

# STUDI MODEL INTRUSI AIR ASIN DI SUNGAI JUANA HILIR

Oleh : Ir. Budi Santosa Wignyosukarto\*)  
Ir. Adam Pamudji Rahardjo\*)

## INTISARI

*Penutupan Pintu Wilalung di sungai Serang dikhawatirkan akan mengurangi debit di sungai Juana yang akan memberi kesempatan intrusi air laut ke daerah pertanian. Sebuah studi telah dilaksanakan untuk mengetahui jarak jangkauan intrusi air asin ini dari muara dengan beberapa penelitian lapangan. Dan untuk menghitung parameter-parameter-nya, hasil penelitian lapangan tersebut digunakan dalam hitungan angkutan massa dengan model stasioner. Parameter-parameter yang diperoleh diharapkan dapat dipakai untuk penelitian selanjutnya.*

### I. Pendahuluan

Lembah Juana terletak sekitar 60 Km di sebelah timur Semarang. Panjang sungai sekitar 50 Km dengan kelandaian rata-rata 0,01 %. Sungai mengalir pada arah timur-laut, dan bermuara di laut Jawa. Luas daerah tangkapan hujan di muara sekitar 1.280 Km<sup>2</sup>. Ujung sebelah barat sungai Juana dihubungkan dengan sungai Serang oleh Pintu Air Wilalung.

Lembah ini merupakan daerah retensi banjir. Sebelum tahun 1978 daerah ini memang disengaja dibebani luapan dari sungai Serang dengan maksud mempercepat proses kolmataasi di daerah hulu lembah sungai yang direncanakan untuk daerah pertanian. Program pemerintah mulai tahun anggaran 1978/1979 adalah mengembalikan seluruh aliran sungai Serang pada alurnya sendiri.

Pelaksanaan program tersebut akan membawa dampak yang tentunya perlu dikaji untuk menghindari kemungkinan terjadinya kesulitan program lain yang juga mendayagunakan potensi lembah sungai Juana. Diantaranya adalah bahaya intrusi air asin yang dapat mengganggu program irigasi maupun pengusahaan air bersih terutama di daerah hilir.

### II. Telaah Kepustakaan

#### 1. Intrusi Air Asin

Masuknya kegaraman ke arah hulu di muara sungai disebabkan suatu proses hidrodinamik yang rumit. Proses

ini meliputi pengaruh pasang-surut di sepanjang daerah hilir sungai, interaksinya dengan adanya pergerakan akibat perbedaan rapat massa, akibat perbedaan temperatur dan adanya turbulensi dalam aliran tersebut.

Perlu diketahui bahwa bahan polusi dapat digolongkan menjadi bahan polusi konservatif, dan bahan polusi non-konservatif (Ciaccio, 1971). Bahan polusi konservatif tidak dapat terurai oleh aktifitas organisme atau oleh mekanisme alam lainnya dan distribusinya dalam aliran dapat dihitung dengan memakai analisa angkutan massa. Sedangkan bahan polusi non-konservatif adalah sebaliknya.

Terdapat dua macam cara angkutan bahan polusi (Abraham G., 1976). Yang pertama adalah angkutan advectif. Angkutan advectif disebabkan oleh gerakan air yang berupa arus (arus sungai). Yang kedua adalah angkutan difusif. Angkutan ini disebabkan adanya olakan air dalam gerakan turbulensinya. Dua macam angkutan tersebut terjadi bersamaan dalam setiap peristiwa angkutan bahan polusi.

#### 2. Analisis Intrusi

Untuk menghitung jangkauan intrusi air asin dapat dilakukan dengan berbagai rumus empiris maupun teoretis. Semua hitungan tersebut berdasarkan pada persamaan gerak kontinyuitas dan persamaan angkutan massa. Selain itu di dalam berbagai pustaka dapat dijumpai berbagai model matematik baik berupa model stasioner maupun non-stasioner.

Salah satu model stasioner yang mudah dipahami dan membutuhkan data sesuai kemampuan survai yang ada

\*) Anggota Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik-UGM.

adalah model yang dikembangkan oleh Van der Burg (Langeweg, 1976).

Persamaan difusi satu dimensi yang dipakai sebagai acuan untuk pengembangan cara empirik model stasioner adalah:

$$\frac{\delta \bar{c}}{\delta t} + \bar{U} \frac{\delta \bar{c}}{\delta x} = \frac{1}{A} \frac{\delta}{\delta x} (A D_x \frac{\delta \bar{c}}{\delta x}) \dots \dots \dots (1.)$$

dengan :

- $\bar{c}$  = kegraman rata-rata pada tampang sungai,
  - $\bar{U}$  = kecepatan rata-rata pada tampang sungai,
  - $D_x$  = koefisien dispersi,
  - $A$  = luas tampang sungai,
- ( $\bar{c}$ ,  $\bar{U}$ ,  $A$ , dan  $D_x$  adalah fungsi  $x$ , dan  $t$ ).

Dengan menganggap  $\bar{U}$  terdiri dari  $\bar{U}_T$  yaitu kecepatan gerak pasang-surut dan  $V_f$  yaitu kecepatan akibat debit dari hulu sungai, dan sumbu  $x$  positif ke arah hulu, maka:

$$\bar{U} = \bar{U}_T - V_f \dots \dots \dots (2.)$$

Substitusi persamaan (1.) dan (2.) pada suatu periode pasang-surut akan diperoleh :

$$\frac{\delta \bar{c}}{\delta t} + \bar{U}_T \frac{\delta \bar{c}}{\delta x} - V_f \frac{\delta \bar{c}}{\delta x} = \frac{1}{\tilde{A}} \frac{\delta}{\delta x} (\tilde{A} D_x \frac{\delta \bar{c}}{\delta x}) \dots \dots \dots (3.)$$

Untuk penyederhanaan  $V_f$  dapat dianggap konstan selama satu siklus pasang-surut :

$$\int_0^T \frac{\delta \bar{c}}{\delta t} dt = 0 \text{ dan } \int_0^T U_T \frac{\delta \bar{c}}{\delta t} dt = 0$$

Jika ditinjau rata-rata dalam siklus pasang-surut, persamaan (3.) dapat disederhanakan menjadi:

$$-V_f \frac{d \bar{c}}{d x} = \frac{1}{\tilde{A}} \frac{d}{d x} (\tilde{A} D_x^T \frac{d \bar{c}}{d x}) \dots \dots (4.)$$

atau :

$$-Q_f \frac{d \bar{c}}{d x} = \frac{d}{d x} (\tilde{A} D_x^T \frac{d \bar{c}}{d x}) \dots \dots \dots (5.)$$

Dari persamaan (5.) dapat diperoleh hubungan kegraman di suatu tempat terhadap kegraman di muara sebagai berikut:

$$I_n \bar{c} = I_n \bar{c}_0 - \frac{x \cdot Q_f}{\tilde{A} D_x^T} \dots \dots \dots (6.)$$

dengan :

- $\bar{c}$  : kegraman pada tampang yang ditinjau (%),
- $c_0$  : kegraman di muara (%),
- $x$  = jarak tampang yang ditinjau dari muara (m),
- $\tilde{A}$  = luas tampang rata-rata tampang yang ditinjau (m<sup>2</sup>),
- $Q_f$  = debit sungai yang berasal dari hulu (m<sup>3</sup>/dt)
- $D_x^T$  = koefisien dispersi tampang yang ditinjau pada suatu siklus pasang-surut (m<sup>2</sup>/dt),
- $\sim$  = tanda yang mewakili keadaan rata-rata dalam satu siklus pasang-surut.

Dengan persamaan (6.) jika kita mengetahui kadar garam di muara, dan debit sungai dari hulu, maka dapat dihitung kadar garam di suatu tempat berjarak  $x$  dari muara dengan lebih dahulu memperkirakan luas tampang rata-rata dan koefisien dispersi pada tampang tersebut.

Oleh Van der Burg diberikan hubungan:

- a. kadar garam di muara terhadap kadar garam di lepas pantai,

$$\bar{c}_0 = c_z \cdot e^{(-k_z \cdot \alpha)} \dots \dots \dots (7.)$$

dengan

- $c_z$  = kadar garam di lepas pantai (%),
- $\alpha$  = "flood number",
- $T$  = periode pasang-surut (detik),
- $P_T$  = "tidal prism",
- $K_2$  = konstanta (dari pengamatan),

- b. koefisien dispersi di  $x$  dan di muara,

$$D_x^T = D_0^T - K_1 \int_0^x V_f \cdot dx \dots \dots (8.)$$

c. koefisien dispersi di muara,

$$D_o^T = K_o \sqrt{(\alpha \cdot g) \cdot d^{1,5}} \dots \dots \dots (9)$$

dengan

- g : percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>),
- d : kedalaman rata-rata di muara (m),
- K<sub>o</sub> & K<sub>1</sub> : konstanta (dari pengamatan).

### III. Pengumpulan Data

#### 1. Variabel yang Diperlukan

Untuk dapat melakukan hitungan dengan persamaan-persamaan dari beberapa sumber pustaka di atas, tiap variabel yang diperlukan harus diperoleh lebih dahulu. Variabel tersebut dikelompokkan menjadi sebagai berikut ini.

##### a. Data Topografi

Data ini berkaitan dengan variabel-variabel seperti A, x, d, dan yang tidak langsung dipakai untuk menghitung debit sungai.

##### b. Data Pasang-surut

Pasang-surut diukur di muara maupun di sepanjang sungai. Data ini diperlukan untuk merata-ratakan beberapa variabel yang terpengaruh pasang-surut.

##### c. Data Arus Sungai

Arus sungai dalam satu siklus pasang-surut perlu diketahui, sehingga dapat diperoleh fluktuasi debit di sungai maupun di muara. Data ini terutama diperlukan untuk menghitung "tidal prism", dan "flood number".

##### d. Data Kegaraman

Variabel yang diperlukan adalah kegaraman rata-rata yang mewakili keadaan kegaraman di suatu tempat pada satu siklus pasang-surut.

#### 2. Daerah Pengamatan

Pengamatan dilakukan pada daerah yang meliputi muara sungai, sepanjang lembah sungai Juana sampai lebih kurang 25 Km ke arah hulu. Pengukuran pasang-

surut, arus sungai, dan kegaraman dilakukan di tiga tempat, yaitu di daerah muara, di ujung, dan di bagian tengah daerah pengamatan. Lihat gambar 1.

#### 3. Pelaksanaan Penelitian

Pengukuran lapangan dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama pada musim kemarau, dan tahap kedua pada musim hujan. Pengukuran topografi hanya dilakukan pada pengukuran tahap pertama. Pada setiap tahap diamati keadaan kegaraman daerah hilir sungai ini pada saat "neap tide", dan "spring tide".

Berikut ini adalah uraian pelaksanaan tiap jenis pengukuran yang dilakukan.

##### a. Pengukuran Topografi

Alat yang dipakai adalah teodolit tipe "Wild To", dan "T2" lengkap dengan alat-alat pendukungnya. Pengukuran dilaksanakan dengan membuat poligon tertutup, dan dilakukan pengikatan dengan BM yang ada (SPB-JRT). Dengan poligon tersebut diikatkan patok-patok tanda di sepanjang tepi sungai pada tempat yang diukur bentuk tampang melintangnya. Sedangkan pengukuran tampang sungainya dilakukan dengan alat "echo sounder" yang ditempatkan di atas perahu. Pengukuran tampang sungai dilakukan secara simultan dengan pengukuran pasang-surut.

##### b. Pengukuran Pasang-surut

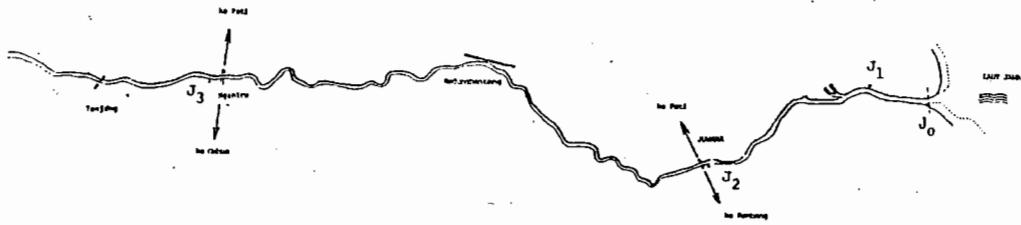
Ada tiga lokasi pengamatan dipasang papan duga. Pembacaan tinggi muka air pada papan duga dicatat, dan hal ini dilakukan terus menerus pada tiap jam selama dilakukan pengukuran tampang sungai, arus sungai, dan kegaraman.

##### c. Pengukuran Arus

Alat yang dipakai adalah pengukur arus tipe CM-1B Toho Dentan yang termasuk jenis berbalang-balang dengan sumbu putar searah dengan arah aliran arus yang diukur. Pada tiap tampang diukur beberapa titik, sehingga dapat dihitung debit pada tampang tersebut dengan lebih teliti. Pengukuran dilakukan pada tiap jam selama satu siklus pasang-surut.

##### d. Pengukuran Kegaraman

Kegaraman diukur pada saat puncak pasang, dan pada saat surut terendah di sepanjang sungai yang terpengaruh



Gambar 1. LOKASI PENJUKURAN PASANG SURUT (J<sub>1</sub>, J<sub>2</sub> dan J<sub>3</sub>)

TABEL 1 HITUNGAN KEADAAN KEGARANAH AIR SUNGAI

KETERANGAN	2-3 Okt 1985		5-6 Okt 1985	
	J2	J3	J2	J3
$c_o$ (‰)	32,935		27,32	
$x$ (m)	7,800	21,850	7,800	21,950
$B$ (m)	48	38	48	38
$h$ (m)	4,31	3,025	4,29	3,016
$A$ (m <sup>2</sup> )	206,88	114,95	234,44	114,612
$z$ (‰)	23,185	0,138	15,76	1,475
$D_x^T$ (m <sup>2</sup> /dt)	533,81	99,33	234,44	2,47
$Q_f$ (m <sup>3</sup> /dt)	4,97	2,85	3,4	0,182
$Vol_f$ (m <sup>3</sup> )	428,990	246,515	293,760	16,415
$P_T$ (m <sup>3</sup> )	465,005	205,618,5	926,220	562,317,50
$\alpha$	0,922	0,984	0,317	0,029
$10 \log D_f$	2,727	1,997	2,370	0,393
$10 \log$	-0,035	-7,10 <sup>-3</sup>	-0,49	-1,535
$u_o$ (m/dt)	-0,176	-0,191	-0,24	-0,229
$F_o^2$	0,00073		0,00073	
$E$	0,00079		0,0043	
$K_o$	26		26	
$\alpha_o$	0,9		0,3	
$D_o^T$ (m <sup>2</sup> /dt)	218,51		126,16	
$(d=2) \log D_o^T$	2,339		2,101	
Hlt. dari muara				
$V_f$ (m/dt)	0,024	0,025	0,0145	0,0016
$\frac{\Delta D}{\Delta x}$ (m/dt)	-0,0537	-0,0389	-0,0269	-0,0201
$K_1$	2,24	1,56	1,855	12,58
Hitungan dari J2:				
$V_f$ (m/dt)	0,0245		0,008	
$\frac{\Delta D}{\Delta x}$	-0,0307		-0,0164	
$K_1$	1,25		2,05	

TABEL 2 HITUNGAN  $K_1$

Tanggal	Simbol	J2	J3
2-3 Okt 1985	$Q_f$ (m <sup>3</sup> /dt)	4,97	2,85
	$K$ (m <sup>2</sup> )	206,88	114,95
	$V_f$ (m/dt)	0,024	0,025
	$\bar{V}_f$ (m/dt)		0,0245
	$D_x^T$ (m <sup>2</sup> /dt)	533,81	49,33
	$\Delta D_x^T$ (m <sup>2</sup> /dt)		434,48
	$x$ (m)	7,800	21,950
	$-\Delta x$ (m)		14,150
	$D_o^T$ (m <sup>2</sup> /dt)		1,71
	$\log D_o^T$		952,84
5-6 Okt 1985	$Q_f$ (m <sup>3</sup> /dt)	3,4	0,182
	$K$ (m <sup>2</sup> )	234,44	114,612
	$V_f$ (m/dt)	0,0145	0,0016
	$\bar{V}_f$ (m/dt)		0,008
	$D_x^T$ (m <sup>2</sup> /dt)	234,44	
	$D_x^T$ (m <sup>2</sup> /dt)		231,97
	$x$ (m)	7,800	21,950
	$-\Delta x$ (m)		14,150
	$\alpha$		0,377
	$D_o^T$ (m <sup>2</sup> /dt)		444,29
$\log D_o^T$		2,65	
$\frac{\Delta D}{\Delta x}$ (m/dt)		-0,0164	
$K_1$		2,05	

Tabel 3 HITUNGAN  $K_2$

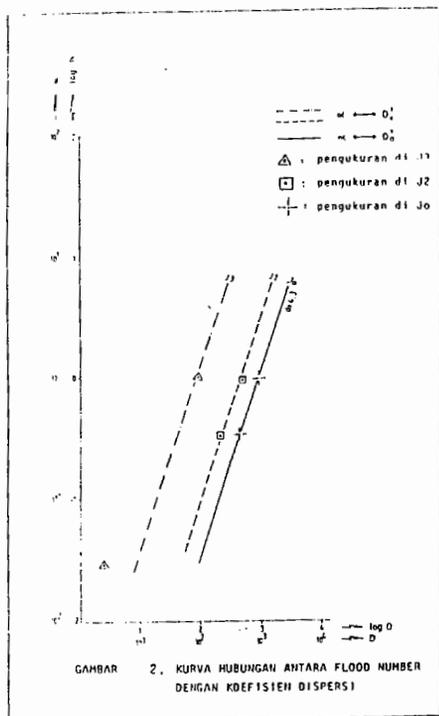
$c_z$ (‰)	$c_o = 27,31$ ‰	$c_o = 32,933$ ‰	$K_2$
	$\alpha = 0,317$	$\alpha = 0,922$	
35	0,783	0,066	0,425

pasang-surut. Dalam satuampang diukur pada beberapa kedalaman. Sedangkan alat yang dipakai adalah salinometer "Beckman".

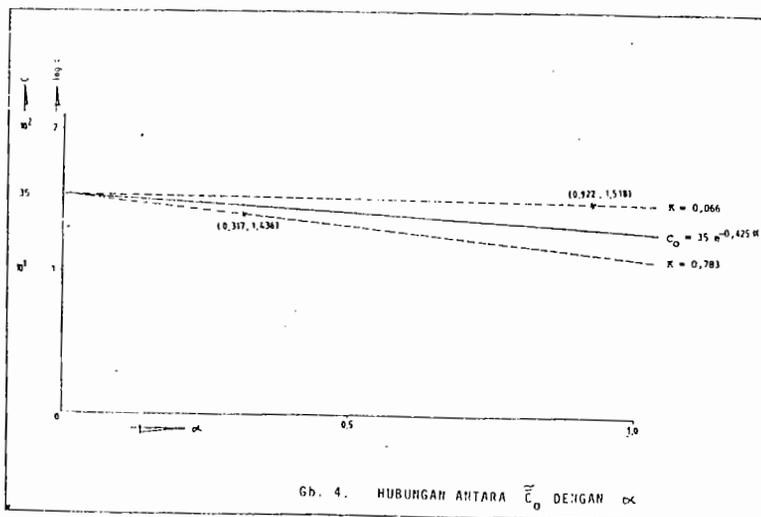
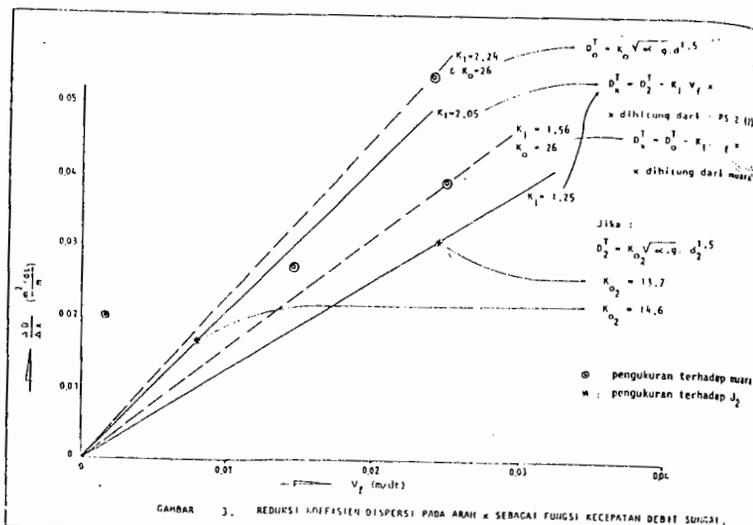
#### 4. Analisis Data

Data yang berhasil dikumpulkan disusun dalam bentuk yang sistematis, dan diperiksa kesesuaiannya. Dalam hal ini dipakai pegangan logika mekanika. Penyimpangan yang besar tidak dipakai, atau dilakukan penyesuaian berdasar keandalan kondisi pengukuran yang telah dilakukan.

Hasil pengukuran kegraman pada tiapampang sungai dirata-rata ke arah vertikal dan kemudian dirata-ratakan antara keadaan pasang dan surut. Hasilnya adalah  $c$  pada tabel 1. Baris pertama tabel tersebut adalah kegraman rata-rata di muara pada satu siklus pasang-surut saat pengukuran. Dengan dasar persamaan (6.) dicari  $D_x^T$  pada pos pengukuran debit (di J2 dan J3) hasilnya dapat dilihat pada baris ke-7.  $D_x^T$  juga merupakan fungsi dari  $\alpha$ . Hubungan ini terlihat pada gambar 2. Grafik ini selanjutnya dapat dipakai untuk memperkirakan  $D_x^T$  pada lokasi tertentu.



Pendekatan lain untuk memperoleh  $D_x^T$  adalah dengan persamaan (8.) dan (9.). Menurut Van der Burg  $K_0$  berharga sekitar 26 (Langeweg, 1976), dan dari tabel 2 baris ke-13 dan ke-26 terlihat nilai-nilai  $K_1$  yang diperoleh. Lihat gambar 3. Sedangkan untuk dapat memakai persamaan (6.) diperlukan  $\bar{c}_0$  pada suatu keadaan yang dipertimbangkan (persamaan (7.)). Oleh karena itu diperlukan  $K_2$ . Pada tabel 3 terlihat bahwa dalam hitungan diperoleh  $K_2 = 0,425$  untuk  $c_z = 35\%$ . Lihat gambar 4.



## IV. Pembahasan

### 1. Hasil Hitungan

Pada debit sungai kecil (2m<sup>3</sup>/dt) terlihat keadaan intrusi air asin sebagai berikut:

Jangkauan (Km)	18	19	20	21
kegaraman (‰)	2,36	0,80	0,10	0,0002

Sedangkan beberapa harga koefisien pada model yang dipakai untuk daerah pengamatan dapat dilihat pada gambar 3 dan 4 ( $K_1 = 1,25 - 2,05$ ; dan  $K_2 = 0,425$ ).

### 2. Perbandingan

Untuk keperluan air minum telah ditetapkan kadar Chlor maksimum yang dibolehkan adalah 850 ppm (0,85‰). Pada debit kecil tersebut terlihat bahwa pada lokasi 18 Km dari muara masih belum memenuhi syarat di atas.

Untuk keperluan pengairan (padi) syarat maksimum yang disebutkan dalam besaran daya hantar listrik berkisar antara 1.750 s/d 2.250  $\mu$  mhos.

Koefisien model hasil hitungan penelitian di Rotterdam Waterway untuk  $K_1 = 0,9$ , dan untuk  $K_2 = 0,5 - 1,0$ .

## V. Kesimpulan

Dari hasil hitungan intrusi air asin tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa jangkauan intrusi diperkirakan se-

besar 20 Km pada musim kemarau. Dan hasil ini akan mewakili keadaan pada masa setelah sungai Serang seluruhnya dikembalikan ke alurnya semula.

Koefisien model yang diperoleh merupakan karakteristik sungai Juana terhadap intrusi air asin yang selanjutnya dapat dipakai untuk memperkirakan jangkauan intrusi pada beberapa kondisi yang diinginkan.

### Daftar Pustaka

1. Abraham G., 1976, Density Current Due to Differences in Salinity, in *Salt Distribution in Estuaries*, Blumenthal K. P. (ed), Versl. Meded. Comm. Hydrol. Onderz. TNO 20, The Hague, Netherlands.
2. Arthur T. Ippen, 1966, *Estuary and Coastline Hydrodynamics*, McGraw Hill Book Company Inc., New York.
3. Ciacio L. L., 1971, *Water and Water Pollution Hand Book*, Volume 1, Marcel Decker Inc.
4. Langeweg F. and J. J. van Weerden, 1976, Empirical Methods of Forecasting Movement of Salt in Estuaries, in *Salt Distribution in Estuaries*, Blumenthal K.P. (ed), Versl. Meded. Comm. Hydrol. Onderz. TNO 20, The Hague, Netherlands.
5. SMEC, 1984, *Design Report Juana Valley Drainage Improvements*, SMEC, Australia.