

G28.1
Amri
E ef



**EVALUASI LETAK INTAKE PDAM DI SUNGAI BENGKULU
TERHADAP PENGARUH INTRUSI AIR ASIN
DENGAN MODEL MATEMATIK**

T E S I S

**Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil**

Oleh :

KHAIRUL AMRI
L4A000020

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2002**

LEMBAR PENGESAHAN

**EVALUASI LETAK INTAKE PDAM DI SUNGAI BENGKULU
TERHADAP PENGARUH INTRUSI AIR ASIN
DENGAN MODEL MATEMATIK**

TESIS

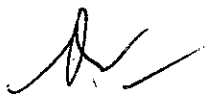
**Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil**

Oleh :

KHAIRUL AMRI
L4A000020

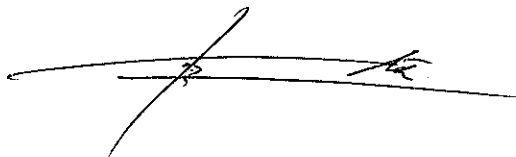
Disetujui Oleh,

Pembimbing I



Dr. Ir. Suripin, M.Eng.

Pembimbing II



Ir. Syafrudin, CES, M.T.



**EVALUASI LETAK INTAKE PDAM DI SUNGAI BENGKULU
TERHADAP PENGARUH INTRUSI AIR ASIN
DENGAN MODEL MATEMATIK**

Disusun oleh :

KHAIRUL AMRI
L4A000020

Dipertahankan di Depan Penguji Tanggal :

..... 23 Oktober 2002

**Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik Sipil**

Tim Penguji :

Ketua : Dr. Ir. Suripin, M. Eng

Sekretaris : Ir. Syafrudin, CES, M.T.

Anggota :

1. Ir. Suharyanto, M.Sc.

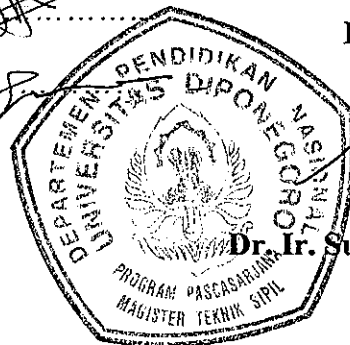
2. Ir. Salamun, M.T

3. Ir. Sugiyanto, M.Eng.

Semarang, 23 Oktober 2002

**Magister Teknik Sipil
PPs UNDIP**

Ketua,



Dr. Ir. Suripin, M. Eng

Karya ini Dipersembahkan Kepada :

“ Ayah dan Ibuku (Akhmad Mansyur dan Sanawati), yang telah memberikan doa, dasar Agama, akhidah, akhlak dan pentingnya ilmu pengetahuan untuk bekal, baik di dunia maupun di akhirat kelak “.

“ Teruntuk Istri dan anakku yang kusayangi dan kucintai (Gemi sumarni SP., dan Muhammad Fachrul Ashidiqie), Karena doa dan motivasi kalian, yang selalu membuatku tegar, sabar dan tabah dalam menuntut ilmu di negeri orang, walupun banyak sekali suka dan dukanya “.

“ Bapak dan Ibu Mertuaku (Razali dan Zahara), Ayuk, adik-adikku (Ratna Agustina S.Pd., Septi Masna Dewi S.Hut., Puspa Dewi SE., dan Febuar Emi Hartati, AM.Kes.), doa dan bantuan kalian yang telah menyertai keberhasilan ini.

Semoga Allah memberkati ilmu ini dan menjadikan ilmu yang bermanfaat juga selalu melimpahkan karunia dan hidayahNya kepada kita semua, Amiin “

“ Dan Allah menurunkan dari langit, hujan, dan dengan air itu dihidupkan-Nya bumi sesudah matinya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda kebesaran Allah bagi orang-orang yang mendengarkan “ (QS. An-Nahl : 65).

“ Allah, Dialah yang mengirimkan angin, lalu angin itu menggerakkan awan dan Allah membentangkannya di langit menurut yang dikehendaki-Nya, dan menjadikannya bergumpal gumpal, lalu kamu lihat hujan keluar dari celah-celahnya, maka apabila hujan itu turun mengenai hamba-Nya yang dikehendaki-Nya tiba-tiba mereka menjadi gembira “ (QS. Ar-Rumm : 48).

“ Wahai orang-orang yang beriman, jadilah kamu orang yang benar-benar menegaskan keadilan, menjadi saksi karena Allah biarpun terhadap dirimu sendiri atau ibu bapak dan kaum kerabatmu. Jika ia kaya atau miskin maka Allah lebih tahu kemaslahatannya. Maka janganlah kamu mengikuti hawa napsu karena ingin menyimpang dari kebenaran. Dan jika kamu memutar balikkan kata-kata atau enggan menjadi saksi maka sesungguhnya Allah adalah maha mengetahui segala apa yang kamu kerjakan “ (QS. An - Nisaa : 135)

ABSTRACTS.

Bengkulu River is one of the raw water sources of water supply by PDAM for Bengkulu urban community. Problem faced by PDAM is that the water has been effected by seawater intrusion, so that it disturb the treatment. Therefore, the existence of salt water intrusion need to be evaluated. This research is propose to the evaluate intake location of PDAM in Bengkulu River against salt water intrusion using one dimensional mathematic model, finite difference and using explicit scheme.

In solving the numerical model, continuity and momentum equations of Sain Venant equations are used to determine water elevation and discharge, and the obtained result is then solved by transport equation. All equation above are solved simultaneously in same time step. Salinity is obtained from direck measurement in field. Calibration of the model gives good results, and shows same tendency, with small deviation value compared to the value obtained from field measurement.

Based on estuari number (α) and water number (E), Bengkulu River type is clasiped into salt wegde estuary, with $\alpha = 2,76$ ($\alpha > 1$) and $E = 0,061$ ($E > 0,005$). Tide in Bengkulu river is mixed-dominant semi diurnal type, where there are two high water and two low water in a day, and some times one high water and one low tide.

Application of the model in Bengkulu River, for (1) spring tide (full moon) and minimum freshwater discharge ($4,6 \text{ m}^3/\text{sec}$) shows that the salinity at PDAM intake is 2,845 ppm. (2) spring tide (full moon) and mean freshwater discharge ($52,3 \text{ m}^3/\text{sec}$), salinity at PDAM intake is 1,580 ppm, (3) spring tide (full moon) and maximum freshwater discharge ($100 \text{ m}^3/\text{sec}$), salinity at PDAM intake is 0,0 ppm, (4) average tide and minimum freshwater discharge ($4,6 \text{ m}^3/\text{sec}$), salinity at PDAM intake is 2,221 ppm. (5) average tide and mean freshwater discharge ($52,3 \text{ m}^3/\text{sec}$), salinity at PDAM intake is 1,274 ppm, (6) average tide and maximum freshwater discharge ($100 \text{ m}^3/\text{sec}$), salinity at PDAM intake is 0,0 ppm. (7) neap tide (waxing moon) and minimum freshwater discharge ($4,6 \text{ m}^3/\text{sec}$), salinity at PDAM intake is 2,031 ppm, (8) neap tide (waxing moon) and mean freshwater discharge ($52,3 \text{ m}^3/\text{sec}$), salinity at PDAM intake is 0,986 ppm, (9) neap tide (waxing moon) and freshwater maximum discharge ($100 \text{ m}^3/\text{sec}$), salinity at PDAM intake is 0,0 ppm.

Based on the salinity resulted from the model, the intrusion at intake of PDAM Bengkulu is still below the allowable limit, (3,00 ppm), while the maximum salinity at PDAM intake is 2,845 ppm. Refer to the Standard Quality of Water the second class (PP. Nomor 82 Tahun 2001), the maximum allowable Chloride (Cl) is 600 mg/l, equivalent to salinity of 3,00 ppm.

ABSTRAKS

Sungai Bengkulu merupakan salah satu sumber air yang dipergunakan untuk sumber air baku oleh PDAM guna memenuhi kebutuhan masyarakat kota Bengkulu. Problem yang dihadapi oleh PDAM adalah bahwa sumber air sungai ini telah terkena intrusi air laut, sehingga mengganggu proses pengolahan air. Oleh karena itu perlu adanya evaluasi untuk mengetahui penjalaran air asin di Sungai Bengkulu sebagai fungsi debit dan waktu. Penelitian ini mengevaluasi letak intake PDAM di Sungai Bengkulu terhadap pengaruh intrusi air asin dengan model matematik akibat besarnya gelombang pasang dan variasi debit air tawar, dengan membuat model numeris satu dimensi. Perhitungan menggunakan metode beda hingga (*finite difference*) dan skema yang digunakan adalah skema eksplisit.

Dalam penyelesaian perhitungan numerik digunakan persamaan kontinuitas dan persamaan momentum dari Sain Venant yang menggambarkan elevasi muka air dan debit, selanjutnya hasil tersebut diselesaikan dengan persamaan transpor. Semua persamaan diatas diselesaikan secara simultan dengan langkah waktu yang sama. Nilai salinitas diambil dari hasil pengukuran di lapangan. Kalibrasi model memberikan hasil yang cukup baik, dan menunjukkan kecenderungan yang sama, dengan nilai deviasi yang kecil dibandingkan dengan nilai hasil pengukuran dilapangan.

Berdasarkan angka estuari (α) dan angka air pasang (E), maka Sungai Bengkulu termasuk tipe estuari sudut asin, dengan nilai $\alpha = 2,76$ ($\alpha > 1$) dan $E = 0,061$ ($E > 0,005$), sedangkan dari hasil analisis eksisting data pengukuran suplemen pasang surut Sungai Bengkulu termasuk tipe pasang surut campuran, dimana dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, dengan tinggi dan priode yang berbeda, kadang-kadang hanya terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut.

Hasil aplikasi model di Sungai Bengkulu, (1) pada kondisi air pasang maksimum (purnama) dengan debit air tawar minimum dari hulu sebesar $4,6 \text{ m}^3/\text{dt}$, salinitas pada intake PDAM sebesar 2,845 ppm. (2) Pada kondisi air pasang maksimum (purnama) dengan debit air tawar rata-rata dari hulu sebesar $52,3 \text{ m}^3/\text{dt}$, salinitas pada intake PDAM sebesar 1,580 ppm, (3) pada kondisi air pasang maksimum (purnama) dengan debit air tawar maksimum dari hulu sebesar $100 \text{ m}^3/\text{dt}$, salinitas pada intake PDAM sebesar 0,0 ppm. (4) Pada kondisi air pasang rata-rata dengan debit air tawar minimum dari hulu sebesar $4,6 \text{ m}^3/\text{dt}$, salinitas pada intake PDAM sebesar 2,221 ppm. (5) Pada waktu kondisi air pasang rata-rata dengan debit air tawar rata-rata dari hulu sebesar $52,3 \text{ m}^3/\text{dt}$, salinitas pada intake PDAM sebesar 1,274 ppm, (6) pada kondisi air pasang rata-rata dengan debit maksimum dari hulu sebesar $100 \text{ m}^3/\text{dt}$, salinitas pada intake PDAM sebesar 0,00 ppm. (7) Pada kondisi air pasang minimum (perbani) dengan debit air tawar minimum dari hulu sebesar $4,6 \text{ m}^3/\text{dt}$, salinitas pada intake PDAM sebesar 2,031 ppm, (8) pada kondisi air pasang minimum (perbani) dengan debit air tawar rata-rata dari hulu sebesar $52,3 \text{ m}^3/\text{dt}$, salinitas pada intake PDAM sebesar 0,986 ppm, (9) pada kondisi air pasang minimum (perbani) dengan debit air tawar maksimum dari hulu sebesar $100 \text{ m}^3/\text{dt}$, salinitas pada intake PDAM sebesar 0,0 ppm.

Dengan nilai salinitas hasil model ini, maka intrusi pada intake Perusahaan Daerah Air minum (PDAM) Bengkulu, masih di bawah batas maksimum yang diperbolehkan, yaitu 3,00 ppm. Sedangkan nilai salinitas maksimum pada intake PDAM, sebesar 2,845 ppm. Sesuai dengan syarat Baku Mutu Air Kelas II (PP. Nomor 82 Tahun 2001), maksimum Klorida (Cl) yang diperbolehkan sebesar 600 mg/l, yang setara dengan nilai salinitas sebesar 3,00 ppm.

KATA PENGANTAR

Sujud syukur kehadiran Allah SWT berkat rahmad dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “ Evaluasi Letak Intake PDAM di Sungai Bengkulu Terhadap Pengaruh Intrusi Air Asin Dengan Model Matematik ”.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada yth :

1. Bapak Dr. Ir. Suripin, M.Eng, sebagai Direktur Program Magister Teknik Sipil dan sekaligus sebagai pembimbing utama, yang dengan sabar, tulus dan ikhlas dalam memberikan arahan, bimbingan, serta banyak memberikan masukan-masukan teoritis, juga referensi kepada penulis.
2. Bapak Ir. Syafrudin, CES, MT, sebagai pembimbing pendamping, yang selalu memberikan arahan, masukan saat sebelum dan sesudah penelitian ini.
3. Bapak Ir. Suharyanto, M.Sc, sebagai dosen pembahas dan penguji, yang telah memberikan koreksi dan masukan untuk kebaikan tesis ini.
4. Bapak Ir. Salamun, MT, sebagai dosen pembahas dan penguji, yang telah memberikan keritik dan saran serta masukan terhadap tesis ini.
5. Bapak Ir. Sugiyanto, M.Eng, sebagai dosen pembahas dan penguji, yang telah memberikan koreksi dan masukan terhadap tesis ini.
6. Bapak Prof. Dr. Zulkipli Husein, M.Sc, sebagai Rektor Universitas Bengkulu yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk mengikuti pendidikan Pasca Sarjana di Universitas Diponegoro.
7. Bapak Dr. Ir. Ali Munawar, M.Sc, sebagai Dekan Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu.

8. Bapak Dr. Ir. Hermen Malik, M.Sc, Dr. Ir. Syafrin Tiaif, M.Sc, Dr. Ir. Yuwana, M.Sc, dan seluruh staf dosen Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu.
9. Bapak Direktur DUE Project dan seluruh staf DUE Project Universitas Bengkulu.
10. Bapak Kepala Dinas Kimpraswil Tk. I Bengkulu.
11. Bapak Kepala Laboratorium Dinas Kimpraswil Tk. I Bengkulu.
12. Teman teman seperjuangan yang telah banyak memberikan masukan dalam pembuatan tesis ini.

“Tiada gading yang tak retak”, pada tesis ini masih banyak kekurangan dan kelemahan. Oleh karena itu penulis mengharapkan adanya saran dan kritik yang bersifat membangun, demi kesempurnaan tesis ini. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak terutama yang berkaitan dengan pengelolaan dan pengembangan sumberdaya air di Indonesia, Amin.....

Semarang, Oktober 2002

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
ABSTRAKS	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah	2
1.5. Sasaran Penelitian	3
1.6. Manfaat Penelitian	3
BAB II. DISKRIPSI WILAYAH	
2.1. U m u m	4
2.2. Topografi dan Geologi	4
2.3. Tata Guna Lahan	8
2.4. Iklim dan Hidrologi	13
2.4.1 Debit Sungai	15
2.4.2 Produksi Air Baku Perusahaan Daerah Air Minum Bengkulu	18
2.4.3 Kapasitas Layanan	18

BAB III. TINJAUAN PUSTAKA

3.1. Pendahuluan	20
3.2. Pola Sirkulasi Aliran di Muara Sungai (<i>estuari</i>)	21
3.2.1. Faktor-Faktor yang berpengaruh	21
3.3. Intrusi Air Asin Lewat Sungai	26
3.4. Percampuran (<i>mixing</i>) di Estuari	30
3.5. Memperkirakan Pola sirkulasi Estuari	30
3.6. Formulasi Model Matematik I – D	34
3.6.1. Kondisi Awal dan Kondisi Batas	37
3.6.2. Penyelesaian Secara Numerik	39

BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Alur Pikir Penelitian	46
4.2. Identifikasi dan Rumusan Permasalahan	47
4.3. Penyusunan Hipotesis	47
4.4. Pengumpulan Data	47
4.4.1. Data Skunder	47
4.4.2. Data Primer	48
4.5. Formulasi Metoda Penyelesaian	49
4.6. Penyusunan Model	50
4.6.1. Kalibrasi	50
4.6.2. Aplikasi	50
4.6.3. Skenario	51
4.7. Analisis dan Interpretasi Hasil Model	53

BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. U m u m	63
5.2. Hasil Pengukuran	63

5.2.1. Salinitas	63
5.2.2. Pasang Surut	64
5.2.3. Menentukan Tipe Estuari	66
5.3. Kalibrasi Model	67
5.4. Hasil Aplikasi Model	82
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. KESIMPULAN	134
5.2. SARAN	136
DAFTAR PUSTAKA	137

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Penggunaan lahan DAS Bengkulu	8
Tabel 2.2. Kondisi Iklim di Daerah Studi	14
Tabel 2.3. Debit rata-rata sungai Bengkulu tahun 1995 sampai tahun 2000	17
Tabel 2.4. Rata-rata biaya produksi dan distribusi air minum PDAM Bengkulu	19
Tabel 4.1. Jenis-Jenis Data Skunder Yang Dibutuhkan	48
Tabel 4.2. Jenis-Jenis Data Primer Yang Dibutuhkan	48
Tabel 4.3. Skenario Pasang Surut dan Debit Pada Waktu Running Program	52
Tabel 4.4. Kondisi Morfologi Sungai Pada Waktu Air Normal	52
Tabel 5.1. Hasil Kalibrasi Salinitas Purnama	68
Tabel 5.2. Hasil Kalibrasi Salinitas Perbani	68
Tabel 5.7. Hasil Test Model Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama Dengan Debit Minimum ($Q= 4,6 \text{ m}^3/\text{dt}$)	83
Tabel 5.8. Hasil Test Model Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama Dengan Debit Rata-Rata ($Q= 52,3 \text{ m}^3/\text{dt}$)	89
Tabel 5.9. Hasil Test Model Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama Dengan Debit Maksimum ($Q= 100 \text{ m}^3/\text{dt}$)	95
Tabel 5.10. Hasil Test Model Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata Dengan Debit Minimum ($Q= 4,6 \text{ m}^3/\text{dt}$)	100
Tabel 5.11. Hasil Test Model Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata Dengan Debit Rata-Rata ($Q= 52,3 \text{ m}^3/\text{dt}$)	106

Tabel 5.12. Hasil Test Model Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata Dengan Debit Maksimum ($Q= 100 \text{ m}^3/\text{dt}$)	112
Tabel 5.13. Hasil Test Model Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani Dengan Debit Minimum ($Q= 4,6 \text{ m}^3/\text{dt}$)	117
Tabel 5.14. Hasil Test Model Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani Dengan Debit Rata-Rata ($Q= 52,3 \text{ m}^3/\text{dt}$)	123
Tabel 5.15. Hasil Test Model Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani Dengan Debit Maksimum ($Q= 100 \text{ m}^3/\text{dt}$)	129

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Peta wilayah administratif study	5
Gambar 2.2. Daerah Aliran Sungai (DAS) Bengkulu	6
Gambar 2.3. Peta geologi propinsi Bengkulu	7
Gambar 2.4. Peta Tata Guna Lahan	10
Gambar 2.5. Peta Lokasi Studi	11
Gambar 2.6. Peta Situasi Lokasi Studi	12
Gambar 3.1. Estuari Dengan Sudut Asin (<i>Salt Wedge</i>)	28
Gambar 3.2. Estuari Tercampur Sebagian (<i>Partially Mixed</i>)	29
Gambar 3.3. Estuari Tercampur Sempurna (<i>Well Mixed</i>)	30
Gambar 3.4. Skema Eksplisit	40
Gambar 4.1. Skema Langkah Penelitian	46
Gambar 4.2. Estuari Dengan Tampang Prismatis	54
Gambar 4.3. Sistem Penomoran Grid	54
Gambar 4.4. Bagan Alir Komputasi Perambatan Gelombang Dan Garam	55
Gambar 4.5. Flowcahart Perambatan Gelombang Dan Garam	56
Gambar 5.1. Fluktuasi Muka Air Priode 20 September-4 Oktober 1999	65
Gambar 5.1.a-f. Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama Dengan Debit 30 m ³ /dt Berdasarkan Hasil Pengukuran dan Pemodelan	69
Gambar 5.2.a-h. Grafik Fluktuasi Muka Air Pada Kondisi Pasang Purnama Dengan Debit 30 m ³ /dt Berdasarkan Hasil Pengukuran dan Pemodelan	72
Gambar 5.3.a-f. Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani Dengan Debit 30 m ³ /dt Berdasarkan Hasil Pengukuran dan Pemodelan	75
Gambar 5.4.a-h. Grafik Fluktuasi Muka Air Pada Kondisi Pasang Perbani Dengan Debit 30 m ³ /dt Berdasarkan Hasil Pengukuran dan Pemodelan	79
Gambar 5.7.a-g. Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama Dengan Debit Minimum	84
Gambar 5.8.a-h. Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama Dengan Debit Rata-Rata	90

Gambar 5.9.a-f. Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama Dengan Debit Maksimum	96
Gambar 5.10.a-h. Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata Dengan Debit Minimum	101
Gambar 5.11.a-g. Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata Dengan Debit Rata-Rata	107
Gambar 5.12.a-f. Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata Dengan Debit Maksimum	113
Gambar 5.13.a-h. Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani Dengan Debit Minimum	118
Gambar 5.14.a-g. Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani Dengan Debit Rata-Rata	124
Gambar 5.15.a-f. Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani Dengan Debit Maksimum	130

DAFTAR NOTASI

A	: Lebar penampang basah estuari
A_0	: Luas penampang aliran di mulut estuari
A_x	: Luas penampang aliran pada x km dari mulut estuari/muara
b	: Lebar estuari
b_0	: Lebar mulut estuari/muara
b_x	: Lebar x km dari mulut estuari
C	: Konsentrasi garam
C_0	: Konsentrasi awal hitungan cara analitis
CA	: Konsentrasi awal hitungan
CB	: Konsentrasi pada proses konveksi
CC	: Konsentrasi pada proses dispersi (konveksi + difusi)
C_r	: Courant Number
C_z	: Koefisien Chezy
D	: Kedalaman air
dc	: Jarak antara dasar estuari dan pusat berat penampang
E	: Angka estuari
Fr	: Angka Froude
g	: Percepatan gravitasi bumi
h	: Kedalaman air setelah ditambah dengan tinggi pasang surut
H	: Tinggi gelombang pasang surut
i	: Nomor grid arah sumbu x
I_0	: Kemiringan saluran
I_f	: Kemiringan garis Energi
Kd	: Koefisien difusi
K_m	: Koefisien difusi longitudinal
K_r	: Koefisien Strikler
K_x	: Koefisien difusi dengan rumus Okubo

L	: Panjang estuari
m	: Kemiringan tebing estuari
n	: Koefisien Manning
P	: Keliling basah penampang
Pc	: Peclet Number
Q	: Debit air
q	: Eksternal inflow
R	: Jari-jari hidrolis
S	: Kosentrasi kegaraman
T	: Priode gelombang pasang surut
Tr	: Angkutan total
t	: Waktu
u	: Kecepatan aliran air arah x
V_0	: Kecepatan awal
v	: Kecepatan awal arah y
w	: Kecepatan aliran arah z
x	: Sumbu x
y	: Sumbu y
Y	: Elevasi muka air
z	: sumbu z
Δx	: Langkah ruang pada arah x
Δt	: Langkah waktu
ρ	: Rapat massa zat cair
π	: Konstanta = 3,1415927
δ	: Operator differensial
α	: Angka air pasang
ζ	: Fluktuasi muka air

DAFTAR LAMPIRAN

1. Lampiran A. Data Hasil Pengukuran Lapangan Dan Data Hasil Model Pada Waktu Pasang Purnama Dan Pasang Perbani.
2. Lampiran B. Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas Menurut Peraturan Pemerintah Nomor : 082 Tahun 2001.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan yang mutlak bagi semua makhluk hidup, manusia, hewan, maupun tumbuh-tumbuhan. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dan aktifitas manusia, maka penggunaan sumber daya alam, khususnya sumberdaya airnya meningkat. Sementara itu jumlah air yang tersedia relatif tetap. Oleh karena itu perlu usaha untuk meningkatkan daya guna dengan jalan menjaga kelestariannya.

Kota Bengkulu yang di lalui Sungai Bengkulu merupakan salah satu kota yang memanfaatkan air permukaan untuk air baku PDAM setempat. Oleh sebab itu pemerintah daerah Kota Bengkulu melalui Perusahaan Daerah Air minum (PDAM) mengambil air baku dari sungai Bengkulu ini guna pemenuhan air bersih masyarakat Kota Bengkulu. Secara kuantitas, kebutuhan air baku PDAM dapat dipenuhi. Namun secara kualitas kurang baik, akibat pengaruh intrusi air asin. Dengan adanya intrusi air laut ini, menyebabkan pengolahan yang dilakukan oleh Perusahaan Air Minum menjadi lebih rumit dan mahal.

Seperti diketahui bahwa sungai Bengkulu memegang peranan penting dalam penyediaan air baku bagi masyarakat kota Bengkulu. Permasalahan adanya intrusi air laut pada Sungai Bengkulu ini disebabkan debit sungai tidak cukup besar untuk menahan arus pasang air laut di muara, terutama pada musim kemarau. Adanya intrusi air asin telah mengganggu produktifitas PDAM, dan berdampak pada penyediaan air bersih bagi masyarakat kota Bengkulu. Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap intrusi air laut adalah debit sungai, makin kecil debit sungai

makin jauh jarak pengaruh intrusi air laut ke arah hulu, maka untuk itu perlu diketahui hubungan antara jarak intrusi dengan debit. Disamping debit, juga ada faktor lain yang berpengaruh pada intrusi air asin di sungai, yaitu pasang surut dan penampang sungai. Dengan diketahuinya pergerakan air asin di sungai Bengkulu, maka dapat diletakkan posisi pintu intake secara aman, atau dapat ditentukan saat-saat yang aman untuk mengambil air baku serta besar volumenya.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan diatas, maka penulis tertarik untuk melakukan kajian intrusi air laut pada sungai Bengkulu dalam hubungannya dengan penyediaan air baku bagi penduduk kota Bengkulu, dengan rumusan masalah sebagai berikut :

- 1). Panjang intrusi air laut masuk ke arah hulu sungai Bengkulu pada musim kemarau, dan pada keadaan pasang tertinggi.
- 2). Hubungan antara jarak intrusi air laut dengan dinamika pasang surut, dan debit sungai Bengkulu.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah untuk menentukan panjang intrusi air asin di Sungai Bengkulu dengan model matematik 1-D dalam rangka untuk mengevaluasi letak bangunan pengambilan (*intake*) PDAM terhadap pengaruh air asin.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini hanya menentukan besarnya kadar garam dan jarak intrusi air asin akibat air pasang, dengan memperhitungkan pengaruh tranpor garam secara

konveksi dan difusi, dan mengabaikan gaya koralis serta gaya yang disebabkan oleh angin.

2. Model matematik yang disusun dalam penelitian ini hanya dalam bentuk 1-D, dengan menggunakan skema eksplisit.

1.5. Sasaran Penelitian

Sasaran utama penelitian ini adalah :

- 1). Mengkaji pola sirkulasi estuari di Sungai Bengkulu.
- 2). Menghitung jarak intrusi air laut di Sungai Bengkulu, dengan berbagai kondisi pasang surut dan pada saat debit air tawar maksimum, minimum.

1.6. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini nantinya diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

- 1) Menambah informasi ilmiah tentang faktor-faktor yang mempengaruhi intrusi air laut melalui muara serta pengaruhnya terhadap penyediaan air bersih.
- 2) Sebagai acuan dalam pengembangan dan pemanfaatan air sungai Bengkulu sebagai air baku air minum bagi masyarakat kota Bengkulu.
- 3) Dapat menjadi acuan bagi peneliti berikutnya yang mengkaji tentang sungai Bengkulu atau daerah lainya.
- 4) Untuk pembangaunan daerah, dapat menjadi bahan masukan bagi para perencana pada umumnya, khususnya bagi PDAM Kota Bengkulu.

BAB II

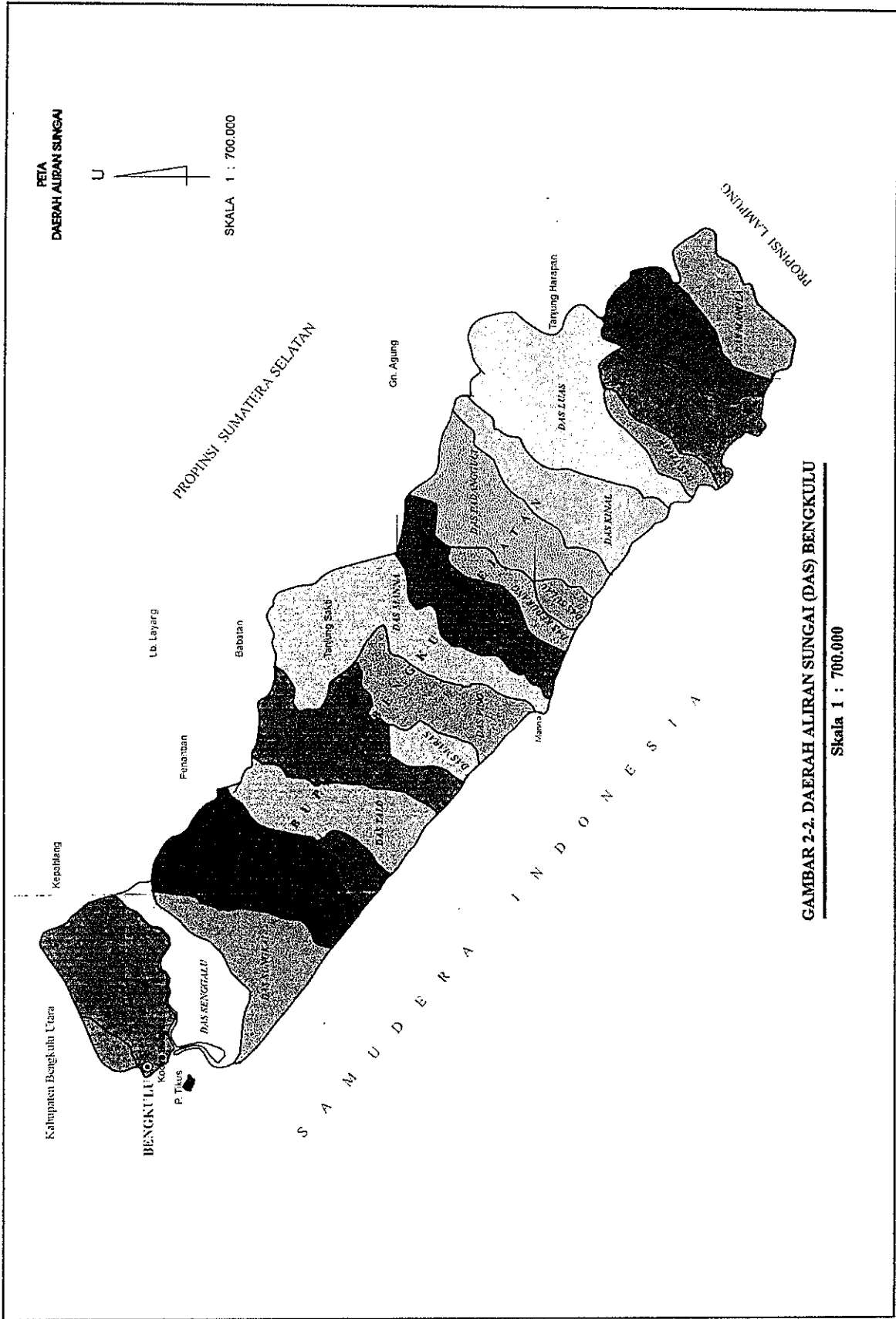
DISKRIPSI DAERAH STUDI

2.1. U m u m

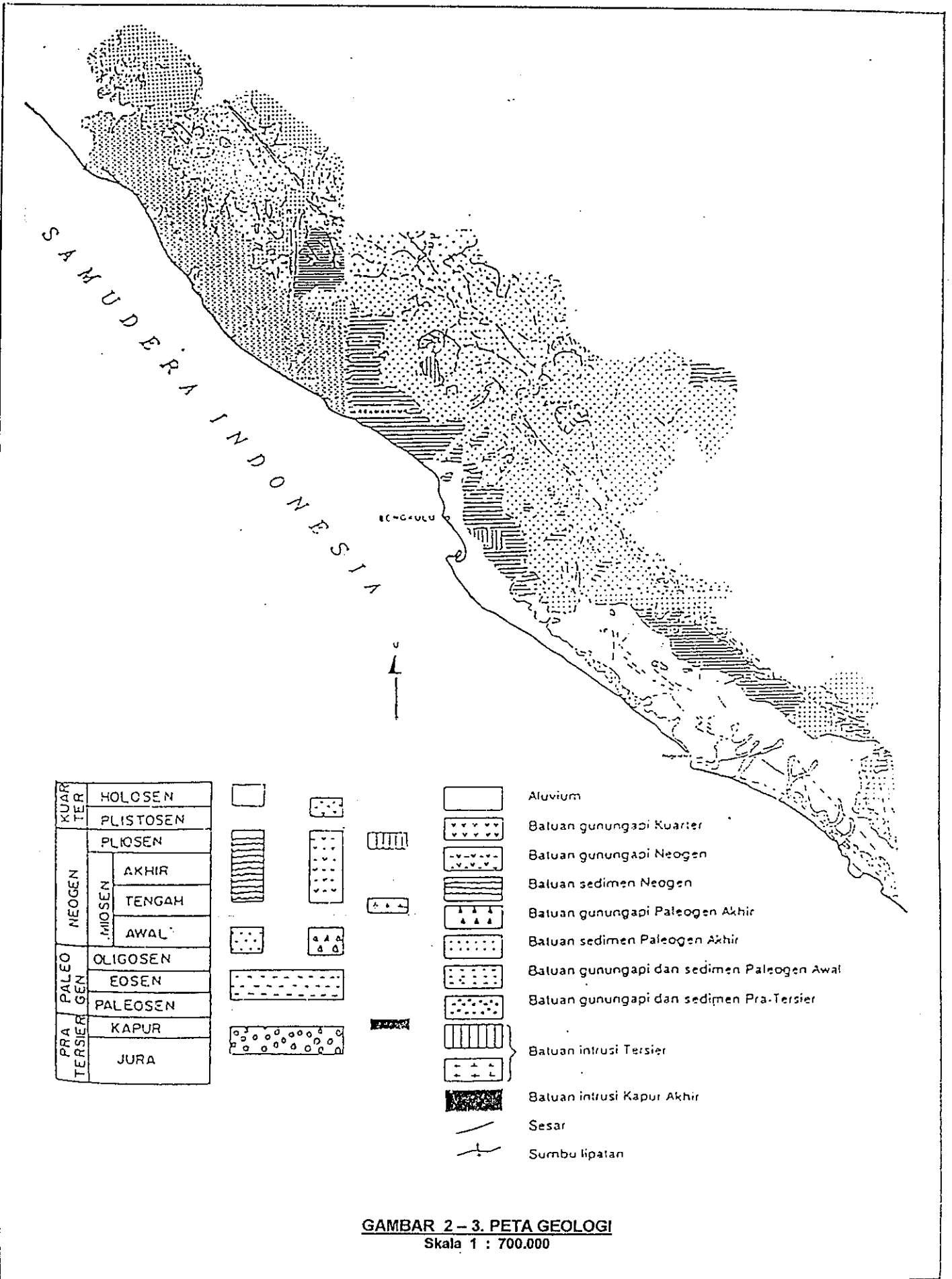
Daerah Aliran Sungai Bengkulu secara administratif meliputi sebagian wilayah Kecamatan Pondok Kelapa, Talang Empat, Taba Penanjung, Kabupaten Bengkulu Utara, dan wilayah Kotamadya Bengkulu yang terdiri dari Kecamatan Muara Bangkahulu, Teluk Segara dan Gading Cempaka. Sumber air sungai ini berasal dari Bukit Kambing, Bukit Resam, Bukit Dendam dan lereng bukit di sekitarnya. Sedangkan panjang sungai 49 km dengan luas DAS 501 km², sungai ini melewati kota Bengkulu bagian Utara dan bermuara ke Samudra Indonesia. Lihat (Gambar 2 – 1) dan (Gambar 2 – 2).

2.2. Topografi dan Geologi

Keadaan topografi di Daerah Aliran Sungai Bengkulu relatif terjal dan dengan ketinggian letak 5 – 500 meter di atas permukaan laut. Asikin (1981), menjelaskan bahwa dalam membicarakan kondisi geologi, maka komponen yang harus terkait meliputi struktur batuan dan jenis batuan. Struktur batuan merupakan bentuk dan kedudukan batuan yang dapat di lihat sekarang, serta kenampakannya merupakan hasil dari dua proses. Proses pertama yang berhubungan dengan pembentukan batuan tersebut (struktur primer). Proses kedua yaitu proses yang bekerja setelah pembentukan struktur primer yang berupa deformasi mekanik ataupun perubahan kimiawi yang mempengaruhi batuan tersebut berbentuk. Struktur batuan yang terdapat di daerah penelitian terdiri dari batuan Neogin. Lihat (Gambar 2 – 3).



GAMBAR 2-2. DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) BENGKULU
Skala 1 : 700.000



2.3. Tata Guna Lahan

Sutikno dkk (1993), menjelaskan bahwa penggunaan lahan (*land use*) mempunyai arti segala macam campur tangan manusia, baik secara permanen ataupun secara siklus terhadap sekumpulan sumber daya lahan dengan tujuan untuk memperoleh manfaat dari lahan guna mencukupi kebutuhan hidup manusia, baik berupa kebendaan, spiritual, ataupun kedua-duanya. Sedangkan bentuk penggunaan lahan pada dasarnya merupakan wujud nyata sebagai hasil akhir dari proses interaksi yang dinamis antara aktivitas manusia dan sumber daya lahan dengan unsur pembatas-pembatasnya di dalam lingkungan tempat hidupnya.

Bentuk penggunaan lahan yang terdapat di daerah penelitian dapat di bedakan menjadi 6 macam yaitu : hutan, semak belukar, sawah, badan air, kebun campuran/pemukiman dan tegalan. Pola penggunaan lahan dan luasnya dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) Bengkulu, dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1.
Tabel Penggunaan Lahan DAS Bengkulu

No.	Jenis	Luas (Ha)	Persen (%)
1.	Hutan	9.595	18,242
2.	Semak Belukar	3.846	7,312
3.	Sawah	4.789	9,105
4.	Badan Air	89	0,169
5.	Kebun Campuran/Pemukiman	24.240	40,380
6.	Tegalan	13.038	24,788
	Jumlah	52.597	100 %

Sumber : SBRLKT Ketahun/Bengkulu 1999

Berdasarkan Tabel 2.1. tersebut, penggunaan lahan sebagai kebun campuran menempati luas yang terbesar yaitu 21.240 ha, atau 40,38 % dari luas DAS Bengkulu. Pemukiman yang terluas berada pada bagian hilir yaitu Kota Bengkulu.

DAS Bengkulu secara umum di bagi atas tiga bagian yaitu sub-DAS bagian hulu, bagian tengah dan bagian hilir. Sebagai gambaran untuk DAS Bengkulu adalah :

1) Sub-DAS Bagian Hulu :

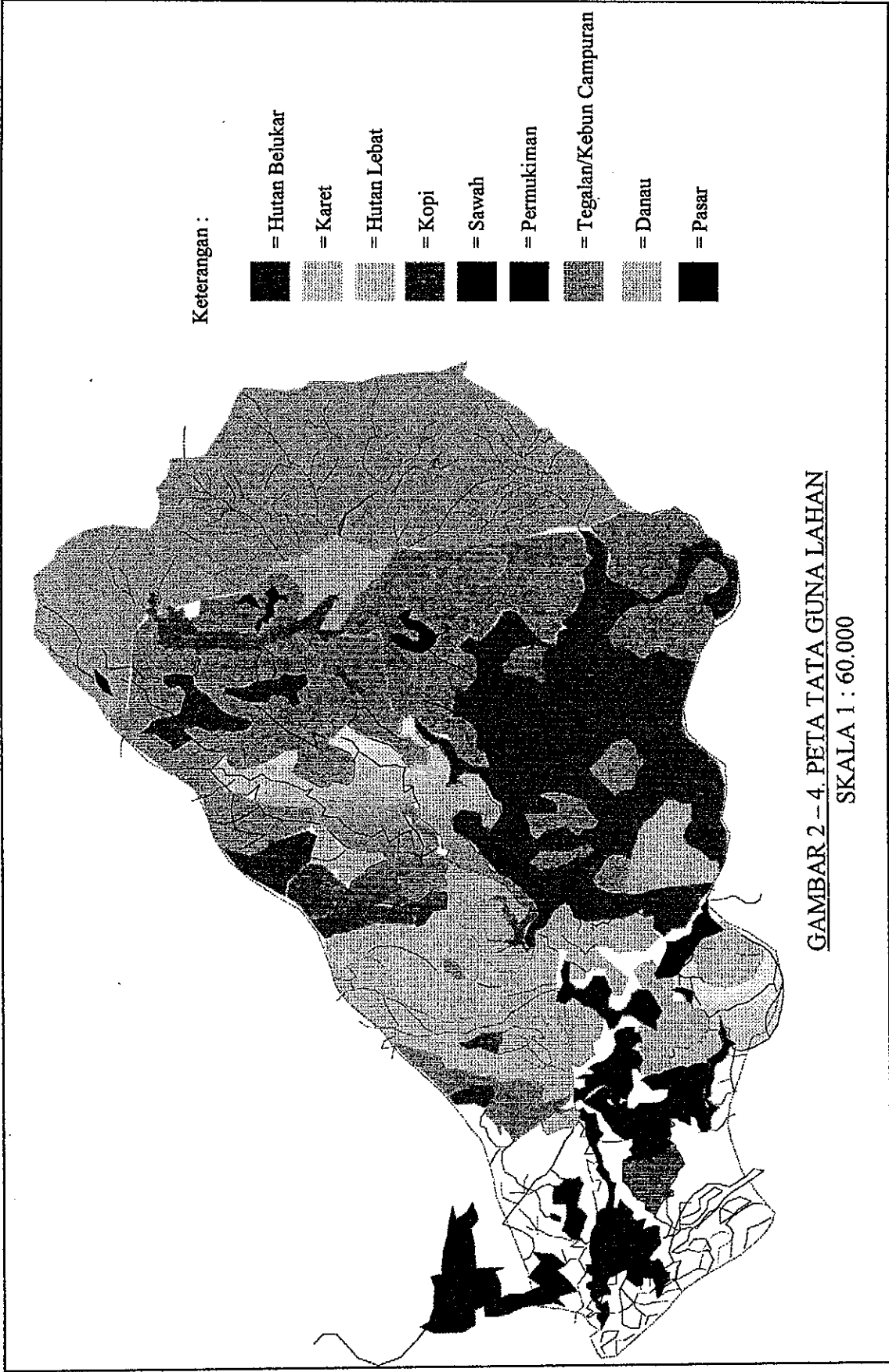
Pada umumnya merupakan daerah tangkapan air, daerah ini termasuk wilayah Kecamatan Taba Penanjung Kabupaten Bengkulu Utara dengan luas 527,30 km² yang berada pada ketinggian 500 m dpl, yang terdiri dari kawasan lindung dan kawasan budidaya.

2) Sub-DAS Bagian Tengah :

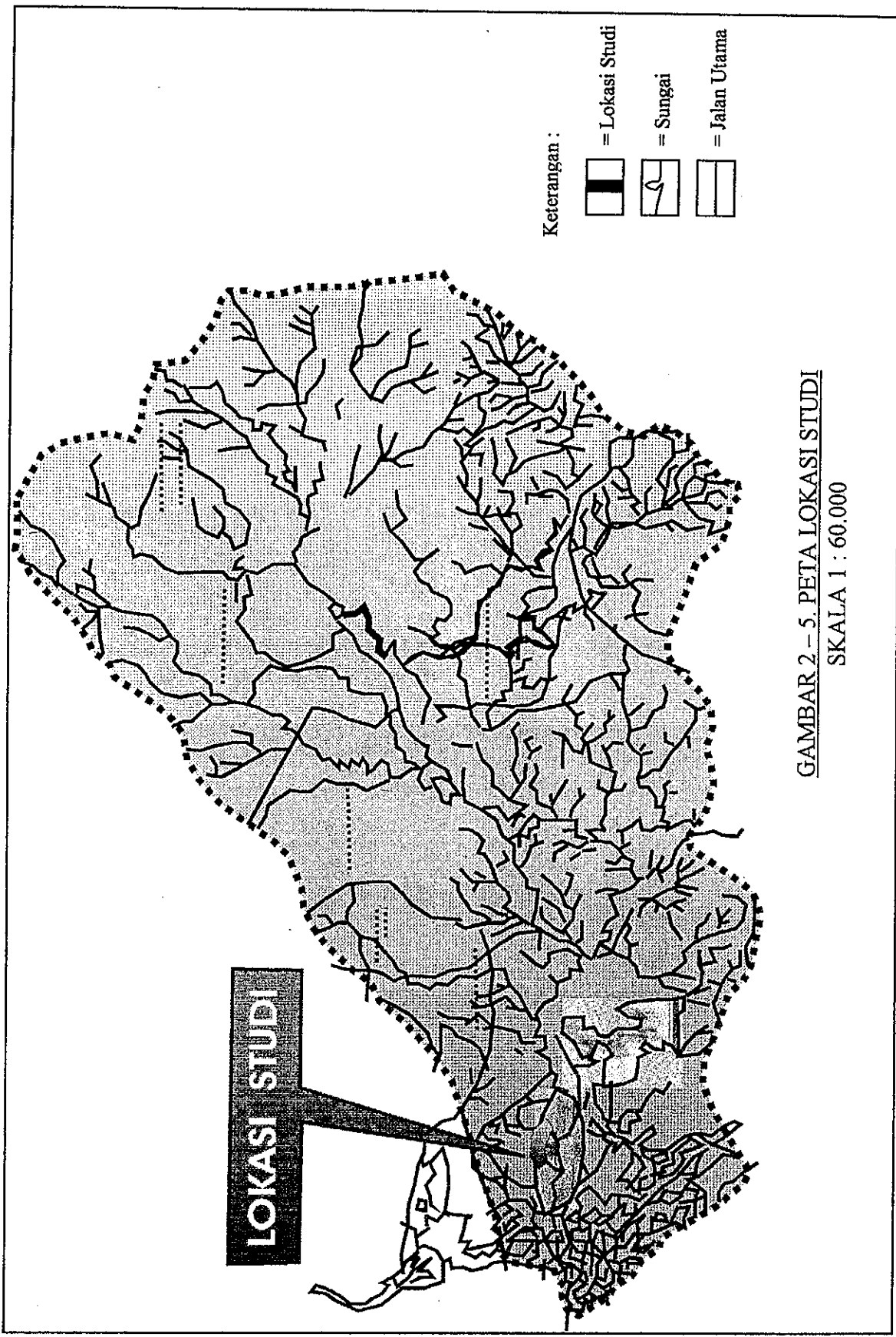
Daerah ini terletak antara bagian hulu dan bagian hilir (pantai). Daerah ini termasuk Kecamatan Talang Empat dan sebagian kecil Kecamatan Pondok Kelapa, berada pada ketinggian 30 m dpl. Sebagian besar daerah ini merupakan daerah pertanian lahan kering berupa kebun campuran dan belukar.

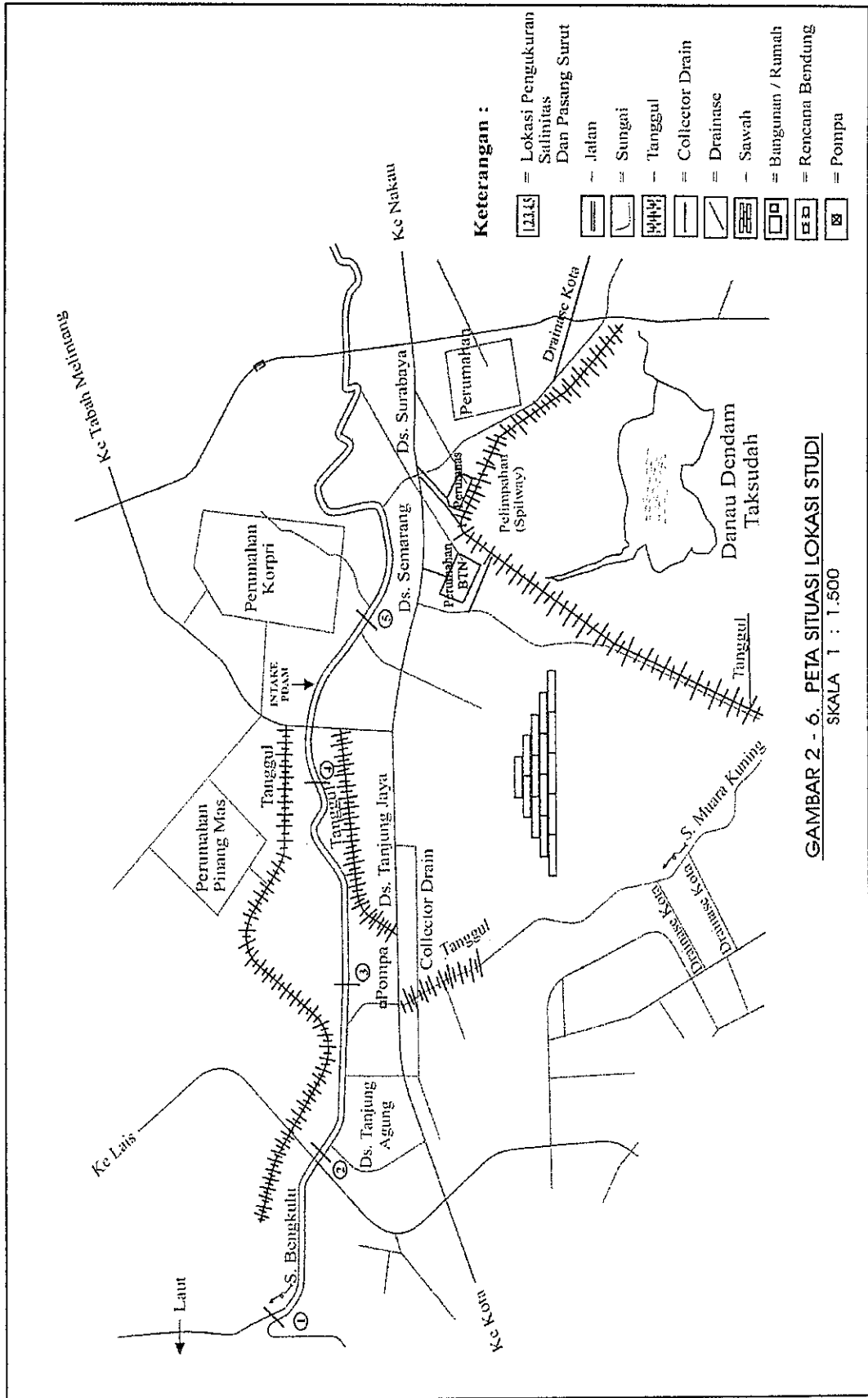
3) Sub-DAS Bagian Hilir :

Pada bagian yang paling hilir termasuk pada wilayah kota Bengkulu yang mencakup Kecamatan Muara Bangkahulu, Teluk Segara dan Gading Cempaka dengan luas daerah 6.919 km², dengan ketinggian 5 -7 m dari permukaan laut (dpl).



GAMBAR 2 – 4. PETA TATA GUNA LAHAN
SKALA 1 : 60.000





GAMBAR 2 - 6. PETA SITUASI LOKASI STUDI
 SKALA 1 : 1.500

2.4. Iklim Dan Hidrologi

Strahler (1989), menjelaskan bahwa iklim adalah kondisi karekteristik dari atmosfer suatu daerah. Menurut Wisnubroto dkk, (1983), yang dimaksud dengan kondisi karakteristik atmosfer, yaitu kondisi cuaca rata-rata dari suatu daerah atau tempat selama bertahun-tahun atau dalam jangka waktu yang panjang (30 tahun).

Kondisi iklim di daerah penelitian di tinjau berdasarkan sistem iklim menurut Schmidt dan Ferguson (1989), yang mengacu pada karakteristik curah hujan dan temperatur, membagi lima grup iklim mayor di dunia, yaitu :

- 1) Iklim A, iklim hujan tropika (*tropical rainy climate*), dengan ciri suhu rata-rata tiap bulan diatas 18°C , tidak mengalami musim dingin (*winter*), curah hujan tahunan dan penguapan lebih besar, total hujan tahunan (mm) $> 20 t$ bila hujan kebanyakan jatuh pada musim dingin dan $> 20 (t+14)$ bila hujan kebanyakan jatuh pada musim panas, dimana t adalah temperatur rata-rata tahunan.
- 2) Iklim B, iklim kering (*dry climate*), dengan ciri penguapan lebih besar dari curahan selama tidak ada persediaan air, tidak ada sungai permanen. Kreteria lainnya adalah total hujan tahunan (mm) $< 20 t$ bila hujan kebanyakan jatuh pada musim dingin dan $< 20 t$ bila hujan kebanyakan jatuh pada musim panas, sedang hujan tahunan $< 20 (t+7)$ dapat di pakai untuk mewakili hujan maksimum jika hujannya merata sepanjang tahun.
- 3) Iklim C, iklim sedang dan lembab, dengan ciri bulan terdingin rata-rata suhunya $< 18^{\circ}\text{C}$, tetapi $> - 3^{\circ}\text{C}$, sekurang-kurangnya suhu satu bulan rata-rata $> 10^{\circ}\text{C}$.
Iklim ini memiliki musim panas (*summer*) dan dingin (*winter*).

- 4) Iklim D, iklim salju (*snowy microthermal climate*), dengan ciri suhu rata-rata pada bulan terdingin kurang dari -3°C , suhu rata-rata pada bulan terpanas $> 10^{\circ}\text{C}$, letaknya hampir bersamaan dengan batas pertumbuhan hutan ke arah kutub.
- 5) Iklim E, iklim kutub (*polar climate*), dengan ciri rata-rata pada bulan terpanas $< 10^{\circ}\text{C}$, iklim ini tidak mempunyai musim panas (*summer*) yang sebenarnya.

Dari hasil pantauan dan pengamatan pada pos Klimatologi oleh Badan Meteorologi dan Geofisika Departemen Perhubungan dan dari pos Klimatologi Puslitbang Pengairan yang sekarang di kelola oleh Dinas Pengairan, dapat diketahui data cuaca dan iklim, yaitu besarnya dapat dilihat pada Tabel 2.2. berikut :

Tabel 2.2.
Kondisi Iklim di Daerah Studi

No.	Uraian	Bulanan Min	Bulanan Max	Bulanan Rata-rata
1.	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	19,80	34,40	25,80
2.	Kelembaban (%)	84,22	86,39	85,34
3.	Jumlah curah hujan (mm)	162	399	290
4.	Hari hujan (hari)	9	29	18
5.	Evapotranspirasi rata-rata (mm)	3,1	5,1	3,9
6.	Intensitas radiasi matahari (cal/mm^2)	226	390	325
7.	Lama penyinaran matahari (jam)	3,6	7,9	6,2
8.	Kecepatan angin	3,6	16,2	6,9
9.	Tekanan Udara	1.009,20	1.010,73	1.014,82

Sumber : Stasiun Klimatologi Pulau Baai Bengkulu 2000

Besarnya intensitas curah hujan itu berbeda-beda yang di sebabkan oleh lamanya curah hujan atau frekuensi kejadiannya (Sostrodarsono, 1980). Hujan yang terjadi di Kota Bengkulu setiap bulannya berbeda, Hujan yang cukup besar terjadi mulai bulan September, curah hujan meningkat sampai mencapai titik maksimum pada bulan Nopember, dengan rata-rata bulanan sebesar 402 mm, dan curah hujan mulai turun pada bulan Mei sampai pada titik minimum pada bulan Juli, dengan rata-rata bulanan sebesar 173 mm (Tiaif dan Siswanto, 1999). Sedangkan curah hujan pada bulan Desember sampai bulan April relatif stabil. Pada bulan Juli angin musim Timur bertiup kuat yang menyebabkan Daerah Aliran Sungai (DAS) di Propinsi Bengkulu banyak kehilangan air, karena penguapan yang terjadi lebih besar dibandingkan curah hujan yang di terima. Hal ini menyebabkan pada bulan Juli di propinsi Bengkulu terjadi musim kemarau yang bersamaan waktunya dengan musim dingin di benua Australia (Daldjoeni, 1983). Pada bulan Nopember bertiup angin musim Barat-Laut (*North-west monsoon*), sehingga terjadi musim penghujan. Hal ini ditandai dengan terjadinya curah hujan yang lebih besar dibandingkan dengan penguapan. Besarnya rata-rata curah hujan tahunan tertinggi di Kota Bengkulu berdasarkan metode isohiet yaitu sebesar 6000 mm di stasiun 21 e (Sido Mulyo) dengan luas areal 6000 ha (Tiaif dan Siswanto, 1999).

2.4.1. Debit Sungai

Debit atau besarnya aliran sungai (*stream flow*) adalah volume aliran yang mengalir melalui suatu penampang melintang sungai persatuan waktu. Biasanya dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/dt) atau liter per detik (l/dt). Aliran adalah pergerakan air di dalam alur sungai. Pengukuran debit dilaksanakan

di suatu pos duga air tujuannya terutama adalah untuk membuat lengkung debit dari pos duga air yang bersangkutan. Lengkung debit dapat merupakan hubungan yang sederhana antara tinggi muka air dan debit, dapat pula merupakan hubungan yang kompleks, apabila debit disamping fungsi dari tinggi muka air juga merupakan fungsi dari kemiringan muka air, tingkat perubahan muka air dan fungsi dari faktor lainnya.

Berdasarkan hasil pengukuran besarnya debit tahunan sungai Bengkulu, menurut data pengukuran aliran dengan metode hmos dari tahun 1995 sampai dengan tahun 2000 yang tercatat dapat dilihat pada Tabel 2.3. berikut :

Tabel 2.3.

Debit rata-rata sungai Bengkulu tahun 1995 sampai tahun 2000

Bulan	Jan	Peb	Mrt	Apr	Mei	Juni	Juli	agst	Sept	Okt	Nop	Des
Qrata ² (m ³ /dt)	57,14	50,81	35,14	10,11	20,15	22,80	33,26	25,93	51,43	51,02	57,24	71,82
Aliran Spesifik (l/dt/km ²)	157,81	140,35	97,08	27,94	55,67	62,98	91,88	71,62	142,06	140,93	158,12	198,10
Tinggi Aliran (mm)	422,8	339,5	260,0	72,4	149,1	163,3	246,1	191,8	368,2	377,5	409,9	531,4
Volume (10 ⁴)	153,04	122,91	94,12	26,22	53,98	61,07	89,09	69,44	133,30	136,64	148,37	192,36

Sumber : Dinas PU TK. I Bengkulu tahun 2000

Data debit tahunan rata-rata = 40,54 m³/dt
 Aliran km² (l/dt) = 112,0 (l/dt)
 Tinggi aliran (mm) = 3532 (mm)
 Meter kubik (10⁶) = 1278,6

Aliran Extrim yang pernah terjadi sampai dengan tahun 2000 adalah :

Aliran terbesar = M.A 6,03 m dan Q = 310,835 m³/dt terjadi pada tanggal 20 Oktober 2000
 Aliran terkecil = M.A 0,36 m dan Q = 4,642 m³/dt terjadi pada tanggal 05 Agustus 2000

2.4.2. Produksi Air Baku Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Bengkulu

Kapasitas produksi yang berjalan saat ini untuk penyediaan air baku PDAM Kota Bengkulu adalah 160 l/dt, dengan kapasitas yang diproduksi rata-rata setiap bulan adalah 333.218 m³. Dari jumlah tersebut sebanyak 94,7% didistribusikan pada meter induk, selanjutnya dari meter induk ini sekitar 70,3% dari air pada meter induk tercatat pada rekening penjualan, sisanya sebesar 0,17% tidak dijual.

Berdasarkan catatan rata-rata produksi air baku pada setiap bulan, kualitas air baku dari sungai Bengkulu mempunyai pH berkisar antara 6,7-7,8 dengan tingkat kekeruhan 25-3750 ntu. Tingkat kekeruhan yang tinggi tersebut terjadi pada waktu musim hujan, karena banyak sedimen (lumpur) yang terbawa dari hulu.

2.4.3. Kapasitas Layanan

Kapasitas layanan pada saat ini adalah sebanyak 10.290 sambungan atau baru mencapai 17,7 %, dari total jumlah rumah tangga yang ada di kota Bengkulu, dengan rata-rata jumlah anggota rumah tangga sebanyak 4,8 orang (BPS 2000). Sedangkan jumlah penduduk kota Bengkulu menurut hasil sensus penduduk tahun 2000 sebanyak 279.753 orang yang terdiri dari 58.104 rumah tangga. Untuk pengembangan pemerintah daerah kota Bengkulu sedang membangun *intake* yang baru, yang terletak di Sungai Nelas di bagian selatan kota Bengkulu. Dalam produksinya di rencanakan *intake* Sungai Nelas akan di khususkan untuk wilayah Kecamatan Selebar dan Kecamatan Gading Cempaka. Sedangkan *intake* sungai Bengkulu akan di prioritaskan untuk wilayah Kecamatan Teluk Segara dan Kecamatan Gading Cempaka. Pada saat ini rata-rata air yang dikonsumsi oleh pelanggan adalah sebesar 221.891 m³/bulan yang tercatat dalam rekening

penjualan. Harga rata-rata air setiap m^3 yang tercatat dalam rekening adalah Rp. 400/ m^3 dan rata-rata biaya produksi dan distribusi air yang terjual adalah Rp. 235,9/ m^3 .

Berdasarkan data yang diperoleh dari laporan keuangan PDAM atas dasar laporan bulanan dapat diasumsikan rata-rata setiap bulan untuk biaya produksi dan distribusi dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4.
Rata-rata Biaya Produksi dan Distribusi Air Minum PDAM Bengkulu

No.	Uraian	Volume (m^3)	Harga Satuan (Rp.)
I.	Kapasitas Produksi dan Distribusi		
	1.1. Air yang diproduksi	333.218	
	1.2. Distribusi air pada meter induk	315.379	
	1.3. Air yang tercatat pada rekening penjualan	221.891	
	1.4. Air tidak dijual	596	
II.	Jumlah Pelanggan (sambungan)	10.290	
III.	Rata-rata Harga Air/ M^3 Tercatat Dalam Rekening		400
IV.	Rata-rata Biaya Produksi dan Distribusi Air yang Terjual.		235,9
V.	Tingkat Kebocoran Air	29,6%	

Sumber : Laporan Ringkasan Kegiatan Utama PDAM Kota Bengkulu 2002

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1. Pendahuluan

Intrusi air laut dapat terjadi melalui dua jalan, yaitu melalui air tanah, dan melalui muara sungai. Intrusi air asin merupakan akibat dari transpor garam, yang disebabkan air laut ikut masuk ke estuari bersamaan dengan penjalaran gelombang dan karena adanya perbedaan rapat massa antara air laut dan air asin. Perbedaan rapat massa tersebut merupakan salah satu penyebab aliran tidak homogen, yang berarti sifat-sifat zat cair tidak konstan dalam waktu dan ruang. Di estuari, perbedaan konsentrasi garam air laut dan air sungai akan menyebabkan aliran tidak homogen. Karena perbedaan berat jenis air tawar dan air asin tersebut, maka akan terjadi aliran dari zat cair dengan berat jenis lebih besar menuju ke berat jenis yang lebih kecil. Jarak atau panjang intrusi air asin sangat dipengaruhi oleh debit sungai dan tinggi pasang surut. Pada waktu air pasang, arus pasang surut akan mendorong salinitas ke hulu, sedang pada waktu air surut debit sungai akan mendorong air asin ke hilir.

Sebelum adanya komputer para peneliti-terdahulu telah melakukan penelitian tentang penjalaran gelombang pasang surut yang masuk ke estuari, dengan menggunakan teori aliran tak permanen untuk saluran terbuka. Barre de St. Venant menurunkan persamaan aliran tak permanen tersebut, tetapi sangat sulit untuk diselesaikan secara numeris. Dengan pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan pada saat ini, terutama bidang komputer, telah memungkinkan para peneliti untuk mengembangkan model numerik dengan lebih sempurna. Salah satunya adalah model matematik, yang mempunyai banyak keuntungan lebih murah dan lebih

cepat (Triatmodjo 1999). Model matematik satu dimensi dimaksudkan untuk menghitung fluktuasi muka air, debit dan salinitas sebagai fungsi waktu dan jarak sepanjang estuari. Dengan memperhitungkan berbagai variabel yang berpengaruh, seperti kekasaran dasar saluran, kemiringan, keliling dan lebar penampang basah estuari akibat fluktuasi muka air.

3.2. Pola Sirkulasi Aliran di Muara Sungai (*estuari*)

3.2.1. Faktor-faktor yang berpengaruh

Pola sirkulasi aliran di estuari dipengaruhi oleh sifat-sifat morfologi estuari, pasang surut dan debit aliran sungai dari hulu, Triatmodjo (1999). Sirkulasi aliran tersebut meliputi penjalaran gelombang pasang surut, pencampuran antara air tawar dan air asin, gerak sedimen, polutan (biologis dan fisis), dan sebagainya.

a) Debit Sungai

Debit sungai dan perubahan musimannya adalah salah satu dari parameter penting dalam sirkulasi di estuari. Debit sungai tergantung pada karakteristik hidrologi dan daerah aliran sungai. Daerah aliran sungai yang baik (hutan masih terjaga) memberikan debit aliran yang relatif konstan sepanjang tahun. Sedang jika kondisinya jelek variasi debit antara musim basah dan kering sangat besar. Hidrograf di ujung hulu estuari merupakan fungsi waktu dengan arah aliran selalu ke hilir (menuju laut). Pada musim hujan debit aliran besar sementara pada musim kemarau kecil. Pada umumnya debit sungai jauh lebih kecil daripada debit yang ditimbulkan oleh pengaruh pasang surut. Pengaruh debit aliran lebih dominan di bagian hulu estuari dibanding dengan di sebelah hilir. Pada waktu banjir debit sungai mendorong polutan (garam, sedimen dan sebagainya) ke laut, sehingga batas

intrusi air asin dan kekeruhan terdorong lebih ke hilir, sedangkan pada debit kecil polutan bergerak lebih ke hulu.

b) Pasang Surut

Pasang surut adalah gerakan vertikal dari permukaan air laut secara periodik yang di sebabkan oleh pengaruh gaya tarik benda-benda langit terhadap bumi, pengaruh gaya gravitasi bumi, dan gaya rotasi bumi. Selain itu pasang surut di suatu tempat juga karena pengaruh keadaan morfologi dan keadaan meteorologi di tempat tertentu. Pasang surut menyebabkan gerakan periodik air dan menimbulkan debit aliran yang besar. Arus pasang surut mempengaruhi pergeseran salinitas dan kekeruhan di sepanjang estuari, yang bergerak ke hulu pada waktu air pasang dan ke hilir pada waktu air surut. Pada saat titik balik (*slack*), yaitu di sekitar air pasang tertinggi dan air surut terendah, di mana kecepatan aliran kecil, sebagian besar massa garam mengendap. Sebaliknya, di sekitar setengah periode air surut dan air pasang, di mana kecepatan aliran besar, massa garam yang tadinya mengendap akan tererosi kembali.

Pada waktu periode pasang, gelombang pasang surut akan menjalar ke dalam estuari sampai pada jarak cukup jauh dari muara, yang di sertai dengan transpor massa air dari laut dalam jumlah yang sangat besar. Selain aliran dari laut, di ujung hulu estuari juga mengalir debit sungai yang besarnya tergantung pada karakteristik hidrologi dan daerah aliran sungai. Kedua aliran tersebut berlawanan arah sehingga debit sungai tidak bisa keluar ke laut. Pada waktu air surut, massa air tersebut keluar lagi dari estuari kembali ke laut.

Aliran air laut ke estuari disertai dengan transpor massa garam. Masuknya air asin ke estuari di kenal dengan intrusi air asin. Jarak intrusi air asin ke estuari

tergantung pada karakteristik estuari, pasang surut dan debit sungai. Semakin besar tinggi pasang surut dan semakin kecil debit sungai, semakin jauh intrusi air asin. Sebaliknya, semakin kecil tinggi pasang surut dan semakin besar debit sungai, semakin dekat jarak intrusi air asin. Transpor garam di estuari terjadi secara konveksi dan difusi. Secara konveksi air garam terbawa (terangkut) bersama dengan aliran air, karena pengaruh kecepatan aliran. Transpor secara difusi terjadi karena adanya turbulensi dan perbedaan kadar garam di suatu titik dengan titik-titik di sekitarnya, sehingga kadar garam akan menyebar ke titik dengan konsentrasi yang lebih rendah.

a. Tipe Pasang Surut

Pasang surut terjadi karena adanya gaya gravitasi, namun masih banyak faktor lain yang mempengaruhi, memodifikasi dan mengontrol pasang surut. Bentuk pasang surut di berbagai daerah tidak sama, karena dipengaruhi oleh berbagai faktor. Secara umum faktor-faktor tersebut dibagi dalam 2 (dua) kelompok ; tidak tetap dan tetap (konstan). Faktor tidak tetap disebabkan oleh tekanan atmosfer dan angin. Sedangkan faktor konstan disebabkan oleh rotasi dan revolusi dari matahari-bumi, bulan bumi dan interaksi diantaranya.

Tipe pasang surut dapat dibedakan menjadi 3 (tiga) bentuk dasar berdasarkan pada nilai Formzahl (F) yang diperoleh dari persamaan di bawah ini, Suripin (2001):

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} \dots\dots\dots(3.1)$$

Keterangan :

F = nilai Formzahl

K_1 dan O_1 = konstanta pasang surut harian utama

M_2 dan S_2 = konstanta pasang surut ganda utama

Berdasarkan nilai Farmzahl (F), maka pasang surut dapat dibedakan menjadi :

a). Pasang surut ganda (semi diurnal tides) : $F \leq 0,25$

Dalam satu hari pasang surut (24 jam 52 menit) terjadi dua kali pasang (air tinggi) dan dua kali surut (air rendah).

b). Pasang surut campuran : $0,25 < F \leq 3,00$

Dalam satu hari pasang surut kadang-kadang terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut tidak sama tinggi, kadang-kadang terjadi hanya satu kali air pasang dan satu kali air rendah . Tipe campuran ini dapat dibedakan lagi menjadi pasang surut campuran dominan ganda (*mixed-dominant semi diurnal*) untuk $0,25 < F \leq 0,50$; dan pasang surut campuran dominan tunggal (*mixed-dominant diurnal*) untuk $0,50 < F \leq 3,00$.

c). Pasang surut diurnal : $F > 3,00$.

Dalam satu hari pasang surut terjadi satu kali air pasang (air tinggi) dan satu kali air surut (air rendah).

b. Pasang surut purnama dan perbani

Pasang surut purnama dan perbani terjadi karena adanya peredaran bumi dan bulan pada orbitnya, maka posisi bumi-bulan-matahari selalu berubah setiap saat.

a). Pasang surut purnama

Pasang surut purnama terjadi pada sekitar tanggal 1 dan 15 (bulan muda dan bulan purnama) posisi bumi-bulan-matahari kira-kira berada pada satu garis lurus, sehingga gaya tarik bulan dan matahari terhadap bumi saling

memperkuat, maka dalam keadaan ini terjadi pasang surut purnama, dimana tinggi pasang surut sangat besar dibanding pada hari-hari yang lain.

b). Pasang surut perbani

Pasang surut perbani terjadi pada sekitar tanggal 7 dan 21 (seperempat dan tiga perempat revolusi bulan terhadap bumi) dimana bulan dan matahari membentuk sudut siku-siku terhadap bumi, maka gaya tarik bulan terhadap bumi saling mengurangi, dalam keadaan ini terjadi pasang surut perbani (pasang kecil).

3) Sifat-Sifat Morfologi Muara Sungai

Muara sungai berada di bagian hilir dari daerah aliran sungai, yang menerima masukan debit di ujung hulunya. Pada priode pasang muara sungai juga menerima debit aliran yang ditimbulkan oleh pasang surut. Dalam satu priode pasang dengan durasi sekitar 6 atau 12 jam (tergantung tipe pasang surut), di estuari terkumpul massa air dalam jumlah sangat besar. Pada waktu priode surut dengan durasi yang hampir sama, volume air tersebut harus di keluarkan ke laut, sehingga menyebabkan kecepatan aliran yang besar. Fenomena tersebut berlangsung terus-menerus, sehingga morfologi estuari akan menyesuaikan diri dengan gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja padanya. Tampang aliran estuari menjadi besar untuk dapat melewati debit aliran tersebut. Biasanya kedalaman dan lebar estuari lebih besar daripada daerah sebelah hulu sungai.

Evaluasi dari beberapa muara sungai menunjukkan bahwa lebar dan luas tampang aliran muara sungai merupakan fungsi eksponensial menurun

terhadap jarak yang diukur dari laut (Triatmodjo, 1999), dan mempunyai bentuk sebagai berikut :

$$B_x = b_0 e^{-k_1 x/L} \dots\dots\dots(3.2)$$

$$A_x = A_0 e^{-k_2 x/L} \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan :

b_0 = Lebar muara, (m)

B_x = lebar pada x km dari muara, (m)

A_0 = luas tampang aliran di mulut sungai, (m^2)

A_x = luas tampang aliran pada x km (m^2)

L = panjang estuari (m)

k_1, k_2 = koefisien yang tergantung pada estuari

- Nilai $k_1, k_2 = 0,21$ untuk kedalaman + 5 meter.
- Nilai $k_1, k_2 = 0,24$ untuk kedalaman + 4 meter.
- Nilai $k_1, k_2 = 0,30$ untuk kedalaman + 3 meter.
- Nilai $k_1, k_2 = 0,46$ untuk kedalaman + 2 meter.

Persamaan (3.1) dan (3.2), digunakan untuk menghitung lebar muka air dan luas tampang aliran untuk estuari eksponensial pada jarak x, tetapi pada penelitian ini bentuk estuari Sungai Bengkulu adalah prismatis, dengan lebar rata-rata sama.

3.3. Intrusi Air Asin Lewat Sungai

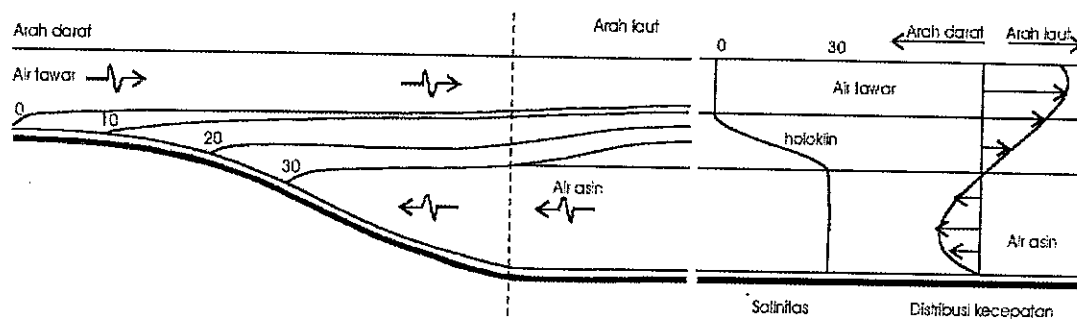
Sungai secara umum berhubungan langsung dengan laut melalui muara atau estuari. Pada muara sungai terjadi pertemuan antara dua jenis air yang berbeda, yaitu air asin dari laut dan air tawar dari sungai. Letak titik temu dan tingkat pencampuran antara air asin dan air tawar sangat bervariasi dari satu estuari ke

estuari lainnya, dan sangat tergantung pada kekuatan pasang surut dan debit sungai. Berdasarkan kekuatan relatif antara pasang surut dan debit sungai, sirkulasi estuari dapat di kelompokkan ke dalam 3 golongan utama, Suripin (2000), yaitu : estuari sudut asin (*salt wedge*), tercampur sebagian (*partially mixed*), dan tercampur sempurna (*well mixed*).

1) Estuari sudut asin (*salt wedge*)

Estuari jenis ini berkembang pada sungai yang bermuara ke laut, yang pasang surutnya sangat rendah dan debit sungai sangat kuat. Air tawar dari sungai yang mempunyai rapat massa lebih kecil mengalir di atas air laut yang mempunyai rapat massa lebih besar dan apabila debit air tawar besar dibandingkan dengan debit yang ditimbulkan oleh pasang surut, air tawar dan antara air asin dan air tawar terjadi gradien rapat massa dan keasinan yang sangat tajam dan membentuk holoklin yang stabil dan kedua jenis massa air akan terpisah, dengan air tawar yang mengalir menuju laut berada pada lapisan air asin, dan lapisan air asin mengalir di bawah air tawar dengan membentuk sudut. Salinitas di lapisan bawah sama dengan salinitas air laut, sedang lapisan atas merupakan air tawar. Jarak masuknya air asin ke estuari merupakan fungsi kedalaman estuari, debit air tawar, dan perbedaan rapat massa antara air asin dan air tawar.

Arah kecepatan aliran di atas dan di bawah bidang batas berlawanan. Posisi sudut asin dapat berubah, yang bisa bergerak ke hulu pada saat pasang dan ke hilir pada waktu surut.

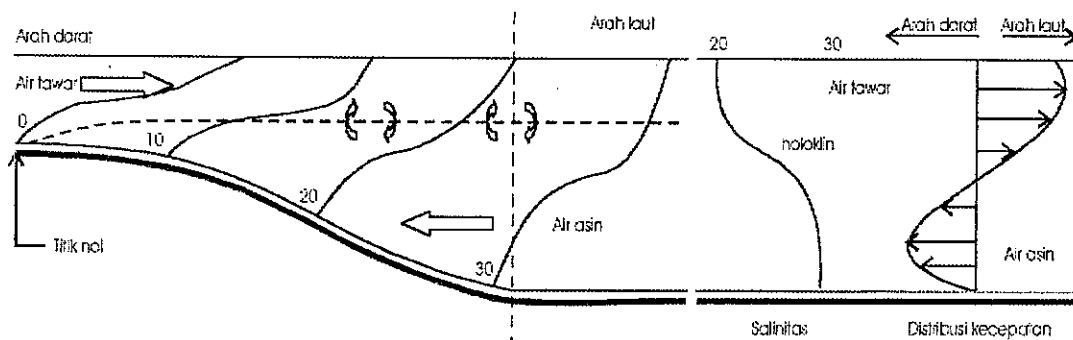


Gambar 3.1. Estuari dengan sudut asin (*salt wedge*).

2) Estuari tercampur sebagian

Estuari tercampur sebagian berkembang pada sungai yang bermuara pada laut dengan pasang surut moderat. Arus pasang surut cukup berpengaruh, dan seluruh massa air bergerak naik dan turun estuari mengikuti naik dan turunnya air pasang surut. Akibatnya, geseran arus pada pertemuan air asin atau air tawar, geseran pada dasar estuari menimbulkan tegangan geser, dan menimbulkan turbulensi. Turbulensi ini menyebabkan pencampuran air asin atau air tawar pada kolom air yang lebih efektif dibandingkan dengan akibat gelombang yang terjadi pada pertemuan air asin atau air tawar. Terjadi pencampuran air asin ke arah atas dan air tawar ke arah bawah. Air tawar mengalir ke arah laut bercampur dengan air asin dengan proporsi yang lebih tinggi sehingga kompensasi aliran air asin ke arah darat lebih kuat dibandingkan pada estuari sudut asin dan apabila pasang surut lebih besar, pencampuran yang lebih baik terjadi antara air asin dan air tawar. Tingkat pencampuran tergantung pada energi yang di timbulkan oleh pasang surut. Ke arah hulu estuari, netto gerakan air asin ke arah hulu makin mengecil dan netto gerakan air tawar di permukaan ke arah hilir meningkat. Kedalaman dimana tidak ada gerakan air netto ke hulu maupun ke hilir (transisi antara arus ke hulu dan ke hilir,

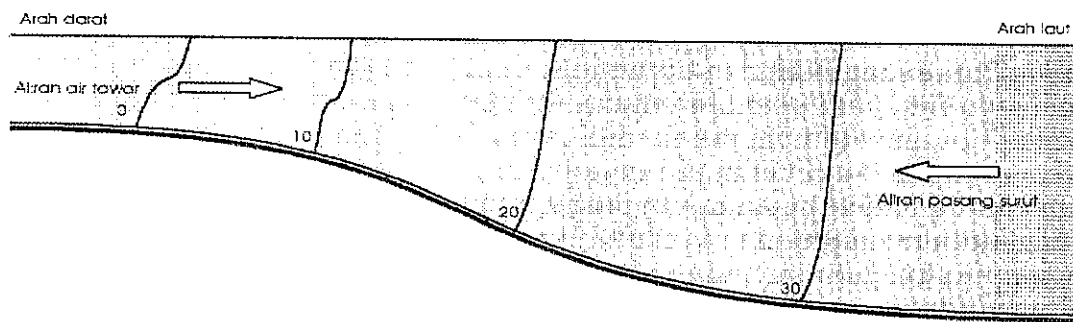
$V=0$), makin ke hulu makin meningkat sampai pada suatu titik berimpit dengan dasar estuari. Pada titik ini tidak ada gerakan air ke arah hulu, dan titik ini disebut dengan titik nol estuari. Letak titik nol selalu bergeser ke hulu atau ke hilir sesuai dengan besar kecilnya pasang surut dan debit sungai. Pada debit besar akan bergerak ke hilir dan sebaliknya pada debit besar akan bergerak ke hulu. Salinitas bervariasi dalam arah memanjang dan vertikal. Dalam arah memanjang salinitas berkurang dari mulut sungai ke arah hulu, sedang dalam arah vertikal berkurang dari dasar ke permukaan.



Gambar 3.2. Estuari tercampur sebagian (*partially mixed*)

3) Estuari tercampur sempurna (*well mixed*)

Pada estuari yang lebar dan dangkal, dimana pasang surutnya tinggi, dan arus pasang surut lebih kuat dibandingkan dengan aliran sungai, kolom air menjadi tercampur secara keseluruhan, maka akan berkembang estuari tercampur sempurna dan apabila pasang surut besar dan debit sungai kecil, akan terjadi percampuran yang lebih baik lagi. Tidak lagi terjadi bidang batas antara air asin dan air tawar. Distribusi salinitas dalam arah vertikal adalah sama atau pada estuari jenis ini hampir tidak terjadi variasi salinitas ke arah vertikal. Variasi salinitas hanya terjadi sepanjang estuari, tanpa stratifikasi vertikal dan lateral.



Gambar 3.3. Estuari tercampur sempurna (*well mixed*)

3.4. Percampuran (*mixing*) di Estuari

Mixing di estuari disebabkan oleh difusi turbulen dan variasi medan kecepatan. Mixing terjadi karena turbulen yang merupakan gerakan dalam skala kecil dari partikel air yang menyimpang dari kecepatan rerata yang disebabkan oleh pasang surut, debit sungai dan rapat massa.

Pasang surut menimbulkan mixing dengan dua cara berikut ini :

1. Gerakan arus pasang surut pada dasar saluran menimbulkan turbulensi dan mengakibatkan percampuran turbulen secara vertikal.
2. Gelombang pasang surut yang menjalar di estuari menyebabkan arus cukup kuat yang dapat menimbulkan mixing secara konveksi.

3.5. Memperkirakan Pola Sirkulasi Estuari

Keadaan percampuran dapat ditunjukkan oleh bilangan karakteristik yang disebut dengan angka estuari. Dimana angka tersebut yaitu :

$$\alpha = \frac{QT}{P} \dots \dots \dots (3.4)$$

dan

$$E = \frac{P}{QT} \cdot Fr \dots \dots \dots (3.5)$$

Keterangan :

α = angka air pasang

E = angka estuari

Q = debit aliran (m^3/dt)

T = periode pasang surut (detik)

Fr = Angka Froude

P = prisma pasang surut (*tidal Prism*) (m^3)

$P = 1/2 \times (\text{volume air surut} + \text{volume air pasang})$

atau :

$$P = \frac{Q_{\max} T}{\pi C_k} \dots\dots\dots(3.6)$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}} \dots\dots\dots(3.7)$$

Q_{\max} = debit aliran maksimum (m^3/dt)

C_k = faktor koreksi yang besarnya antara 0.811 dan 0.999

V = kecepatan air pasang maximum di muara sungai (m/dt)

g = percepatan grafitasi bumi (m/dt^2)

h = kedalaman rata-rata di mulut estuari (m)

Untuk membedakan angka tersebut , biasanya α disebut angka air pasang dan E adalah angka estuari. Kedua angka ini digunakan untuk menentukan tipe estuari. Berdasarkan harga α dan E yang di peroleh, maka estuari dikelompokkan menjadi (PV. Groen, 1978) :

- Estuari sudut asin : angka estuari $\alpha > 1$ dan $E > 0,005$

- Estuari tercampur sebagian : angka estuari $0,1 < \alpha < 1$ dan $0,005 < E < 0,2$
- Estuari tercampur sempurna : angka estuari $\alpha < 0,1$ dan $E > 0,2$

Model matematik 1-D yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu antara lain :

1). Pitara S.W (1987), membuat model intrusi air asin pada sungai Mesuji dengan merubah persamaan momentum dibawah ini :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gA \frac{Q|Q|}{K^2} + gA \frac{dc}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots(3.8)$$

menjadi :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{2 * Q * b}{A} \frac{\partial h}{\partial t} + gA \left(1 - \frac{Q^2 b}{gA^3} \right) \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{AC^2 R} = 0 \dots\dots\dots(3.9)$$

Selanjutnya hasil persamaan diatas di gunakan untuk menyelesaikan proses dispersi dengan menggunakan persamaan transpor sebagai berikut :

$$Tr = QS - AKd \frac{\partial S}{\partial x} \dots\dots\dots(3.10)$$

Keterangan :

Tr = angkutan total

Q = debit air sungai (m^3/dt)

S = kosentrasi /kegaraman (ppm)

A = luas penampang sungai (m^2)

Kd = koefisien dispersi

$\delta S/\delta x$ = turunan garam terhadap jarak

2). Triatmodjo (1988), membuat model hidraulik estuari Bengawan Solo, model numeris yang digunakan dengan memakai persamaan kontinuitas :

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{b} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots (3.11)$$

dan persamaan momentum (3.8) di bawah ini :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gA \frac{Q|Q|}{K^2} + gA \frac{dc}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} = 0, \text{ dengan menggunakan}$$

skema implisit preissmen.

3). Szymkiewiez (1995), membuat model intrusi air asin dengan mengganti suku ke-4 dan mengabaikan suku ke -5 dari persamaan momentum (3.8) di atas :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gA \frac{Q|Q|}{K^2} + gA \frac{dc}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} = 0$$

menjadi :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + g \frac{n^2 Q |Q|}{R^{4/3} A} = 0 \dots\dots\dots (3.12)$$

4). Junaidi (2000), membuat model numeris intrusi air asin di estuari akibat gelombang pasang surut dengan memakai persamaan kontinuitas (3.11)

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{b} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \text{ dan persamaan momentum (3.8)}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gA \frac{Q|Q|}{K^2} + gA \frac{dc}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} = 0,$$

dengan menggunakan skema eksplisit.

Data yang digunakan dalam penelitian ini hanya bersifat fiktif (sembarang). Sebagai pembanding dalam model ini digunakan model Duflow dari Delft, Netherland.

Pengaruh proses dispersi pada hidrodinamika aliran oleh Pitara S.W diabaikan, selanjutnya untuk menyelesaikan ke dua persamaan diatas Pitara S.W menggunakan skema eksplisit. Dari uraian diatas Pitara S.W (1987) dan Szymkiewiez (1995), juga tidak memasukkan pengaruh proses dispersi pada hidrodinamika aliran. Untuk persamaan kontinuitas (3.11), baik Triatmodjo (1988), Junaidi (2000), Pitara S.W (1987), Szymkiewiez (1995), menggunakan persamaan kontinuitas (3.11) yang sama, yaitu :

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{b} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

3.6. Formulasi Model Matematik 1 - D

Dalam penelitian ini, penjalaran gelombang pasang surut di estuari dan intrusi air asin di estuari dapat diprediksi berdasarkan persamaan Barre de St. Venant, yang terdiri dari persamaan kontinuitas zat cair, momentum, tranpor massa dan persamaan keadaan, sebagaimana dapat dilihat pada Cunge dkk. (1980).

1. Persamaan kontinuitas.

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{1}{b} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots(3.13)$$

2. Persamaan momentum.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + gA \frac{Q|Q|}{K^2} + gA \frac{dc}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} = 0 \dots \dots \dots (3.14)$$

3. Persamaan transpor massa.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + V \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(AKx \frac{\partial C}{\partial x} \right) \dots \dots \dots (3.15)$$

4. Persamaan Keadaan.

$$\rho = 0,00075 C + 1000 \dots \dots \dots (3.16)$$

Keterangan :

y = jarak antara muka air dan garis referensi, (m)

b = lebar estuari, (m)

Q = debit aliran, (m³/dt)

A = penampang basah (m²)

dc = jarak antara dasar estuari dan pusat berat penampang basah, (m)

ρ = rapat massa zat cair (kg/m³)

g = percepatan gravitasi bumi, (m/dt²)

Sf = kemiringan garis energi

C = salinitas (ppm)

V = kecepatan rerata aliran, (m/dt)

Kx = koefisien difusi dengan rumus Okubo

t = waktu (detik)

x = jarak searah estuari, (m)

Koefisien difusi memanjang di hitung dengan rumus Okubo (De Borne de Granpre, 1978).

$$Kx = 65 \frac{|Q(x,t)|}{b(x)} + 10 \dots\dots\dots(3.17)$$

Semua variabel di atas (kecuali g) adalah fungsi jarak x dan waktu t. Suku terakhir dari persamaan (3.14) adalah pengaruh gradien longitudinal rapat massa yang di sebabkan oleh salinitas (Thatcher dkk, 1972).

Gesekan dasar dan dinding yang menghambat aliran diberikan oleh rumus empiris berikut :

$$Q = K \sqrt{Sf} \dots\dots\dots(3.18)$$

K dicari dengan formula :

$$K = C.A\sqrt{R} \dots\dots\dots(3.19)$$

Keterangan :

C = koefisien Chezy

R = jari-jari hidrolis = A/P, (m)

P = keliling basah, (m)

Sf = kemiringan garis energi

K = gesekan dasar dan dinding sungai

Atau dengan menggunakan rumus Strickler :

$$K = kst.AR^{2/3} \dots\dots\dots(3.20)$$

Keterangan :

Kst = koefisien Strickler

R = jari-jari hidrolis = A/P, (m)

Persamaan (3.13), dan (3.14), dalam penelitian ini digunakan untuk menghitung tinggi elevasi muka air dan debit. Sedangkan persamaan (3.18), digunakan untuk menghitung koefisien gesekan dinding saluran.

Persamaan (3.15), (3.16) dan persamaan (3.17) dalam penelitian ini digunakan untuk menghitung proses dispersi.

Pada persamaan Barre de St. Venant yang terdiri dari persamaan kontinuitas zat cair (3.13) dan persamaan momentum (3.14) diatas. Ada beberapa anggapan yang dibuat dalam penurunan dari persamaan tersebut, adalah sebagai berikut :

- c) Pengaliran adalah satu dimensi, dimana kecepatan dan rapat massa air adalah seragam pada seluruh penampang aliran dan permukaan air adalah horizontal dalam arah lateral.
- d) Tekanan adalah hidrostatis, dimana percepatan vertikal di abaikan.
- e) Pengaruh gesekan pada dinding tebing dan turbulensi dapat dipresentasikan oleh gaya gesekan seperti pada pengaliran seragam.
- f) Gaya Coriolis dan gaya angin diabaikan.

3.6.1. Kondisi Awal dan Kondisi Batas

Dalam penelitian ini kondisi awal dan kondisi batas yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Kondisi awal

Kondisi awal model adalah elevasi muka air dan debit aliran di sepanjang estuari pada awal hitungan, yang diperoleh dari persamaan aliran mantap dan berubah beraturan (Triatmodjo,1995) :

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{I_0 - I_f}{1 - \frac{Q^2 T}{g A^3}} \dots\dots\dots(3.21)$$

I_0 merupakan kemiringan dasar sungai, dan Q adalah debit aliran sungai (m^3/dt).

I_f adalah kemiringan garis energi yang di hitung dengan rumus Chezy :

$$I_f = \frac{Q^2}{C_z^2 A^2 R} \dots\dots\dots(3.22)$$

2. Kondisi batas hulu

Dalam penelitian ini debit masukan dari sebelah hulu konstan dan dilakukan perubahan pada setiap running program untuk mengetahui pengaruhnya terhadap perubahan perilaku aliran dan salinitas.

3. Kondisi batas hilir

Batas hilir terletak pada mulut estuari, dengan kondisi batas yang ditentukan melalui perhitungan fluktuasi elevasi muka air sebagai fungsi waktu (pasang surut), dengan menggunakan formulasi sebagai berikut :

$$Y(t) = SWL + \frac{H}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T} * t\right) \dots\dots\dots(3.23)$$

Keterangan :

$Y(t)$ = Fluktuasi muka air

SWL = Still water level, (m)

H = Tinggi gelombang pasang surut, (m)

T = Periode pasang surut, (jam)

t = Waktu simulasi, (detik)

3.6.2. Penyelesaian Secara Numeris

Untuk menyelesaikan persamaan Barre de St. Venant pada aliran tak permanen satu dimensi, persamaan kontinuitas (3.13), persamaan momentum (3.14), persamaan transpor (3.15), dan persamaan keadaan (3.16), digunakan metode beda hingga (*finite defference*). Skema numerik yang digunakan adalah skema eksplisit leap-frog. Persamaan (3.13) sampai (3.16) merupakan persamaan diferensial parsial yang mempresentasikan aliran di estuari, dengan variabel Q (debit aliran), Y (kedalaman aliran), dan C (konsentrasi garam) sebagai fungsi ruang dan waktu. Penyelesaian secara numerik ini dapat dilakukan untuk mendapatkan variabel aliran tersebut di sepanjang estuari untuk setiap waktu. Penyelesaian secara numerik ini dilakukan dengan membagi estuari menjadi sejumlah pias (Δx) atau titik hitungan dan waktu dalam sejumlah langkah waktu (Δt). Pembagian seluruh panjang estuari menjadi sejumlah pias (diskretisasi), bertujuan untuk mengubah bentuk persamaan diferensial parsial ke dalam bentuk diskret di sejumlah titik pada bidang tinjau aliran. Bentuk persamaan diskret tersebut diselesaikan secara numerik untuk mendapatkan variabel Q , Y , dan C pada titik-titik hitungan.

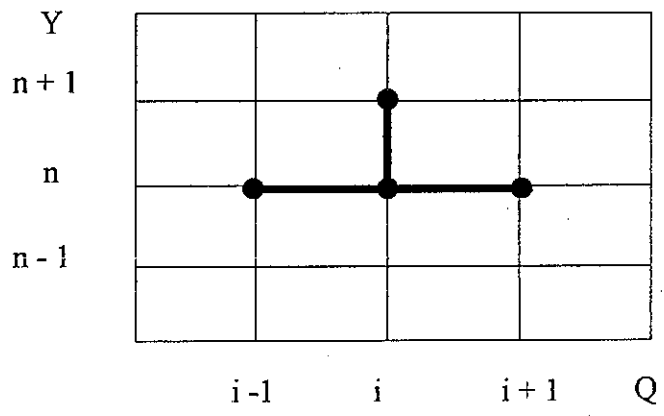
Skema eksplisit merupakan skema di mana variabel aliran pada setiap titik i dan pada waktu ke $n + 1$ dapat dihitung berdasarkan data yang telah diketahui di titik-titik sekitarnya pada waktu ke n . Dalam pemakaiannya skema eksplisit ini mempunyai keterbatasan dalam penggunaan langkah waktu. Langkah waktu terlalu besar, dapat mengakibatkan terjadi ketidak-stabilan hitungan. Langkah waktu yang digunakan harus cukup kecil sehingga stabilitas numerik dapat terpenuhi.

Pada skema eksplisit Leap Frog bentuk fungsi $f(x,t)$ dan diferensial parsial terhadap ruang dan waktu dapat didekati oleh bentuk berikut ini :

$$f(x,t) \approx f_i^n$$

$$\frac{\partial f(x,t)}{\partial t} \approx \frac{(f_i^{n+1} - f_i^n)}{\Delta t}$$

$$\frac{\partial f(x,t)}{\partial t} \approx \frac{(f_{i+1}^n - f_{i-1}^n)}{2\Delta t} \dots\dots\dots(3.24)$$



Gambar 3.4. Skema eksplisit

Adapun persamaan yang diselesaikan dalam bentuk skema eksplisit adalah :

1. Persamaan Kontinuitas dan momentum

Bentuk numeris persamaan Kontinuitas (3.13), dan persamaan momentum (3.14), adalah sebagai berikut :

$$Y_i^{n+1} = y_i^n - \frac{\Delta t}{b(x_{i+1} - x_{i-1})} (Q_{i+1}^n - Q_{i-1}^n) \dots\dots\dots(3.25)$$

$$Q_i^{n+1} = Q_i^n - \frac{\Delta t}{2\Delta x} \left(\frac{(Q_{i+1}^n)^2}{A_{i+1}} - \frac{(Q_{i-1}^n)^2}{A_{i-1}} \right) - \frac{\Delta t * g A_i}{2\Delta x} (y_{i+1}^n - y_{i-1}^n)$$

$$- g A_i \Delta t \frac{Q_i^n |Q_i^n|}{C_z^2 A_i^2 R_i} - \frac{\Delta t g A_i}{2\Delta x} \frac{dc_i}{\rho_i} (\rho_{i+1}^n - \rho_{i-1}^n) \dots\dots\dots(3.26)$$

Keterangan :

Y_i^{n+1} = tinggi elevasi muka air pada waktu ke $n + 1$

Q_i^{n+1} = debit aliran pada waktu ke $n + 1$

ρ_i^{n+1} = rapat massa air pada waktu ke $n + 1$

b = lebar estuari (m)

C = koefisien Chezy

R = jari-jari hidrolis (m)

A = luas penampang basah estuari (m^2)

Δx = langkah ruang pada arah x (m)

Δt = langkah waktu (detik)

d_c = jarak antara dasar estuari dari pusat berat penampang (m)

Persamaan dengan kondisi batasnya memungkinkan untuk menghitung nilai Q_i^{n+1} dan Y_i^{n+1} ($i = 1, \dots, M$) M adalah nomor titik hitungan pada batas ujung hulu estuari, nilai awal debit dan elevasi muka air di sepanjang estuari diberikan dari data pengukuran sebagai kondisi awal. Langkah pertama menghitung elevasi muka air $Y(x,t)$ di sepanjang estuari pada waktu $n+1$. Hasil yang diperoleh digunakan untuk menghitung debit aliran $Q(x,t)$ pada waktu ke $n+1$. Hasil yang diperoleh digunakan untuk menghitung debit dan ke dalaman air pada waktu $n + 2$, begitu seterusnya.

Rapat massa zat cair dihitung dengan persamaan transpor garam . Hasil yang diperoleh tersebut digunakan sebagai nilai awal baru untuk hitungan berikutnya.

Untuk memenuhi kondisi stabilitas, langkah waktu dibatasi oleh kondisi Courant-Friedrick-Lewy (CFL) (Koutitas, 1988).

$$(U + \sqrt{gh}) \frac{\Delta t}{\Delta x} < 1 \dots\dots\dots(3.27)$$

atau :

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{|U| + \sqrt{gh}} \dots\dots\dots(3.28)$$

Keterangan :

U = kecepatan aliran, (m/dt)

h = kedalaman aliran, (m)

g = gaya grafitasi bumi, (m/dt²)

2. Persamaan Transpor

Untuk menyelesaikan persamaan transpor massa garam (3.15) dilakukan dengan dua tahap, yaitu : pertama menyelesaikan persamaan transport secara konveksi, dan selanjutnya menyelesaikan persamaan transpor secara difusi.

Persamaan Konveksi :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + V \frac{\partial C}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots(3.29)$$

Keterangan :

C = salinitas (ppm)

t = waktu (detik)

V = kecepatan aliran (m/dt)

x = jarak searah estuari (m)

Transpor secara konveksi air garam terbawa (terangkut) bersama dengan aliran air karena pengaruh kecepatan aliran. Penyelesaian secara numeriknya adalah sebagai berikut :

$$CB_i^{n+1} = CB_i^n + (\Delta t(U_i^n (CA_{i-1}^n - CA_i^n))) \frac{1}{\Delta x} \dots\dots\dots(3.30)$$

Keterangan :

Δx = interval ruang (m)

Δt = interval waktu (detik)

CA = konsentrasi awal hitungan (ppm)

CB = konsentrasi pada proses konveksi (ppm)

CC = konsentrasi pada proses dispersi (ppm)

Persamaan difusi :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} (AKd \frac{\partial C}{\partial x}) = 0 \dots\dots\dots(3.31)$$

Keterangan :

C = salinitas (ppm)

t = waktu (detik)

V = kecepatan aliran (m/dt)

x = jarak searah estuari (m)

A = luas penampang basah estuari (m²)

Kd = koefisien difusi

Sedangkan transpor secara difusi terjadi karena adanya turbulensi dan perbedaan kadar garam di suatu titik dengan titik-titik di sekitarnya, sehingga kadar garam akan menyebar ke titik lain dengan konsentrasi yang lebih rendah.

Penyelesaian secara numeriknya adalah sebagai berikut :

$$CC_i^{n+1} = CB_i^{n+1} + \left\{ \frac{dt}{A_i^n} ((A_i^n Kd_i^n CA_{i-1}^n - CA_i^n)) - \frac{1}{\Delta x} \right. \\ \left. - (A_i^n Kd_i^n CA_i^n - CA_{i+1}^n) \frac{1}{\Delta x} \right\} \frac{1}{\Delta x} \dots\dots\dots(3.32)$$

Keterangan :

Δx = interval ruang (m)

Δt = interval waktu (detik)

CA = konsentrasi awal hitungan (ppm)

CB = konsentrasi pada proses konveksi (ppm)

CC = konsentrasi pada proses dispersi (ppm)

Kd = koefisien difusi

Harga U_i^n pada persamaan (3.27) di peroleh setelah persamaan (3.25) dan (3.26) di selesaikan, melalui hubungan Q/A. Dengan kondisi batas konsentrasi di hilir, sebesar C tertentu (sama dengan kondisi air laut), dan $C = 0$. Untuk kondisi batas hulu, persamaan (3.30) dan (3.32) tersebut di selesaikan sebelum looping perhitungan kembali ke persamaan (3.25), dihitung terlebih dahulu nilai rapat massa dengan formula empiris $\rho = 0,00075 C + 1000$, yang nantinya akan di isikan pada suku ke -5 pada persamaan (3.20).

Koefisien difusi harus memenuhi persyaratan nilai Peclet Number (PC) (Koutitas, 1988), sesuai dengan persamaan (3.26) di bawah ini.

$$PC = \frac{UL}{Kd} \geq 1 \dots\dots\dots(3.33)$$

Keterangan :

K_d = koefisien difusi

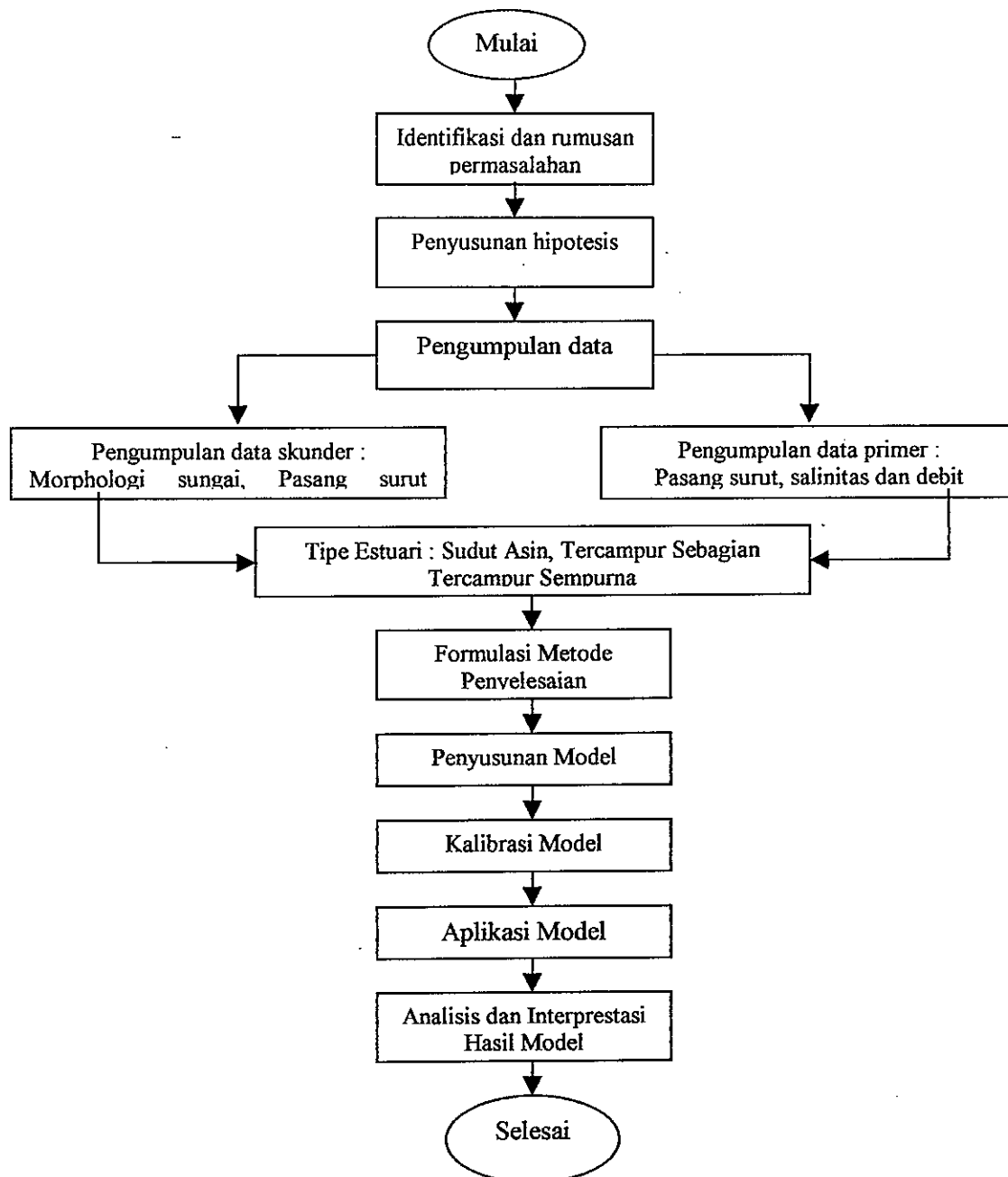
L = Panjang pias (Δx), tergantung dengan arah dominan hitungan (m).

Dalam penelitian ini $L = \Delta x$, tinjau hitungan arah longitudinal (memanjang), searah sumbu x.

BAB IV METODOLOGI PENELITIAN

4.1. Alur Pikir Penelitian

Secara garis besar penelitian ini meliputi kegiatan-kegiatan sebagaimana tercantum dalam bagan alir pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Skema langkah Penelitian

4.2. Identifikasi dan Rumusan Permasalahan

Penelitian ini akan mengkaji sejauh mana intrusi air laut masuk ke arah hulu Sungai Bengkulu, yang di akibatkan oleh besarnya pengaruh gelombang pasang, dan hubungan antara jarak intrusi dengan dinamika pasang surut serta debit sungai. Dengan diketahuinya pergerakan air asin, maka dapat ditentukan posisi pengambilan (*intake*) yang aman, dan besarnya volume air yang dapat digunakan untuk penyediaan air baku bagi penduduk kota Bengkulu.

4.3. Penyusunan Hipotesis

Intrusi air laut yang masuk ke sungai Bengkulu dapat dikaji dengan menggunakan model numeris. Dimana model ini dapat menghitung jauhnya jarak intrusi yang masuk ke sungai serta besarnya salinitas, tetapi pada kondisi awal perlu diketahui terlebih dahulu besarnya gelombang pasang yang masuk ke sungai dan juga besarnya debit yang mengalir pada keadan pasang tertinggi (pasang purnama) dan pasang terendah pada (pasang perbani). Disamping besarnya pasang, dan debit tersebut, juga perlu diketahui besarnya salinitas yang masuk ke sungai pada saat pasang tertinggi dan pada saat pasang terendah di muara maupun di hulu.

4.4. Pengumpulan Data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi data-data skunder dan data-data primer.

4.4.1. Data Skunder

Data skunder merupakan data-data yang telah ada, dari hasil penelitian sebelumnya atau dari hasil studi terdahulu, yang didapat dari instansi-instansi pemerintah terkait. Jenis data skunder ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1.

Jenis-Jenis Data Skunder Yang Dibutuhkan

No.	Jenis Data	Sumber	Tahun
1.	Peta Wilayah Administratif	Dinas Pemda Tk. I Bengkulu	2001
2.	Peta Lokasi Studi	Dinas Kimpraswil Bengkulu	2000
3.	Peta Tata Guna Lahan	Dinas Kimpraswil Bengkulu	2000
4.	Peta Geologi	Dinas Pertambangan Bengkulu	2000
5.	Peta Daerah Aliran Sungai	Dinas Kehutanan Bengkulu	2000
6.	Debit Tahunan	Dinas Kimpraswil Bengkulu	2000
7.	Iklm dan Hidrologi	Dinas Kimpraswil Bengkulu	2000
8.	Distribusi dan Produksi Air Baku	PDAM Bengkulu	2002
9.	Profil / Penampang Sungai	Dinas Kimpraswil Bengkulu	2000

4.4.2. Data Primer

Data primer merupakan data-data pelengkap dari data skunder yang telah ada, yang didapat dari hasil pengukuran langsung di lapangan dari tanggal 28 – 29 April 2002 dan tanggal 4 – 5 Mei 2002. Adapun data primer yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2.

Jenis-Jenis Data Primer Yang Dibutuhkan

No.	Jenis Data	Alat Yang digunakan
1.	Salinitas (purnama dan Perbani)	WTW
2.	Debit/ jam (purnama dan Perbani)	Current meter
3.	Pasang surut/per jam	Papan duga tegak
4.	Lebar rata-rata sungai	Rol meter

Pengambilan data debit dilakukan hanya pada satu titik, yaitu pada saat pasang purnama dan pasang perbani, pengukuran dilakukan di bagian hulu sungai

Bengkulu, di dekat tempat pengambilan (*intake*) PDAM, dengan menggunakan alat Current meter. Pengukuran ini dilakukan pada setiap jam selama 24 jam. Selain pengukuran debit juga dilakukan pengukuran salinitas dan pengukuran tinggi pasang surut.

Pengambilan data salinitas dilakukan pada saat waktu yang bersamaan dengan pengukuran debit, dan tinggi pasang surut, yaitu pada saat pasang purnama dan pasang perbani. Pengambilan sampel air untuk salinitas ini dilakukan pada setiap jam dengan waktu yang bersamaan untuk setiap jarak 1 km sampai 4 km dari muara ke arah hulu sungai dengan memperhatikan 1/2 dari kedalaman sungai pada setiap titik sampel. Pengukuran salinitas dilakukan dengan menggunakan alat WTW, sedangkan pengukuran pasang surut dilakukan dengan menggunakan alat Papan Duga Tegak, untuk lebih jelas lihat pada (Gambar 2 – 6).

4.5. Formulasi Metode Penyelesaian

Formulasi yang di gunakan untuk memprediksi intrusi air asin di estuari akibat gelombang pasang, dengan menggunakan persamaan Barre de St. Venant pada aliran tak permanen satu dimensi (1-D), dengan menggunakan metode beda hingga skema eksplisit, yaitu dengan mengacu pada persamaan kontinuitas (3.13), dan persamaan momentum (3.14). Sedangkan besarnya salinitas yang ditimbulkan akibat dispersi (konveksi dan difusi), digunakan persamaan transpor dan persamaan keadaan, dengan mengacu pada persamaan (3.15), dan persamaan (3.16). Untuk kestabilan langkah waktu mengacu pada persamaan (3.28).

4.6. Penyusunan Model

Dalam penyusunan Model ini disesuaikan dengan bentuk tampang dan kondisi yang ada di sungai bengkulu, dimana bentuk tampang sungai adalah prismatis dengan lebar badan sungai rata-rata sama. Model ini dibuat dalam bentuk satu dimensi dengan menggunakan metode *finite difference* dan skema eksplisit. Perhitungan numerik berdasarkan penyelesaian persamaan kontinuitas dan persamaan momentum dan hasil tersebut dikopel dengan persamaan dispersi.

4.6.1. Kalibrasi

Untuk mengetahui apakah model yang kita buat telah benar, maka perlu diverifikasi dengan data hasil pengukuran di lapangan. Hasil yang diperoleh di lapangan di bandingkan dengan hasil yang didapat dari model. Jika hasil yang didapatkan dari model menunjukkan signifikan, dengan deviasi yang kecil, ini berarti menunjukkan model yang kita buat sudah baik dan apabila hasil model mempunyai deviasi yang besar, berarti diperlukan adanya pengecekan ulang terhadap model tersebut.

4.6.2. Aplikasi

Model yang sudah dikalibrasi dicoba dengan berbagai kondisi geometrik estuari yang ada, dengan berbagai variasi data masukan dan kondisi batas. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perubahan kondisi hidrolis, serta perilaku gerakan akibat adanya interaksi antara gelombang pasang dan debit, dan dengan waktu yang bersamaan akan diketahui juga besarnya distribusi salinitas yang terjadi pada waktu tertentu. Dan hasil distribusi salinitas pada saat kondisi dan jarak tertentu perlu diamati, apakah program telah berjalan dengan baik, terutama perilaku pasang surut.

Begitu pula perubahan salinitas pada setiap pias, harus memenuhi nilai yang realistis, yaitu dengan pengertian saat pasang, transpor garam bergerak ke hulu dengan nilai salinitas yang semakin mengecil, dan akhirnya pada pias tertentu nilai salinitas akan menjadi nol.

4.6.3. Skenario

Pada penelitian ini running program dilakukan dengan berbagai kondisi pasang surut, yaitu pada kondisi pasang maksimum (purnama), pasang rata-rata dan pada kondisi pasang minimum (perbani), dengan variasi debit air tawar, yaitu debit minimum dari hulu sebesar (4,6 m³/dt), debit rata-rata sebesar (52,3 m³/dt) dan dengan debit maksimum dari hulu sebesar (100 m³/dt). Jarak yang dicoba dimana kondisi salinitas sudah dianggap nol, dan kondisi batas hulu ditentukan berdasarkan debit yang akan memasuki estuari selama perhitungan berlangsung, dengan nilai yang di dapat dari hasil pengukuran di lapangan untuk setiap running program. Kondisi batas hilir merupakan fluktuasi pasang surut yang berdasarkan tinggi elevasi pada waktu kondisi air normal pada priode tertentu, nilai awal hitungan merupakan hasil dari pengukuran di lapangan. Kemudian dengan nilai awal tersebut dapat dihitung elevasi muka air di sepanjang estuari pada waktu $n + 1$. Hasil yang diperoleh digunakan untuk menghitung debit aliran pada waktu ke $n + 1$. Rapat massa air dihitung dari persamaan kontinuitas garam. Hasil yang diperoleh tersebut digunakan sebagai nilai baru untuk hitungan berikutnya. Untuk lebih detail kondisi pasang surut dan variasi debit pada waktu running dapat di lihat pada Tabel 4.3. . Sedangkan kondisi morfologi sungai pada setiap stasiun dapat di lihat pada Tabel 4.4. berikut :

Tabel 4.3.

Skenario Pasang Surut dan Debit Pada Waktu Running Program

No.	Pasang Surut	Debit (Q)
1.	Pasang surut maksimum (purnama)	Debit minimum (4,6 m ³ /dt)
2.	Pasang surut maksimum (purnama)	Debit rata-rata (52,3 m ³ /dt)
3.	Pasang surut maksimum (purnama)	Debit maksimum (100 m ³ /dt)
4.	Pasang surut rata -rata	Debit minimum (4,6 m ³ /dt)
5.	Pasang surut rata-rata	Debit rata-rata (52,3 m ³ /dt)
6.	Pasang surut rata - rata	Debit maksimum (100 m ³ /dt)
7.	Pasang surut minimum (perbani)	Debit minimum (4,6 m ³ /dt)
8.	Pasang surut minimum (perbani)	Debit rata-rata (52,3 m ³ /dt)
9.	Pasang surut minimum (perbani)	Debit maksimum (100 m ³ /dt)

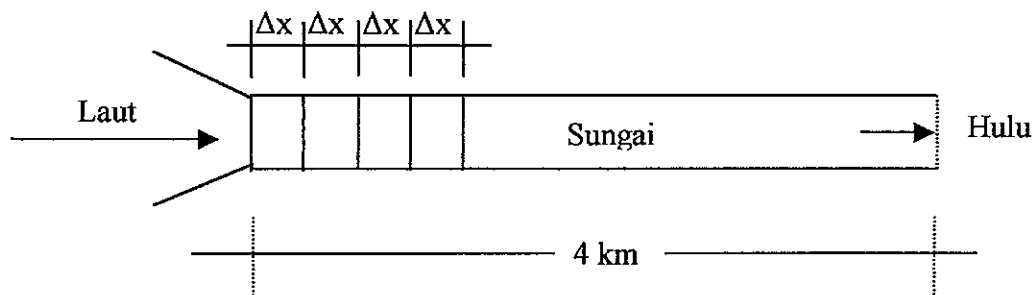
Tabel 4.4.

Kondisi Morfologi Sungai Pada Waktu Air Normal

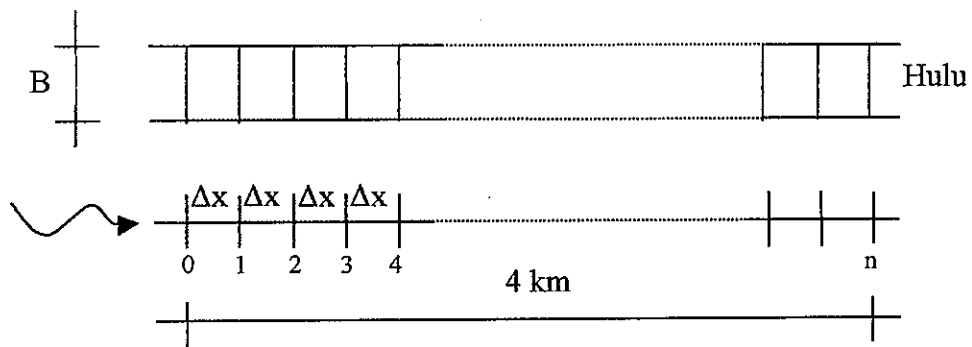
No.	Jarak Antara Stasiun (m)	Lebar Permukaan (b ₁)	Lebar Dasar (b ₂)	Elevasi M.A (h)
1.	0,00	45,00 m	43,20 m	1,8000
2.	5.00	45,00 m	43,20 m	1,825
3.	1.000	45,00 m	43,20 m	1,850
4.	1.500	45,00 m	43,20 m	1,875
5.	2.000	45,00 m	43,20 m	1,900
6.	2.500	45,00 m	43,20 m	1,925
7.	3.000	45,00 m	43,20 m	1,950
8.	3.500	45,00 m	43,20 m	1,975
9.	4.000	45,00 m	43,20 m	2,000

4.7. Analisis dan Interpretasi Hasil Model

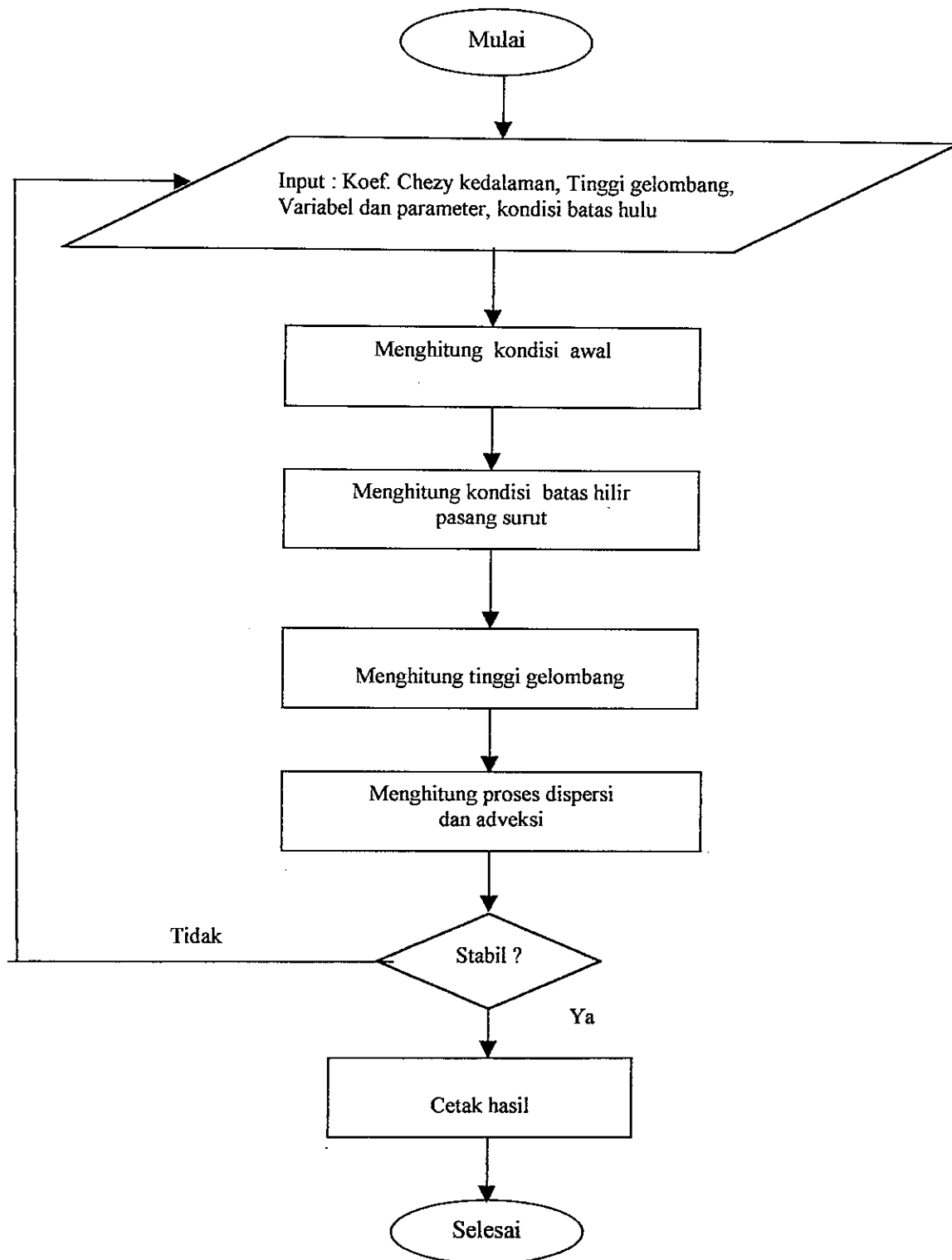
Hasil running program yang telah dilakukan terhadap berbagai kondisi, dan variasi data masukan perlu dianalisis. Hasil model akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik, hal ini bertujuan untuk untuk lebih mudah dimengerti dan dipahami.



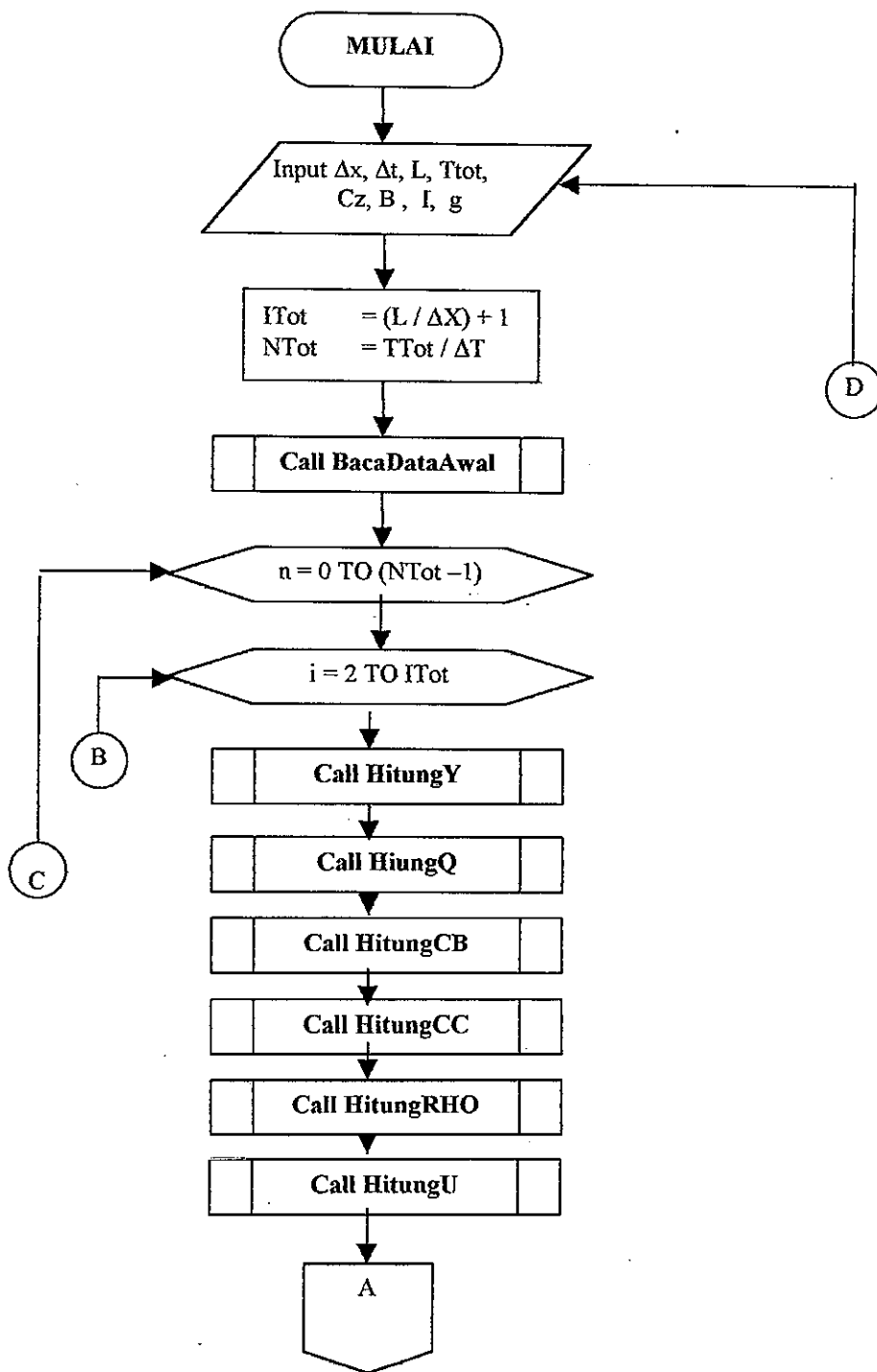
Gambar 4.2. Estuari Dengan Tampang Prismatis



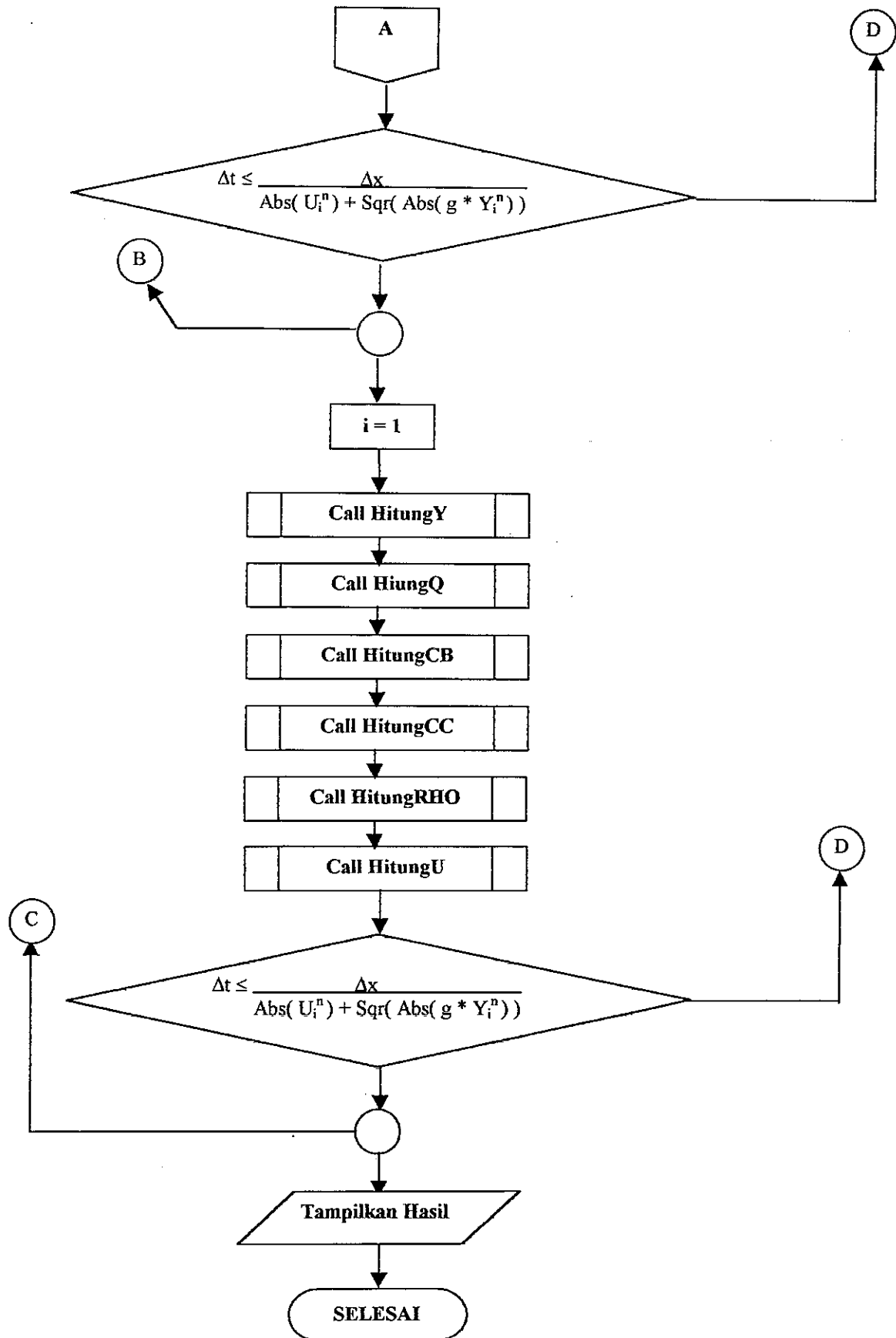
Gambar 4.3. Sistem Penomoran Grid



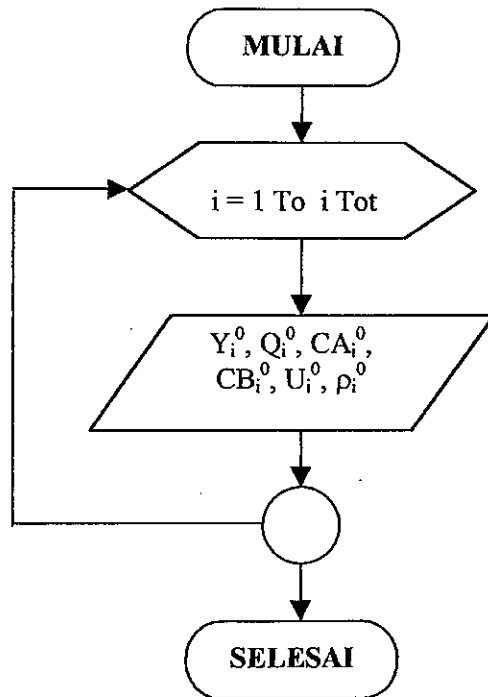
Gambar 4.4. Bagan Alir Komputasi Perambatan Gelombang dan Garam



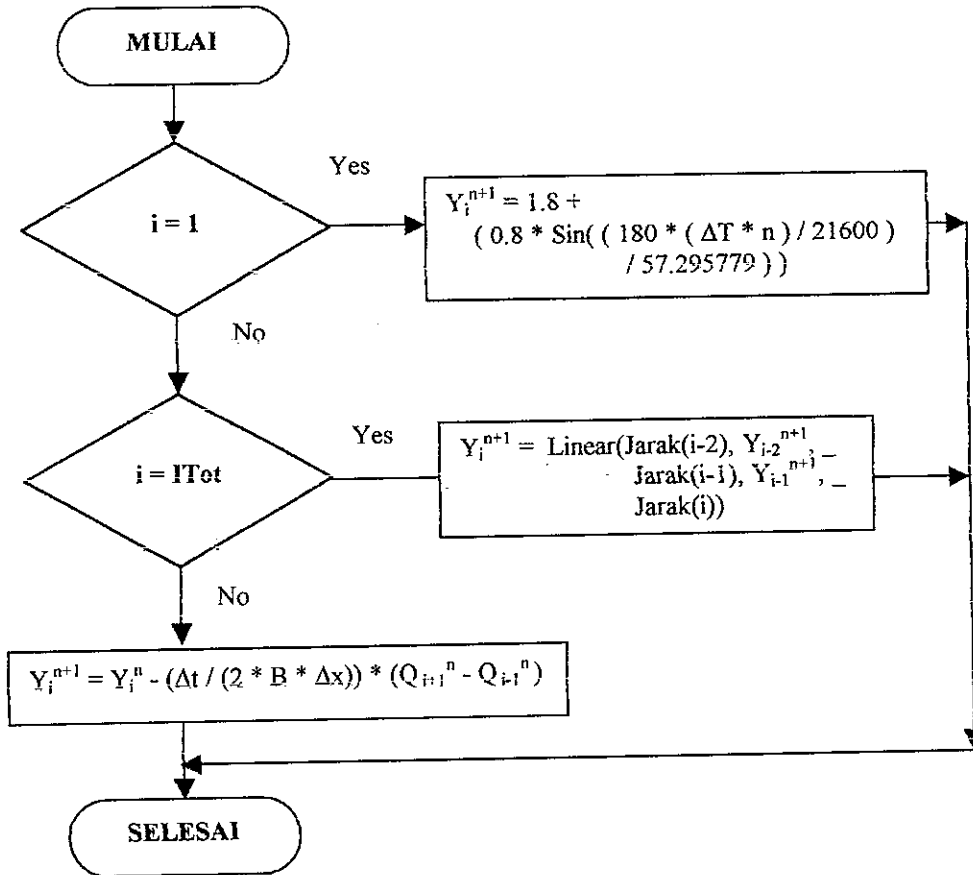
Gambar 4.5. Bagan Alir Perambatan Gelombang dan Garam



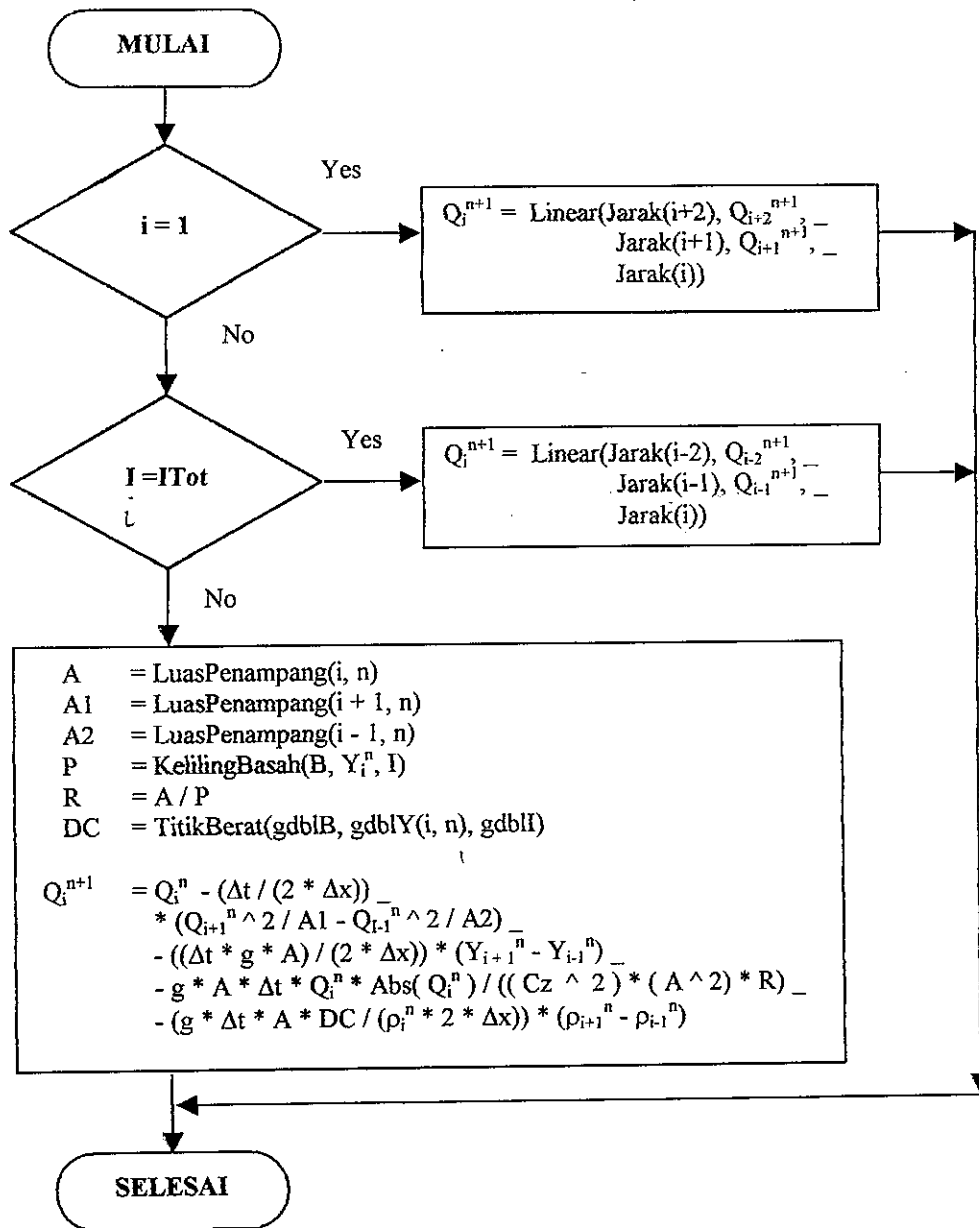
Baca data awal



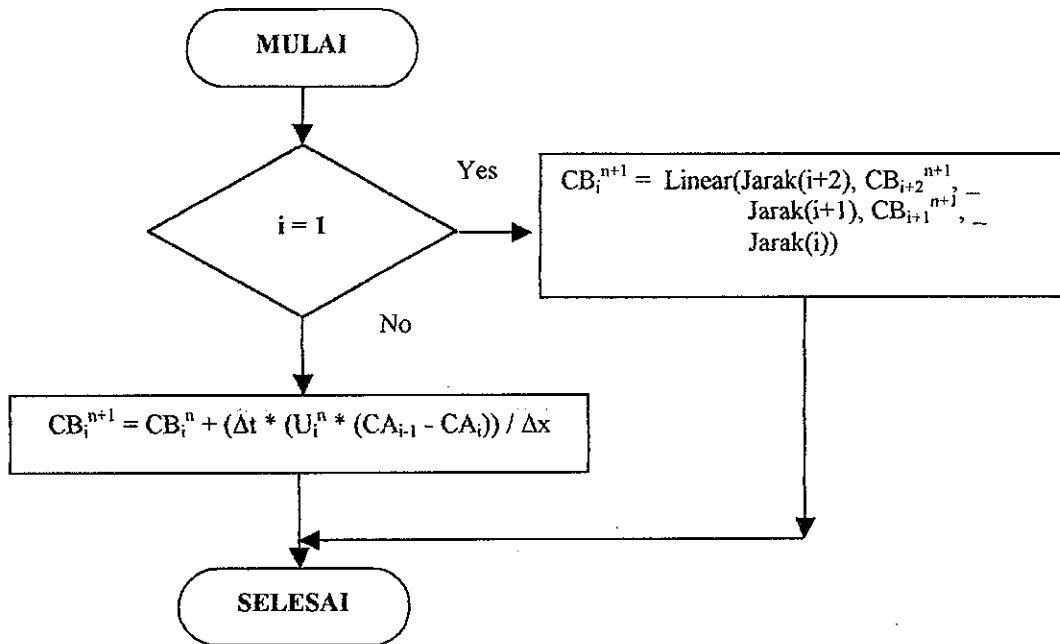
Subrutin Hitung Y



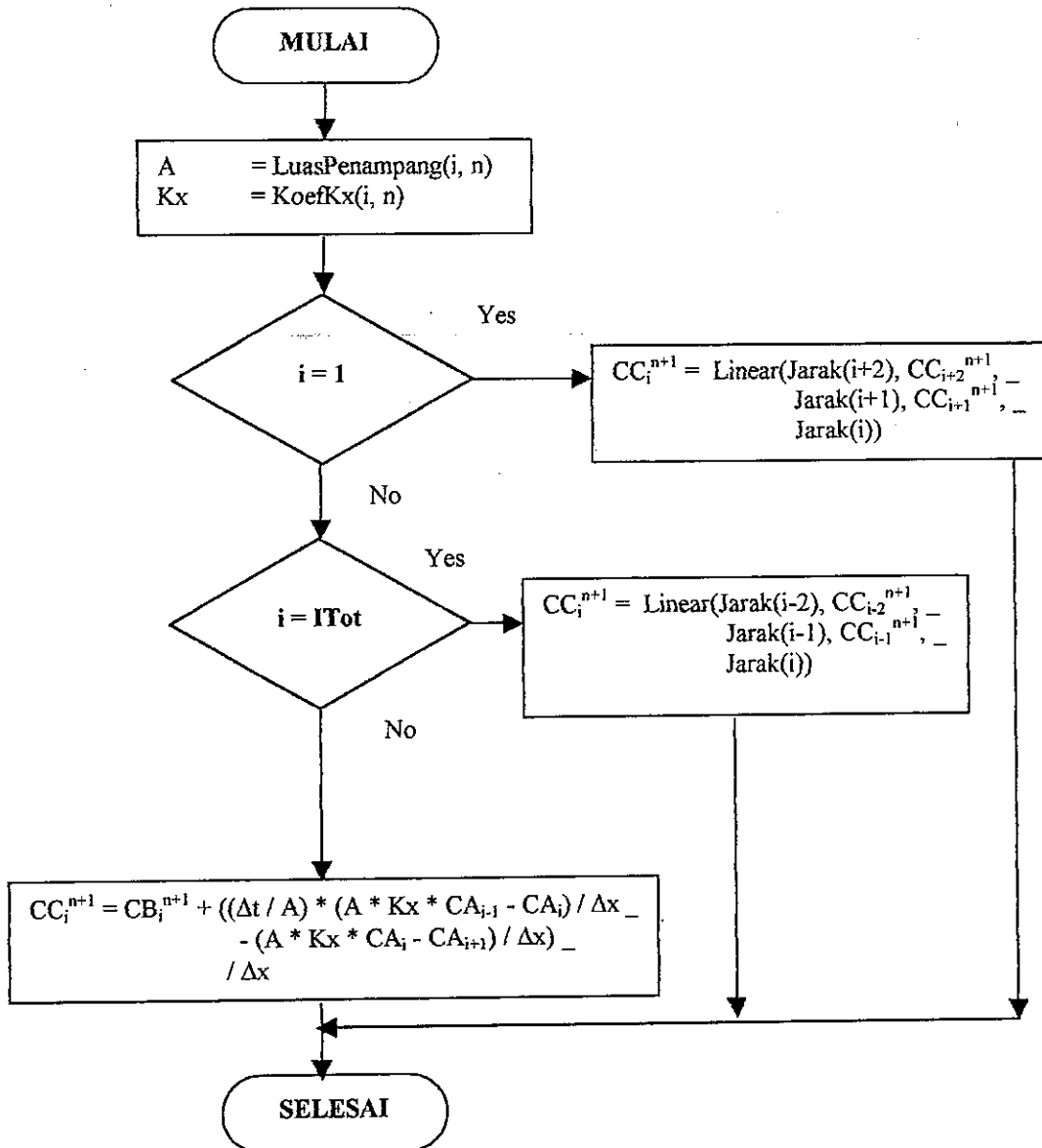
Subrutin Hitung Q



Subrutin Hitung CB



Subrutin Hitung CC



BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Umum

Dari hasil penelitian ini akan diketahui tipe pasang surut yang terjadi di sungai Bengkulu dan akan dilakukan perivikasi antara hasil yang ada di lapangan dengan hasil test model yang telah di buat dengan program Visual Basic. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah model yang akan diaplikasikan nantinya sudah cukup baik. Pengaplikasian model ini bertujuan untuk mengetahui perubahan kondisi hidrolis, serta perilaku gerakan akibat adanya interaksi antara gelombang pasang surut dan jarak penjalaran garam ke arah hulu yang ada di sungai Bengkulu. Bersamaan dengan itu akan dapat diketahui pula besarnya distribusi salinitas yang terjadi pada setiap stasiun tertentu.

5.2. Hasil Pengukuran

Untuk dapat mengaplikasikan model yang telah di buat, diperlukan data hasil pengukuran lapangan, yang akan digunakan sebagai data masukan untuk syarat awal, dan syarat batas serta untuk kalibrasi model. Secara umum, data yang diukur meliputi salinitas, debit, dan pasang surut.

5.2.1. Salinitas

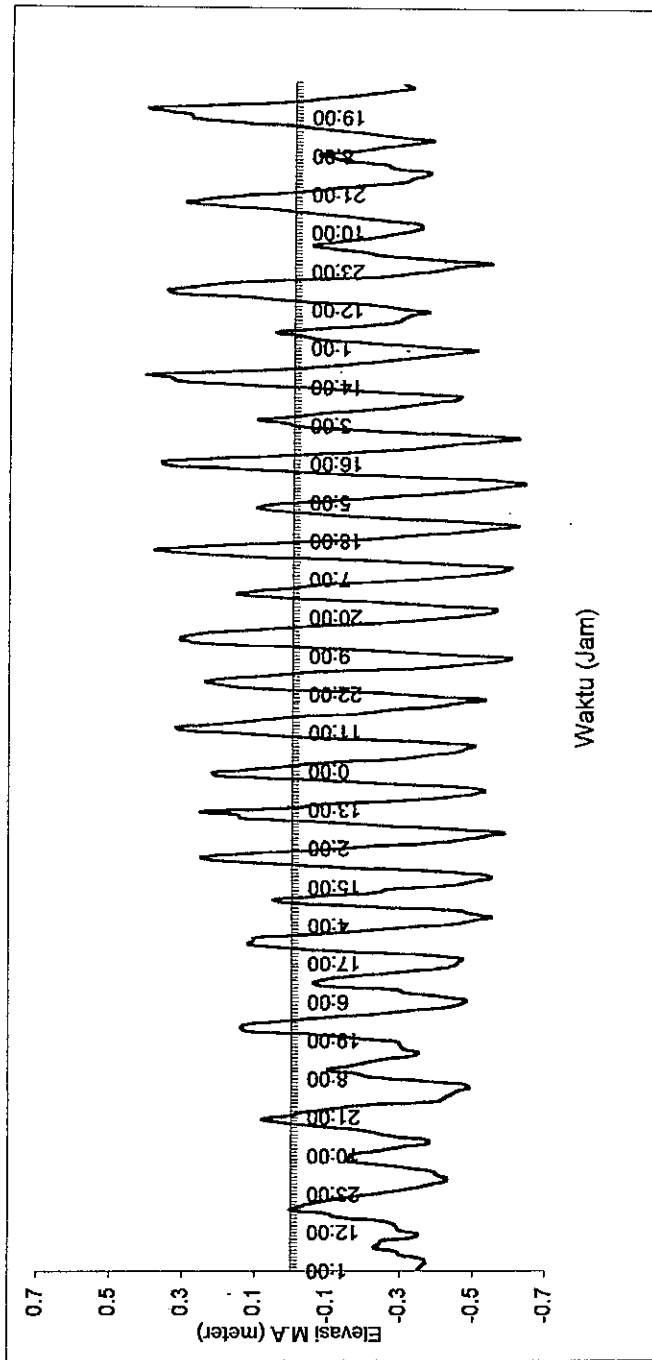
Pengukuran salinitas dilakukan langsung di lapangan, pada setiap jam selama 24 jam dalam waktu yang bersamaan untuk 5 titik yang masing-masing berjarak 1 km. Pengukuran dilakukan pada kondisi pasang maksimum (purnama) dan pasang minimum (perbani). Data salinitas hasil pengukuran ini merupakan data masukan

yang akan digunakan untuk kalibrasi dan pada waktu aplikasi model. Untuk lebih detail dapat dilihat pada Tabel A.1. dan Tabel A.5. (Lampiran A)

5.2.2. Pasang Surut

Pengukuran pasang surut juga dilakukan dalam waktu yang bersamaan dengan pengukuran salinitas, yaitu pada setiap jam selama 24 jam secara simultan untuk setiap titik yang berjarak 1 km sampai 4 km ke arah hulu sungai, pada kondisi pasang purnama dan pasang perbani. Data hasil pengukuran pasang surut ini, digunakan sebagai data untuk kalibrasi dan aplikasi model, tetapi tidak dapat digunakan untuk menentukan tipe pasang surut, karena data hasil pengukuran yang ada hanya pada kondisi tertentu saja (purnama dan perbani). Untuk lebih detail dapat dilihat pada Tabel A.3. dan Tabel A.7. (Lampiran A).

Sedangkan untuk menentukan tipe pasang surut diperlukan data yang lebih komplit, yang dapat mewakili berbagai kondisi pasang surut yang ada. Untuk menentukan tipe pasang surut ini digunakan data yang telah ada (data skunder). Berdasarkan dari hasil analisis eksisting data pengukuran supplemen, pasang surut Sungai Bengkulu termasuk tipe pasang surut campuran, dimana dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, dengan tinggi dan priode yang berbeda, kadang-kadang hanya terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut. Untuk lebih detail dapat di lihat pada Gambar 5.1. di bawah ini :



Gambar 5.1.
 Grafik Fluktuasi Muka Air Priode 20 September - 4 Oktober 1999

5.2.3. Menentukan Tipe Estuari

Berdasarkan data hasil pengukuran dilapangan maka golongan estuari dapat ditentukan :

$$\alpha = \frac{QT}{P}$$

Keterangan :

α = angka air pasang

Q = debit (m^3 / dt)

T = priode pasang surut (dt)

P = prisma pasang surut (m^3)

$$P = \frac{Q \max T}{\pi Ck}$$

ck = faktor koreksi yang besarnya antara 0,811 dan 0,999

dimana :

$$Q \max = 100 m^3 / dt$$

$$T = 12 \text{ jam} = 43200 \text{ dt}$$

$$P = \frac{100 (43200)}{3,14 (0,88)} = 1563404,748 m^3$$

$$\alpha = \frac{100 (43200)}{1563404,748} = 2,76$$

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gh}}$$

$$Fr = \frac{0,85}{\sqrt{9,8(2,60)}} = 0,168$$

$$E = \frac{P}{QT} Fr$$

$$E = \frac{1563404,748}{100 (43200)} (0,168) = 0,061$$

Dari hasil diatas dapat disimpulkan Sungai Bengkulu termasuk kedalam golongan estuari sudut asin (*salt wedge*), dimana : angka estuari $\alpha = 2,76$ ($\alpha > 1$) dan $E = 0,061$ ($E > 0,005$).

5.3. Kalibrasi Model

Model numerik yang dibuat dari persamaan kontinuitas, momentum, transpor massa dan persamaan keadaan, yang di selesaikan dengan metode beda hingga (*finite difference*), dengan memakai bahasa program visual basic, menjadi dasar dari model yang akan diaplikasikan nantinya, telah di kalibrasi terlebih dahulu dengan data hasil observasi lapangan. Kalibrasi ini dilakukan dengan menyamakan kondisi awal dan syarat batas, dan data input dari hasil observasi lapangan. Dalam kalibrasi ini digunakan $Q = 30 \text{ m}^3/\text{dt}$, Lebar muka air = 45 meter, Panjang sungai = 4000 meter, Kemiringan dasar sungai = 0,000125, $\Delta t = 20 \text{ dt}$, $\Delta x = 500 \text{ meter}$, tinggi air normal pada masing-masing titik stasiun = 1,800 meter, 1,825 meter, 1,850 meter, 1,875 meter, 1,900 meter, 1,925 meter, 1,950 meter, 1,975 meter, 2,00 meter. Dari hasil kalibrasi model dengan data hasil pengukuran lapangan pada kondisi pasang purnama dan pasang perbani menunjukkan hasil signifikan, dengan deviasi yang kecil. Dengan hasil ini maka model numerik tersebut dapat digunakan untuk di aplikasikan pada sungai Bengkulu, dengan menyesuaikan semua parameter-parameter yang ada, sesuai dengan kondisi lapangan. Nilai salinitas pada kondisi pasang purnama lebih besar di bandingkan dengan nilai salinitas pada kondisi pasang perbani, ini menunjukkan bahwa besarnya salinitas sangat dipengaruhi oleh besarnya pasang surut yang terjadi pada kondisi tertentu. Sedangkan tinggi fluktuasi muka air pada kondisi pasang purnama juga lebih besar di bandingkan pada kondisi pasang perbani. Untuk lebih detail hasil kalibrasi salinitas pada kondisi pasang purnama dapat dilihat pada Tabel 5.1. dan di jelaskan pada Gambar 5.1.a. sampai 5.1.f. Sedangkan hasil kalibrasi fluktuasi muka air pada kondisi pasang purnama di jelaskan pada Gambar 5.2.a. sampai 5.2.e.

Hasil kalibrasi salinitas pada kondisi pasang perbani dapat dilihat pada Tabel 5.2. dan di jelaskan pada Gambar 5.3.a. sampai 5.3.f. Sedangkan hasil kalibrasi fluktuasi muka air pada kondisi pasang perbani di jelaskan pada Gambar 5.4.a. sampai 5.4.e.

Tabel 5.1.

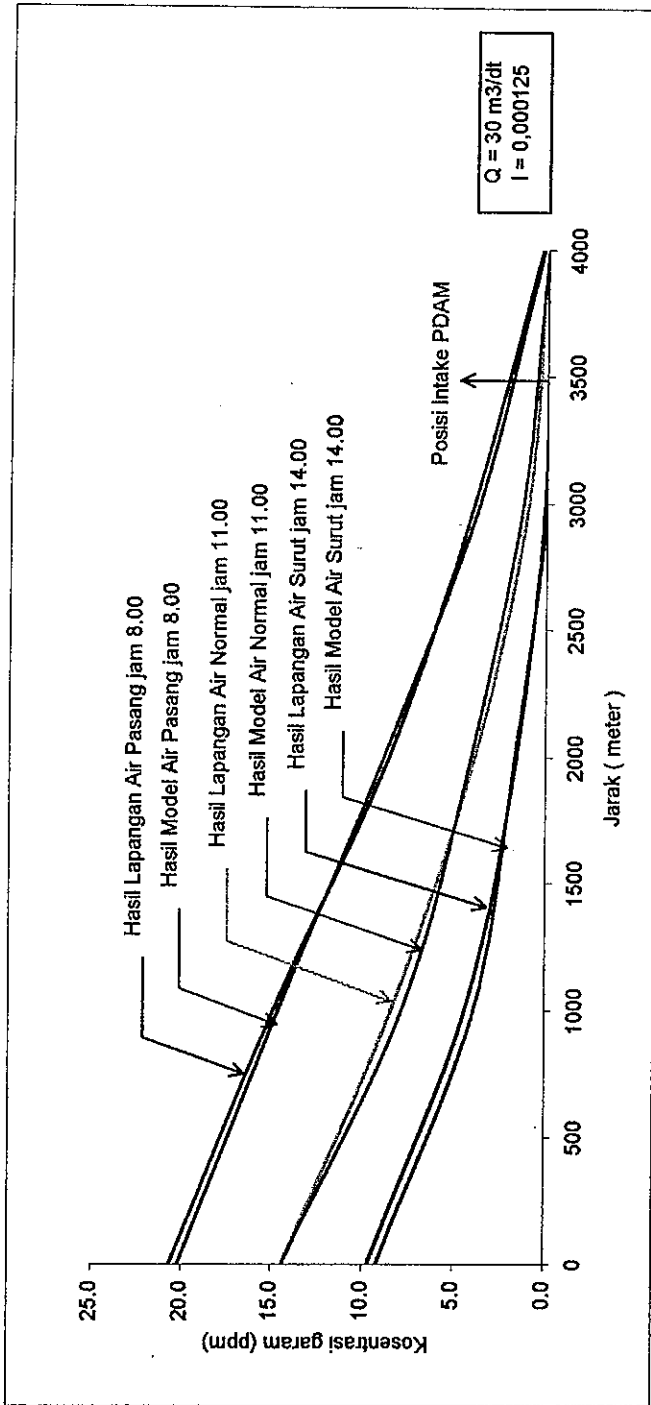
Hasil Kalibrasi Salinitas Purnama ($Q = 30 \text{ m}^3/\text{dt}$)

No	Kondisi Air	Stasiun (jarak antara Stasiun 500 meter)									
		0		2		4		6		8	
		Lap	Mdl	Lap	Mdl	Lap	Mdl	Lap	Mdl	Lap	Mdl
1	Pasang	20,44	20,33	14,78	14,68	9,05	9,26	3,99	3,88	0,32	0,25
2	Normal	14,42	14,43	7,56	7,75	4,74	4,80	0,72	0,82	0,03	0,00
3	Surut	9,68	9,58	4,09	3,98	2,23	2,44	0,11	0,00	0,00	0,00

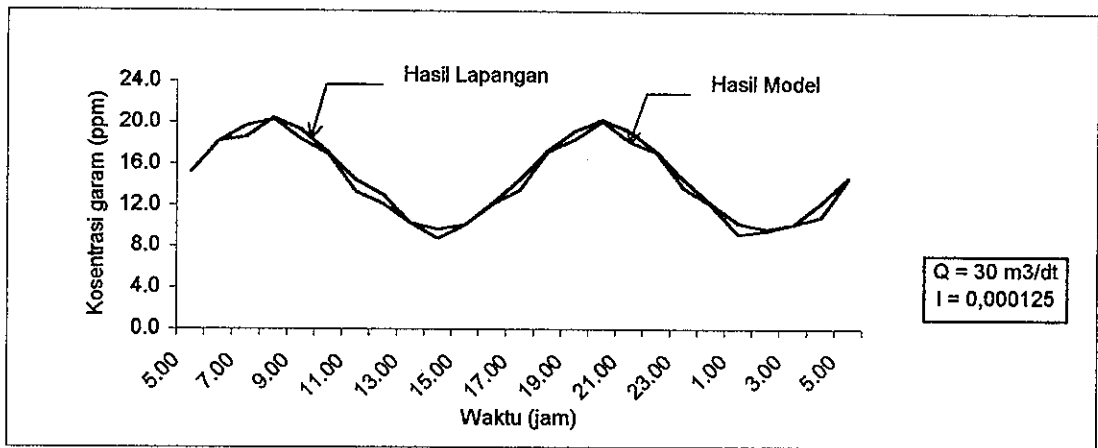
Tabel 5.2.

Hasil Kalibrasi Salinitas Perbani ($Q = 30 \text{ m}^3/\text{dt}$)

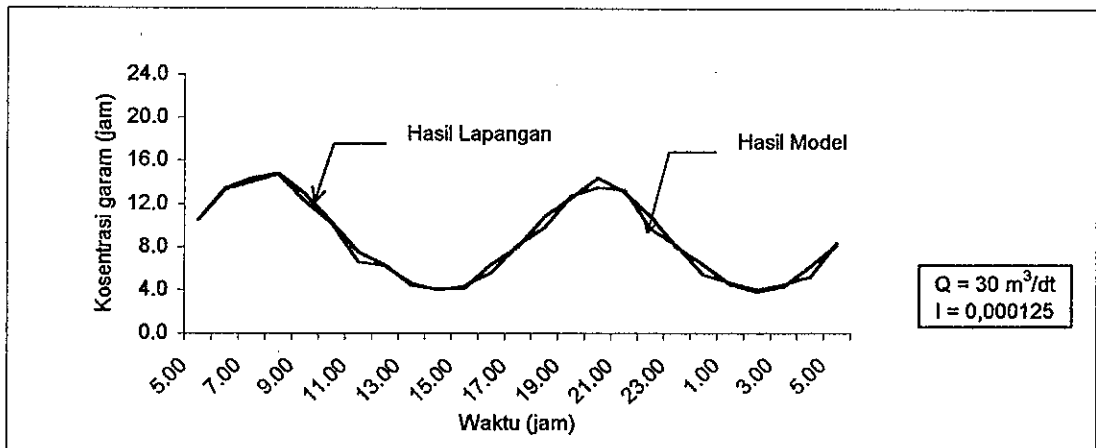
No	Kondisi Air	Stasiun (jarak antara Stasiun 500 meter)									
		0		2		4		6		8	
		Lap	Mdl	Lap	Mdl	Lap	Mdl	Lap	Mdl	Lap	Mdl
1	Pasang	17,79	17,71	13,11	13,04	7,91	7,85	2,75	2,73	0,00	0,00
2	Normal	12,53	11,45	8,25	7,99	3,81	3,72	0,28	0,24	0,00	0,00
3	Surut	7,021	6,94	4,70	4,60	1,49	1,44	0,00	0,00	0,00	0,00



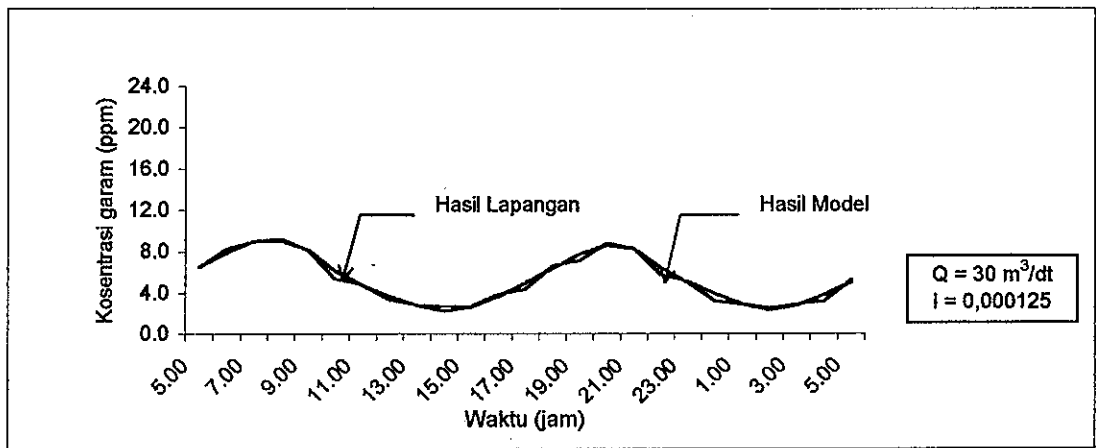
Gambar 5.1.a.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama Dengan Debit Sungai 30 m³/dt
Berdasarkan Hasil Pengukuran Lapangan Dan Pemodelan



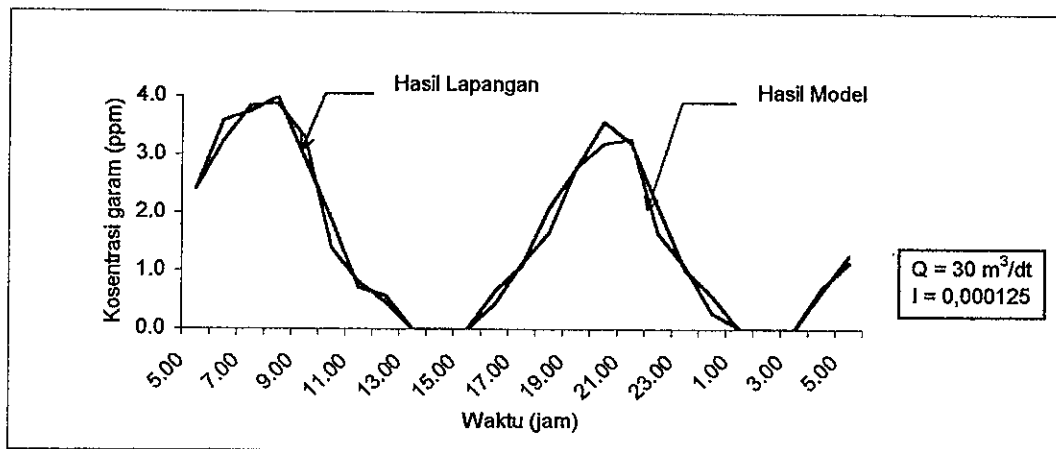
Gambar 5.1.b.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Pada Saat di Muara



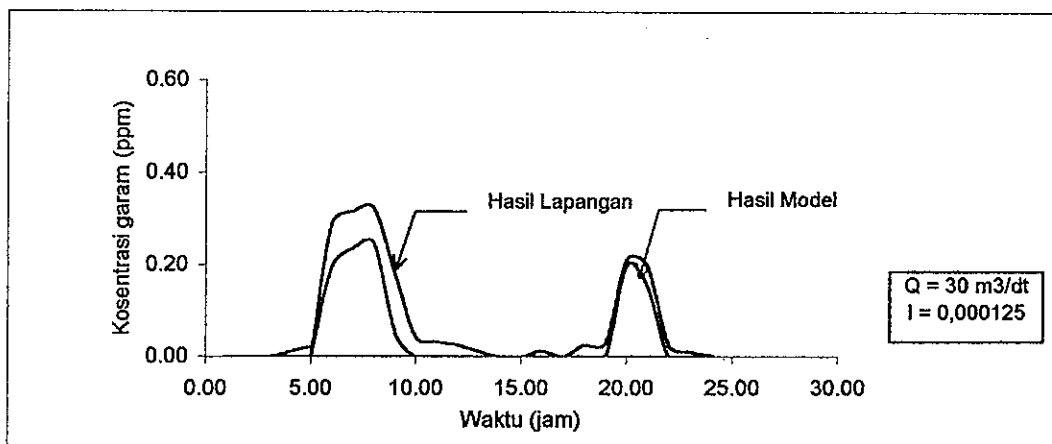
Gambar 5.1.c.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Pada Jarak 1000 meter



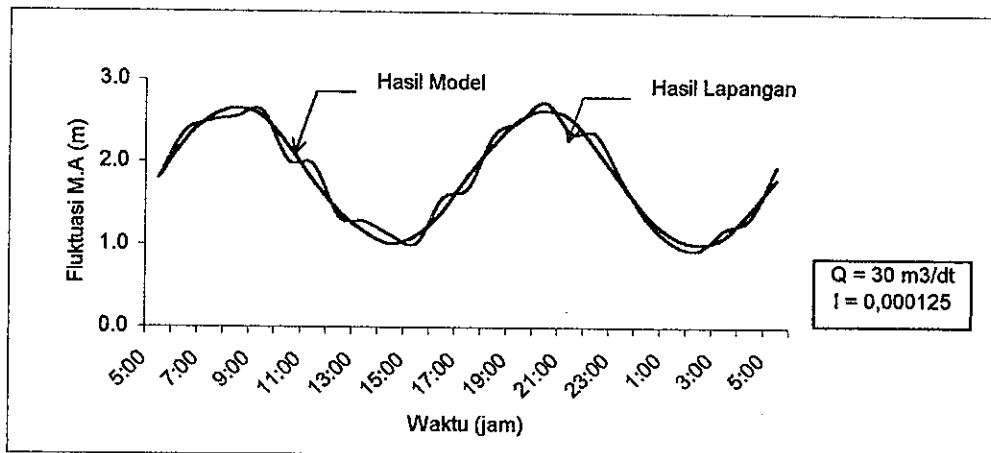
Gambar 5.1.d.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Pada Jarak 2000 meter



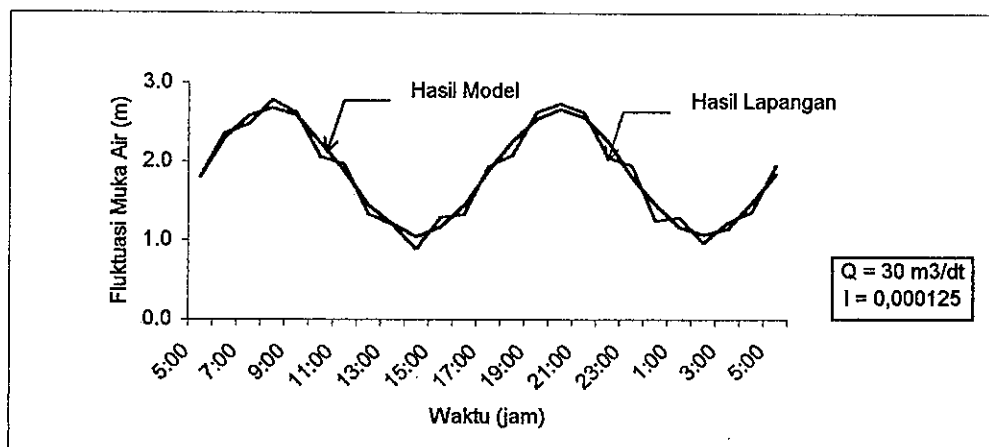
Gambar 5.1.e.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Pada Jarak 3000 meter



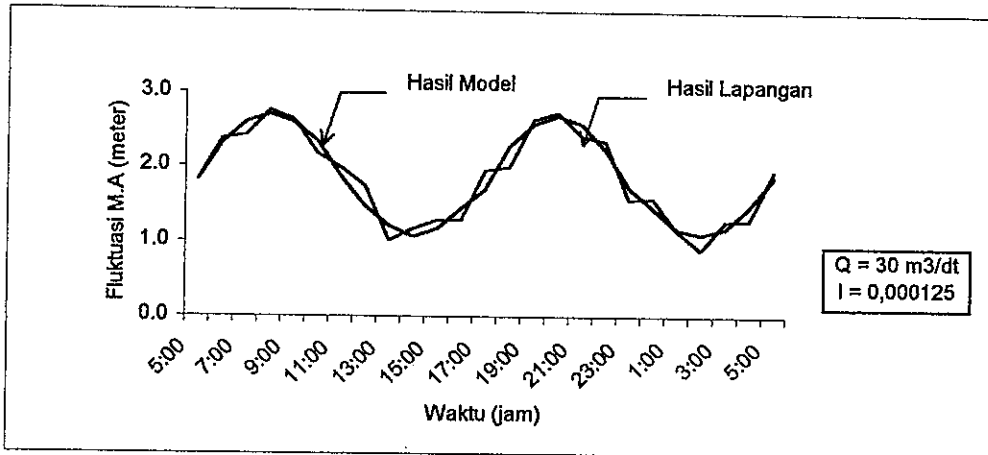
Gambar 5.1.f.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Pada Jarak 4000 meter



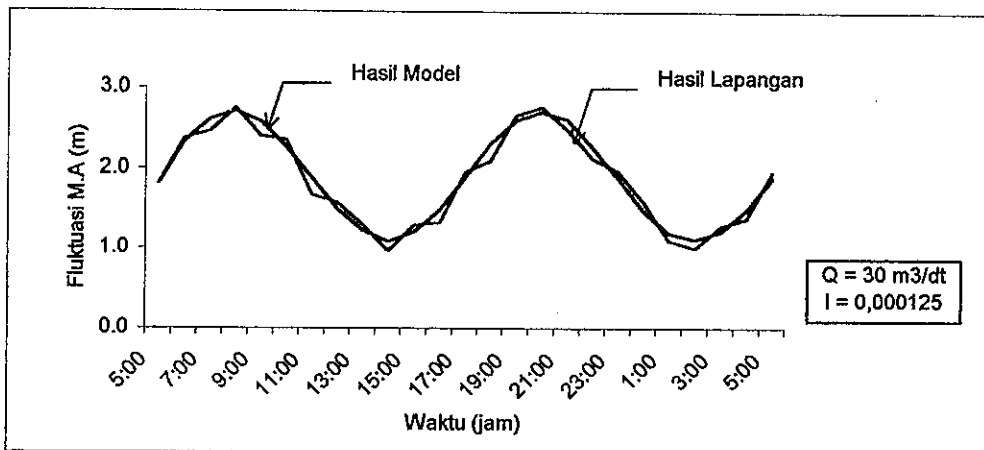
Gambar 5.2.a.
Grafik Fluktuasi Muka Air Pada Kondisi Pasang Purnama
Pada Saat di Muara



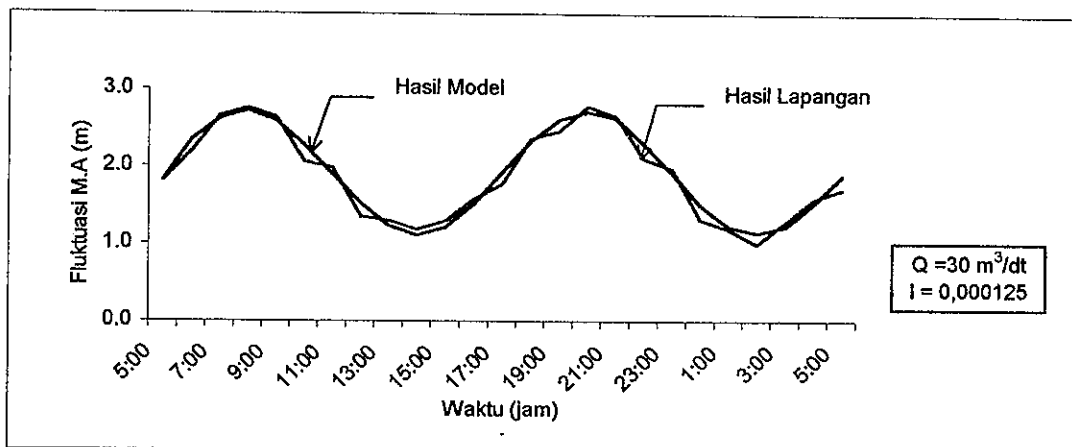
Gambar 5.2.b.
Grafik Fluktuasi Muka Air Pada Kondisi Pasang Purnama
Pada Jarak 1000 meter



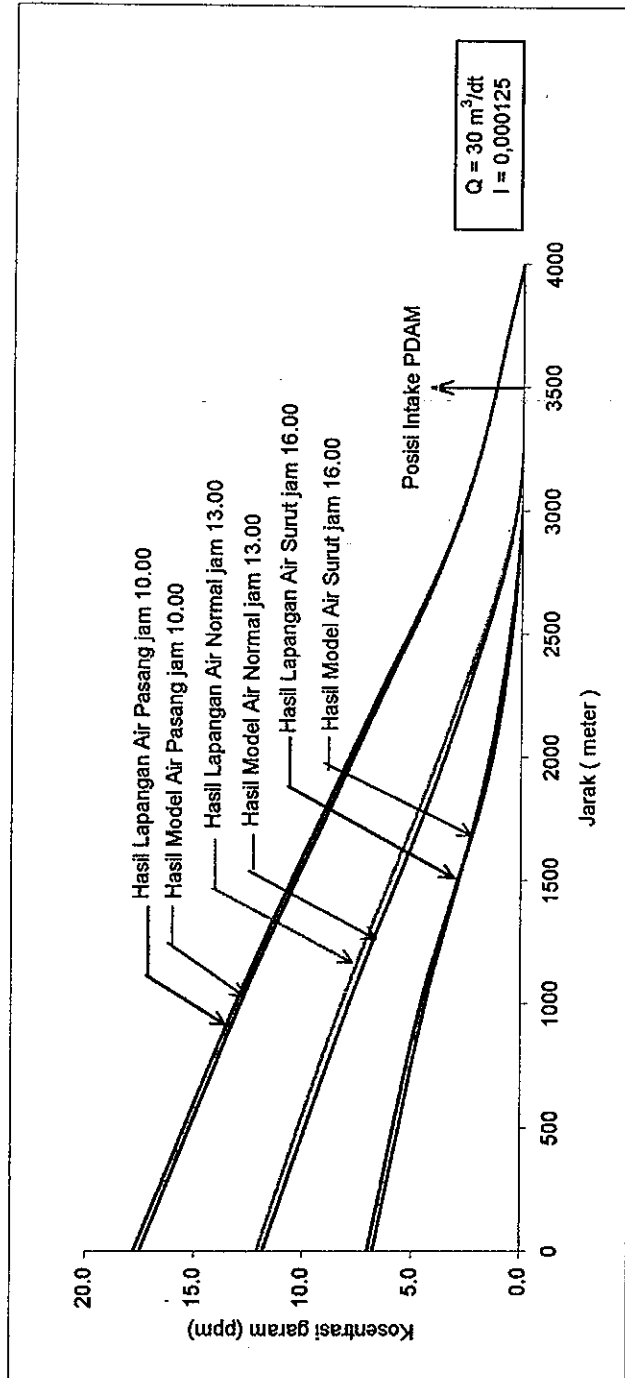
Gambar 5.2.c.
Grafik Fluktuasi Muka Air Pada Kondisi Pasang Purnama
Pada Jarak 2000 meter



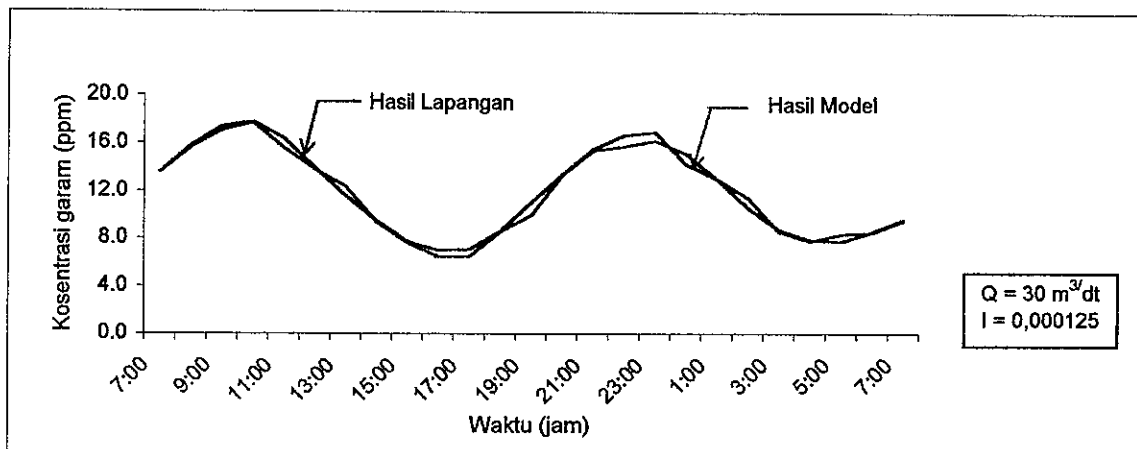
Gambar 5.2.d.
Grafik Fluktuasi Muka Air Pada Kondisi Pasang Purnama
Pada Jarak 3000 meter



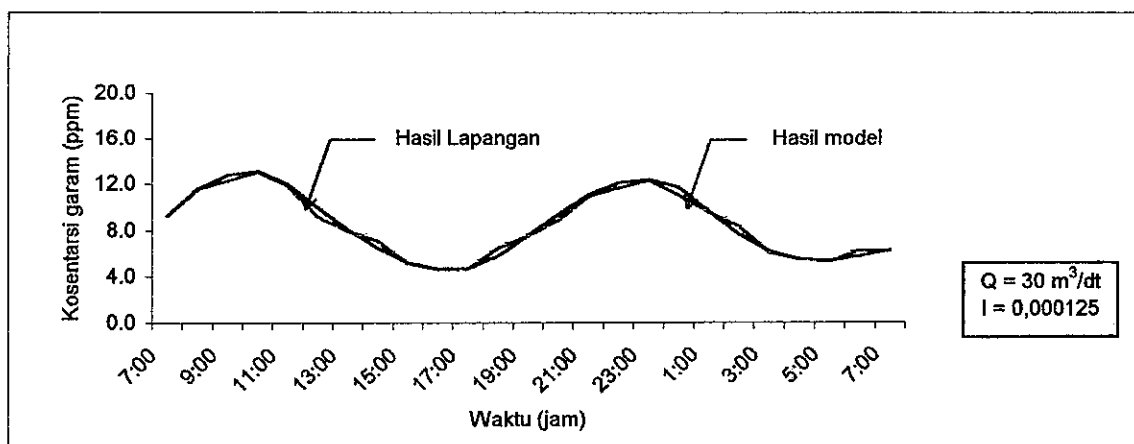
Gambar 5.2.e.
Grafik Fluktuasi Muka Air Pada Kondisi Pasang Purnama
Pada Jarak 4000 meter



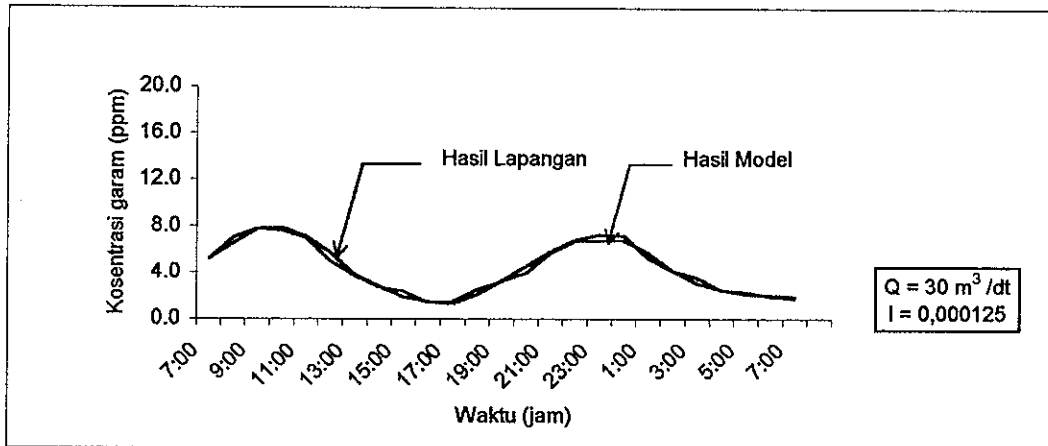
Gambar 5.3.a.
 Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani Dengan Debit Sungai 30 m³/dt
 Berdasarkan Hasil Pengukuran Lapangan dan Pemodelan



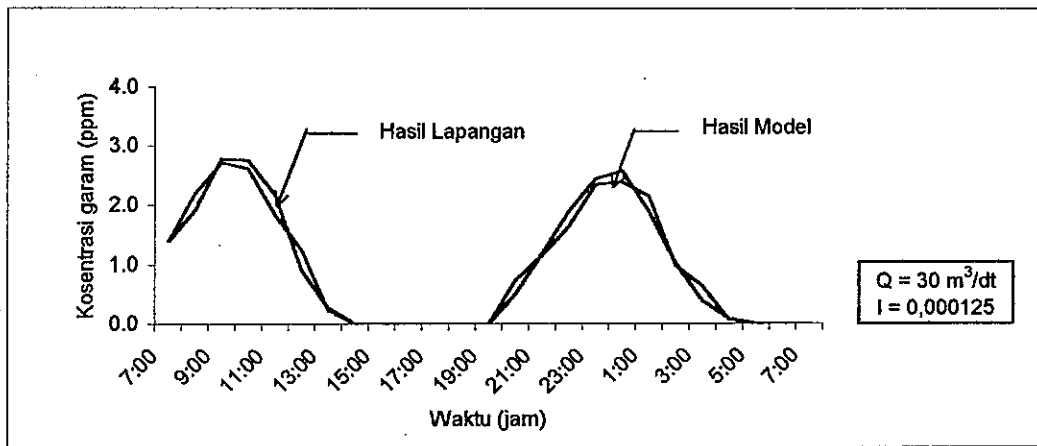
Gambar 5.3.b.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Pada Saat di Muara



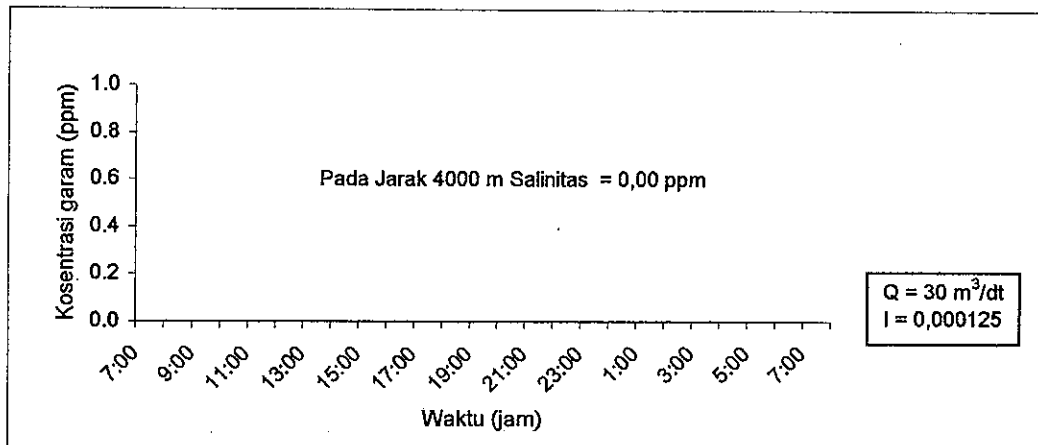
Gambar 5.3.c.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Pada Jarak 1000 meter



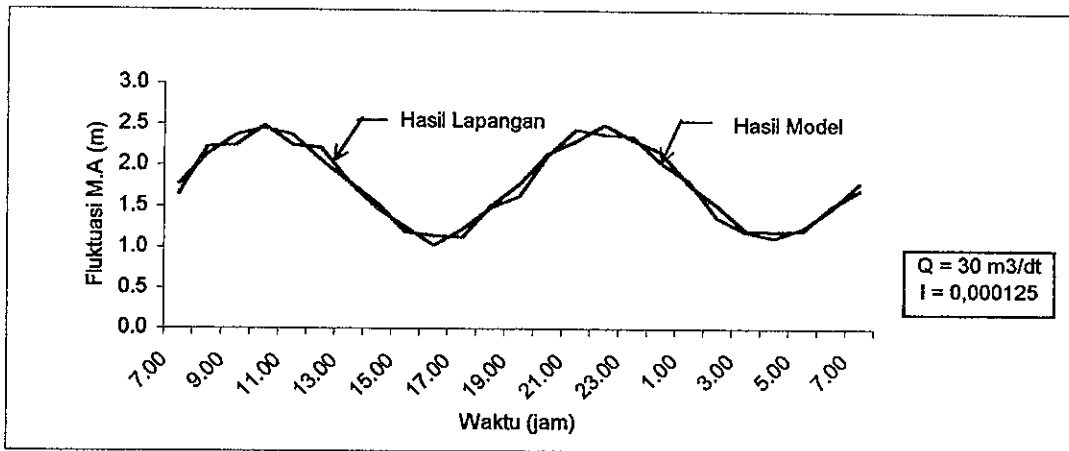
Gambar 5.3.d.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Pada Jarak 2000 meter



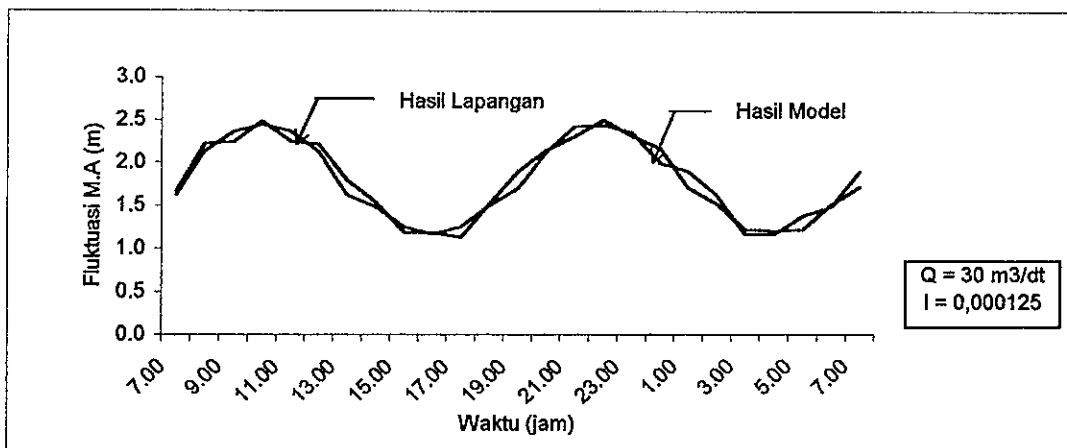
Gambar 5.3.e.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Pada Jarak 3000 meter



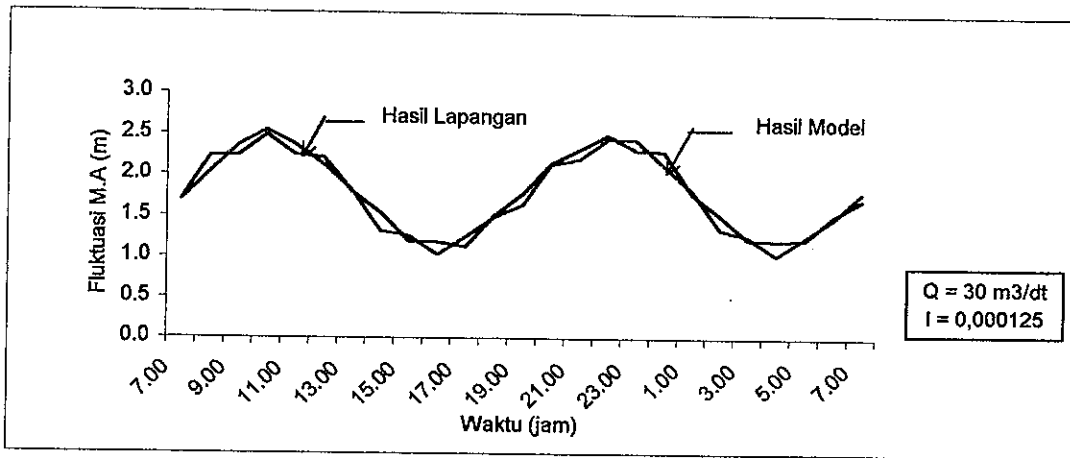
Gambar 5.3.f.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Pada Jarak 4000 meter



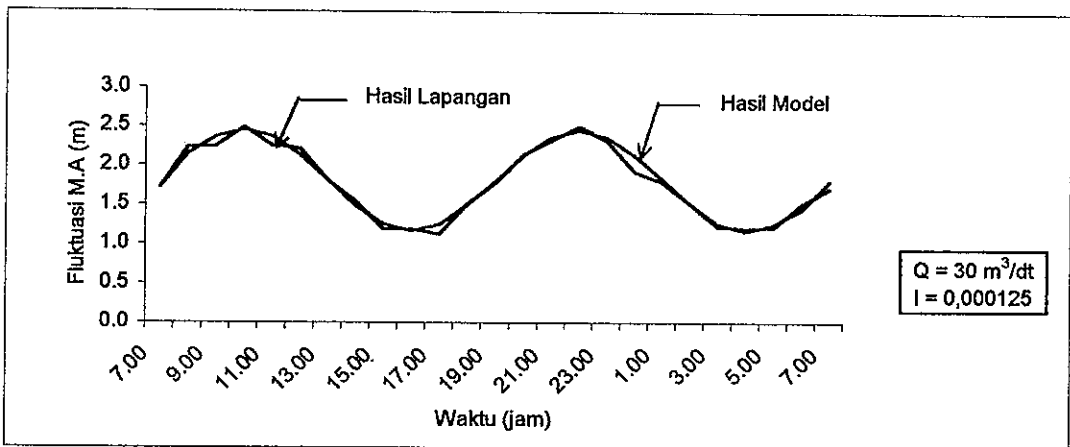
Gambar 5.4.a.
Grafik Fluktuasi Muka Air Pada Kondisi Pasang Perbani
Pada Saat di Muara



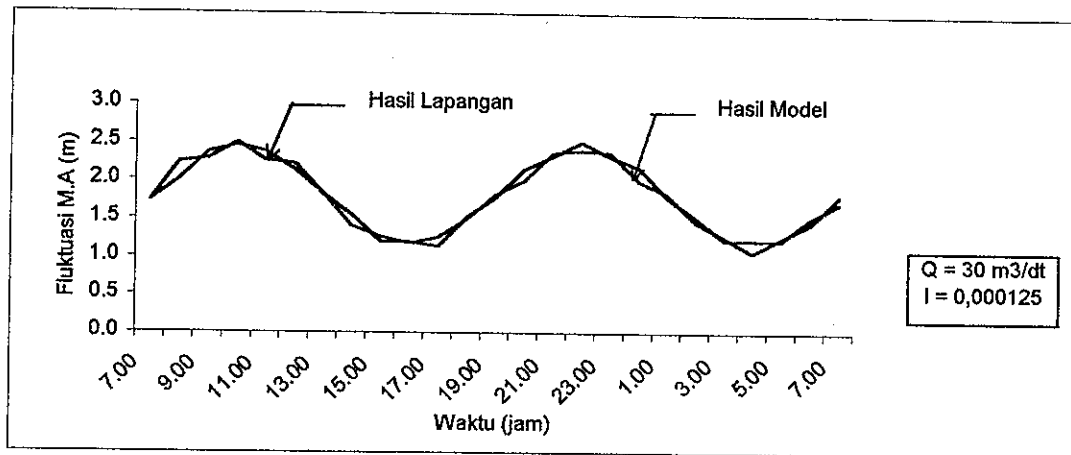
Gambar 5.4.b.
Grafik Fluktuasi Muka Air Pada Kondisi Pasang Perbani
Pada Jarak 1000 meter



Gambar 5.4.c.
Grafik Fluktuasi Muka Air Pada Kondisi Pasang Perbani
Pada Jarak 2000 meter



Gambar 5.4.d.
Grafik Fluktuasi Muka Air Pada Kondisi Pasang Perbani
Pada Jarak 3000 meter



Gambar 5.4.e.
Grafik Fluktuasi Muka Air Pada Kondisi Pasang Perbani
Pada Jarak 4000 meter

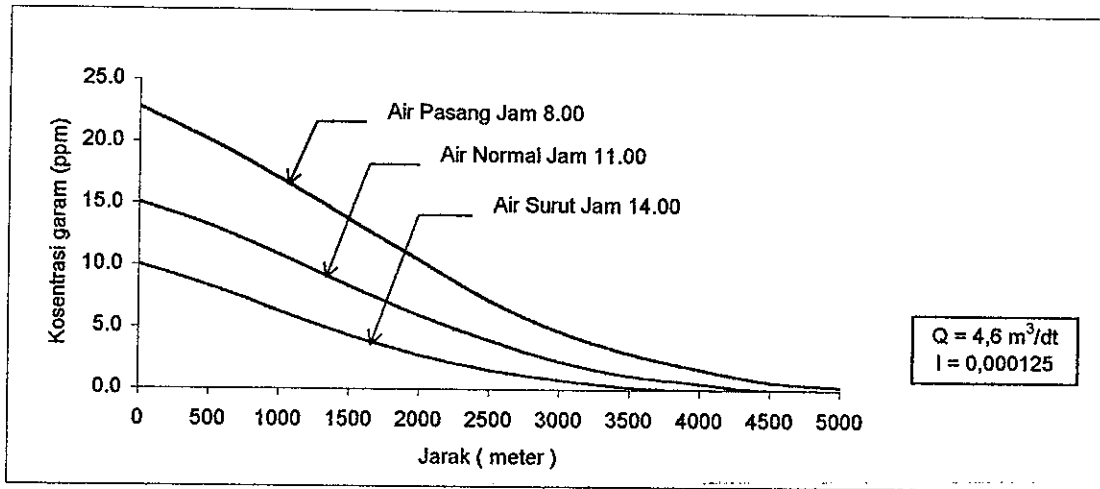
5.3. Hasil Aplikasi Model

Dalam aplikasi model ini, dilakukan dengan memasukan debit dari sebelah hulu konstan dan dilakukan perubahan pada setiap merunning program, hal ini bertujuan untuk mengetahui besarnya pengaruh debit terhadap perubahan perilaku aliran, salinitas dan jarak salinitas yang menjalar ke arah hulu.

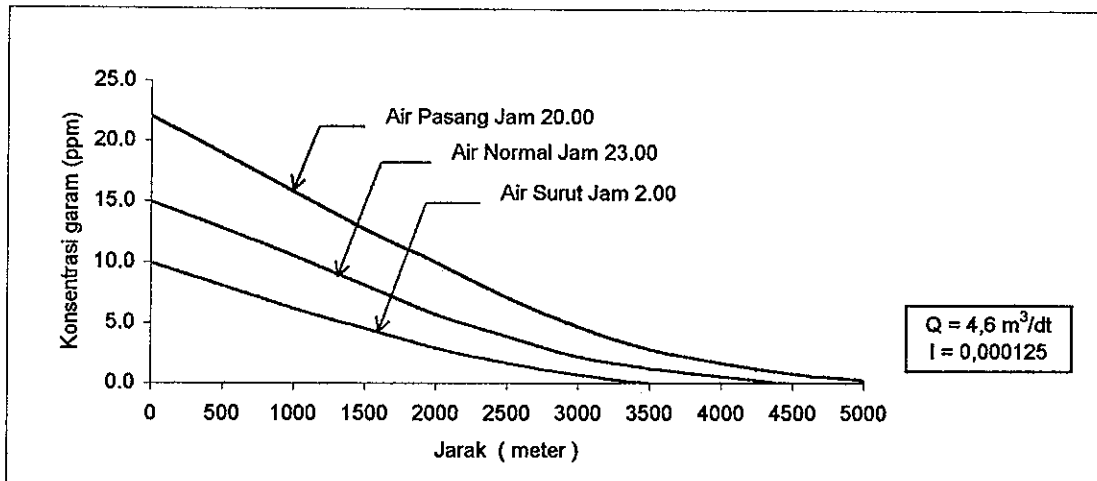
Dari hasil aplikasi model pada kondisi pasang maksimum (purnama) dengan debit air tawar minimum dari hulu sebesar $Q = 4,6 \text{ m}^3/\text{d}$, Lebar muka air = 45 meter, Panjang sungai = 5000 meter, Kemiringan dasar sungai = 0,000125, $\Delta t = 20$ detik, $\Delta x = 500$ meter, Tinggi air normal = 1,8 meter, hasil salinitas menunjukkan mengalami perubahan, dimana pada kondisi air pasang titik peralihan antara air asin dan air tawar berada antara Km 4,5 dan Km 5,0. Pada Km 4,5 nilai salinitas sebesar 0,996 ppm. Dan pada waktu air surut titik peralihan air asin dan air tawar berada antara Km 3,5 dan Km 4,0 pada Km 3,5 nilai salinitasnya sebesar 0,243 ppm. Sedangkan nilai salinitas pada titik pengambilan (*intake*) PDAM sebesar 2,845 ppm. Untuk lebih detail besarnya nilai salinitas untuk setiap titik peralihan dapat di lihat pada Gambar 5.7.a. dan 5.7.b. Sedangkan besarnya nilai salinitas untuk setiap jam pada masing – masing stasiun dapat di lihat pada Gambar 5.7.c. sampai 5.7.g. Hasil perhitungan nilai salinitas untuk setiap titik peralihan dan untuk setiap jam pada masing – masing stasiun dapat di lihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7.
Hasil Test Model Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Minimum (Q = 4,6 m³/dt)

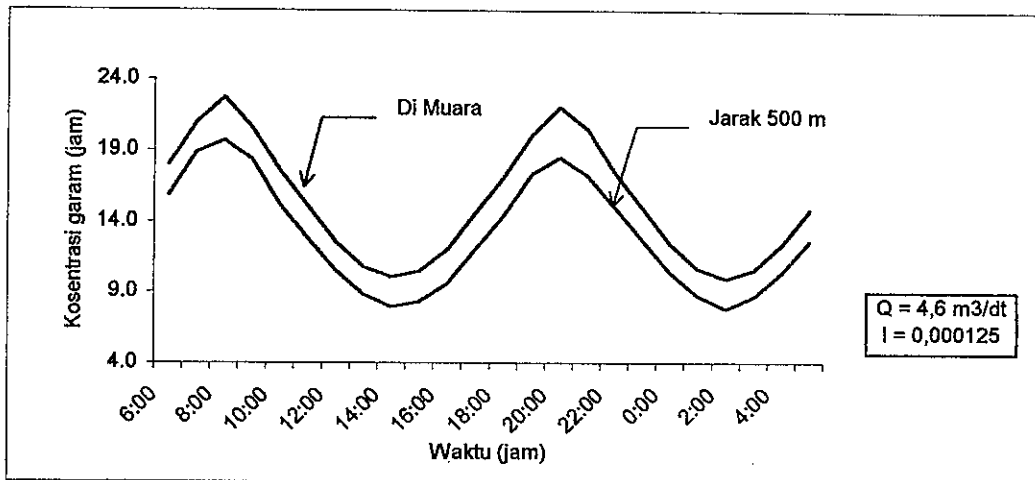
Waktu (Jam)	Stasiun (Jarak antara stasiun 500 meter)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6:00	17,971	16,234	13,168	10,466	8,308	5,701	3,564	2,076	1,426	0,607	0,000
7:00	20,985	19,286	16,274	13,104	9,605	6,928	4,394	2,597	1,640	0,944	0,251
8:00	22,773	20,129	17,194	13,806	10,140	7,450	4,767	2,845	1,735	0,996	0,282
9:00	20,617	18,776	15,559	12,617	9,296	6,553	4,137	2,433	1,594	0,775	0,000
10:00	17,560	15,552	12,098	9,665	7,653	4,833	2,966	1,649	0,947	0,252	0,000
11:00	15,078	13,240	10,029	8,039	6,361	3,802	2,320	1,262	0,565	0,000	0,000
12:00	12,579	10,909	7,936	6,409	5,079	2,762	1,649	0,866	0,000	0,000	0,000
13:00	10,778	9,235	6,446	5,242	4,151	2,022	1,179	0,592	0,000	0,000	0,000
14:00	10,053	8,350	6,120	4,090	2,810	1,617	0,916	0,243	0,000	0,000	0,000
15:00	10,492	8,729	6,410	4,410	2,930	1,760	0,990	0,280	0,000	0,000	0,000
16:00	12,063	10,220	6,519	5,364	4,227	1,816	1,045	0,399	0,000	0,000	0,000
17:00	14,650	12,513	8,874	7,175	5,660	2,876	1,662	0,815	0,000	0,000	0,000
18:00	17,191	14,915	11,079	8,886	7,012	3,998	2,384	1,238	0,563	0,000	0,000
19:00	20,126	17,797	13,884	10,299	8,139	4,993	3,022	1,643	0,815	0,000	0,000
20:00	22,100	18,956	15,794	11,690	9,986	7,308	4,513	2,833	1,662	0,966	0,264
21:00	20,519	17,678	14,461	11,519	9,198	6,455	4,039	2,785	1,615	0,912	0,242
22:00	17,462	15,454	12,012	9,567	7,556	4,735	2,868	2,210	1,586	0,772	0,000
23:00	14,980	13,142	9,931	7,941	6,263	3,704	2,223	1,220	0,560	0,000	0,000
0:00	12,481	10,811	7,838	6,311	5,161	2,664	1,551	0,763	0,000	0,000	0,000
1:00	10,680	9,137	6,348	5,144	4,053	1,924	1,081	0,480	0,000	0,000	0,000
2:00	9,955	8,252	6,022	3,992	2,712	1,519	0,768	0,000	0,000	0,000	0,000
3:00	10,589	9,112	6,312	5,131	4,049	1,920	1,077	0,476	0,000	0,000	0,000
4:00	12,425	10,798	7,825	6,226	5,145	2,651	1,548	0,758	0,000	0,000	0,000
5:00	14,890	13,112	9,921	7,938	6,253	3,656	2,208	1,209	0,557	0,000	0,000



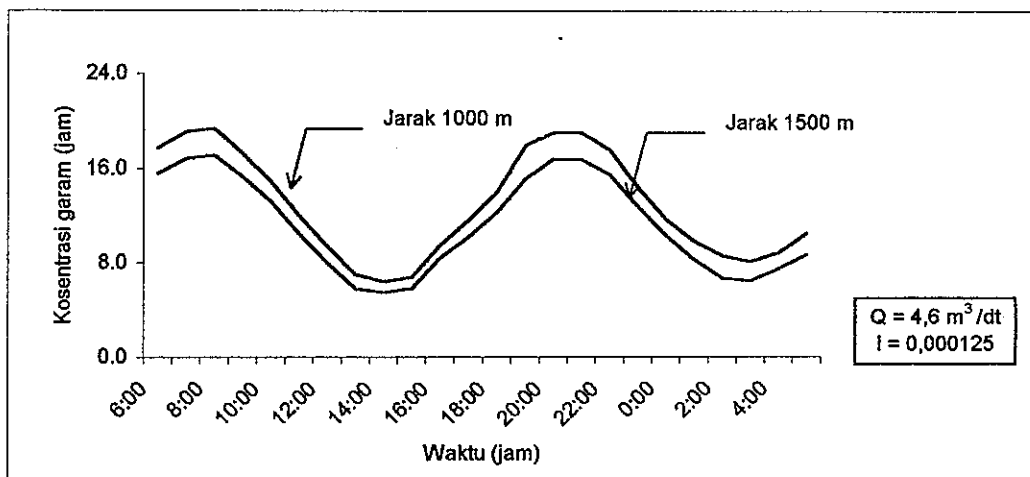
Gambar 5.7.a.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Minimum



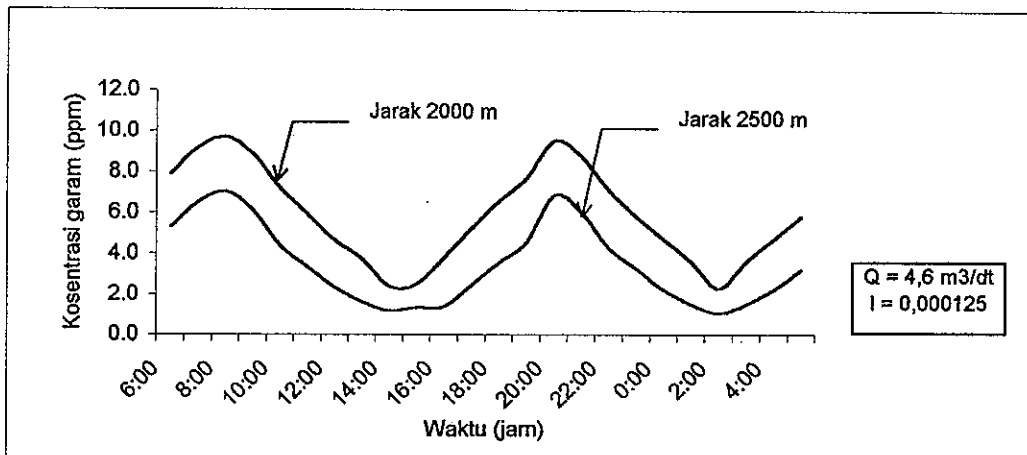
Gambar 5.7.b.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Minimum



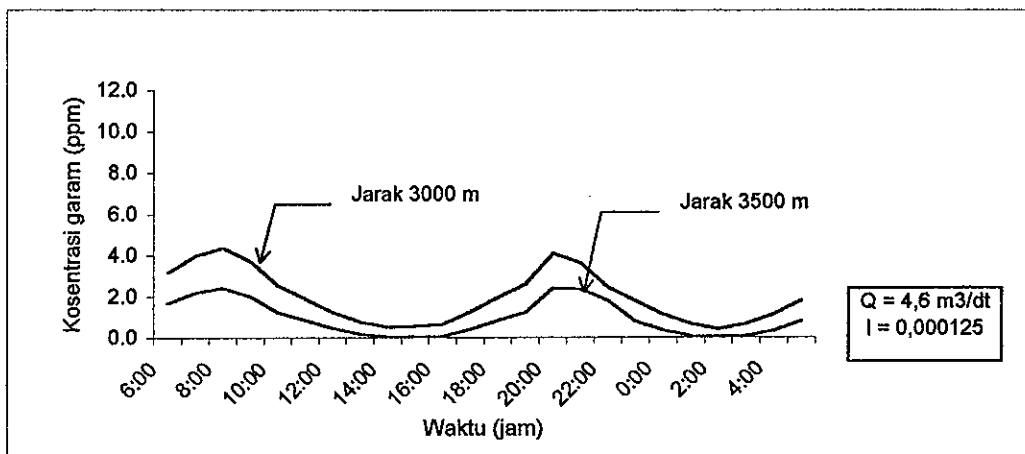
Gambar 5.7.c.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Minimum



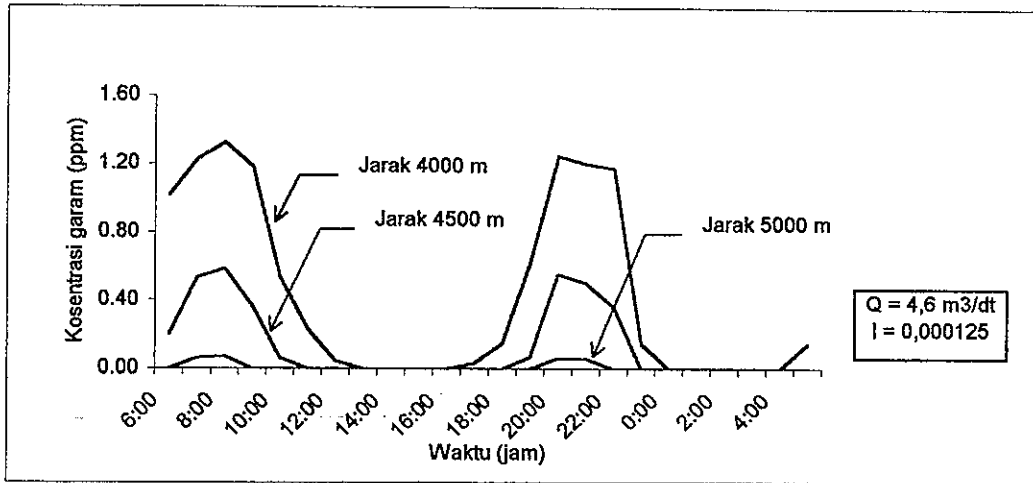
Gambar 5.7.d.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Minimum



Gambar 5.7.e.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Minimum



Gambar 5.7.f.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Minimum

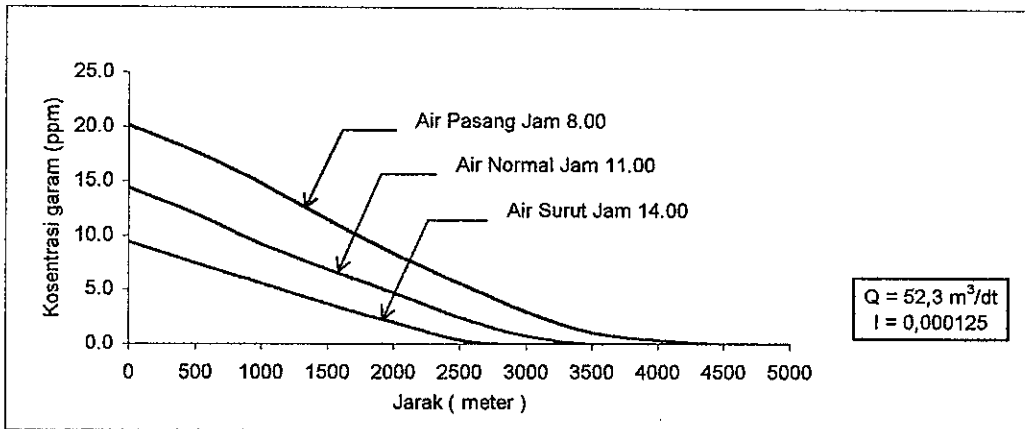


Gambar 5.7.g.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Minimum

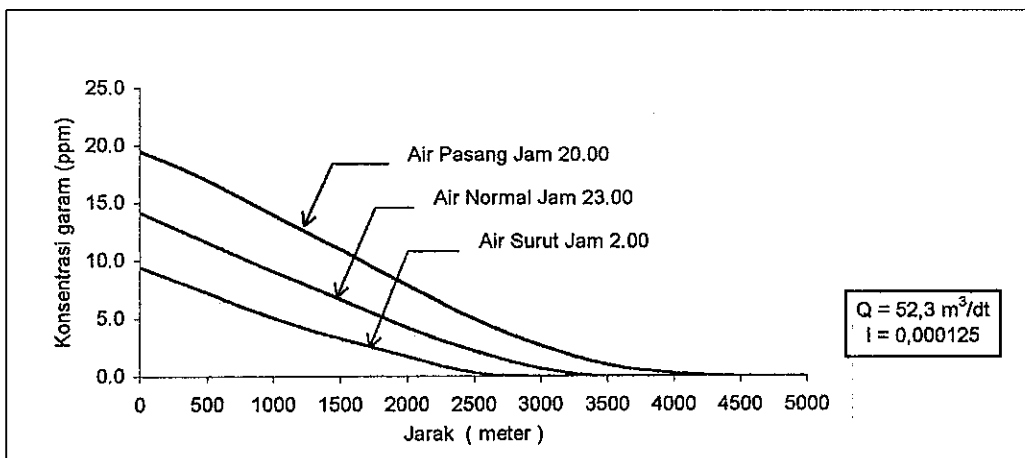
Hasil aplikasi model pada kondisi pasang maksimum (purnama) dengan debit air tawar rata-rata dari hulu sebesar $Q = 52,3 \text{ m}^3/\text{d}$, Lebar muka air = 45 meter, Panjang sungai = 5000 meter, Kemiringan dasar sungai = 0,000125, $\Delta t = 20$ detik, $\Delta x = 500$ meter, Tinggi air normal = 1,8 meter, hasil salinitas menunjukkan mengalami perubahan, dimana pada kondisi air pasang titik peralihan antara air asin dan air tawar berada antara Km 3,5 dan Km 4,0. Pada Km 3,5 nilai salinitas sebesar 1,580 ppm. Dan pada waktu air surut titik peralihan air asin dan air tawar berada antara Km 2,5 dan Km 3,0 pada Km 2,5 nilai salinitasnya sebesar 0,307 ppm. Sedangkan nilai salinitas pada titik pengambilan (*intake*) PDAM sebesar 1,580 ppm. Untuk lebih detail besarnya nilai salinitas untuk setiap titik peralihan dapat di lihat pada Gambar 5.8.a. dan 5.8.b. Sedangkan besarnya nilai salinitas untuk setiap jam pada masing – masing stasiun dapat di lihat pada Gambar sampai 5.8.c. sampai 5.8.h. Hasil perhitungan nilai salinitas untuk setiap titik peralihan dan untuk setiap jam pada masing – masing stasiun dapat di lihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8.
Hasil Test Model Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Rata-Rata (Q = 52,3 m³/dt)

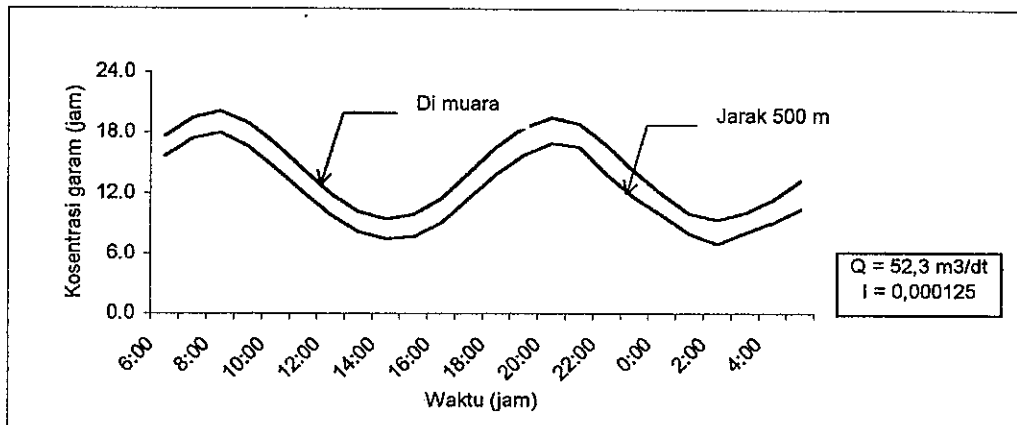
Waktu (Jam)	Stasiun (Jarak antara stasiun 500 meter)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6:00	17,624	15,689	12,924	10,043	7,776	5,330	3,020	1,134	0,000	0,000	0,000
7:00	19,475	17,438	14,528	11,298	8,766	6,148	3,549	1,469	0,498	0,000	0,000
8:00	20,110	18,035	15,070	11,718	9,080	6,381	3,719	1,580	0,587	0,000	0,000
9:00	18,999	16,710	13,441	10,516	8,200	5,414	3,028	0,990	0,000	0,000	0,000
10:00	16,912	14,462	10,962	8,559	6,565	3,719	1,882	0,064	0,000	0,000	0,000
11:00	14,436	12,154	8,893	6,932	5,271	2,683	1,231	0,202	0,000	0,000	0,000
12:00	11,955	9,858	6,861	5,350	4,028	1,696	0,598	0,000	0,000	0,000	0,000
13:00	10,151	8,178	5,360	4,174	3,093	0,947	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14:00	9,436	7,472	4,587	3,504	2,501	0,307	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15:00	9,887	7,704	4,667	3,700	2,651	0,560	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16:00	11,486	9,161	6,598	4,421	3,275	1,572	0,582	0,000	0,000	0,000	0,000
17:00	14,085	11,560	7,952	6,229	4,700	1,929	0,695	0,000	0,000	0,000	0,000
18:00	16,619	13,954	10,146	7,933	6,048	3,049	1,416	0,000	0,000	0,000	0,000
19:00	18,565	15,856	11,985	9,373	7,199	4,072	2,074	0,988	0,000	0,000	0,000
20:00	19,532	17,001	13,713	10,676	8,251	5,506	3,151	1,258	0,214	0,000	0,000
21:00	18,915	16,662	13,444	10,407	7,982	5,205	2,816	1,354	0,284	0,000	0,000
22:00	16,800	13,900	10,875	8,462	6,100	3,687	1,864	0,732	0,000	0,000	0,000
23:00	14,200	11,600	8,893	6,932	4,800	2,683	1,231	0,204	0,000	0,000	0,000
0:00	11,955	9,858	7,300	5,350	3,500	1,696	0,598	0,000	0,000	0,000	0,000
1:00	10,000	8,000	5,600	4,209	3,176	1,266	0,218	0,000	0,000	0,000	0,000
2:00	9,388	7,401	4,491	3,478	2,685	0,489	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3:00	10,103	8,098	5,118	4,053	2,776	0,623	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4:00	11,397	9,107	6,500	4,402	3,282	1,589	0,588	0,000	0,000	0,000	0,000
5:00	13,347	10,493	7,500	5,400	3,900	2,432	1,013	0,000	0,000	0,000	0,000



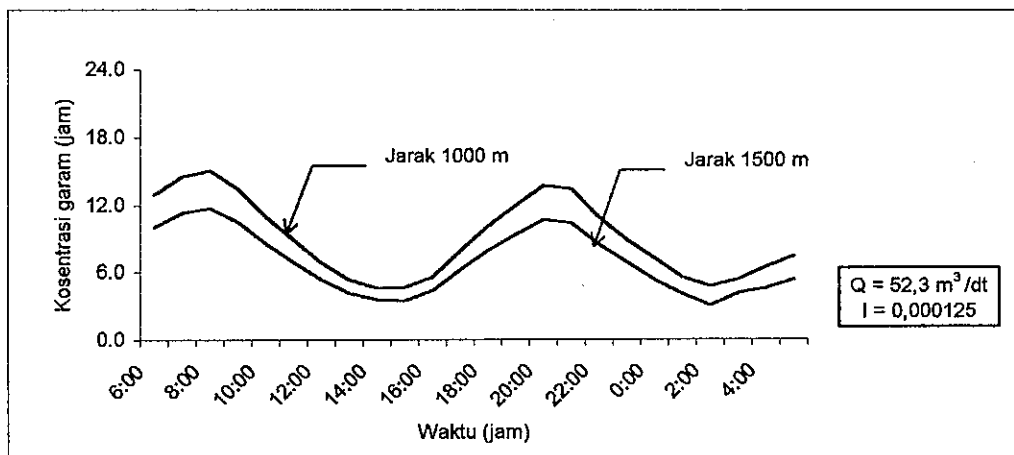
Gambar 5.8.a.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Rata-Rata



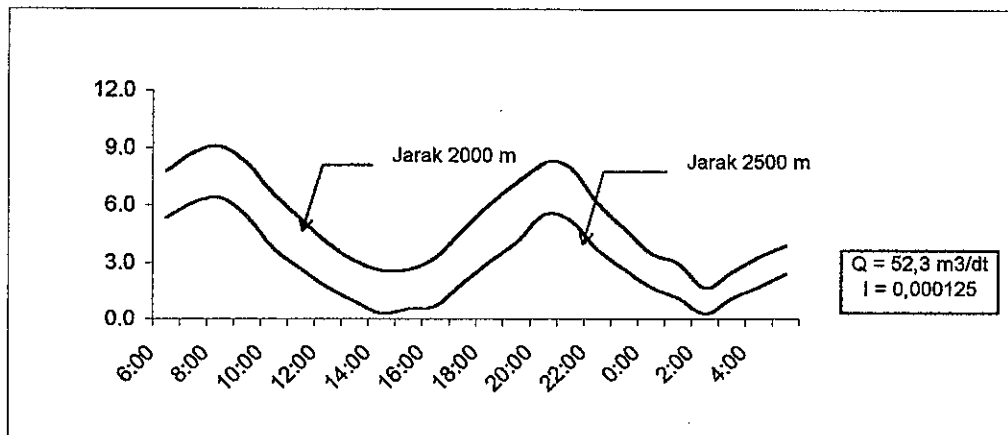
Gambar 5.8.b.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Rata-Rata



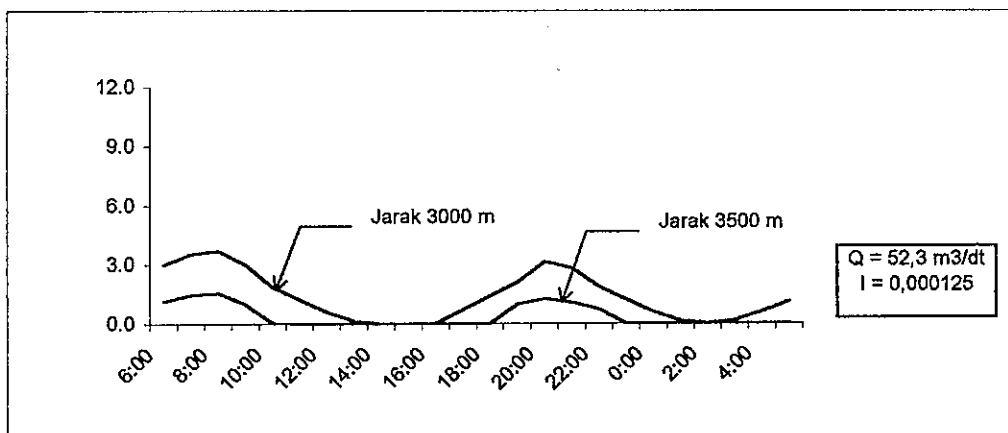
Gambar 5.8.c.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Rata-Rata



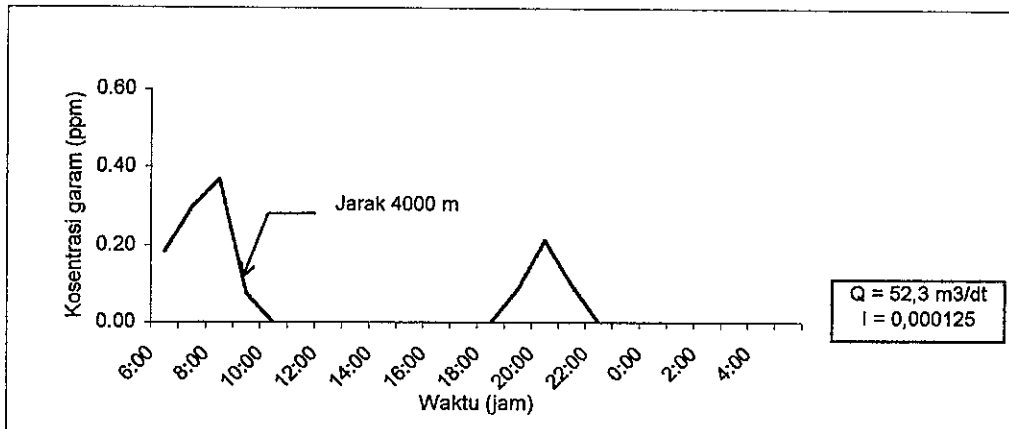
Gambar 5.8.d.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Rata-Rata



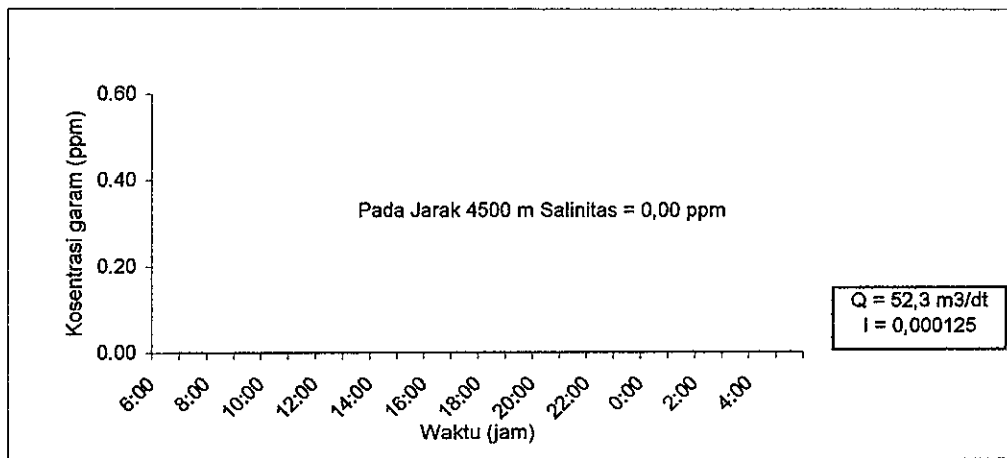
Gambar 5.8.e.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Rata-Rata



Gambar 5.8.f.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Rata-Rata



Gambar 5.8.g.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Rata-Rata

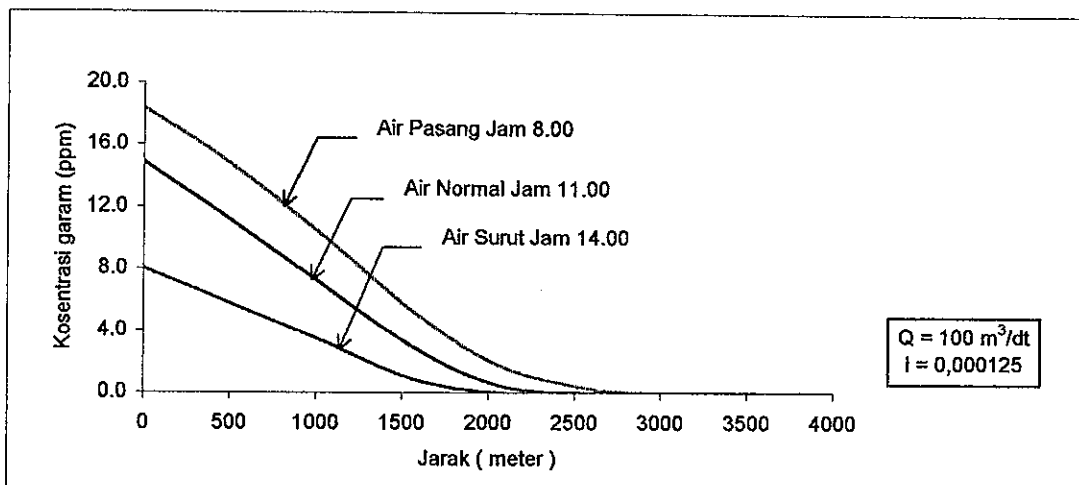


Gambar 5.8.h.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Rata-Rata

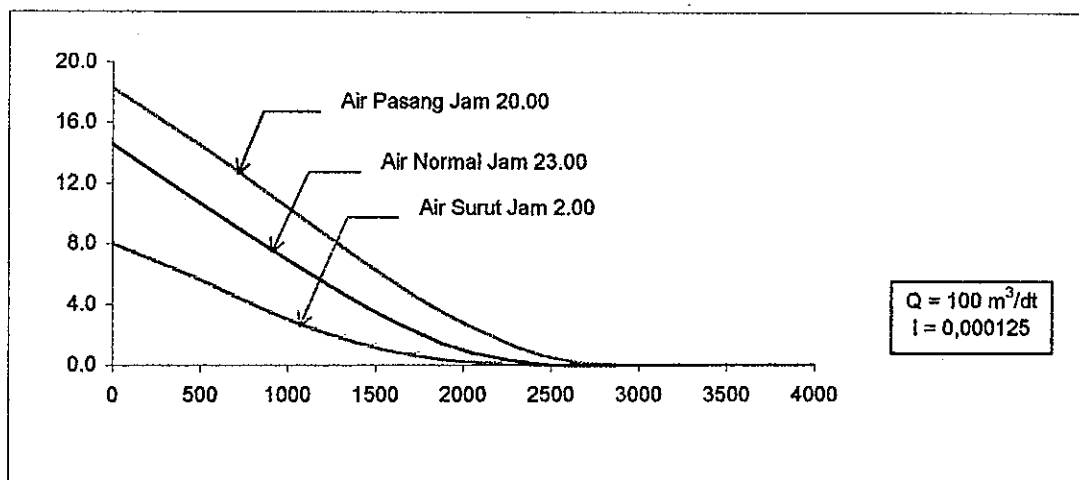
Dari aplikasi model pada kondisi pasang maksimum (purnama) dengan debit air tawar minimum dari hulu sebesar $Q = 100 \text{ m}^3/\text{dt}$, Lebar muka air = 45 meter, Panjang sungai = 5000 meter, Kemiringan dasar sungai = 0,000125, $\Delta t = 20$ detik, $\Delta x = 500$ meter, Tinggi air normal = 1,8 meter, hasil salinitas menunjukkan mengalami perubahan, dimana pada kondisi air pasang titik peralihan antara air asin dan air tawar berada antara Km 2,5 dan Km 3,0. Pada Km 2,5 nilai salinitas sebesar 1,132 ppm. Dan pada waktu air surut titik peralihan air asin dan air tawar berada antara Km 1,5 dan Km 2,0 pada Km 1,5 nilai salinitasnya sebesar 0,882 ppm. Sedangkan nilai salinitas pada titik pengambilan (*intake*) PDAM sebesar 0,00 ppm. Untuk lebih detail besarnya nilai salinitas untuk setiap titik peralihan dapat di lihat pada Gambar 5.9.a. dan 5.9.b. Sedangkan besarnya nilai salinitas untuk setiap jam pada masing – masing stasiun dapat di lihat pada Gambar sampai 5.9.c. sampai 5.9.f. Hasil perhitungan nilai salinitas untuk setiap titik peralihan dan untuk setiap jam pada masing – masing stasiun dapat di lihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9.
Hasil Test Model Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Maksimum ($Q=100\text{m}^3/\text{dt}$)

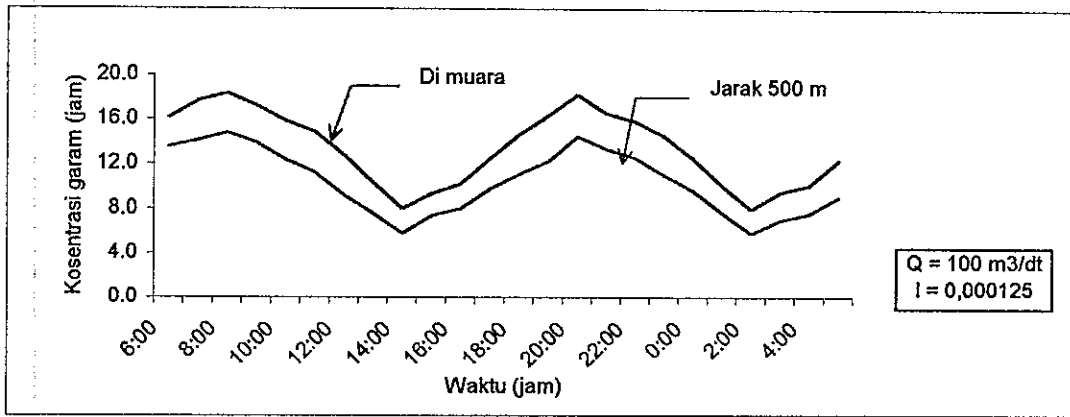
Waktu (Jam)	Stasiun (Jarak antara stasiun 500 meter)								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
6:00	16,133	13,565	9,324	6,046	3,012	0,903	0,000	0,000	0,000
7:00	17,695	14,124	10,500	6,857	3,514	1,054	0,000	0,000	0,000
8:00	18,377	14,800	11,100	7,532	3,722	1,132	0,000	0,000	0,000
9:00	17,259	13,925	10,200	6,602	3,221	0,960	0,000	0,000	0,000
10:00	15,854	12,400	8,700	5,436	2,611	0,783	0,000	0,000	0,000
11:00	14,880	11,279	7,600	3,752	1,628	0,488	0,000	0,000	0,000
12:00	12,820	9,230	5,500	2,738	0,848	0,000	0,000	0,000	0,000
13:00	10,402	7,601	3,820	1,141	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14:00	8,040	5,803	2,812	0,882	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15:00	9,355	7,400	3,510	1,126	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16:00	11,229	8,010	5,600	2,789	0,892	0,000	0,000	0,000	0,000
17:00	12,549	9,800	6,600	3,210	0,960	0,000	0,000	0,000	0,000
18:00	14,658	11,130	7,700	3,822	1,513	0,450	0,000	0,000	0,000
19:00	16,376	12,300	8,900	5,527	2,623	0,786	0,000	0,000	0,000
20:00	18,278	14,500	10,800	7,130	3,592	1,052	0,000	0,000	0,000
21:00	16,600	13,400	9,800	6,286	3,012	0,903	0,000	0,000	0,000
22:00	15,875	12,600	8,700	5,500	2,622	0,781	0,000	0,000	0,000
23:00	14,562	11,101	8,100	4,520	1,743	0,520	0,000	0,000	0,000
0:00	12,532	9,670	6,458	3,150	0,930	0,000	0,000	0,000	0,000
1:00	10,136	7,700	3,800	1,140	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2:00	8,002	6,032	3,002	0,903	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3:00	9,527	7,152	3,596	1,054	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4:00	10,125	7,602	3,821	1,146	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5:00	12,400	9,100	5,410	2,559	0,844	0,000	0,000	0,000	0,000



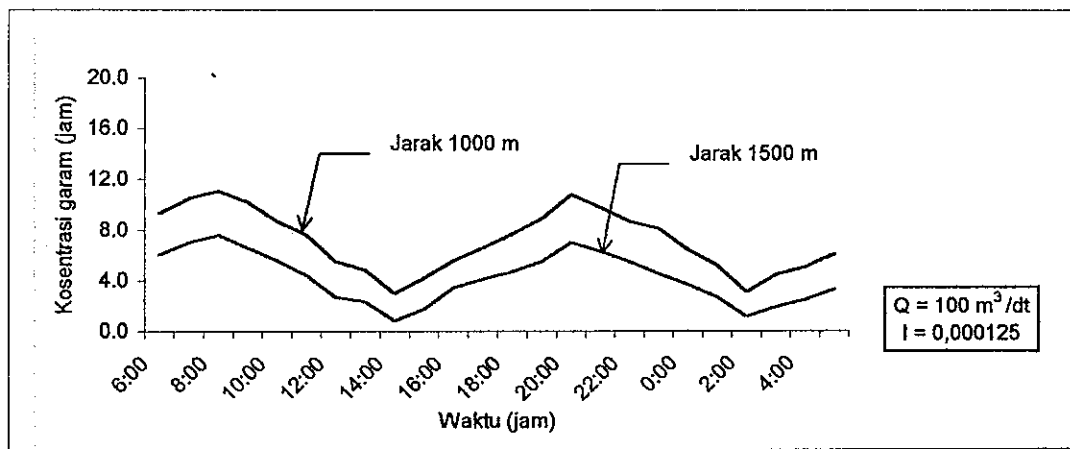
Gambar 5.9.a.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Maksimum



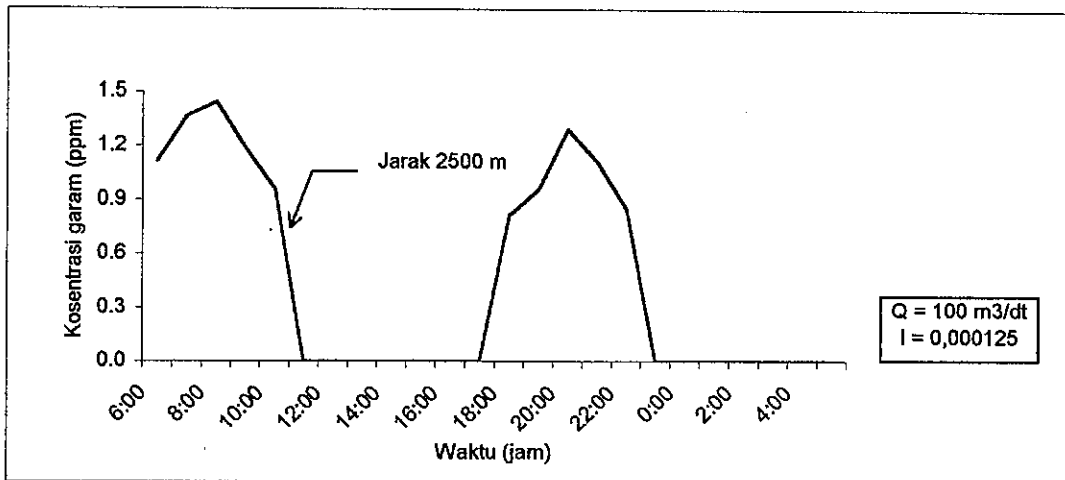
Gambar 5.9.b.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Maksimum



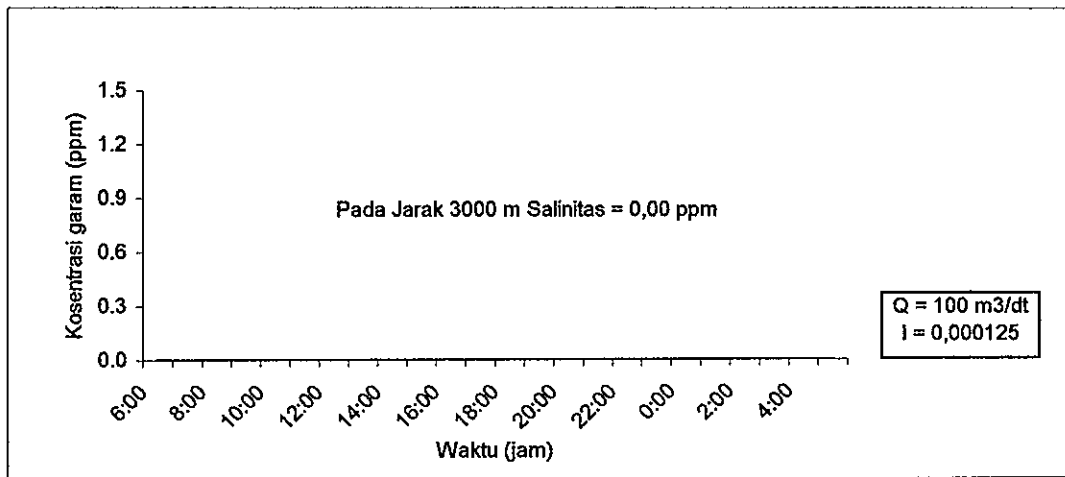
Gambar 5.9.c.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Maksimum



Gambar 5.9.d.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Maksimum



Gambar 5.9.e.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Maksimum

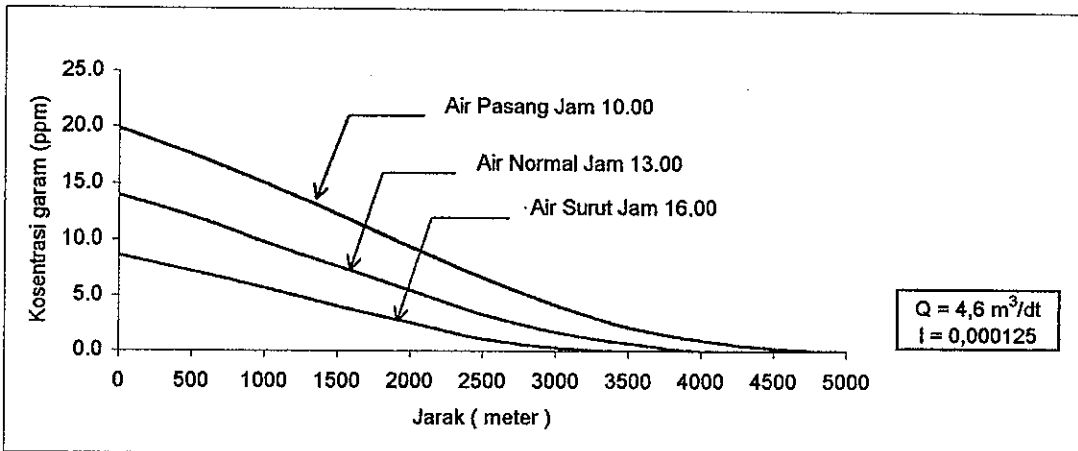


Gambar 5.9.f.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Purnama
Dengan Debit Maksimum

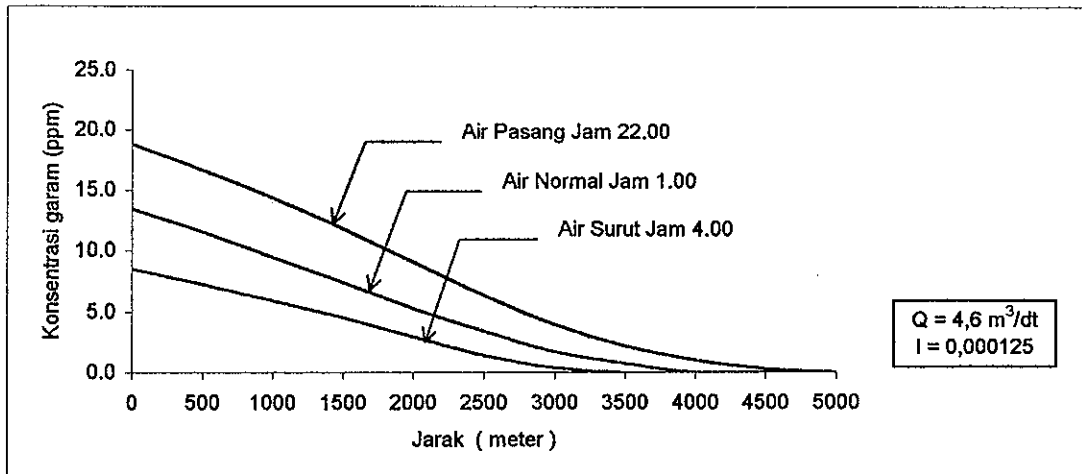
Hasil aplikasi model pada kondisi pasang rata-rata dengan debit air tawar minimum dari hulu sebesar $Q = 4,6 \text{ m}^3/\text{d}$, Lebar muka air = 45 meter, Panjang sungai = 5000 meter, Kemiringan dasar sungai = 0,000125, $\Delta t = 20$ detik, $\Delta x = 500$ meter, Tinggi air normal = 1,8 meter, hasil salinitas menunjukkan mengalami perubahan, dimana pada kondisi air pasang titik peralihan antara air asin dan air tawar berada antara Km 4,0 dan Km 4,5. Pada Km 4,0 nilai salinitas sebesar 1,221 ppm. Dan pada waktu air surut titik peralihan air asin dan air tawar berada antara Km 3,0 dan Km 3,5 pada Km 3,0 nilai salinitasnya sebesar 0,100 ppm. Sedangkan nilai salinitas pada titik pengambilan (*intake*) PDAM sebesar 2,221 ppm. Untuk lebih detail besarnya nilai salinitas untuk setiap titik peralihan dapat di lihat pada Gambar 5.10.a. dan 5.10.b. Sedangkan besarnya nilai salinitas untuk setiap jam pada masing – masing stasiun dapat di lihat pada Gambar sampai 5.10.c. sampai 5.10.h. Hasil perhitungan nilai salinitas untuk setiap titik peralihan dan untuk setiap jam pada masing – masing stasiun dapat di lihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10.
Hasil Test Model Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata
Dengan Debit Minimum (4,6 m³/dt)

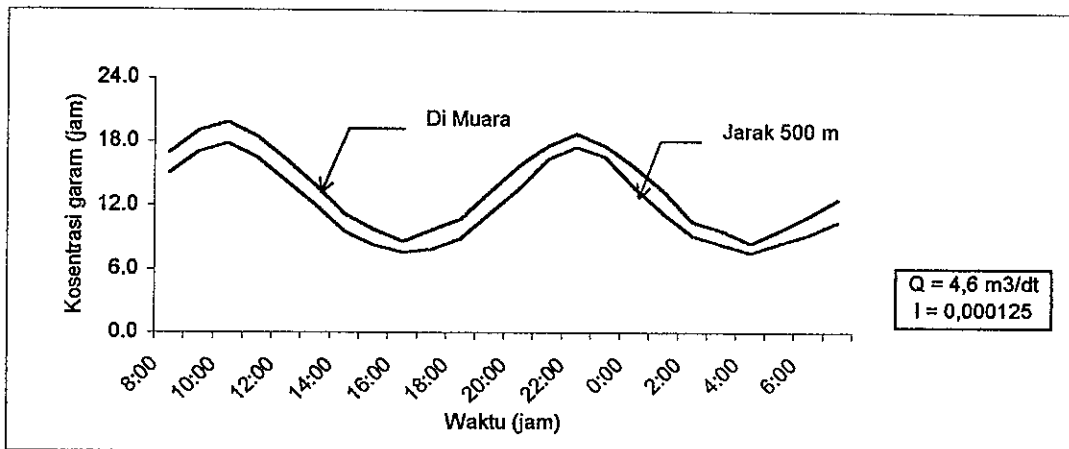
Waktu (Jam)	Stasiun (Jarak antara stasiun 500 meter)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8:00	16,969	15,038	12,281	9,904	7,537	5,081	2,914	1,492	0,937	0,000	0,000
9:00	19,047	17,043	14,189	11,420	8,859	6,183	3,723	1,981	1,127	0,187	0,000
10:00	19,886	17,881	15,017	12,066	9,414	6,652	4,092	2,221	1,221	0,215	0,000
11:00	18,517	16,481	13,572	10,988	8,500	5,847	3,451	1,803	1,060	0,107	0,000
12:00	16,324	14,279	11,358	9,193	6,772	4,303	2,281	1,030	0,098	0,000	0,000
13:00	13,926	12,082	9,449	7,663	5,523	3,375	1,692	0,715	0,000	0,000	0,000
14:00	11,199	9,555	7,207	5,820	3,977	2,130	0,768	0,000	0,000	0,000	0,000
15:00	9,774	8,278	6,140	5,031	3,395	1,774	0,651	0,000	0,000	0,000	0,000
16:00	8,640	7,578	5,189	4,056	2,214	0,986	0,100	0,000	0,000	0,000	0,000
17:00	9,687	7,917	5,631	4,769	2,790	1,168	0,190	0,000	0,000	0,000	0,000
18:00	10,693	8,882	6,295	5,203	3,296	1,414	0,246	0,000	0,000	0,000	0,000
19:00	13,261	11,281	8,452	6,897	4,709	2,546	0,998	0,100	0,000	0,000	0,000
20:00	15,742	13,575	10,479	8,503	6,026	3,555	1,665	0,585	0,000	0,000	0,000
21:00	17,678	16,393	13,129	10,820	8,153	5,450	3,271	1,947	1,125	0,182	0,000
22:00	18,812	17,580	14,391	11,818	9,125	6,348	3,973	2,210	1,195	0,203	0,000
23:00	17,670	16,596	13,634	10,989	8,393	5,721	3,352	1,721	1,009	0,189	0,000
0:00	15,683	13,726	11,503	9,281	7,326	5,210	3,177	1,500	0,600	0,197	0,000
1:00	13,456	11,337	9,012	7,310	5,575	3,458	1,712	0,755	0,000	0,000	0,000
2:00	10,540	9,209	7,308	5,940	4,375	2,790	1,509	0,435	0,000	0,000	0,000
3:00	9,724	8,417	6,549	5,346	3,856	2,341	1,176	0,202	0,000	0,000	0,000
4:00	8,502	7,612	5,900	4,562	2,948	1,432	0,413	0,000	0,000	0,000	0,000
5:00	9,729	8,478	6,406	5,000	3,400	1,700	0,700	0,000	0,000	0,000	0,000
6:00	11,050	9,318	7,200	5,599	3,800	2,100	0,987	0,100	0,000	0,000	0,000
7:00	12,608	10,500	8,200	6,300	4,400	2,700	1,500	0,581	0,000	0,000	0,000



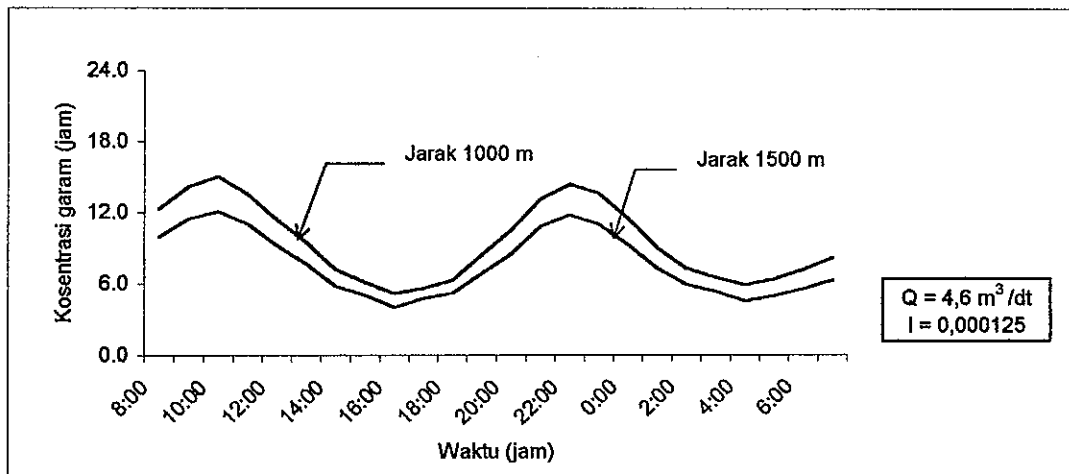
Gambar 5.10.a.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata
Dengan Debit Minimum



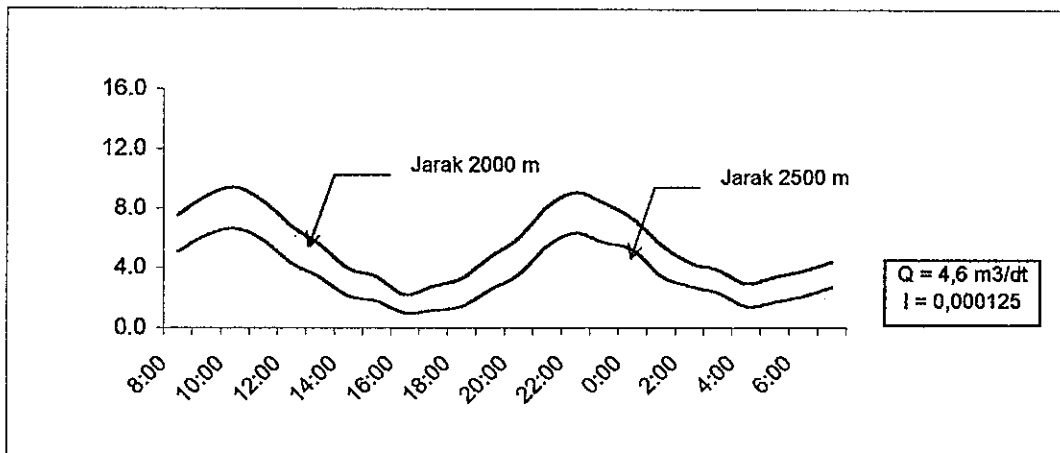
Gambar 5.10.b.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata
Dengan Debit Minimum



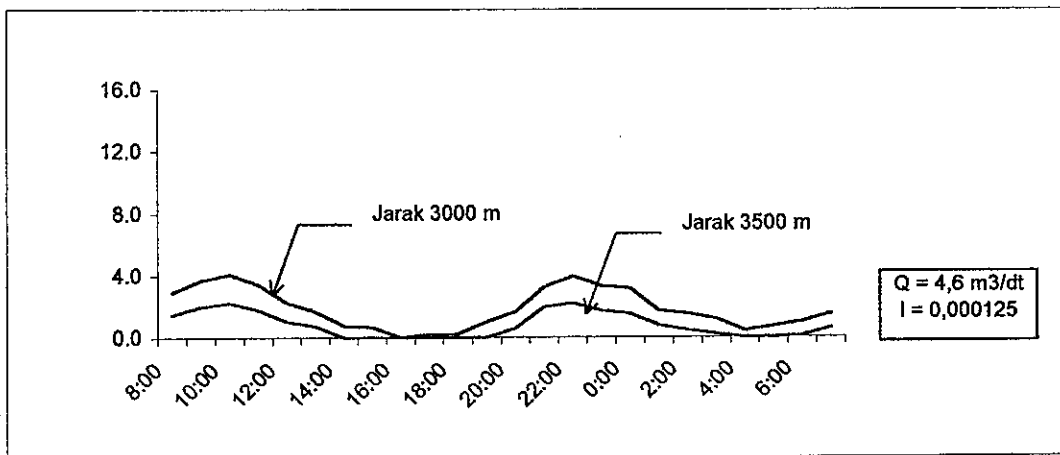
Gambar 5.10.c.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata
Dengan Debit Minimum



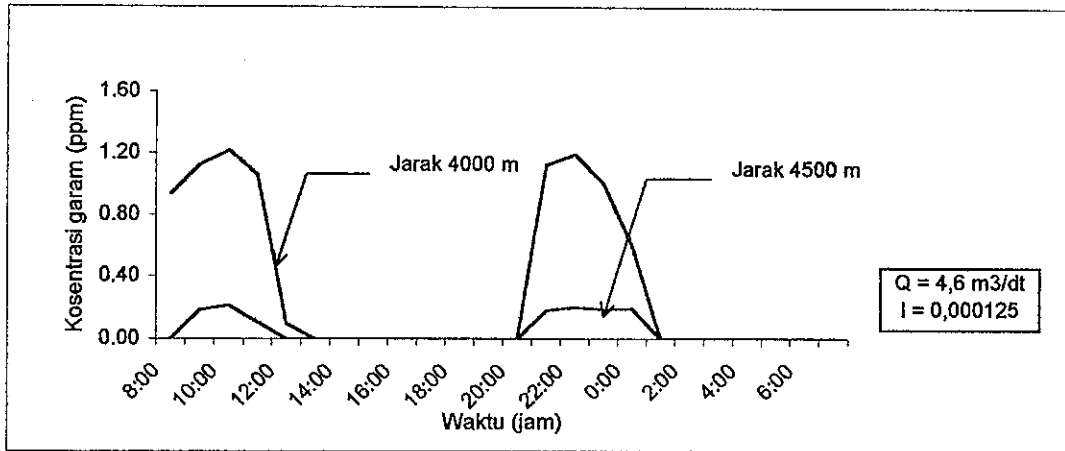
Gambar 5.10.d.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata Rata
Dengan Debit Minimum



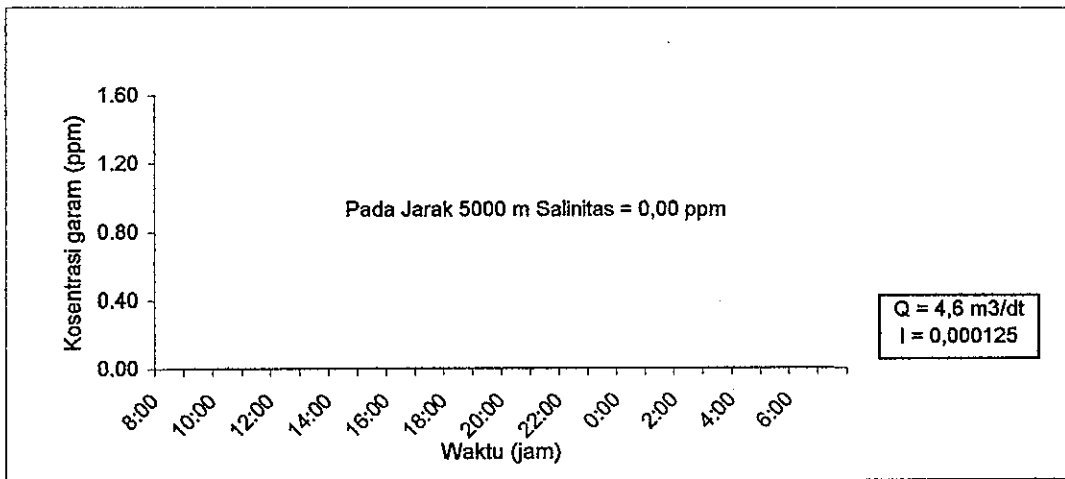
Gambar 5.10.e.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata Rata
Dengan Debit Minimum



Gambar 5.10.f.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata
Dengan Debit Minimum



Gambar 5.10.g.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata Rata
Dengan Debit Minimum

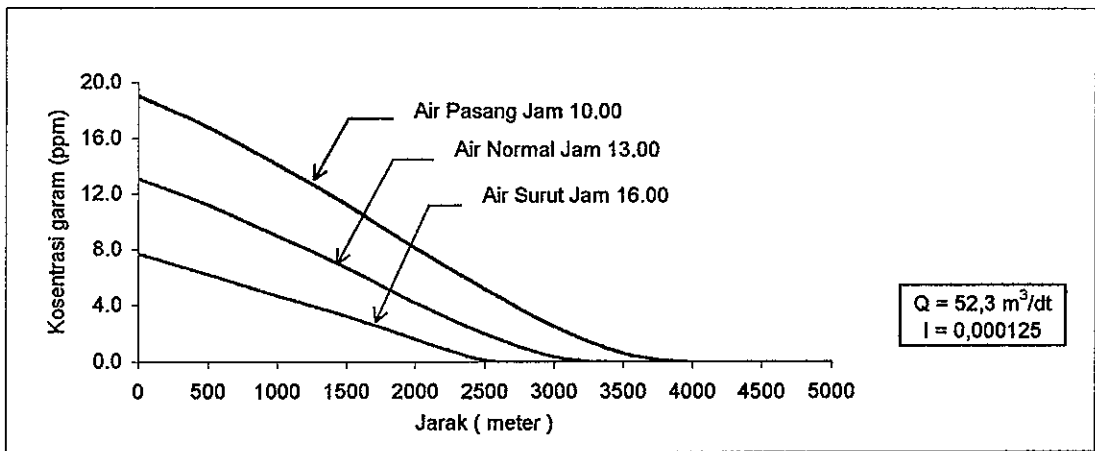


Gambar 5.10.h.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata Rata
Dengan Debit Minimum

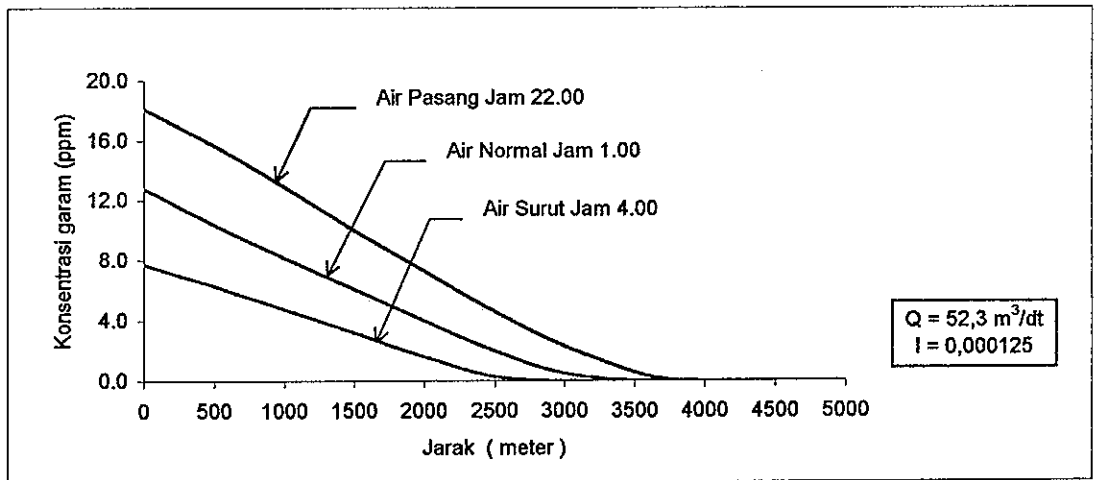
Hasil aplikasi model pada kondisi pasang rata-rata dengan debit air tawar rata-rata dari hulu sebesar $Q = 52,3 \text{ m}^3/\text{d}$, Lebar muka air = 45 meter, Panjang sungai = 5000 meter, Kemiringan dasar sungai = 0,000125, $\Delta t = 20$ detik, $\Delta x = 500$ meter, Tinggi air normal = 1,8 meter, hasil salinitas menunjukkan mengalami perubahan, dimana pada kondisi air pasang titik peralihan antara air asin dan air tawar berada antara Km 3,0 dan Km 3,5. Pada Km 3,0 nilai salinitas sebesar 3,296 ppm. Dan pada waktu air surut titik peralihan air asin dan air tawar berada antara Km 2,5 dan Km 3,0 pada Km 2,5 nilai salinitasnya sebesar 0,164 ppm. Sedangkan nilai salinitas pada titik pengambilan (*intake*) PDAM sebesar 1,274 ppm. Untuk lebih detail besarnya nilai salinitas untuk setiap titik peralihan dapat di lihat pada Gambar 5.11.a. dan 5.11.b. Sedangkan besarnya nilai salinitas untuk setiap jam pada masing – masing stasiun dapat di lihat pada Gambar sampai 5.11.c. sampai 5.11.g. Hasil perhitungan nilai salinitas untuk setiap titik peralihan dan untuk setiap jam pada masing – masing stasiun dapat di lihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11.
Hasil Test Model Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata
Dengan Debit Rata-Rata ($Q = 52,3 \text{ m}^3/\text{dt}$)

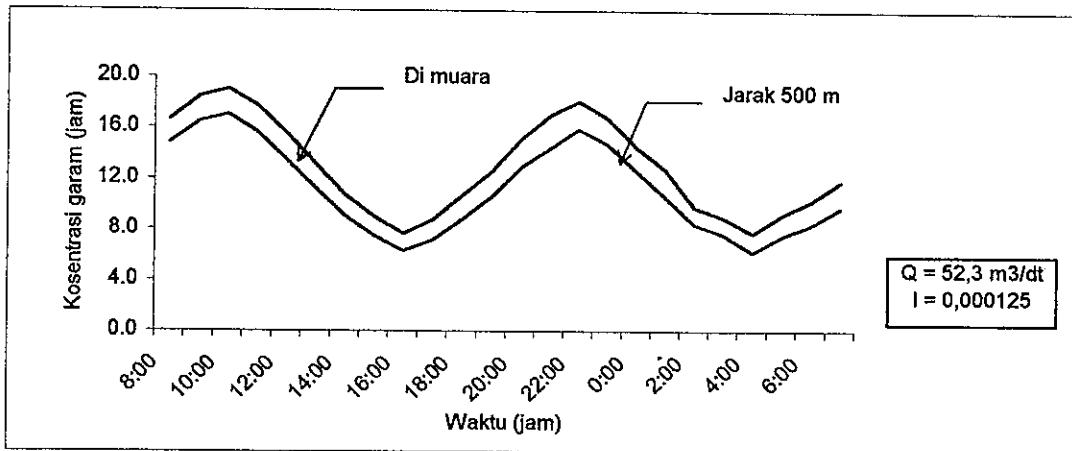
Waktu (Jam)	Stasiun (Jarak antara stasiun 500 meter)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8:00	16,636	14,799	12,175	9,670	7,337	4,895	2,657	0,923	0,000	0,000	0,000
9:00	18,440	16,465	13,645	10,843	8,297	5,625	3,143	1,187	0,000	0,000	0,000
10:00	19,046	17,027	14,144	11,237	8,592	5,834	3,296	1,274	0,000	0,000	0,000
11:00	17,729	15,660	12,707	10,149	7,637	4,968	2,593	0,802	0,000	0,000	0,000
12:00	15,503	13,436	10,483	8,354	5,924	3,451	1,633	0,253	0,000	0,000	0,000
13:00	13,116	11,248	8,581	6,830	4,679	2,526	0,864	0,000	0,000	0,000	0,000
14:00	10,734	9,077	7,060	5,344	3,495	1,644	0,296	0,000	0,000	0,000	0,000
15:00	8,998	7,487	5,600	4,241	2,599	0,975	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16:00	7,679	6,305	4,550	3,229	1,287	0,164	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17:00	8,773	7,162	5,300	3,910	2,226	0,601	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18:00	10,689	8,795	6,619	5,220	3,321	1,476	0,213	0,000	0,000	0,000	0,000
19:00	12,573	10,595	8,000	6,205	4,016	1,850	0,298	0,000	0,000	0,000	0,000
20:00	15,040	12,874	9,779	7,799	5,322	2,851	0,960	0,000	0,000	0,000	0,000
21:00	16,991	14,400	11,453	9,136	6,800	4,500	2,583	0,997	0,000	0,000	0,000
22:00	18,112	15,880	13,200	10,800	8,400	5,645	3,268	1,243	0,000	0,000	0,000
23:00	16,770	14,700	12,371	9,824	7,491	5,000	2,900	1,023	0,000	0,000	0,000
0:00	14,476	12,600	10,500	8,400	6,100	3,900	2,000	0,500	0,000	0,000	0,000
1:00	12,767	10,600	8,500	6,493	4,500	2,700	1,156	0,000	0,000	0,000	0,000
2:00	9,780	8,437	6,519	5,168	3,597	1,701	0,740	0,000	0,000	0,000	0,000
3:00	8,964	7,646	5,764	4,577	3,081	1,565	0,410	0,000	0,000	0,000	0,000
4:00	7,732	6,200	4,700	3,200	1,211	0,161	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5:00	9,164	7,500	5,600	3,800	2,300	0,700	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6:00	10,289	8,400	6,300	4,600	2,942	1,100	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7:00	11,833	9,710	7,300	5,359	3,400	1,6100	0,220	0,000	0,000	0,000	0,000



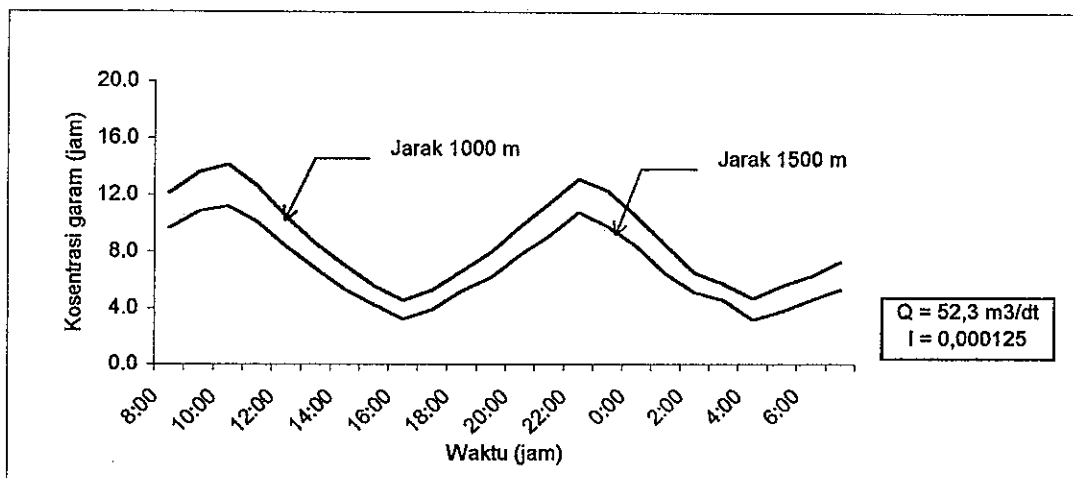
Gambar 5.11.a.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata
Dengan Debit Rata-Rata



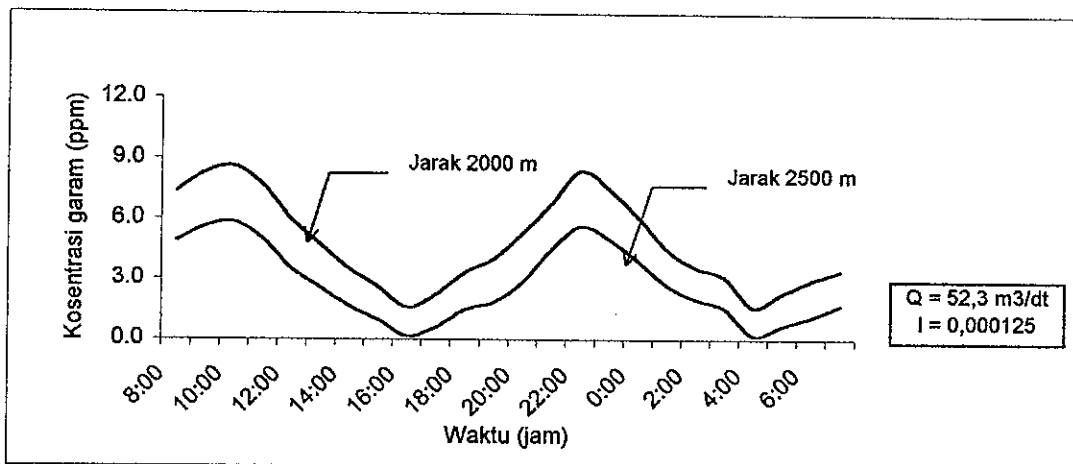
Gambar 5.11.b.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata
Dengan Debit Rata-Rata



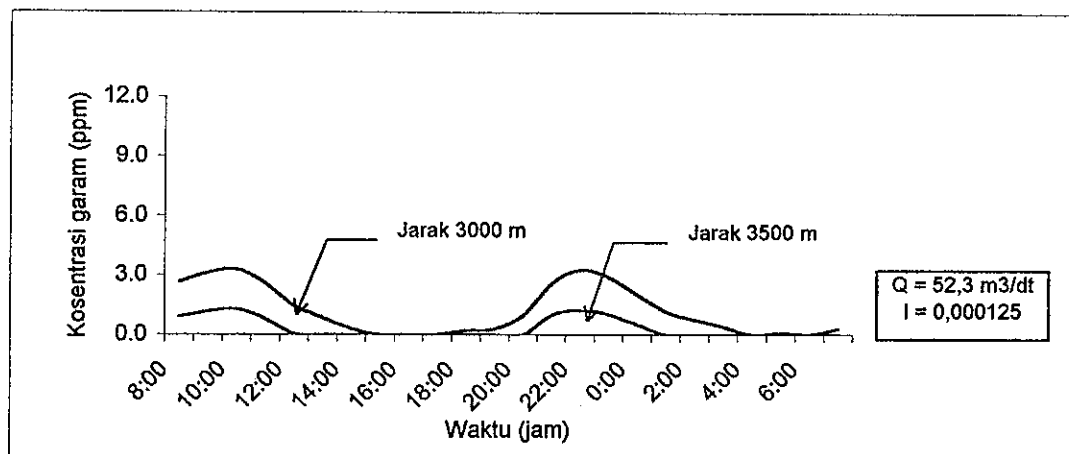
Gambar 5.11.c.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata Rata
Dengan Debit Rata-Rata



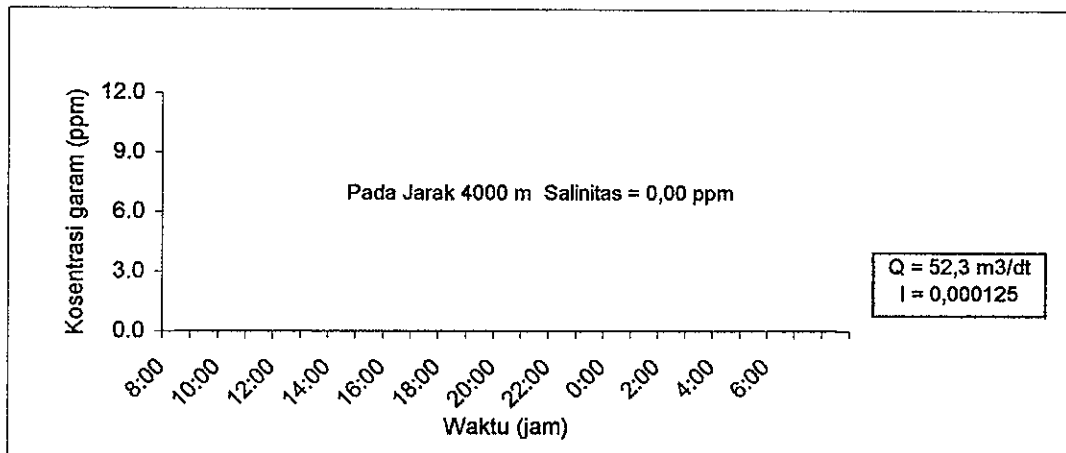
Gambar 5.11.d.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata Rata
Dengan Debit Rata-Rata



Gambar 5.11.e.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata Rata
Dengan Debit Rata-Rata



Gambar 5.11.f.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata Rata
Dengan Debit Rata-Rata

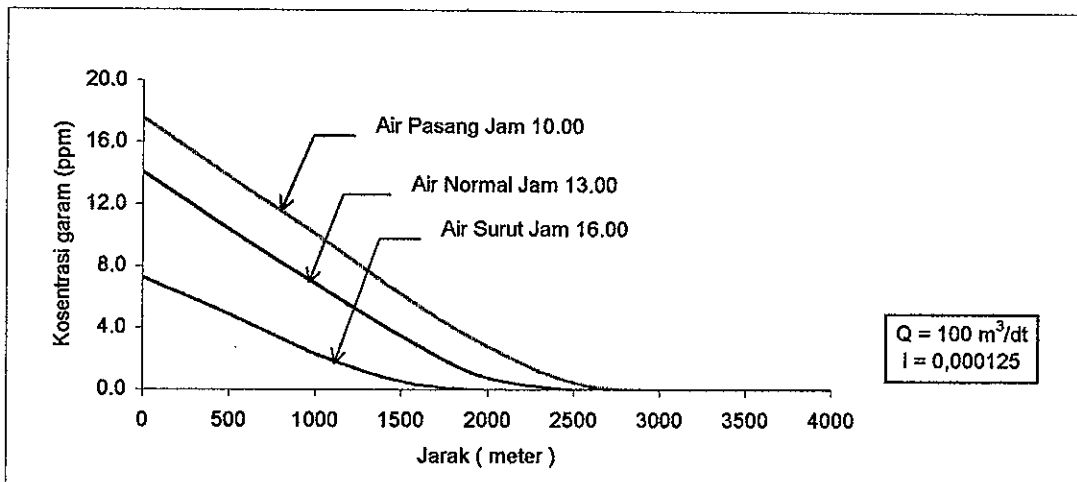


Gambar 5.11.g.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata Rata
Dengan Debit Rata-Rata

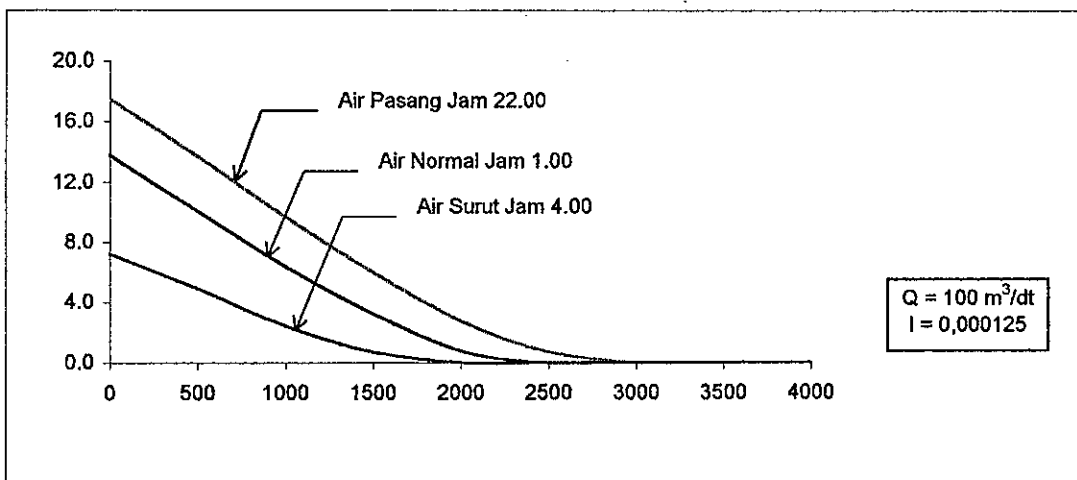
Hasil aplikasi model pada kondisi pasang rata-rata dengan debit air tawar maksimum dari hulu sebesar $Q = 100 \text{ m}^3/\text{d}$, Lebar muka air = 45 meter, Panjang sungai = 5000 meter, Kemiringan dasar sungai = 0,000125, $\Delta t = 20$ detik, $\Delta x = 500$ meter, Tinggi air normal = 1,8 meter, hasil salinitas menunjukkan mengalami perubahan, dimana pada kondisi air pasang titik peralihan antara air asin dan air tawar berada antara Km 2,0 dan Km 2,5. Pada Km 2,0 nilai salinitas sebesar 3,219 ppm. Dan pada waktu air surut titik peralihan air asin dan air tawar berada antara Km 1,5 dan Km 2,0 pada Km 1,5 nilai salinitasnya sebesar 0,635 ppm. Sedangkan nilai salinitas pada titik pengambilan (*intake*) PDAM sebesar 0,00 ppm. Untuk lebih detail besarnya nilai salinitas untuk setiap titik peralihan dapat di lihat pada Gambar 5.12.a. dan 5.12.b. Sedangkan besarnya nilai salinitas untuk setiap jam pada masing – masing stasiun dapat di lihat pada Gambar sampai 5.12.c. sampai 5.15.f. Hasil perhitungan nilai salinitas untuk setiap titik peralihan dan untuk setiap jam pada masing – masing stasiun dapat di lihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12.
Hasil Test Model Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata Rata
Dengan Debit Maksimum (Q = 100 m³/dt)

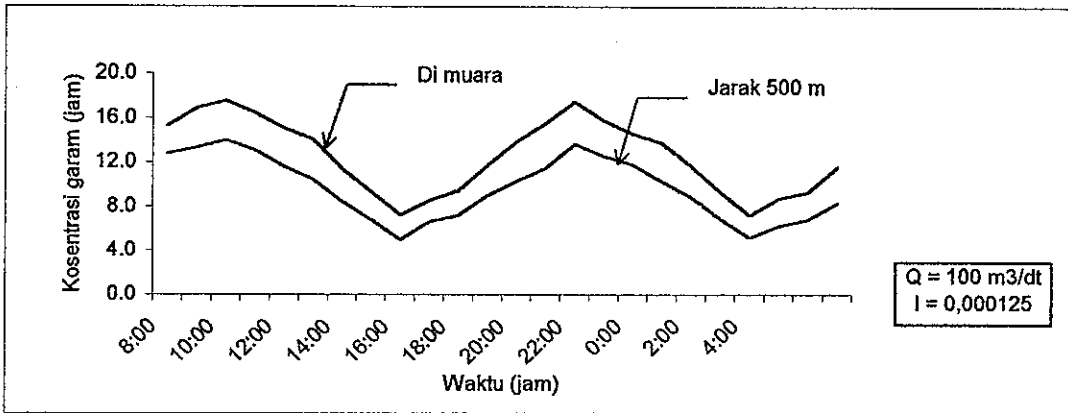
Waktu (Jam)	Stasiun (Jarak antara stasiun 500 meter)								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
8:00	15,354	12,786	8,545	5,267	2,233	0,669	0,000	0,000	0,000
9:00	16,916	13,345	9,718	6,221	2,971	0,891	0,000	0,000	0,000
10:00	17,598	14,027	10,324	6,817	3,219	0,969	0,000	0,000	0,000
11:00	16,480	13,146	9,416	5,815	2,783	0,834	0,000	0,000	0,000
12:00	15,075	11,621	7,918	4,822	1,446	0,432	0,000	0,000	0,000
13:00	14,101	10,500	6,820	3,227	0,969	0,000	0,000	0,000	0,000
14:00	11,440	8,451	5,179	2,121	0,630	0,000	0,000	0,000	0,000
15:00	9,352	6,826	3,221	0,969	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16:00	7,261	5,115	2,117	0,635	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17:00	8,576	6,621	3,126	0,977	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18:00	9,450	7,231	4,885	1,467	0,441	0,000	0,000	0,000	0,000
19:00	11,770	9,019	5,814	2,767	0,812	0,000	0,000	0,000	0,000
20:00	13,879	10,350	6,923	3,427	1,022	0,000	0,000	0,000	0,000
21:00	15,597	11,518	8,124	4,725	1,415	0,420	0,000	0,000	0,000
22:00	17,499	13,720	10,019	6,217	2,956	0,886	0,000	0,000	0,000
23:00	15,821	12,617	9,021	5,507	2,633	0,780	0,000	0,000	0,000
0:00	14,096	11,822	7,926	4,734	1,418	0,424	0,000	0,000	0,000
1:00	13,783	10,322	7,317	3,738	1,103	0,000	0,000	0,000	0,000
2:00	11,653	8,890	5,679	2,672	0,801	0,000	0,000	0,000	0,000
3:00	9,357	6,925	3,439	1,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4:00	7,221	5,215	2,224	0,660	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5:00	8,748	6,227	2,984	0,895	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6:00	9,346	6,829	3,227	0,968	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7:00	11,621	8,333	5,315	2,521	0,756	0,000	0,000	0,000	0,000



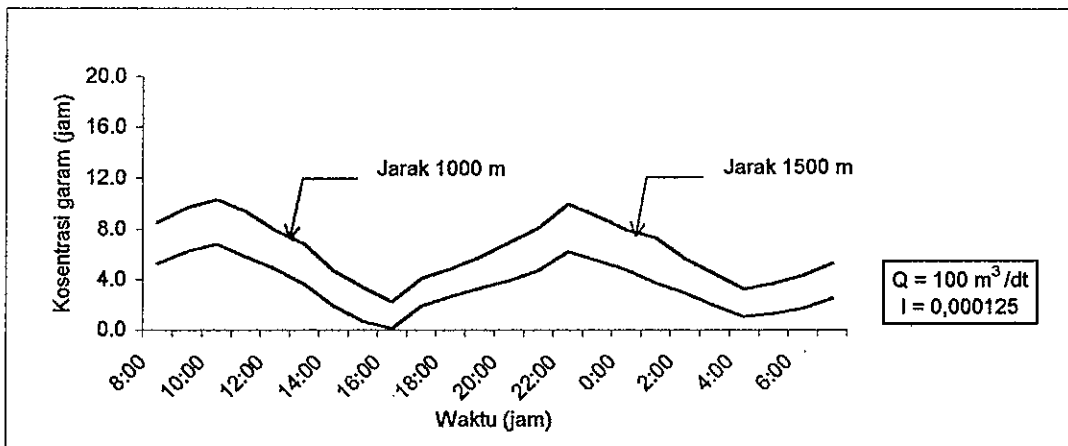
Gambar 5.12.a.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata
Dengan Debit Maksimum



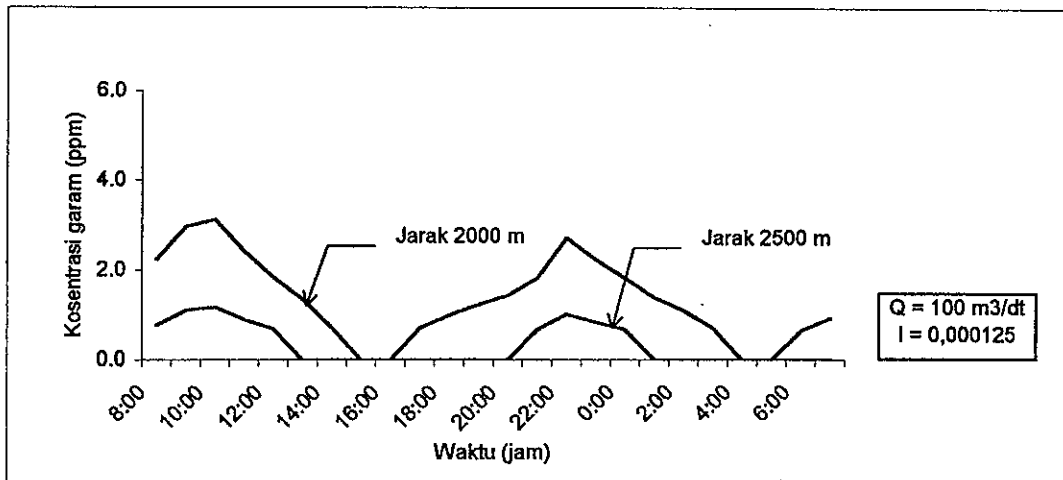
Gambar 5.12.b.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata
Dengan Debit Maksimum



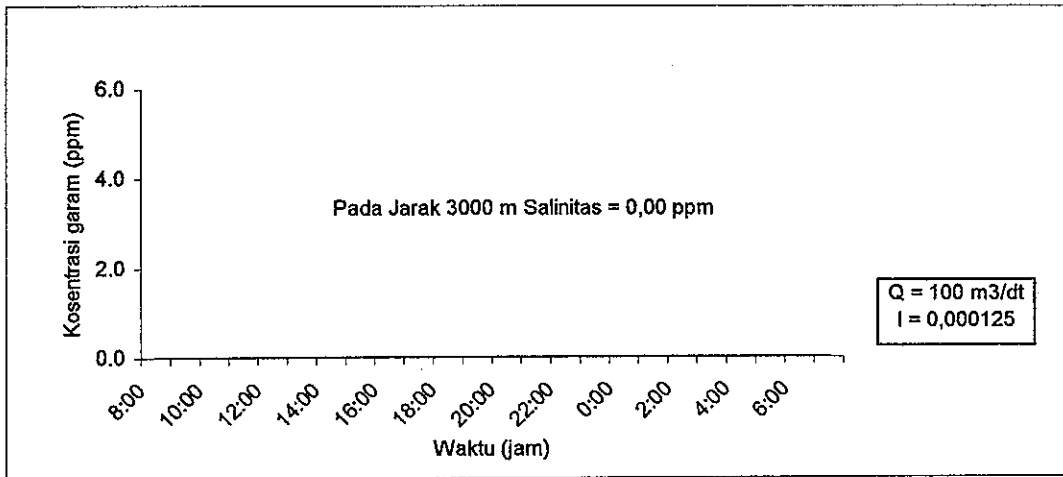
Gambar 5.12.c.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata
Dengan Debit Maksimum



Gambar 5.12.d.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata
Dengan Debit Maksimum



Gambar 5.12.e.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata
Dengan Debit Maksimum

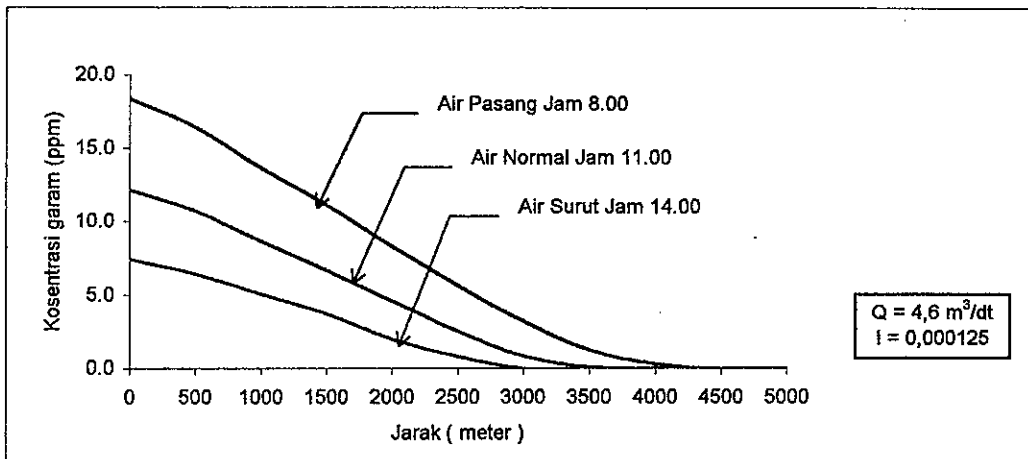


Gambar 5.12.f.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Rata-Rata
Dengan Debit Maksimum

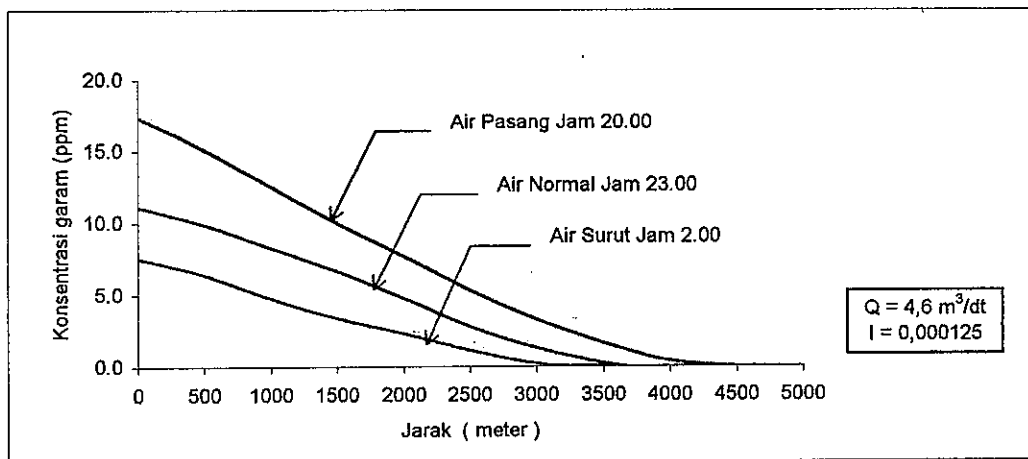
Hasil aplikasi model pada kondisi pasang minimum (perbani) dengan debit air tawar minimum dari hulu sebesar $Q = 4,6 \text{ m}^3/\text{d}$, Lebar muka air = 45 meter, Panjang sungai = 5000 meter, Kemiringan dasar sungai = 0,000125, $\Delta t = 20$ detik, $\Delta x = 500$ meter, Tinggi air normal = 1,8 meter, hasil salinitas menunjukkan mengalami perubahan, dimana pada kondisi air pasang titik peralihan antara air asin dan air tawar berada antara Km 4,0 dan Km 4,5. Pada Km 4,0 nilai salinitas sebesar 1,067 ppm. Dan pada waktu air surut titik peralihan air asin dan air tawar berada antara Km 3,0 dan Km 3,5 pada Km 3,0 nilai salinitasnya sebesar 0,512 ppm. Sedangkan nilai salinitas pada titik pengambilan (*intake*) PDAM sebesar 2,031 ppm. Untuk lebih detail besarnya nilai salinitas untuk setiap titik peralihan dapat di lihat pada Gambar 5.13.a. dan 5.13.b. Sedangkan besarnya nilai salinitas untuk setiap jam pada masing – masing stasiun dapat di lihat pada Gambar sampai 5.13.c. sampai 5.13.h. Hasil perhitungan nilai salinitas untuk setiap titik peralihan dan untuk setiap jam pada masing – masing stasiun dapat di lihat pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13.
Hasil Test Model Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Minimum (Q = 4,6 m³/dt)

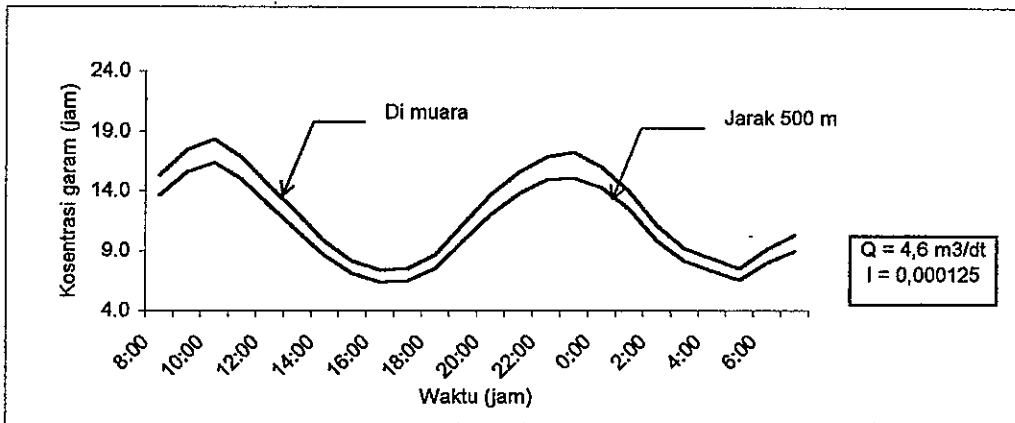
Waktu (Jam)	Stasiun (Jarak antara stasiun 500 meter)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8:00	16,127	14,412	11,964	9,911	7,337	5,031	2,835	1,480	0,878	0,000	0,000
9:00	18,269	16,377	13,674	11,306	8,684	6,008	3,623	1,849	0,976	0,078	0,000
10:00	19,158	17,203	14,410	11,897	9,258	6,423	3,987	2,031	1,067	0,098	0,000
11:00	17,577	15,756	13,155	10,929	8,274	5,711	3,336	1,713	0,960	0,075	0,000
12:00	15,249	13,577	11,189	9,292	6,462	4,344	2,165	1,124	0,681	0,000	0,000
13:00	12,934	11,495	9,438	7,858	5,256	3,519	1,634	0,891	0,000	0,000	0,000
14:00	10,598	9,392	7,668	6,422	4,065	2,688	1,078	0,098	0,000	0,000	0,000
15:00	8,931	7,890	6,404	5,390	3,209	2,096	0,945	0,052	0,000	0,000	0,000
16:00	8,186	7,211	5,217	4,303	2,148	1,056	0,512	0,000	0,000	0,000	0,000
17:00	8,630	7,547	5,808	4,900	2,517	1,560	0,780	0,000	0,000	0,000	0,000
18:00	10,243	8,312	6,640	5,612	2,936	1,781	0,854	0,000	0,000	0,000	0,000
19:00	12,033	10,619	8,599	7,189	4,328	2,786	1,105	0,082	0,000	0,000	0,000
20:00	14,453	12,805	10,450	8,689	5,610	3,683	1,517	0,612	0,000	0,000	0,000
21:00	16,391	15,200	12,253	10,536	7,736	5,476	3,198	1,525	0,780	0,000	0,000
22:00	18,200	16,315	14,044	11,500	8,900	6,271	3,806	2,021	1,034	0,092	0,000
23:00	17,300	14,532	12,641	10,464	8,097	5,380	3,230	1,650	0,926	0,071	0,000
0:00	14,798	13,000	11,164	9,015	6,315	4,141	2,600	1,523	0,600	0,000	0,000
1:00	12,906	10,679	8,925	7,450	5,537	3,874	2,230	1,070	0,529	0,000	0,000
2:00	10,185	8,914	7,385	6,183	4,328	2,994	1,650	0,500	0,000	0,000	0,000
3:00	8,956	7,725	6,434	5,200	3,264	2,105	0,955	0,000	0,000	0,000	0,000
4:00	8,213	7,224	5,321	4,000	2,156	1,025	0,200	0,000	0,000	0,000	0,000
5:00	9,220	7,956	6,532	5,412	3,352	2,120	0,975	0,000	0,000	0,000	0,000
6:00	10,179	8,794	7,101	5,957	3,980	2,382	1,300	0,543	0,000	0,000	0,000
7:00	11,140	9,760	7,789	6,536	4,260	2,969	1,588	0,958	0,000	0,000	0,000



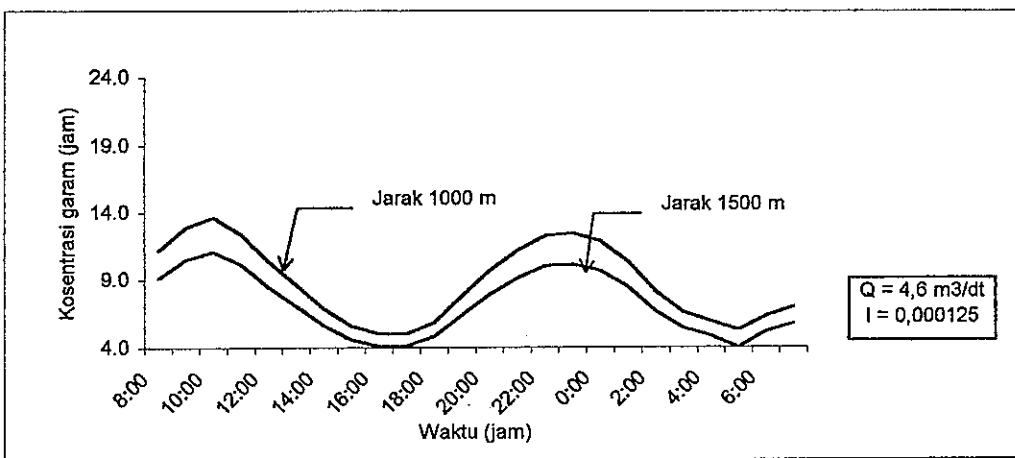
Gambar 5.13.a.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Minimum



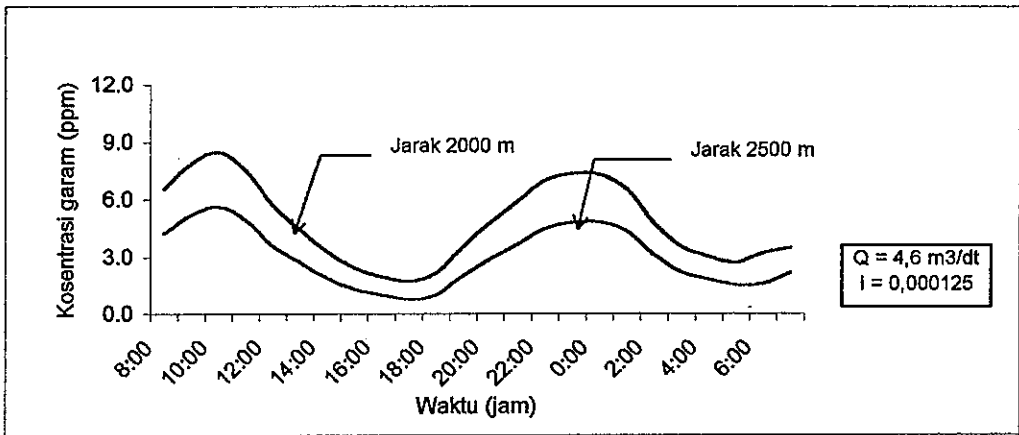
Gambar 5.13.b.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Minimum



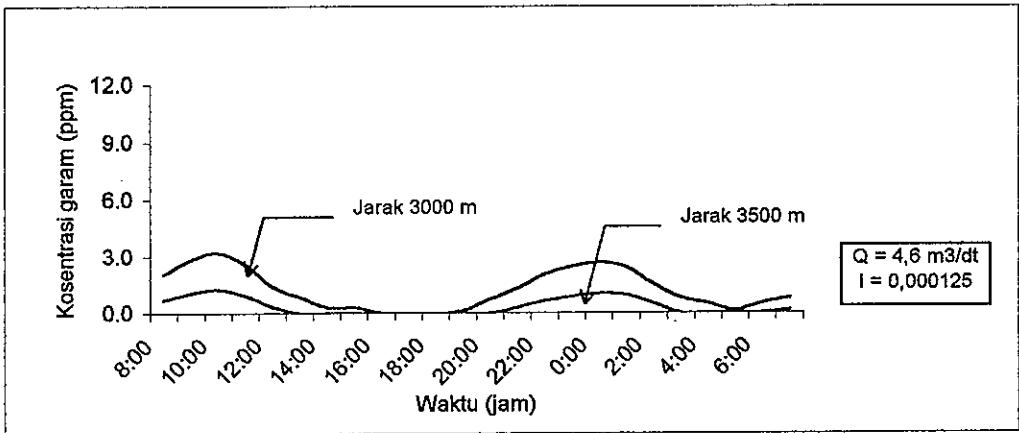
Gambar 5.13.c.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Minimum



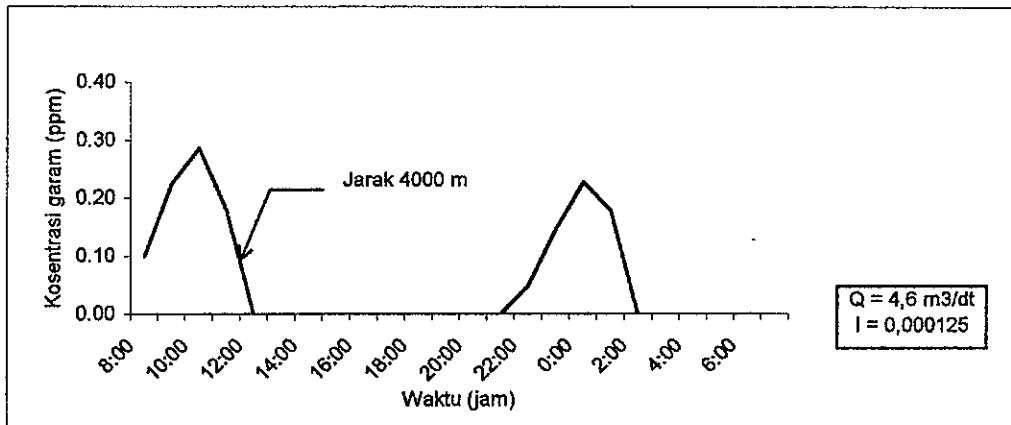
Gambar 5.13.d.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Minimum



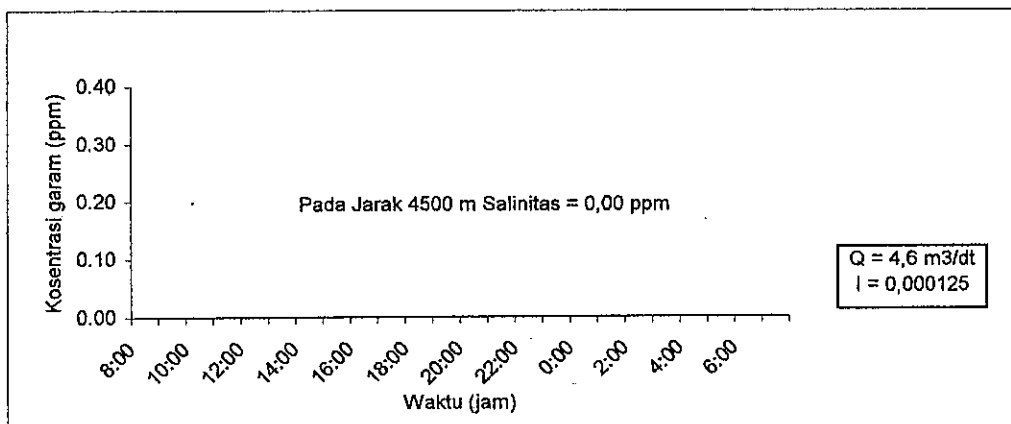
Gambar 5.13.e.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Minimum



Gambar 5.13.f.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Minimum



Gambar 5.13.g.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Minimum

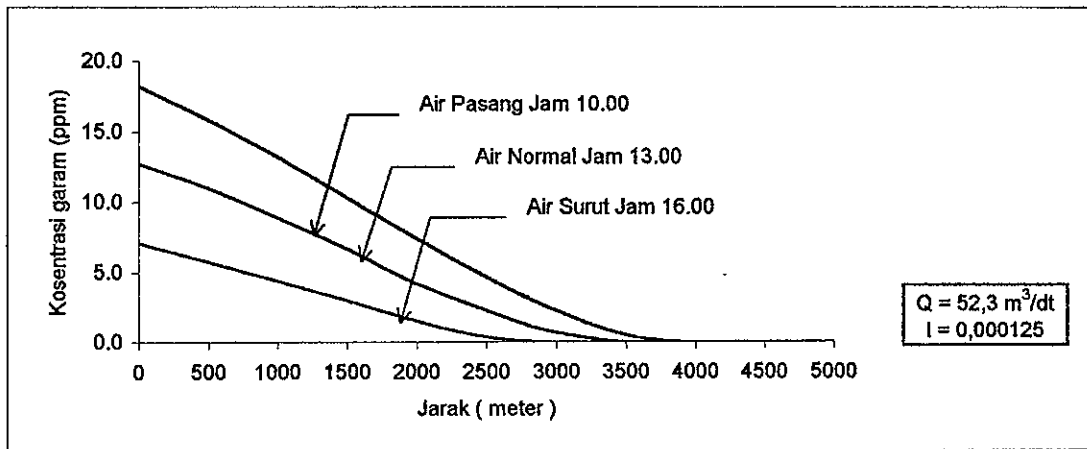


Gambar 5.13.h.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Minimum

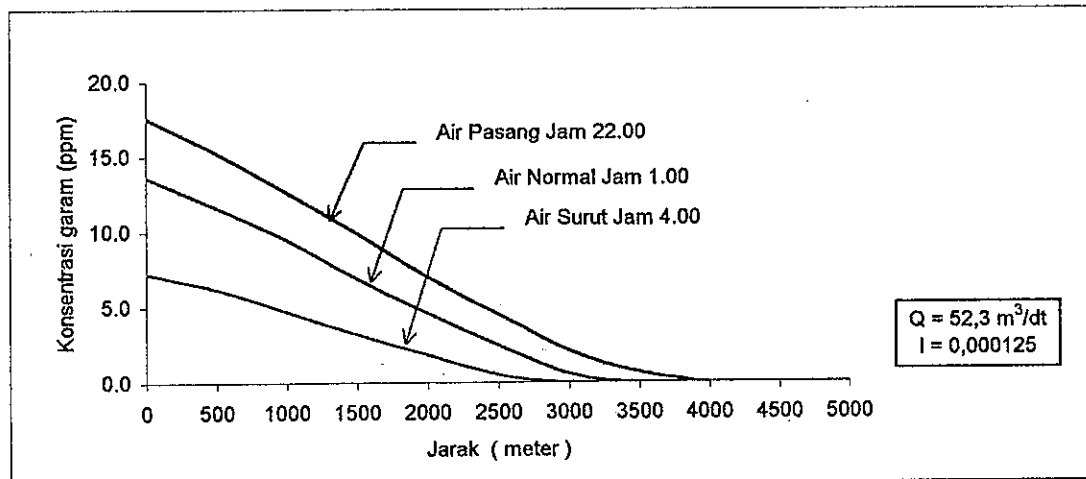
Hasil aplikasi model pada kondisi pasang minimum (perbani) dengan debit air tawar rata-rata dari hulu sebesar $Q = 52,3 \text{ m}^3/\text{d}$, Lebar muka air = 45 meter, Panjang sungai = 5000 meter, Kemiringan dasar sungai = 0,000125, $\Delta t = 20$ detik, $\Delta x = 500$ meter, Tinggi air normal = 1,8 meter, hasil salinitas menunjukkan mengalami perubahan, dimana pada kondisi air pasang titik peralihan antara air asin dan air tawar berada antara Km 3,0 dan Km 3,5. Pada Km 3,0 nilai salinitas sebesar 2,844 ppm. Dan pada waktu air surut titik peralihan air asin dan air tawar berada antara Km 2,5 dan Km 3,0 pada Km 2,5 nilai salinitasnya sebesar 0,458 ppm. Sedangkan nilai salinitas pada titik pengambilan (*intake*) PDAM sebesar 0,986 ppm. Untuk lebih detail besarnya nilai salinitas untuk setiap titik peralihan dapat di lihat pada Gambar 5.14.a. dan 5.14.b. Sedangkan besarnya nilai salinitas untuk setiap jam pada masing – masing stasiun dapat di lihat pada Gambar sampai 5.14.c. sampai 5.14.g. Hasil perhitungan nilai salinitas untuk setiap titik peralihan dan untuk setiap jam pada masing – masing stasiun dapat di lihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14.
Hasil Test Model Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Rata-Rata ($Q = 52,3 \text{ m}^3/\text{dt}$)

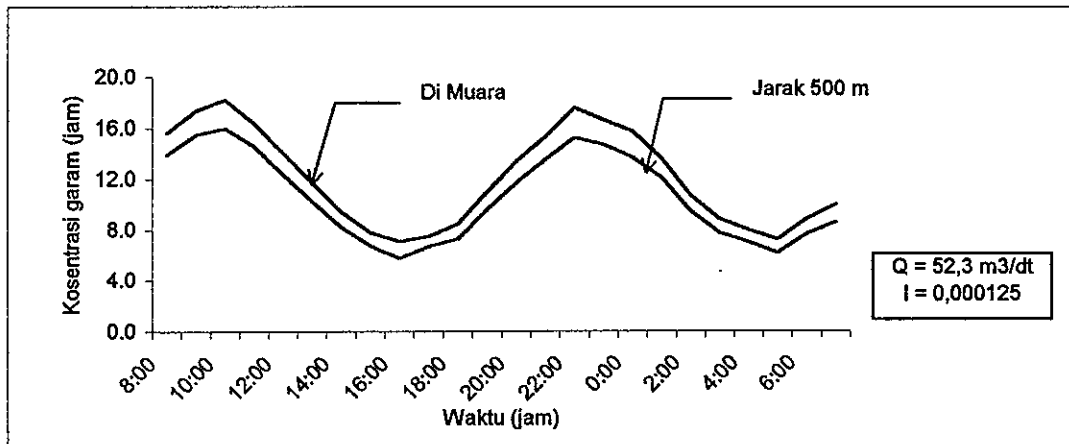
Waktu (Jam)	Stasiun (Jarak antara stasiun 500 meter)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8:00	15,599	13,878	11,420	9,275	6,866	4,422	2,261	0,675	0,000	0,000	0,000
9:00	17,357	15,465	12,762	10,370	7,800	5,091	2,707	0,871	0,000	0,000	0,000
10:00	18,212	15,994	13,220	10,741	8,078	5,276	2,844	0,986	0,000	0,000	0,000
11:00	16,408	14,582	11,973	9,765	7,047	4,510	2,127	0,575	0,000	0,000	0,000
12:00	14,045	12,379	9,999	8,127	5,253	3,166	0,989	0,006	0,000	0,000	0,000
13:00	11,743	10,306	8,254	6,699	4,051	2,344	0,458	0,000	0,000	0,000	0,000
14:00	9,458	8,254	6,534	5,303	2,920	1,560	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15:00	8,188	6,750	5,266	4,268	2,058	0,965	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16:00	7,064	5,756	3,650	2,795	1,412	0,458	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17:00	7,902	6,674	4,706	3,805	1,612	0,672	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18:00	9,154	8,286	6,617	5,284	2,912	1,466	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19:00	11,009	9,592	7,569	6,153	3,295	1,747	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
20:00	13,412	11,762	9,406	7,643	4,566	2,636	0,470	0,000	0,000	0,000	0,000
21:00	15,370	13,537	10,920	8,820	5,717	3,448	1,362	0,014	0,000	0,000	0,000
22:00	17,600	15,260	12,630	10,230	7,328	4,558	2,189	0,603	0,000	0,000	0,000
23:00	16,645	14,733	12,001	9,763	6,741	4,224	1,759	0,366	0,000	0,000	0,000
0:00	15,776	13,728	11,528	9,128	6,528	4,084	1,529	0,265	0,000	0,000	0,000
1:00	13,619	12,135	10,015	8,143	5,728	3,428	1,328	0,012	0,000	0,000	0,000
2:00	10,745	9,517	7,762	6,305	4,349	2,710	1,122	0,000	0,000	0,000	0,000
3:00	9,162	7,794	6,267	5,077	3,199	1,880	0,484	0,000	0,000	0,000	0,000
4:00	8,012	7,016	5,592	4,534	2,670	1,486	0,164	0,000	0,000	0,000	0,000
5:00	7,229	6,185	4,831	3,328	1,863	0,698	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6:00	8,857	7,673	5,982	4,278	2,438	1,082	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7:00	9,997	8,620	6,928	5,248	3,208	1,468	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000



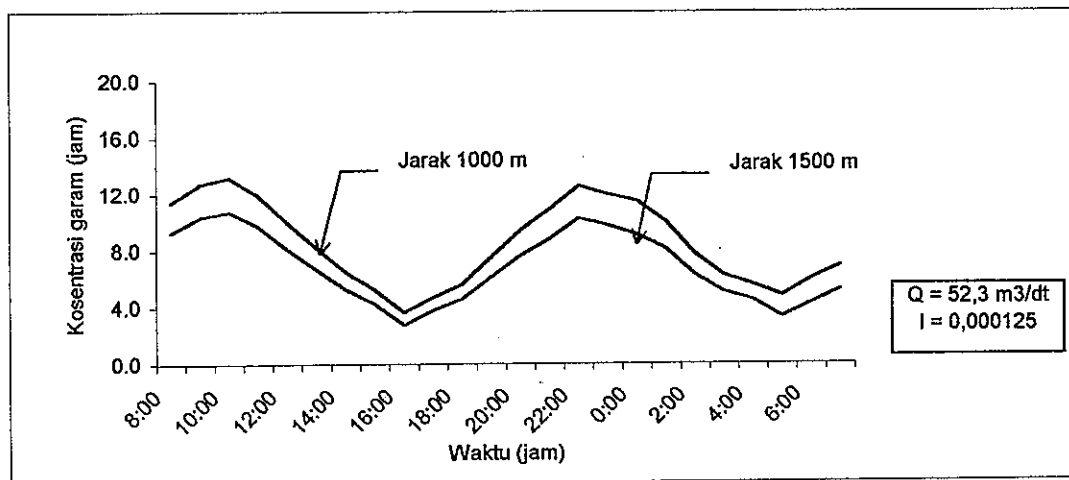
Gambar 5.14.a.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Rata-Rata



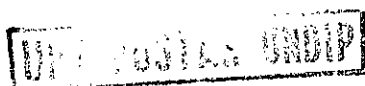
Gambar 5.14.b.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Rata-Rata

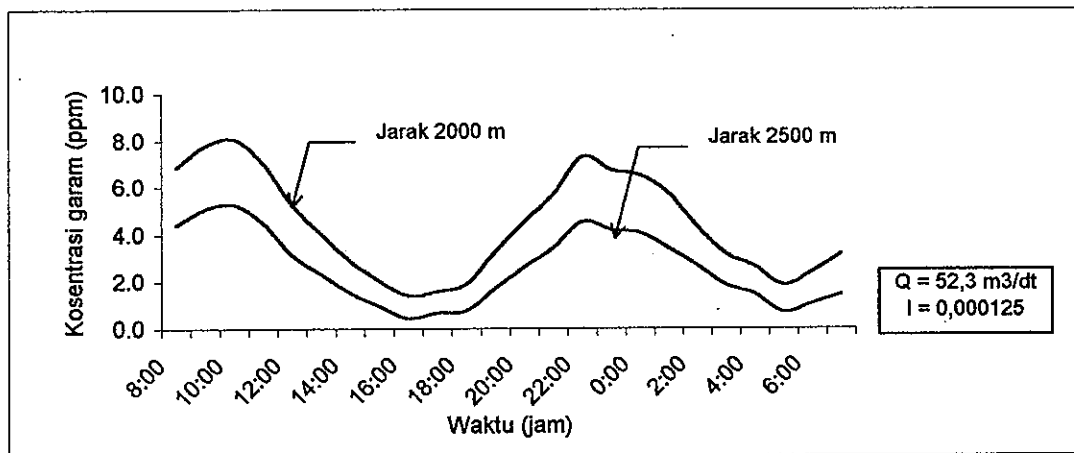


Gambar 5.14.c.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Rata-Rata

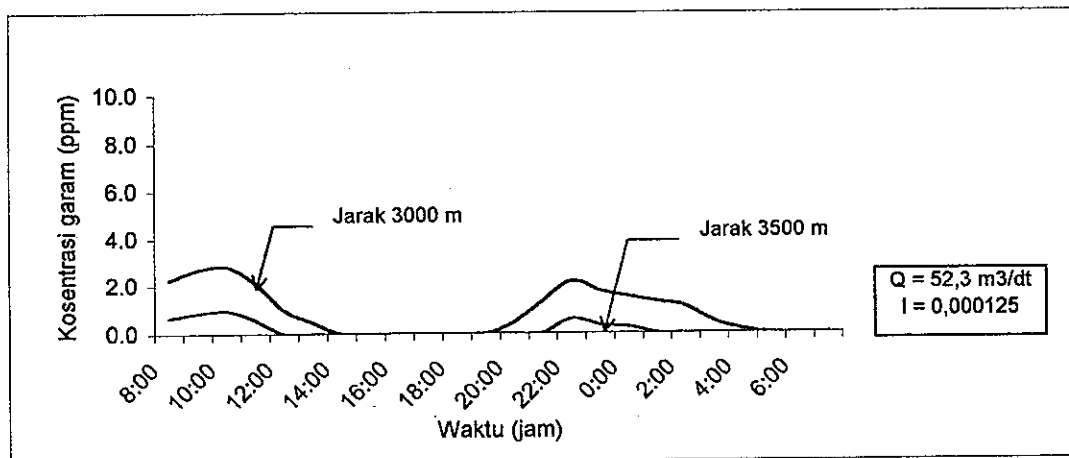


Gambar 5.14.d.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Rata-Rata

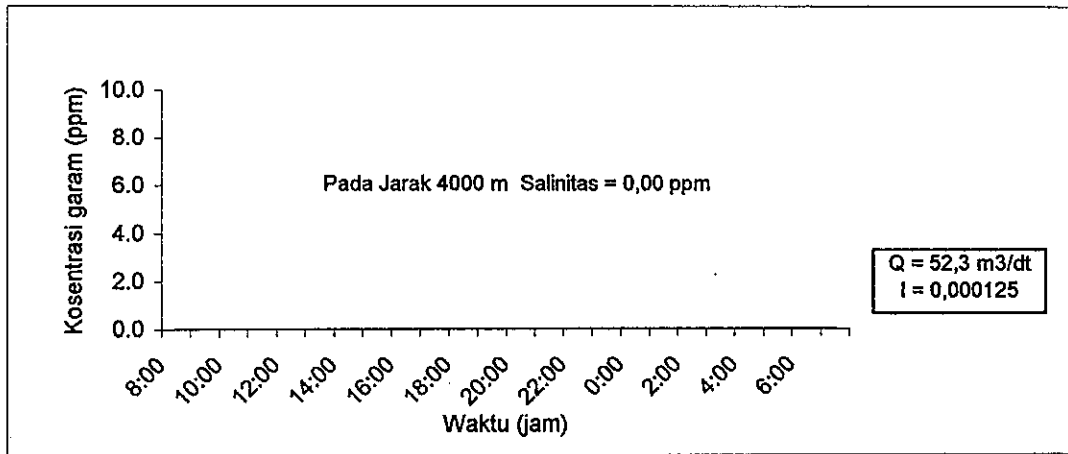




Gambar 5.14.e.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Rata-Rata



Gambar 5.14.f.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Rata-Rata

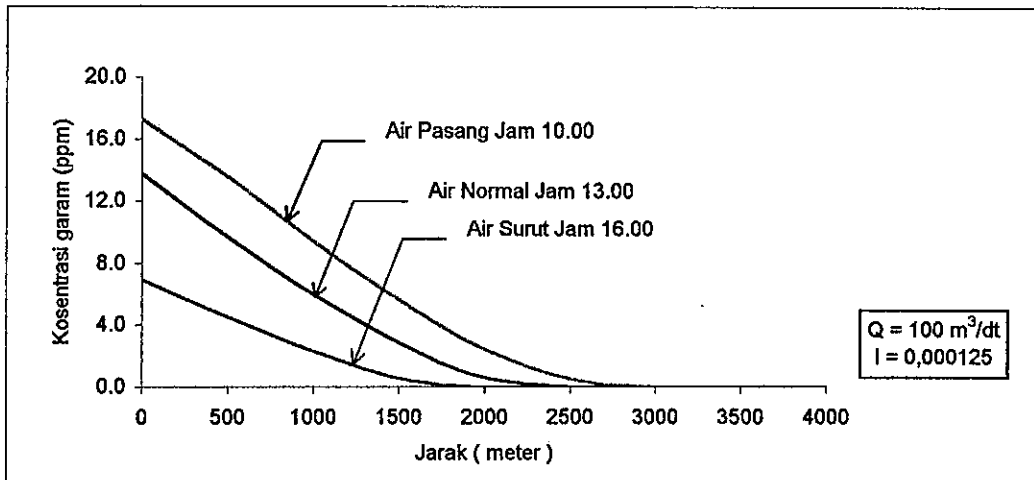


Gambar 5.14.g.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Rata-Rata

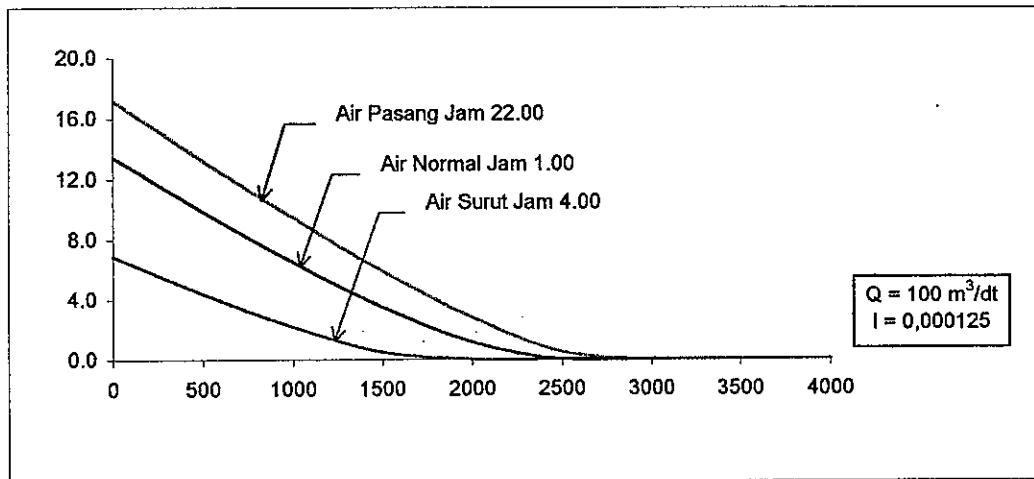
Hasil aplikasi model pada kondisi pasang minimum (perbani) dengan debit air tawar maksimum dari hulu sebesar $Q = 100 \text{ m}^3/\text{d}$, Lebar muka air = 45 meter, Panjang sungai = 5000 meter, Kemiringan dasar sungai = 0,000125, $\Delta t = 20$ detik, $\Delta x = 500$ meter, Tinggi air normal = 1,8 meter, hasil salinitas menunjukkan mengalami perubahan, dimana pada kondisi air pasang titik peralihan antara air asin dan air tawar berada antara Km 2,0 dan Km 2,5. Pada Km 2,0 nilai salinitas sebesar 3,015 ppm. Dan pada waktu air surut titik peralihan air asin dan air tawar berada antara Km 1,5 dan Km 2,0 pada Km 1,5 nilai salinitasnya sebesar 0,384 ppm. Sedangkan nilai salinitas pada titik pengambilan (*intake*) PDAM sebesar 0,00 ppm. Untuk lebih detail besarnya nilai salinitas untuk setiap titik peralihan dapat di lihat pada Gambar 5.15.a. dan 5.15.b. Sedangkan besarnya nilai salinitas untuk setiap jam pada masing – masing stasiun dapat di lihat pada Gambar sampai 5.15.c. sampai 5.15.f. Hasil perhitungan nilai salinitas untuk setiap titik peralihan dan untuk setiap jam pada masing – masing stasiun dapat di lihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15.
Hasil Test Model Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Maksimum ($Q = 100 \text{ m}^3/\text{dt}$)

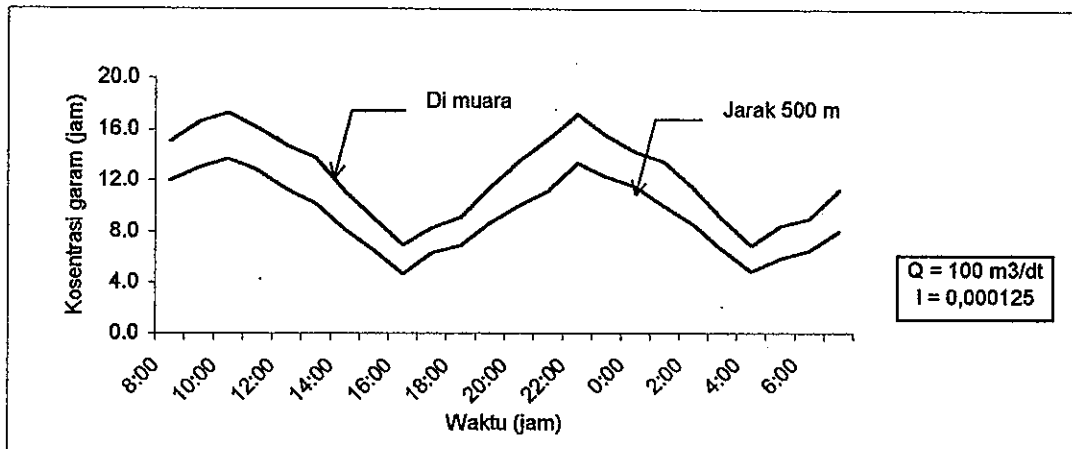
Waktu (Jam)	Stasiun (Jarak antara stasiun 500 meter)								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
8:00	15,044	12,000	8,236	4,957	1,834	0,394	0,000	0,000	0,000
9:00	16,602	13,035	9,408	5,811	2,678	0,535	0,000	0,000	0,000
10:00	17,288	13,717	10,014	6,207	3,015	0,603	0,000	0,000	0,000
11:00	16,170	12,836	9,106	5,405	2,435	0,487	0,000	0,000	0,000
12:00	14,765	11,312	7,608	4,412	1,328	0,265	0,000	0,000	0,000
13:00	13,791	10,190	6,510	3,207	0,642	0,000	0,000	0,000	0,000
14:00	11,130	8,141	4,409	1,317	0,256	0,000	0,000	0,000	0,000
15:00	9,042	6,516	3,212	0,647	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
16:00	6,951	4,705	1,813	0,384	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
17:00	8,266	6,311	3,106	0,620	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
18:00	9,140	6,921	4,505	1,357	0,287	0,000	0,000	0,000	0,000
19:00	11,460	8,709	5,504	2,532	0,506	0,000	0,000	0,000	0,000
20:00	13,569	10,040	6,613	3,237	0,653	0,000	0,000	0,000	0,000
21:00	15,287	11,208	7,814	4,485	1,633	0,489	0,000	0,000	0,000
22:00	17,189	13,410	9,709	5,907	2,760	0,552	0,000	0,000	0,000
23:00	15,511	12,307	8,711	5,197	1,923	0,385	0,000	0,000	0,000
0:00	14,286	11,512	7,616	4,424	1,348	0,285	0,000	0,000	0,000
1:00	13,473	10,012	7,007	3,828	1,147	0,235	0,000	0,000	0,000
2:00	11,443	8,580	5,369	2,014	0,402	0,000	0,000	0,000	0,000
3:00	9,047	6,615	3,312	0,670	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
4:00	6,911	4,905	1,814	0,380	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
5:00	8,438	5,917	2,784	0,563	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
6:00	9,036	6,519	3,217	0,646	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
7:00	11,311	8,023	5,005	2,113	0,423	0,000	0,000	0,000	0,000



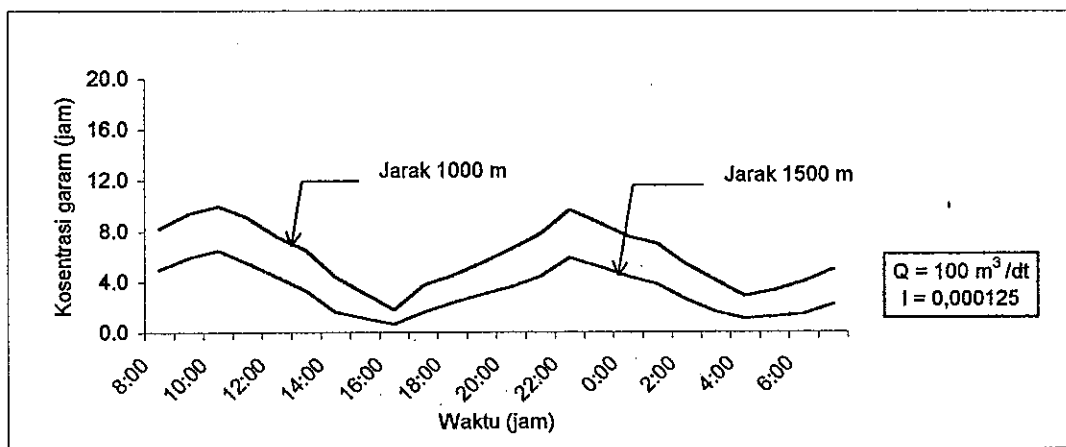
Gambar 5.15.a.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Maksimum



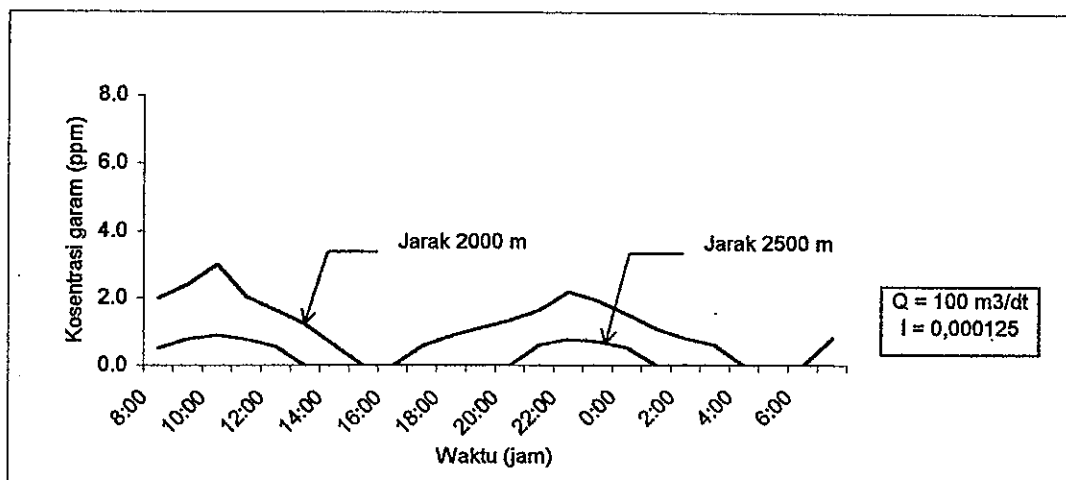
Gambar 5.15.b.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Maksimum



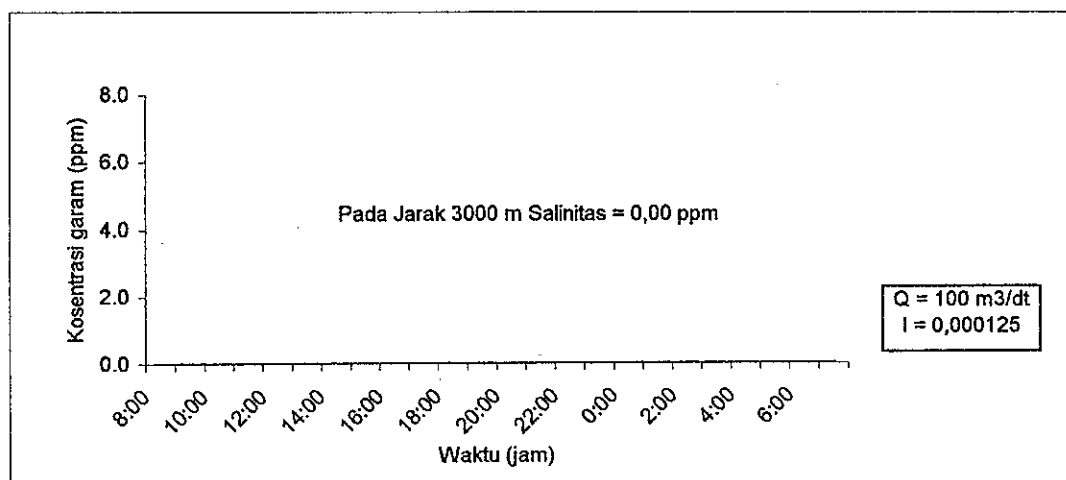
Gambar 5.15.c.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Maksimum



Gambar 5.15.d.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Maksimum



Gambar 5.15.e.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Maksimum



Gambar 5.15.f.
Grafik Salinitas Pada Kondisi Pasang Perbani
Dengan Debit Maksimum

Dari hasil aplikasi model pada berbagai kondisi pasang surut dengan variasi debit air tawar dari hulu, maka nilai salinitas maksimum terjadi pada kondisi air pasang maksimum (purnama) dengan debit air tawar minimum dari hulu sebesar 4,6 m³/dt, dimana besarnya nilai salinitas pada titik pengambilan (*intake*) PDAM sebesar 2,845 ppm pada Km 3,5 dari muara.

Dengan nilai salinitas hasil model ini, maka intrusi pada intake Perusahaan Daerah Air minum (PDAM) Bengkulu, masih di bawah batas maksimum yang diperbolehkan, yaitu 3,00 ppm. Sedangkan nilai salinitas maksimum pada intake PDAM, sebesar 2,845 ppm, sesuai dengan peraturan yang telah ditetapkan menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001, adalah maksimum Klorida (Cl) yang diperbolehkan sebesar 600 mg/l, yang setara dengan nilai salinitas sebesar 3,00 ppm. Untuk lebih detail syarat Baku Mutu Air Golongan B dapat dilihat pada (lampiran B).

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan dapat di simpulkan beberapa hal, sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil aplikasi model pada berbagai kondisi pasang surut dengan variasi debit air tawar, maka intake PDAM Bengkulu masih di bawah batas maksimum yang di perbolehkan, yaitu 3,00 ppm. Sedangkan nilai salinitas maksimum pada intake sebesar 2,845 ppm.
2. Dari hasil kalibrasi model dengan debit air tawar konstan sebesar 30 m³/dt, lebar muka air = 45 meter, kemiringan dasar sungai = 0,000125, panjang sungai = 4000 meter, hasil yang baik dicapai dengan harga $\Delta t = 20$ dt, dan $\Delta x = 500$ meter, serta nilai Chezy 20.
3. Berdasarkan hasil aplikasi model pada kondisi air pasang maksimum dengan debit air tawar minimum dari hulu sebesar 4,6 m³/dt, salinitas pada intake PDAM sebesar 2,845 ppm. Pada kondisi air pasang maksimum (purnama) dengan debit air tawar rata-rata dari hulu sebesar 52,3 m³/dt, salinitas pada intake PDAM sebesar 1,580 ppm, sedangkan pada kondisi air pasang maksimum (purnama) dengan debit air tawar maksimum dari hulu sebesar 100 m³/dt, salinitas pada intake PDAM sebesar 0,0 ppm.
4. Pada kondisi air pasang rata-rata dengan debit air tawar minimum dari hulu sebesar 4,6 m³/dt, salinitas pada intake PDAM sebesar 2,221 ppm. Pada waktu kondisi air pasang rata-rata dengan debit air tawar rata-rata dari hulu sebesar

52,3 m³/dt, salinitas pada intake PDAM sebesar 1,274 ppm, sedangkan pada kondisi air pasang rata-rata dengan debit maksimum dari hulu sebesar 100 m³/dt, salinitas pada intake PDAM sebesar 0,0 ppm.

5. Pada kondisi air pasang minimum (perbani) dengan debit air tawar minimum dari hulu sebesar 4,6 m³/dt, salinitas pada intake PDAM sebesar 2,031 ppm, pada kondisi air pasang minimum (perbani) dengan debit air tawar rata-rata dari hulu sebesar 52,3 m³/dt, salinitas pada intake PDAM sebesar 0,986 ppm, sedangkan pada kondisi air pasang minimum (perbani) dengan debit air tawar maksimum dari hulu sebesar 100 m³/dt, salinitas pada intake PDAM sebesar 0,0 ppm.
5. Dari salinitas hasil model, maka diketahui intrusi yang terjadi pada intake PDAM Bengkulu masih termasuk pada syarat yang diperbolehkan, dimana nilai salinitas maksimum yang terdapat pada intake sebesar 2,845 ppm.
6. Berdasarkan dari hasil analisis eksisting data pengukuran suplemen, pasang surut Sungai Bengkulu termasuk ke dalam tipe pasang surut campuran.
7. Sedangkan tipe estuari Sungai Bengkulu termasuk ke dalam tipe estuari sudut asin, dimana besarnya angka estuari $\alpha = 2,76$ ($\alpha > 1$) dan $E = 0,061$ ($E > 0,005$).
8. Besarnya salinitas dan jauhnya jarak penjalaran garam ke arah hulu sungai, sangat dipengaruhi oleh besarnya pasang air laut dan besarnya debit air tawar yang mengalir ke hilir sungai.
9. Nilai Courant Number dan waktu (Δx) saling berkaitan dan saling mempengaruhi satu dengan yang lainnya. Oleh karena itu untuk mencapai kesetabilan pada proses dispersi harus memperhatikan nilai keduanya.

6.2. Saran

Untuk mendapatkan hasil model yang lebih baik, pada model numerik I-D yang telah diaplikasikan di sungai Bengkulu ini, penulis menyarankan beberapa hal antara lain :

1. Pengambilan sampel salinitas hendaknya tidak hanya di satu titik bagian tengah dari kedalaman air saja tetapi di titik-titik yang mewakili variasi salinitas ke arah vertikal maupun lateral.
2. Dalam melakukan penelitian hendaknya rentang waktu yang di gunakan sebaiknya pada periode yang panjang, agar data yang didapat lebih komplit dan dapat mewakili berbagai kondisi yang terjadi pada sungai tersebut.
3. Model numerik I-D dengan metoda eksplisit, yang menggunakan persamaan hidrodinamika dan transpor dapat dikembangkan dengan metoda yang lain seperti, metoda implisit priessmen.
4. Untuk mengatasi agar penjaralan konsentrasi garam ke arah hulu sungai tidak terlalu besar pada kondisi air pasang maksimum (purnama), maka elevasi muka air perlu dinaikkan, yaitu dengan jalan membuat bendung gerak sebelum titik - pengambilan (*intake*) PDAM.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G dan Sumestri Santika, 1987, *Metode Penelitian Air*. Usaha Nasional Surabaya.
- Anonim. 1999. *Kawasan Konservasi Propinsi Bengkulu*. Sub Balai Konservasi Sumber Daya Alam Bengkulu.
- Anonim. 2000. *Bengkulu Dalam Angka*. BPS Kantor Statistik Propinsi Bengkulu.
- Asdak C., 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Gerald F, Patrick O. Wheatley, 1989, *Applied Numerical Analysis*. Addison-Wesley Publishing Company.
- Ippen, A.T., 1966. *Estuary And Coastline Hydrodynamics*. McGraw-Hill Book Company. Inc.
- Izmar. G., 1987. *Teknik Penyehatan Analisa Laboratorium*. Cipta science Series. Jakarta.
- James, M.M., 1985. *Water Treatment Principles and Design*. John Wiley & Sons.
- Junaidi, 2000. *Model Numeris Intrusi Air Asin di Estuari Akibat Gelombang Pasang Surut*. Thesis, UGM. Yogyakarta.
- Kodoatie, Suripin., 2001. *Paradigma Integrasi Dan Keterpaduan Pengelolaan Sumber Daya Air Yang Berkelanjutan Dalam Nuansa Otonomi Daerah*. Prosiding Diskusi Panel Nasional. Kerjasama Antara Universitas Diponegoro Dengan Departemen Energi Dan Sumber Daya Mineral.

- Koutitas CG, 1988, *Mathematical Models in Coastal Engineering*, Pantecs Press, London.
- Kusumaningrum, Tenrisukki, A., 1999. *Studi Inventarisasi Kualitas Air Tanah di Surabaya Timur Dan Utara*. Media Komunikasi Teknik Sipil. Agustus 1999.
- Legowo, S, Soeryamassoeka, S.B., 2000. *Kajian Air Sungai Ambang Sebagai Sumber Air Baku Air Bersih*. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XVII
- Linsley, R.K. et al, 1989. *Hidrologi Untuk Insinyur*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Lee, R., 1990. *Hidrologi Hutan*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Lakitan, B., 1994. *Dasar-dasar Klimatologi*. PT. Raja Grafindo Persada, Jakarta.
- Luknanto, D, 1993. *Model Matematika*. Universitas Gadjah Mada, Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik.
- Laporan Final Desain, 1999/2000. *Detail Desain Bangunan Penyediaan Air Baku Kota Bengkulu*, BIEC International, Inc.
- Makrup, L., 2001. *Dasar-Dasar Analisis Aliran Di Sungai Dan Muara*. UII Press Yogyakarta.
- Peavy, H.S., 1985. *Environmental Engineering*. McGraw-Hill International Editions.
- Pitara, W., 1987. *Model Perembesan Garam Di Sungai/Estuari*. Tugas Akhir Jurusan Geofisika dan Meteorologi ITB, Bandung.
- P. Van Groen, 1979, *Salt Intrusion*, Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Pengairan Proyek Pembukaan Persawahan Pasang Surut, Jakarta.

- Richardh H. French., 1985. *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill International Editions.
- Rich, L.G., 1973. *Environmental Systems Engineering*. McGraw-Hill International Student Editions.
- Smith G. D., 1978. *Numerical Solution of Partial Differential Equations*. Clarendon Press Oxford.
- Sosrodarsono, S., 1983. *Hidrologi Untuk Pengairan*. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Soemarto, C.D., 1986. *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional, Surabaya.
- Seyhan, E., 1990. *Dasar-Dasar Hidrologi*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Soewarno, 1991. *Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai*. Penerbit Nova, Jakarta.
- Sastrawijaya, A.T., 1991. *Pencemaran Lingkungan*. Penerbit Rineka Cipta, Jakarta.
- Suripin, 2000. *Pengembangan Sumber Daya Air*, Diktat Kuliah S1 Teknik Sipil Universitas Dipenogoro, Semarang.
- Suripin, 2001. *Teknik Muara, Pantai dan Air Tanah*, Diktat Kuliah D-3 Teknik Pusdik Kimpraswil Universitas Diponegoro, Semarang.
- Szymkiewiez R, 1995, *Method to Solve 1D Unsteady Transport and Flow Equation*, Journal of Hydraulic Engineering, Vol : 124 No. 3, 280 – 286.
- Triatmodjo, B.,1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset Yogyakarta.
- Triatmodjo, B.,1992. *Metode Numerik*. Beta Offset Yogyakarta.

- Tiaif. S., dan Inugroho. S., 1999. *Hubungan Curah Hujan dan Debit Sungai di Das Ketahun Propinsi Bengkulu*. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XVI HATHI Bengkulu.
- Tiaif. S. dan Siswanto, H., 1999. *Pemetaan Curah Hujan Propinsi Bengkulu*. Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XVI HATHI Bengkulu.
- Yadi. N., 1997. *Model Intrusi Garam Di Sungai Upang, Sumatera Selatan*, Jurusan Meteorologi dan Geofisika ITB, Bandung