386038.5
23	1410.935	371755.8	373166.7	1471.979	384382.8	385854.7
22	-137.8033	371893.6	371755.8	-116.8252	384499.6	384382.8
21	1404.268	370489.3	371893.6	1409.619	383089.9	384499.6
20	738.6507	369750.7	370489.3	764.158	382325.8	383089.9
19	169.6541	369581	369750.7	259.3534	382066.4	382325.8
18	3263.773	366317.3	369581	3284.628	378781.8	382066.4
17	1588.128	364729.1	366317.3	1726.053	377055.8	378781.8
16	7086.106	357643	364729.1	7201.158	369854.6	377055.8
15	6755.222	350887.8	357643	6795.529	363059.1	369854.6
14	5153.419	345734.4	350887.8	5074.136	357984.9	363059.1
13	1503.854	344230.5	345734.4	1472.681	356512.3	357984.9
12	5267.737	338962.8	344230.5	5136.991	351375.3	356512.3
11	4218.354	334744.4	338962.8	3974.376	347400.9	351375.3
10	3868.327	330876.1	334744.4	3603.276	343797.6	347400.9
9	5106.131	325770	330876.1	4728.551	339069.1	343797.6
8	6877.554	318892.4	325770	6710.05	332359	339069.1
7	4028.369	314864	318892.4	3988.818	328370.2	332359
6	7508.353	307355.7	314864	7439.451	320930.8	328370.2
5	3464.042	303891.6	307355.7	3443.034	317487.7	320930.8
4	7259.222	296632.4	303891.6	7255.258	310232.4	317487.7
3	926.1709	295706.3	296632.4	873.2461	309359.2	310232.4
2	8103.71	287602.5	295706.3	7628.832	301730.4	309359.2
1	931.9188	286670.6	287602.5	890.4637	300839.9	301730.4

Lampiran 16 *Output* Simulasi 5 Tahun dengan Ackers-White (Lanjutan)

RS	30JUN2013 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30JUN2013 Volume Out Cum: All (m^3)	30JUN2013 Volume In Cum: All (m^3)	31DEC2013 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31DEC2013 Volume Out Cum: All (m^3)	31DEC2013 Volume In Cum: All (m^3)
24	136.2493	599574.6	599710.9	89.2774	628594.4	628683.7
23	1603.092	597971.5	599574.6	1854.625	626739.8	628594.4
22	221.3061	597750.2	597971.5	57.78876	626682	626739.8
21	1075.577	596674.6	597750.2	1149.483	625532.5	626682
20	378.4963	596296.1	596674.6	417.2383	625115.3	625532.5
19	311.0357	595985.1	596296.1	336.1894	624779.1	625115.3
18	3268.278	592716.8	595985.1	3274.976	621504.1	624779.1
17	2039.473	590677.3	592716.8	1919.83	619584.3	621504.1
16	6723.822	583953.5	590677.3	6672.549	612911.8	619584.3
15	6511.052	577442.4	583953.5	6468.526	606443.2	612911.8
14	5289.73	572152.8	577442.4	5110.31	601332.9	606443.2
13	1090.204	571062.6	572152.8	1067.332	600265.6	601332.9
12	5260.183	565802.4	571062.6	5161.429	595104.1	600265.6
11	3415.927	562386.4	565802.4	3413.836	591690.3	595104.1
10	3353.448	559033	562386.4	3254.51	588435.8	591690.3
9	4745.397	554287.6	559033	4558.057	583877.8	588435.8
8	6900.132	547387.4	554287.6	6820.735	577057	583877.8
7	3948.684	543438.8	547387.4	3981.778	573075.3	577057
6	7552.017	535886.8	543438.8	7527.847	565547.4	573075.3
5	3368.57	532518.2	535886.8	3283.809	562263.6	565547.4
4	7245.194	525273	532518.2	7242.873	555020.7	562263.6
3	813.1404	524459.8	525273	800.7464	554219.9	555020.7
2	8531.066	515928.8	524459.8	8422.121	545797.8	554219.9
1	903.1137	515025.7	515928.8	884.995	544912.8	545797.8

Lampiran 16 *Output* Simulasi 5 Tahun dengan Ackers-White (Lanjutan)

RS	30JUN2014 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30JUN2014 Volume Out Cum: All (m^3)	30JUN2014 Volume In Cum: All (m^3)	31DEC2014 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31DEC2014 Volume Out Cum: All (m^3)	31DEC2014 Volume In Cum: All (m^3)
24	76.20861	797193.7	797269.9	145.8867	846799.9	846945.9
23	1519.692	795674	797193.7	1572.972	845227	846799.9
22	-56.95928	795731	795674	104.0899	845122.9	845227
21	1086.578	794644.4	795731	1189.154	843933.8	845122.9
20	331.6844	794312.8	794644.4	341.8178	843591.9	843933.8
19	388.702	793924	794312.8	558.3607	843033.6	843591.9
18	3267.257	790656.8	793924	3286.345	839747.3	843033.6
17	2472.663	788184.1	790656.8	2629.521	837117.7	839747.3
16	6561.592	781622.5	788184.1	6752.921	830364.8	837117.7
15	6465.184	775157.3	781622.5	6632.056	823732.8	830364.8
14	5083.442	770073.9	775157.3	5309.224	818423.5	823732.8
13	1009.609	769064.3	770073.9	1057.745	817365.8	818423.5
12	5152.88	763911.4	769064.3	5158.167	812207.6	817365.8
11	3392.017	760519.4	763911.4	3383.614	808824	812207.6
10	2855.821	757663.6	760519.4	2835.753	805988.3	808824
9	4339.424	753324.1	757663.6	4173.57	801814.7	805988.3
8	6935.075	746389.1	753324.1	6901.904	794912.8	801814.7
7	3933.223	742455.8	746389.1	3950.984	790961.8	794912.8
6	7565.952	734889.9	742455.8	7512.918	783448.9	790961.8
5	3270.642	731619.3	734889.9	3295.602	780153.3	783448.9
4	7234.502	724384.8	731619.3	6882.777	773270.5	780153.3
3	755.8939	723628.8	724384.8	844.4291	772426.1	773270.5
2	9647.541	713981.3	723628.8	10382.19	762043.9	772426.1
1	914.2544	713067.1	713981.3	916.5952	761127.3	762043.9

Lampiran 17 *Output* Simulasi 5 Tahun dengan Rumus Angkutan Laursen-Copeland

RS	30JUN2010 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30JUN2010 Volume Out Cum: All (m^3)	30JUN2010 Volume In Cum: All (m^3)	31DEC2010 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31DEC2010 Volume Out Cum: All (m^3)	31DEC2010 Volume In Cum: All (m^3)
24	244.3976	4720.145	4964.542	180.2483	12847.72	13027.97
23	402.5194	4317.625	4720.145	783.8474	12063.87	12847.72
22	-235.56	4553.186	4317.625	-347.4181	12411.29	12063.87
21	-625.4206	5178.606	4553.186	-422.277	12833.57	12411.29
20	143.7215	5034.885	5178.606	100.736	12732.83	12833.57
19	853.8154	4181.069	5034.885	1130.351	11602.48	12732.83
18	809.1294	3371.94	4181.069	1646.765	9955.714	11602.48
17	475.4433	2896.497	3371.94	1149.649	8806.065	9955.714
16	741.1099	2155.387	2896.497	2011.391	6794.674	8806.065
15	414.9481	1740.439	2155.387	1191.483	5603.191	6794.674
14	139.5306	1600.908	1740.439	485.6577	5117.534	5603.191
13	112.4848	1488.423	1600.908	369.4915	4748.042	5117.534
12	115.8579	1372.565	1488.423	422.1317	4325.911	4748.042
11	145.5252	1227.04	1372.565	478.5329	3847.378	4325.911
10	98.35125	1128.689	1227.04	373.4258	3473.952	3847.378
9	114.9303	1013.758	1128.689	386.2749	3087.677	3473.952
8	127.6515	886.1069	1013.758	404.9087	2682.768	3087.677
7	101.9616	784.1453	886.1069	332.2007	2350.567	2682.768
6	84.36735	699.778	784.1453	274.6469	2075.92	2350.567
5	71.7201	628.0579	699.778	230.88	1845.04	2075.92
4	62.08873	565.9691	628.0579	191.9945	1653.046	1845.04
3	56.57196	509.3972	565.9691	168.1824	1484.864	1653.046
2	51.13007	458.2671	509.3972	147.9261	1336.937	1484.864
1	22.7039	435.5632	458.2671	63.20491	1273.732	1336.937

Lampiran 17 *Output* Simulasi 5 Tahun dengan Rumus Angkutan Laursen-Copeland (Lanjutan)

RS	30JUN2011 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30JUN2011 Volume Out Cum: All (m^3)	30JUN2011 Volume In Cum: All (m^3)	31DEC2011 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31DEC2011 Volume Out Cum: All (m^3)	31DEC2011 Volume In Cum: All (m^3)
24	501.8113	17433.11	17934.92	1049.796	28003.84	29053.63
23	1108.379	16324.73	17433.11	759.3472	27244.49	28003.84
22	-378.5432	16703.28	16324.73	-76.57013	27321.06	27244.49
21	545.0337	16158.24	16703.28	-34.26563	27355.32	27321.06
20	811.0939	15347.15	16158.24	771.6245	26583.7	27355.32
19	1780.003	13567.15	15347.15	1664.997	24918.7	26583.7
18	2491.033	11076.11	13567.15	2507.713	22410.99	24918.7
17	1437.171	9638.942	11076.11	2361.476	20049.51	22410.99
16	2532.762	7106.18	9638.942	6066.194	13983.32	20049.51
15	1337.282	5768.899	7106.18	2937.722	11045.6	13983.32
14	532.6633	5236.235	5768.899	1750.169	9295.428	11045.6
13	400.6285	4835.607	5236.235	1228.188	8067.24	9295.428
12	449.2019	4386.405	4835.607	1159.059	6908.18	8067.24
11	500.2739	3886.131	4386.405	1113.034	5795.146	6908.18
10	387.021	3499.11	3886.131	829.3167	4965.829	5795.146
9	395.9137	3103.196	3499.11	745.0092	4220.82	4965.829
8	411.7762	2691.42	3103.196	708.41	3512.41	4220.82
7	335.9641	2355.456	2691.42	545.1144	2967.296	3512.41
6	276.7354	2078.72	2355.456	428.0777	2539.218	2967.296
5	232.0472	1846.673	2078.72	343.3365	2195.882	2539.218
4	192.6486	1654.025	1846.673	274.778	1921.104	2195.882
3	168.5675	1485.457	1654.025	231.7793	1689.324	1921.104
2	148.1062	1337.351	1485.457	196.5267	1492.797	1689.324
1	63.24545	1274.106	1337.351	81.45654	1411.341	1492.797

Lampiran 17 *Output* Simulasi 5 Tahun dengan Rumus Angkutan Laursen-Copeland (Lanjutan)

RS	30JUN2012 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30JUN2012 Volume Out Cum: All (m^3)	30JUN2012 Volume In Cum: All (m^3)	31DEC2012 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31DEC2012 Volume Out Cum: All (m^3)	31DEC2012 Volume In Cum: All (m^3)
24	1603.312	45393.57	46996.89	1896.015	48761.14	50657.16
23	879.9601	44513.61	45393.57	734.9389	48026.2	48761.14
22	148.1111	44365.5	44513.61	372.9706	47653.23	48026.2
21	288.772	44076.73	44365.5	80.60294	47572.63	47653.23
20	839.264	43237.46	44076.73	796.3614	46776.27	47572.63
19	1731.659	41505.8	43237.46	1666.476	45109.79	46776.27
18	2405.716	39100.09	41505.8	2422.401	42687.39	45109.79
17	2647.557	36452.54	39100.09	2480.738	40206.65	42687.39
16	5599.51	30853.02	36452.54	6004.835	34201.82	40206.65
15	5131.408	25721.62	30853.02	5124.847	29076.97	34201.82
14	3681.482	22040.13	25721.62	3821.312	25255.66	29076.97
13	2248.944	19791.19	22040.13	2131.578	23124.08	25255.66
12	3256.547	16534.64	19791.19	3780.423	19343.66	23124.08
11	3187.494	13347.15	16534.64	3688.095	15655.56	19343.66
10	2531.725	10815.42	13347.15	3065.598	12589.97	15655.56
9	2059.092	8756.331	10815.42	2440.749	10149.22	12589.97
8	1943.231	6813.101	8756.331	2358.171	7791.047	10149.22
7	1404.156	5408.944	6813.101	1683.239	6107.808	7791.047
6	1048.68	4360.264	5408.944	1246.821	4860.987	6107.808
5	796.5436	3563.721	4360.264	937.2489	3923.738	4860.987
4	606.1755	2957.545	3563.721	705.6512	3218.087	3923.738
3	484.0462	2473.499	2957.545	556.9704	2661.117	3218.087
2	388.6808	2084.818	2473.499	442.0073	2219.109	2661.117
1	152.9689	1931.849	2084.818	171.935	2047.174	2219.109

Lampiran 17 *Output* Simulasi 5 Tahun dengan Rumus Angkutan Laursen-Copeland (Lanjutan)

RS	30JUN2013 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30JUN2013 Volume Out Cum: All (m^3)	30JUN2013 Volume In Cum: All (m^3)	31DEC2013 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31DEC2013 Volume Out Cum: All (m^3)	31DEC2013 Volume In Cum: All (m^3)
24	1873.906	75794.72	77668.63	2006.214	85232.97	87239.19
23	645.3713	75149.35	75794.72	746.2524	84486.72	85232.97
22	-543.9175	75693.27	75149.35	-681.7418	85168.46	84486.72
21	174.3228	75518.95	75693.27	574.892	84593.57	85168.46
20	-75.66636	75594.61	75518.95	-166.6829	84760.25	84593.57
19	1435.172	74159.44	75594.61	2279.323	82480.93	84760.25
18	2077.016	72082.42	74159.44	2280.418	80200.51	82480.93
17	3257.243	68825.18	72082.42	4278.96	75921.55	80200.51
16	5592.313	63232.87	68825.18	5680.057	70241.49	75921.55
15	4754.618	58478.25	63232.87	4476.422	65765.07	70241.49
14	3950.353	54527.9	58478.25	4158.137	61606.93	65765.07
13	1949.768	52578.13	54527.9	1820.437	59786.5	61606.93
12	3942.451	48635.68	52578.13	4133.25	55653.25	59786.5
11	4326.577	44309.1	48635.68	4774.806	50878.44	55653.25
10	3047.215	41261.89	44309.1	3077.121	47801.32	50878.44
9	4639.394	36622.49	41261.89	5055.096	42746.22	47801.32
8	5660.867	30961.63	36622.49	5791.152	36955.07	42746.22
7	4194.38	26767.25	30961.63	5030.237	31924.83	36955.07
6	4091.807	22675.44	26767.25	5312.931	26611.9	31924.83
5	3241.076	19434.36	22675.44	4145.502	22466.4	26611.9
4	2618.177	16816.19	19434.36	3364.739	19101.66	22466.4
3	2187.052	14629.13	16816.19	2755.78	16345.88	19101.66
2	1855.652	12773.48	14629.13	2300.186	14045.7	16345.88
1	754.4914	12018.99	12773.48	909.0416	13136.66	14045.7

Lampiran 17 *Output* Simulasi 5 Tahun dengan Rumus Angkutan Laursen-Copeland (Lanjutan)

RS	30JUN2014 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30JUN2014 Volume Out Cum: All (m^3)	30JUN2014 Volume In Cum: All (m^3)	31DEC2014 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31DEC2014 Volume Out Cum: All (m^3)	31DEC2014 Volume In Cum: All (m^3)
24	2182.712	110955.2	113137.9	2392.473	124091.3	126483.8
23	678.4406	110276.8	110955.2	665.8932	123425.4	124091.3
22	-378.5075	110655.3	110276.8	-347.9416	123773.4	123425.4
21	608.2832	110047	110655.3	563.5582	123209.8	123773.4
20	-55.93013	110102.9	110047	-36.28945	123246.1	123209.8
19	2739.357	107363.6	110102.9	3191.775	120054.3	123246.1
18	1759.539	105604	107363.6	1687.825	118366.5	120054.3
17	4858.566	100745.5	105604	5937.237	112429.3	118366.5
16	6059.313	94686.16	100745.5	5051.214	107378.1	112429.3
15	5418.331	89267.83	94686.16	6674.777	100703.3	107378.1
14	3750.039	85517.79	89267.83	2843.742	97859.55	100703.3
13	2089.962	83427.83	85517.79	1926.365	95933.19	97859.55
12	3363.765	80064.06	83427.83	3133.628	92799.55	95933.19
11	5003.406	75060.66	80064.06	5285.286	87514.27	92799.55
10	2879.078	72181.58	75060.66	2579.303	84934.97	87514.27
9	5820.828	66360.75	72181.58	6202.089	78732.88	84934.97
8	5543.815	60816.94	66360.75	5437.693	73295.19	78732.88
7	5653.689	55163.25	60816.94	5752.089	67543.09	73295.19
6	6029.151	49134.09	55163.25	6187.396	61355.7	67543.09
5	5562.133	43571.96	49134.09	5459.616	55896.09	61355.7
4	5484.944	38087.02	43571.96	5417.333	50478.75	55896.09
3	5233.606	32853.41	38087.02	5284.022	45194.73	50478.75
2	5340.249	27513.16	32853.41	5918.326	39276.4	45194.73
1	1950.764	25562.4	27513.16	2446.48	36829.92	39276.4

Lampiran 18 *Output* Simulasi 5 Tahun dengan Rumus Angkutan Yang

RS	30JUN2010 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30JUN2010 Volume Out Cum: All (m^3)	30JUN2010 Volume In Cum: All (m^3)	31DEC2010 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31DEC2010 Volume Out Cum: All (m^3)	31DEC2010 Volume In Cum: All (m^3)
24	90.57814	879.6507	970.2289	229.0135	2583.282	2812.296
23	36.45966	843.191	879.6507	77.55013	2505.732	2583.282
22	-209.5276	1052.719	843.191	-301.0582	2806.79	2505.732
21	-137.7631	1190.482	1052.719	-405.0844	3211.875	2806.79
20	27.96369	1162.518	1190.482	43.60371	3168.271	3211.875
19	251.9634	910.5547	1162.518	524.6638	2643.607	3168.271
18	264.412	646.1427	910.5547	682.4032	1961.204	2643.607
17	107.0146	539.1281	646.1427	284.2576	1676.946	1961.204
16	125.9716	413.1565	539.1281	365.0023	1311.944	1676.946
15	73.45627	339.7002	413.1565	214.8991	1097.045	1311.944
14	27.66287	312.0373	339.7002	45.57684	1051.468	1097.045
13	17.50088	294.5364	312.0373	80.06853	971.3996	1051.468
12	31.22297	263.3135	294.5364	101.3798	870.0197	971.3996
11	34.44606	228.8674	263.3135	107.1054	762.9143	870.0197
10	24.27934	204.5881	228.8674	78.38	684.5343	762.9143
9	26.63484	177.9532	204.5881	82.85071	601.6836	684.5343
8	26.56633	151.3869	177.9532	83.95703	517.7266	601.6836
7	20.26261	131.1243	151.3869	66.89972	450.8268	517.7266
6	17.06786	114.0564	131.1243	57.01567	393.8112	450.8268
5	14.49128	99.56515	114.0564	48.42568	345.3855	393.8112
4	12.32544	87.23971	99.56515	41.51285	303.8727	345.3855
3	11.00823	76.23148	87.23971	36.91655	266.9561	303.8727
2	8.053423	68.17805	76.23148	31.01055	235.9455	266.9561
1	2.209855	65.9682	68.17805	12.42672	223.5188	235.9455

Lampiran 18 *Output* Simulasi 5 Tahun dengan Rumus Angkutan Yang (Lanjutan)

RS	30JUN2011 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30JUN2011 Volume Out Cum: All (m^3)	30JUN2011 Volume In Cum: All (m^3)	31DEC2011 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31DEC2011 Volume Out Cum: All (m^3)	31DEC2011 Volume In Cum: All (m^3)
24	274.1721	2760.614	3034.786	738.6396	6010.806	6749.446
23	121.8534	2638.76	2760.614	725.7825	5285.023	6010.806
22	-286.077	2924.837	2638.76	-165.763	5450.787	5285.023
21	-399.1227	3323.96	2924.837	-153.7725	5604.559	5450.787
20	64.84364	3259.116	3323.96	409.3521	5195.207	5604.559
19	546.4684	2712.648	3259.116	887.3617	4307.845	5195.207
18	706.4671	2006.181	2712.648	1120.111	3187.735	4307.845
17	296.3628	1709.818	2006.181	523.8734	2663.861	3187.735
16	382.9848	1326.833	1709.818	743.3692	1920.492	2663.861
15	222.0065	1104.827	1326.833	396.9304	1523.562	1920.492
14	45.72259	1059.104	1104.827	43.03283	1480.529	1523.562
13	82.12579	976.9785	1059.104	180.9472	1299.582	1480.529
12	102.0735	874.905	976.9785	176.203	1123.379	1299.582
11	109.8174	765.0876	874.905	170.7957	952.5828	1123.379
10	78.84774	686.2399	765.0876	119.5535	833.0294	952.5828
9	83.64371	602.5962	686.2399	116.3393	716.6901	833.0294
8	84.42089	518.1753	602.5962	113.1538	603.5363	716.6901
7	67.10115	451.0741	518.1753	87.84117	515.6951	603.5363
6	57.11704	393.9571	451.0741	71.09237	444.6028	515.6951
5	48.43797	345.5191	393.9571	60.48303	384.1197	444.6028
4	41.58144	303.9377	345.5191	50.61229	333.5074	384.1197
3	36.81526	267.1224	303.9377	43.76139	289.746	333.5074
2	31.05885	236.0636	267.1224	36.47484	253.2712	289.746
1	12.37273	223.6908	236.0636	14.43787	238.8333	253.2712

Lampiran 18 *Output* Simulasi 5 Tahun dengan Rumus Angkutan Yang (Lanjutan)

RS	30JUN2012 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30JUN2012 Volume Out Cum: All (m^3)	30JUN2012 Volume In Cum: All (m^3)	31DEC2012 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31DEC2012 Volume Out Cum: All (m^3)	31DEC2012 Volume In Cum: All (m^3)
24	1007.623	11656.4	12664.02	1091.348	12401.66	13493.01
23	327.7698	11328.63	11656.4	367.5714	12034.09	12401.66
22	-268.5663	11597.2	11328.63	-260.4606	12294.55	12034.09
21	-257.2397	11854.44	11597.2	-218.7338	12513.28	12294.55
20	237.5579	11616.88	11854.44	258.9541	12254.33	12513.28
19	1144.924	10471.96	11616.88	1179.055	11075.28	12254.33
18	2195.106	8276.85	10471.96	2248.547	8826.729	11075.28
17	1276.03	7000.82	8276.85	1363.853	7462.876	8826.729
16	2195.143	4805.677	7000.82	2364.142	5098.734	7462.876
15	1198.672	3607.005	4805.677	1284.006	3814.728	5098.734
14	391.0669	3215.938	3607.005	428.065	3386.663	3814.728
13	448.4438	2767.494	3215.938	476.1078	2910.555	3386.663
12	438.4527	2329.042	2767.494	466.583	2443.972	2910.555
11	413.3957	1915.646	2329.042	439.678	2004.294	2443.972
10	314.94	1600.706	1915.646	334.8879	1669.406	2004.294
9	285.3421	1315.364	1600.706	302.0659	1367.34	1669.406
8	262.465	1052.899	1315.364	276.9965	1090.344	1367.34
7	197.9308	854.968	1052.899	208.3082	882.0353	1090.344
6	152.8409	702.1271	854.968	160.2817	721.7537	882.0353
5	121.8566	580.2704	702.1271	127.2262	594.5275	721.7537
4	90.27839	489.9921	580.2704	94.11845	500.409	594.5275
3	82.48952	407.5026	489.9921	85.34302	415.066	500.409
2	65.56496	341.9376	407.5026	67.66969	347.3963	415.066
1	25.28996	316.6476	341.9376	26.05137	321.3449	347.3963

Lampiran 18 *Output* Simulasi 5 Tahun dengan Rumus Angkutan Yang (Lanjutan)

RS	30JUN2013 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30JUN2013 Volume Out Cum: All (m^3)	30JUN2013 Volume In Cum: All (m^3)	31DEC2013 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31DEC2013 Volume Out Cum: All (m^3)	31DEC2013 Volume In Cum: All (m^3)
24	1607.656	21749.89	23357.54	1796.546	23680.38	25476.93
23	271.7231	21478.17	21749.89	360.9289	23319.45	23680.38
22	-50.33373	21528.5	21478.17	50.16076	23269.29	23319.45
21	-195.1246	21723.62	21528.5	-115.5301	23384.82	23269.29
20	234.7422	21488.88	21723.62	318.0027	23066.82	23384.82
19	1119.104	20369.78	21488.88	1159.01	21907.81	23066.82
18	1815.073	18554.71	20369.78	1882.387	20025.42	21907.81
17	1533.724	17020.98	18554.71	1704.29	18321.13	20025.42
16	4665.134	12355.85	17020.98	5043.301	13277.83	18321.13
15	2297.941	10057.91	12355.85	2499.327	10778.5	13277.83
14	873.4227	9184.482	10057.91	1002.078	9776.426	10778.5
13	849.8351	8334.647	9184.482	931.1115	8845.314	9776.426
12	930.2442	7404.403	8334.647	1019.113	7826.201	8845.314
11	869.9097	6534.493	7404.403	955.0361	6871.165	7826.201
10	748.8517	5785.642	6534.493	817.6345	6053.531	6871.165
9	685.7833	5099.858	5785.642	65.4475	5988.083	6053.531
8	711.8213	4388.037	5099.858	1242.007	4746.076	5988.083
7	531.2394	3856.797	4388.037	708.5881	4037.488	4746.076
6	471.5802	3385.217	3856.797	543.1318	3494.356	4037.488
5	388.6952	2996.522	3385.217	422.939	3071.417	3494.356
4	316.1157	2680.406	2996.522	336.0348	2735.382	3071.417
3	281.2274	2399.179	2680.406	294.943	2440.439	2735.382
2	250.5775	2148.602	2399.179	260.7042	2179.735	2440.439
1	49.96362	2098.638	2148.602	18.35629	2161.379	2179.735

Lampiran 18 *Output* Simulasi 5 Tahun dengan Rumus Angkutan Yang (Lanjutan)

RS	30JUN2014 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	30JUN2014 Volume Out Cum: All (m^3)	30JUN2014 Volume In Cum: All (m^3)	31DEC2014 Volume Bed Change Cum: All (m^3)	31DEC2014 Volume Out Cum: All (m^3)	31DEC2014 Volume In Cum: All (m^3)
24	2233.382	32405.58	34638.96	2457.871	36228.92	38686.79
23	241.4275	32164.15	32405.58	259.6424	35969.28	36228.92
22	141.2149	32022.94	32164.15	194.2992	35774.98	35969.28
21	-48.41093	32071.35	32022.94	24.5683	35750.41	35774.98
20	379.908	31691.44	32071.35	427.0791	35323.34	35750.41
19	1196.847	30494.59	31691.44	1130.677	34192.66	35323.34
18	1799.938	28694.66	30494.59	1736.64	32456.02	34192.66
17	1610.047	27084.61	28694.66	1746.177	30709.84	32456.02
16	5529.773	21554.84	27084.61	5589.98	25119.86	30709.84
15	3372.179	18182.66	21554.84	3922.613	21197.25	25119.86
14	2366.034	15816.62	18182.66	2743.537	18453.71	21197.25
13	1376.014	14440.61	15816.62	1678.548	16775.16	18453.71
12	1752.82	12687.79	14440.61	2124.943	14650.22	16775.16
11	1702.644	10985.14	12687.79	2041.949	12608.27	14650.22
10	1442.83	9542.314	10985.14	1749.893	10858.38	12608.27
9	576.7769	8965.538	9542.314	803.5198	10054.86	10858.38
8	1818.288	7147.25	8965.538	2078.576	7976.282	10054.86
7	1123.849	6023.401	7147.25	1300.634	6675.648	7976.282
6	867.7568	5155.644	6023.401	1010.039	5665.609	6675.648
5	709.8241	4445.82	5155.644	820.2877	4845.322	5665.609
4	567.543	3878.277	4445.82	652.5781	4192.744	4845.322
3	477.865	3400.412	3878.277	544.5306	3648.213	4192.744
2	428.5611	2971.851	3400.412	479.2892	3168.924	3648.213
1	84.22165	2887.629	2971.851	106.221	3062.703	3168.924

BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di Pasuruan pada tanggal 18 April 1992, merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Aisiyah Bustanul Athfal Pandaan, SD Maarif NU Pandaan, SMP Maarif NU Pandaan, dan SMAN 1 Pandaan. Setelah lulus dari jenjang pendidikan SMA pada tahun 2010, penulis mendaftar program Beasiswa Bidik Misi dan diterima di Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun 2010 dan terdaftar dengan NRP 3110100080.

Di Jurusan Teknik Sipil ini, penulis mengambil judul Tugas Akhir di bidang Hidroteknik. Selama masa perkuliahan, penulis aktif di kegiatan kemahasiswaan di Himpunan Mahasiswa Sipil, sebagai staf Departemen Khusus periode 2011-2012 dan sebagai sekretaris Departemen Sosial Masyarakat periode 2012-2013 , di Lembaga Dakwah Jurusan Al Hadiid sebagai koordinator putri Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa Muslim periode 2012-2013 dan di Jamaah Masjid Manarul Ilmi sebagai koordinator putri Departemen Syiar periode 2013-2014.

Berkenaan dengan penyusunan TA ini, pembaca dapat menghubungi penulis melalui *email* mega.afriandini@gmail.com dan melalui akun twitter @Mega_Afriandini.