



SEDIMENTASI AKIBAT PASANG SURUT DI KALI SEMARANG

OLEH:

1. IR. AL-FALAH MSc.
2. IR. SRIYANA MS.
3. IR. SUGIYANTO MEng.
4. IR. SURIPIN MEng.
5. IR. PRANOTO SA. DIPL. HE

**FAKULTAS: TEKNIK
UNIVERSITAS DIPONEGORAO**

DIBIAYAI DENGAN DANA PROYEK OPERASI DAN PERAWATAN FASILITAS
UNIVERSITAS DIPONEGORO, NOMOR: 201/XXIII/3-/1994
TANGGAL 28 MARET 1994

LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN

LAPORAN AKHIR HASIL PENELITIAN

1. a. Judul Penelitian : Sedimentasi Akibat Pasang Surut Di Kali Semarang
- b. Macam Penelitian : Terapan
2. Kepala Proyek Penelitian :
 - a. Nama lengkap dengan Gelar : Ir. Al-Falah MSc
 - b. Jenis Kelamin : Laki-laki
 - c. Pangkat/Golongan dan NIP : Penata Muda / IIIa Dan 131 668 506
 - d. Jabatab sekarang : Asisten Ahli
 - e. Fakultas / Jurusan : Teknik / Sipil
 - f. Universitas : Diponegoro
 - g. Bidang Ilmu yang diteliti : II
3. Jumlah Tim Peneliti : 5 Orang
4. Lokasi Penelitian : Kali Semarang
5. Bila Penelitian ini merupakan peningkatan kerjasama kelembagaan sebutkan:
 - a. Nama Instansi : -
 - b. Alamat : -
6. Jangka waktu penelitian : 6 bulan
7. Biaya yang diperlukan : Rp 1.500.000,-
8. Dibiayai melalui Proyek : Operasi dan Perawatan Fasilitas UNDIP No.: 201/XXIII/3/-/1994

Semarang, 23 Febuari 1995

Kepala Proyek
Penelitian

Ir. Al-Falah MSc.
NIP. 131 668 506



Prof. Ir. Eko Budihardjo MSc.
NIP. 130 354 860



Mengetahui:
Ketua Lembaga
Penelitian UNDIP

Prof. R. Boedhi Darmojo

RINGKASAN

Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung laju sedimen yang diakibatkan adanya pasang-surut air laut.

Besarnya laju sedimen tergantung dari selisih konsentrasi sedimen pada saat air pasang (air masuk ke saluran) dan surut (air keluar ke laut) serta jumlah volume air laut yang masuk kedalam saluran.

Untuk menghitung konsentrasi sedimen dilakukan dengan cara mengambil contoh air dengan interval waktu tertentu selama minimal satu periode pasang surut, kemudian dilakukan analisa di laboratorium.

Sedangkan untuk menghitung volume air yang masuk kedalam saluran diperlukan data-data pasang-surut selama periode tertentu dan data hidrolis saluran.

Dari data tersebut dapat dianalisa dengan perhitungan hidrolis, sehingga volume air laut yang masuk ke saluran selama periode tertentu dapat diketahui.

ABSTRACT

~~Goal of this research is to calculate the sediment rate due to the influence of tidal movement.~~

The magnitude of sediment rate is depend on the differences of sediment concentration during flood and ebb period and total volume of sea water entering to the channel.

To calculate the sediment concentration, some water sample is taken within certain interval during one tidal period minimum and than will be analyzed in the laboratory.

To calculate volume of sea water entering to the channel is required the tidal data and hydraulic data of the channel.

Based on this data can be analyzed with hydraulic calculation, so volume sea water entering to the channel within certain period can be known.

KATA PENGANTAR

Bersama ini kami atas nama Tim Penelitian Sedimentasi Akibat Pasang Surut Di Kali Semarang yang terdiri dari:

- Ir. Al-Falh MSc.
- Ir. Sriyana MS
- Ir Sugiyanto MEng.
- Ir. Suripin MEng.
- Ir. Pranoto SA. Dipl. HE.

mengucapkan terimakasih kepada Prof. dr. R. Boedhi Darmojo, Ketua Lembaga Penelitian UNDIP dan Prof. Ir. Eko Budihardjo MSc., Dekan Fakultas Teknik Undip atas kesempatan yang telah diberikan kepada kami untuk mengadakan penelitian tentang Sedimentasi Akibat Pasang Surut Di Kali Semarang yang dibiayai dengan dana Proyek Operasi Dan Perawatan Fasilitas Universitas Diponegoro, Nomor: 201/XXIII/3-/1994, tanggal 28 Maret 1994.

Semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi Pemerintah Daerah Kotamadya Semarang dalam rangka penanggulangan banjir Kota Semarang

Ketua Tim Peneliti



Ir. Al-Falah MSc.
NIP. 131 668 506

DAFTAR ISI

Ringkasan / Abstract	i
Kata Pengantar	ii
Daftar Isi	iii
Daftar Tabel	iv
Daftar Gambar	v
I. Pendahuluan	1
II. Tinjauan Pustaka	3
III. Tujuan Dan Manfaat Penelitian	4
IV. Metode Penelitian	4
V. Hasil Dan Pembahasan	5
5.1 Data-Data Yang Ada	
5.2 Dasar Teori Yang Digunakan	
5.3 Perhitungan Volume Sedimentasi	18
VI. Kesimpulan Dan Saran	26
Daftar Pustaka	

Daftar Tabel

Tabel 5.1	Hubungan antara pasang surut dan konsentrasi lumpur	6
Tabel 5.2	Data saluran	9
Tabel 5.3	Klasifikasi jenis aliran	16
Tabel 5.4	Jenis aliran dan panjang inerusi air laut di Kali Semarang dengan dasar saluran rencana	23
Tabel 5.5	Jenis aliran dan panjang interusi air laut di Kali Semarang dengan dasar saluran yang ada	24
Tabel 5.6	Pengaruh debit saluran terhadap interusi air laut	25

Daftar Gambar

Gambar 1	Skematisasi masalah banjir	2
Gambar 5.1	Grafik pasang surut	5
Gambar 5.2	Pasang surut Selama bulan November 1995	7
Gambar 5.3	Hubungan antara pasang surut dan konsetrasi lumpur	8
Gambar 5.4	Skematisai Semarang drain	10
Gambar 5.5	Grafis intensitas curah hujan	12
Gambar 5.6	Hubungan antara elevasi muka air dan waktu	14
Gambar 5.7	Hubungan antara debit pasang surut dsn waktu	14
Gambar 5.8	Perima pasang surut	15
Gambar 5.9	Hubungan antara kecepatan aliran dan waktu	17
Gambar 5.10	Intrusi air laut	18
Gambar 5.11	Hubungan antara debit air pasang dan waktu dimuara untuk Kali Semarang dengan dasar saluran rencana	21
Gambar 5.12	Hubungan antara debit air pasang dan waktu dimuara untuk Kali Semarang dengan dasar saluran yang ada	21
Gambar 5.13	Hubungan antara volume sedimentasi per tahun, elevasi dasar saluran dan beda tinggi pasang surut	20
Gambar 5.14	Pengaruh debit saluran terhadap interusi air laut	

I. PENDAHULUAN

Masalah banjir dipusat kota Semarang penyebabnya sangat kompleks, antara lain yaitu:

- Kapasitas saluran yang tidak memadai.
- Berkurangnya kapasitas saluran akibat sedimentasi.
- Penurunan permukaan tanah.
- Berkembangnya garis pantai kearah laut.
- Banjir kiriman dari daerah atas.

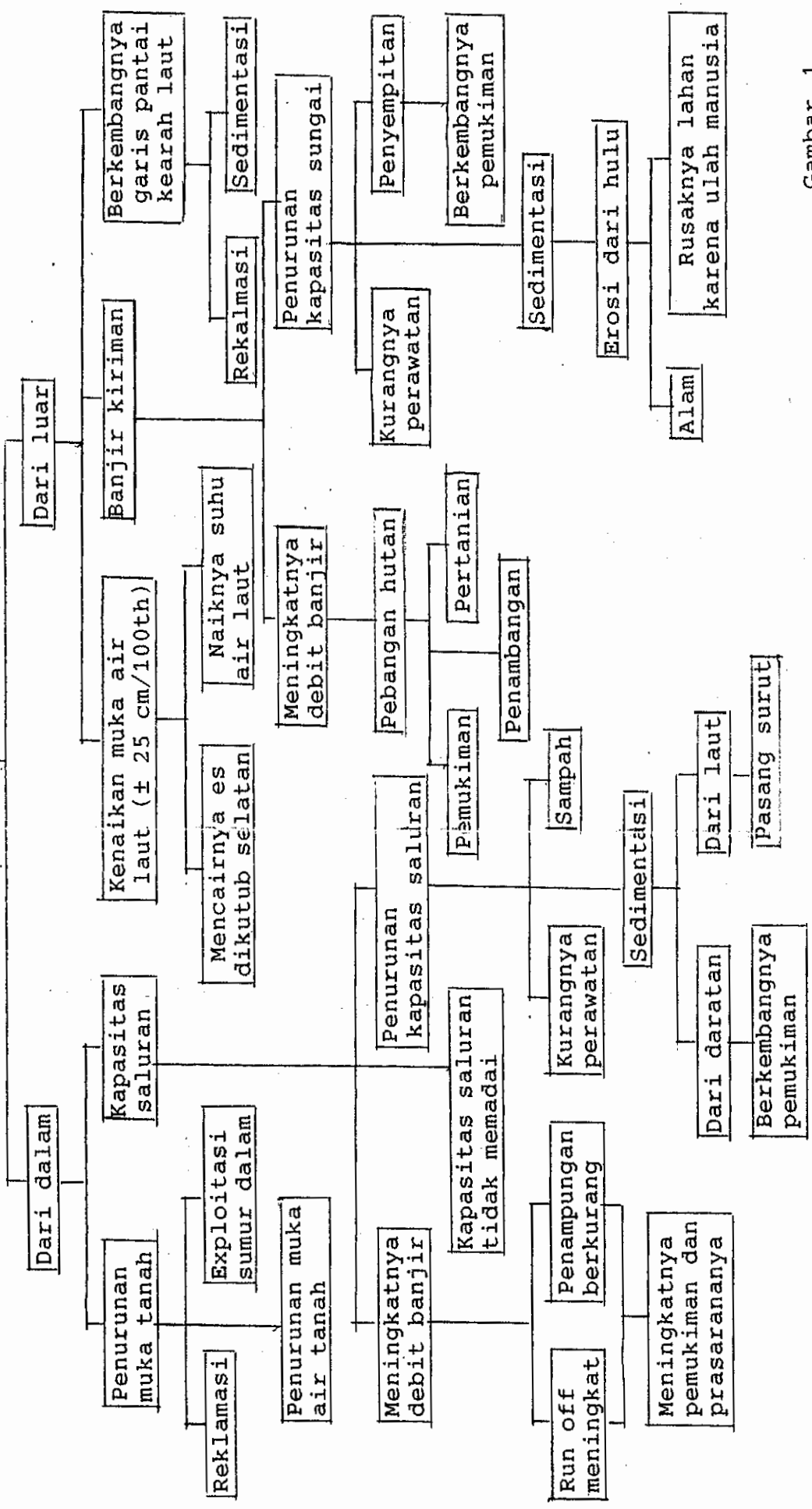
Skematisasi masalah banjir dapat dilihat pada Gambar 1.

Untuk mengatasi banjir dipusat kota Semarang, sejak tahun 1985 sampai dengan 1990 Pemerintah Daerah Dati II Semarang mengadakan normalisasi kali Semarang beserta saluran sekundair dan tersiernya. Sehubungan dengan padatnya pemukiman disepanjang kali Semarang, maka pelebarannya terbatas untuk menghindari pembebasan tanah dan penggusuran rumah-rumah penduduk terlalu banyak. Disamping itu kondisi topografi yang sangat landai dan elevasi permukaan tanah relatif rendah. Untuk meningkatkan kapasitas kali Semarang, maka perlu adanya pendalaman dasar saluran. Akibat pendalaman dasar saluran, pada bagian hilir kali Semarang lebih rendah dari dasar pantai.

Sejak kali Semarang dinormalisasi sampai sekarang, elevasi dasar rencananya tidak pernah tercapai, akibat adanya sedimentasi yang berasal dari daratan dan laut.

Sedimentasi yang berasal dari laut mengendap disaluran drainase akibat adanya pasang surut akan dibahas dalam makalah berikut ini.

MASALAH BANJIR KOTA



Gambar 1

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 W.W. Massie P.E., 1982, Coastal Engineering , TU. Delft.

Didalam buku ini dibahas masalah sedimentasi yang berasal dari arah laut akibat adanya pasang-surut. Besarnya sedimentasi yang terjadi tergantung dari pada:

1. Jumlah air yang masuk kedalam kolam (basin)
Kolam ini dapat berupa saluran, sungai atau pelabuhan.

Jumlah air yang masuk kedalam saluran sangat tergantung dari pada:

- Perbedaan tinggi pasang dan surut
- Luas permukaan kolam / sungai yang terpengaruh adanya pasang surut air laut.

Jumlah air yang masuk kedalam saluran sama dengan luas permukaan kolam rata-rata pada saat pasang dan surut dikalikan selisih tinggi antara pasang dan surut.

2. Perbedaan konsentrasi lumpur air laut pada saat pasang dan surut.
Konsentrasi lumpur pada saat pasang lebih besar dibandingkan pada saat surut. Ini berarti pada saat surut sebagian konsentrasi lumpur mengendap disaluran yang besarnya sama dengan selisih konsentrasi lumpur pada saat pasang dan surut.

Disini dianggap bahwa kondisi kolam tidak ada pengaruh debit air tawar dari hulu. Kondisi ini dapat disamakan dengan kondisi Kali Semarang pada saat tidak ada debit air tawar dari hulu (pada waktu musim kemarau).

2.2 Os A.G. Van, G. Abraham, 1990, Density Currents And Salt Intrusion , IHE Delft and Delft Hydraulics.

Dalam buku ini dibahas masalah intrusi air laut kedalam saluran. Panjangnya intrusi air laut kedalam saluran sangat tergantung daripada:

1. Besarnya debit saluran dari arah hulu (air tawar)
2. Perbedaan tinggi pasang surut air laut
3. Perbedaan rapat masa antara air laut dan air tawar.
4. Koeffisien kekasaran saluran.

Debit saluran dari hulu mempengaruhi volume air laut yang masuk kedalam saluran. Kondisi ini sama dengan kondisi Kali Semarang pada saat musim hujan.

III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Masalah utama pada Kali Semarang setelah dinormalisasi adalah sedimentasi yang sangat cepat, terutama pada bagian hilir / muara Kali Semarang, sehingga Pemerintah Daerah Tingkat II Semarang tidak mampu untuk mengatasinya. Hal ini mengakibatkan masih terjadinya banjir dibagian hulu Kali Semarang termasuk kawasan Simpang Lima.

Sedimentasi ini kemungkinan dapat berasal dari hulu (daratan) dan dari arah hilir (laut) akibat adanya pasang surut air laut. Berdasarkan pengalaman kami di beberapa pelabuhan yang tidak menerima sedimentasi dari arah hulu, ternyata mengalami sedimentasi yang cukup besar akibat pengaruh pasang surut air laut.

Tujuan penelitian ini adalah untuk meneliti seberapa jauh kontribusi sedimentasi yang berasal dari arah laut akibat adanya pasang surut. Apabila ternyata sedimentasi yang datang dari arah laut cukup besar, maka dapat diatasi dengan memasang pintu klep pada muara Kali Semarang.

Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat dipakai sebagai bahan pertimbangan untuk mengatasi masalah banjir di Kotamadya Semarang.

IV. METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian meliputi:

- Kegiatan lapangan
- Kegiatan laboratorium
- Analisa data dan pembahasan

Kegiatan lapangan meliputi:

1. Pengumpulan data sekunder:
 - Data pasang surut air laut
 - Data saluran rencana (sebelum terjadi sedimentasi)
 - Data debit saluran
2. Pengumpulan data primer:
 - Pengambilan sampel air pada saat pasang dan surut
 - Pengukuran elevasi dasar saluran yang ada (setelah terjadi sedimentasi)

Kegiatan laboratorium meliputi analisa konsentrasi lumpur dari sampel air yang diambil dimuara Kali Semarang selama periode pasang surut.

Kegiatan selanjutnya adalah menganalisa data-data tersebut diatas dan menghitung volume yang diendapkan didalam saluran akibat adanya pasang surut air laut.

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 DATA-DATA YANG ADA

5.1.1 Data pasang surut

Data pasang surut dapat diperoleh dari hasil pencatatan alat pencatat pasang surut otomatis yang dipasang dipelabuhan Tanjung Mas Semarang.

Hasil pencatatan pasang surut selama tahun 1991 dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Periode pasang surut (diurnal)	24 jam
- Elevasi pasang tertinggi	+ 1.50 m
- Elevasi pasang rata-rata	+ 1.32 m
- Elevasi pasang surut rata-rata	+ 1.00 m
- Elevasi surut rata-rata	+ 0.68 m
- Elevasi surut terendah	+ 0.50 m
- Beda tinggi antara pasang dan surut	0.40 - 1.00 m

Hasil pencatatan pasang surut sebelum tahun 1981 dapat disimpulkan sebagai berikut:

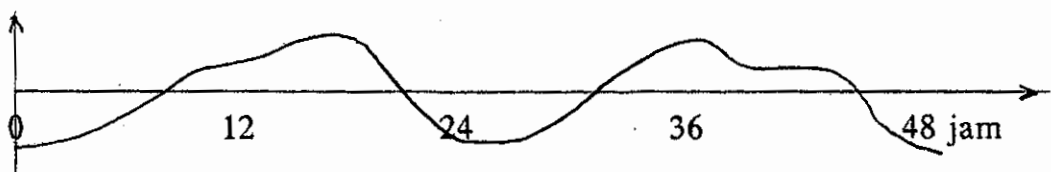
- Elevasi pasang tertinggi	+ 1.50 m
- Elevasi pasang rata-rata	+ 1.32 m
- Elevasi pasang surut rata-rata	+ 1.00 m
- Elevasi surut rata-rata	+ 0.68 m
- Elevasi surut terendah	+ 0.50 m

Kedua hasil pencatatan tersebut menggunakan alat ukur dan Bench Mark yang sama. Perbedaan tersebut kemungkinan besar disebabkan terjadinya penurunan alat pencatat tersebut.

Hasil pencatatan menunjukkan bahwa bentuk pasang surut (hubungan antara elevasi dan waktu) tidak menentu dan untuk pendekatannya dianggap fungsi sinusoidal (lihat gambar 5.1). Untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti yaitu dengan menggunakan data langsung dari hasil pencatatan.

Gambar 5.1: Grafik pasang surut

Elevasi (m)



Selama satu bulan selalu terjadi beda pasang surut terbesar (spring tide) pada awal dan pertengahan bulan beda pasang surut terkecil (neap tide) pada seperempat bulan pertama dan kedua, lihat gambar 5.2.

Beda pasang surut terbesar (spring tide) ± 1.0 m

Beda pasang surut terkecil (neap tide) ± 0.4 m

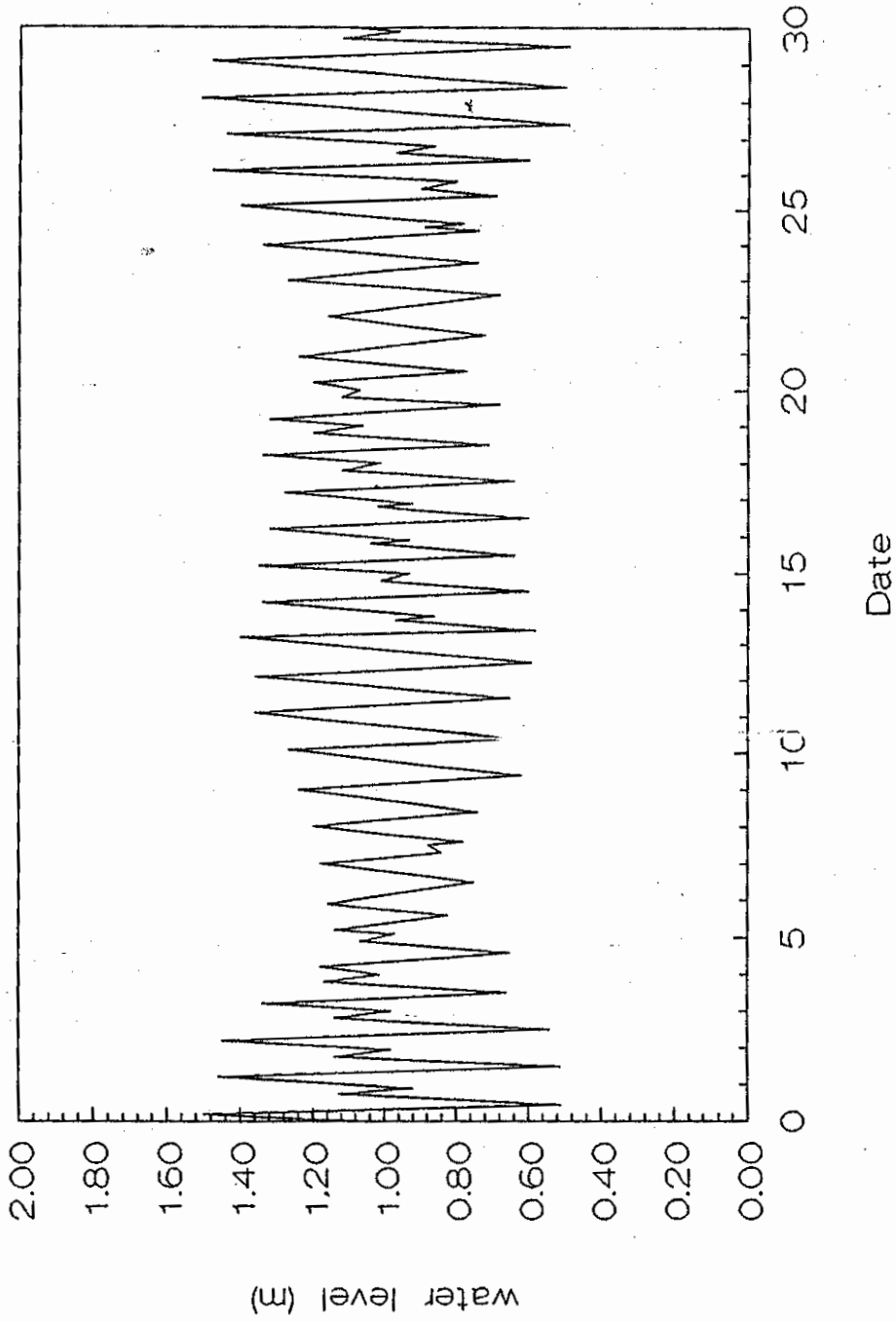
5.1.2 Konsentrasi lumpur air pasang surut

Contoh air diambil dari bagian hilir (muara) kali Semarang. Pengambilan contoh air dilakukan setiap 3 jam selama 1 periode pasang surut (24 jam). Konsentrasi lumpur dari contoh air tersebut diperiksa dilaboratorium dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Gambar 5.3.

Tabel 5.1: Hubungan antara pasang surut dan konsentrasi lumpur

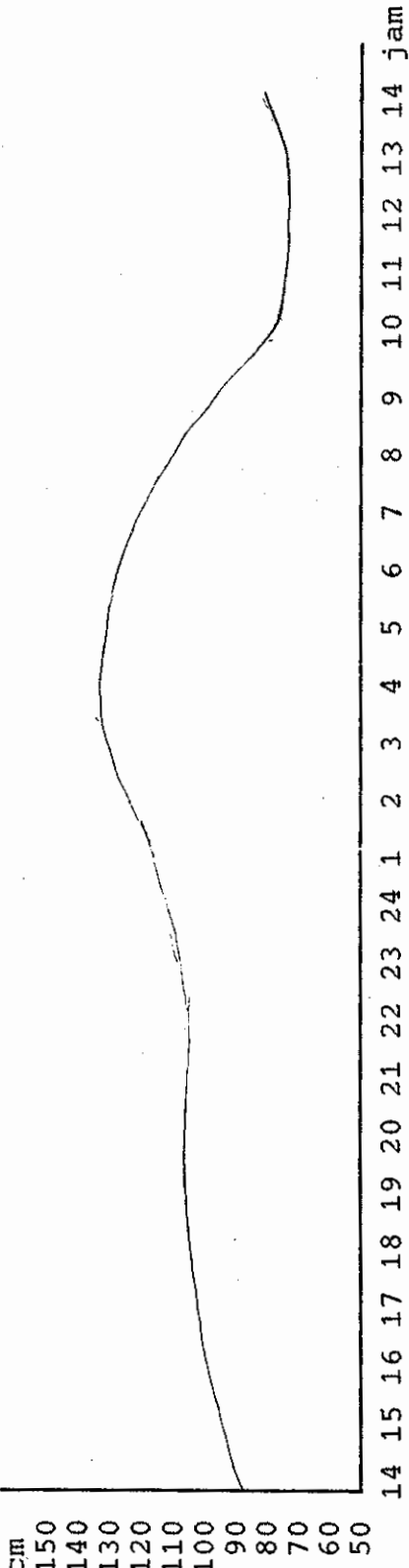
Waktu	Elevasi muka air (m)	Konsentrasi lumpur (gr/m ³)
16.00	1.02	2000
19.00	1.10	1600
22.00	1.10	1600
01.00	1.21	1800
04.00	1.37	1000
07.00	1.23	1100
10.00	0.77	1200
13.00	0.77	1000

PASANG SURUT SELAMA BULAN NOVEMBER 1994

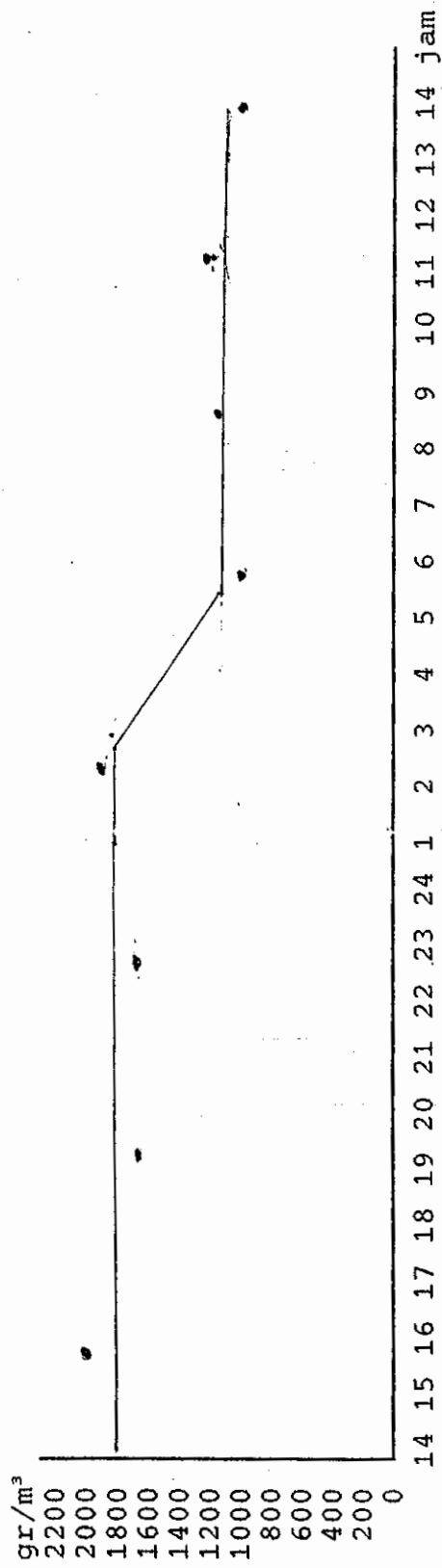


GAMBAR 5.2

Data pasang surut (1 Desember - 2 Desember 1992)



konsentrasi lumpur



Hubungan antara pasang surut dan konsentrasi lumpur

Gambar 5.3

5.1.3 Data saluran

Skematisasi saluran dapat dilihat pada Gambar 5.4 dan data saluran dapat dilihat pada Tabel 5.2.

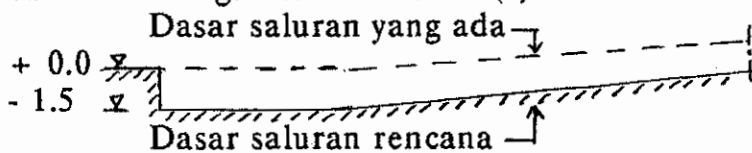
Tabel 5.2: Data saluran

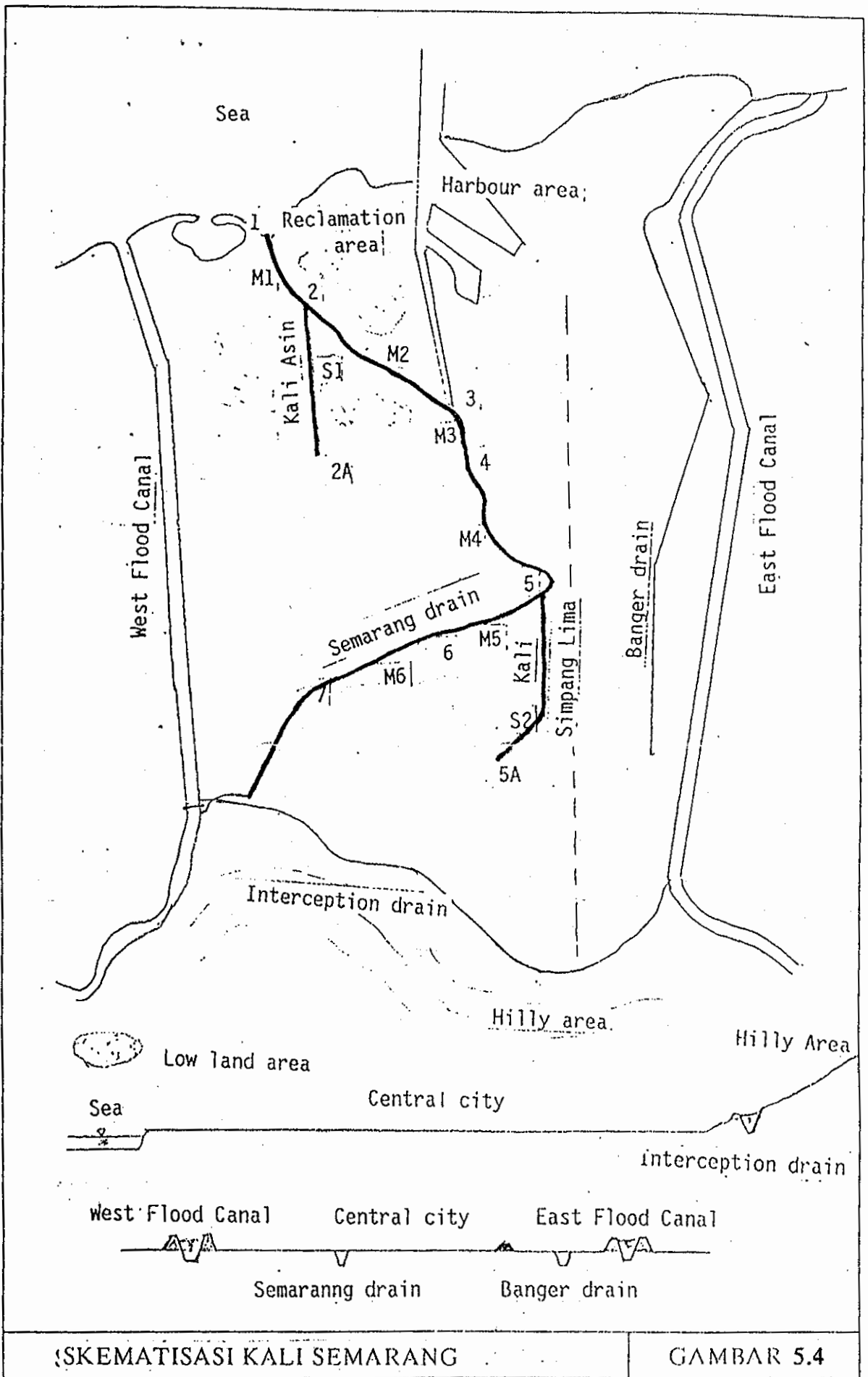
Titik	Potongan	Jarak (m)	Panjang (m)	Elevasi dasar saluran		Tampang melintang	
				Rencana	Yang ada	B(m)	SS
1		0		-1.5	0		
	M1		650			30	1:2
2		650		-1.35	0.1		
	M2		1850			20	1:2
3		2500		-1.0	0.3		
	M3		700			20	0
4		3200		-0.7	0.5		
	M4		1300			18	0
5		4500		0.15	1.0		
	M5		1000			13	0
6		5500		0.94	1.75		
	M6		1400			8	0
7		6900		1.96	2.7		
2A		1850		-1	0.4		
	S1		1200			12	1:1
5A		6300		1.9	2.5		
	S2		1800			7.5	0

Catatan:

B = lebar dasar saluran (m)

SS = kemiringan talud saluran (-)





SKEMATISASI KALI SEMARANG

GAMBAR 5.4

5.1.4 Debit saluran drainase

Debit banjir

Pencatatan curah hujan dilakukan dengan alat pencatatan curah hujan otomatis.

Data tersebut dapat diperoleh dari Jawatan Meteorologi Semarang. Hasil pencatatan tersebut dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Dalam 1 tahun hanya terjadi hujan (gerimis sampai hujan lebat) selama ± 600 jam (25 hari).
- Tinggi curah hujan rata-rata 2000 mm per tahun.
- Dari data curah hujan selama 13 tahun dapat dibuat grafik intensitas curah hujan (lihat Gambar 5.5).

Debit bajir rata-rata

Debit banjir rata-rata dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_{t.av} = (A * C * \frac{R}{T}) * (\frac{10000}{3600 * 1000})$$

A = luas daerah tangkapan = 1026 ha

C = koefisien pengaliran = 0.63

R = Tinggi curah hujan dalam 1 tahun = 2000 mm

T = lama hujan turun dalam 1 tahun = 600 jam

$Q_{t.av}$ = Debit banjir rata-rata = 6 m³/s

Debit banjir maksimum

Debit banjir maksimum dapat dihitung dengan Modified Rational Method:

$$Q_{t.max} = (A * C * C_s * I) / 1000 \quad (m^3/s)$$

A = luas daerah tangkapan = 1026 ha

C = koefisien pengaliran = 0.63

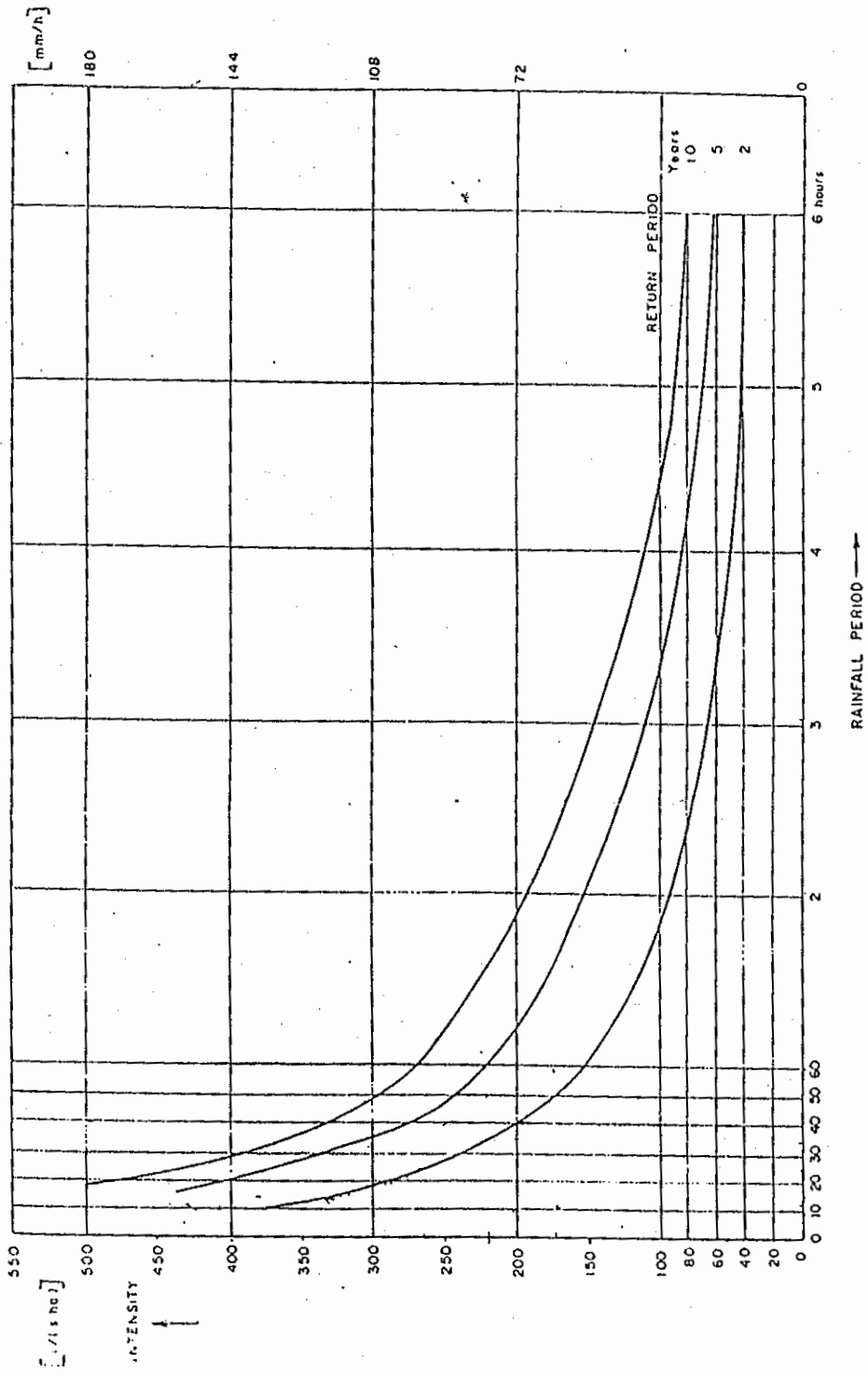
C_s = Koefisien penampungan = 0.80

I = Intensitas curah hujan = 115 l/s.ha

$Q_{t.max}$ = 59 m³/s

Debit air limbah

Debit air limbah dari pemukiman penduduk tergantung dari pada jumlah penduduk yang tinggal didaerah aliran Kali Semarang (± 200.000 orang) dan konsumsi air bersih setiap penduduk perhari (± 100 l/hari).



GAMBAR 5.5

GRAFIK INTENSITAS CURAH HUJAN

Debit air limbah rata-rata

$$Q_{s.av} = \frac{200.000 * 100}{1000 * 24 * 3600} = 0.23 \text{ m}^3/\text{s}$$

Debit air limbah maksimum

$$Q_{s.max} = 2 * Q_{s.av} = 2 * 0.23 = 0.46 \text{ m}^3/\text{s}$$

Debit air limbah minimum

$$Q_{s.min} = 0.50 * Q_{s.av} = 0.50 * 0.23 = 0.12 \text{ m}^3/\text{s}$$

5.2 Dasar Teori Yang Digunakan

5.2.1 Umum

Total volume lumpur yang masuk kesaluran drainase akibat pasang surut tergantung antara lain yaitu:

- Volume air laut yang masuk kesaluran drainase.
- Perbedaan kadar lumpur rata-rata pada saat pasang dan surut.

Volume air laut yang masuk kesaluran drainase antara lain disebabkan oleh:

- Beda tinggi pasang surut
- Periode pasang surut
- Debit air dari hulu sungai
- Elevasi dasar saluran.

Untuk mengevaluasi masuknya air laut kedaratan, akan ditinjau keadaan ekstrim sebagai berikut:

- Elevasi dasar saluran rencana dan elevasi dasar saluran yang ada (setelah terjadi sedimentasi).
- Tidak ada debit aliran yang datang dari hulu dan ada debit aliran dari hulu.
- Beda tinggi pasang surut maksimum (spring tide) dan beda tinggi pasang surut minimum (neap tide).

5.2.2 Tidak ada debit saluran yang datang dari hulu

Sebetulnya kondisi saluran drainase selalu ada debit air dari hulu yang berupa buangan air limbah dari rumah penduduk, tetapi debit air limbah tersebut relatif kecil dan di Semarang akan dibangun saluran air limbah di kanan kiri Kali Semarang, sehingga debit air limbah tersebut dapat diabaikan.

Sedangkan selama musim hujan, apabila dijumlahkan waktu terjadinya hujan hanya 25 hari. Disini dianggap bahwa aliran hanya terjadi pada waktu turun hujan. Jadi kondisi saluran drainase tidak ada debit aliran yang datang dari hulu terjadi selama 340 hari.

Volume lumpur yang mengendap disaluran dalam 1 periode pasang surut dapat dihitung dengan rumus:

$$V_{av} = \left(\int_0^{T/2} Q_f(t) dt \right) \left(\frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} C_f(t) dt \right) - \left(\int_0^{T/2} Q_s(t) dt \right) \left(\frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} C_s(t) dt \right)$$

dimana $\frac{1}{(T/2)} \int_0^{T/2} C_f(t) dt = C_{f,av}$

$$\text{maka } V_{av} = C_{f,av} \int_0^{T/2} Q_f(t) dt - C_{s,av} \int_0^{T/2} Q_s(t) dt \quad (\text{Eq.5.1})$$

V_{av} = berat lumpur rata-rata yang mengendap disaluran dalam 1 periode pasang surut (gr)

$C_{f,av}$ = konsentrasi lumpur rata-rata selama periode pasang (gr/m³)

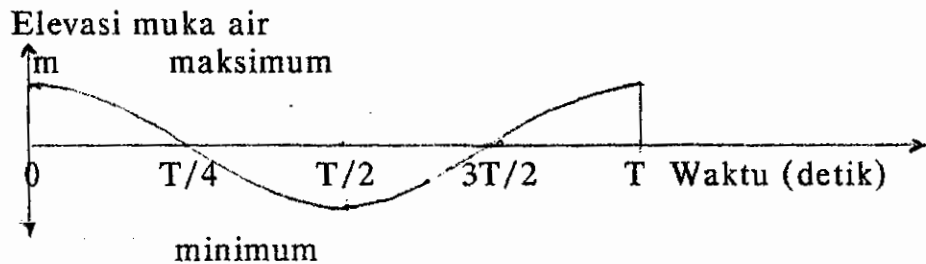
$C_{s,av}$ = konsentrasi lumpur rata-rata selama periode surut (gr/m³)

$Q_f(t)$ = debit air pasang sebagai fungsi waktu (m³/s)

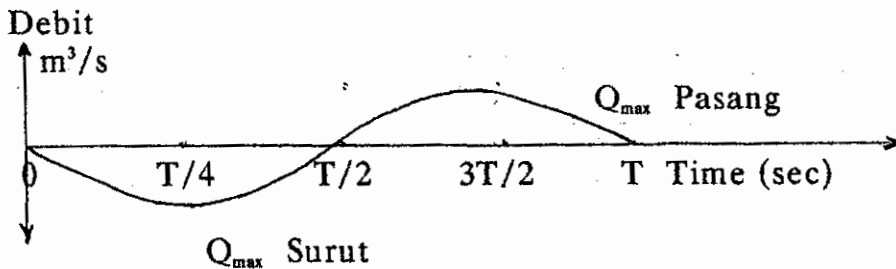
$Q_s(t)$ = debit air surut sebagai fungsi waktu (m³/s)

T = tidal period (diurnal) = 24 hours = 86400 seconds

Gambar 5.6: Hubungan antara elevasi muka air dan waktu



Gambar 5.7: Hubungan antara debit pasang surut dan waktu



Pada saat elevasi muka air maksimum dan minimum ($t = 0$ dan $t = T/2$), debit pasang dan surut = 0.

Pada saat elevasi muka air rata-rata ($t = T/4$ dan $t = 3T/4$), debit pasang dan surut maksimum.

$$Q_f(t) = Q_{max} \sin \omega t$$

$$\omega = 2\pi/T$$

Q_{max} = debit air pasang maksimum (m³/s)

Apabila debit aliran dari hulu dianggap nol, maka debit air pasang (Q_f) sama dengan debit air surut (Q_e), maka persamaan tersebut diatas dapat ditulis sebagai berikut:

$$V_{av} = \left(\int_0^{T/2} Q_{max} \sin(2\pi t/T) dt \right) * (C_{f.av} - C_{e.av})$$

$$V_{av} = (Q_{max} T / 2\pi) * [-\cos(2\pi t/T)]_0^{T/2} * (C_{f.av} - C_{e.av})$$

$$V_{av} = ((Q_{max} * T) / \pi) * (C_{f.av} - C_{e.av}) = P_i * (C_{f.av} - C_{e.av}) \quad \text{Eq.5.2}$$

P_i = volume air laut masuk ke saluran dalam 1 periode pasang surut (m^3)

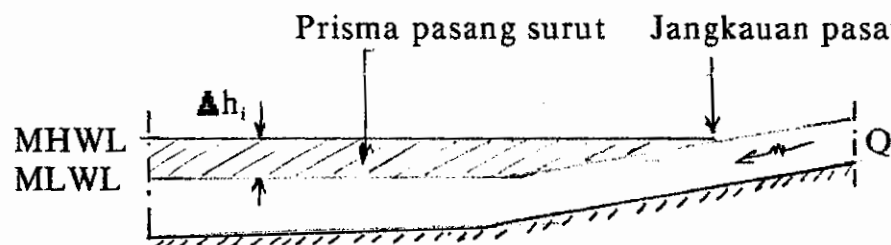
Q_{max} = debit air pasang maksimum (m^3 /detik)

Debit air pasang maksimum dapat diukur dilapangan atau dihitung dengan program DUFLOW. Program DUFLOW adalah model satu dimensi untuk aliran dinamis.

Cara lain untuk menentukan volume air laut masuk saluran

Volume air laut yang masuk saluran sama dengan bertambahnya volume air disaluran akibat pasang surut (prisma pasang surut), lihat Gambar 9.

Gambar 5.8: Prisma pasang surut



MHWL elevasi pasang rata-rata (m)

MLWL elevasi surut rata-rata (m)

Volume air laut yang masuk kesaluran dapat dihitung dengan rumus:

$$P_i = A_{av} * \Delta h$$

P_i = volume air laut yang masuk saluran dalam 1 periode pasang surut (m^3)

A_{av} = luas rata-rata dari permukaan air yang terletak dalam jangkauan pasang surut (m^2)

Δh = beda tinggi pasang surut (m)

Rumus tersebut berlaku, apabila panjang saluran lebih pendek dari pada panjang gelombang pasang surut. Panjang gelombang pasang surut dapat dihitung dengan rumus:

$$L = T * c_w$$

L = panjang gelombang pasang surut (m)
T = periode gelombang pasang surut = 24 hours
 $c_w = \text{kecepatan rambat gelombang} = \sqrt{gh_s}$
g = gravitasi = 9.81 m/s²
h_s = kedalaman air laut dimuara = 1 m
 $c = \sqrt{9.81 * 1} = 3.13 \text{ m/s}$
 $L = 24 * 3600 * 3.13 = 270613 \text{ m}$

Panjang kali Semarang 7000 m << 270613 m

Jadi muka air di kali Semarang akan naik dan turun bersamaan dengan fluktuasi pasang surut dimuara.

5.2.3 Ada debit saluran dari hulu

Apabila ada aliran dari arah hulu, maka akan ada 3 kemungkinan jenis aliran yang akan terjadi disaluran drainase antara lain yaitu:

1. Air tawar dan air laut tercampur sempurna
2. Air tawar dan air laut sebagian tercampur
3. Ada 2 lapisan air (stratifikasi), air tawar diatas dan air laut dibawah.

Untuk jenis aliran nomer 2 dan 3, program DUFLOW tidak berlaku.

Parameter stratifikasi (α) dapat digunakan untuk menentukan jenis aliran.

$$\alpha = \frac{Q_{dr} T}{P_t} \approx \pi \frac{u_{dr}}{Q_{1.0}}$$

α = perbandingan antara volume air dari hulu dengan volume air laut yang masuk kesaluran dalam 1 periode pasang surut

Q_{dr} = debit saluran drainase (m³/detik)

T = periode pasang surut = 24 jam

P_t = volume air laut masuk kesaluran dalam 1 periode pasang surut (m³)

$u_{1.0}$ = kecepatan aliran air surut maksimum (m/detik)

u_{dr} = kecepatan aliran air dari hulu (m/detik)

Tabel 5.3: Klasifikasi jenis aliran

Stratifikasi	α
Ada 2 lapisan	$\alpha > 1.00$
Sebagian tercampur	$\alpha \approx 0.25$
Tercampur sempurna	$\alpha < 0.10$

Apabila jenis aliran tidak tercampur sempurna, maka panjang intrusi air laut ke daratan dapat dihitung dengan rumus:

$$L_{i_{min}} = 0.55 \left(\frac{C^2}{g} \right) Fr_0^{-1} \alpha^{-1} h_0$$

$L_{i_{min}}$ = panjang intrusi air laut minimum (m)

$$Fr_0 = \frac{h_0 \alpha}{\frac{\Delta \rho}{\rho} h_0}$$

g = gravitasi = 10 m/s^2

h_0 = kedalaman air dimuara (m)

$\Delta \rho$ = perbedaan kerapatan masa antara air laut dan air tawar (kg/m^3)

ρ = rapat masa air (kg/m^3)

C = Chezy koeffisien ($\text{m}^{1/2}/\text{detik}$)

α_0 = α dimuara

Panjang maksimum intrusi air laut kesaluran yaitu L_{min} (panjang intrusi air laut akibat perbedaan rapat masa) ditambah dengan panjang intrusi air laut kesaluran akibat aliran air pasang.

(Eq.5.7)

$$E = (U_{max} - U_{tr}) \int_{t_1}^{t_2} \sin \frac{2\pi}{T} t dt$$

$$L_{max} = L_{min} + E$$

L_{max} = panjang intrusi air laut maksimum (m)

E = panjang masuknya air laut akibat pasang surut (m)

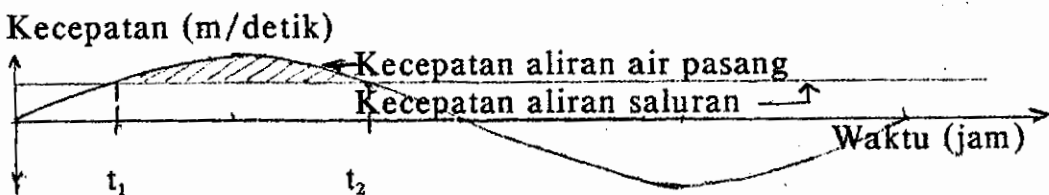
U_{max} = kecepatan aliran akibat air pasang (m/detik)

U_{tr} = kecepatan aliran saluran (m/detik)

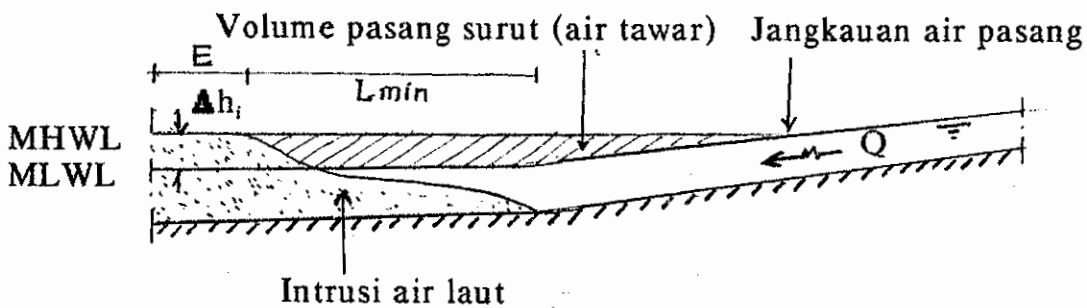
T = periode pasang surut (jam)

t_1 and t_2 = waktu dimana kecepatan aliran air pasang sama dengan kecepatan aliran saluran (jam), lihat Gambar 10.

Gambar 5.9: Hubungan kecepatan aliran dan waktu



Gambar 5.10: Intrusi air laut



Rumus tersebut diatas (L_{min}) adalah perkiraan kasar, karena rumus ini dibuat dengan asumsi sebagai berikut:

- tidak ada kemiringan dasar saluran
- tampang saluran seragam
- debit saluran seragam.

5.3 Perhitungan Volume Sedimentasi

5.3.1 Tidak ada debit saluran drainase

Kali Semarang dengan dasar saluran rencana

Berat lumpur rata-rata yang masuk kesaluran dalam 1 periode pasang surut dapat dihitung dengan rumus:

$$V_{av} = P_t * (C_{f.av} - C_{e.av}) / 1000 \text{ (kg)}$$

$$C_{f.av} = 1800 \text{ gr/m}^3$$

$$C_{e.av} = 1100 \text{ gr/m}^3$$

$$P_t = (Q_{max} * T) / \pi \text{ (m}^3\text{)}$$

Q_{max} dihitung dengan program DUFLOW yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 5.11 dan 5.12.

$$T = 24 \text{ jam} = 86400 \text{ detik}$$

Untuk beda pasang surut terbesar (spring tide)

$$Q_{max} = 5,8 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$P_t = (5,8 * 86400) / \pi = 160000 \text{ m}^3$$

$$V_{av} = 160000 * (1800 - 1100) / 1000 = 112000 \text{ kg}$$

Untuk beda pasang surut terkecil (neap tide)

$$Q_{max} = 2,3 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$P_t = (2,3 * 86400) / \pi = 63000 \text{ m}^3$$

$$V_{av} = 63000 * (1800 - 1100) / 1000 = 44000 \text{ kg}$$

Volume sedimen dapat dihitung apabila berat jenis partikel sedimen dan berat jenis sedimen insitu (ditempat) diketahui. Umumnya berat jenis partikel sedimen 2650 kg/m³ dan berat jenis insitu 1200 kg/m³. Kemudian volume pori per 1 m³ sedimen (V_v) dapat dihitung dengan rumus:

$$1200 = (2650) (1 - V_v) + (1000) (V_v)$$

$$V_v = 0.88$$

Jadi 1 m³ sedimen mengandung lumpur = (1 - 0.88) (2650) = 318 kg

Volume lumpur yang mengendap disaluran selama 1 tahun adalah:

- Untuk beda pasang surut terbesar (spring tide)

$$V_t = (112000 * 340) / 318 = 120000 \text{ m}^3$$

- Untuk beda pasang surut terkecil

$$V_t = (44000 * 340) / 318 = 47000 \text{ m}^3$$

Volume lumpur yang mengendap dikali Semarang untuk kondisi dasar saluran rencana setiap tahunnya antara 47000 - 120000 m³

Kali Semarang dengan dasar saluran yang ada

Volume lumpur rata-rata yang masuk kesaluran selama 1 tahun dapat dihitung dengan rumus:

$$V_t = P_t * (C_{f.av} - C_{e.av}) * 340 / (1000 * 318)$$

$$C_{f.av} = 1800 \text{ gr/m}^3$$

$$C_{e.av} = 1100 \text{ gr/m}^3$$

$$P_t = (Q_{max} * T) / \pi$$

Q_{max} dihitung dengan program DUFLOW yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 11 dan 12.

$$T = 86400 \text{ detik}$$

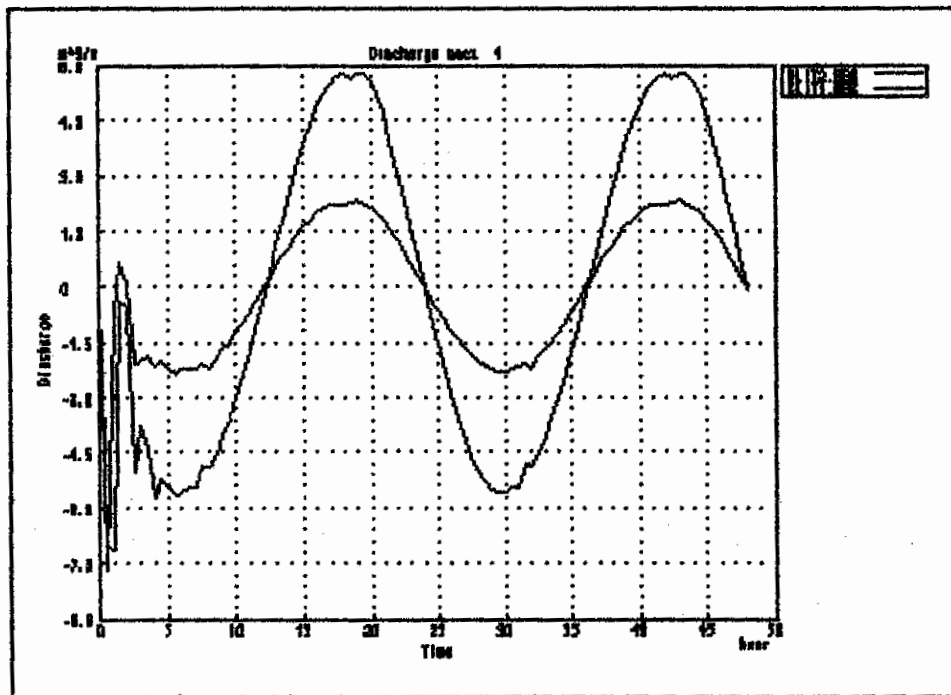
Untuk beda pasang surut terbesar (spring tide)

$$Q_{max} = 4,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

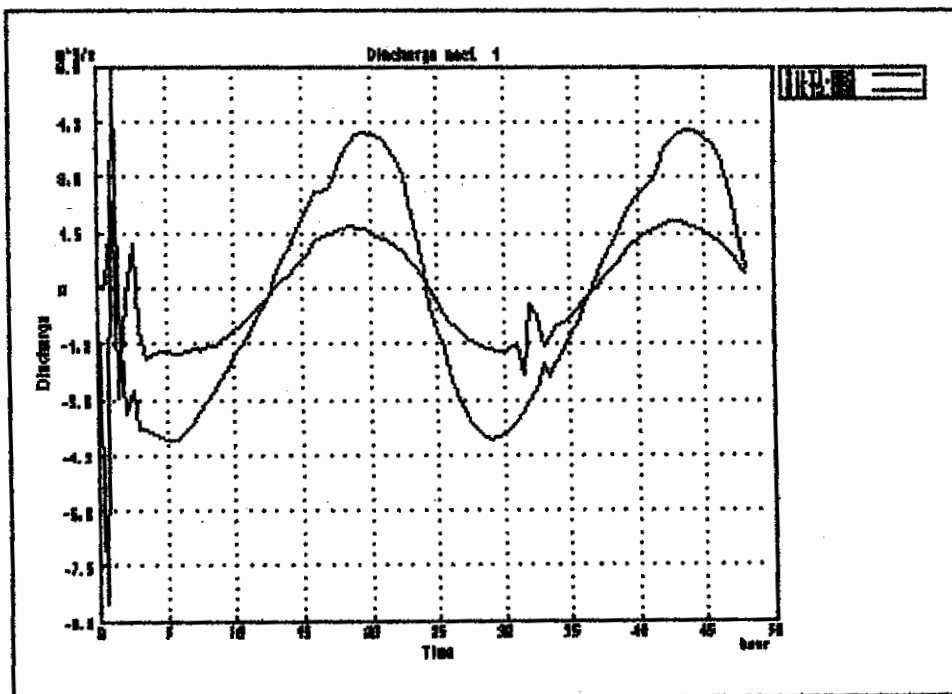
$$P_t = (4,2 * 86400) / \pi = 118000 \text{ m}^3$$

$$V_{av} = 118000 * (1800 - 1100) * 340 / (1000 * 318) = 88000 \text{ m}^3$$

Gambar 5.11 Hubungan antara debit air pasang dan waktu di muara untuk Kali Semarang dengan dasar saluran rencana



Gambar 5.12 Hubungan antara debit air pasang dan waktu di muara untuk Kali Semarang dengan dasar saluran yang ada



Untuk beda pasang surut terkecil (neap tide)

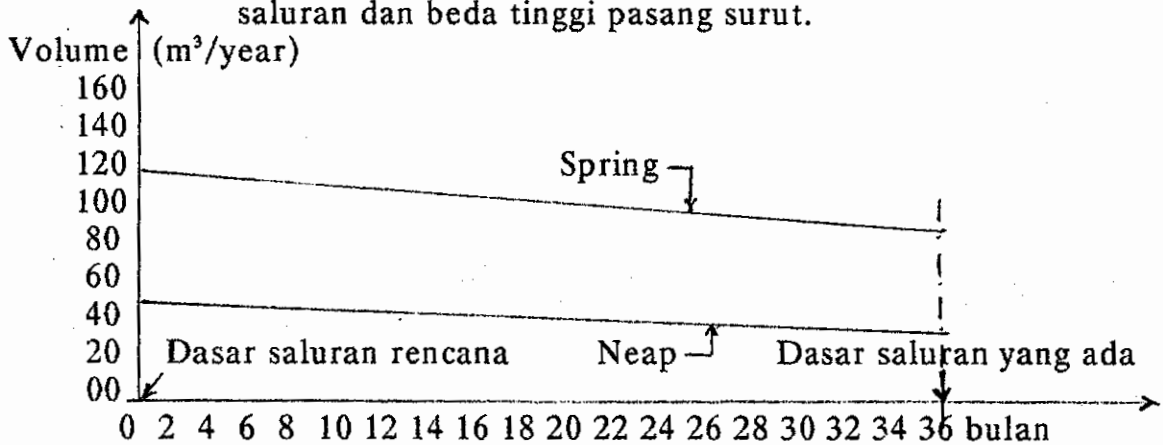
$$Q_{\max} = 1,8 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$P_t = (1,8 * 86400) / \pi = 49000 \text{ m}_3$$

$$V_{\text{av}} = 49000 * (1800 - 1100) * 340 / (1000 * 318) = 37000 \text{ m}^3$$

Volume lumpur yang mengendap dikali Semarang untuk kondisi dasar saluran yang ada setiap tahunnya antara 37000 - 88000 m³

Gambar 5.13: Hubungan antara Volume sedimentasi per tahun, elevasi dasar saluran dan beda tinggi pasang surut.



5.3.2 Ada debit saluran drainase

Kali Semarang dengan dasar saluran rencana

Parameter stratifikasi

$$\alpha = \frac{Q_{fr} T}{P_t}$$

$Q_{fr.av}$ = debit banjir rata-rata = 6 m³/detik

$Q_{fr.max}$ = debit banjir maksimum = 59 m³/detik

$Q_{s.av}$ = debit air limbah rata-rata = 0.23 m³/detik

T = periode pasang surut = 3600 * 24 = 86400 detik

P_t = volume air laut masuk kesaluran dalam 1 periode pasang surut

P_t = 160000 m³ untuk spring tide

P_t = 63000 m³ untuk neap tide

$$Fr_0 = \frac{u_{1,0}^2}{\frac{\Delta \rho}{\rho} g h_0}$$

$u_{1,0}$ = kecepatan air surut dimuara = Q_{ebb} / A

$Q_{ebb} = Q_{max} + Q_{fr}$

$Q_{max} = 5.8$ m³/s untuk spring tide

$Q_{max} = 2.3$ m³/s untuk neap tide

$Q_{fr.av} = 6$ m³/detik

$Q_{fr.max} = 59$ m³/detik

A = luas tampang basah rata-rata dimuara = $(30 + 2*2.5)2.5 = 87.5$ m²

ρ air tawar = 1000 kg/m³

ρ air laut = 1020 kg/m³

$\Delta \rho = 1020 - 1000 = 20$ kg/m³

g = gravitasi = 10 m/detik²

h_0 = kedalaman air dimuara = 2.5 m

Panjang intrusi air laut minimum = L_{min}

$$L_{min} = 0.53 \left(\frac{C^2}{g} \right) Fr_0^{-1} \alpha^{-1} h_0$$

C = Chezy koefisien = 40 m^{1/2}/s

Jenis aliran dan pajang intrusi air laut kedalam saluran dapat dilihat pada Tabel 4.

Sehubungan dengan debit maksimum air pasang (Q_{max}) lebih kecil dengan debit banjir (Q_{fr}), maka pajang intrusi air laut minimum (L_{min}) dianggap sama dengan panjang intrusi air laut maksimum (L_{max}).

Tabel 5.4: Jenis aliran dan panjang intrusi air laut dikali Semarang dengan dasar saluran rencana.

Keterangan	Spring tide			Neap tide		
	$Q_{s.av}$	$Q_{fr.av}$	$Q_{fr.max}$	$Q_{s.av}$	$Q_{fr.av}$	$Q_{fr.max}$
Q_{fr} (m ³ /s)	0.23	5.97	59.3	0.23	5.97	59.3
P_t (m ³)		160000	160000		63000	63000
α	0.17	3.2	32	0.32	8.2	81.3
Q_{max} (m ³ /d)		5.8	5.8		2.3	2.3
Q_{ebb} (m ³ /d)		11.77	65.1		8.27	61.6
$U_{1.0}$ (m/d)		0.13	0.74		0.09	0.70
Fr_0		0.03	1.1		0.02	0.98
Jenis aliran	tercampur	Stratifikasi	Stratifikasi	sebagian	Stratifikasi	Stratifikasi
L_{min} (m)	>>	2290	6	>>	1340	3

Kali Semarang dengan dasar saluran yang ada

Stratifikasi parameter

$$\alpha = \frac{Q_{fr} T}{P_t}$$

$$Q_{fr.av} = 6 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{fr.max} = 59 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$T = 3600 * 24 = 86400 \text{ detik}$$

$$P_t = 118000 \text{ m}^3 \text{ untuk spring tide}$$

$$P_t = 49000 \text{ m}^3 \text{ untuk neap tide}$$

$$Fr_0 = \frac{u_{1.0}^2}{\frac{\Delta \rho}{\rho} g h}$$

$$u_{1.0} = Q_{ebb} / A$$

$$Q_{ebb} = Q_{max} + Q_{fr}$$

$$Q_{max} = 4.3 \text{ m}^3/\text{detik} \text{ untuk spring tide}$$

$$Q_{max} = 1.8 \text{ m}^3/\text{detik} \text{ untuk neap tide}$$

$$Q_{fr.av} = 5.97 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$Q_{fr.max} = 59.3 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$A = \text{mean cross section area at the mouth} = (30 + 2 \cdot 1) \cdot 1 = 32 \text{ m}^2$

$\rho \text{ air tawar} = 1000 \text{ kg/m}^3$

$\rho \text{ air laut} = 1020 \text{ kg/m}^3$

$\Delta\rho = 1020 - 1000 = 20 \text{ kg/m}^3$

$g = 10 \text{ m/d}^2$

$h_0 = 1 \text{ m}$

Panjang intrusi air laut minimum = L_{\min}

$$L_{\min} = 0.58 \left(\frac{C^2}{g} \right) F r_0^{-1} \alpha^{-1} h_0$$

$C = \text{Chezy koefisien} = 40 \text{ m}^{1/2}/\text{s}$

Jenis aliran dan panjang intrusi air laut kedalam saluran dapat dilihat pada Tabel 5.

Table 5.5: Jenis aliran dan panjang intrusi air laut dikali Semarang dengan dasar saluran yang ada

keterangan	Spring tide			Neap tide		
	$Q_{s,av}$	$Q_{fr,av}$	$Q_{fr,max}$	$Q_{s,av}$	$Q_{fr,av}$	$Q_{fr,max}$
Q_{fr} (m^3/d)	0.23	5.97	59.3	0.23	5.97	59.3
P_t (m^3)		118000	118000		49000	49000
α	0.17	4.4	43.4	0.4	10.5	104.5
Q_{max} (m^3/d)		4.3	4.3		1.8	1.8
Q_{ebb} (m^3/d)		10.27	63.6		7.77	61.1
$U_{1.0}$ (m/d)		0.32	1.99		0.24	1.91
F_{r0}		0.51	19.8		0.29	18.24
Jenis aliran	sebagian	Stratifikasi	Stratifikasi	Sebagian	Stratifikasi	Stratifikasi
L_{\min} (m)	>>	62	0	>>	29	0

Apabila panjang intrusi air laut kurang dari 100 m dapat dianggap bahwa aliran didalam saluran tersebut seluruhnya air tawar (tidak ada intrusi air laut).

Apabila parameter stratifikasi lebih kecil dari 0.1 dapat dianggap bahwa aliran didalam saluran seluruhnya bercampur dengan air laut.

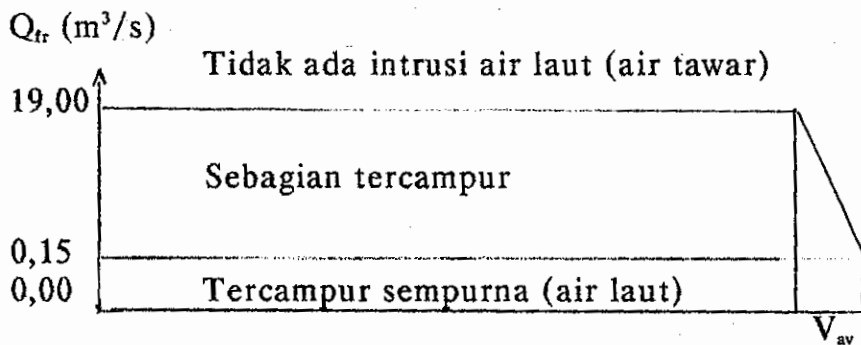
Pengaruh debit saluran dari hulu terhadap intrusi air laut dapat dilihat pada Tabel 5.6 dan Gambar 5.13.

Tabel 5.6: Pengaruh debit saluran (m^3/d) terhadap intrusi air laut

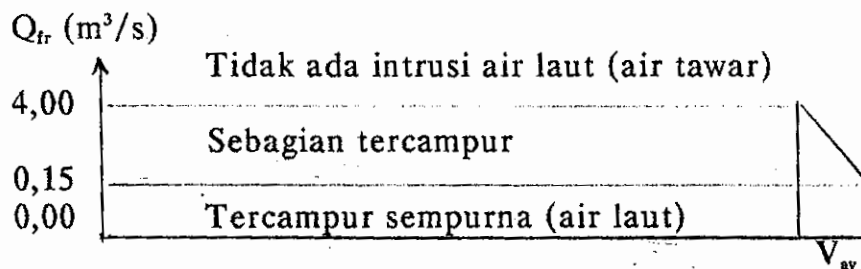
Pasang surut	Dasar saluran rencana		Dasar saluran yang ada	
	$L_{min} < 100$ m	$\pi < 0,10$	$L_{min} < 100$ m	$\pi < 0,10$
Spring tide	21	0,20	4	0,20
Neap tide	17	0,10	4	0,10
Rata-rata	19	0,15	4	0,15

Gambar 5.14: Pengaruh debit saluran (m^3/d) terhadap intrusi air laut

Dasar saluran rencana



Dasar saluran rencana



VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

a. Tidak ada pengaruh debit dari hulu

Panjang Kali Semarang jauh lebih pendek dibandingkan dengan panjang gelombang pasang surut, akibatnya muka air di Kali Semarang akan naik dan turun bersamaan waktunya dengan gerakan pasang-surut dimuara. Total volume air laut yang masuk ke Kali Semarang dalam satu periode pasang-surut (1 hari) sama dengan selisih volume air di Kali Semarang pada kondisi pasang dan surut.

Volume air laut yang masuk ke Kali Semarang untuk kondisi dasar saluran sesuai dengan rencana lebih besar dibandingkan dengan kondisi dasar saluran yang ada (setelah terjadi pendangkalan). Jumlah volume lumpur yang mengendap di Kali Semarang pada kondisi dasar saluran sesuai dengan rencana $\pm 85.000 \text{ m}^3$ per tahun, sedangkan pada kondisi dasar yang ada $\pm 65.000 \text{ m}^3$ per tahun dan hasil perhitungan tersebut terlalu tinggi. Hal ini disebabkan oleh karena data pasang surut yang dipakai adalah hasil pencatatan di Pelabuhan Tanjung Mas Semarang. Perbedaan pasang-surut dikolam pelabuhan lebih besar dibandingkan dengan di Muara Kali Semarang, karena kondisinya sangat dangkal dan landai. Disamping itu pengaruh suplesi air dari Kali Garang diabaikan, karena datanya tidak ada.

b. Ada pengaruh debit dari hulu

~~Berdasarkan data curah hujan tahunan dapat diketahui bahwa periode komulatif (terus menerus) selama 1 tahun yaitu ± 25 hari. Selama periode tersebut terdapat debit air dari hulu yaitu mulai dari nol sampai maksimum ($\pm 59 \text{ m}^3/\text{detik}$).~~

Untuk kondisi Kali Semarang dengan ketinggian dasar yang ada tidak akan ada interusi air laut, apabila debit dari hulu $> 6 \text{ m}^3/\text{detik}$.

Untuk kondisi Kali Semarang dengan ketinggian dasar rencana tidak akan terjadi interusi air laut, apabila debit dari hulu $> 19 \text{ m}^3/\text{detik}$ untuk kondisi pasang surut minimum (neap tide) dan $> 21 \text{ m}^3/\text{detik}$ untuk kondisi pasang surut maksimum (spring tide).

Selama periode ini jumlah volume lumpur tidak dapat dihitung, karena data hidrograf Kali Semarang tidak ada. Pengukuran hidrograf sungai pada muara tidak dapat dilaksanakan, karena adanya pengaruh pasang-surut air laut dan perbedaan rapat masa air laut dan air tawar. Selama periode ini jumlah lumpur yang mengendap di Kali Semarang relatif kecil.

6.2 Saran-Saran

Untuk mencegah masuknya air laut ke Kali Semarang dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

- Membangun pintu klep otomatis pada muara Kali Semarang
- Meningkatkan debit air suplesi dari bendung Simongan.