

**VALIDASI MODEL NUMERIK ARUS SEJAJAR PANTAI
DENGAN MODEL ANALITIK LONGUET-HIGGINS**

The Validation Of Longshore Current Numerical Model With Longuet-Higgins Analytical Model

Ichsan Setiawan
Dosen Jurusan Ilmu Kelautan, FMIPA, UNSYIAH, Banda Aceh
Jl. Syekh Abdul Rauf, Darussalam, Banda Aceh 23111; Email : ichsansetiawan@yahoo.com

ABSTRACT

A numerical model wave induced current known as longshore current was generated by means of finite different explicit scheme approximation. The numerical model was then derived by means of hydrodynamic equation discretization. The forward and central different were applied to time and space derivation, respectively. Meanwhile, analytical model was derived by means of Longuet-Higgins analytical model. Variations of incident wave from 20°-70° were implemented for both models. The numerical model was validated by means of Longuet-Higgins analytical model (1970). The result of simulated wave induced current model indicated that maximum velocity is approximately consistent to Longuet-Higgins analytical model with the highest and least differences of 3.4 % and 1.4 % or mean differences of 1.9 % for the six incident wave scenarios.

Keywords : Longshore current, numerical model, analytical model.

PENDAHULUAN

Arus sejajar pantai erat kaitan dengan ketergantungan gelombang datang yang menghampiri pantai. Profil arus sejajar pantai dirumuskan dengan pendekatan konsep stress radiasi yang bergantung atas keberadaan gelombang bersamaan dengan gaya tekanan dan pencampuran lateral.

Penelitian ini membahas kondisi arus sejajar pantai dengan menggunakan simulasi model numerik yang divalidasi dengan model analitik. Model numerik arus tersebut diselesaikan dengan metoda numerik beda hingga eksplisit pada kasus perairan pantai lurus dengan kemiringan konstan.

Model Hidrodinamika

Simulasi model arus akibat gelombang digunakan persamaan kekekalan momentum dan kekekalan massa yang dintegrasikan terhadap kedalaman yang dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{C_f \bar{u} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}}{(h + \zeta)} + R_x + M_x \tag{1}$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{C_f \bar{v} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2}}{(h + \zeta)} + R_y + M_y \tag{2}$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{u}(h + \zeta))}{\partial x} + \frac{\partial (\bar{v}(h + \zeta))}{\partial y} = 0 \tag{3}$$

dengan t adalah waktu, (x,y) koordinat katesian dalam bidang horizontal, (\bar{u}, \bar{v}) komponen kecepatan arus, (C_f) koefisien gesekan dasar, (R_x, R_y) stress radiasi dalam arah x dan y , g percepatan gravitasi, h kedalaman perairan, dan ζ adalah elevasi muka air.

Perubahan momentum yang disebabkan oleh pusaran arus turbulen yang cenderung menyebar karena pengaruh gaya gelombang melebihi daerah ketajaman gelombang pecah, maka pencampuran lateral dapat dituliskan sebagai berikut (Horikawa 1988):

$$M_x = \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) \tag{4}$$

$$M_y = \frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\varepsilon \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right) \tag{5}$$

dengan:

$\varepsilon = Nl \sqrt{g(h + \zeta)}$ berdasarkan hasil

penelitian Longuet-Higgins (1970)

N = konstanta yang nilainya kurang dari 0,016

l = jarak ke lepas pantai $= (h + \zeta) / \tan \beta$

$\tan \beta$ = kemiringan dasar rata-rata

Komponen stress radiasi (R_x dan R_y) didefinisikan sebagai fluks momentum yang disebabkan keberadaan pergerakan gelombang dan mempunyai dimensi sama dengan fluks momentum. Fluks momentum ini terbentuk karena dua faktor, yaitu kecepatan partikel air yang disebabkan oleh gelombang dan tekanan.

Jika gelombang datang mendekati pantai dengan membentuk sudut terhadap garis pantai, maka gaya radiasinya adalah sebagai berikut (van Rijn, 1990) :

$$S_{xx} = \frac{\bar{E}}{2} (2n-1) + \bar{E}n \cos^2 \theta \quad (6)$$

$$S_{yy} = \frac{\bar{E}}{2} (2n-1) + \bar{E}n \sin^2 \theta \quad (7)$$

$$S_{xy} = \frac{\bar{E}}{2} n \sin 2\theta \quad (8)$$

dengan \bar{E} adalah $\frac{1}{8} \rho g H^2$.

Gaya yang menyebabkan terjadinya arus sejajar pantai adalah sebanding dengan gradien stress radiasi (Bowen, 1969 dalam Longuet-Higgins, 1970):

$$R_x = \frac{1}{\rho(d+\bar{\eta})} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) \quad (9)$$

$$R_y = \frac{1}{\rho(d+\bar{\eta})} \left(\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) \quad (10)$$

Model Analitik Longuet-Higgins

Profil arus sejajar pantai, sebagai fungsi jarak dari garis setelah gelombang pecah (*swash*), dihitung dengan menggunakan konsep stress radiasi bersamaan dengan viskositas eddy horizontal μ_e dari bentuk $\mu_e = \rho N x (gh)^{1/2}$, dengan ρ adalah densitas, x adalah jarak lepas pantai, g adalah percepatan gravitasi berat, h adalah kedalaman lokal rata-rata, dan N adalah konstanta Numerik. Asumsi ini memberikan munculnya kewanan profil arus yang mempunyai bentuk tergantung pada parameter tak berdimensi $P = (\pi/2)(sN/\alpha C_f)$, dimana s menyatakan kemiringan dasar, α adalah konstanta karakteristik dari gelombang pecah $\alpha = 0,4$, dan C_f adalah koefisien drag di dasar. Profil arus dari bentuk analitik sederhana maksimum pada daerah gelombang pecah dan cenderung nol pada setelah garis gelombang pecah. Perbandingan dengan eksperimen laboratorium menunjukkan persetujuan baik jika koefisien drag $C_f = 0,010$. Profil teoritis adalah tidak sensitif terhadap nilai eksak P , tetapi hasil ekperimental menyatakan bahwa P tidak pernah melebihi nilai kritis $2/5$.

Persamaan pengatur arus sejajar pantai tak berdimensi (V) dalam model analitik yang dikembangkan oleh Longuet-Higgins adalah:

$$P \frac{\partial}{\partial X} \left(X^{5/2} \frac{\partial V}{\partial X} \right) - X^{1/2} V = \begin{cases} -X^{3/2} & 0 < X < 1 \\ 0 & 1 < X < \infty \end{cases} \quad (11)$$

dengan $V = v/v_0$, $X = x/x_b$ dan

$$v_0 = \frac{5\pi}{8} \frac{\alpha}{C_f} (gh_B)^{1/2} s \sin \theta_B \quad (12)$$

dengan v kecepatan arus sejajar pantai, v_0 kecepatan arus sejajar pantai di garis gelombang pecah, x_B adalah panjang dari daerah gelombang pecah, s kemiringan dasar, θ_B sudut gelombang di garis pecah dan N adalah konstanta tak berdimensi yang berhubungan dengan percampuran lateral. Penyelesaian persamaan (11) diperoleh:

a) untuk $P \neq 2/5$

$$V = \begin{cases} B_1 X^{p_1} & 0 < X < 1 \\ B_2 X^{p_2} & 1 < X < \infty \end{cases} \quad (13)$$

dimana:

$$p_1 = -\frac{3}{4} + \left(\frac{9}{16} + \frac{1}{P} \right)^{1/2}, \quad p_2 = -\frac{3}{4} - \left(\frac{9}{16} + \frac{1}{P} \right)^{1/2}$$

$$B_1 = \frac{p_2 - 1}{p_1 - p_2} A, \quad B_2 = \frac{p_1 - 1}{p_1 - p_2} A$$

$$A = \frac{1}{\left(1 - \frac{5}{2}P\right)}$$

b) untuk $P = 2/5$

$$V = \begin{cases} \frac{10}{49} X - \frac{5}{7} X \ln X & 0 < X < 1 \\ \frac{10}{49} X^{-5/2} & 1 < X < \infty \end{cases} \quad (14)$$

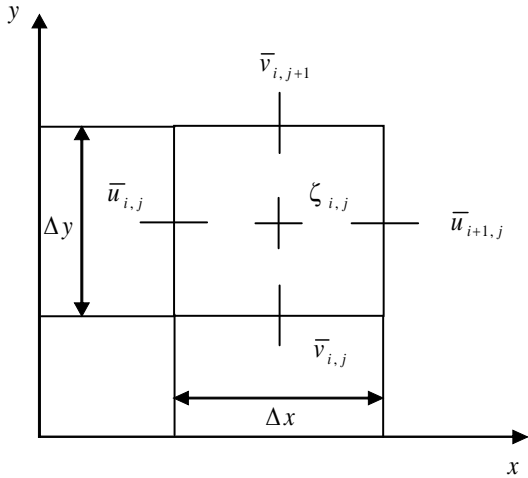
METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan dengan melakukan diskritisasi persamaan hidrodinamika (1)-(3) untuk simulasi model numerik arus. Sedangkan untuk mensimulasi arus analitik dilakukan pendekatan model analitik Longuet-Higgins.

Diskritisasi persamaan hidrodinamika (1)-(3) digunakan metoda eksplisit beda pusat untuk turunan terhadap ruang dan beda maju untuk turunan terhadap waktu. Kestabilan numerik pada metoda ini ditentukan oleh kriteria stabilitas:

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{\Delta y}{\Delta t} > \left\{ |U| + \sqrt{g(h+\zeta)} \right\}_{\max} \quad (15)$$

Skema diskritisasi untuk komponen kecepatan $\bar{u}_{i,j}, \bar{v}_{i,j}$ dan $\zeta_{i,j}$ diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema Diskritisasi $\bar{u}_{i,j}, \bar{v}_{i,j}$ dan $\zeta_{i,j}$

Dengan menggunakan metoda beda hingga eksplisit, diperoleh hasil diskritisasi persamaan hidrodinamika sebagai berikut:

$$\frac{\zeta_{i,j}^{n+1} - \zeta_{i,j}^n}{\Delta t} + \frac{(Dx_{i+1,j} \bar{u}_{i+1,j}^n - Dx_{i,j} \bar{u}_{i,j}^n)}{\Delta x} + \frac{(Dy_{i,j+1} \bar{v}_{i,j+1}^n - Dy_{i,j} \bar{v}_{i,j}^n)}{\Delta y} = 0 \quad (16)$$

dengan:

$$Dx_{i,j} = \frac{1}{2} (h_{i,j} + \zeta_{i,j}^n + h_{i-1,j} + \zeta_{i-1,j}^n)$$

$$Dy_{i,j} = \frac{1}{2} (h_{i,j} + \zeta_{i,j}^n + h_{i,j+1} + \zeta_{i,j+1}^n)$$

Persamaan momentum dalam arah-x:

$$\begin{aligned} & \frac{\bar{u}_{i,j}^{n+1} - \theta \bar{u}_{i,j}^n}{\Delta t} + \frac{(1-\theta)}{4} (\bar{u}_{i+1,j}^n + \bar{u}_{i-1,j}^n + \bar{u}_{i,j+1}^n + \bar{u}_{i,j-1}^n) + \\ & \frac{[(\bar{u}_{i+1,j}^n + \bar{u}_{i,j}^n)^2 - (\bar{u}_{i,j}^n + \bar{u}_{i-1,j}^n)^2]}{8\Delta x} + \bar{v}_{i,j}^{*n} \frac{(\bar{u}_{i,j+1}^n - \bar{u}_{i,j-1}^n)}{2\Delta y} \\ & = -g \frac{(\zeta_{i,j}^n - \zeta_{i-1,j}^n)}{\Delta x} + M_{x_{i,j}} - \frac{C_f}{H_{x_{i,j}}} \bar{u}_{i,j}^n \sqrt{\bar{u}_{i,j}^{*n2} + \bar{v}_{i,j}^{*n2}} - R_{x_{i,j}} \end{aligned} \quad (17)$$

dengan:

$$\bar{v}_{i,j}^{*n} = \frac{1}{4} (\bar{v}_{i,j}^n + \bar{v}_{i,j+1}^n + \bar{v}_{i-1,j}^n + \bar{v}_{i-1,j+1}^n)$$

$$M_{x_{i,j}} = \frac{\{\varepsilon_{i,j} (\bar{u}_{i+1,j}^n - \bar{u}_{i,j}^n) - \varepsilon_{i-1,j} (\bar{u}_{i,j}^n - \bar{u}_{i-1,j}^n)\}}{\Delta x^2}$$

$$+ \frac{\{\varepsilon_{*i,j+1} (\bar{u}_{i,j+1}^n - \bar{u}_{i,j}^n) - \varepsilon_{*i,j} (\bar{u}_{i,j}^n - \bar{u}_{i,j-1}^n)\}}{\Delta y^2}$$

$$\varepsilon_{*i,j} = \frac{1}{4} (\varepsilon_{i,j} + \varepsilon_{i-1,j} + \varepsilon_{i,j+1} + \varepsilon_{i-1,j+1})$$

$$R_{x_{i,j}} = \frac{1}{\rho(H_{x_{i,j}})} \left\{ \frac{S_{x_{i,j}} - S_{x_{i-1,j}}}{\Delta x} + \frac{S_{x_{i,j+1}} + S_{x_{i,j-1}} - S_{x_{i,j}} - S_{x_{i-1,j-1}}}{2\Delta y} \right\}$$

$$H_{x_{i,j}} = (h_{i,j} + \zeta_{i,j}^n + h_{i-1,j} + \zeta_{i-1,j}^n) / 2$$

Persamaan momentum dalam arah-y:

$$\begin{aligned} & \frac{\bar{v}_{i,j}^{n+1} - \theta \bar{v}_{i,j}^n}{\Delta t} + \frac{(1-\theta)}{4} (\bar{v}_{i,j+1}^n + \bar{v}_{i,j-1}^n + \bar{v}_{i+1,j}^n + \bar{v}_{i-1,j}^n) + \\ & \frac{\bar{u}_{i,j}^{*n} (\bar{v}_{i+1,j}^n - \bar{v}_{i-1,j}^n)}{2\Delta x} + \frac{[(\bar{v}_{i,j}^n + \bar{v}_{i,j+1}^n)^2 - (\bar{v}_{i,j}^n + \bar{v}_{i-1,j}^n)^2]}{8\Delta y} \\ & = -g \frac{(\zeta_{i,j}^n - \zeta_{i,j-1}^n)}{\Delta y} + M_{y_{i,j}} - \frac{C_f}{H_{y_{i,j}}} \bar{v}_{i,j}^n \sqrt{\bar{u}_{i,j}^{*n2} + \bar{v}_{i,j}^{*n2}} - R_{y_{i,j}} \end{aligned} \quad (18)$$

dengan, θ = parameter pada metode selisih hingga jenis *lax-diffusive*. Nilai θ harus ditentukan dengan hati-hati sehingga difusi menjadi realistik.

$$\bar{u}_{i,j}^{*n} = \frac{1}{4} (\bar{u}_{i,j}^n + \bar{u}_{i+1,j}^n + \bar{u}_{i,j-1}^n + \bar{u}_{i+1,j-1}^n)$$

$$M_{y_{i,j}} = \frac{\{\varepsilon_{i,j} (\bar{v}_{i,j+1}^n - \bar{v}_{i,j}^n) - \varepsilon_{i,j-1} (\bar{v}_{i,j}^n - \bar{v}_{i,j-1}^n)\}}{\Delta x^2}$$

$$+ \frac{\{\varepsilon_{*i+1,j} (\bar{v}_{i+1,j}^n - \bar{v}_{i,j}^n) - \varepsilon_{*i,j} (\bar{v}_{i,j}^n - \bar{v}_{i-1,j}^n)\}}{\Delta y^2}$$

$$\varepsilon_{*i,j} = \frac{1}{4} (\varepsilon_{i,j} + \varepsilon_{i,j-1} + \varepsilon_{i-1,j} + \varepsilon_{i-1,j-1})$$

$$R_{y_{i,j}} = \frac{1}{\rho(H_{y_{i,j}})} \left\{ \frac{S_{y_{i,j}} - S_{y_{i,j-1}}}{\Delta y} + \frac{S_{y_{i+1,j}} + S_{y_{i,j+1}} - S_{y_{i,j}} - S_{y_{i-1,j+1}}}{2\Delta x} \right\}$$

$$H_{y_{i,j}} = (h_{i,j} + \zeta_{i,j}^n + h_{i,j-1} + \zeta_{i,j-1}^n) / 2$$

Model numerik arus diuji dengan model arus analitik Longuet-Higgins digunakan panjang model sejajar pantai 245 m dan lebar model tegak lurus pantai 750 m dengan koefisien gesekan dasar $C_f = 0,01$, konstanta percampuran lateral $N = 0,015$, $\Delta x = 5$ m, $\Delta y = 5$ m, dan selang waktu $\Delta t = 0,01$ detik. Data gelombang yang digunakan adalah tinggi gelombang di perairan dalam $H_o = 0,5$ m, periode gelombang, $T = 3$ detik, kemiringan pantai $0,02$ dan sudut datang gelombang dilaut 20^0-70^0 terhadap tegak lurus pantai. Kemudian cuplik data tinggi gelombang dan kecepatan arus pada tengah domain model dari jarak *offshore* sampai *onshore*. Sedangkan Perhitungan arus analitik sejajar pantai diselesaikan menggunakan model analitik Longuet-Higgins (1970).

Nilai awal yang diterapkan pada simulasi model numerik hidrodinamika adalah nol untuk elevasi dan kecepatan di semua grid. Adapun Syarat batas terbuka dibagi atas kondisi radiasi dan gradien arah

normal yang dapat dituliskan dalam persamaan Syarat Batas (Chapman, 1985):

1. Untuk kondisi radiasi

$$\phi_B^{n+1} = \phi_B^n - \mu (\phi_B^n - \phi_{B\mp 1}^n) \text{ dengan } \mu = c \frac{\Delta t}{\Delta x}, \quad c = (g h)^{\frac{1}{2}}$$

2. Untuk gradien arah normal

$$\phi_B^{n+1} = \phi_{B\mp 1}^{n+1}$$

dimana ϕ menyatakan variabel bebas.

Syarat batas yang diterapkan pada model dibatas terbuka dengan memberikan syarat batas kondisi radiasi yang dirincikan sebagai berikut:

- untuk elevasi ζ dikiri, kanan, atas dan bawah pada batas terbuka
- untuk komponen kecepatan \bar{u} di kiri dan kanan pada batas terbuka
- untuk komponen kecepatan \bar{v} di atas dan bawah pada batas terbuka

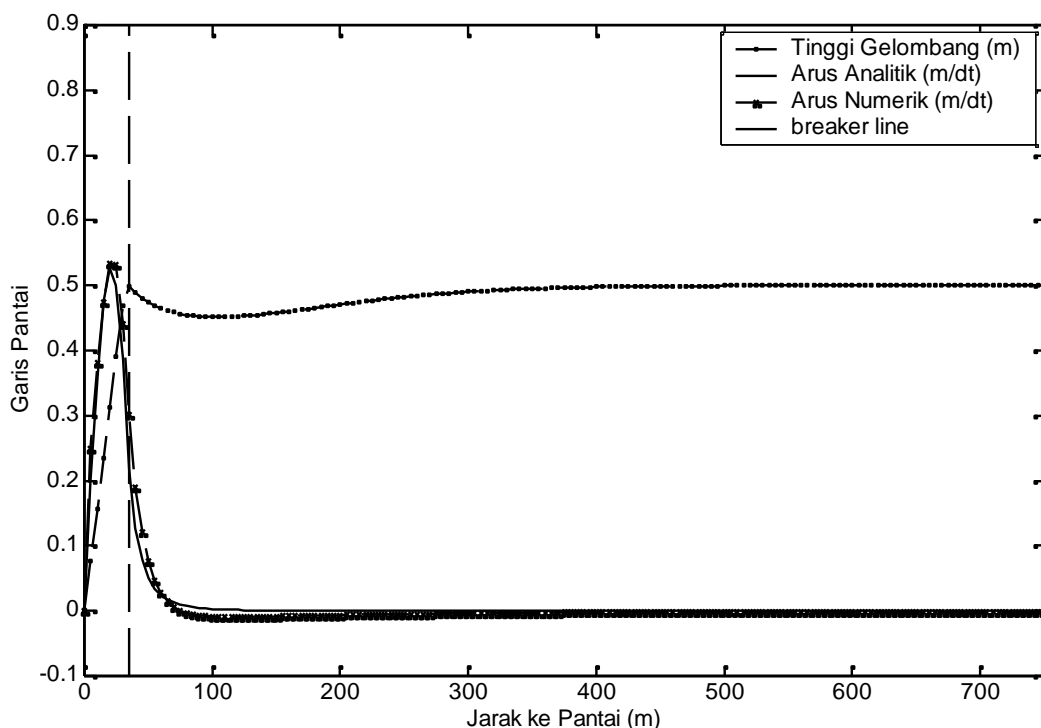
Selanjutnya memberikan syarat batas gradien kecepatan terhadap arah normal untuk komponen kecepatan \bar{u} dikiri dan dikanan pada batas terbuka, sedangkan untuk komponen kecepatan \bar{v} diberikan di atas dan dibawah pada batas terbuka. Dan juga

untuk batas tertutup diberikan komponen kecepatan arah normal adalah sama dengan nol.

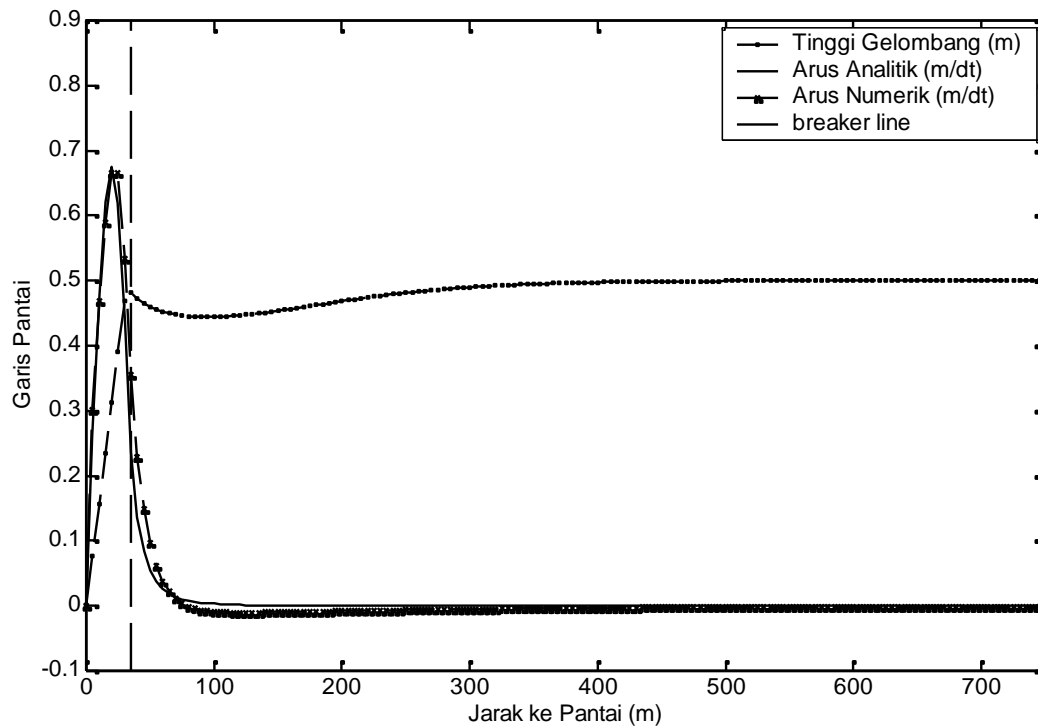
Model numerik arus yang diuji dengan model analitik Longuet-Higgins disimulasikan sampai mencapai keadaan tunak, sehingga diperoleh hasil yang ditunjukkan pada Gambar 2 - 7.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

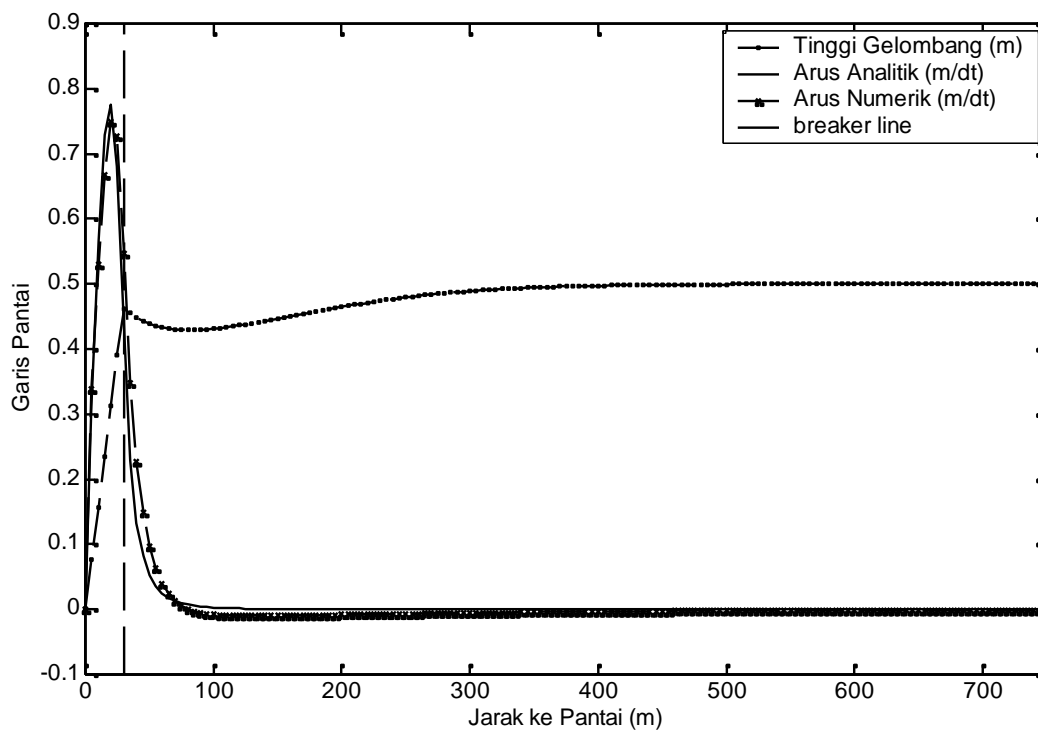
Analisis hasil simulasi model hidrodinamika yaitu arus sejajar pantai dianalisis dan dibandingkan dengan model analitik. Hasil model arus Gambar 2-7 menunjukkan bahwa kecepatan arus maksimum akan terjadi sesaat setelah gelombang pecah kemudian kecepatannya semakin berkurang menuju garis pantai dan nol di garis pantai. Sementara kecepatan arus sebelum pecah lebih kecil dan semakin kelaut dalam, kecepatannya bertambah kecil. Hasil perbandingan kecepatan maksimum arus sejajar pantai antara analitik Longuet-Higgins dengan hasil numerik yang terjadi di daerah sesaat gelombang pecah menunjukkan perbedaan terbesar 3,4 % dan perbedaan terkecil 1,4% atau perbedaan rata-rata 1,9% untuk 6 skenario variasi sudut gelombang datang (Tabel 1).



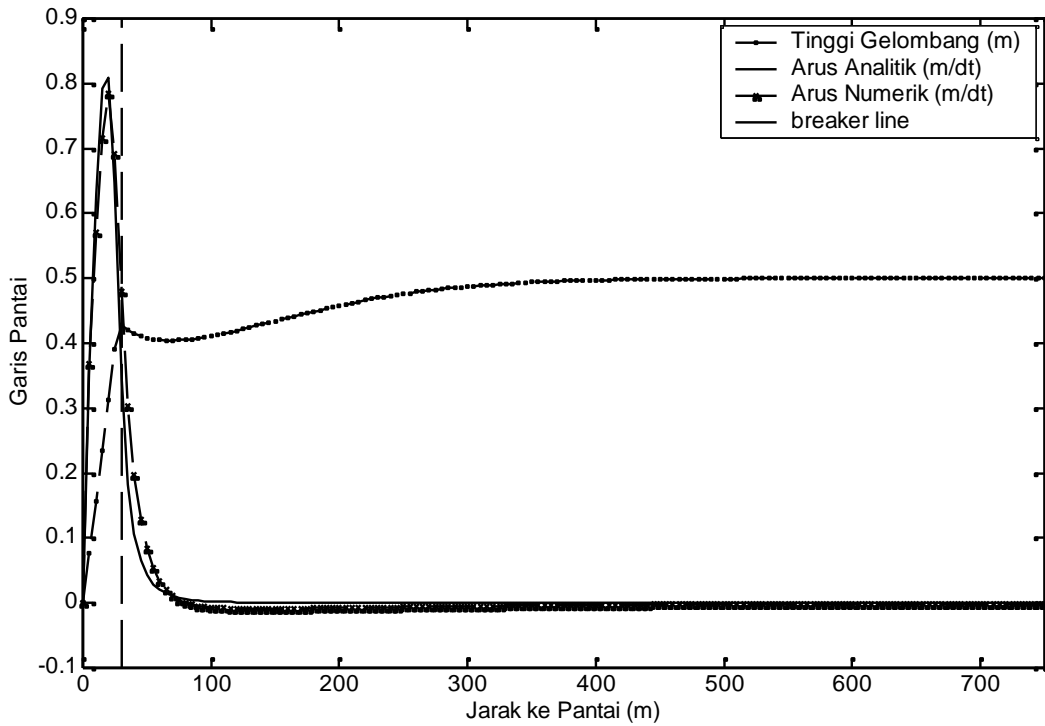
Gambar 2. Grafik distribusi tinggi gelombang, kecepatan arus numerik dan kecepatan arus analitik Longuet-Higgins sejajar pantai terhadap jarak ke garis pantai dengan sudut gelombang datang $\theta_0=20^0$



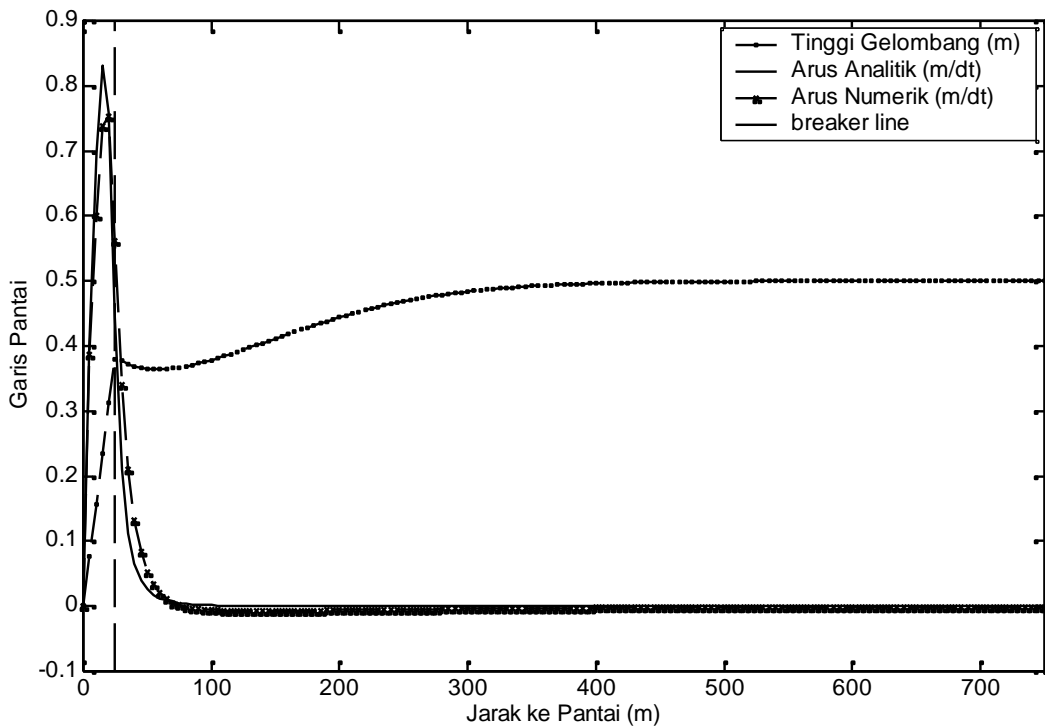
Gambar 3. Grafik distribusi tinggi gelombang, kecepatan arus numerik dan kecepatan arus analitik Longuet-Higgins sejajar pantai terhadap jarak ke garis pantai dengan sudut gelombang datang $\theta_0=30^0$



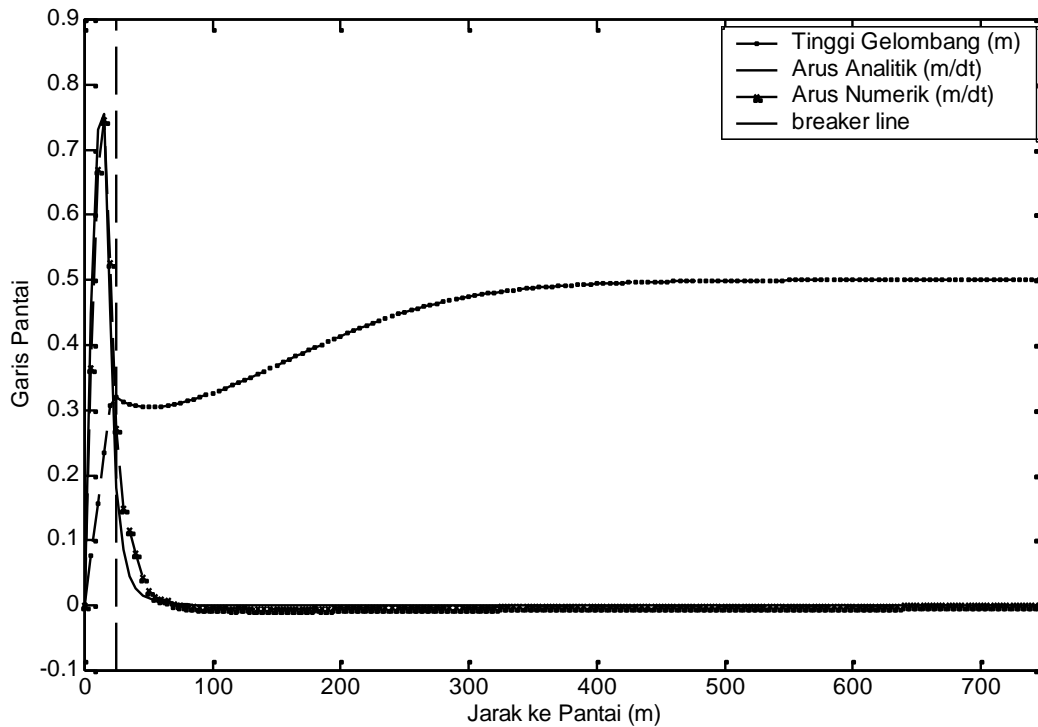
Gambar 4. Grafik distribusi tinggi gelombang, kecepatan arus numerik dan kecepatan arus analitik Longuet-Higgins sejajar pantai terhadap jarak ke garis pantai dengan sudut gelombang datang $\theta_0=40^0$



Gambar 5. Grafik distribusi tinggi gelombang, kecepatan arus numerik dan kecepatan arus analitik Longuet-Higgins sejajar pantai terhadap jarak ke garis pantai dengan sudut gelombang datang $\theta_0=50^0$



Gambar 6. Grafik distribusi tinggi gelombang, kecepatan arus numerik dan kecepatan arus analitik Longuet-Higgins sejajar pantai terhadap jarak ke garis pantai dengan sudut gelombang datang $\theta_0=60^0$



Gambar 7. Grafik distribusi tinggi gelombang, kecepatan arus numerik dan kecepatan arus analitik Longuet-Higgins sejajar pantai terhadap jarak ke garis pantai dengan sudut gelombang datang $\theta_0=70^0$

Tabel 1. Kecepatan maksimum arus sejajar pantai untuk sudut datang gelombang yang bervariasi terhadap tegak lurus pantai

No.	θ_0	H_0 (m)	T (dt)	v_{max} Analitik (m/dt)	v_{max} Numerik (m/dt)	Persentase Perbandingan
1.	20°	0,5	3	0,526	0,534	1,416
2.	30°	0,5	3	0,675	0,666	-1,379
3.	40°	0,5	3	0,775	0,749	-3,396
4.	50°	0,5	3	0,808	0,784	-2,978
5.	60°	0,5	3	0,759	0,754	-0,680
6.	70°	0,5	3	0,755	0,745	-1,397

Tabel 1 menyatakan bahwa makin besar sudut datang gelombang ($\theta_0=20^{\circ}-50^{\circ}$) maka kecepatan maksimum arus sejajar pantai juga semakin besar, akan tetapi jika sudut datang gelombang terus bertambah ($\theta_0=60^{\circ}-70^{\circ}$) maka kecepatan maksimum arus sejajar pantai akan berkurang.

Gambar 2-7 menunjukkan bahwa kecepatan arus pada tinggi gelombang maksimum lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan arus pada kondisi gelombang sesaat setelah pecah. Peningkatan kecepatan arus tersebut sangat tergantung dari efek setelah sesaat terjadi gelombang pecah yang memberikan besarnya kecepatan arus. Sedangkan kondisi arus mendekati pantai, yaitu pada jarak sekitar 0-3 m menunjukkan bahwa kecepatan arus lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan arus pada kondisi gelombang maksimum. Pengurangan

kecepatan arus ini menggambarkan bahwa energi gelombang semakin berkurang sampai menuju garis pantai.

KESIMPULAN

Bedasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Model numerik arus sejajar pantai dapat disimulasikan dengan model hidrodinamika akibat gelombang.
2. Kecepatan arus maksimum sejajar pantai terjadi sesaat setelah gelombang pecah.
3. Perbandingan model numerik arus dengan model analitik Longuet-Higgins untuk sudut gelombang datang 20^0-70^0 terhadap tegak lurus pantai menunjukkan perbedaan rata-rata sekitar 1,9 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak Dr. rer.nat. Dadang K. Mihardja dan Bapak Dr. Eng. Totok Suprijo (Kelompok Keilmuan Oseanografi ITB) atas bimbingan selama melakukan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Chapman, D. C., 1985, Numerical Treatment of Cross-Shelf Open Boundaries in a Barotropic

Coastal Ocean Model, *Journal of Physical Oceanography*, Volume 15.

Horikawa, K., 1988, *Nearshore Dynamics and Coastal Processes*, University of Tokyo Press.

Longuet-Higgins, M. S., 1970, On the Longshore Currents generated by Obliquely Incident Sea Wave, 2, *Journal of Geophysics, Res.*, 75, this issue.

van Rijn, L.C., 1990, *Principles of Fluid Flow and Surface Waves in Rivers, Estuaries, Seas, and Oceans*, University of Utrecht, Department of Physical Geography.