

**PERUMUSAN GAYA PEMBANGKIT ARUS - ARUS PANTAI
PADA PROSES PENEPIAN OMBAK
BERSIMPANGAN KECIL**

Oleh :

SALAMANG MAMANG

86 03 163



PERMUTAKAAN	24-05-95
Tgl. terbit	-
Am. d. d.	1 (satu)
	Hadiah
	95 08 06 121

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
UJUNG PANDANG**

1994

**PERUMUSAN GAYA PEMBANGKIT ARUS-ARUS PANTAI
PADA PROSES PENEPIAN OMBAK
BERSIMPANGAN KECIL**

Oleh :

**Salamang Mamang
86 03 168**

SKRIPSI

*Untuk melengkapi tugas-tugas dan
memenuhi syarat untuk memperoleh
gelar Sarjana Fisika*

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
UJUNG PANDANG
1994**

**PERUMUSAN GAYA PEMBANGKIT ARUS-ARUS PANTAI
PADA PROSES PENEPIAN OMBAK
BERSIMPANGAN KECIL**

Disetujui Oleh :

Pembimbing Utama



(DR. Dadang Ahmad Suriamihardja)
NIP. 130 878 550

Pembimbing Pertama



(Drs. Arsyad Sumah)
NIP. 130 369 549

Pembimbing Kedua



(Drs. Tasrief S. Aliah)
NIP. 132 010 569

Pada tanggal 7 Desember 1994

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, penulis panjatkan puji dan syukur ke hadirat-Mu ya Allah atas segala taufik, hidayah serta Inayah-Mulah sehingga skripsi ini dapat terwujud, walaupun dalam bentuk yang sangat sederhana.

Skripsi ini dimaksudkan sebagai pelengkap tugas-tugas dan pemenuhan syarat-syarat untuk mencapai jenjang kesarjanaan di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin. Kandungan utamanya adalah gaya pembangkit arus-arus pantai akibat ombak pecah, khususnya perumusan gaya pembangkit arus-arus pantai pada proses penepian ombak bersimpangan kecil.

Dalam rangka perampungan skripsi ini, berbagai pihak telah sangat membantu dalam bentuk sumbang-saran, sehingga skripsi ini terselesaikan, yang tak mungkin disebutkan satu-persatu. Secara khusus penulis menghaturkan hormat dan terima kasih yang setulus-tulusnya atas bimbingan dan dorongan moril kepada para pembimbing penulis. Dalam hal ini dihaturkan terima kasih yang dalam kepada Bapak Drs. Arsyad Sumah dan Bapak Drs. Tasrief S. Aliah yang berkenan memberikan bimbingan dan perhatian yang tulus. Lebih dari pada itu, penulis sangat berhutang budi kepada Bapak DR. Dadang Ahmad Suriamihardja yang telah memberikan

begitu banyak bantuan dan dorongan moral. Untuk ini disampaikan rasa terima kasih yang tak terhingga.

Dalam kesempatan ini pula penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada bapak Drs. Alimuddin Hamzah dan seluruh staf pengajar terutama kepada mereka yang telah memberikan arti dan kesan khusus selama penulis menuntut ilmu pada Jurusan Fisika Universitas Hasanuddin. Selain dari itu, ingin disampaikan terima kasih kepada seluruh sahabat kelompok "Hidrosience", khususnya Haliya Sorsi, Harmawati, Nur Alam serta adikku yang tersayang yang telah rela berbagi suka dan duka selama ini dalam berbagai aktivitas dan kesempatan.

Penghargaan yang sangat pribadi, ingin disampaikan kepada Ayahanda dan Ibunda tercinta serta saudara-saudaraku, atas segala kesabaran dan pengorbanan baik moral maupun materil selama penulis menuntut ilmu.

Sebagai hamba Ilahi tentunya tak akan luput dari kekurangan dan kesalahan. Untuk itu penulis menyadari sepenuhnya bahwa Skripsi ini masih perlu penyempurnaan. Oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan. Harapan penulis semoga apa yang dikerjakan ini dapat memberikan sumbangan bagi perkembangan ilmu pengetahuan

secara umum, khususnya pada bidang Geofisika (*Fisika Laut*) yang diharapkan dalam upaya memahami dan memanfaatkan sumber daya alam, yang pada akhirnya memperkuat keyakinan kita akan kebesaran sang Pencipta alam semesta.

Akhirul-kalam, semoga skripsi ini bermanfaat dalam rangka optimalisasi pemanfaatan laut dengan segala isinya bagi Kawasan Timur Indonesia pada khususnya, dan bagi wilayah Indonesia pada umumnya.

P e n u l i s

Salamang Mamang

SARI BACAAN

Telah ditelusuri perumusan gaya pembangkit arus - arus pantai pada proses penepian ombak bersimpangan kecil di atas kemiringan dasar pantai yang berubah secara perlahan. Perumusannya diturunkan dengan mendiferensialkan tensor tegangan pancar.

Dengan menggunakan lesapan energi ombak yang didekati sebagai pendekatan loncatan hidrolik dengan memasukkan parameter-parameter sistem h (kedalaman) dan H (tinggi ombak), diperoleh bahwa gaya pembangkit arus memiliki nilai yang besar di posisi garis pecah ombak dan berkurang ke arah garis pantai.

Kata Pustaka : *Gaya Pembangkit, Tensor Tegangan Pancar, Garis Pecah Ombak.*

ABSTRACT

The formulation of driving force for the nearshore currents for small amplitude waves along the beach with gently slope has been considered by differensiating the tensor of radiation stress.

Taking into account of dissipative energy of waves those assumed as hydraulic jump, in which some parameters of the system h (depth) and H (wave hight) are simulated, gives result depicting the driving force has a highest value at the breaking line and gradually decreases in the shore-ward.

Key words: Driving force, Tensor of radiation stress, Breaking line.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
SARI BACAAN	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Tujuan Penelitian	3
I.3 Ruang Lingkup	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Potensial Kecepatan	4
II.2 Tegangan Pancar (Radiation Stress)	10
II.3 Gaya Pembangkit (Driving Force)	15
II.4 Lesapan Energi Ombak (Wave Energy Dissipation)	17
BAB III METODE PENELITIAN	19
BAB IV PEMBAHASAN	20
IV.1 Perumusan Gaya Pembangkit Pada Perairan Pantai	20
IV.2 Perumusan Gaya Pembangkit Untuk Pendekatan Air Dangkal	27

IV.3 Gaya Pembangkit (Driving Force)	
Melalui Pendekatan Loncatan Hidrolik	31
BAB V SIMPULAN DAN SARAN	35
V.1 Simpulan	35
V.2 Saran	36
DAFTAR PUSTAKA	37
LAMPIRAN	38

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Laut merupakan bagian dari belahan bumi yang menarik perhatian khusus, baik bagi para ilmuwan, maupun bagi kalangan rekayasawan seiring dengan kemajuan teknologi eksplorasi dan eksploitasi sumber daya alam yang dikandungnya. Semakin besarnya perhatian ini karena terdesak kebutuhan pengetahuan kelautan dalam rangka menyeimbangkan antara upaya eksploitasi dan konservasi sumber-sumber daya alam yang terkandung di zona perairan dalam maupun dangkal. Teknologi eksploitasi sumber-sumber tersebut tidak akan lepas dari pengaruh aksi ombak dan arus yang berada di sekitarnya. Seperti halnya reduksi lahan daratan pantai karena erosi berhubungan dengan proses-proses antara lain : menaiknya permukaan laut, serangan oleh ombak datang, dan terhanyutnya sedimen oleh arus-arus pantai. Dalam rangka mengupayakan kelestariannya, maka diperlukan perhatian yang penuh terhadap dinamika di perairan dangkal agar memperoleh pananggulangan yang bijak secara alami.

Perambatan ombak pada saat memasuki garis tepi pantai, menunjukkan tinggi ombak semakin bertambah, sementara panjang gelombangnya semakin berkurang sehingga menyebabkan terjadinya proses penerjalan ombak. Pada saat keterjalan

ombak mencapai nilai batas tertentu, maka ombak tersebut menjadi tidak stabil dan akhirnya mengalami kerusakan dalam bentuk pemecahan badan ombak.

Kerusakan ombak adalah gejala yang rumit dalam hidrodinamika perairan pantai, selain menimbulkan hempasan dan luapan yang kuat jauh ke daratan pantai juga dapat menyebabkan pengikisan sedimen pantai. Arus yang terjadi setelah perusakan badan ombak yang datang secara menyudut terhadap garis tepi pantai lazim dikatakan sebagai arus susur pantai. Untuk menganalisis kejadian arus ini digunakan konsep tegangan pancar seret, yang didefinisikan sebagai kelebihan fluks momentum yang disebabkan oleh gerak ombak dalam arah susur pantai.

Dalam arah tolak pantai, setelah proses perusakan badan ombak terkadang timbul pula arus, karena sejumlah air akan mengalir kembali ke laut sebagai balasan terhadap arus masa yang menuju tepi pantai, arahnya tegak lurus dengan garis tepi pantai. Arus demikian dinamakan arus tolak pantai (*rip-currents*).

Untuk maksud penelaahan kejadian arus-arus ini diperlukan perumusan gaya pembangkit arus oleh ombak (*wave-induced driving force*) melalui persamaan-persamaan kekakalan massa, momentum dan energi.

I.2 Tujuan Penelitian

Tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini adalah penelusuran langkah-langkah dalam merumuskan gaya pembangkit arus oleh ombak (*Wave-induced Driving Force*) pada arus-arus pantai.

I.3 Ruang Lingkup

Ombak yang ditinjau adalah ombak yang merambat menuju tepi pantai dengan amplitudo kecil, yang akan pecah pada saat memasuki mintakat hempasan. Dalam mintakat ini akan timbul arus-arus yang terbangkit oleh ombak terlepas yang menepi. Dalam penelitian ini hanya ditinjau ombak datang yang bersimpangan kecil pada zona pantai dengan kemiringan dasar yang sangat landai, kedap air, dan kontur kedalamannya paralel dengan garis tepi pantai.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Potensial Kecepatan

Untuk menggambarkan persamaan gerak ombak yang beramplitudo kecil, perlu mengasumsikan bahwa air laut adalah fluida encer dan tak-termampatkan, yang dirumuskan dalam bentuk :

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{u} = 0 \quad (\text{II.1})$$

Selain dari itu kecepatan \vec{u} memenuhi pula sifat irrotasional yang secara matematis berbentuk:

$$\vec{\nabla} \times \vec{u} = 0 \quad (\text{II.2})$$

Oleh karenanya \vec{u} dapat dinyatakan sebagai gradien dari potensial kecepatan Φ , seperti:

$$\vec{u} = \vec{\nabla} \Phi \quad (\text{II.3})$$

Jika persamaan (II.3) disubstitusi ke persamaan (II.1) akan diperoleh persamaan Laplace, yakni:

$$\nabla^2 \Phi = 0 \quad (\text{II.4})$$

Persamaan gerak gelombang dua-dimensi dalam bidang tegak dengan anggapan bahwa ombak merambat ke arah X positif dan simpangan berfluktuasi sekitar sumbu Z, adalah muncul dari persamaan Laplace dan momentum yang merupakan persamaan gerak Euler:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \quad (\text{II.5})$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g \quad (\text{II.6})$$

simbol u , w , ρ , g , p serta t masing-masing menyatakan komponen kecepatan horizontal, komponen kecepatan vertikal, rapat fluida, tekanan dan waktu, sedang x dan z menyatakan koordinat ruang horizontal dan vertikal.

Berdasarkan pada sifat irrotasional seperti pada persamaan (II.3), maka masing-masing komponen kecepatan dapat ditulis seperti:

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad \text{dan} \quad w = \frac{\partial \psi}{\partial z} \quad (\text{II.7})$$

Jika persamaan (II.7) disubstitusikan ke persamaan (II.5) dan (II.6), kemudian diintegrasikan terhadap peubah-peubah ruang, diperoleh:

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial \psi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{p}{\rho} + gz = 0 \quad (\text{II.8})$$

Persamaan (II.8) dikenal sebagai persamaan Bernoulli.

Luke (1966) telah mendefinisikan bahwa, untuk gerak ombak yang merambat di atas medium berarus dengan kedalaman yang berubah secara perlahan diformulasikan dengan fungsi Lagrangian, yang merupakan selisih antara energi kinetik dan energi potensial, yang diformulasikan sebagai berikut:

$$\mathcal{L} = -\rho \int_{-h(\bar{x})}^{\zeta(\bar{x},t)} \left\{ \frac{\partial \Phi^*}{\partial t} + \frac{1}{2} (\nabla \Phi^*)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \Phi^*}{\partial z} \right)^2 + gz \right\} dz \quad (\text{II.9})$$

Simbol $z = \zeta(\bar{x},t)$ merupakan ordinat permukaan bebas, $z = -h(\bar{x})$ merupakan posisi tegak permukaan alas laut dan $\Phi^*(\bar{x},z,t)$ merupakan potensial kecepatan total ombak dan arus.

Solusi periodik yang umum dari pernyataan potensial kecepatan total berbentuk :

$$\Phi^*(\bar{x},z,t) = (u_i x_i + wz) + \bar{\Phi}(\bar{x},z,t) \quad i=1,2,\dots \quad (\text{II.10})$$

dengan $\bar{\Phi}(\bar{x},z,t)$ merupakan potensial kecepatan dari ombak yang ditinjau.

Apabila pernyataan (II.10) disubstitusi ke persamaan (II.9) dengan mengabaikan ketergantungan arus terhadap waktu diperoleh :

$$\mathcal{L} = -\rho \int_{-h(\bar{x})}^{\zeta(\bar{x},t)} \left\{ \frac{1}{2} \left[\left(u_i + \frac{\partial \Phi}{\partial x_i} \right)^2 + \left(w + \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right)^2 \right] + \frac{\partial \Phi}{\partial t} + gz \right\} dz \quad (II.11)$$

Pendekatan linieritas terhadap harga batas yang ditinjau pada rambatan ombak di atas laut dengan kedalaman yang berubah secara perlahan memerlukan metoda gangguan yang dapat memisahkan suku-suku antara orde besar dan kecil sebagai berikut :

$$\left. \begin{aligned} \Phi^*(\bar{x}, z, t) &= \Phi_p(\bar{x}, t) + \epsilon Z(z, h^*) \tilde{\varphi}(\bar{x}, t) \\ \zeta(\bar{x}, t) &= \zeta(\bar{x}, t) + \epsilon \eta(\bar{x}, t) \\ h^* &= h(\bar{x}) + \zeta(\bar{x}, t) \\ Z(x, h^*) &= \cosh [k(z+h^*)] / \cosh (kh^*) \end{aligned} \right\} \quad (II.12)$$

Pada persamaan (II.12) ϵ merupakan parameter skala gangguan. Dengan demikian, $\tilde{\varphi}$ pada persamaan (II.12) berorde satu terhadap ϵ . Jika persamaan (II.12) disubstitusi ke persamaan (II.11) dengan mengabaikan suku-suku ∇Z , akan diperoleh persamaan:

$$-\frac{\mathcal{L}}{\rho} = -\frac{1}{\rho} (\mathcal{L}_0 + \epsilon \mathcal{L}_1 + \epsilon^2 \mathcal{L}_2) \quad (II.13)$$

dengan rapat Lagrangian untuk masing-masing orde adalah:

$$\mathcal{L}_0 = (h+\zeta) \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial t} + \frac{1}{2} (h+\zeta) (\nabla \bar{\phi})^2 + \frac{1}{2} g (\zeta^2 - h^2) \quad (\text{II.14})$$

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_1 = & \eta \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial t} \int_{-h}^{\bar{\zeta}} Z dz + \frac{1}{2} (h + \bar{\zeta}) (\nabla \bar{\phi})^2 \\ & + \nabla \bar{\phi} \cdot \nabla \bar{\phi} \int_{-h}^{\bar{\zeta}} Z dz + g (h + \bar{\zeta}) \eta \end{aligned} \quad (\text{II.15})$$

$$\begin{aligned} \mathcal{L}_2 = & \frac{1}{\epsilon} \frac{\partial \bar{\phi}}{\partial t} \int_{\zeta}^{\epsilon \eta} Z dz + \frac{1}{\epsilon} \nabla \bar{\phi} \cdot \nabla \bar{\phi} \int_{\zeta}^{\epsilon \eta} Z dz \\ & + \frac{1}{2} (\nabla \bar{\phi})^2 \int_{-h}^{\bar{\zeta}} Z^2 dz + \frac{1}{2} \bar{\phi}^2 \int_{-h}^{\bar{\zeta}} \left(\frac{\partial Z}{\partial z} \right)^2 dz + \frac{1}{2} g \eta^2 \end{aligned} \quad (\text{II.16})$$

Untuk melihat dinamika pada orde kedua (persamaan II.16), terlebih dahulu dilakukan pengintegrasian terhadap suku-suku di atas. Melalui pengintegrasian tersebut diperoleh rapat Lagrangian sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \mathcal{L} = & \frac{\partial}{\partial t} \bar{\phi} \eta + \frac{1}{2} (\nabla \bar{\phi})^2 \cdot \frac{1}{g} c c_g + \frac{1}{2} \bar{\phi}^2 \frac{1}{g} (\sigma^2 - k^2 c c_g) \\ & + \frac{1}{2} g \eta \end{aligned} \quad (\text{II.17})$$

Apabila persamaan (II.17) diturunkan terhadap medan $\tilde{\varphi}$ dan η akan diperoleh persamaan gerak Euler-Lagrange sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{\varphi}_t} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{\varphi}_{x_j}} \right) - \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \varphi} \right) = 0 \quad (\text{II.18})$$

dan

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{\eta}_t} \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{\eta}_{x_j}} \right) - \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \eta} \right) = 0 \quad (\text{II.19})$$

yang hasilnya berturut-turut adalah:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{g} c c_g \nabla \cdot \nabla \tilde{\varphi} - \frac{1}{g} (\sigma^2 - k^2 c c_g) \tilde{\varphi} = 0 \quad (\text{II.20})$$

dan

$$\frac{\partial \tilde{\varphi}}{\partial t} + g\eta = 0 \text{ atau } \eta = - \frac{1}{g} \frac{\partial \tilde{\varphi}}{\partial t} \quad (\text{II.21})$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (II.21) ke persamaan (II.17) diperoleh rapat Lagrangian seperti :

$$\mathcal{L} = \frac{1}{2g} \left(\frac{\partial \tilde{\varphi}}{\partial t} \right) \left(\frac{\partial \tilde{\varphi}^*}{\partial t} \right) + \frac{1}{2g} c c_g (\nabla \tilde{\varphi}) (\nabla \tilde{\varphi}^*) + \frac{1}{2g} (\sigma^2 - k^2 c c_g) \tilde{\varphi} \tilde{\varphi}^* \quad (\text{II.22})$$

II.2 Tegangan Pancar (*Radiation Stress*)

Bila arah suatu ombak merambat telak (tegak lurus) terhadap garis tepi pantai, maka fluks momentum total adalah :

$$M_{XX} = \overline{\int_{-h}^{\zeta} (p + \rho u^2) dz} \quad (\text{II.23})$$

Sedangkan fluks momentum karena gerak ombak saja disebut "radiation stress" atau tegangan pancar. Jadi besaran tegangan pancar rata-rata yang terbangkit oleh ombak adalah :

$$S_{XX} = \overline{\int_{-h}^{\zeta} (p + \rho u^2) dz} - \int_{-h}^0 p_0 dz \quad (\text{II.24})$$

Besaran p_0 merupakan tekanan hidrostatis air tenang, ρ merupakan rapat massa fluida, p menyatakan tekanan dinamik, u merupakan komponen kecepatan orbital dalam arah X , dan tanda bar ($\overline{\quad}$) merupakan perata-rataan terhadap waktu. Untuk ombak beramplitudo kecil, komponen-komponen kecepatan orbital u , v , dan w masing-masing dinyatakan oleh:

$$\left. \begin{aligned} u &= \frac{a\omega}{\sinh kh} \cosh k(z+h) \sin(kx - \omega t) \\ v &= 0 \\ w &= \frac{a\omega}{\sinh kh} \sinh k(z+h) \cos(kx - \omega t) \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.25a})$$

dengan hubungan dispersi yang berbentuk

$$\omega^2 = gk \tanh kh \quad (\text{II.25b})$$

Tekanan p pada persamaan (II.24) merupakan tekanan total dari tekanan hidrostatis dan hidrodinamik sampai orde ke dua, yaitu :

$$p = -\rho g z + \rho g K \eta - \overline{\rho w^2} \quad ; \quad K = \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \quad (\text{II.26})$$

Sehingga persamaan (II.24) dapat dinyatakan dalam bentuk :

$$S_{XX} = \int_{-h}^0 \rho (u^2 - w^2) dz + \frac{1}{2} \rho g \zeta^2 \quad (\text{II.27})$$

Apabila persamaan (II.25) dan (II.26) disubstitusikan ke dalam persamaan (II.27), maka tegangan pancar ombak pada arah sumbu X adalah:

$$S_{XX} = E \frac{2kh}{\sinh 2kh} + \frac{1}{2} E = E \left(2m - \frac{1}{2} \right) \quad (\text{II.28})$$

Rapat energi total $E = \frac{1}{2} \rho g a^2$, a menyatakan amplitudo dan m menyatakan parameter pendangkalan.

$$m = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) \quad (\text{II.29})$$

Apabila digunakan cara yang sama dengan persamaan (II.27), maka dapat pula didefinisikan komponen tegangan pancar ombak pada arah Y yang melewati bidang Y konstan seperti pada persamaan di bawah ini:

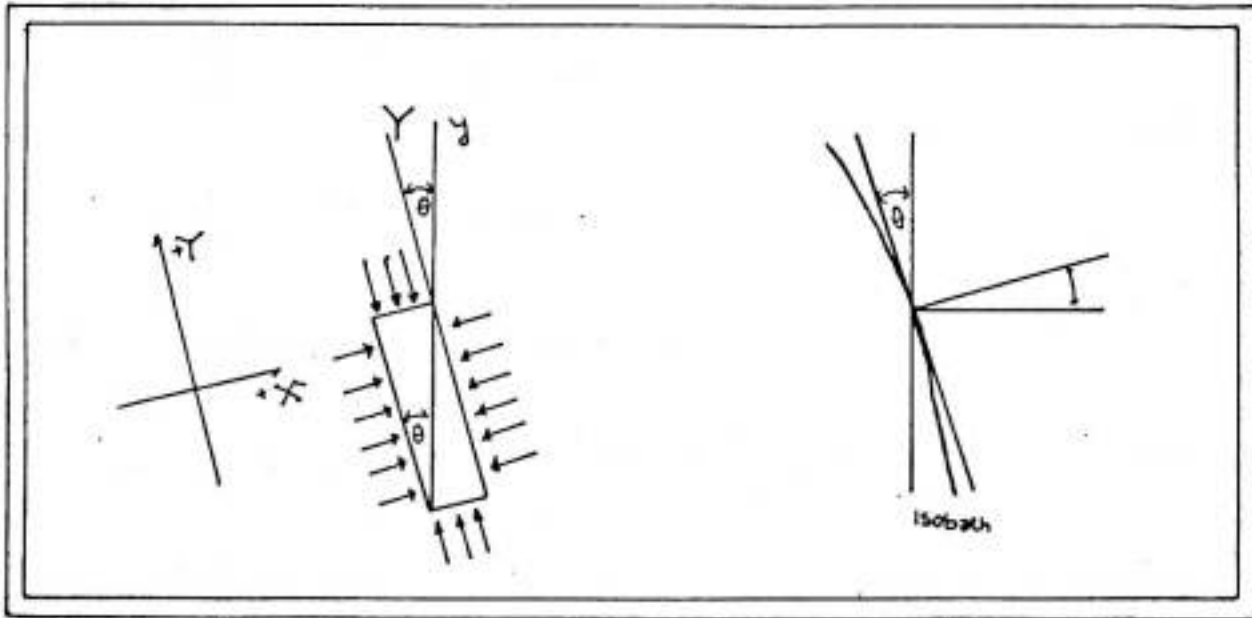
$$S_{YY} = \int_{-h}^0 \overline{\rho w^2} dz + \frac{1}{2} \rho g \bar{\zeta}^2 \quad (\text{II.30})$$

karena kecepatan orbital v pada arah y yang paralel dengan muka ombak, maka komponen tegangan geser adalah:

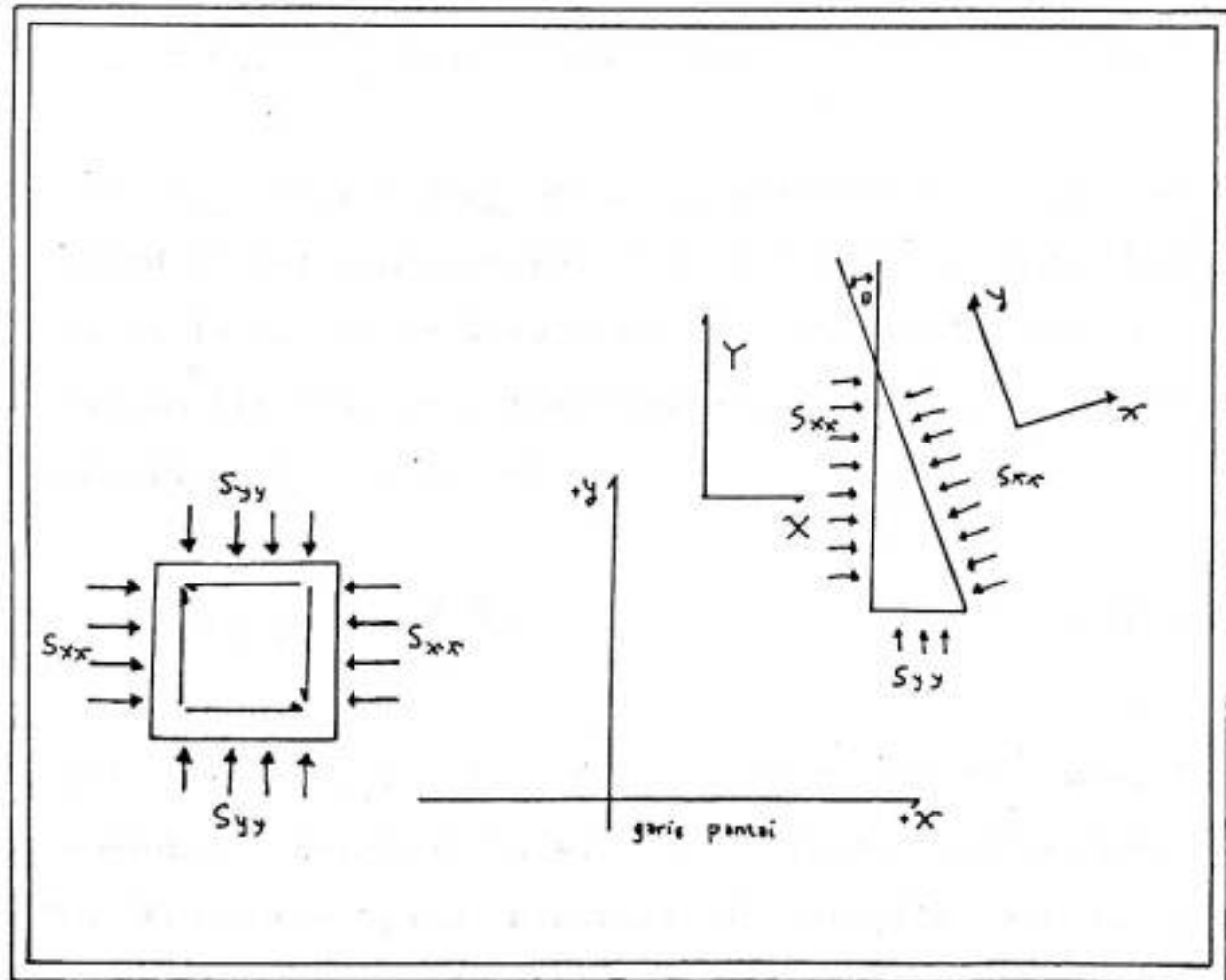
$$S_{XY} = S_{YX} = \int_{-h}^{\zeta} \overline{\rho u v} dz = 0 \quad (\text{II.31})$$

Apabila ombak yang merambat menuju pantai, tidak telak (tegak lurus) terhadap garis pantai, maka arah ombak datang akan membentuk sudut dengan garis normal pantai sebesar θ . Dengan demikian untuk memperoleh tegangan pancar normal dari S_{XX} dan S_{YY} dilakukan transformasi koordinat. Sistem koordinat yang dipakai, adalah sumbu y menunjukkan arah sepanjang garis pantai dan x tegak lurus pada garis pantai, seperti yang ditunjukkan pada Gambar (II.1).

Sistem X - Y



Sistem x - y



Gambar II.1 Komponen-komponen tegangan pancar

Transformasi koordinat $(x,y) \longrightarrow (X,Y)$ adalah :

$$\frac{\partial y}{\partial Y} = \frac{\partial x}{\partial X} = \cos \theta \quad (\text{II.32})$$

$$\frac{\partial x}{\partial Y} = \frac{\partial y}{\partial X} = \sin \theta$$

Dari transformasi ini akan diperoleh :

$$S_{xx} = \frac{1}{2} (S_{XX} + S_{YY}) + \frac{1}{2} (S_{XX} - S_{YY}) \cos 2\theta \quad (\text{II.33a})$$

$$S_{yy} = \frac{1}{2} (S_{XX} + S_{YY}) - \frac{1}{2} (S_{XX} - S_{YY}) \cos 2\theta \quad (\text{II.33b})$$

$$S_{xy} = S_{yx} = \frac{1}{2} (S_{XX} - S_{YY}) \sin 2\theta \quad (\text{II.33c})$$

besaran S_{xx} , S_{yy} , dan S_{xy} atau S_{yx} masing-masing menyatakan komponen tensor tegangan pancar sesuai arah datang ombak.

Di pihak lain, tensor tegangan pancar dapat diturunkan dari persamaan (II.22), maka tegangan pancar secara umum dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$S_{ij} = p_{,i} \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial p_{,j}} - \mathcal{L} \delta_{ij} \quad (\text{II.34})$$

dengan $p_{,i}$, $p_{,j}$, \mathcal{L} , δ_{ij} masing-masing menyatakan diferensial φ terhadap x , y , fungsi rapat Lagrangian, dan delta Kronecker yang bernilai 1 apabila $i = j$, dan 0 bila $i \neq j$.

Dengan menggunakan persamaan (II.22) dan disulihkan ke persamaan (II.34), akan diperoleh tegangan pancar sebagai berikut :

$$S_{ij} = \frac{\rho}{4g} \left[CCg \left(\frac{\partial \phi}{\partial x_i} \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} + \frac{\partial \phi^*}{\partial x_i} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right) + \omega_r^2 \left(\frac{2C}{C}g - 1 \right) \phi \phi^* \delta_{ij} \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \left(gh - CCg \right) \frac{\partial^2}{\partial x_m^2} \left(\phi \phi^* \right) \delta_{ij} \right] \quad (II.35)$$

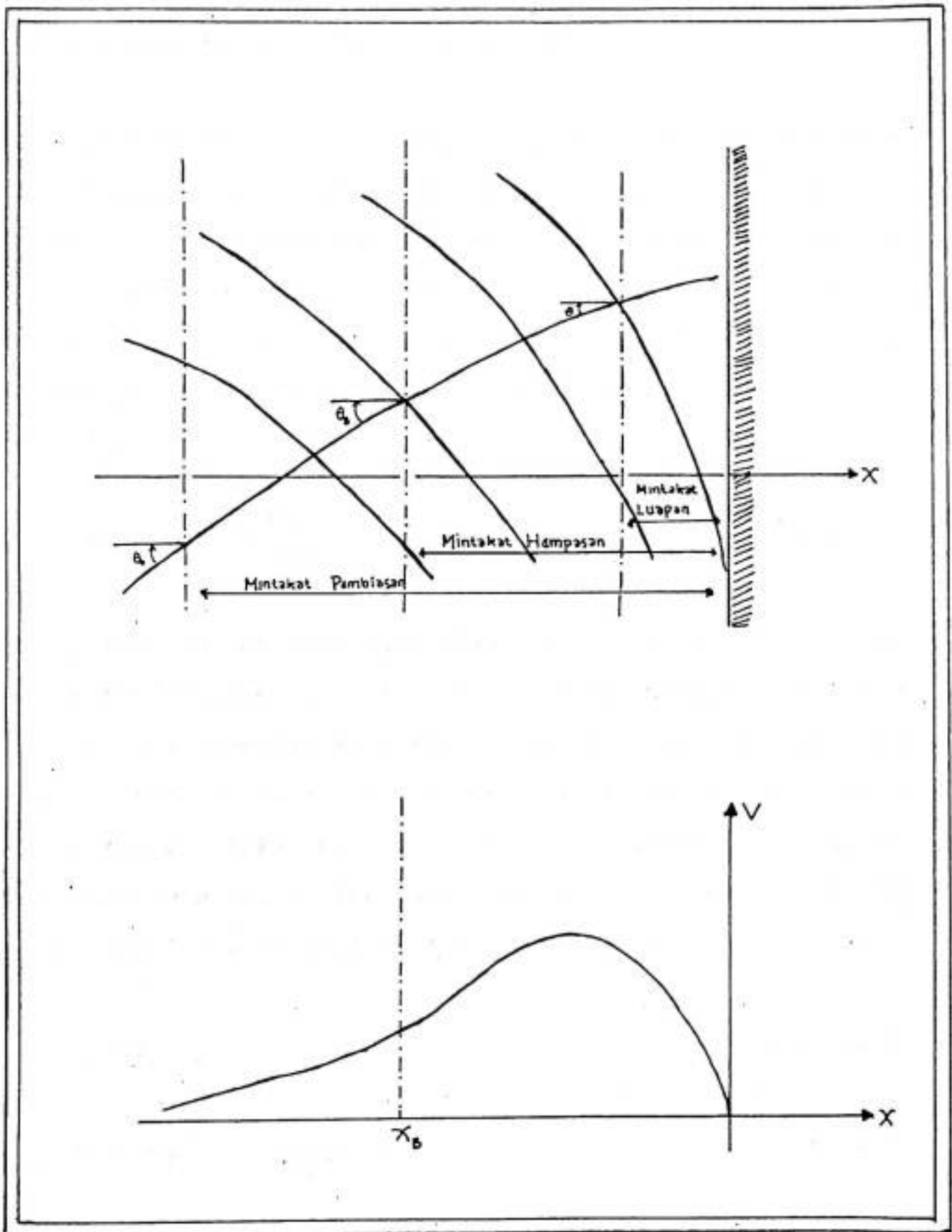
dengan ω_r menyatakan frekuensi relatif, dan ϕ menyatakan potensial kecepatan.

II.3 Gaya pembangkit (*Driving forces*)

Lintasan orthogonal ombak yang merambat mendekati garis tepi pantai yang lurus, dengan arah kemiringan ombak datang sebesar θ terhadap garis normal pantai ditunjukkan seperti pada Gambar (II.2). Dengan kedatangan ombak yang demikian, maka sepanjang arah susur pantai akan terbangkit gaya pendorong terbentuknya arus (*Driving force*), menurut Dingemans (1987) yaitu:

$$F = - \frac{\partial}{\partial x} S_{xy} \quad (II.36)$$

yang merupakan gradien dari tegangan pancar geser.



Gambar 11.2 Skema perambatan ombak dan bentuk distribusi kecepatan arus susur pantai

II.4 Lesapan Energi Ombak (*Wave Energy Dissipation*)

Ombak dengan simpangan kecil yang merambat ke perairan dangkal akan mengalami pemecahan, pada saat ombak pecah maka terjadi lesapan energi ombak, energi ombak yang terlepas ini akan membangkitkan arus-arus pantai. Lesapan (disipasi) energi ombak dengan pendekatan loncatan hidrolik yang dirumuskan oleh M.J.F. Stive (1984) diformulasikan sebagai berikut:

$$D_b = \frac{\rho g C h (d_2 - d_1)^3}{4 d_1 d_2} \quad (\text{II.37})$$

Jika persamaan ini dikonversikan ke dalam nilai lesapan rata-rata persatuan luas dan membagi dengan panjang gelombang L , kemudian menyetarakan tinggi loncatan ($d_2 - d_1$) dengan tinggi ombak H , seperti yang ditunjukkan pada Gambar (II.3), maka nilai lesapan rata-rata ombak pecah persatuan luas yang terbentuk setelah loncatan hidrolik dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$D = D_b A_e \quad (\text{II.38a})$$

$$D = \frac{D_b}{L} = \frac{\rho g C H^3 h}{4 d_1 d_2 L} \quad (\text{II.38b})$$

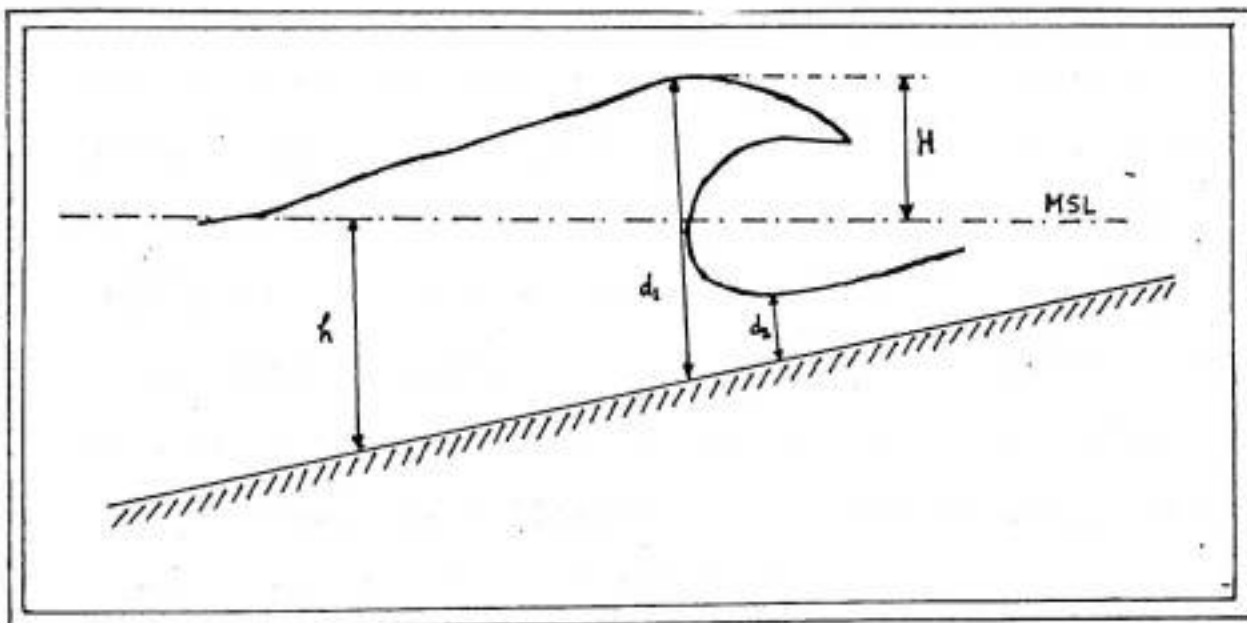
Besaran A_e merupakan faktor tak berdimensi, dimasukkan karena terdapat perbedaan antara lesapan pada bore dan

loncatan hidrolis, menurut Horikawa dan Koe (1966) faktor lesapan ditulis dalam bentuk :

$$A_{\epsilon} = 2 \tanh 5\zeta_b \quad (II.39)$$

dengan $\zeta_b = S_o \left\{ \frac{H_b}{L_o} \right\}^{1/2}$ adalah parameter similaritas hempasan.

Besaran S_o , H_b , dan L_o masing-masing menyatakan kelandaian pantai yang bersifat konstan, tinggi ombak pada saat pecah dan panjang gelombang di laut lepas.



Gambar II.3 Karakteristik Perusakan Badan Ombak

BAB III

METODE PENELITIAN

Untuk menelaah peran ombak dalam pembangkitan arus melalui perumusan gaya pembangkit (*Driving Force*), maka langkah-langkah penelitian yang ditempuh adalah sebagai berikut :

- 1) Studi kepustakaan yaitu mempelajari hal-hal yang berhubungan dengan masalah dari literatur, dalam rangka memperoleh bahan rujukan untuk mendapatkan formulasi gaya pembangkit ombak pada kemiringan dasar laut yang landai.
- 2) Memformulasikan tensor tegangan pancar dari fungsi Lagrangian untuk ombak yang merambat di atas medium yang berarus pada kedalaman yang berubah secara perlahan dengan menggunakan persamaan (II.22).
- 3) Memodifikasi "*Driving Force*" melalui persamaan (II.36) dengan memasukkan faktor interaksi ombak dan arus, dengan menggunakan lesapan energi ombak yang didekati sebagai gejala loncatan hidrolis.
- 4) Mengaplikasikan hasil yang diperoleh pada langkah tiga terhadap berbagai tipe pantai.

BAB IV PEMBAHASAN

IV.1 Perumusan Gaya Pembangkit Pada Perairan Pantai

Gerak disipatif ombak beramplitudo kecil yang merambat ke arah pantai, mampu membangkitkan pergerakan arus-arus pantai, dan dapat pula menyeret dan mengangkut sedimen. Daya dorongnya yang merupakan kelebihan momentum lateral adalah tegangan pancar seret (tangensial) yang ditimbulkan oleh ombak yang merambat mendekati garis tepi pantai. Kuantitasnya ditentukan melalui pengintegrasian komponen normal dan tangensial dari tegangan ombak terhadap kedalaman serta perata-rataan terhadap waktu.

Persamaan massa dan momentum yang diintegrasikan terhadap kedalaman adalah :

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j h + M_j) = 0 \quad (\text{IV.1})$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho U_i h) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_i U_j h + U_i M_j + U_j M_i + S_{ij} + S_{ij}') \\ & + f_{ij} U_j + \rho h g \frac{\partial}{\partial x_i} \eta = 0 \quad (\text{IV.2}) \end{aligned}$$

dengan M_i dan M_j , S_{ij} , S'_{ij} , f_{ij} masing-masing menyatakan angkutan massa oleh ombak, tegangan pancar, tegangan Reynold dan gaya gesekan dasar. Pada perambatan ombak, molekul air bergerak dalam lingkaran, akibat gerak melingkar dari partikel-partikel air yang terletak di bagian paling bawah ombak dipengaruhi oleh gesekan dasar laut perairan dangkal (f_{ij}). Bila arah ombak tidak tegak lurus dengan garis pantai, maka fluks momentum akan timbul sepanjang pantai (S_{ij}).

Dengan memodifikasi persamaan momentum (IV.2) di atas akan diperoleh bentuk sebagai berikut :

$$\frac{\partial}{\partial t} U_i + U_j \frac{\partial}{\partial x_i} U_i + U_j \frac{f_{ij}}{\rho h} + g \frac{\partial}{\partial x_i} \eta = - \frac{1}{\rho h} \frac{\partial}{\partial x_j} (S_{ij} + U_j M_i) - \frac{M_j}{\rho h} \frac{\partial}{\partial x_j} U_i \quad (IV.3)$$

bila ruas kanan persamaan (IV.3) dikalikan dengan ρh , maka akan diperoleh persamaan gaya pembangkit arus-arus pantai sebagai berikut :

$$F_i = - \frac{\partial}{\partial x_j} (S_{ij} + U_j M_i) - M_j \frac{\partial}{\partial x_j} U_i \quad (IV.4)$$

atau

$$F_i = - \frac{\partial}{\partial x_j} S_{ij} - M_j \left[\frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right] + M_j \frac{\partial U_j}{\partial x_j} - \frac{\partial}{\partial x_j} (U_j M_i)$$

(IV.5)

Persamaan (IV.5) adalah gaya pembangkit (*driving Forces*) yang dipengaruhi oleh suku interaksi ombak dan arus.

Perumusan gaya pembangkit arus-arus pantai pada proses penepian ombak merupakan gradien dari tensor tegangan pancar, seperti yang dirumuskan pada persamaan (II.36). Secara umum gaya pembangkit (*Driving Force*) arus-arus pantai menurut Dingemans (1987) dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{\partial}{\partial x_j} S_{ij} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \frac{\rho}{4g} \left[CC_{\epsilon} \left(\frac{\partial \phi^*}{\partial x_i} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} + \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} \right) + \omega_r^2 \left(\frac{2C}{C} \epsilon - 1 \right) \phi \phi^* \delta_{ij} + \frac{1}{2} (gh - CC_{\epsilon}) \frac{\partial^2 \phi \phi^*}{\partial x \partial x} \delta_{ij} \right] \right\} \quad (IV.6)$$

dengan menguraikan persamaan (IV.6) akan diperoleh:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_j} S_{ij} &= \frac{\rho}{4g} \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \omega_r^2 \left(\frac{2C}{C} \epsilon - 1 \right) \phi \phi^* + \frac{1}{2} (gh - CC_{\epsilon}) \frac{\partial^2 \phi \phi^*}{\partial x_m \partial x_m} \right. \\ &+ \left. CC_{\epsilon} \left(\frac{\partial \phi}{\partial x_j} \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} \right) \right\} - \frac{\rho}{4g} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} \frac{\partial}{\partial x_i} (CC_{\epsilon}) \\ &+ \frac{\rho}{4g} \left\{ \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[CC_{\epsilon} \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} \right] + \frac{\partial \phi^*}{\partial x_i} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[CC_{\epsilon} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right] \right\} \end{aligned} \quad (IV.7)$$

dengan ϕ , ϕ^* masing-masing menyatakan potensial kecepatan dan kompleks konjugat dari potensial kecepatan, C , C_g menyatakan kecepatan fasa rambatan ombak dan kecepatan group ombak g , h , ρ , ω_r dan δ_{ij} masing-masing menyatakan percepatan gravitasi, kedalaman, kerapatan massa fluida, frekuensi sudut relatif ombak dan delta Kronecker.

Persamaan ombak dalam medan potensial kecepatan ϕ yang dikenal sebagai persamaan "kelandaian" (MSE) adalah :

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left[C C_g \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right] = - \left[k^2 C C_g + \omega^2 - \omega_r^2 + i \omega_r W + i \omega \frac{\partial}{\partial x_j} U_j \right] \phi - 2i \omega U_j \frac{\partial}{\partial x_j} \phi \quad (IV.8)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left[C C_g \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} \right] = - \left[k^2 C C_g + \omega^2 - \omega_r^2 - i \omega_r W - i \omega \frac{\partial}{\partial x_j} U_j \right] \phi^* + 2i \omega U_j \frac{\partial}{\partial x_j} \phi^* \quad (IV.9)$$

dengan W , k , dan U_j , masing-masing menyatakan perbandingan lesapan energi ombak dengan energi ombak, bilangan gelombang, dan kecepatan arus rata-rata.

Substitusi persamaan (IV.8) dan (IV.9) ke persamaan (IV.7) akan diperoleh:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial}{\partial x_j} S_{ij} = & \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{\rho}{4g} \left\{ \omega_r^2 \left(\frac{2C}{C} g - 1 \right) \phi \phi^* + \frac{1}{2} (gh - CC_g) \frac{\partial^2 \phi \phi^*}{\partial x_m \partial x_m} \right. \right. \\
 & \left. \left. + CC_g \left(\frac{\partial \phi}{\partial x_j} \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} \right) \right\} \right] - \frac{\rho}{4g} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} \frac{\partial}{\partial x_i} (CC_g) \\
 & + \frac{\rho}{4g} \left\{ \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \left[- \left(k^2 CC_g + \omega^2 - \omega_r^2 \right) \phi^* + i \left(\omega_r W + \omega \frac{\partial}{\partial x_j} U_j \right) \phi \right] \right. \\
 & + 2i\omega U_j \frac{\partial}{\partial x_j} \phi^* \\
 & + \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \left[- \left(k^2 CC_g + \omega^2 - \omega_r^2 \right) \phi - i \left(\omega_r W + \omega \frac{\partial}{\partial x_j} U_j \right) \phi \right. \\
 & \left. \left. - 2i\omega U_j \frac{\partial}{\partial x} \phi \right] \right\} \quad (IV.10)
 \end{aligned}$$

atau

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial}{\partial x_j} S_{ij} = & \frac{\partial}{\partial x_i} \left[* \right] - \frac{\rho}{4g} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} \frac{\partial}{\partial x_i} (CC_g) \\
 & - \frac{\rho}{4g} \left[k^2 CC_g + \omega^2 - \omega_r^2 \right] \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\phi \phi^* \right] \\
 & + \frac{\rho}{4g} \left[i \left(\omega_r W + \omega \frac{\partial}{\partial x_j} U_j \right) \left\{ \phi^* \frac{\partial \phi}{\partial x_i} - \phi \frac{\partial \phi^*}{\partial x_i} \right\} \right] \\
 & + \frac{\rho}{4g} \left[i \left(2\omega U_j \right) \left\{ \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} - \frac{\partial \phi^*}{\partial x_i} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right\} \right] \quad (IV.11)
 \end{aligned}$$

$$\text{dengan } [*] = \left[\frac{\rho}{4g} \left\{ \omega_r^2 \left(\frac{2c}{c} g - 1 \right) \phi \phi^* + \frac{1}{2} (gh - c c_g) \frac{\partial^2 \phi \phi^*}{\partial x_m \partial x_m} + c c_g \left(\frac{\partial \phi}{\partial x_j} \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} \right) \right\} \right]$$

Dari teori ombak linear, potensial kecepatan Φ dinyatakan dalam bentuk :

$$\Phi = \phi \exp (-i\omega t) \quad (\text{IV.12})$$

$$\phi = -i A \exp (iS) \quad (\text{IV.13})$$

$$\phi^* = i A \exp (-iS) \quad (\text{IV.14})$$

dengan $A = \frac{g a}{\omega_r}$; $S =$ fasa ombak

Jika potensial kecepatan dari persamaan (IV.13) didiferensialkan terhadap x_i dan kompleks konyugatnya terhadap x_j dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{\partial \phi}{\partial x_i} = \left\{ \frac{1}{A} \frac{\partial A}{\partial x_i} + i \frac{\partial S}{\partial x_i} \right\} \phi \quad (\text{IV.15})$$

$$\frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} = \left\{ \frac{1}{A} \frac{\partial A}{\partial x_j} - i \frac{\partial S}{\partial x_j} \right\} \phi^*$$

Simbol S, A menyatakan fasa ombak dan faktor refraksi ombak secara berturut-turut, dengan mensubstitusi persamaan (IV.15) ke persamaan (IV.11) akan diperoleh bentuk sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial}{\partial x_j} S_{i,j} &= \frac{\partial}{\partial x_i} [*] - \frac{\rho}{4g} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} \frac{\partial}{\partial x_i} (CC_g) \\
&+ \frac{\rho}{4g} (\phi \phi^*) \frac{\partial}{\partial x_i} (k^2 CC_g + \omega^2 - \omega_r^2) \\
&- WM_i - \frac{\rho}{2g} \omega k_i \frac{\partial}{\partial x_j} (U_j \phi \phi^*) - \frac{\rho}{2g} \omega U_j \phi \phi^* \frac{\partial}{\partial x_j} k_i \\
&+ \frac{\rho}{2g} \omega U_j \phi \phi^* \frac{\partial}{\partial x_i} k_j + \frac{\rho}{2g} \omega k_j U_j \frac{\partial}{\partial x_i} (\phi \phi^*) \quad (IV.16)
\end{aligned}$$

dengan $M_i = \frac{\rho}{2g} \omega_r \phi \phi^* k_i$ merupakan angkutan massa air oleh gerakan ombak, dan irrotasionalitas k , yaitu $\frac{\partial k_i}{\partial x_j} - \frac{\partial k_j}{\partial x_i} = 0$ berlaku, maka suku ke enam dan suku ke tujuh pada persamaan (IV.16) menjadi diabaikan. Selanjutnya dengan memodifikasi persamaan di atas akan diperoleh :

$$\begin{aligned}
\frac{\partial}{\partial x_j} S_{i,j} &= \frac{\partial}{\partial x_i} [*] - \frac{\rho}{4g} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} \frac{\partial}{\partial x_i} (CC_g) \\
&+ \frac{\rho}{4g} \phi \phi^* \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k^2 CC_g + \omega^2 - \omega_r^2 \right] - WM_i \\
&- \frac{\partial}{\partial x_j} \left[U_j \left[\frac{\rho}{2g} \omega \phi \phi^* k_i \right] \right] + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{\rho}{2g} \omega \phi \phi^* k_j U_j \right] \\
&- \frac{\rho}{2g} \omega \phi \phi^* k_j \frac{\partial}{\partial x_i} U_j \quad (IV.17)
\end{aligned}$$

maka gaya pembangkit arus-arus pantai (*Driving Force*) dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
-F_i &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left[* \right] - \frac{\rho}{4g} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} \frac{\partial}{\partial x_i} (CC_g) \\
&+ \frac{\rho}{4g} \phi \phi^* \frac{\partial}{\partial x_i} \left[k^2 CC_g + \omega^2 - \omega_r^2 \right] - WM_i \\
&+ \left[M_j \frac{\partial}{\partial x_j} U_i - \frac{\rho}{2g} \omega \phi \phi^* k_j \frac{\partial}{\partial x_i} U_j \right] \\
&+ \left[\frac{\partial}{\partial x_j} \left(U_j M_i \right) - \frac{\partial}{\partial x_j} \left(U_j \left[\frac{\rho}{2g} \omega \phi \phi^* k_i \right] \right) \right] \quad (IV.18)
\end{aligned}$$

dengan $[*] = \left[\frac{\rho}{4g} \left\{ \omega_r^2 \left(\frac{2CC_g}{C} - 1 \right) \phi \phi^* - \left[k^2 CC_g + \omega^2 - \omega_r^2 \right] \phi \phi^* \right. \right.$

$$\left. \left. + \frac{1}{2} \left[gh - CC_g \right] \frac{\partial^2 \phi \phi^*}{\partial x_m \partial x_m} + CC_g \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} \right\} + \left[\frac{\rho}{2g} \omega \phi \phi^* k_i U_j \right] \right]$$

IV.2 Perumusan Gaya Pembangkit Untuk Pendekatan Air Dangkal

Untuk pendekatan air dangkal, kecepatan perambatan ombak C diasumsikan dengan kecepatan grup ombak C_g , maka persamaan (IV.8) dan (IV.9) menjadi :

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left[C^2 \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right] = -(\omega^2 + i\omega_r W + i\omega \frac{\partial}{\partial x_j} U_j) \phi - 2i\omega U_j \frac{\partial}{\partial x_j} \phi \quad (IV.19)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left[C^2 \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} \right] = (\omega^2 + i\omega_r W + i\omega \frac{\partial}{\partial x_j} U_j) \phi^* + 2i\omega U_j \frac{\partial}{\partial x_j} \phi^* \quad (IV.20)$$

Dari anggapan kondisi air dangkal, maka tegangan akibat gerakan ombak yang merupakan fluks momentum ombak dikenal sebagai tegangan pancar (*radiation stress*) sehingga persamaan (II.35) dapat dinyatakan sebagai :

$$S_{ij} = \frac{\rho}{4g} \left[c^2 \left\{ \frac{\partial \phi^*}{\partial x_i} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} + \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \frac{\partial \phi^*}{\partial x_j} \right\} + \omega_r^2 \phi \phi^* \delta_{ij} \right] \quad (IV.21)$$

Bila menuliskan kembali persamaan gaya pembangkit (IV.5) yaitu:

$$F_i = - \frac{\partial}{\partial x_j} S_{ij} - M_j \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) + M_j \frac{\partial U_j}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_j} (U_j M_i) \quad (IV.22)$$

dengan $M_j = \frac{\rho}{2g} \omega_r \phi \phi^* \frac{\partial S}{\partial x_j}$, menyatakan angkutan massa ombak, S menyatakan fasa ombak, dalam pendekatan geometrik $\frac{\partial S}{\partial x_j} = k_j$ yang disebut angka ombak. Jika pernyataan ini disubstitusikan ke persamaan (IV.22) dan menyulihkan persamaan (IV.21), maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} F_i = & - \frac{\rho \omega_r}{2g} \phi \phi^* W \frac{\partial S}{\partial x_i} + h \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \frac{\rho \omega_r}{2g} \frac{\omega_r}{2h} \phi \phi^* \right\} \\ & - \frac{\rho \omega_r}{2g} \phi \phi^* \frac{\partial S}{\partial x_j} \left\{ \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right\} + \frac{\rho}{4g} \left[2\omega U_j \frac{\partial S}{\partial x_j} - \omega^2 \right] \frac{\partial}{\partial x_i} \phi \phi^* \\ & + \frac{\rho}{4g} c^2 \frac{\partial S}{\partial x_j} \frac{\partial S}{\partial x_i} \frac{\partial}{\partial x_i} \phi \phi^* + \frac{\rho}{4g} \phi \phi^* \left\{ c^2 \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{\partial S}{\partial x_j} \frac{\partial S}{\partial x_j} \right] \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\omega_r^2}{c^2} \frac{\partial C^2}{\partial x_i} \Big\} - \frac{\rho}{2g} \omega_r \frac{\partial S}{\partial x_i} \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ U_j \phi \phi^* \right\} \\
& + \frac{\rho}{2g} \omega_r \frac{\partial S}{\partial x_i} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(U_j \phi \phi^* \right) + \frac{\rho}{2g} \omega_r \phi \phi^* \frac{\partial}{\partial x_i} \left(U_j \frac{\partial S}{\partial x_j} \right)
\end{aligned}
\tag{IV.23}$$

$$\begin{aligned}
\text{dengan ; } \omega - U_j \frac{\partial S}{\partial x_j} = \omega_r \quad ; \quad U_j \frac{\partial S}{\partial x_j} = \omega - \omega_r \quad \Big\} \\
\omega^2 - 2\omega U_j \frac{\partial S}{\partial x_j} = \omega_r^2 \quad ; \quad gh = c^2 \quad \Big\}
\end{aligned}
\tag{IV.23a}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial S}{\partial x_j} \frac{\partial S}{\partial x_j} = k^2 + \frac{1}{A} \frac{\partial^2 A}{\partial x_j^2} \quad \Big\} \\
k^2 c^2 = \omega_r^2 \quad \Big\}
\end{aligned}
\tag{IV.23b}$$

Bila mensubstitusikan suku-suku persamaan (IV.23a) dan (IV.23b) ke dalam persamaan (IV.23) akan diperoleh bentuk sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
- F_i = & - \frac{\rho \omega_r}{2g} \phi \phi^* W \frac{\partial S}{\partial x_i} + h \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \frac{\rho \omega_r}{2g} \frac{\omega_r}{2h} \phi \phi^* \right\} \\
& - \frac{\rho \omega_r}{2g} \phi \phi^* \frac{\partial S}{\partial x_j} \left\{ \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right\} - \frac{\rho}{4g} \omega_r^2 \frac{\partial}{\partial x_i} \phi \phi^* \\
& + \frac{\rho}{4g} \omega_r^2 \frac{\partial}{\partial x_i} \phi \phi^* + \frac{\rho}{4g} c^2 \frac{1}{A} \frac{\partial^2 A}{\partial x_j^2} \frac{\partial}{\partial x_i} \phi \phi^*
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{\rho}{4g} \phi \phi^* \frac{\partial}{\partial x_i} (\omega_r^2) + \frac{\rho}{4g} C^2 \phi \phi^* \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{1}{A} \frac{\partial^2 A}{\partial x_j^2} \right] \\
& - \frac{\rho}{2g} (\omega - \omega_r) \frac{\partial S}{\partial x_i} \frac{\partial}{\partial x_j} [U_j \phi \phi^*] \\
& + \frac{\rho}{4g} \phi \phi^* \left[2\omega_r \frac{\partial}{\partial x_i} (\omega - \omega_r) \right]
\end{aligned} \tag{IV.24}$$

atau

$$\begin{aligned}
-F_i &= -\frac{\rho \omega_r}{2g} \phi \phi^* W \frac{\partial S}{\partial x_i} + h \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \frac{\rho \omega_r}{2g} \frac{\omega_r}{2h} \phi \phi^* \right\} \\
& - \frac{\rho \omega_r}{2g} \phi \phi^* \frac{\partial S}{\partial x_j} \left\{ \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right\} + C^2 \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \frac{\rho}{4g} \phi \phi^* \left[\frac{1}{A} \frac{\partial^2 A}{\partial x_j^2} \right] \right\} \\
& - \frac{\rho}{2g} (\omega - \omega_r) \frac{\partial S}{\partial x_i} \frac{\partial}{\partial x_j} [U_j \phi \phi^*]
\end{aligned} \tag{IV.25}$$

Persamaan (IV.25) merupakan perumusan gaya pembangkit (*Driving Forces*) yang dipengaruhi oleh interaksi ombak dan arus. Suku pertama pada ruas kanan adalah rotasional yang mengandung lesapan energi ombak dan arah ombak, suku kedua adalah irrotasional, suku ketiga menyatakan interaksi antara angkutan massa ombak dan arus, suku berikutnya menyatakan difraksi ombak.

IV.3 Gaya pembangkit (Driving Forces) Melalui Pendekatan Loncatan Hidrolik

Untuk penyelesaian penelitian ini, persamaan disipasi energi dengan pendekatan loncatan hidrolik (persamaan (II.38b)) yang disubstitusi ke persamaan (IV.25) dengan $W = \frac{D}{E}$ menyatakan perbandingan lesapan energi ombak dengan energi ombak, diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 -F_i = & - \frac{\rho g C H^3 h k_i}{4 \omega_r (d_1 d_2 L)} + h \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \frac{\rho \omega_r}{2g} \frac{\omega_r}{2h} A^2 \right\} \\
 & - \frac{E}{\omega_r} k_j \left\{ \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right\} + C^2 \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \frac{\rho}{4g} A^2 \left[\frac{1}{A} \frac{\partial^2 A}{\partial x_j^2} \right] \right\} \\
 & - \frac{\rho}{2g} (\omega - \omega_r) k_i \frac{\partial}{\partial x_j} \left[U_j A^2 \right] \tag{IV.27}
 \end{aligned}$$

atau

$$\begin{aligned}
 F_i = & \frac{\frac{1}{4} \rho g H^3 h}{d_1 d_2 L} + h \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \frac{\rho \omega_r}{2g} \frac{\omega_r}{2h} A^2 \right\} \\
 & - \frac{E}{\omega_r} k_j \left\{ \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right\} + C^2 \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \frac{\rho}{4g} A^2 \left[\frac{1}{A} \frac{\partial^2 A}{\partial x_j^2} \right] \right\} \\
 & - \frac{\rho}{2g} (\omega - \omega_r) k_i \frac{\partial}{\partial x_j} \left[U_j A^2 \right] \tag{IV.28}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dengan melakukan pendekatan terhadap variabel h , H , dan d sebagai berikut :

$$h = \frac{1}{2} (d_1 + d_2) \quad (IV.29)$$

$$d_1 d_2 \approx h^2 - \frac{1}{4} H^2 \quad (IV.30)$$

$$H^{-1} = (1 - \frac{4}{3} \sigma) h^{-1/4} + \frac{4}{3} \sigma h^{-1/2} \quad (IV.31)$$

dengan

$$\sigma = \frac{A \epsilon}{s} \left(\frac{H_b}{h} \right) \left(\frac{h_b}{g T^2} \right)^{1/2}$$

maka suku pertama persamaan (IV.27) dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti ditunjukkan pada Gambar (IV.1) dan (IV.2) dengan menggunakan program Matlab. Suku pertama pada persamaan (IV.27) bersifat irrotasional, sehingga sangat berperan dalam pembangkitan dauran arus-arus pantai. Sedangkan suku kedua bersifat rotasional, dan suku-suku yang lainnya bernilai sangat kecil dibandingkan dengan suku yang pertama, sehingga suku-suku tersebut tidak ditampilkan dalam bentuk grafik. Adapun parameter sistem tersebut di atas dapat diambil dari data lapangan di Kabupaten Pinrang sebagai berikut:

$$h_b = 1,29 \text{ m}$$

$$g = 9,8 \text{ m/dt}^2$$

$$T_o = 6,1 \text{ detik}$$

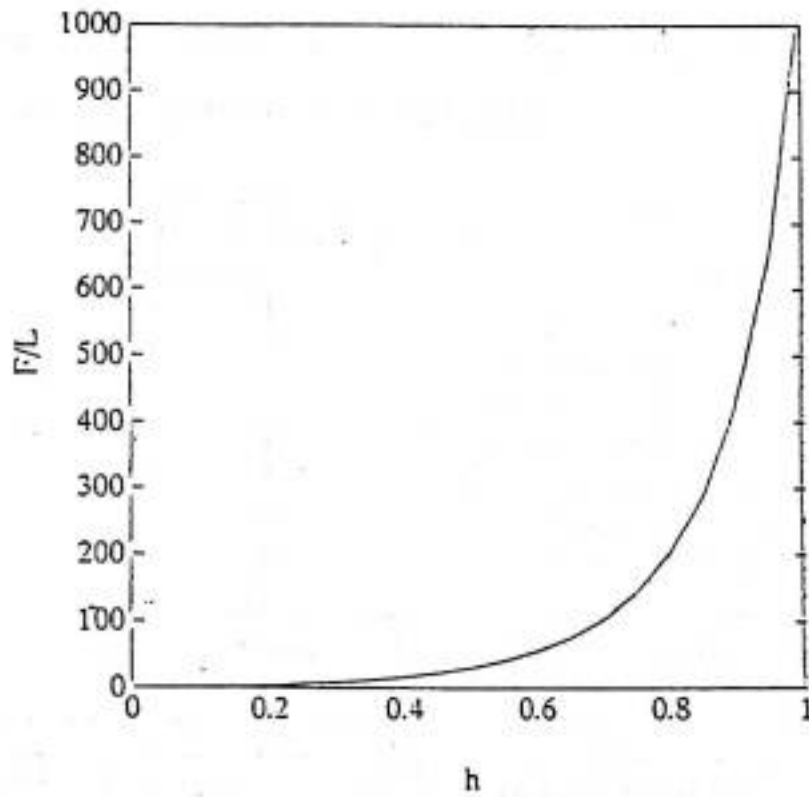
$$H_b = 1,65 \text{ m}$$

$$s = 0,0283 \text{ m}$$

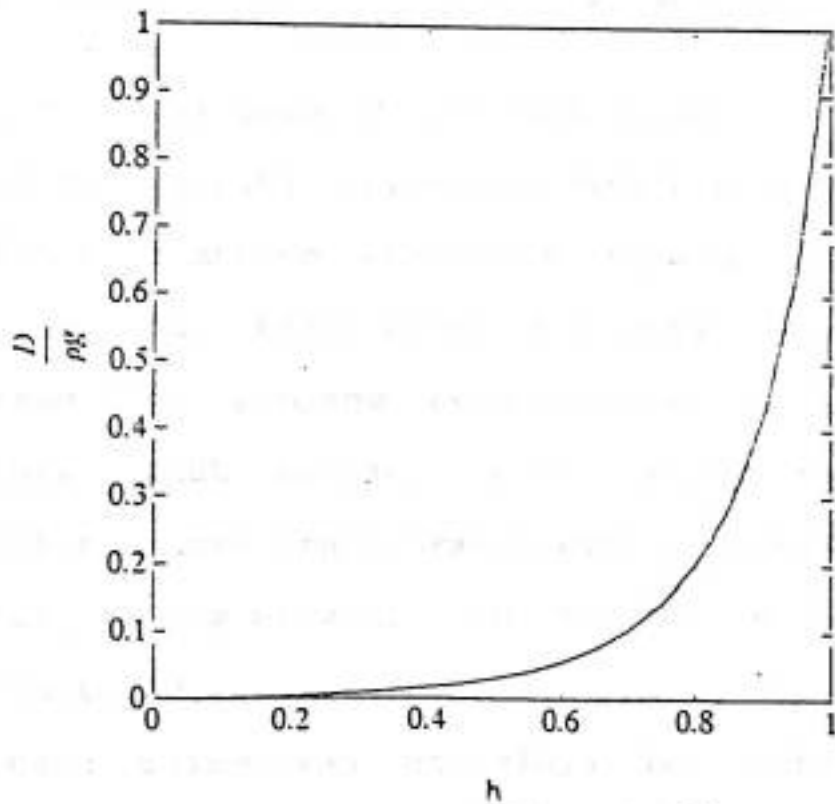
$$H_o = 2,29 \text{ m}$$

$$\rho = 1030 \text{ kg/m}^3$$

$$L_o = 61,1 \text{ m}$$

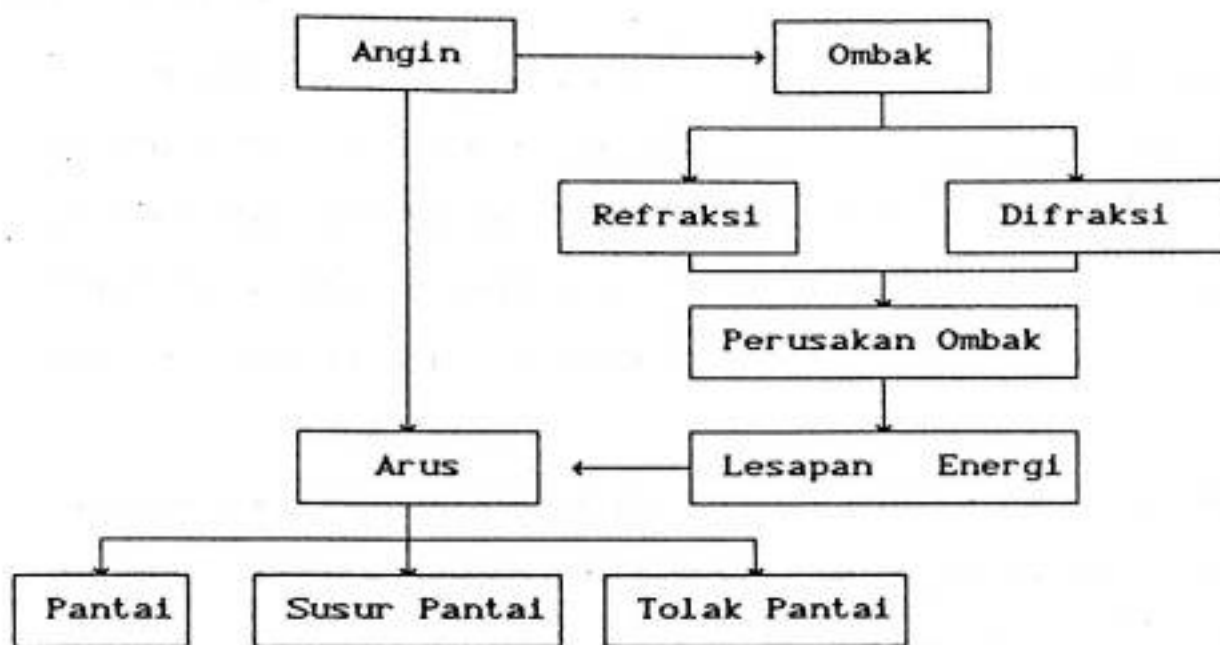


Gambar IV.1 Variasi Driving Forces (Gaya Pembangkit) dalam arah lintas pantai di mintakat hempasan



Gambar IV.2 Variasi Disipasi Energi dalam arah lintas pantai di mintakat hempasan

Diagram mekanisme pembangkitan arus oleh ombak dapat ditunjukkan pada Gambar (IV.3):



Gambar IV.3 Diagram Pembangkit Arus Oleh Ombak Yang Menepi

Dari diagram di atas dapat dijelaskan bahwa, ombak pada umumnya dipengaruhi oleh angin yang berhembus ke permukaan laut dan mentransfer energinya hingga menghasilkan ombak yang merambat. Bila ombak memasuki perairan dangkal, kecepatan dan panjang gelombangnya menurun, arah ombak cenderung untuk sejajar dengan garis pantai, hal ini disebabkan adanya transformasi ombak seperti refraksi dan difraksi, sedang elevasi dan keterjalan ombak bertambah, sehingga terjadi pemecahan badan ombak. Ketika ombak pecah, ombak akan melepaskan energinya ke pantai, energi yang terlepas dari ombak yang menepi ini dapat membangkitkan arus-arus di mintakat pantai.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

V.1 SIMPULAN

- Tensor tegangan pancar yang diperoleh dari rapat fungsi Lagrangian merupakan besaran penting dalam perumusan gaya pembangkit ("*Driving Forces*") arus-arus pantai melalui langkah pendiferensialan tensor tegangan pancar (*Radiation Stress*) terhadap ruang mendatar.

- Setelah proses pendiferensialan tersebut, diperoleh bahwa gaya pembangkit arus bergantung pada beberapa besaran energi ombak yang terlepas mulai dari awal kerusakan ombak, selama proses penyusutan tinggi ombak dalam mintakat hempasan, dan sampai ombak menepi ke garis pantai.

- Dengan menggunakan pernyataan lesapan energi ombak yang didekati sebagai gejala loncatan hidrolik (*Hydraulic jump*) menunjukkan bahwa gaya pembangkit arus memiliki nilai yang besar di posisi "*Breaking Line*" dan berkurang nilainya ke arah garis pantai.

V.2 SARAN-SARAN

- Langkah lanjutan dari permasalahan ini dapat dilakukan dengan memasukkan tegangan Reynold, tetapi karena tegangan Reynold sangat bergantung pada kedalaman, maka semua persamaan hendaknya tidak lagi dalam bentuk yang sudah diintegrasikan terhadap kedalaman. Pemikiran tentang hal ini, memperluas persoalan dari 2-dimensi mendatar menjadi 2-dimensi vertikal bahkan menuju pada persoalan 3-dimensi.

DAFTAR PUSTAKA

- 1 Dingemans, M.W, A.C Radder and H.J. De Vriend, "Computation Of the Driving Forces Of Wave Induced Current," Elsevier science Publisher, B.V. Amsterdam, 1987.
- 2 Ippen, A.T. (Ed.): "Estuary And Coastal Hidrodynamics", Mc.Graw-Hill, New York, 1966.
- 3 Luke, J.C.: "A Variational Principle For a Fluid With a Free Surface", 1966.
- 4 Massel, S.R.: "The Hidrodynamics Of Coastal Zones", Elsevier Publisher, London, 1989.
- 5 Mei, C.C.: "The Applied Dynamiycs Of Ocean Surface Waves", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1983.
- 6 Longuet-Higgins, M.S. & Stewart, R.W.: "The Mechanics Of The Surf Zone". Proc. Of Thirtteenth International Congress Of Theoretical And Aplied Mechanics, Moscow, 1972.
- 7 Sultan: "Penyelesaian Persamaan Gerak Arus Susur Pantai pada Kemiringan Dasar Laut Alami", Skripsi Sarjana SI. 1992.
- 8 Suriamihardja, D.A.: "2-D Horisontal And Vertikal Nearshore Circulation", Dissertation, 1989.

LAMPIRAN A

PENURUNAN PERSAMAAN KELANDAIAN

$$\frac{D\bar{\Phi}}{Dt^2} = (\nabla \cdot \mathbf{U}) \frac{D}{Dt} \bar{\Phi} - \nabla (CC_g \nabla \bar{\Phi}) + (\sigma^2 - k^2 CC_g - i\sigma W) \bar{\Phi} = 0 \quad (\text{A-1})$$

dengan $\bar{\Phi} = \phi e^{-i\omega t}$

$$\begin{aligned} \frac{D\bar{\Phi}}{Dt} &= \left\{ \frac{D\bar{\Phi}}{Dt} e^{-i\omega t} + \phi \frac{D}{Dt} e^{-i\omega t} \right\} \\ &= \left\{ (\mathbf{U} \cdot \nabla \phi) e^{-i\omega t} + \phi (-i\omega) e^{-i\omega t} \right\} \\ &= \left\{ -i\omega \phi + \mathbf{U} \cdot \nabla \phi \right\} e^{-i\omega t} \end{aligned} \quad (\text{A-2})$$

$$\begin{aligned} \frac{D^2\bar{\Phi}}{Dt^2} &= (-i\omega \phi + \mathbf{U} \cdot \nabla \phi) (-i\omega) e^{-i\omega t} \\ &\quad + \left\{ \left[\frac{\partial}{\partial t} + \mathbf{U} \cdot \nabla \right] (-i\omega \phi + \mathbf{U} \cdot \nabla \phi) \right\} e^{-i\omega t} \\ &= \left[-\omega^2 \phi - i\omega \mathbf{U} \cdot \nabla \phi - i\omega \mathbf{U} \cdot \nabla \phi + \mathbf{U} \cdot \nabla (\mathbf{U} \cdot \nabla \phi) \right] e^{-i\omega t} \\ &= -\left[\omega^2 \phi + 2i\omega \mathbf{U} \cdot \nabla \phi - \mathbf{U} \cdot \nabla (\mathbf{U} \cdot \nabla \phi) \right] e^{-i\omega t} \end{aligned} \quad (\text{A-3})$$

dengan mensubstitusikan persamaan (A-2) dan (A-3) ke persamaan (A-1) akan diperoleh :

$$\begin{aligned}
& -\left[\omega^2 \phi + 2i\omega U \cdot \nabla \phi - U \cdot \nabla (U \cdot \nabla \phi)\right] e^{-i\omega t} + (\nabla \cdot U) \left[-i\omega \phi + U \cdot \nabla \phi\right] e^{-i\omega t} \\
& - \nabla (CC_g \nabla \phi) e^{-i\omega t} + (\sigma^2 - k^2 CC_g - i\sigma W) \phi e^{-i\omega t} = 0 \quad (A-4)
\end{aligned}$$

suku ketiga dan kelima pada persamaan (A-4) saling meniadakan, sehingga persamaan tersebut menjadi :

$$-\nabla (CC_g \nabla \phi) - 2i\omega U \cdot \nabla \phi - i\omega \phi \nabla \cdot U - \omega^2 \phi + (\sigma^2 - k^2 CC_g - i\sigma W) \phi = 0 \quad (A-5)$$

atau

$$\nabla (CC_g \nabla \phi) + 2i\omega U \cdot \nabla \phi + i\omega \phi \nabla \cdot U + (\omega^2 - \sigma^2 + k^2 CC_g + i\sigma W) \phi = 0 \quad (A-6)$$

maka :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[CC_g \frac{\partial}{\partial x} \phi \right] = -i\sigma W \phi - 2i\omega U_j \frac{\partial \phi}{\partial x} - i\omega \phi \frac{\partial U_j}{\partial x} - \left[\omega^2 - \sigma^2 + k^2 CC_g \right] \phi \quad (A-7)$$

persamaan (A-7) adalah persamaan kelandaian (MSE).