

PEMODELAN REFRAKSI OMBAK

Oleh :
NURALIYAH SYAM

H 221 98 003



**PROGRAM STUDI GEOFISIKA JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2003**

PEMODELAN REFRAKSI OMBAK



NURALIYAH SYAM

H 221 98 003

PERPUSTAKAAN PUSAT UNIV. HASANUDDIN	
Tgl. Terima	29 Sep 2003
Asal	Fak MIPA
Dan. (Jml)	1 (satu) eks
Halaman	Hadiah
No. Inventaris	030929158
	16673

**PROGRAM STUDI GEOFISIKA JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2003**

PEMODELAN REFRAKSI OMBAK

Oleh :

NURALIYAH SYAM

H 221 98 003

SKRIPSI

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

**PROGRAM STUDI GEOFISIKA JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2003**

PEMODELAN REFRAKSI OMBAK

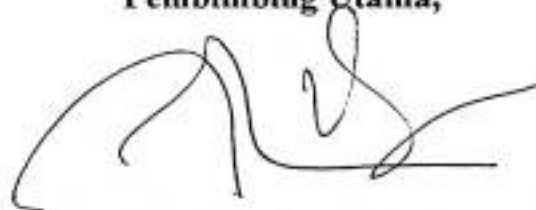
Oleh :

NURALIYAH SYAM

H 221 98 003

Disetujui oleh :

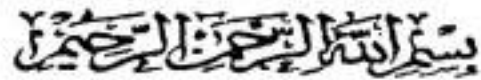
Pembimbing Utama,



Dr. M. A. Hamzah. A.

Nip. 132 050 971

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah, segala puji bagi Allah yang Maha Pengasih dan Pemurah yang senantiasa memberikan Pertolongan, Rahmat, dan titipan Ilmu -Nya, dan juga kepada junjungan kami Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Dalam menekuni studi sampai menyelesaikan tugas akhir ini penulis selalu dihadapkan pada kesulitan yang berat. Proses ini berlanjut hingga penyusunan skripsi ini yang cukup menyita waktu, materi dan energi. Akan tetapi semuanya dapat dihadapi dengan kesabaran, doa dan ikhtiar serta usaha, dan juga dukungan dari orang-orang yang baik hati sehingga apa yang dicita-citakan penulis dapat terwujud.

Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebanyak-banyaknya dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Bapak Dr. M. A. Hamzah. A, selaku Pembimbing Utama yang telah dengan setia dan penuh kesabaran telah membimbing, mengarahkan, memotivasi, dan memberikan gagasan pengetahuan dalam penyusunan skripsi ini.
2. Bapak-bapak penguji seminar hasil, yakni Dr. Dadang Ahmad. S, Dr. rer nat Wira Bahari Nurdin, Drs Muh. Altin Massinai, MTsurv, dan

Drs. Sakka, MSi. Yang telah memberikan koreksi dan saran yang sangat bermanfaat demi penyempurnaan skripsi ini.

3. Bapak Ketua dan Sekretaris jurusan Fisika FMIPA serta seluruh staf pengajar (dosen), staf jurusan Fisika FMIPA Unhas.
4. Teman-teman angkatan 98 : Irma SSi, Rismah SSi, Lisa SSi, Mia SSi, Fatur SSi, Uji, Deasy, Mala, Yani, Sinbad, Rahma, Andin, Rini, Ola, Nur, Ime, Linda, Janaba, Salma, Amma, Dilla, Wara, Ikus, Nono, Jeszy, Syarif, Ilo, Fahmi, Ucup, Sabri, Munasir, Toni, Arman, Imo, Andre, Yafid, Nover, Haeril, Musibur, Jo, Adi.
5. Saudara-saudaraku tercinta dan kemenakanku yang senantiasa mendoakan dan memberi dukungan

Secara khusus penulis mendedikasikan skripsi ini kepada Ayahanda H. Syamsuddin, dan Ibunda Tercinta Hj. ST. Ramlah. P yang penuh kesabaran memberikan bantuan moril dan materil serta doa tulus yang senantiasa dipanjatkan kepada penulis hingga penyelesaian akhir studi.

Doa penulis semoga Allah SWT, memberikan Keselamatan dan Rahmat-Nya pada mereka semua, Amin.

Makassar, 12 Agustus 2003

“Penulis”

ABSTRACT

Wave refraction has been modeled by means of numerical model. The depth averaged of momentum and mass equations were discretized explicitly by using forward time center space (FTCS) method. The model can simulate refraction circulation over straight contour. The calculated of longshore current and wave set up verified by means theory of Longuet-Higgins.

Numeric model of wave refraction process shows that the wave direction tend toward to normal direction as it approaches the shallow water. Verification of result wave height and wave set up at by MSE show that a difference a crest along about 0.25 m, and water elevation show has same tendency, except the first point.

Verification of longshore current by Longuet-Higgins and by numeric calculation show the numerical model work well for this simple case.

Keys : MSE, FTCS, Longuet-Higgins, Wave set up

SARI BACAAN

Pemodelan refraksi ombak telah dilakukan secara numerik. Perata-rataan persamaan kekekalan momentum dan massa terhadap kedalaman didiskritisasi secara eksplisit menggunakan metode beda hingga Forward time center space (FTCS), sehingga diperoleh sirkulasi refraksi ombak. Perhitungan arus susur pantai dan wave set up telah dilakukan dan membandingkan dengan teori Longuet-Higgins.

Model numerik dari proses refraksi ombak menggambarkan pembelokan arah arus yang cenderung normal terhadap tepi pantai. Perbandingan antara tinggi ombak hasil wave set up dengan MSE menunjukkan perbedaan puncak sekitar 0.25 m, dan elevasi menunjukkan kurva yang hampir sama, hanya saja titik awal elevasi yang berbeda. Perbandingan arus susur pantai menurut Longuet-Higgins dan menurut perhitungan numerik menunjukkan kecepatan yang hampir sama.

Kata kunci : MSE, FTCS, Longuet-Higgins, Wave set up.

DAFTAR GAMBAR

Gambar :	Halaman :
Gambar 1. Pola Refraksi Ombak	5
Gambar 2. Skematisasi Refraksi Ombak ketika Memasuki Mintakat Hempasan	7
Gambar 3. Koordinat dan Notasi Dalam Model Refraksi	9
Gambar 4. Komponen-Komponen Tegangan Pancar	12
Gambar 5. Wave Set Up dan Wave Set Down	15
Gambar 6. Prakiraan Pendekatan Metode Beda Hingga Dengan Kurva Garis Singgung	17
Gambar 7. Pernyataan Letak Titik S pada Bidang xy	20
Gambar 8. Tata Letak Variabel Bergantung Dalam Staggered Grid	29
Gambar 9. Sistem Grid (Domain Solusi yang Dibagi Dalam Sejumlah Grid)	32
Gambar 10. Grafik Hubungan antara Kedalaman (D) dan Celeritas (C)	33
Gambar 11. Grafik Hubungan antara Kedalaman (D) dan Sudut Refraksi Ombak pada ($\theta = 45^\circ$)	34
Gambar 12. Grafik Hubungan antara Kedalaman (D) dan Sudut Refraksi Ombak pada ($\theta = 60^\circ$)	35
Gambar 13. Grafik Hubungan antara Kedalaman (D) dan Sudut Refraksi Ombak pada ($\theta = 80^\circ$)	35

Gambar 14. Grafik Hubungan antara Sudut Ombak dan Kedalaman	36
Gambar 15. Grafik Hubungan antara Kedalaman (D) dan Tinggi Ombak (H)	37
Gambar 16. Grafik Hubungan antara Kedalaman (D) dan Tegangan Pancar (S_{xx})	38
Gambar 17. Grafik Hubungan antara Kedalaman (D) dan Tegangan Pancar (S_{xy})	38
Gambar 18. Grafik Hubungan antara Kedalaman (D) dan Tegangan Pancar (S_{yy})	38
Gambar 19. Pola Sirkulasi Refraksi Ombak	39
Gambar 20. Grafik Hubungan antara Kedalaman (D) dan Panjang Gelombang (L)	43
Gambar 21. Grafik Hubungan antara Kedalaman (D) dan Tinggi Ombak (H)	43
Gambar 22. Grafik Hubungan antara Kedalaman dan Elevasi	44
Gambar 23. Grafik Hubungan Tegangan Pancar Ombak dan Kedalaman	44
Gambar 24. Grafik Hubungan antara x/x_B dan v/v_B	48
Gambar 25. Grafik Hubungan antara x/x_B dan v/v_B	48

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Listing Program Short Wave.....	52
Lampiran B. Listing Program Wave Set Up.....	61
Lampiran C. Input Data Program.....	63

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
SARI BACAAN	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR LAMPIRAN	iv
DAFTAR ISI	v
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Ruang Lingkup.....	2
I.3 Tujuan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Teori Dasar.....	6
II.2 Refraksi Ombak.....	10
II.3 Konsep Tegangan Pancar Ombak.....	20
II.4 Sirkulasi Pembangkit Ombak.....	14
II.5 Kenaikan Muka Air Karena Gelombang.....	14
II.6 Metode Numerik Beda Hingga.....	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
III.1 Pembuatan Model Sirkulasi Arus yang Terbangkit Oleh Ombak.....	22
III.2 Verifikasi Model.....	23
Bagan Alir Penelitian.....	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
IV.1 Persamaan Pengatur Untuk Gelombang Pendek.....	24
IV.2 Diskritisasi Persamaan Pengatur Untuk Gelombang Pendek.....	28

IV.3 Kriteria Stabilitas.....	31
IV.4 Uji Dasar Model.....	32
IV.5 Perumusan Wave Set Up.....	40
IV.6 Diskritisasi Perumusan Wave Set Up.....	41
IV.7 Perbedaan Dengan Wave Set Up.....	42
IV.8 Simulasi Arus Susur Pantai Pada Perairan.....	44
IV.8.1 Perhitungan Numerik.....	44
IV.8.2 Perhitungan Analitik Arus Susur Pantai Menurut Longuet-Higgins.....	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	49
V.1 Kesimpulan.....	49
V.2 Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA.....	51
LAMPIRAN A. Listing Program Short Wave.....	52
LAMPIRAN B. Listing Program Wave Set Up.....	61
LAMPIRAN C. Input Data Program.....	63

BAB I
PENDAHULUAN

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini para ilmuwan, perekayasa, dan kalangan usahawan, semakin mengarahkan perhatian pada dinamika air dekat pantai. Besarnya perhatian ini, dikarenakan oleh kenyataan yang menunjukkan bahwa perairan dekat pantai merupakan objek menarik yang saling terkait dan menghadirkan peluang eksploitasi sekaligus beragam persoalan.

Pantai yang merupakan tempat pertemuan udara, air, dan daratan, merupakan sistem dinamik mengalami perubahan terus menerus, selama ada interaksi mekanisme fisis, seperti hampasan ombak, sapuan arus, dan hembusan angin, serta kegiatan manusia.

Gerak paduan antara ombak dan arus dekat pantai beraksi secara terus menerus membentuk topografi dasar pantai menjadi suatu fenomena yang kompleks dan hal ini sering terlihat di sepanjang garis pantai, sebagai akibat dauran horisontal dan vertikal.

Memahami fenomena nyata seperti itu para ilmuwan dan perekayasa dalam memanfaatkan pantai, terlebih dahulu harus menelaah adanya daya yang mengendalikan perubahan garis pantai sebagai perilaku interaksi arus dan ombak. Begitu pula dengan perubahan kedalaman, seperti refraksi, difraksi, dan refleksi

ombak. Bertolak dari persoalan itulah penelitian ini termotivasi untuk menelaah sebagian kecil dari sekian banyak dan beragamnya dinamika air dekat pantai.

Berbagai kajian dinamika air dekat pantai sampai saat ini banyak dilakukan. Salah satunya adalah kajian arus susur pantai, yaitu suatu kajian yang membahas tentang arus yang bergerak sejajar dengan garis pantai yang mempunyai peranan sangat besar dalam pengangkutan sedimen sepanjang pantai. Salah satu yang mengkaji arus susur pantai adalah Longuet-Higgins dan Stewart (1960) memperkenalkan suatu konsep analitik arus susur pantai, yaitu dengan menggunakan konsep tegangan pancar ombak.

I.2 Ruang Lingkup

Sesuai dengan tujuan yang hendak dicapai, maka ruang lingkup penelitian ini meliputi batasan-batasan sebagai berikut :

1. Tepi pantai dianggap bidang yang kedap.
2. Rambatan ombak ke arah pantai hanya mengalami refraksi.
3. Perhitungan kecepatan ombak dengan mild slope equation (MSE) tersederhanakan
4. Peninjauan dilakukan dengan kontur paralel terhadap garis tepi.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Membuat model numerik dari proses refraksi ombak
2. Menghitung arus susur pantai dan wave set up dan membandingkan dengan teori yang ada.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Teori Dasar

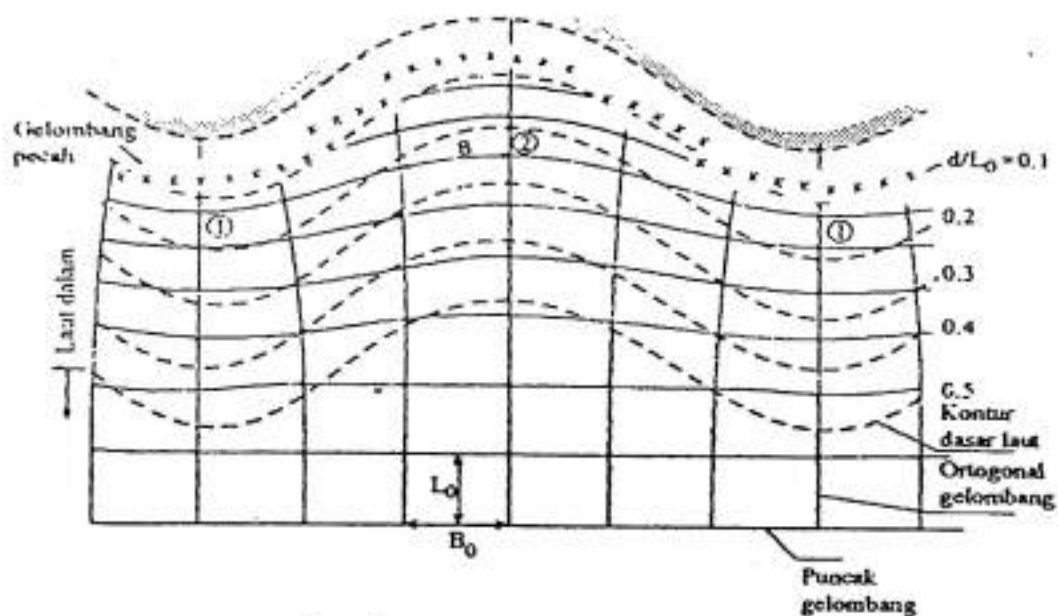
Refraksi ombak merupakan suatu gejala perubahan kecepatan perambatan ombak sepanjang garis puncak ombak yang disebabkan perbedaan kedalaman laut atau perubahan arah ombak datang karena perbedaan kedalaman laut. Bagian ombak di laut yang lebih dalam bergerak lebih cepat daripada bagian ombak di laut yang lebih dangkal. Ombak yang mendekati laut yang lebih dangkal arah rambatnya cenderung mendekati garis normal terhadap kontur kedalaman. Ketika ombak mendekati air dangkal garis puncak ombak cenderung untuk sejajar terhadap garis kontur kedalaman. Sebagai hasil perubahan arah ombak mengakibatkan pembagian energi ombak, suatu energi meningkat pada setiap satuan daerah pada lokasi ombak datang mengumpul dan suatu energi berkurang pada setiap satuan daerah pada lokasi ombak datang menyebar.

Asumsi dasar yang digunakan dalam teori refraksi ombak adalah :

1. Perubahan topografi dasar berangsur-angsur sehingga efek refleksi dapat diabaikan
2. Garis puncak ombak kontinyu sehingga periode ombak konstan.
3. Tidak ada transfer energi karena ombak dari dua ortogonal ombak datang konstan.

4. Cepat rambat ombak yang mempunyai periode tertentu di suatu tempat hanya tergantung pada kedalaman di tempat tertentu.

Proses refraksi ombak dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Pola refraksi ombak

Suatu deretan ombak di laut dalam mempunyai panjang ombak L_0 dan garis puncak ombak sejajar bergerak menuju pantai. Terlihat dalam gambar bahwa garis puncak berubah bentuk dan berusaha untuk sejajar garis kontur dan garis pantai. Garis ortogonal ombak membelok dalam arah menuju tegak lurus (garis normal) terhadap garis kontur.

Pada lokasi 1, garis-garis ortogonal ombak menguncup / mengumpul sedang di lokasi 2, garis ortogonal ombak menyebar. Karena energi antara dua garis ortogonal adalah konstan sepanjang lintasan, berarti satuan lebar di lokasi 1 lebih besar daripada di lokasi 2

II. 2 Refraksi ombak

Bila periode ombak dianggap tetap, maka kecepatan ombak sebahagian besar bergantung pada kedalaman laut, sedangkan tinggi ombak mempunyai pengaruh yang kecil. Berdasarkan teori ombak bersimpangan kecil (Dean dan Eagleson, 1986), kecepatan penjalaran ombak (C) dapat dituliskan sebagai :

$$C = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh kh} \quad (\text{II.1})$$

Dengan $k = \frac{2\pi}{L}$ disebut sebagai bilangan ombak. Kecepatan penjalaran ombak ini dihitung dengan memanfaatkan rumus pendekatan oleh Hsu. (dalam Dean, 1984) :

$$C = \sqrt{\frac{gh}{x + \frac{1}{kh}}} \quad (\text{II.2})$$

dengan $x = \left(\frac{2\pi}{gT}\right)^2$ dan $kh = 1 + (x (0.6533 + x (0.4622 + x^2 (0.0864 + 0.00675x)))$

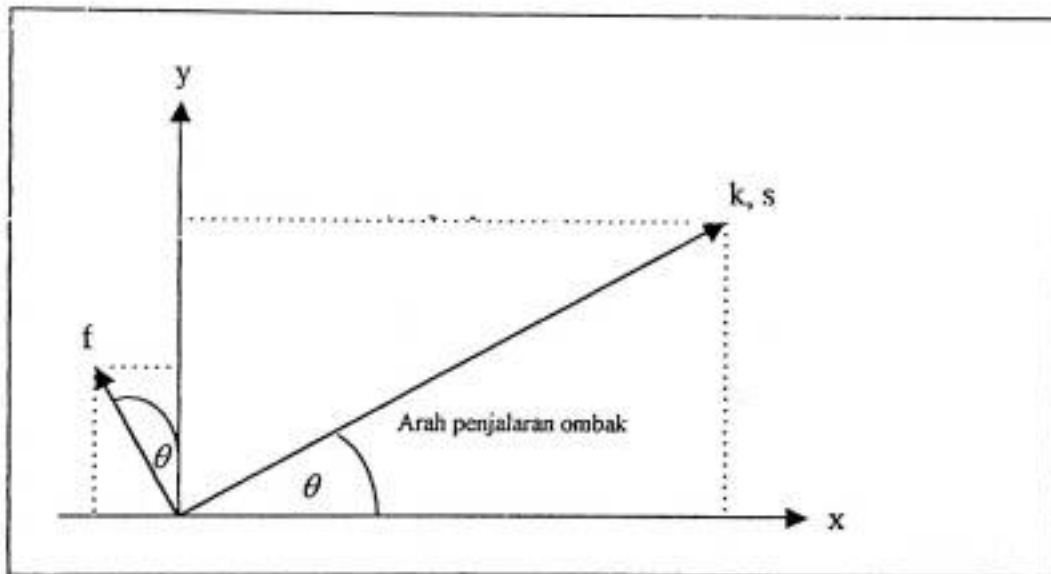
Bila vektor bilangan gelombang $\vec{k} = (k \cos \theta, k \sin \theta)$ konstan secara lokal, maka persamaan (II.1) akan memenuhi angka irrotasional bilangan gelombang :

$$k \left(\cos \theta \frac{\partial}{\partial x} + \sin \theta \frac{\partial}{\partial y} \right) \theta = k \left(\cos \theta \frac{\partial}{\partial x} - \sin \theta \frac{\partial}{\partial y} \right) \quad (\text{II.3})$$

Vektor bilangan gelombang dari penjalaran ombak yang terbias ketika memasuki mintakat pendangkalan secara skematik dapat dilihat pada Gambar 2. Transformasi

koordinat antara (x, y) dan (s, f) terkait melalui hubungan seperti pada persamaan (II.4) berikut :

$$\left. \begin{aligned} x &= s \cos \theta - f \sin \theta \\ y &= s \sin \theta + f \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.4})$$



Gambar 2. Skematisasi refraksi ombak ketika memasuki mintakat pandangkalan

Berdasarkan persamaan (II.4), maka operator diferensial parsial dalam bidang (s, f) akan mengikuti prosedur berikut :

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial}{\partial s} &= \frac{\partial x}{\partial s} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial s} \frac{\partial}{\partial y} = \cos \theta \frac{\partial}{\partial x} + \sin \theta \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial f} &= \frac{\partial x}{\partial f} \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial f} \frac{\partial}{\partial y} = -\sin \theta \frac{\partial}{\partial x} + \cos \theta \frac{\partial}{\partial y} \end{aligned} \right\} \quad (\text{II.5})$$

Penerapan kedua operator diferensial pada persamaan (II.5) dalam syarat irrotasional bilangan ombak pada persamaan (II.3), akan menghasilkan bentuk :

$$\frac{\partial \theta}{\partial s} = -\frac{1}{k} \frac{\partial k}{\partial f} = -\frac{1}{C} \frac{\partial C}{\partial f} \quad (\text{II.6})$$

Persamaan ini merupakan persamaan ortogonal ombak.

Dalam rangka merumuskan persamaan penjalaran ombak, maka persamaan (II.1) diperkenalkan pada persamaan (II.6), sehingga akan diperoleh :

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\partial \theta}{\partial t} + \left(\sin \theta \frac{\partial C}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial C}{\partial y} \right) \quad (\text{II.7})$$

dalam keadaan tunak $\frac{\partial \theta}{\partial t} = 0$, sehingga persamaan (II.7) menjadi :

$$\frac{d\theta}{dt} = \left(\sin \theta \frac{\partial C}{\partial x} - \cos \theta \frac{\partial C}{\partial y} \right) \quad (\text{II.8})$$

Diskritisasi persamaan (II.8) dilakukan dengan memanfaatkan metode beda hingga sebagai berikut :

$$\frac{\theta_{i+1} - \theta_i}{dt} = \sin \theta_i \frac{\partial C}{\partial x} - \cos \theta_i \frac{\partial C}{\partial y} \quad (\text{II.9})$$

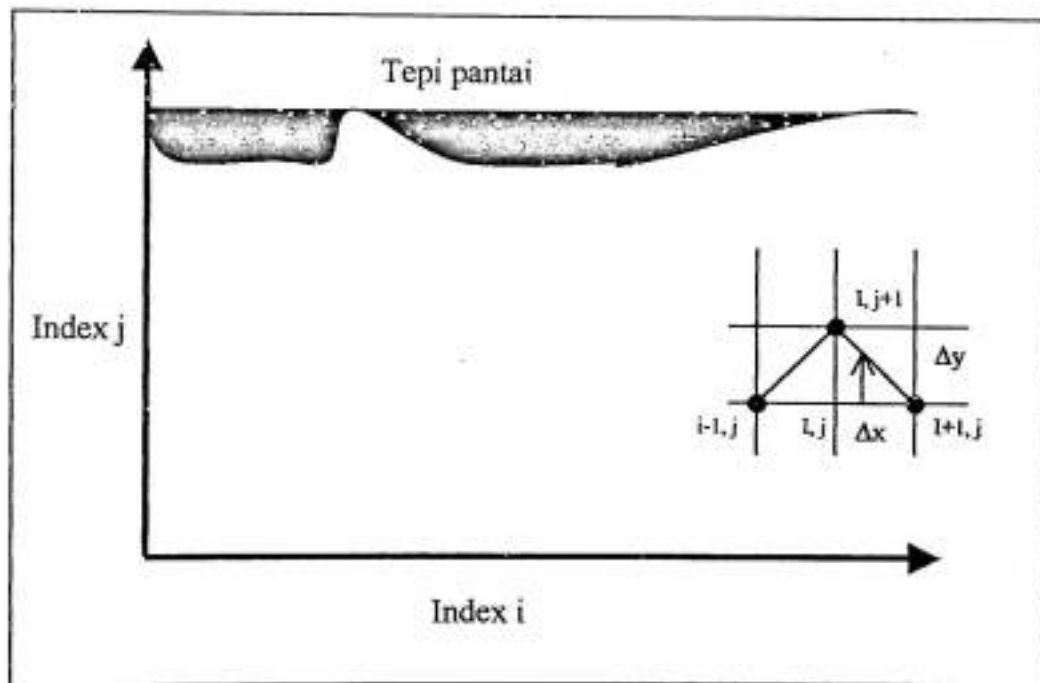
Solusi pembiasan ombak dihasilkan dalam perhitungan dari kedua sudut ombak dan tinggi ombak terefraksi digunakan bentuk modifikasi dari model umum refraksi-difraksi yang merupakan formulasi dasar dari bilangan ombak dan prinsip konservasi energi ombak.

Bentuknya sebagai berikut :

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\sin \theta}{C} \right) = \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\cos \theta}{C} \right) \quad (\text{II.10})$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (H^2 C_g \cos \theta) + \frac{\partial}{\partial y} (H^2 C_g \sin \theta) = 0 \quad (\text{II.11})$$

dimana C_g adalah kecepatan group ($C_g = nC$) dan Koordinat dan sudut ombak θ diperlihatkan pada gambar 3.



Gambar 3. Koordinat dan notasi dalam model refraksi

Dari Gambar.3 tersebut maka solusi persamaan (II.10) dan (II.11) diberikan sebagai berikut :

1. Persamaan sudut ombak (untuk $\theta_{i,j+1}$) :

$$\theta_{i,j+1} = \arccos \left[\left(\frac{\Delta y_j}{2} \left(\frac{\sin \theta_{i+1,j}}{C_{i+1,j}} - \frac{\sin \theta_j}{C_j} \right) + \frac{1}{\Delta x_i} \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{\sin \theta_j}{C_j} - \frac{\sin \theta_{i-1,j}}{C_{i-1,j}} \right) \frac{1}{\Delta x_{j-1}} + \frac{\cos \theta_j}{C_j} \right) C_{i,j+1} \right] \quad (II.12)$$

2. Persamaan Tinggi ombak (untuk $H_{i,j+1}$)

$$H_{i,j+1}^2 = \frac{1}{C_{g,i,j+1} \sin \theta_{i,j+1}} \left[\left(H^2 C_g \sin \theta \right)_j - \frac{\Delta y_j}{2} \left(\frac{\left(H^2 C_g \cos \theta \right)_{i+1,j}}{\Delta x_i} - \right. \right. \\ \left. \left. \frac{\left(H^2 C_g \cos \theta \right)_j}{\Delta x_j} + \frac{\left(H^2 C_g \cos \theta \right)_{ij} - \left(H^2 C_g \cos \theta \right)_{i-1,j}}{\Delta x_{j-1}} \right] \quad (II.13)$$

II.3 Konsep Tegangan Pancar Ombak

Arus susur pantai berperan penting dalam hidrodinamika daerah pantai. Untuk menganalisa kehadiran arus susur pantai digunakan konsep "tegangannya pancar" (radiation stress) yang pertama kali diajukan oleh Longuet-Higgins .

Tegangan pancar didefinisikan sebagai kelebihan fluks momentum yang disebabkan oleh gerak ombak. Dengan menganggap bahwa ombak merambat dalam arah X , fluks momentum horizontal yang melintasi bidang vertikal dikurangi gaya yang dihasilkan dari tekanan hidrostatik air tenang dapat dinyatakan sebagai :

$$S_{xx} = \int_{-h}^{\zeta} (\overline{\rho + \rho u^2}) dz - \int_{-h}^{\zeta} \overline{\rho_0} dz \quad (\text{II.14})$$

dalam hal ini p adalah tekanan ombak, ρ adalah rapat massa air, h adalah air, $z = \zeta(x, y, t)$ adalah persamaan permukaan bebas, u adalah komponen kecepatan orbital dalam arah x , p_0 adalah tekanan hidrostatik air tenang dan garis atas menyatakan perata-rataan terhadap waktu.

Jika kecepatan-kecepatan orbital (u , v , dan w) diberikan oleh :

$$u = \frac{\alpha \sigma}{\sinh kh} \cos k(z+h) \cos(kx - \sigma t) \quad (\text{II.15})$$

$$w = \frac{\alpha \sigma}{\sinh kh} \sinh k(z+h) \sin(kx - \sigma t) \quad (\text{II.16})$$

$$v = 0$$

Dengan memiliki hubungan dispersi yang berbentuk :

$$\sigma^2 = g k \tanh kh \quad (\text{II.17})$$

maka persamaan (II.14) dapat dinyatakan dalam :

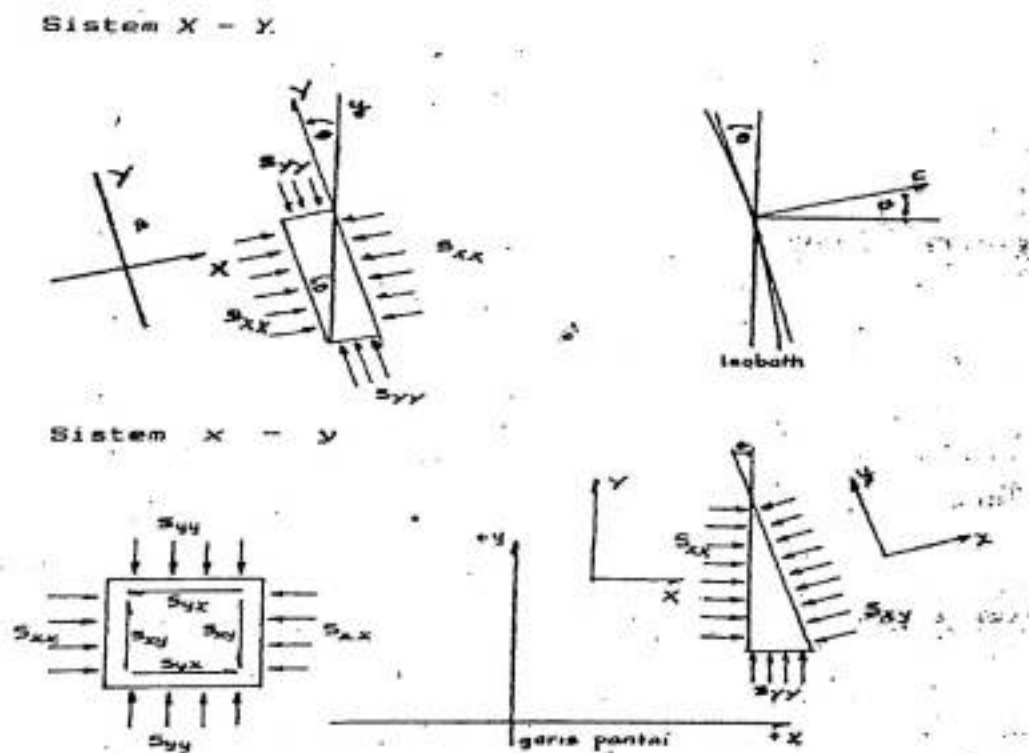
$$S_{xx} = \int_{-h}^0 \overline{\rho(u^2 - w^2)} dz + \frac{1}{2} \rho g \bar{\xi}^2 \quad (\text{II.18})$$

sejalan dengan persamaan (II.18), komponen tegangan melintang, S_{yy} dan komponen tegangan geser, S_{xy} , secara berturut-turut diperoleh :

$$S_{yy} = \int_{-h}^0 \rho w^2 dz + \frac{1}{2} \rho g \bar{\xi}^2 \quad (II.19)$$

$$S_{xy} = \int_{-h}^{\xi} \rho uv dz = 0 \quad (II.20)$$

Dalam sistem koordinat (O, X, Y) , S_{xx} dan S_{yy} adalah tegangan-tegangan utama dan mewakili gaya-gaya horizontal yang secara berturut-turut tegak lurus dan sejajar dengan puncak ombak.



Gambar.4 Komponen-komponen tegangan pancar

Jika komponen-komponen tegangan pancar dinyatakan dalam sistem koordinat yang disesuaikan dengan arah sepanjang pantai (*koordinat y*) dan arah tegak lurus pantai (*koordinat x*), maka transformasi koordinat memberikan :

$$S_{xx} = \frac{1}{2}(S_{xx'} + S_{yy'}) + \frac{1}{2}(S_{xx'} - S_{yy'})\cos 2\theta \quad (\text{II.21a})$$

$$S_{yy} = \frac{1}{2}(S_{xx'} + S_{yy'}) - \frac{1}{2}(S_{xx'} - S_{yy'})\cos 2\theta \quad (\text{II.21b})$$

$$S_{xy} = \frac{1}{2}(S_{xx'} - S_{yy'})\sin 2\theta \quad (\text{II.21c})$$

Pada persamaan – persamaan di atas, θ adalah sudut antara muka ombak dan garis tepi pantai, S_{xy} adalah komponen seret dalam arah susur pantai karena kelebihan fluks momentum ombak yang datang secara serong. Setelah mengganti kecepatan-kecepatan orbital u dan w serta elevasi permukaan ζ , sebagaimana didefinisikan oleh teori gelombang linier :

$$S_{xx} = E \frac{2kh}{\sinh kh} + \frac{1}{2}E = E \left(2n - \frac{1}{2} \right) \quad (\text{II.22})$$

$$S_{yy} = \frac{1}{2} E \frac{kh}{\sinh 2kh} = E \left(n - \frac{1}{2} \right) \quad (\text{II.23})$$

Rapat energi total ombak $E = \frac{1}{2} \rho g \alpha^2$, α menyatakan amplitudo dan n

menyatakan parameter ombak yang besarnya :

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh 2kh} \right) \quad (\text{II.24})$$

besaran S_{xy} menyatakan kesimetrisan dari tegangan pancar, dan merupakan komponen tegangan geser yang berperan dalam gerakan arus susur pantai

II.4 Sirkulasi Pembangkit ombak

Sirkulasi pembangkit ombak menggambarkan gerakan rata-rata pembangkit pada daerah pantai dimana pembangkit angin kecil pada refraksi ombak, difraksi, atau ombak pecah. Sirkulasi ini merupakan pengembangan dari persamaan tegangan pancar ombak. Model sirkulasi pembangkit ombak sebagai berikut :

$$\frac{dU}{dt} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} - \frac{1}{\rho h} \left(\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) \quad (\text{II.25})$$

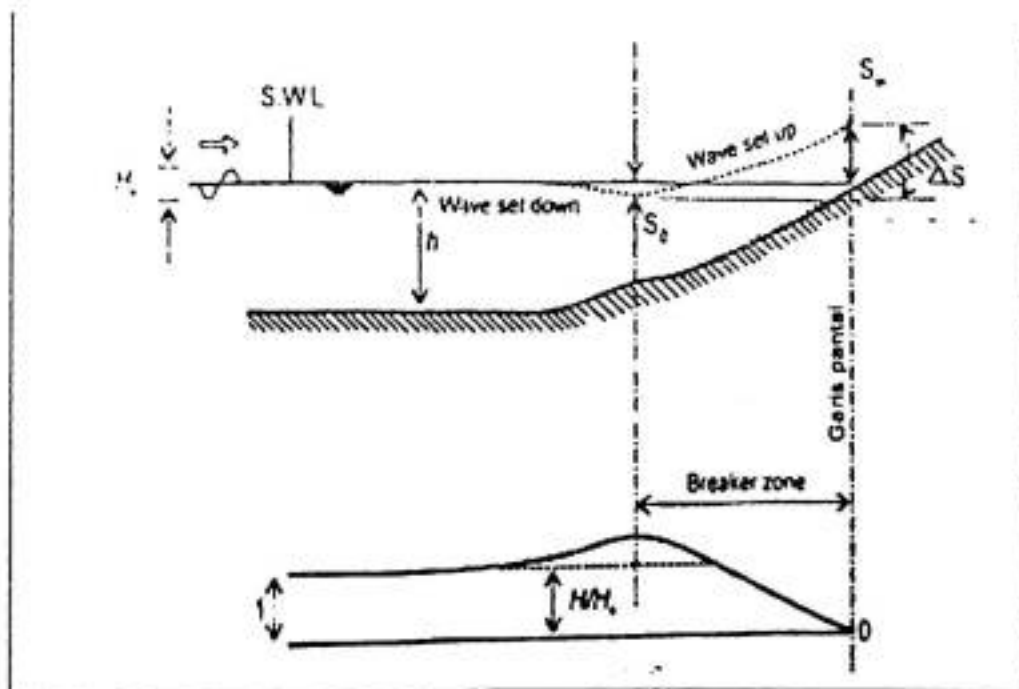
$$\frac{dV}{dt} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho h} - \frac{1}{\rho h} \left(\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) \quad (\text{II.26})$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (\text{II.27})$$

II.5 Kenaikan muka air karena gelombang (wave set-up)

Ombak yang datang dari laut menuju pantai menyebabkan fluktuasi muka air di daerah pantai terhadap muka air diam. Pada waktu ombak pecah akan terjadi penurunan elevasi muka air rerata terhadap elevasi muka air diam di sekitar lokasi ombak pecah. Kemudian dari titik di mana ombak pecah permukaan air rerata miring ke atas ke arah pantai. Turunnya muka air tersebut dikenal dengan wave set-down, sedang naiknya muka air disebut wave set-up, seperti ditunjukkan pada gambar.5.

Kedalaman air minimum di lokasi ombak pecah pada saat wave set-down adalah d_b . Perbedaan elevasi muka air merata dan muka air diam di titik tersebut adalah S_b . Setelah itu muka air naik dan memotong garis pantai. Perbedaan elevasi muka air antara kedua titik adalah wave set-up antara daerah ombak pecah dan pantai yang diberi notasi ΔS dan S_b .



Gambar.5 Wave set-up dan wave set-down

Wave set-up di pantai dapat dihitung dengan menggunakan teori Longuet-Higgins dan Stewart.

Besar wave set-down di daerah ombak pecah diberikan oleh :

$$S_b = - \frac{0.536 H_b^2}{g^{1/2} T} \quad (\text{II.28})$$

dengan :

S_b : set-down di daerah ombak pecah

T : periode ombak

H : tinggi ombak laut dalam ekivalen

d_b : kedalaman ombak pecah

g : percepatan gravitasi

wave set-up di pantai diberikan oleh bentuk berikut :

$$S_w = \Delta S - S_b \quad (\text{II.29})$$

Longuet-Higgins dan Stewart melakukan analisa data hasil percobaan yang dilakukan oleh Saville (1961) dan hasilnya adalah $\Delta S = 0.15 d_b$. Dengan menganggap bahwa $d_b = 1.28 H_b$, maka

$$\Delta S = 0.15 d_b \quad (\text{II.30})$$

Substitusi persamaan (II.28) dan (II.30) ke dalam persamaan (II.29) didapat :

$$S_w = 0.19 \left[1 - 2.82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b \quad (\text{II.31})$$

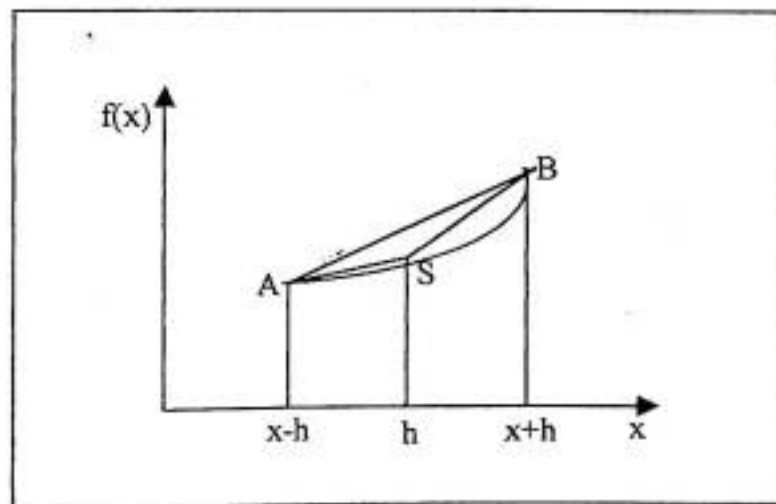
Pers (II.31) merupakan persamaan kenaikan muka air karena gelombang.

11.6 Metode Numerik Beda Hingga

Metode Numerik beda hingga merupakan salah satu teknik untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang diformulasikan secara matematis dengan cara operasi hitungan (aritmetik).

Dalam metode numerik beda hingga operasi perhitungan dan iterasi dilakukan dalam jumlah yang besar dan berulang-ulang oleh karena itu diperlukan bantuan komputer untuk melaksanakan operasi hitungan tersebut. Penyelesaian metode numerik beda hingga dapat dilakukan dengan cara pendekatan maju (Forward Difference), pendekatan mundur (Backward Difference) ataupun pendekatan terpusat (Central Difference).

Hal tersebut dapat dijelaskan seperti pada Gambar 6.



Gambar 6 Prakiraan pendekatan metode beda hingga dengan kurva garis singgung

Pada Gambar 6 pendekatan maju pada gradien di titik S dengan kemiringan kurva SB dan juga menggunakan data pada titik (h) dan $(x+h)$ dan dinyatakan dengan persamaan :

$$f'(x) = \frac{f(x+h) - f(x)}{h} \quad (\text{II.32})$$

Untuk pendekatan mundur adalah gradien di titik S dengan pendekatan kemiringan kurva AS dan menggunakan data pada titik $(x-h)$ dan (h) , dan dinyatakan dengan persamaan :

$$f'(x) = \frac{f(x) - f(x-h)}{h} \quad (\text{II.33})$$

Sedangkan untuk pendekatan terpusat menggunakan gradien di titik S dan pendekatan kemiringan kurva AS dan menggunakan data pada titik $(x-h)$ dan titik $(x+h)$ dan dinyatakan dengan :

$$f'(x) = \frac{f(x+h) - f(x-h)}{2h} \quad (\text{II.34})$$

Fungsi $f(x)$ pada selang $(x-h, x+h)$ di mana h adalah jarak antar sub selang, dapat diuraikan menurut deret Taylor sebagai berikut :

$$f(x+h) = f(x) + hf'(x) + \frac{h^2}{2} f''(x) + \frac{h^3}{3!} f'''(x) + \dots \quad (\text{II.35})$$

demikian pula

$$f(x-h) = f(x) - hf'(x) + \frac{h^2}{2} f''(x) - \frac{h^3}{3!} f'''(x) + \dots \quad (\text{II.36})$$

Bentuk $f(x)$ dari kedua persamaan di atas masing-masing dituliskan sebagai berikut :

$$f(x) = f(x+h) - hf'(x) - \frac{h^2}{2} f''(x) - \frac{h^3}{3!} f'''(x) - \dots \quad (\text{II.37})$$

$$f(x) = f(x-h) + hf'(x) - \frac{h^2}{2} f''(x) + \frac{h^3}{3!} f'''(x) - \dots \quad (\text{II.38})$$

Turunan pertama dan kedua dari $f(x)$ diperoleh dengan menjumlahkan atau memperkurangkan persamaan (II.37) dan (II.38).

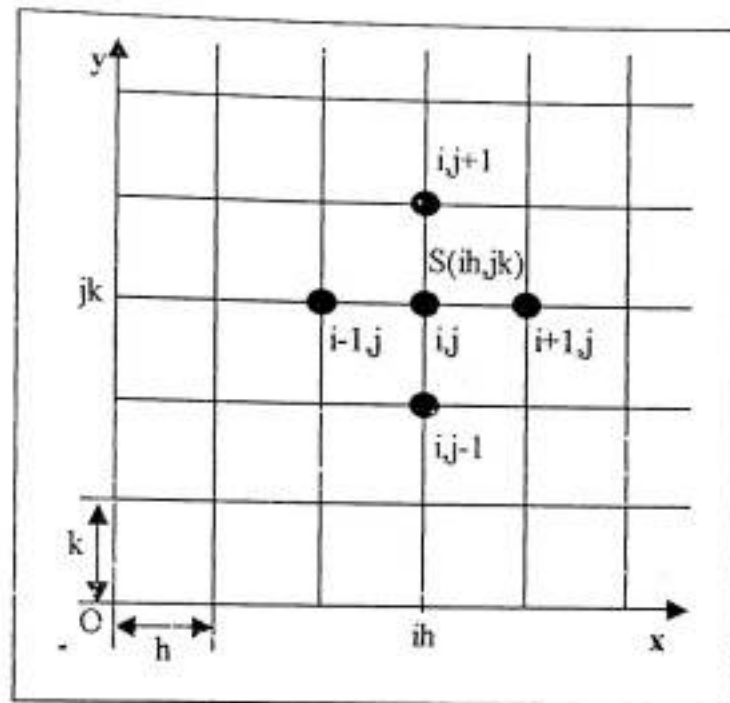
$$f'(x) = \frac{f(x+h) - f(x-h)}{2h} \quad (\text{II.39})$$

$$f''(x) = \frac{f(x+h) - 2f(x) + f(x-h)}{h^2} \quad (\text{II.40})$$

Bentuk persamaan-persamaan tersebut kemudian digunakan dalam penentuan differensial numerik untuk memperkirakan bentuk differensial kontinyu menjadi bentuk diskrit. Differensial numerik ini banyak digunakan untuk menyelesaikan persamaan differensial. Dengan demikian, jika fungsi $f(x)$ pada selang ke (i) dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan berikut ini :

$$f(x_i) = f_i = f(x+ih) \quad i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$$

Jika $f(x,y)$ dipetakan terhadap bidang xy dengan jarak grid $\Delta x = h$ dan $\Delta y = k$ maka koordinat titik S ditunjukkan seperti pada Gambar 7.



Gambar 7 Pernyataan letak titik S pada bidang xy

dengan : $x = ih$

$$y = jk$$

Berdasarkan gambar pernyataan numerik untuk persamaan (II.37) dan (II.38) adalah

$$f(x) \equiv \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i,j} \equiv \frac{f_{i+1,j} - f_{i,j}}{h} \quad (\text{II.39a})$$

$$\equiv \frac{f_{i,j} - f_{i-1,j}}{h} \quad (\text{II.39b})$$

$$\equiv \frac{f_{i+1,j} - f_{i-1,j}}{2h} \quad (\text{II.39c})$$

$$f_{xx} \equiv \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \Big|_{i,j} \equiv \frac{f_{i-1,j} - 2f_{i,j} + f_{i+1,j}}{h^2} \quad (\text{II.40})$$

$$f_y \equiv \frac{\partial f}{\partial y} \Big|_{i,j} \equiv \frac{f_{i,j+1} - f_{i,j}}{k} \quad (\text{II.41a})$$

$$\equiv \frac{f_{i,j} - f_{i,j-1}}{k} \quad (\text{II.41b})$$

$$\equiv \frac{f_{i,j+1} - f_{i,j-1}}{2k} \quad (\text{II.41c})$$

$$f_{yy} \equiv \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} \Big|_{i,j} \equiv \frac{f_{i,j+1} - 2f_{i,j} + f_{i,j-1}}{k^2} \quad (\text{II.42})$$



BAB III
METODOLOGI

BAB III

METODOLOGI

Metodologi penelitian ini adalah :

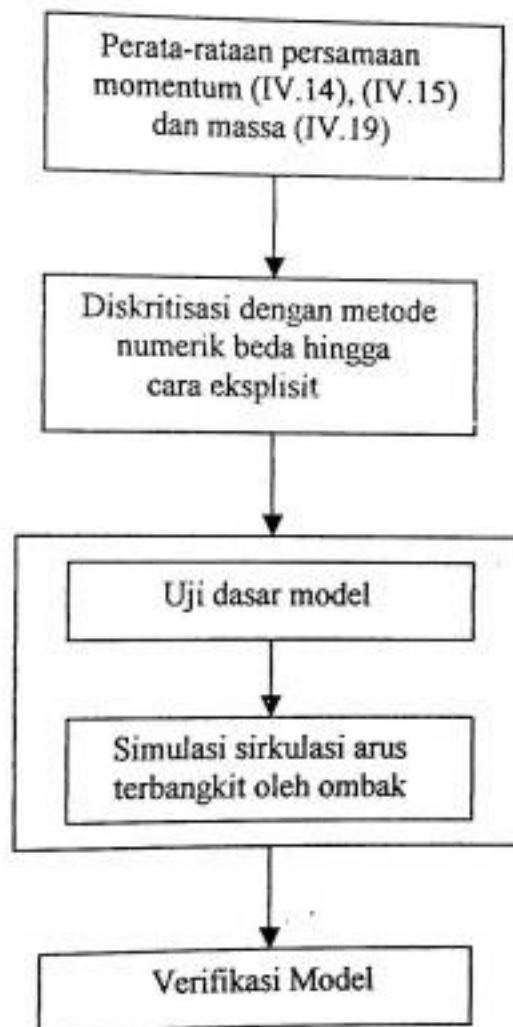
A. Pembuatan model sirkulasi arus yang terbangkit oleh ombak.

1. Menyelesaikan persamaan momentum (IV.14), (IV.15) dan massa (IV.19) hasil perata-rataan terhadap kedalaman dengan metode numerik.
2. Melakukan Uji Dasar Model.
3. Melakukan Simulasi model sirkulasi arus yang terbangkit oleh ombak dengan menggunakan persamaan numerik beda hingga cara eksplisit.

B. Verifikasi Model

1. Melakukan diskritisasi persamaan wave set up (IV.39)
2. Simulasi wave set up pada perairan dengan kontur paralel. Perolehan model akan dibandingkan dengan perhitungan analitik (pers.II.31).
3. Simulasi arus susur pantai pada perairan dengan kontur paralel. Hasil perhitungan numerik akan dibandingkan dengan hasil perhitungan analitik menurut Longuet-Higgins (pers. II.21a, b, dan c)

BAGAN ALIR PENELITIAN



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Persamaan Pengatur untuk Gelombang Pendek

Gelombang dengan perbandingan gelombang dan tinggi ombak 2 ($L < 2h$) disebut gelombang pendek permukaan bebas. Asumsi dasar teori gelombang pendek adalah tekanan fluida hidrostatik yang berarti bahwa percepatan di arah vertikal (arah z) diabaikan. Persamaan dasar yang digunakan adalah persamaan Navier Stokes yang tiada lain merupakan persamaan momentum (Koutitas, 1988) :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + z \frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + a_x + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_h \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (\text{IV.1})$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + a_y + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_h \frac{\partial v}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) \quad (\text{IV.2})$$

Dimana $u(x,y,z,t)$, $v(x,y,z,t)$, $w(x,y,z,t)$ dan $p(x,y,z,t)$ adalah komponen kecepatan dan fungsi tekanan dan ν_h , ν_v fungsi viskositas eddy. Komponen a_x dan a_y menunjukkan percepatan.

Perbandingan ν_v dan ν_h dan hasilnya suku momentum difusi horisontal dan vertikal dianalisis sebagai :

$$[\nu] = L^2/T \quad (\text{IV.3})$$

sehingga:

$$\begin{aligned} O[v_h] &\propto O[L] \cdot O[U] \\ O[v_v] &\propto O[H] \cdot O[U] \end{aligned} \quad (IV.4)$$

Selama : $O[v_v] \ll O[v_h], O[L] \gg O[H]$

Di mana L dan H adalah dimensi medan aliran horisontal dan vertikal. Pernyataan momentum difusi horisontal dan vertikal, yaitu :

$$O\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(v_h \frac{\partial u}{\partial x}\right)\right] \propto \frac{O[L] \cdot O[U]^2}{O[L]^2} \propto \frac{O[U]^2}{O[L]} \quad (IV.5)$$

Dan

$$O\left[\frac{\partial}{\partial z}\left(v_v \frac{\partial u}{\partial z}\right)\right] \propto \frac{O[H] \cdot O[U]^2}{O[H]^2} \propto \frac{O[U]^2}{O[H]} \quad (IV.6)$$

Suku momentum difusi horisontal diabaikan sebelum suku vertikal. Penggunaan nilai v_h konstan untuk alasan kestabilan numerik dari gangguan kecepatan medan.

Persamaan (IV.1) diintegrasikan terhadap kedalaman (hasil perata-rataan terhadap kedalaman)

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{-h}^{\zeta} u dz + \int_{-h}^{\zeta} u \frac{\partial u}{\partial z} dz + \int_{-h}^{\zeta} v \frac{\partial u}{\partial y} dz = \quad (IV.7)$$

$$- \int_{-h}^{\zeta} \left[\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} \right] dz + \int_{-h}^{\zeta} a_x dz + \int_{-h}^{\zeta} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(v_h \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right] dz + \int_{-h}^{\zeta} \left[\frac{\partial}{\partial y} \left(v_h \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] dz + \int_{-h}^{\zeta} \left[\frac{\partial}{\partial z} \left(v_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] dz$$

Intensitas arus hampir seragam terhadap kedalaman, peningkatan gradien maju hanya dekat dasar. Keseragaman kecepatan terhadap kedalaman dapat lebih sederhana dengan integrasi terhadap kedalaman dan dikenal dengan nilai kecepatan kedalaman rata-rata :

$$U = \frac{1}{h} \int_{-h}^{\zeta} u dz \quad \text{dan} \quad V = \frac{1}{h} \int_{-h}^{\zeta} v dz \quad (IV.8)$$

Sehingga persamaan IV.7 menjadi

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + a_z + \frac{1}{h} \left\{ \int_{-h}^z \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_x \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right] dz + \int_{-h}^z \left[\frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_x \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] dz + \int_{-h}^z \left[\frac{\partial}{\partial z} \left(\nu_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) \right] dz \right\} \quad (IV.9)$$

Dalam kasus fluida homogen (sama jenis) suku tekanan menjadi pendekatan tekanan hidrostatik :

$$-\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} \quad \text{dan} \quad -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} \quad (IV.10)$$

Sehingga persamaan menjadi

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{1}{h} \left(\frac{\tau_{bx}}{\rho} + \frac{\tau_{sx}}{\rho} \right) \quad (IV.11)$$

Suku gesekan permukaan :

$$\frac{\tau_x}{\rho} = \frac{\tau_{xx}}{\rho} + \frac{\tau_{xy}}{\rho} \quad \text{dan} \quad \frac{\tau_y}{\rho} = \frac{\tau_{xy}}{\rho} + \frac{\tau_{yy}}{\rho} \quad (IV.12)$$

suku geseran dasar umumnya dimodelkan dengan:

$$\frac{\tau_{bx}}{\rho} = \frac{g}{C^2} U \sqrt{U^2 + V^2} \quad \text{dan} \quad \frac{\tau_{by}}{\rho} = \frac{g}{C^2} V \sqrt{U^2 + V^2} \quad (IV.13)$$

dengan C adalah koefisien Chezy.

Menghasilkan model sederhana yang diketahui sebagai model 2D/H (aliran horisontal 2 dimensi) :

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{gU \sqrt{U^2 + V^2}}{hC^2} - \frac{1}{\rho h} \left(\tau_{xx} + \tau_{yy} \right) \quad (\text{IV.14})$$

Dengan cara yang sama pada persamaan (IV.1) diperoleh persamaan momentum dari persamaan (IV.2) :

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{gV \sqrt{U^2 + V^2}}{hC^2} - \frac{1}{\rho h} \left(\tau_{xy} + \tau_{yx} \right) \quad (\text{IV.15})$$

Persamaan kontinuitas massa (fluida inkompresibel) :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (\text{IV.16})$$

Bentuk yang lebih sesuai untuk permukaan bebas, dekat aliran horisontal berasal dari integrasi persamaan (IV.16) terhadap kedalaman

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_{-h_0}^{\zeta} u dz + \frac{\partial}{\partial y} \int_{-h_0}^{\zeta} v dz + w|_{\zeta} - w|_{-h_0} = 0 \quad (\text{IV.17})$$

Di mana $\zeta(x,y,t)$ adalah elevasi permukaan bebas relatif muka air rata-rata (SWL). Untuk $w(x,y,z=-h)=0$ dan $w(x,y,z=\zeta) \approx \partial \zeta / \partial t$. Persamaan (IV.17) bentuknya menjadi :

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \int u dz + \frac{\partial}{\partial y} \int v dz = \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial U h}{\partial x} + \frac{\partial V h}{\partial y} = q \quad (\text{IV.18})$$

Di mana $U(x,y,t)$ dan $V(x,y,t)$ adalah komponen kecepatan kedalaman rata-rata horisontal dan $q(x,y,t)$ ($[q] = L^3/L^2/T$) merupakan dimensi debit dari sumber atau perairan ada di domain aliran, seperti pengaruh dari sungai.

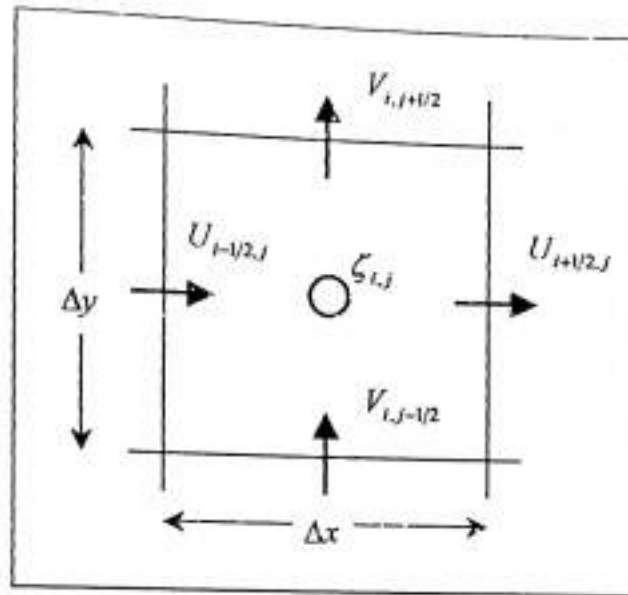
Menghasilkan persamaan kontinuitas model sederhana yang diketahui sebagai model $2DH$ (aliran horisontal 2 dimensi) :

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial Uh}{\partial x} + \frac{\partial Vh}{\partial y} = 0 \quad (IV.19)$$

IV.2 Diskritisasi Persamaan Pengatur untuk Gelombang Pendek

Dalam rangka pencarian solusi numerik dengan metode beda hingga, maka persamaan-persamaan pengatur (IV.14), (IV.15) dan (IV.19) didiskritisasi dengan metode *forward time center space* (FTCS). Beda maju (*forward difference*) digunakan sebagai pendekatan pada suku turunan waktu, sementara beda pusat (*center difference*) digunakan sebagai pendekatan pada suku turunan ruang. Tata letak variabel bergantung (U , V , dan ζ) dalam *staggered grid* dapat dilihat pada Gambar 8.

Kecepatan horisontal (U) terletak pada sisi kiri dan kanan grid, sementara kecepatan vertikal (V) terletak pada sisi bawah dan atas grid. Variabel elevasi muka air (ζ) terletak pada pusat grid.



Gambar 8 Tata letak variabel bergantung dalam *staggered grid*

Persamaan momentum dalam arah x dan y dihitung pada sisi kiri grid $(i-1/2, j)$, dan sisi atas grid $(i, j+1/2)$, sedangkan persamaan massa (IV.19) dievaluasi pada pusat grid (i, j) . Perhitungan variabel U dan V pada waktu $n+1$ dilakukan dengan melibatkan nilai-nilai dari variabel U, V dan ζ pada waktu n dan $n+1/2$. Berdasarkan informasi nilai U, V dan ζ pada waktu $n+1$ dan $n+1/2$ yang telah diketahui, maka variabel ζ untuk waktu. Dengan demikian seluruh variabel dapat dihitung secara eksplisit dan tidak terdapat sistem persamaan yang perlu diselesaikan. Operasi perhitungan dalam bentuk fungsional dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 U_{i-1/2,j}^{n+1} &= f_1(U^n, V^n, \zeta^{n+1/2}) \\
 V_{i,j-1/2}^{n+1} &= f_2(U^n, V^n, \zeta^{n+1/2}) \\
 \zeta_{i,j}^{n+3/2} &= f_3(U^{n+1}, V^{n+1}, \zeta^{n+1/2})
 \end{aligned}
 \tag{IV.20}$$

Walaupun hasil diskritisasi yang akan mudah dihitung karena bersifat eksplisit, tetapi terdapat keterbatasan dalam penentuan langkah waktu (Δt) dalam rangka pemenuhan

Walaupun hasil diskritisasi yang akan mudah dihitung karena bersifat eksplisit, tetapi terdapat keterbatasan dalam penentuan langkah waktu (Δt) dalam rangka pemenuhan kriteria CFL agar proses perhitungan tetap stabil.

$$\frac{\partial U}{\partial t} \cong \frac{U_{i-1/2,j}^{n+1} - U_{i-1/2,j}^n}{\Delta t} \quad (\text{IV.21})$$

dengan :

$$f_{ux} = U \frac{\partial U}{\partial x} \cong \frac{i}{8} \left[\frac{(U_{i+1/2,j}^n + U_{i-1/2,j}^n)^2 - (U_{i-1/2,j}^n + U_{i-3/2,j}^n)^2}{\Delta x i} \right] \quad (\text{IV.22})$$

$$f_{vx} = V \frac{\partial U}{\partial y} \cong \tilde{V}_{i-1/2,j}^n \frac{U_{i-1/2,j+1}^n - U_{i-1/2,j-1}^n}{2\Delta y j} \quad (\text{IV.23})$$

dimana :

$$\tilde{V}_{i-1/2,j}^n = \frac{1}{4} (V_{i,j-1/2}^n + V_{i-1,j-1/2}^n + V_{i,j+1/2}^n + V_{i-1,j+1/2}^n) \quad (\text{IV.24})$$

$$tbx = \frac{1}{h} \frac{\tau_{bx}}{\rho} = \frac{g}{C^2} \frac{U \sqrt{U^2 + V^2}}{h} \cong \frac{g}{C^2} \frac{U_{i-1/2,j}^n \sqrt{U_{i-1/2,j}^{n2} + \tilde{V}_{i-1/2,j}^{n2}}}{\frac{1}{2}(h_{i,j} + h_{i-1,j})} \quad (\text{IV.25})$$

$$f_{px} = g \frac{\partial \zeta}{\partial x} \cong g \frac{\zeta_{i,j}^{n+1/2} - \zeta_{i-1,j}^{n+1/2}}{\Delta x i} \quad (\text{IV.26})$$

Sehingga diperoleh :

$$U_{i-1/2,j}^{n+1} = U_{i-1/2,j}^n + \Delta t (f_{ux} + f_{vx} + f_{px} + tbx) \quad (\text{IV.27})$$

Dengan cara yang sama untuk diskritisasi persamaan (IV.15) diperoleh :

$$V_{i,j-1/2}^{n+1} = V_{i,j-1/2}^n + \Delta t (f_{uy} + f_{vy} + f_{py} + tby) \quad (\text{IV.28})$$

Setelah memperoleh persamaan (IV.27) dan (IV.28) kemudian melakukan diskritisasi persamaan (IV.19).

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = - \left\{ \frac{\partial}{\partial x} (Uh) + \frac{\partial}{\partial y} (Vh) \right\} \quad (IV.29)$$

$$\frac{\zeta_{i,j}^{n+3/2} - \zeta_{i,j}^{n+1/2}}{\Delta t} = -h_{i,j} \left\{ \frac{(U_{i+1/2,j}^{n+1} - U_{i-1/2,j}^{n+1})}{\Delta x i} + \frac{(V_{i,j+1/2}^{n+1} - V_{i,j-1/2}^{n+1})}{\Delta y j} \right\} \quad (IV.30)$$

$$\zeta_{i,j}^{n+3/2} = \zeta_{i,j}^{n+1/2} + \Delta t (UV) \quad (IV.31)$$

IV.3 Kriteria Stabilitas

Stabilitas metode numerik diperlukan untuk menjaga agar osilasi yang timbul pada suatu tahap perhitungan tidak bertambah besar pada tahap perhitungan selanjutnya. Selain penentuan model beda hingga yang tepat, perlu juga pembatasan khusus pada ukuran grid dan selang waktu sebagai berikut :

1. Ukuran grid yang dipilih harus cukup kecil,

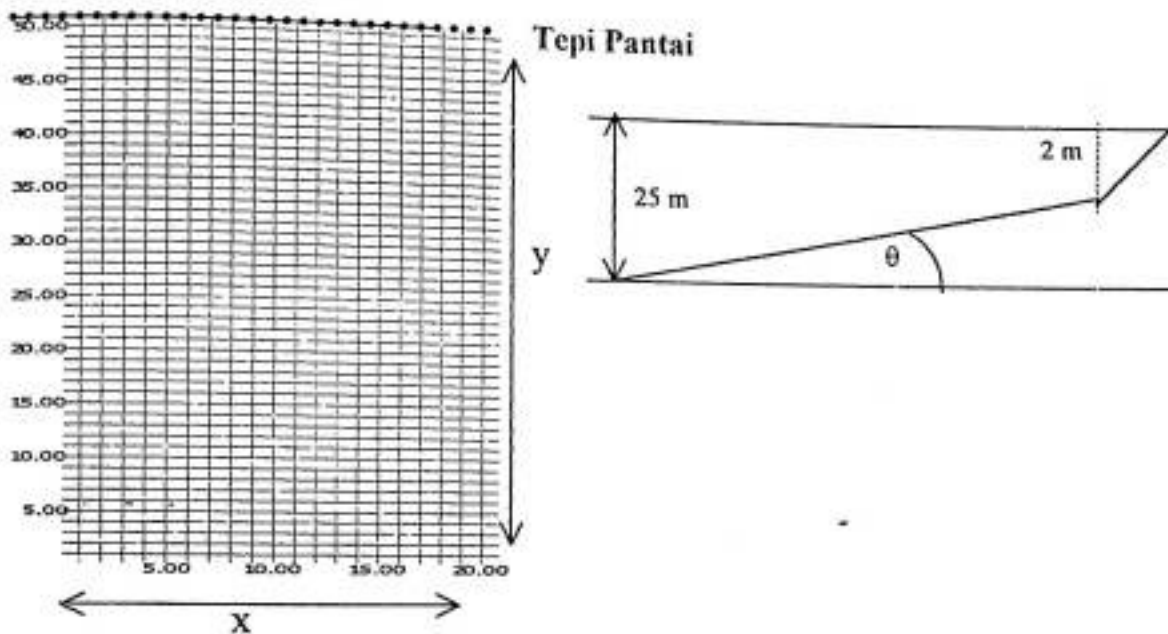
Hal ini berhubungan dengan masalah konsistensi numeric yang menyatakan bahwa kesalahan merupakan fungsi dari ukuran grid.

2. Memenuhi syarat kestabilan sebagaimana criteria dalam syarat CFL (courant Friedrichs Lewy).

$$\Delta t < \frac{\Delta x}{\sqrt{2gh_{\max}}} \quad (IV.32)$$

IV.4 Uji Dasar Model

Diterapkan pada pantai dengan kontur seragam



Gambar 9. Sistem Grid (Domain solusi yang dibagi dalam sejumlah grid)

Dalam perhitungan model numerik eksplisit yang bertujuan untuk mengecek kestabilan model dan penerapan boundary kondisi (BC) pada kasus segi empat yang dibagi atas 20 x 50 grid (Gambar 9) dengan lebar grid 20 m.

Parameter Input

- Incident wave (Gelombang Datang)

Incident wave pada gelombang pendek ($\frac{h}{L} > \frac{1}{2}$) dalam perhitungan periode yang digunakan 7 jam = $7 \times 60 = 420$ menit ($420 \times 60 = 25200$ detik), komponen kecepatan

angin dalam arah x dan y (w_x, w_y) = 10 m/s, dan $L = 80$ m pada laut dalam dengan kedalaman tidak seragam ke arah tepi pantai.

- Domain komputasi

Domain komputasi yang dipakai pada perhitungan ini adalah :

$$\Delta x = \Delta y \cong \frac{1}{4} L = 20m$$

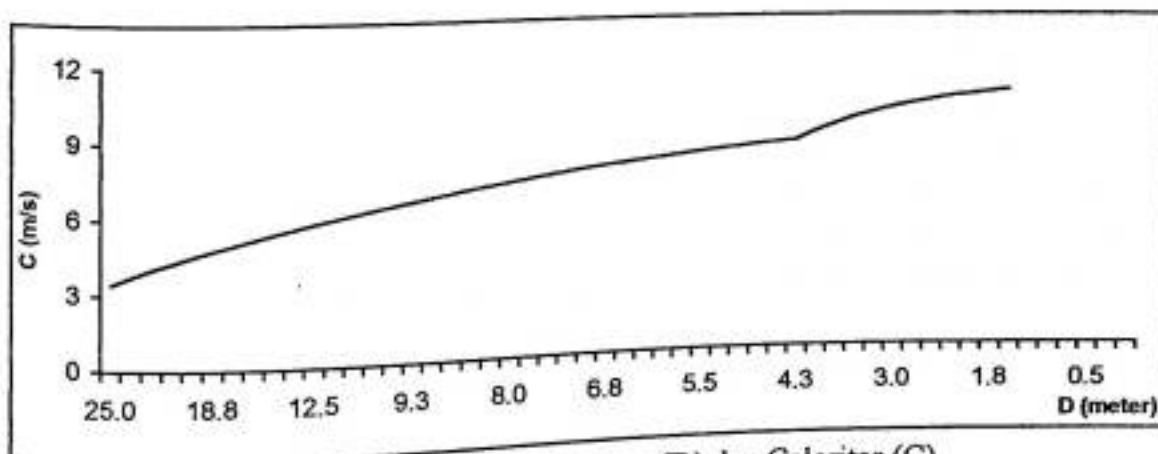
Dan langkah waktu $\Delta t = 0.5$ detik lebih kecil di bawah langkah waktu yang ditentukan oleh criteria Courant; pemilihan langkah waktu Δt didasarkan atas perhitungan syarat kestabilan CFL (Courant Friedrichs Lewy).

Δt kritis = 0.9 detik. $\Delta t = 0.5$ detik diharapkan agar perhitungan akan stabil.

Parameter Output

-Celeritas Ombak (C)

Celeritas pada laut dalam menuju ke tepi pantai menunjukkan kenaikan yang hampir seragam.

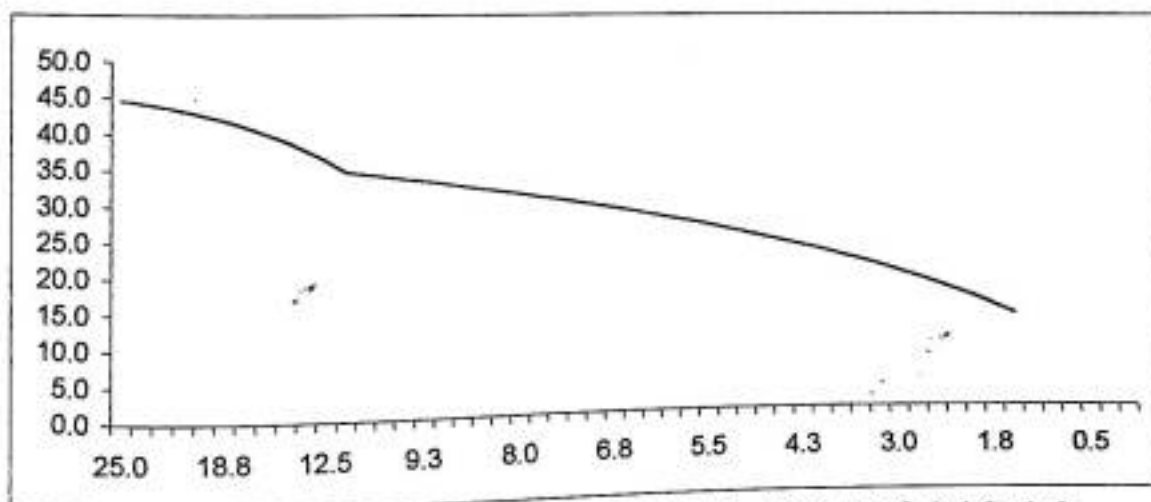


Gambar 10. Grafik Hubungan antara Kedalaman (D) dan Celeritas (C).

Seperti terlihat pada gambar 10, yaitu pada kedalaman 25 m – 4.3 m kecepatan ombak naik secara teratur, sedang pada kedalaman 4.3 m sampai tepi pantai menunjukkan kenaikan yang signifikan yang mendekati maksimum

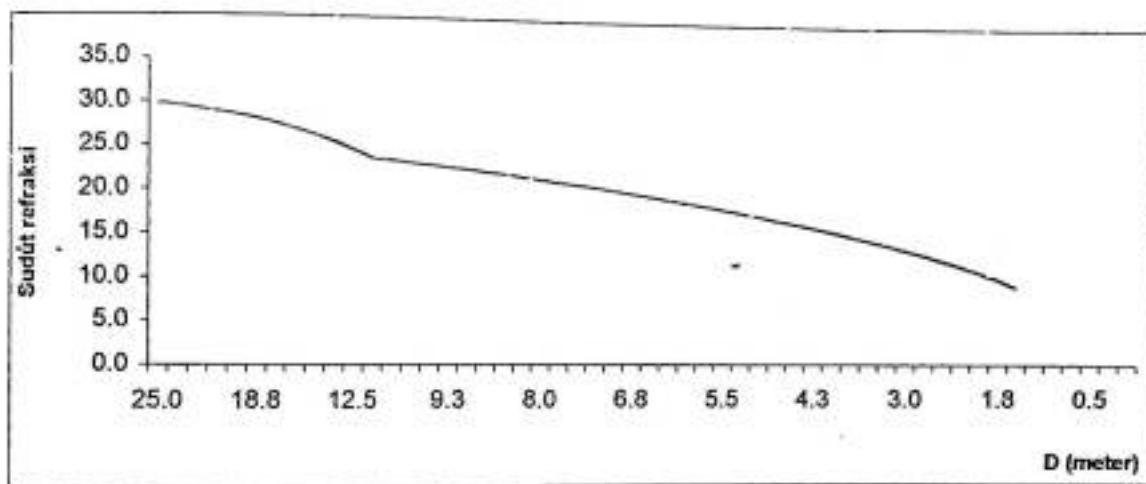
- Sudut Ombak ($\theta_{i,j}$)

Sudut refraksi ombak pada $\theta = 45^\circ$ menunjukkan kurva penurunan sudut ketika mencapai tepi pantai, hal ini disebabkan karena dipengaruhi oleh kedalaman. Pada gambar terlihat sudut refraksi pada kedalaman sekitar 25 m menunjukkan sekitar 45° kemudian akan mengalami penurunan sudut seiring dengan semakin dangkalnya laut, seperti diperlihatkan pada gambar 11.

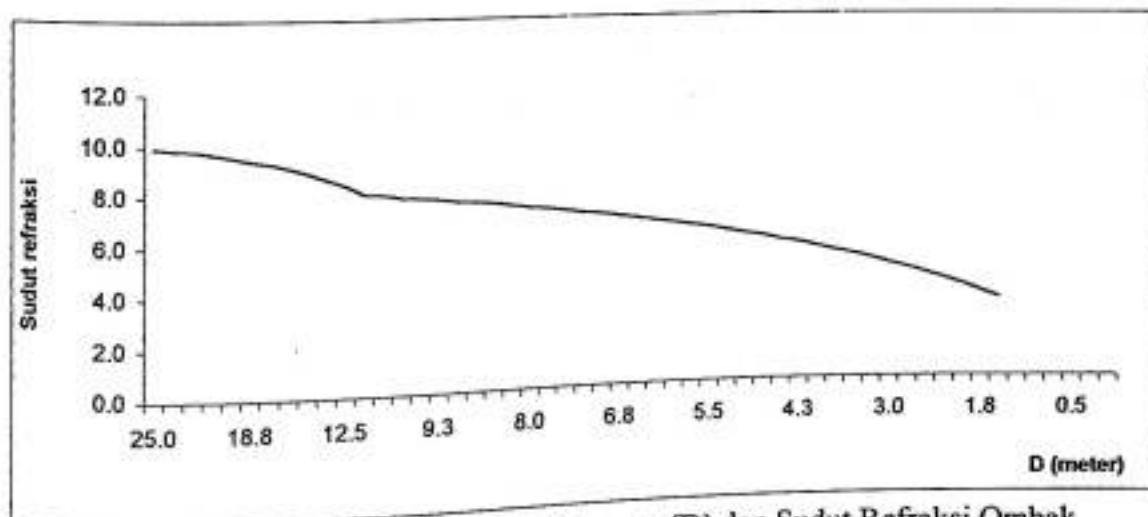


Gambar 11. Grafik Hubungan Antara Kedalaman (D) dan Sudut Refraksi Ombak Pada $\theta = 45^\circ$

Sedang pada sudut refraksi pada $\theta = 60^\circ$ dan pada $\theta = 80^\circ$ menunjukkan kurva yang sama pada sudut refraksi pada $\theta = 45^\circ$ yaitu mengalami penurunan sudut seiring dengan semakin dangkalnya laut, yang berbeda dari masing-masing kurva adalah sudut refraksi awal. Pada sudut refraksi, $\theta = 60^\circ$ menunjukkan sekitar 30° dan sudut refraksi pada $\theta = 80^\circ$ menunjukkan sekitar 10° , seperti terlihat pada gambar 12, dan gambar 13.

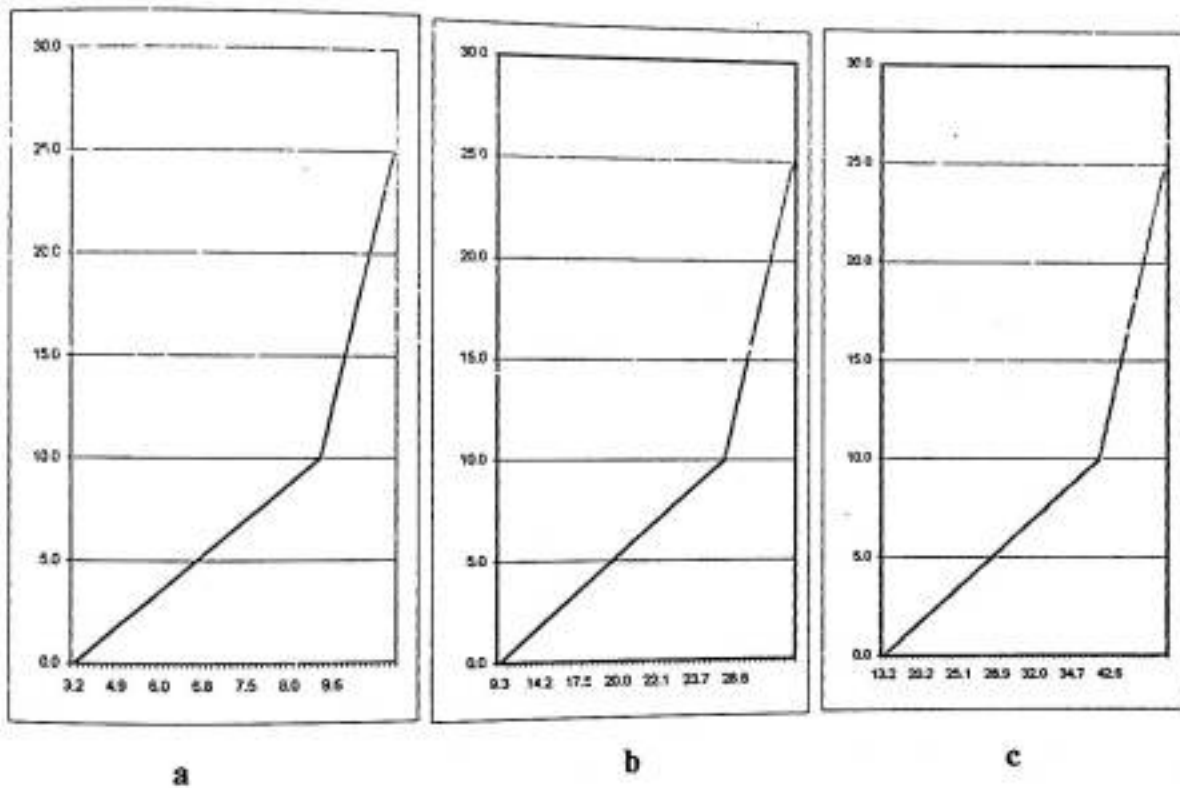


Gambar 12. Grafik Hubungan Antara Kedalaman (D) dan Sudut Refraksi Ombak Pada $\theta = 45^\circ$



Gambar 13. Grafik Hubungan Antara Kedalaman (D) dan Sudut Refraksi Ombak Pada $\theta = 80^\circ$

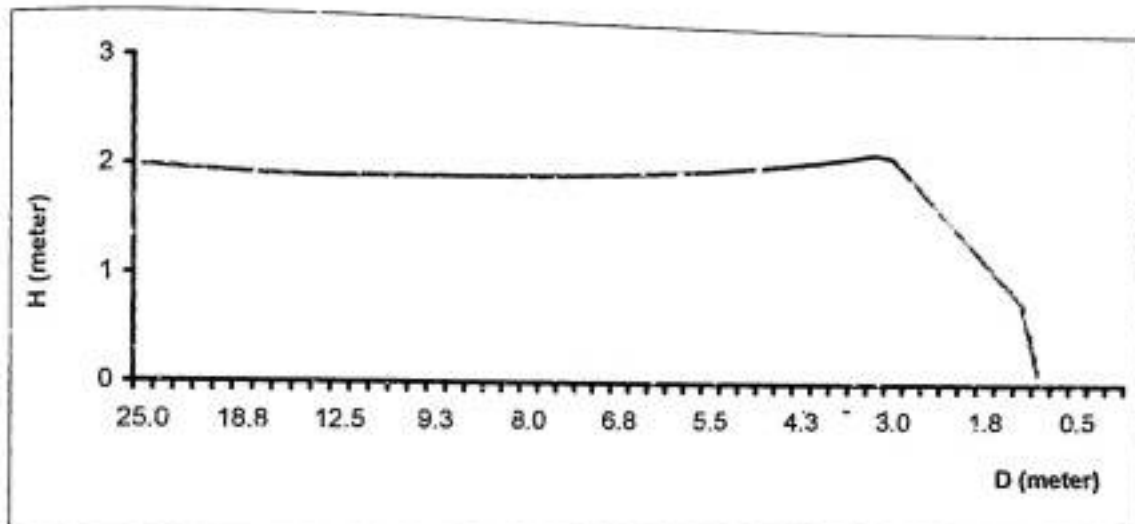
Pada kurva memperlihatkan pola pembelokan sudut refraksi pada $\theta = 45^\circ$, 60° , dan 80° , bentuk kurva terlihat sama, yang mengalami pembelokan sudut pada kedalaman 10 m, yang berbeda hanya sudut refraksi masing-masing, seperti diperlihatkan pada gambar 14a, b, dan c.



Gambar 14 a, b, c. Grafik Hubungan Antara Sudut Refraksi Ombak dan Kedalaman (D)

- **Tinggi Ombak ($H_{i,j}$)**

Pada Gambar 15. menunjukkan tinggi ombak dari kedalaman 25 m – 3.0 m hampir sama 2 m, sedang pada kedalaman 3.0 m akan mengalami penurunan hingga mendekati nol.



Gambar 15. Grafik Hubungan antara Kedalaman (D) dan Tinggi Ombak (H).

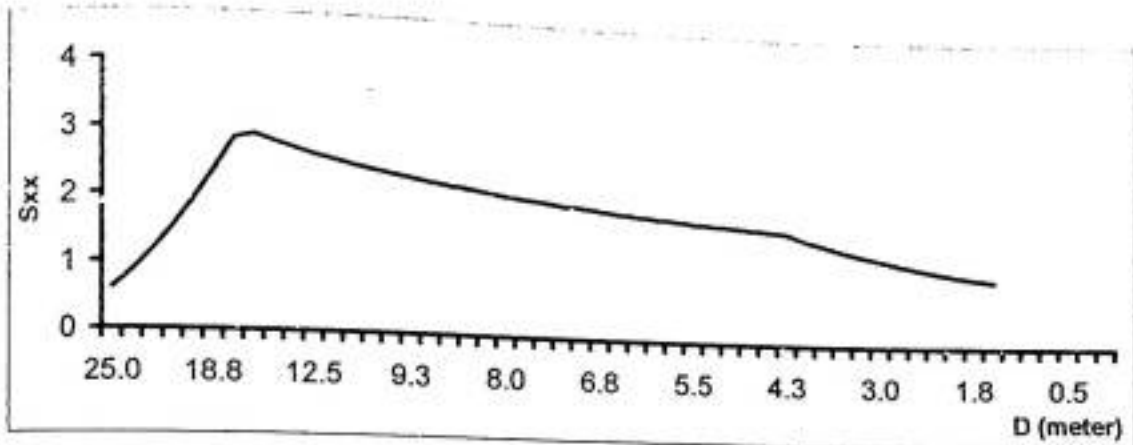
- **Tegangan Pancar Ombak (S_{xx}, S_{xy}, S_{yy})**

Berdasarkan Gambar 16, 17, dan Gambar 18 tegangan pancar ombak akan memperlihatkan kurva yang sama walaupun masing-masing memiliki nilai maksimum yang berbeda.

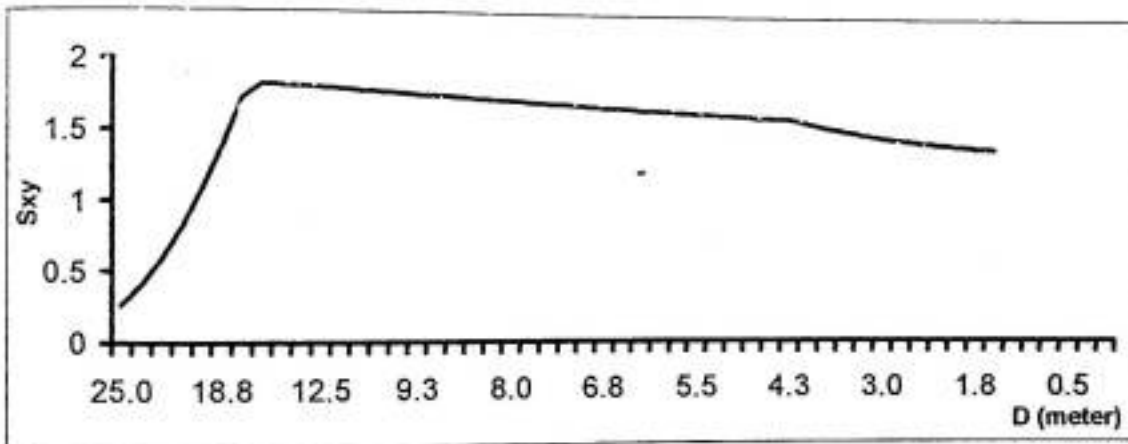
Tegangan pancar ombak (S_{xx}) puncak maksimumnya hampir mencapai 3.

Tegangan pancar ombak (S_{xy}) puncak maksimumnya hampir mencapai 2, merupakan komponen tegangan geser dan berperan dalam gerakan arus susur pantai.

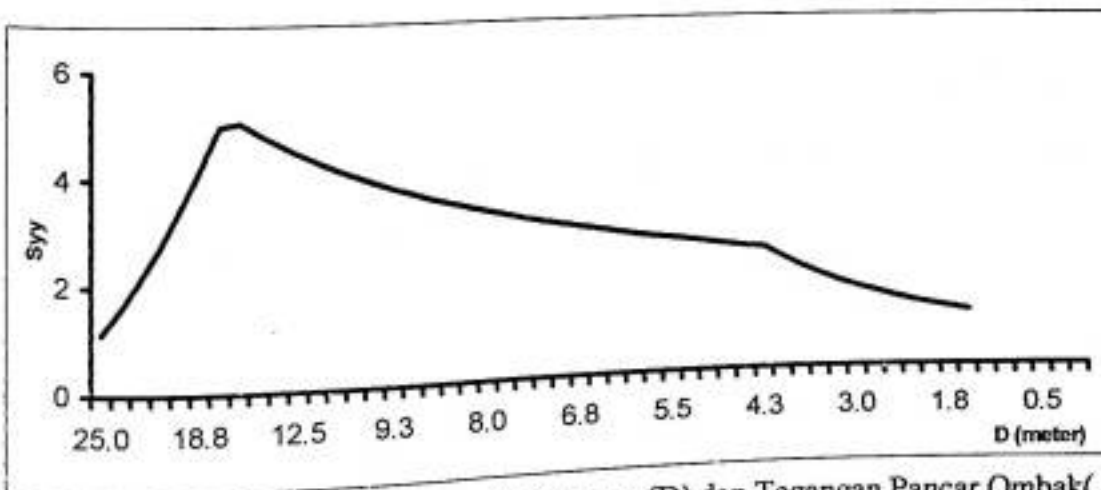
Tegangan pancar ombak (S_{yy}) puncak maksimumnya 5.



Gambar 16. Grafik Hubungan antara Kedalaman (D) dan Tegangan Pancar Ombak(S_{xx})

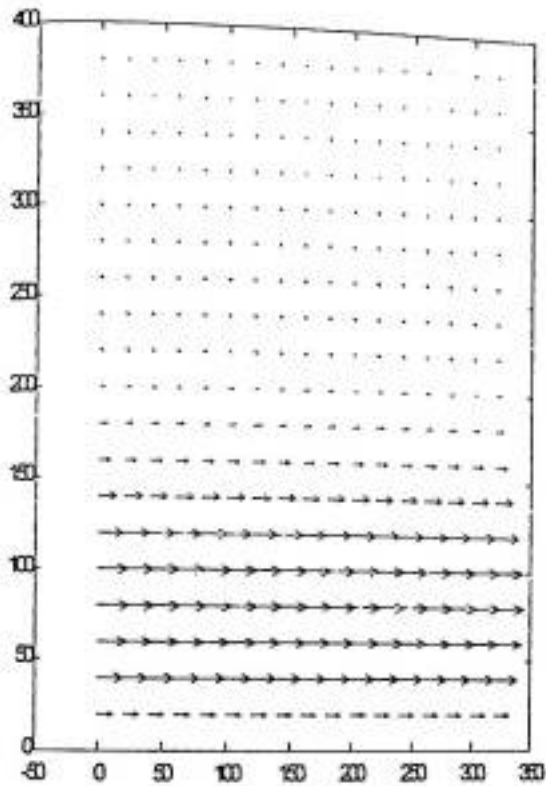


Gambar 17. Grafik Hubungan antara Kedalaman (D) dan Tegangan Pancar Ombak(S_{xy})

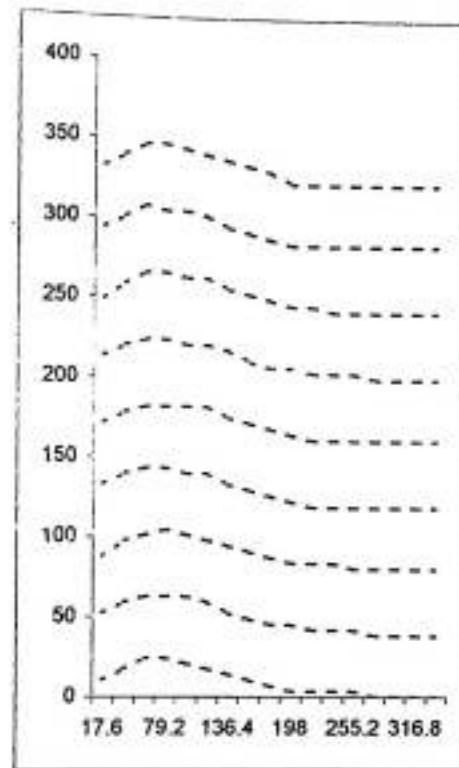


Gambar 18. Grafik Hubungan antara Kedalaman (D) dan Tegangan Pancar Ombak(S_{yy})

Pola Sirkulasi Refraksi Ombak



a



b

Gambar 19. Pola Sirkulasi Refraksi Ombak

Pada gambar 19a,b. menunjukkan bahwa pembelokan arah ombak hanya pada laut dangkal dalam hal ini tepi pantai sedang pada laut dalam tidak terlihat pembelokan arah ombak karena disebabkan tidak adanya pengaruh gaya gesekan dasar dan pendangkalan (diabaikan).

IV.5 Perumusan Wave Set up

Komponen normal tegangan pancar sepanjang arah $0x$ dari perambatan gelombang adalah :

$$\begin{aligned} S_{xx} &= \frac{1}{T} \int_T^0 dT \left[\rho \int_{-h}^{\eta} u^2 dz + \int_{-h}^{\eta} p dz - \frac{1}{2} \rho g h^2 \right] \\ &= M + P - \frac{1}{2} \rho g h^2 \end{aligned} \quad (IV.33)$$

Disubstitusi fungsi u dari teori orde pertama ($0[u] \propto H$ dan $0[u^2] \propto H^2$), diberikan untuk komponen M dari S_{xx}

$$M = \frac{\gamma H^2}{16} (1 + G) = \frac{E}{2} (1 + G) \quad (IV.34)$$

dimana :

$$G = \frac{2kh}{\sinh 2kh} = 2n - 1 \quad (IV.35)$$

Komponen tekanan fungsi p diperoleh dari teori orde kedua Stokes, sehingga S_{xx} dianggap sama dengan $0[H^2]$. Manipulasi matematika sederhana diberikan :

$$P - \frac{1}{2} \rho g h^2 = \frac{\gamma H^2}{16} G = \frac{E}{2} G \quad (IV.36)$$

Jumlah dari kedua komponen (IV.34) dan (IV.36) adalah nilai dari komponen tegangan pancar ombak rata-rata dalam arah perambatan ombak

$$S_{xx} = \frac{\gamma H^2}{16} (1 + 2G) = \frac{E}{2} (1 + 2G) \quad (IV.36)$$

$$\frac{d}{dx}(M + I') + g h \operatorname{tg} \varphi = 0 \quad (\text{IV.37})$$

Substitusi (IV.33) ke (IV.37) dan selama

$$h = h_0 + \eta, \quad \operatorname{tg} \varphi = -dh_0 / dx \quad (\text{IV.38})$$

Sehingga akan menjadi :

$$\frac{dS_{xx}}{dx} = -g h \frac{d\eta}{dx} \quad (\text{IV.39})$$

IV.6 Diskritisasi Perumusan Wave Set Up

Persamaan (IV.39) didiskritisasi dengan :

$$L_0 = \frac{g T^2}{2\pi} \quad (\text{IV.40})$$

Dimana :

$$\begin{aligned} \sigma &= g k \tanh kh \\ \frac{C}{T} &= g \frac{2\pi}{L} \tanh \left\{ \left(\frac{2\pi}{L} \right) h \right\} \end{aligned} \quad (\text{IV.41})$$

Persamaan ini diselesaikan dengan metode Bisection. Output L pada setiap kedalaman.

$$n = \frac{1}{2} \left\{ 1 + 2 \frac{A}{[\exp(A) - \exp(-A)]} \right\} \quad (\text{IV.42})$$

Dimana :

$$A = \frac{4\pi h}{L} \quad (\text{IV.43})$$

Dan

$$H = H_0 \sqrt{\frac{I_0}{2Ln}} \quad (IV.44)$$

Syarat pada titik pecah, jika $H/h > \gamma$; $H = \gamma h$

$$E = \frac{1}{8} g H^2 \quad (IV.45)$$

$$S_{xx} = \left(2n - \frac{1}{2}\right) E = \frac{E}{2} (1 + 2G) \quad (IV.46)$$

Sehingga persamaan (IV.39) menjadi

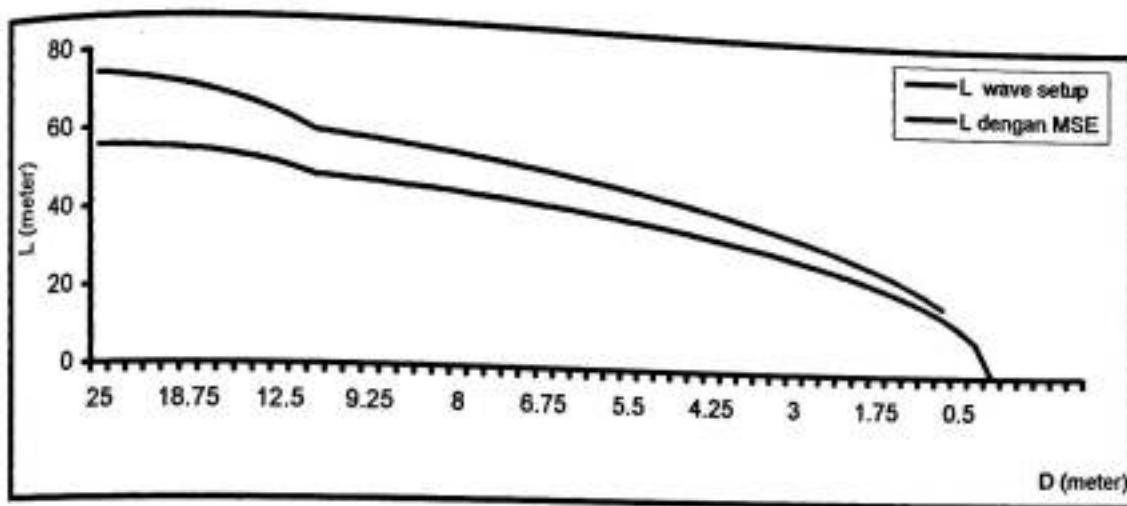
$$S_{xxi} - S_{xxi-1} = -g \frac{h_i + h_{i-1}}{2} (\eta_i - \eta_{i-1}) \quad (IV.47)$$

Dan akan diperoleh :

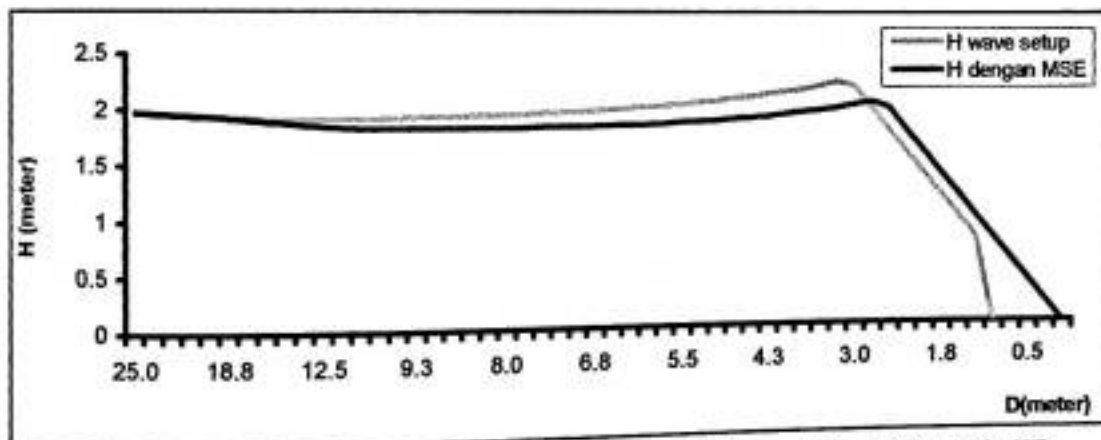
$$\eta_i = \eta_{i-1} - \frac{S_{xxi} - S_{xxi-1}}{\frac{1}{2}(h_i + h_{i-1})} \frac{1}{g} \quad (IV.48)$$

IV.7 Perbedaan dengan Wave Set Up

Berdasarkan Gambar (20) menunjukkan bahwa antara panjang gelombang wave set up dengan panjang gelombang dengan MSE yaitu : puncak wave set up mencapai 80 m dan MSE mencapai 60 m sehingga menunjukkan perbedaan sekitar 20 m, keduanya mengalami penurunan panjang gelombang hingga mencapai tepi pantai.

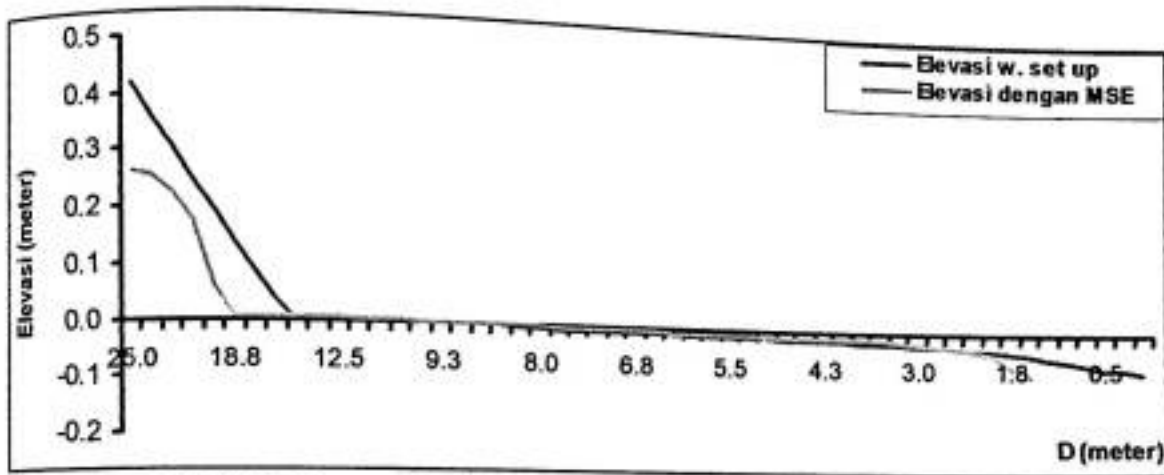


Gambar 20. Grafik Hubungan antara Kedalaman (D) dengan Panjang gelombang (L)



Gambar 21. Grafik Hubungan antara Kedalaman (D) dengan Tinggi Ombak (H)

Dari gambar 21. dapat dilihat tinggi ombak Wave Set up dan tinggi ombak dengan MSE menunjukkan tinggi yang hampir konstan sampai pada kedalaman sekitar 3.0 m – 1.8 m, dan ketika hampir mencapai tepi pantai menunjukkan penurunan yang besar, walaupun terdapat perbedaan puncak sekitar 0.25 m dan pada tinggi ombak dengan MSE penurunannya mencapai tepi pantai sedangkan pada Wave Set up ombak pecah tidak sampai ke tepi pantai..

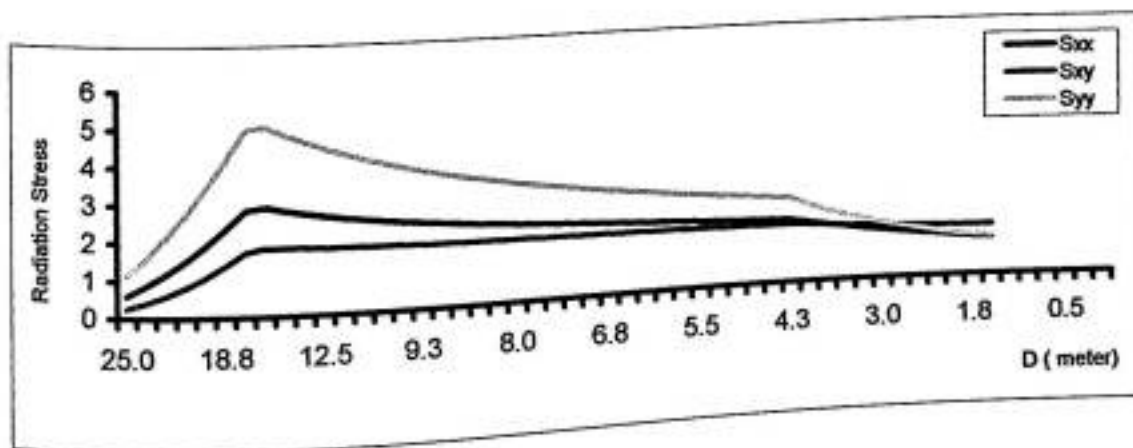


Gambar 22. Grafik Hubungan kedalaman (D) dan Elevasi (ζ).

Pada gambar 22. menunjukkan kurva yang hampir sama antara elevasi wave set up dengan elevasi dengan MSE, hanya saja titik awal dari elevasi wave set up berada sekitar 0.4 m sedang titik awal elevasi dengan MSE berada sekitar 0.2 m.

IV.8 Simulasi Arus Susur Pantai Pada Perairan

IV.8.1 Perhitungan Numerik



Gambar 23. Grafik Hubungan Tegangan Pancar Ombak dan Kedalaman

Pada Gambar 23 menunjukkan kurva yang sama antara S_{xx} , S_{xy} , dan S_{yy} yaitu mengalami kenaikan pada titik tertentu kemudian mengalami penurunan yang drastis sampai pada titik yang sama, tetapi puncak dari masing-masing beda.

IV.8.2 Perumusan Analitik Arus Susur Pantai Menurut Longuet-Higgins

Arus susur pantai terbangkit pada saat terjadinya perusakan ombak yang datang serong terhadap garis pantai. Arus ini sebgaaian besar terkurung di dalam mintakat hempasan, yaitu daerah di antara garis perusakan ombak dan garis tepi pantai, yang bergerak sepanjang pantai. Arus ini mengangkut sedimen sepanjang pantai, sehingga menyebabkan perubahan garis tepi pantai.

Dengan menganggap bahwa arus susur pantai sudah berada dalam keadaan tunak dan tidak bergantung pada arah susur pantai y , dan bahwa kemiringan dasar pantai seragam (sumbu x dan y diambil berturut-turut normal dan sejajar terhadap garis tepi pantai), maka persamaan yang menentukan kecepatan non-dimensional arus susur pantai V , diperoleh :

$$P \frac{d}{dx} \left[X^{1/2} \frac{dV}{dX} \right] - X^{1/2} V = \begin{cases} -X^{3/2} & 0 < x < 1 \\ 0 & 1 < x < \infty \end{cases}$$

dalam hal ini X , V , dan P adalah variabel-variabel non-dimensional yang masing-masing diberikan oleh :

$$X = \frac{X}{X_B}, \quad V = \frac{V}{V_B}, \quad P = \frac{\pi Ns}{2\gamma C_f} \quad (IV.49)$$

$$V_B = \frac{5\pi}{16} \frac{\gamma}{C_f} \sqrt{g(h + \xi)_B} \tan \beta \cdot \sin \theta_B \quad (IV.50)$$

Dengan V adalah kecepatan arus susur pantai, V_B adalah kecepatan arus susur pantai pada garis perusakan, X_B adalah lebar mintakat hempasan, γ adalah perbandingan dari tinggi ombak dan kedalaman air rata-rata dalam mintakat hempasan, C_f adalah faktor gesekan dasar, $\tan \beta$ adalah kemiringan pantai yang dimodifikasi untuk memasukkan set-up ombak, θ_B adalah sudut ombak datang pada garis perusakan, dan N adalah tetapan non-dimensional.

Kuantitas P menggambarkan kekuatan relatif pencampuran lateral terhadap tegangan gesekan dasar. Solusi persamaan (IV.50) adalah :

(1) Untuk $P \neq 2/5$

$$V = \begin{cases} B_1 X^{P_1} + AX & 0 < x < 1 \\ B_2 X^{P_2} & 1 < x < \infty \end{cases} \quad (IV.51)$$

dalam hal ini :

$$P_1 = -\frac{3}{4} + \left(\frac{9}{16} + \frac{1}{P} \right)^{1/2}$$

$$P_2 = -\frac{3}{4} - \left(\frac{9}{16} + \frac{1}{P} \right)^{1/2}$$

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

$$B_1 = \{ P (1 - P_1) (P_1 - P_2) \}^{-1}$$

$$B_2 = \{ P (1 - P_2) (P_1 - P_2) \}^{-1}$$

(2) Untuk $P = 2/5$

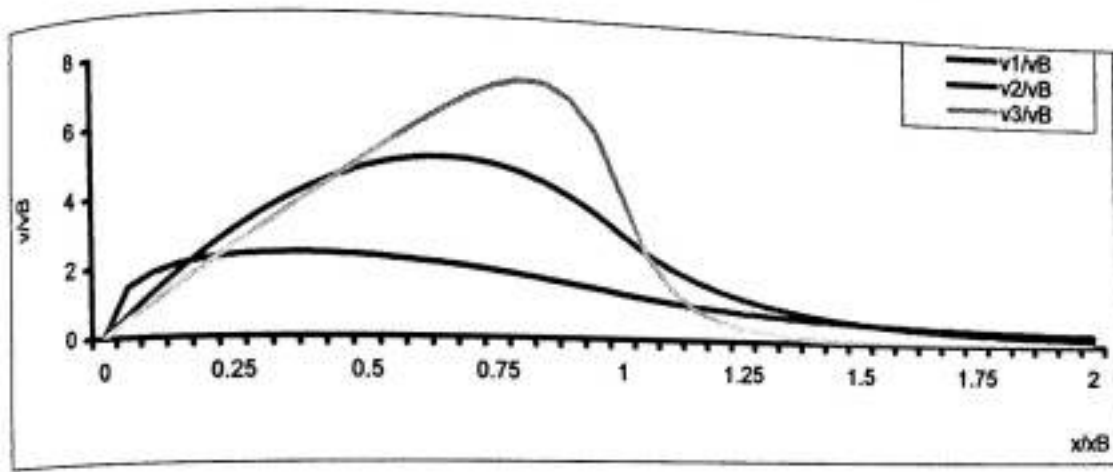
$$V = \begin{cases} 10/49 X - 5/7 \ln X & 0 < x < 1 \\ 10/49 X^{-5/2} & 1 < x < \infty \end{cases} \quad (IV.52)$$

Gambar (24) menunjukkan kurva-kurva distribusi kecepatan arus susur pantai non-dimensional untuk berbagai nilai parameter P .

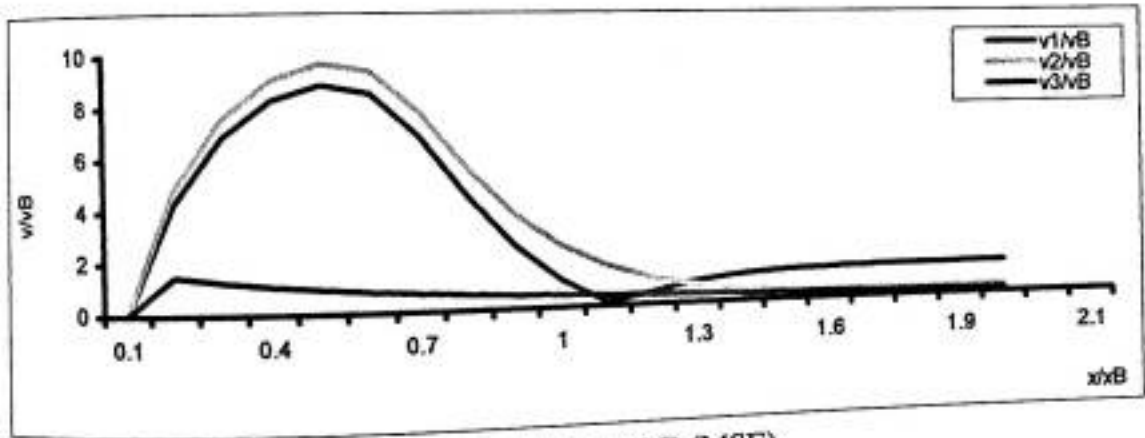
Untuk P dengan nilai-nilai yang lebih kecil, distribusi mendekati bentuk segitiga. Sedangkan untuk $P > 1$, dan untuk $P > 2/5$ kecepatan arus susur pantai semakin mendatar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN



Gambar 24. Grafik Hubungan antara x/x_B dan v/v_B (Longuet-Higgins)



Gambar 25. Grafik hubungan antara x/x_B dan v/v_B (MSE)

Pada gambar 25. menunjukkan bentuk kurva yang sama untuk v_1/v_B dan v_2/v_B hanya nilai kecepatan maksimum yang berbeda, yaitu pada v_1/v_B sekitar 8 m/s dan pada v_2/v_B sekitar 10 m/s pada x/x_B sekitar 0.5 m sedangkan pada v_3/v_B menunjukkan bentuk kurva yang berbeda, yaitu nilai kecepatan maksimum sekitar 2 m/s pada x/x_B sekitar 0.2 m. Antara gambar 24. dan gambar 25 menunjukkan perbandingan kecepatan yang hampir sama hanya kecepatan maksimum masing-masing yang berbeda.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 KESIMPULAN

Dari telaah yang telah dilakukan, ada beberapa hal yang dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Model numerik dari proses refraksi ombak menggambarkan pembelokan arah ombak pada saat mencapai tepi pantai yang dipengaruhi pendangkalan, sedang pada laut dalam pembelokan arah ombak diabaikan karena tidak ada gaya gesekan dasar laut.
2. Perbandingan antara panjang gelombang hasil wave set up dengan MSE menunjukkan bentuk kurva yang hampir sama hanya puncak kurva dari masing-masing yang berbeda. Tinggi ombak hasil wave set up dengan MSE menunjukkan perbedaan puncak sekitar 0.25 m, elevasi antara wave set up dengan MSE menunjukkan kurva yang hampir sama, hanya saja titik awal elevasi yang berbeda.
3. Perbandingan antara arus susur pantai menurut perhitungan Longuet-Higgins dan menurut perhitungan numerik menunjukkan perbandingan kecepatan yang hampir sama hanya kecepatan maksimum masing-masing yang berbeda.

V.2 SARAN

1. Dalam penelitian ini, untuk memperoleh model refraksi ombak digunakan metode beda hingga secara eksplisit, penelitian ini dapat dilanjutkan juga mencari model refraksi ombak dengan metode beda hingga cara implisit.
2. Sebaiknya dilanjutkan penelitian ini untuk syarat batas iregular.

DAFTAR PUSTAKA

- Hamzah, M.A., Ahmad, Dadang., 1995, *Model Pembiasan Ombak*, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Hasanuddin, Makassar.
- H. M. Jogiyanto, 1987, *Teori dan Aplikasi program Komputer Bahasa Fortran*, Andi Offset, Yogyakarta.
- Horikawa, Kiyoshi., 1987, *Nearshore Dynamics and Coastal Processes, Theory, Measurement, and Predictive Models*, University Of Tokyo Press, Tokyo.
- Sultan, 1992, *Penyelesaian Persamaan Gerak Arus Susur Pantai Pada Kemiringan Dasar Laut Alami*, Skripsi, Program Studi Geofisika Jurusan Fisika Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Triatnodjo , Bambang, 1992, *Metode Numerik*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Triatnodjo , Bambang, , 1999, *Teknik Pantai*, Beta Offset, Yogyakarta.
- Waris, Abdul., 1992, *Pemodelan Interaksi Ombak Dengan Arus*, Skripsi, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Hasanuddin, Makassar.

LAMPIRAN A
PROGRAM SHORT WAVE

Lampiran A. Program Short wave

```
! *****
!
! PROGRAM SHORTWAVE: Short wave propagation model
! Restriction : no diffraction
! Output:
! (1) Wave Celerity (C),
! (2) Wave Length (L)
! (3) Wave Number (K)
! (4) Wave Angle (ALP)
! (5) Wave Height (H)
! (6) Wave Energy (E)
! (7) Shoaling Coefficient (N)
! (8) Radiation Stress (Sxx, Sxy, Syy)
! (9) Velocity (U,V)
! (10) Sea surface elevation (Z)
! (11) Kinetic Energy (Ek)
!
! MODIFIKASI TANGGAL 4 JULI 2003
!
! *****
```

program ShortWave

implicit none

real, parameter :: PI = 3.14

real, parameter :: PI2 = 6.28

real, parameter :: g = 9.81

real, parameter :: TH = 0.95

real :: x,kh, left, right, Bound, tx, ty, time, ek, dtp1, tp1, dtp2, tp2

real :: dt, vv, hm, Ad, Bf, uu, cf, F, cs, wx, wy, xm, ym

real :: T, ALP0, H0, L0, x1,x2, MN,TP

integer :: ij, im, jm, iter, m, bc, kb, kt, nm, IT

integer, dimension(:), allocatable :: ib, jb, nb

real, dimension(:, :), allocatable :: D, C, K, N, ALP, H, E, L

real, dimension(:, :), allocatable :: Sxx, Sxy, Syy, Z, U, Un, V, Vn

real, dimension(:), allocatable :: dx, dy

! — read parameters

open(1,FILE='output\wsetup1.txt')

write(*,*) "**** READING INPUT FILE ****"

ALP0 = 135.0*PI/180

```

read(1,*) dt,cf,f,im,jm,nm,H0,T, cs,wx,wy
allocate(D(im,jm)); D=0.0;
do j=1,jm
  read(1,*) (D(i,j),i=1,im)
end do
allocate(dx(im),dy(jm))
read(1,*) (dx(i),i=1,im)
read(1,*) (dy(j),j=1,jm)
read(1,*) kb
if (kb.gt.0) then
  allocate(ib(kb),jb(kb),nb(kb))
  read(1,*) (ib(kt),kt=1,kb)
  read(1,*) (jb(kt),kt=1,kb)
  read(1,*) (nb(kt),kt=1,kb)
end if
close(1)

```

```

! -- calculate wave length
write(*,*) "**** CALCULATING WAVE LENGTH ****"
allocate(L(im,jm))
L0 = g*T**2/2/PI
do i=1, im
  do j=1,jm
    MN = L0; IT = 0; L(i,j) = L0
    if (D(i,j) .le. 0.0) then
      L(i,j) = 0.0
    else
      IT = 0
      do while (IT.le.100 .and. abs(L(i,j)-TP) .ge. 0.001 )
        IT = IT + 1
        x1 = exp(2*PI*D(i,j)/MN)
        x2 = exp(-2*PI*D(i,j)/MN)
        TP = L(i,j)
        L(i,j) = L0*(x1-x2)/(x1+x2)
        MN = (TP+L(i,j))/2.0
      end do
    end if
  end do
end do
open(2,FILE='output\length.txt')
do j=1,jm !jm-2,2,-1
  write(2,(9f8.3)) (L(i,j),i=2,im-2)
end do
close(2)

```

```

! -- calculate wave number

```



```

write(*,*) "**** CALCULATING WAVE NUMBER ****"
allocate(K(im,jm))
K = 0
where (D.gt.0) K = P12/L
open(2,FILE='output\number.txt')
do j=1,jm !j=jm-2,2,-1
  write(2,'(9f8.3)') (K(i,j),i=2,im-2)
end do
close(2)

```

```

! — calculate wave celerity
write(*,*) "**** CALCULATING WAVE CELERITY ****"
allocate(C(im,jm))
C = 0.0
where (D.gt.0.0) C = L/T
open(2,FILE='output\celerity.txt')
do j=jm-2,2,-1
  write(2,'(9f8.3)') (C(i,j),i=2,im-2)
end do
close(2)

```

```

! — calculate shoaling coefficient (iter)
write(*,*) "**** CALCULATING SHOALING COEFFICIENT ****"
allocate(N(im,jm))
N = 1.0
do i=1,im
  do j=1,jm
    if (D(i,j).gt.0.0 .and. K(i,j).gt.0.0) then
      if (K(i,j)*D(i,j).lt. 10) then
        N(i,j) = 0.5*(1.0+2.0*K(i,j)*D(i,j)/sinh(2.0*K(i,j)*D(i,j)))
      else
        N(i,j) = 0.5
      end if
    end if
  end do
end do
open(2,FILE='output\scoeff.txt')
do j=jm-2,2,-1
  write(2,'(9f8.3)') (N(i,j),i=2,im-2)
end do
close(2)

```

```

! — calculate wave angle
write(*,*) "**** CALCULATING WAVE ANGLE ****"
allocate(ALP(im,jm))
ALP = ALP0

```

```

do j=2, jm-1
  do i=2, im-1
    if (D(i,j).gt.0.0) then
      right = (K(i+1,j-1)*sin(ALP(i+1,j-1))-K(i,j-1)*sin(ALP(i,j-1)))*dy(j-
1)/K(i,j)/dx(i)
      left = (K(i,j-1)*sin(ALP(i,j-1))-K(i-1,j-1)*sin(ALP(i-1,j-1)))*dy(j-
1)/K(i,j)/dx(i-1)
      if (i.eq.2) left =right
      if (i.eq. im-1) right = left
      Bound = K(i,j-1)/K(i,j)*cos(ALP(i,j-1))+(left+right)/2.
      ALP(i,j) = acos(Bound)
      if (ALP(i,j-1).gt.PI .and. ALP(i,j-1).lt.PI2) then
        ALP(i,j)= PI2-ALP(i,j)
      end if
    end if
  end do
end do
open(2,FILE='output\angle.txt')
do j=2,jm-2
  write(2,'(9f8.3)') (ALP(i,j)*180/PI,i=2,im-2)
end do
close(2)

! --- calculate wave height
write(*,*) "**** CALCULATING WAVE HEIGHT ****"
allocate(H(im,jm))
H = 0.0; H(:,1) = H0
do j=2, jm-1
  do i=2, im-1
    if (D(i,j).gt.0.0) then
      if (sin(ALP(i,j)).eq.0.0) then
        H(i,j) = H(i,j-1)
      else
        right = ((H(i+1,j-1)*C(i+1,j-1))**2*N(i+1,j-1)*K(i+1,j-
1)*cos(ALP(i+1,j-1)) &
        -(H(i,j-1)*C(i,j-1))**2*N(i,j-1)*K(i,j-1)*cos(ALP(i,j-1))
)*dy(j-1)/dx(i)
        left = ((H(i,j-1)*C(i,j-1))**2*N(i,j-1)*K(i,j-1)*cos(ALP(i,j-1)) &
        -(H(i-1,j-1)*C(i-1,j-1))**2*N(i-1,j-1)*K(i-1,j-
1)*cos(ALP(i-1,j-1)))*dy(j-1)/dx(i-1)
        if (i.eq.2) left =right
        if (i.eq. im-1) right = left
        H(i,j) = sqrt(abs(((H(i,j-1)*C(i,j-1))**2*K(i,j-1)*N(i,j-1)*sin(ALP(i,j))&
0.5*(right+left))/C(i,j)**2/K(i,j)/N(i,j)/sin(ALP(i,j)))
! --- wave breaking condition

```

```

        if (H(i,j).gt.0.8*D(i,j)) H(i,j) = 0.8*D(i,j)
    end if
    end if
end do
open(2,FILE='output\height.txt')
do j=1,jm-1,jm-2,2,-1
    write(2,'(9f8.4)') (H(i,j),i=2,im-2)
end do
close(2)

```

```

! --- calculate wave energy
write(*,*) "**** CALCULATING WAVE ENERGY ****"
allocate(E(im,jm))
E = 0.0625*g*H**2
open(2,FILE='output\energy.txt')
do j=jm-2,2,-1
    write(2,'(9f8.4)') (E(i,j),i=2,im-2)
end do
close(2)

```

```

! --- calculate radiation stress
write(*,*) "**** CALCULATING RADIATION STRESS ****"
allocate(Sxx(im,jm),Sxy(im,jm), Syy(im,jm))
Sxx = E*(2.0*N-1.0+N*cos(ALP)**2)
Sxy = E*N*sin(2.0*ALP)
Syy = E*(2.0*N-1.0+N*sin(ALP)**2)
open(2,FILE='output\sxx.txt')
do j=jm-2,2,-1
    write(2,'(9f8.4)') (Sxx(i,j),i=2,im-2)
end do
close(2)
open(2,FILE='output\sxy.txt')
do j=jm-2,2,-1
    write(2,'(9f8.4)') (Sxy(i,j),i=2,im-2)
end do
close(2)
open(2,FILE='output\syy.txt')
do j=jm-2,2,-1
    write(2,'(9f8.4)') (Syy(i,j),i=2,im-2)
end do
close(2)
deallocate(N, K, E)

```

```

!--- boundary condition
H(1,1:jm-1) = H(2,1:jm-1);

```

```

Sxx(1,1:jm-1) = Sxx(2,1:jm-1);
Syy(1,1:jm-1) = Syy(2,1:jm-1);
Sxy(1,1:jm-1) = Sxy(2,1:jm-1);

```

```

H(1:im-1,1) = H(1:im-1,2);
Sxx(1:im-1,1) = Sxx(1:im-1,2);
Syy(1:im-1,1) = Syy(1:im-1,2);
Sxy(1:im-1,1) = Sxy(1:im-1,2);

```

```

H(im,1:jm-1) = H(im-1,1:jm-1)
Sxx(im,1:jm-1) = Sxx(im-1,1:jm-1)
Syy(im,1:jm-1) = Syy(im-1,1:jm-1)
Sxy(im,1:jm-1) = Sxy(im-1,1:jm-1)

```

```

dx(1) = dx(2);      dx(im) = dx(im-1)
dy(1) = dy(2);      dy(jm) = dy(jm-1)

```

!— calculate velocity field, and water surface

```
open(2,FILE='output\vel.txt')
```

```
open(3,FILE='output\trace.txt')
```

```
write(*,*) "**** CALCULATING CALCULATING VELOCITY FIELD & WATER SURFACE ****"
```

```
allocate(Z(im,jm),U(im,jm),Un(im,jm),V(im,jm),Vn(im,jm))
```

```
Z=0.0;U=0.0;V=0.0;Un=U;Vn=V
```

```
iter = 0; time=0.0; ek = 0.0
```

```
tx = cs*wx*sqrt(wx**2+wy**2)
```

```
ty = cs*wy*sqrt(wx**2+wy**2)
```

```
dtp1 = T/20.0; tp1=0.0; dtp2 = T/5.0; tp2=0.0
```

```
do while (iter.le.nm)
```

```
time = time+dt; iter=iter+1
```

```
do j=2, jm-2
```

```
do i=2, im-1
```

```
! — calculate water surface (Z)
```

```
Z(i,j) = Z(i,j)-dt* &
```

```
((U(i+1,j)*(H(i,j)+H(i+1,j))-U(i,j)*(H(i,j)+H(i-1,j)))/dx(i) &  
+(V(i,j+1)*(H(i,j)+H(i,j+1))-V(i,j)*(H(i,j)+H(i,j-1)))/dy(j))/2.0
```

```
end do
```

```
end do
```

```
! — calculate horizontal velocity (U)
```

```
do j=2, jm-2
```

```
do i=3, im-1
```

```
if (H(i,j).gt.0.1) then
```

```
vv = 0.25*(V(i,j)+V(i-1,j)+V(i,j+1)+V(i-1,j+1))
```

```
hm = 0.5*(H(i,j)+H(i-1,j))
```

```
xm = 0.5*(dx(i)+dx(i+1))
```

```
ym = dy(j)+0.5*(dy(j-1)+dy(j+1))
```

```

Un(i,j) = U(i,j)*TH+0.25*(1.0-TH)*(U(i+1,j)+U(i-1,j)+U(i,j+1)+U(i,j-
1)) &
-dt*(U(i,j)*(U(i+1,j)-U(i-1,j))/xm/2.0 &
+vv*(U(i,j+1)-U(i,j-1))/ym+g*(Z(i,j)-Z(i-1,j))/xm &
+((Sxx(i,j)-Sxx(i-1,j))/xm+(Sxy(i,j+1)+Sxy(i-1,j+1)-
Sxy(i,j-1)-Sxy(i-1,j-1))/ym/2.0)/hm)
Un(i,j) = Un(i,j)-dt*cf*U(i,j)*sqrt(U(i,j)**2+vv**2)/hm+dt*tx/hm
else
Un(i,j) = 0.0
end if
end do
end do
! --- calculate vertical velocity (V)
do j=3,jm-2
do i=2,im-1
if (H(i,j).gt.0.1) then
uu = 0.25*(U(i,j)+U(i+1,j)+U(i,j-1)+U(i+1,j-1))
hm = 0.5*(H(i,j)+H(i,j-1))
xm = dx(i)+0.5*(dx(i-1)+dx(i+1))
ym = 0.5*(dy(j)+dy(j+1))
Vn(i,j) = V(i,j)*TH+0.25*(1.0-TH)*(V(i,j+1)+V(i,j-1)+V(i+1,j)+V(i-
1,j)) &
-dt*(V(i,j)*(U(i,j+1)-U(i,j-1))/ym/2 &
+uu*(V(i+1,j)-V(i-1,j))/xm+g*(Z(i,j)-Z(i,j-1))/ym &
+((Syy(i,j)-Syy(i,j-1))/ym+(Sxy(i+1,j)+Sxy(i+1,j-1)-
Sxy(i-1,j)-Sxy(i-1,j-1))/xm/2.0)/hm)
Vn(i,j) = Vn(i,j)-dt*cf*V(i,j)*sqrt(V(i,j)**2+uu**2)/hm+dt*ty/hm
else
Vn(i,j) = 0.0
end if
end do
end do
! --- apply boundary condition on the shoreline/structure
if (kb.gt.0) then
do m=1,kb
i=ib(m);j=jb(m)
bc = nb(m)-1
select case (bc)
case ( 1)
Un(i,j) = 0.0
case ( 2)
Vn(i,j) = 0.0
case ( 3)
Un(i,j) = 0.0; Vn(i,j) = 0.0
end select
end do

```

```

end if

! --- boundary condition on the left, right, top, and bottom sides
Un(2,2:jm-1) = Un(3,2:jm-1)
Vn(1,2:jm-1) = Vn(2,2:jm-1)

Un(im,2:jm-1) = Un(im-1,2:jm-1)
Vn(im,2:jm-1) = Vn(im-1,2:jm-1)

Un(:,1) = Un(:,2);
Vn(2:im-1,2) = -Z(2:im-1,2)*sqrt(g/H(2:im-1,2))
! --- shore boundary
Un(:,jm-1)=0.0; Un(:,jm-2) = Un(:,jm-1)
Vn(:,jm-1)=0.0; Vn(:,jm-2) = Vn(:,jm-1)
! --- update velocities
U = Un; V = Vn
write(*,*) "iter: ", iter, " time:",time, " sec."
! --- calculate kinetic energy
ek = 0.0
do j=2,jm-1
    do i=2,im-1
        ek = ek+((U(i,j)+U(i+1,j))**2+(V(i,j)+V(i,j+1))**2)*H(i,j)/8.0
    end do
end do
if (time.ge.tp1) then
    ! point control at a, b
    write(2,'(7f10.5)') time,U(5,2),V(5,2),Z(5,2),U(5,45),V(5,45),Z(5,45)
    tp1 = tp1+dtpl
end if
if (time.ge.tp2) then
    write(3,*) "iter: ",iter, " time:",time/3600, " Ek: ",ek
    write(3,*) "U -----"
    do j=jm-2,2,-1
        write(3,'(9f8.4)') ((U(i,j)+U(i+1,j))/2,i=2,im-2)
    end do
    write(3,*) "V -----"
    do j=jm-2,2,-1
        write(3,'(9f8.4)') ((V(i,j)+V(i,j+1))/2,i=2,im-2)
    end do
    write(3,*) "Z -----"
    do j=jm-2,2,-1
        write(3,'(9f8.4)') (Z(i,j),i=2,im-2)
    end do
    write(3,*) " -----"
    tp2 = tp2+dtp2
end if

```

```

end do
open(3,FILE='output\u.txt')
do j=jm-2,2,-1
  write(3,'(19f8.4)') ((U(i,j)+U(i+1,j))/2,i=2,im-2)
end do
close(3)
open(3,FILE='output\v.txt')
do j=jm-2,2,-1
  write(3,'(19f8.4)') ((V(i,j)+V(i,j+1))/2,i=2,im-2)
end do
close(3)
open(3,FILE='output\z.txt')
do j=jm-2,2,-1
  write(3,'(19f8.4)') (Z(i,j),i=2,im-2)
end do
close(3)
end program ShortWave

```



LAMPIRAN B
PROGRAM WAVE SET UP

Lampiran B. Listing Program Wave Setup

```
! *****
!
! Program wave setup
!
! *****
implicit none
real, dimension(:), allocatable :: L,N,H, Sx, E, D, Z
real, parameter :: PI = 3.14
real :: L0, T, A, B, TP, MN, H0
integer :: IT, IM, i

!IM = 14
!T = 6
!H0 = 2
!DATA D / 25, 20,15, 10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0 /
open(1,FILE='input.txt')
read(1,*) IM,T,H0
allocate(D(IM))
do i=1,IM
  read(1,*) D(i)
end do
close(1)
!open(1,FILE='depth.txt')
!do i=1,IM
! write(1,*) D(i)
!end do
!close(1)
!stop

allocate(L(IM),N(IM),H(IM), Sx(IM), E(IM), Z(IM))
L0 = 9.81*T**2/2/PI
do i=1, im
  MN = L0; IT = 0; L(i) = L0
  if (D(i) .le. 0.0) then
    L(i) = 0.0
    N(i) = 0.0
    H(i) = 0.0
  else
    IT = 0
    do while (IT.le.100 .and. abs(L(i)-TP) .ge. 0.001 )
      IT = IT + 1
      A = exp(2*PI*D(i)/MN)
      B = exp(-2*PI*D(i)/MN)
      TP = L(i)
```