

# PENGUNAAN METODA ANALISIS HARMONIK UNTUK MENENTUKAN WATAK GERAKAN AIR DI SALURAN IRIGASI PASANG SURUT

Oleh : Sigit Supadmo Arief\*)

## I. Pendahuluan

Universitas Gadjah Mada telah merancang suatu sistem irigasi pasang surut dengan memakai fenomena gerakan pasang surut sebagai dasar operasinya. Semua saluran di seluruh jaringan mempunyai fungsi ganda; yaitu sebagai saluran pemberi dan pengatus. Bentuk rancangan dan pembangunan fisik sistem irigasi tersebut telah disusun dan dilakukan sejak awal tahun 70 an.

Meskipun sudah dikembangkan lebih dari sepuluh tahun yang lalu, banyak dijumpai beberapa kendala yang menghambat perkembangan sistem tersebut. Salah satu kendala utama yaitu tidak berkembangnya tata air permukaan (surface water regime).

Untuk dapat mengetahui watak gerakan air permukaan di daerah pasang surut, dapat dipakai beberapa metoda. Salah satu metoda yaitu dengan memakai metoda analisis harmonik. Suatu contoh penggunaan metoda analisis harmonik diberikan dengan memakai data pengamatan yang dilakukan di daerah irigasi pasang surut

\*)Ir. Sigit Supadmo, Arief MEng adalah staf pengajar fakultas Teknologi Pertanian UGM.

Tamban Luar, Kalimantan Tengah sebagai salah satu daerah irigasi pasang surut yang dirancang oleh Universitas Gadjah Mada.

## II. Metoda Analisis Gerakan Pasang Surut

Menurut IPPEN dan HARLEMAN (1966) serta DRONKERS (1964) metoda analisis gerakan air pasang surut di muara pantai dapat digolongkan menjadi dua, yaitu :

- a. Metoda integrasi numerik, metoda ini dapat diselesaikan dalam dua cara :
  1. beda berhingga (finite difference)
  2. persamaan karakteristik
- b. Analisis harmonik.

Pemilihan penggunaan kedua metoda tersebut tergantung pada tingkat kebutuhan informasi yang diharapkan serta informasi tersedia. Suatu keuntungan penggunaan metoda analisis harmonik adalah mudah dilakukan dan dapat digunakan untuk peramalan.

Dasar-dasar pemikiran penggunaan analisis harmonik untuk gerakan air pasang surut adalah sebagai berikut :

1. Gerakan gelombang air pasang surut di sembarang tempat adalah merupakan hasil penjumlahan sejumlah gelombang sebagai hasil gaya tarik dari sistem gerakan relatif bulan bumi dan matahari. Masing-masing gelombang mempunyai perioda, amplitudo dan fasa sendiri-sendiri. Perioda gelombang-gelombang tersebut dapat ditentukan secara astronomis.
2. Masing-masing gelombang mengikuti gerakan harmonik sederhana dan satu dengan yang lain berdiri bebas (mutually independend).

Dasar-dasar pemikiran tersebut dapat diformulasikan seperti pada Persamaan 1.

$$\eta = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i \sin \left( \frac{2\pi t}{T_i} + \delta_i \right) \dots \dots \dots (1)$$

dimana :

- $\eta$  = variasi tinggi muka air pasang surut suatu tempat (m)
- $a_0$  = mean tinggi muka air (m)
- $i$  = 1, 2, 3, . . . . ., N jumlah gelombang penyusun
- $a_i$  = amplitudo gelombang penyusun ke-i (m)
- $T_i$  = perioda gelombang penyusun ke-i (jam)
- $\delta_i$  = fasa gelombang ke-i (radian)
- $t$  = waktu (jam).

Untuk daerah katulistiwa terdapat empat buah gelombang penyusun utama yang sangat berpengaruh, yaitu dua buah gelombang pasang ganda (semi-diurnal)  $M_2$  dan  $S_2$  serta dua buah gelombang pasang tunggal (diurnal)  $K_1$  dan  $O_1$  dengan masing-masing perioda :

- $M_2 = 12,4206$  jam
- $S_2 = 12,0000$  jam
- $K_1 = 23,9346$  jam
- $O_1 = 25,8194$  jam

Untuk dapat menyelesaikan Persamaan 1, telah disusun suatu program komputer dalam bahasa FORTRAN 77 dan BASIC. Penjabaran Pers 1 secara matematis dan bagan penyelesaiannya diberikan dalam Lampiran.

Dengan mengetahui parameter-parameter model seperti Pers 1 pada masing-masing tempat pengamatan tinggi muka air, kekasaran saluran yang dinyatakan dengan faktor peredaman gelombang dan keterlambatan fasa gelombang dapat diketahui.

### III. Penggunaan Metoda Analisis Harmonik

ARIF (1984) menggunakan analisis harmonik untuk menentukan watak gerakan air di saluran irigasi pasang surut di daerah Tamban Luar Kalimantan Tengah.

Pengumpulan data dilakukan dengan mengamati tinggi muka air setiap jam pada sejumlah stasiun pengamat tinggi muka air di jaringan

saluran. Gambar tata letak stasiun pengamat dapat dilihat pada Gambar 1 di dalam Lampiran, sedangkan waktu pengamatan antara tanggal 26 Mei — 14 Juni 1984. Elevasi masing-masing stasiun diikat pada satu garis referensi

dengan titik 0 papan duga Sta. 1 sebagai garis referensi (datum).

Tabel 1 menunjukkan hasil analisis perhitungan amplitudo dan fasa gelombang penyusun di Sta. 1 yang terletak di sungai Kapuas.

Tabel 1 : Mean tinggi muka air ( $a_0$ ), perioda, amplitudo dan jasa gelombang penyusun di Sta 1.

$a_0$ (m)	$M_2$			$S_2$		$O_1$			$K_1$			
	$T_1$ (jam)	$a_1$ (m)	$S_1$ (rad)	$T_2$ (jam)	$a_2$ (m)	$S_2$ (rad)	$T_3$ (jam)	$a_3$ (m)	$S_3$ (rad)	$T_4$ (jam)	$a_4$ (m)	$S_4$ (rad)
1.6776	12.4206	0.2478	0.0967	12.0000	0.0676	-0.4493	23.9346	0.6485	4.3237	25.8194	0.2004	1.3899

Dengan hasil analisis tersebut, model matematis variasi tinggi muka air pasang surut Sta. 1 menjadi :

$$\eta_T = 1,6776 + 0,2478 \sin(2\pi t/12,4206 + 0,0967) + 0,676 \sin(2\pi t/12,0000 - 0,4493) + 0,6485 \sin(2\pi t/23,9346 + 4,3237) + 0,2004 \sin(2\pi t/25,8194 + 1,3899) \dots (2)$$

Dari Tabel 1 terlihat bahwa amplitudo dari gelombang penyusun  $S_2$  mempunyai harga terkecil dibandingkan dengan amplitudo gelombang penyusun lainnya. Hasil uji verifikasi model memakai tiga gelombang penyusun dengan  $S_2$  diabaikan, memberikan hasil lebih baik daripada pemakaian empat gelombang penyusun. Gambar 2 pada Lampiran menunjukkan hasil uji verifikasi model dengan memban-

dingkan variasi tinggi muka air pasang surut teramati dan terhitung.

Hasil perhitungan masing-masing amplitudo dan fasa gelombang untuk stasiun pengamat yang terletak di saluran primer dan sekunder dapat dilihat pada Tabel 2.

Adanya pengaruh gesekan akibat kekasaran dinding saluran akan menyebabkan terjadinya penurunan amplitudo dari masing-masing gelombang penyusunan. Penurunan tersebut dapat dinyatakan sebagai persamaan eksponensial negatif seperti terlihat pada Pers 3, yaitu :

$$a = A \exp(-\mu x) \dots \dots \dots (3)$$

dimana :

- a = amplitudo (m)
- A = amplitudo pada  $x = 0$  (m)
- $\mu$  = faktor peredaman gelombang (dumping factor) (1/m)
- x = jarak (m)

Tabel 2 : Mean tinggi muka air ( $a_0$ ) amplitudo dan fasa gelombang penyusun di saluran primer dan sekunder, Proyek Irigasi Pasang Surut Tamban Luar Kalimantan Tengah.

Saluran	No. Sta	$M_2$ $a_2$ (m)	$K_1$		$O_1$			
			$a_1$ (m)	$S_1$ (rad)	$a_3$ (m)	$S_3$ (rad)	$a_4$ (m)	$S_4$ (rad)
Primer	3	1.7706	0.2665	-0.1015	0.6347	4.3525	0.2030	1.3380
Sekunder	4	1.7142	0.2599	0.0098	0.6097	4.3082	0.1995	1.3234
Kanan	7	1.7052	0.2601	0.0321	0.6262	4.2281	0.1906	1.2346
	22	1.9205	0.1262	-0.3807	0.3668	3.9291	0.1020	1.2350
Sekunder Tengah	5	1.8126	0.2804	0.0424	0.6193	4.2798	0.2198	1.3430
	15	1.8595	0.2335	-0.1769	0.5462	4.1165	0.1891	1.2090
	18	1.9554	0.1885	-0.4277	0.4755	4.0835	0.1391	1.1857
Sekunder Kiri	6	1.7850	0.2813	0.0287	0.6305	4.3142	0.2187	1.2690
	10	1.9382	0.2137	-0.3170	0.4927	4.0610	0.1781	1.1818
	13	1.9305	0.1790	-0.6553	0.4502	3.9050	0.1511	1.0881

Dengan mengubah Pers 3 menjadi persamaan linier, maka harga A dan  $\mu$  dapat ditentukan. Hasil perhitungan un-

tuk masing-masing gelombang penyusun dan saluran sekunder dapat terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3 : Hasil perhitungan harga A dan faktor peredaman gelombang di saluran sekunder untuk 3 gelombang penyusun  $M_2$ ,  $K_1$ , dan  $O_1$  di proyek irigasi pasang surut Tamban Luar Kalteng

Saluran sekunder	Amplitudo	Gelombang penyusun	A (m)	$\mu$ ( $\times 10^{-5}$ ) (1/m)
Kiri	$a_1$	$M_2$	0.2854	8.43
	$a_3$	$K_1$	0.6322	6.16
	$a_4$	$O_1$	0.2211	6.33
Tengah	$a_1$	$M_2$	0.2855	9.61
	$a_3$	$K_1$	0.6263	6.42
	$a_4$	$O_1$	0.2268	10.5
Kanan	$a_1$	$M_2$	0.2643	13.18
	$a_3$	$K_1$	0.6243	9.41
	$a_4$	$O_1$	0.2950	10.90

Gambar 3 dalam Lampiran menunjukkan hubungan antara amplitudo dengan jarak yang ditempuh gelombang di dalam saluran sekunder tengah.

Persamaan fasa gelombang di dalam saluran juga dapat dinyatakan dengan persamaan linier :

$$\delta = B - Dx \dots\dots\dots (4)$$

dimana :

$\delta$  = fasa gelombang (rad)

B =  $\delta$  pada  $x = 0$  (rad)

D = faktor penurunan fasa gelombang (1/m)

x = jarak (m).

Besarnya harga B dan D juga dapat dihitung dengan memakai 2 persamaan yang diketahui. Hasil perhitungan untuk masing-masing gelombang penyusun di ketiga saluran sekunder dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 : Hasil perhitungan untuk menentukan harga B dan D dengan regresi linier untuk 3 gelombang penyusun  $M_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$  di saluran Proyek Irigasi Pasang Surut Tamban Luar Kalteng.

Saluran sekunder	Amplitudo	Gelombang penyusun	B (rad)	D ( $\times 10^{-5}$ ) (1/m)
Kiri	$S_1$	$M_2$	0.0529	11.48
	$S_3$	$K_1$	4.3230	7.18
	$S_4$	$O_1$	1.2759	3.01
Tengah	$S_1$	$M_2$	0.0225	14.74
	$S_3$	$K_1$	4.2766	5.26
	$S_4$	$O_1$	1.3174	5.08
Kanan	$S_1$	$M_2$	0.0296	7.31
	$S_3$	$K_1$	4.2766	6.23
	$S_4$	$O_1$	1.2811	0.86

Gambar 4 pada Lampiran menunjukkan hubungan antara fasa dengan jarak yang ditempuh ketiga penyusun di saluran Sekunder Tengah.

#### IV. Pembahasan dan Kesimpulan

Dengan memakai metoda Analisis Harmonik, sifat gerakan air di saluran

irigasi pasang surut dapat dicirikan. Model matematis yang didapat dari hasil analisis tersebut hanya berlaku untuk waktu pengamatan yang bersangkutan saja.

Karena perioda masing-masing gelombang penyusun selalu tetap sepanjang tahun, besarnya amplitudo dan

fasa gelombang dari tiap-tiap gelombang penyusun selalu tetap pula. Model tersebut dapat dikembangkan menjadi model yang selalu berlaku sepanjang tahun apabila harga "mean" tinggi muka air sepanjang tahun diketahui juga.

#### Daftar Pustaka

1. ARIF, S.S. (1984) : *Evaluation of The Tidal Irrigation Project Tamban Luar-Central Kalimantan, Indonesia*, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, (Master Thesis tidak dipublikasikan).
2. DRONKERS, J.J. (1964) : *Tidal Computations in Rivers and Coastal Waters*, North-Holland Publishing Co-Amsterdam.
3. HARLEMAN, D.R.F. dan A.T. IPPEN (1966) : "Tidal Dynamics in Estuaries", Chapter 10 dari *Estuary and Coastline Hydrodynamics*, disunting oleh A.T. IPPEN Mc. Graw Hill Company. Inc.

Lampiran 1. : Penjabaran dan Penyelesaian Persamaan 1

Dari Persamaan 1 :

$$\eta_s = a_0 + \sum_{i=1}^N a_i \sin \left( \frac{2\pi}{T_i} t + \delta_i \right) \dots \dots \dots (1)$$

dapat diuraikan menjadi :

$$\eta_s = a_0 + \sum_{i=1}^N \left[ a_i \sin \left( \frac{2\pi}{T_i} t \right) \cos \delta_i + a_i \cos \left( \frac{2\pi}{T_i} t \right) \sin \delta_i \right] \dots \dots \dots (2)$$

Apabila kedua ruas Persamaan 2 dikalikan dengan  $\sin \left( \frac{2\pi}{T_i} t \right)$  dan diintegrasikan terhadap interval waktu  $\Delta t$

(  $\Delta t$  mendekati harga  $\sim$  ), serta dibagi  $\Delta t$  maka Persamaan 2 akan berubah menjadi :

$$\begin{aligned} \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} \eta_s \sin \left( \frac{2\pi}{T_i} t \right) dt &= \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} a_0 \sin \left( \frac{2\pi}{T_i} t \right) dt \\ &+ \sum_{i=1}^N a_i \cos \delta_i \int_0^{\Delta t} \sin \left( \frac{2\pi}{T_i} t \right) \sin \left( \frac{2\pi}{T_j} t \right) dt \\ &+ \sum_{i=1}^N a_i \sin \delta_i \int_0^{\Delta t} \cos \left( \frac{2\pi}{T_i} t \right) \sin \left( \frac{2\pi}{T_j} t \right) dt \dots \dots (3) \end{aligned}$$

Dari integrasi Persamaan 3 dihasilkan :

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta} \eta_s \sin \left( \frac{2\pi}{T_i} t \right) dt &= \frac{1}{\Delta t} \left\{ \frac{a_0}{2\pi} T_j \left[ 1 - \cos \left( \frac{2\pi \Delta t}{T_j} \right) \right] \right. \\
 + \sum_{i=1}^N a_i \cos \delta_i &\left[ \frac{\sin \left\{ 2\pi \Delta t \left( \frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_j} \right) \right\}}{4\pi \left( \frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_j} \right)} \right. \\
 - \frac{\sin \left\{ 2\pi \Delta t \left( \frac{1}{T_i} + \frac{1}{T_j} \right) \right\}}{4\pi \left( \frac{1}{T_i} + \frac{1}{T_j} \right)} &\left. \right] \\
 + \sum_{i=1}^N a_i \sin \delta_i &\left[ \frac{1 - \cos \left\{ 2\pi \Delta t \left( \frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_j} \right) \right\}}{4\pi \left( \frac{1}{T_i} - \frac{1}{T_j} \right)} \right. \\
 - \frac{1 - \cos \left\{ 2\pi \Delta t \left( \frac{1}{T_i} + \frac{1}{T_j} \right) \right\}}{4\pi \left( \frac{1}{T_i} + \frac{1}{T_j} \right)} &\left. \right] \dots \dots \dots (4)
 \end{aligned}$$



Dari Persamaan 4 :

$$\lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} \eta \sin \left( \frac{2\pi t}{T_j} \right) dt = \begin{cases} 0 & \text{Jika } T_i \neq T_j \\ \frac{a_i}{2} \cos \delta_i = X; & \text{jika } T_i = T_j \end{cases} \quad (5)$$

Dengan cara yang sama, apabila Persamaan 2 dikalikan dengan  $\cos \frac{2\pi}{T_i} t$ , diintegrasikan terhadap  $\Delta t$  dan dibagi dengan  $\Delta t$  akan menghasilkan :

$$\lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} \eta \delta \cos \left( \frac{2\pi t}{T_j} \right) dt = \begin{cases} 0 & \text{jika } T_i \neq T_j \\ \frac{a_i}{2} \sin \delta_i = Y; & \text{jika } T_i = T_j \end{cases} \quad (6)$$

Harga  $a_o$  dapat dihitung dengan memakai :

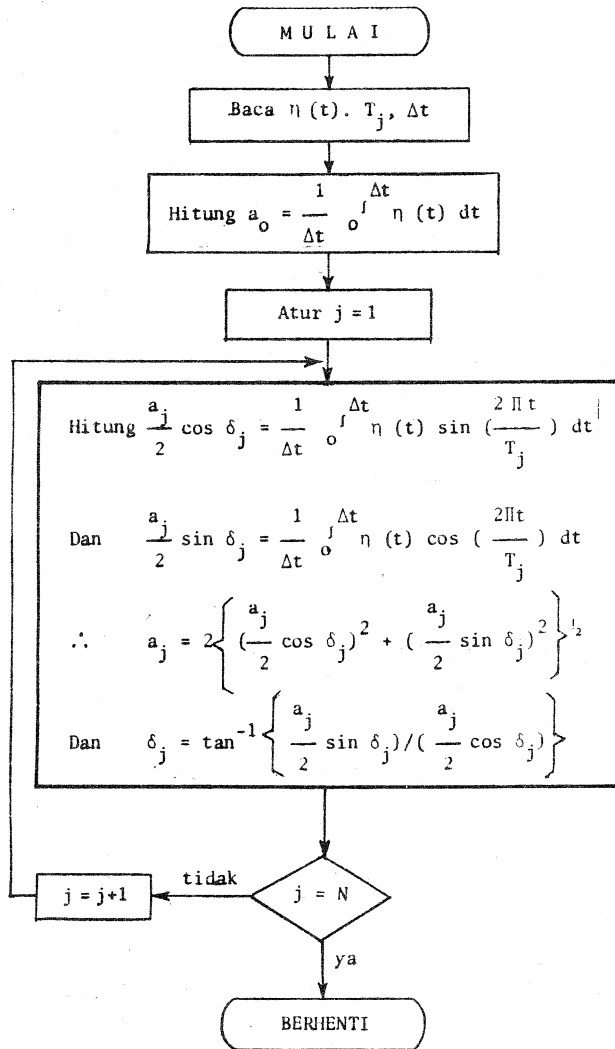
$$\lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} \eta dt = a_o \dots \dots \dots (7)$$

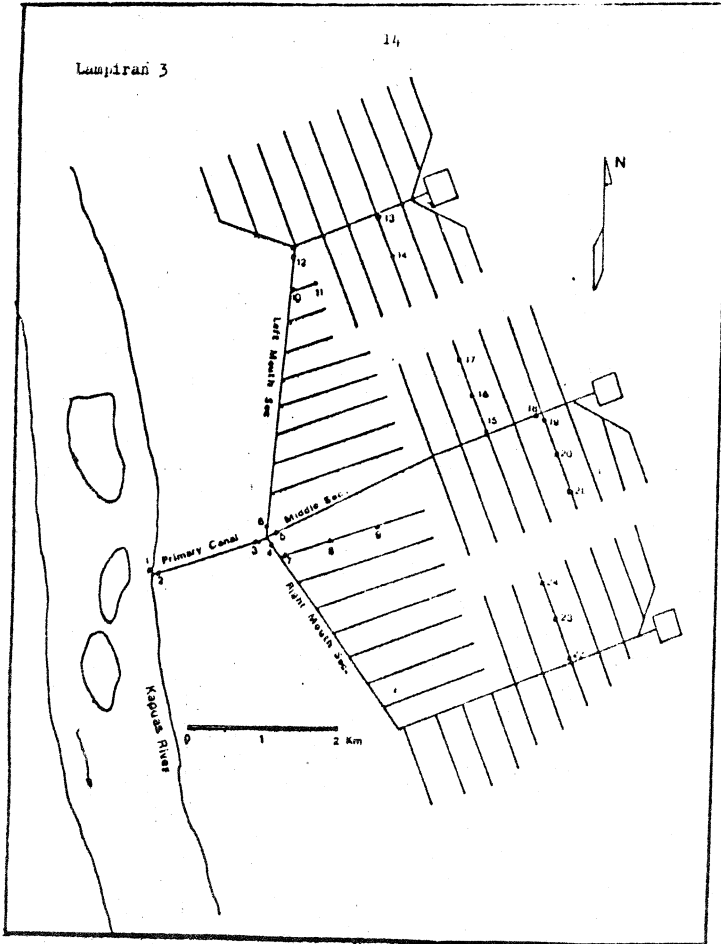
Dengan demikian :

$$a_i = 2 \left[ (X)^2 + (Y)^2 \right]^{1/2} \dots \dots \dots (8)$$

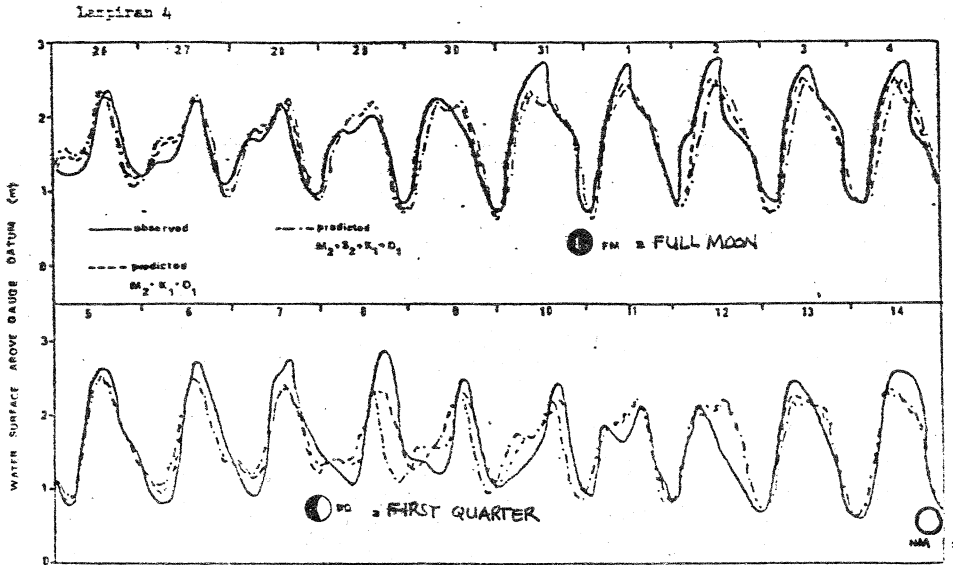
$$\delta_i = \tan^{-1} \left( \frac{Y}{X} \right) \dots \dots \dots (9)$$

Lampiran 2. : Bagan Alir Program Komputer Penyelesaian Per-  
samaan 1



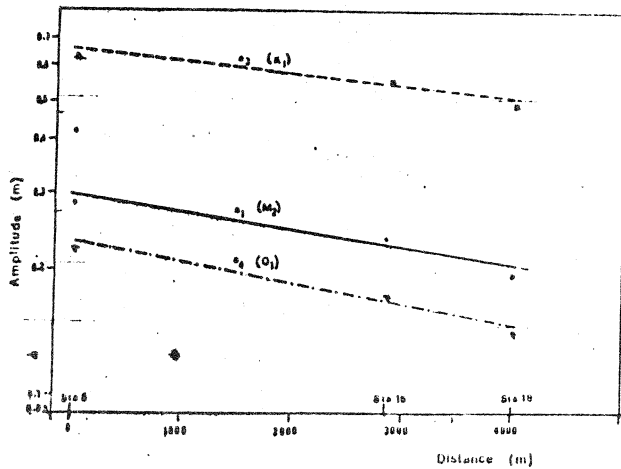


Gambar 1 : Tata letak stasiun pengamat tinggi muka air di Tamban Luar



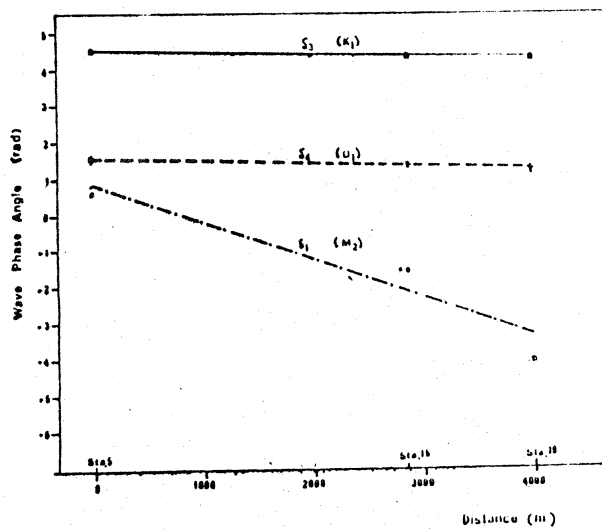
Gambar 1: Perbandingan gelombang pasang surut teramati dan terhitung dengan analisis harmonis di sungai Manuar di Sta. 1, tanggal 26 Mei - 14 Juni 1966.

Lampiran 5



Gambar 3: Perbandingan amplitudo gelombang penyusun di dua  $M_2$ ,  $K_1$  dan  $O_1$  di saluran sekunder tengah Tabuan Luar

## Lampiran 6



Gambar 4 : Perbandingan fasa gelombang penyusun utama  $M_2$ ,  $K_1$  dan  $O_1$  di saluran sekunder tengah Tambak Luar