

Skripsi Geofisika

**PEMODELAN PENJALARAN GELOMBANG ACAK DENGAN
MENGUNAKAN MODEL *SIMULATING WAVE NEARSHORE*
(SWAN) : KASUS 1-D**



OLEH :

NURHASANAH HAMZAH

H221 14 303

**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2020**

**PEMODELAN PENJALARAN GELOMBANG ACAK DENGAN
MENGUNAKAN MODEL *SIMULATING WAVE NEARSHORE***

(SWAN) : KASUS 1-D

Skripsi untuk melengkapi tugas-tugas dan
memenuhi syarat untuk mencapai gelar sarjana



OLEH :

NURHASANAH HAMZAH

H22 1 14 303

**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

MAKASSAR

2020

LEMBAR PENGESAHAN

PEMODELAN PENJALARAN GELOMBANG ACAK DENGAN
MENGUNAKAN MODEL *SIMULATING WAVE NEARSHORE* (SWAN) :
KASUS 1-D

Oleh:

NURHASANAH HAMZAH

H221 14 303

SKRIPSI

Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Ujian Guna Memperoleh
Gelara Sarjana Sains Program Pendidikan Sarjana, Departemen Geofisika Ini
Telah Disetujui Oleh Tim Pembimbing Pada Tanggal
Seperti Tertera Di Bawah Ini

Makassar, 30 November 2020

Disetujui oleh:

Pembimbing Utama

Prof. Dr. Dadang Ahmad S. M.Eng
NIP. 195609301980031004

Pembimbing Pertama

Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP. 196709291993031003

Mengetahui,

Ketua Departemen Geofisika

Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP. 196709291993031003

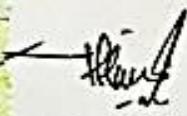
PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi ini merupakan karya orisinil saya dan sepanjang pengetahuan saya tidak memuat bahan yang pernah dipublikasikan atau ditulis oleh orang lain dalam rangka tugas akhir untuk memperoleh gelar akademik di Universitas Hasanuddin atau di lembaga pendidikan lainnya, dimanapun, kecuali yang telah dikutip sesuai kaidah yang berlaku. Saya juga menyatakan bahwa skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri dan dibantu oleh pihak pembimbing.

Makassar, 14 November 2020



Penulis


Muchasanah Hamzah

H221 14 303

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Segala Puji hanya untuk Dzat yang Maha Mulia, Allah Subhanahu Wa Ta'ala, yang atas ketentuan-Nya segala sesuatu dapat terjadi. Shalawat dan salam untuk Baginda Rasulullah Shallallahu Alaihi Wassalam, Kekasih Allah juga para ahlul bait dan sahabat-sahabat beliau yang senantiasa kita rindukan perjumpaan dengannya. Hanya dengan taufiq dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Pemodelan Penjalaran Gelombang Acak Dengan Menggunakan Model *Simulating Wave Nearshore (SWAN)* : Kasus 1-D”**. Dalam penulisan skripsi ini, penulis dengan segala keterbatasan, kemampuan dan pengetahuan dapat melewati segala hambatan serta masalah berkat bantuan dan dorongan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, izinkan penulis menghaturkan rasa terima kasih yang setulus-tulusnya serta penghargaan setinggi-tingginya untuk orang tua penulis, Ayahanda **H. Hamzah, S.Pd** dan Ibunda **Hj. Salbiah Pabahari** yang telah mengasihi, membesarkan penulis dengan penuh kasih sayang hingga saat ini serta atas dukungan moriil, materiil, kasih sayang, pengorbanan dan do'a yang tak henti mengalir disetiap sujudnya. Terima kasih yang sebesar-besarnya juga penulis ucapkan kepada Keluarga Besar, terkhusus untuk kedua adik tercinta **Bripda Muhammad Qasim Hamzah** dan **Nurlailah Hamzah** yang telah memberikan semangat luar biasa dan bantuan tanpa batas.

Ucapan terima kasih juga kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, bimbingan, motivasi dalam menyelesaikan studi. Rampungnya skripsi ini adalah sumbangsih dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Dadang Ahmad S, M.Eng.**, selaku pembimbing utama dan Bapak **Dr. Muhammad Alimuddin Hamzah, M.Eng.**, selaku pembimbing pertama di kampus yang telah meluangkan waktu dalam membimbing, memberi nasihat, motivasi dan masukan-masukan kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi.
2. Bapak **Dr. Sakka, M.Si.**, dan Bapak **Dr. Amiruddin, M.Eng.**, selaku tim penguji yang telah memberikan koreksi dan masukan dalam penulisan skripsi.
3. Bapak **Syamsuddin, S.Si, MT** selaku Penasehat Akademik yang banyak memberikan nasehat dan bimbingan akademik kepada penulis.
4. Dosen-dosen pengajar yang telah membagikan ilmunya serta memberi bimbingan selama perkuliahan.
5. Bapak dan Ibu staff pegawai akademik FMIPA Unhas dan Departemen Geofisika Unhas.
6. Teman-teman seperguruan dan seperjuangan **MIPA 2014** dan **FISIKA 2014**. Terima kasih telah hadir dan bertahan dalam ruang-ruang penuh tekanan dan kebersamaan, tidak berhenti memberikan semangat dan bantuan moril maupun materi, dalam urusan perkuliahan maupun organisasi. Terima Kasih Kawan.

Salam Perjuangan, panjang umur pengkaderan. MIPA 2014: “Kita Semua Sama”, FISIKA 2014 “Persaudaraan Tak Bertepi”

7. Kanda-kanda angkatan 2010 (MAPERWA), 2011 (Pengurus BEM), 2012 (Pengurus HIMAFI), 2013 (Panitia BK), serta seluruh Warga KM FMIPA UNHAS dan HIMAFI FMIPA UNHAS yang telah memberikan banyak pelajaran berharga, memberikan bantuan, masukan, dan dukungan yang sangat luar biasa kepada penulis dalam menyelesaikan dan menanggalkan status sebagai mahasiswa. Salam “USE YOUR MIND BE THE BEST”, “JAYALAH HIMAFI FISIKA NAN JAYA”.

Serta kepada orang-orang luar biasa yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu. Terima kasih dan permohonan maaf yang sebesar-besarnya bila ada nama yang terlewat. Hanya Allah pemilik catatan yang lebih lengkap dan sebaik-baik pemberi balasan atas segala kebaikan.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan. Sehingga dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat konstruktif guna perbaikan kekurangan yang ada. Walau demikian, penulis berharap agar skripsi ini sedikitnya dapat bermanfaat bagi siapapun yang membuka dan membacanya. *Aamiin*

Makassar, November 2020

DAFTAR ISI

SAMPUL	
HALAMAN PENUNJUK SKRIPSI.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	3
I.3 Ruang Lingkup Penelitian	4
I.4 Tujuan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
II.1. Deskripsi Spektral dari Gelombang Angin	5
II.2. Persamaan Keseimbangan Aksi	9
II.3. Fungsi Sumber.....	11

II. 3. 1. Sumber Pembangkitan oleh Angin (S_{in}).....	12
II. 3. 1. 1. Pertumbuhan Linear	12
II.3.1.2. Pertumbuhan Exponensial	13
II.3.2. Interaksi Non-Linear antar Gelombang (S_{nl})	14
II.3.2.1. Triad (S_{nl3}).....	14
II.3.2.2. Quadruplet (S_{nl4})	15
II.4. Sumber Disipasi (S_{ds})	16
II.4.1. White-Capping ($S_{ds,w}$)	16
II.4.2. Gesekan Dasar ($S_{ds,b}$)	18
II.4.3. Gelombang pecah ($S_{ds,br}$)	19
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
III.1 Alat dan Bahan / Data	23
III.2 Tahapan Penelitian.....	23
III.2.1 Persiapan	23
III.2.2 Studi Literatur	24
III.2.3 Pengolahan Data	24
III.3 Skema Penelitian.....	25
III.4 Kerangka Berpikir.....	26
III.5 Bagan Alir Penelitian	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
IV.1 Parameter Setting.....	28

IV.2 Experimental Setup.....	29
IV.3 Spektrum Gelombang	31
IV.4 H_s dan T_{mol}	34
IV.5 Sebaran Terarah Gelombang	40
IV. Gelombang Monokromatik.....	45
BAB V PENUTUP.....	48
V.1 Kesimpulan	48
V.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ilustrasi spektrum gelombang 1D dan 2D	8
Gambar 3.1 Skema penelitian untuk kondisi dasar datar	25
Gambar 3.1 Skema penelitian untuk kondisi dasar miring.....	25
Gambar 4.1 Ilustrasi penelitian pada permukaan dasar datar dengan 6 stasiun	30
Gambar 4.2 Ilustrasi penelitian pada permukaan dasar miring dengan 6 stasiun.....	31
Gambar 4. 3 <i>Overlay</i> spektrum gelombang hasil komputasi pada kondisi permukaan dasar datar di 6 stasiun.....	33
Gambar 4. 4 <i>Overlay</i> spektrum gelombang hasil komputasi pada kondisi permukaan dasar miring di 6 stasiun	34
Gambar 4.5 Hasil komputasi tinggi gelombang signifikan H_s (kiri) dan periode gelombang rata-rata T_{m01} (kanan) pada kondisi permukaan dasar datar di 6 stasiun	36
Gambar 4.6 Hasil komputasi tinggi gelombang signifikan H_s (kiri) dan periode gelombang rata-rata T_{m01} (kanan) pada kondisi permukaan dasar miring di 6 stasiun	37
Gambar 4.7 <i>Overlay</i> hasil komputasi tinggi gelombang signifikan H_s pada kondisi dasar datar dan miring di 4 stasiun	38
Gambar 4.8 <i>Overlay</i> hasil komputasi periode gelombang rata-ata T_{m01} pada kondisi dasar datar dan miring di 6 stasiun	39

Gambar 4.9 Grafik nilai arah di sepanjang lintasan pada kondisir dasar datar dengan sudut datang 0° (atas) dan sudut datang 45° (bawah).....	40
Gambar 4.10 Grafik nilai arah di sepanjang lintasan pada kondisir dasar miring dengan sudut datang 0° (atas) dan sudut datang 45° (bawah).....	41
Gambar 4.11 Grafik nilai arah dengan sudut datang 0° (kiri) dan nilai H_{sig} (kanan) pada gelombang monokromatik.....	45
Gambar 4.12 Grafik nilai arah dengan sudut datang 45° (kiri) dan nilai H_{sig} (kanan) pada gelombang monokromatik.	46

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Parameter setting	28
Tabel 4.2 Sebaran arah gelombang pada permukaan dasar datar.....	42
Tabel 4.3 Sebaran arah gelombang pada permukaan dasar miring	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Kedalaman	47
Lampiran 2. Script Model Input SWAN Kondisi Dasar Datar	50
Lampiran 3. Script Model Input SWAN Kondisi Dasar Miring	52
Lampiran 4. Script Plot Spektrum Kondisi Dasar Datar	54
Lampiran 5. Script Plot Spektrum Kondisi Dasar Miring	55
Lampiran 6. Kartu Kontrol Bimbingan Tugas Akhir	61
Lampiran 7. Kartu Kontrol Seminar	62

ABSTRAK

Data gelombang laut dapat diperoleh melalui pengukuran langsung maupun pemodelan. Pembuatan model dilakukan untuk menganalisis proses penjalaran gelombang pada kondisi dasar berbeda. Simulasi model gelombang dilakukan dengan menggunakan model SWAN. Penelitian ini merujuk pada spektrum yang terbentuk dan nilai parameter gelombang acak dari hasil simulasi yang dilakukan. Perhitungan dari hasil komputasi menunjukkan perbedaan nilai parameter gelombang yang dipengaruhi oleh proses disipasi akibat adanya pendangkalan.

Kata kunci: Gelombang, SWAN, spektrum, disipasi.

ABSTRACT

Ocean wave data can be obtained through direct measurement and modeling. Modeling is carried out to analyze the wave propagation process under different bottom conditions. Wave model simulation is done using the SWAN model. This research refers to the spectrum formed and the value of the random wave parameter from the simulation results. The calculation from the computation results shows the difference in the value of the wave parameter which is influenced by the dissipation process due to silting.

Keywords: Wave, SWAN, spectrum, dissipation.

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Wilayah pesisir adalah wilayah pertemuan antara daratan dan laut, ke arah darat meliputi bagian daratan yang masih dipengaruhi oleh sifat-sifat laut seperti pasang surut, angin laut dan intrusi garam, sedangkan ke arah laut mencakup bagian laut yang masih dipengaruhi oleh proses alami yang ada di darat seperti sedimentasi dan aliran air tawar serta daerah yang dipengaruhi oleh kegiatan-kegiatan manusia di daratan (Nontji, 1993).

Hutabarat (2014) menyebutkan bahwa salah satu fenomena pokok yang terjadi di pesisir dan lautan itu sendiri adalah terjadinya ombak. Ombak yang menjalar dari laut dalam menuju pantai akan mengalami perubahan bentuk. Di laut dalam, bentuk ombak adalah sinusoidal. Di laut transisi dan dangkal, puncak ombak menjadi semakin tajam sementara lembahnya menjadi semakin landai. Pada suatu kedalaman tertentu puncak ombak sedemikian tajam sehingga tidak stabil dan pecah.

Ombak yang terjadi dilautan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam berdasarkan pembangkitnya, salah satunya pembangkitan ombak yang terjadi disebabkan oleh angin. Angin yang berhembus di atas permukaan air akan memindahkan energinya ke air. Apabila kecepatan angin bertambah, riak yang terbentuk akan semakin besar dan apabila angin berhembus secara terus-menerus

maka akan terbentuk gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus maka semakin besar ombak yang terbentuk (Triatmodjo, 1999)

Penelitian yang dilakukan oleh Ikhsanudin (2017) mengkaji tentang transformasi dan spektrum gelombang berarah di perairan Sayung, Demak, Jawa Tengah. Analisis spektrum merupakan teknik yang digunakan untuk memilah dan merubah suatu fenomena fisik gelombang acak yang kompleks menjadi komponen individual (gelombang tunggal) terhadap frekuensi masing masing gelombang. Tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui karakteristik gelombang, pola transformasi gelombang, dan spektrum gelombang berarah dengan pendekatan pemodelan hidrodinamika (*Mike 21 dan SMS*).

Parameter-parameter gelombang laut diperlukan untuk pengembangan potensi wilayah pesisir secara optimal khususnya dalam perencanaan bangunan pantai dan lepas pantai serta untuk penentuan dan pertimbangan alur pelayaran. Informasi tentang parameter gelombang di perairan Indonesia saat ini masih kurang. Hal ini disebabkan mahalnya biaya operasional pengumpulan data aktual serta masih kurangnya penelitian di bidang ini yang pernah dilakukan. Cara lain yang lebih murah adalah melalui simulasi model numerik gelombang laut. Abdulqadir (2019) mengkaji tentang penggunaan *software* pemodelan gelombang seperti *Survace Water Modelling System (SMS)* dengan modul STWAVE. Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui spektrum gelombang dan karakteristik gelombang di Perairan Pulau Panjang, Jepara, Jawa Tengah.

Mai et.al (Sujantoko, 2009) telah membandingkan hasil perhitungan parameter ombak dengan hasil pengukuran menggunakan “*waverider buoy*” dan hasil perhitungan menggunakan model ombak MIKE 21 di pantai utara Frissian, Jerman. Berdasarkan penelitian ini ditunjukkan bahwa SWAN memberikan hasil yang akurat terhadap kedua pembanding tersebut.

Data ombak dapat diperoleh melalui pengukuran langsung maupun pemodelan. Namun, data ombak tersebut sulit diperoleh dikarenakan oleh berbagai faktor seperti sulitnya pelaksanaan, alat, dan biaya yang sangat mahal karena ombak adalah proses acak yang terjadi dalam satuan detik sehingga diperlukan ruang penyimpanan dan baterai yang sangat besar. Maka akan lebih efisien jika melakukan pemodelan ombak. Salah satu perangkat lunak yang mampu melakukan pemodelan ombak adalah SWAN (*Simulating Wave Nearshore*) Model.

Hasil akhir yang diharapkan dalam penelitian ini adalah menganalisis hasil spektrum yang terbentuk dalam pemodelan penjalaran ombak yang terbangkit pada dua kondisi dasar yang di modelkan.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan pokok permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pola penjalaran ombak pada kedalaman dasar tetap?
2. Bagaimana pola penjalaran ombak pada dasar yang melandai?
3. Bagaimana spektrum energi ombak yang terbentuk?

I.3 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada pembuatan model penjalaran ombak di suatu perairan dengan kondisi dasar dibuat datar dan miring yang disajikan dalam bentuk spektrum.

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Memodelkan penjalaran ombak pada kedalaman tetap.
2. Memodelkan penjalaran ombak pada dasar landai.
3. Membuat spektrum ombak yang mengaitkan antara energi dengan frekuensi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Deskripsi Spektral dari Gelombang Angin

Gelombang yang dihasilkan oleh angin memiliki ketinggian dan periode yang tidak teratur, yang disebabkan oleh sifat angin yang tidak teratur. Karena sifatnya yang tidak teratur ini, permukaan laut terus berubah-ubah, yang berarti bahwa pendekatan deterministik untuk menggambarkan permukaan laut tidak memungkinkan. Di sisi lain, sifat statistik permukaan, seperti tinggi gelombang rata-rata, periode dan arah gelombang, tampak bervariasi secara perlahan dalam ruang dan waktu, dibandingkan dengan periode gelombang dan panjang gelombang tipikal. Ketinggian permukaan gelombang di lautan, di lokasi mana pun dan kapan saja, dapat dilihat sebagai jumlah dari sejumlah besar gelombang harmonik, yang masing-masing dihasilkan oleh angin turbulen di tempat dan waktu yang berbeda. Oleh karena itu mereka secara statistik independen dalam asalnya. Menurut teori gelombang linear, mereka tetap mandiri selama perjalanan mereka melintasi lautan. Dalam kondisi ini, ketinggian permukaan laut pada skala waktu seratus periode gelombang karakteristik cukup baik digambarkan sebagai proses, Gaussian stasioner. Ketinggian permukaan laut dalam satu titik sebagai fungsi waktu dapat digambarkan sebagai

$$\eta(t) = \sum_i a_i \cos(\sigma_i t + \alpha_i) \quad (2.1)$$

dengan η ketinggian permukaan laut, α_i amplitudo dari komponen gelombang ke- i , σ_i radian relatif atau frekuensi melingkar dari komponen gelombang ke- i dengan adanya arus ambient (sama dengan frekuensi radian absolut ω ketika tidak ada arus ambient) dan α_i fase acak dari komponen gelombang ke- i . Ini disebut model fase-acak.

Di hadapan arus ambient, diasumsikan bahwa itu seragam sehubungan dengan koordinat vertikal dan perubahan dalam rata-rata aliran dalam panjang gelombang sangat kecil sehingga mereka hanya memengaruhi hubungan dispersi. Frekuensi radian absolut ω kemudian sama dengan jumlah frekuensi radian relatif σ dan penggandaan bilangan gelombang dan vektor kecepatan arus ambient:

$$\omega = \sigma + \vec{k} \cdot \vec{u} \quad (2.2)$$

yang merupakan pergeseran Doppler biasa. Untuk gelombang linier, frekuensi relatif diberikan oleh

$$\sigma^2 = gk \tanh(kd) \quad (2.3)$$

di mana g adalah percepatan gravitasi dan d adalah kedalaman air.

Gelombang laut yang kacau dan deskripsi dalam domain waktu yang agak terbatas. Sebagai alternatif, banyak manipulasi lebih mudah dijelaskan dan dipahami dengan variasi spektrum densitas, yang merupakan transformasi Fourier dari fungsi auto-kovarian ketinggian permukaan laut:

$$E'(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} C(\tau) e^{-2\pi i f \tau} d\tau \quad (2.4)$$

Dengan

$$C(\tau) = \langle \eta(t)\eta(t + \tau) \rangle \quad (2.5)$$

di mana $C(\tau)$ adalah rata-rata dari variabel acak dan $\eta(t)$, $\eta(t + \tau)$ mewakili dua proses acak dari ketinggian permukaan laut, τ mewakili jeda waktu.

Dalam bidang teori gelombang laut, adalah hal lazim untuk mendefinisikan spektrum $E(f)$ yang sedikit berbeda dari yang di atas

$$E(f) = 2E'(f) \text{ untuk } f \geq 0 \text{ dan } E(f) = 0 \text{ untuk } f < 0 \quad (2.6)$$

Deskripsi gelombang air melalui variasi spektrum densitas yang ditentukan $E(f)$ disebut deskripsi spektral gelombang air. Dapat dibuktikan bahwa variasi ketinggian permukaan laut diberikan oleh

$$\langle \eta^2 \rangle = C(0) = \int_0^{+\infty} E(f)df \quad (2.7)$$

yang menunjukkan bahwa spektrum mendistribusikan variasi/perbedaan lebih dari frekuensi. Karena itu $E(f)$ harus ditafsirkan sebagai variasi densitas. Dimensi $E(f)$ adalah m^2 / Hz jika ketinggian diberikan dalam m dan frekuensi dalam Hz .

Varians $\langle \eta^2 \rangle$ sama dengan energi total E_{tot} dari gelombang per satuan luas permukaan jika dikalikan dengan koefisien yang dipilih dengan benar:

$$E_{tot} = \frac{1}{2} \rho \omega g \langle \eta^2 \rangle \quad (2.8)$$

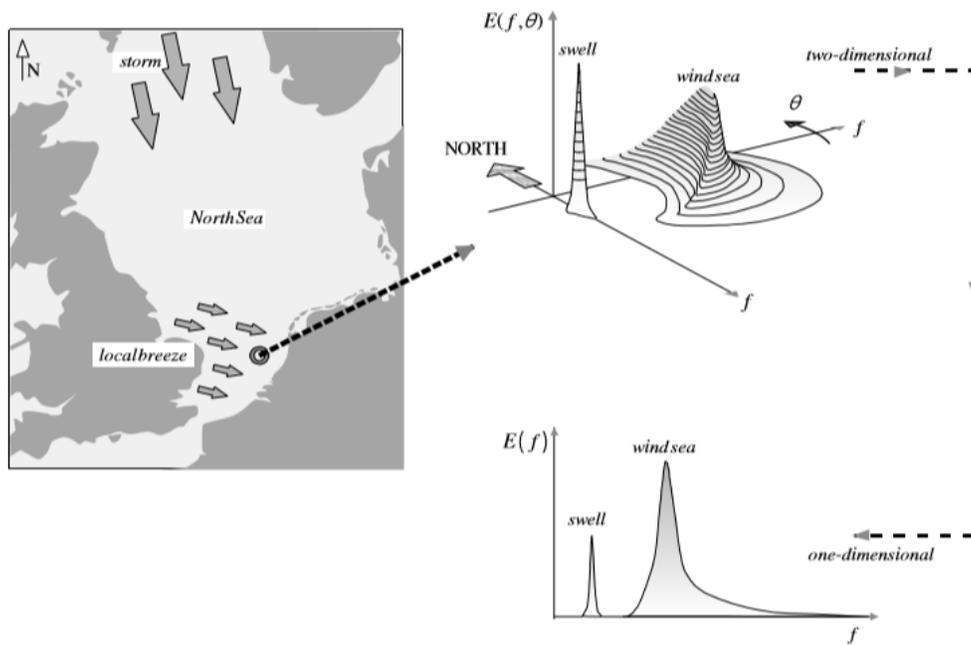
Dalam banyak masalah gelombang, tidaklah cukup untuk mendefinisikan densitas energi sebagai fungsi dari frekuensi saja. Sebagian besar diperlukan untuk mendistribusikan energi gelombang juga dalam arah. Spektrum ini, yang mendistribusikan energi gelombang melalui frekuensi dan arah, akan dilambangkan

dengan $E(f, \theta)$. Karena densitas energi total pada frekuensi f terdistribusi pada arah θ dalam $E(f, \theta)$, maka berikut ini:

$$E(f) = \int_0^{2\pi} E(f, \theta) d\theta \quad (2.9)$$

Spektrum densitas energi $E(f)$ dan $E(f, \theta)$ digambarkan pada Gambar 2.1.

Berdasarkan spektrum densitas energi, integral parameter gelombang dapat diperoleh.



Gambar 2.1 Ilustrasi spektrum gelombang 1D dan 2D. (Diproduksi kembali dari Holthuijsen (2007)

dengan izin dari Cambridge University Press.)

Parameter ini dapat diekspresikan dalam hal yang disebut momen ke- n dari spektrum densitas energi:

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n E(f) df \quad (2.10)$$

Jadi, variasi ketinggian permukaan laut diberikan oleh $m_0 = \langle \eta^2 \rangle$. Parameter yang dikenal adalah tinggi gelombang signifikan:

$$H_s = 4\sqrt{m_0} \quad (2.11)$$

dan beberapa periode gelombang:

$$T_{m01} = \frac{m_0}{m_1}, \quad T_{m02} = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}}, \quad T_{m-10} = \frac{m_{-1}}{m_0} \quad (2.12)$$

Dalam SWAN, spektrum densitas energi $E(\sigma, \theta)$ umumnya digunakan.

II.2. Persamaan Keseimbangan Aksi

Semua informasi tentang permukaan laut terkandung dalam variasi spektrum gelombang atau energi densitas $E(\sigma, \theta)$, mendistribusikan kelebihan energi gelombang (radian) frekuensi σ (seperti yang diamati dalam kerangka acuan bergerak dengan kecepatan arus) dan arah propagasi θ (arah normal ke puncak gelombang dari masing-masing komponen spektral). Biasanya, model gelombang menentukan evolusi densitas aksi $N(\vec{x}, t; \sigma, \theta)$ dalam ruang \vec{x} dan waktu t . Densitas aksi didefinisikan sebagai $N = E/\sigma$ dan dipelihara selama propagasi sepanjang karakteristik gelombangnya berada dalam arus ambient, sedangkan densitas energi E tidak (Whitman, 1974). Aksi gelombang dikatakan invariant adiabatik. Diasumsikan bahwa arus ambient seragam sehubungan dengan kordinat vertikal dan dilambangkan sebagai \vec{U} .

Evolusi densitas aksi N diatur oleh persamaan keseimbangan aksi, yaitu (lihat Mei, 1983; Komen et al., 1994):

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla_{\vec{x}} \cdot [(\vec{c}_g + \vec{U})N] + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad (2.13)$$

Sisi kiri adalah bagian kinematik dari persamaan ini. Istilah kedua menunjukkan propagasi energi gelombang dalam dua dimensi geografis ruang \vec{x} , termasuk gelombang shoaling, dengan kecepatan grup $\vec{c}_g = \partial\sigma/\partial\vec{k}$ berikut dari hubungan disperse $\sigma^2 = g|\vec{k}|\tanh(|\vec{k}|d)$ di mana \vec{k} adalah vektor bilangan gelombang dan d kedalaman air. Istilah ketiga merupakan efek dari pergeseran frekuensi radian karena variasi kedalaman dan rata-rata arus. Istilah keempat mewakili induksi kedalaman dan induksi refraksi arus. Kuantitas c_σ dan c_θ adalah kecepatan propagasi di ruang spektral (σ, θ) . Sisi kanan berisi S_{tot} , yang merupakan istilah sumber/pelenyapan non-konservatif yang mewakili semua proses fisik yang menghasilkan, menghamburkan, atau mendistribusikan kembali energi gelombang. Mereka ditentukan untuk density energi $E(\sigma, \theta)$.

Pada laut dalam tanpa arus ambien, Persamaan diatas direduksi menjadi

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \nabla_{\vec{x}} \cdot (\vec{c}_g E) = S_{tot} \quad (2.14)$$

yang dapat dianggap sebagai persamaan sinar untuk paket gelombang yang menyebar di sepanjang sinar gelombang. Dengan tidak adanya pembangkitan dan disipasi gelombang, energi gelombang disimpan sepanjang jalur propagasi, yang menyiratkan bahwa arus energi gelombang bersih sepanjang jalur ini disimpan. Ini dikenal sebagai hukum energi konstanta fluks sepanjang sinar gelombang (Burnside, 1915; Whitham, 1974, hal. 245). Hukum ini pada dasarnya adalah fondasi yang mendasari diskretisasi persamaan keseimbangan aksi telah dibangun.

Harus dicatat bahwa istilah kedua di sisi kiri Persamaan diatas seharusnya tidak diartikan sebagai pengangkutan E (menjadi kuantitas yang diangkut) dengan kecepatan transportasi \vec{c}_g . Alasan utamanya adalah kecepatan grup umumnya tidak bebas divergen. Sebagai gantinya, kami menulis ulang Persamaan diatas sebagai berikut

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \vec{c}_g \cdot \nabla_{\vec{x}} E + E \nabla_{\vec{x}} \cdot \vec{c}_g = S_{tot} \quad (2.15)$$

Istilah kedua di sisi kiri mewakili pengangkutan E yang sebenarnya di sepanjang sinar gelombang dengan kecepatan \vec{c}_g dan istilah ketiga dapat dianggap sebagai sumber atau penyalpan dengan sesuai untuk densitas energi E ; densitas ini dapat dibuat (shoaling) atau dihancurkan (de-shoaling) sepanjang sinar gelombang. Hal ini disebabkan oleh perubahan dalam kecepatan kelompok di sepanjang sinar ini. Interpretasi yang benar dari istilah kedua persamaan. (2.14) adalah divergensi dari fluks energy $\vec{c}_g E$.

Persamaan (2.13) dapat dikoordinasikan dalam koordinat Cartesian atau bola. Untuk aplikasi skala kecil persamaan keseimbangan aksi spektral dapat dinyatakan dalam koordinat Cartesian seperti yang diberikan oleh

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad (2.16)$$

II.3. Fungsi Sumber

Pada suatu perairan, terdapat tiga proses yang berkontribusi dalam S_{tot} :

$$S_{tot} = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} \quad (2.17)$$

Istilah-istilah ini masing-masing menunjukkan pertumbuhan gelombang oleh angin, transfer nonlinier energi gelombang serta peluruhan (disipasi) gelombang.

II. 3. 1. Sumber Pembangkitan oleh Angin (S_{in})

Pertumbuhan gelombang oleh angin dijelaskan oleh :

$$S_{in}(\sigma, \theta) = A + B E(\sigma, \theta) \quad (2.18)$$

di mana A menggambarkan pertumbuhan linier dan B adalah pertumbuhan eksponensial. Model SWAN digerakkan oleh kecepatan angin pada elevasi 10 m sedangkan U_{10} itu menggunakan kecepatan gesekan U_* . Transformasi dari U_{10} ke U_* diperoleh dengan:

$$U_*^2 = C_D U_{10}^2 \quad (2.19)$$

Dimana C_D adalah koefisien gesek dari Wu (1982):

$$C_D(U_{10}) = \begin{cases} 1.2875 \times 10^{-3} & \text{for } U_{10} < 7.5 \text{ m/s} \\ (0.8 + 0.065 \text{ s/m} \times U_{10}) \times 10^{-3} & \text{for } U_{10} \geq 7.5 \text{ m/s} \end{cases} \quad (2.20)$$

II. 3. 1. 1. Pertumbuhan Linear

Pertumbuhan Linear didefinisikan dengan:

$$A = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{2\pi g^2} (U_* \max[0, \cos(\theta - \theta_\omega)])^4 H, \quad H = \exp\left\{-\left(\frac{\sigma}{\sigma_{PM}^*}\right)^{-4}\right\},$$

$$\sigma_{PM}^* = \frac{0.13g}{28U_*} 2\pi \quad (2.21)$$

di mana θ_ω arah angin, H adalah filter dan σ_{PM}^* adalah frekuensi puncak dari laut menurut Pierson dan Moskowitz (1964).

II.3.1.2. Pertumbuhan Exponensial

Ini didasarkan pada teori gelombang angin kuasi-linear dan diberikan oleh Janssen (1989,1991):

$$B = \beta \frac{\rho_a}{\rho_w} \left(\frac{U_*}{c_{ph}} \right)^2 \max [0, \cos(\theta - \theta_w)]^2 \sigma \quad (2.22)$$

di mana β adalah konstanta Miles. Dalam teori Janssen (1991), konstanta ini diperkirakan dari ketinggian kritis non-dimensi λ :

$$\begin{cases} \beta = \frac{1.2}{\kappa^2} \lambda \ln^4, & \lambda \leq 1 \\ \lambda = \frac{gz_e}{c_{ph}^2} e^r, & r = \kappa c / |U_* \cos(\theta - \theta_w)| \end{cases} \quad (2.23)$$

di mana $\kappa = 0.41$ adalah konstanta Von Karman dan z_e adalah kekasaran permukaan yang efektif. Jika tinggi kritis non-dimensi $\lambda > 1$, konstanta Miles β diatur sama dengan 0. Janssen (1991) mengasumsikan bahwa profil angin diberikan oleh:

$$U(z) = \frac{U_*}{\kappa} \ln \left[\frac{z + z_e - z_0}{z_e} \right] \quad (2.24)$$

di mana $U(z)$ adalah kecepatan angin pada ketinggian z (10m dalam model SWAN) di atas rata-rata ketinggian air, z_0 adalah panjang kekasaran. Panjang kekasaran efektif z_e tergantung pada panjang kekasaran z_0 dan keadaan laut melalui gelombang yang diinduksi oleh tekanan $\vec{\tau}_\omega$ dan total tegangan permukaan $\vec{\tau} = \rho_\alpha |\vec{U}_*| U_*$:

$$z_e = \frac{z_0}{\sqrt{1 - \frac{|\vec{\tau}_\omega|}{|\vec{\tau}|}}} , z_0 = \hat{\alpha} \frac{U_*^2}{g} \quad (2.25)$$

Yang kedua dari dua persamaan ini adalah hubungan Charnock di mana $\hat{\alpha}$ adalah konstanta sama dengan 0.01. Tekanan gelombang $\vec{\tau}_\omega$ diberikan oleh:

$$\vec{\tau}_\omega = \rho_\omega \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \sigma BE(\sigma, \theta) \frac{\vec{k}}{k} d\sigma d\theta \quad (2.26)$$

Nilai U_* dapat ditentukan untuk kecepatan angin yang diberikan U_{10} dan spektrum gelombang yang diberikan $E(\sigma, \theta)$ dari persamaan di atas.

II.3.2. Interaksi Non-Linear antar Gelombang (S_{nl})

Dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu:

- Pendekatan *triad* dilakukan dengan metode *Lumped-Triad Approximation* (LTA) dari Eldeberky (1996).
- Pendekatan *quadruplet* dilakukan dengan metode *Discrete Interaction Approximation* (DIA) dari Hasselmann et al. (1985).

II.3.2.1. Triad (S_{nl3})

The Lumped Triad Approximation (LTA) dari Eldeberky (1996), yang sedikit disesuaikan versi Discrete Triad Approximation (DTA) dari Eldeberky dan Battjes (1995) adalah digunakan dalam SWAN di setiap arah spektral:

$$S_{nl3}(\sigma, \theta) = S_{nl3}^-(\sigma, \theta) + S_{nl3}^+(\sigma, \theta) \quad (2.27)$$

Dengan

$$S_{nl3}^+(\sigma, \theta) = \max[0, \alpha_{EB} 2\pi c c_g J |\sin \beta| \{E^2(\sigma/2, \theta) - 2E(\sigma/2, \theta)E(\sigma, \theta)\}] \quad (2.28)$$

Dan

$$S_{nl3}^-(\sigma, \theta) = -2S_{nl3}^+(2\sigma, \theta) \quad (2.28)$$

di mana α_{EB} adalah koefisien proporsionalitas merdu. Bifhase β didekati dengan

$$\beta = -\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \tanh\left(\frac{0.2}{Ur}\right) \quad (2.29)$$

Dengan bilangan *Ursell* Ur

$$Ur = \frac{g}{8\sqrt{2}\pi^2} \frac{H_x T_{m01}^2}{d^2} \quad (2.30)$$

Interaksi gelombang triad hanya dihitung untuk $0 \leq Ur \leq 1$. Interaksi Coe J'cient diambil dari Madsen dan Sørensen (1993):

$$J = \frac{k_{\sigma/2}^2 (gd + 2c_{\sigma/2}^2)}{k_{\sigma} d (gd + \frac{2}{15} gd^3 k_{\sigma}^2 - \frac{2}{5} \sigma^2 d^2)} \quad (2.31)$$

II.3.2.2. Quadruplet (S_{nl4})

Dua konfigurasi quadruplets dari bilangan gelombang dipertimbangkan di DIA, masing dengan frekuensi berikut:

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma, \quad \sigma_3 = \sigma(1 + \lambda) = \sigma^+, \quad \sigma_4 = \sigma(1 - \lambda) = \sigma^- \quad (2.32)$$

dimana $\lambda = 0.25$ adalah tetap (tidak terkait dengan λ pada paragraf sebelumnya).

Memenuhi kondisi resonansi untuk interaksi antar gelombang quadruplet di perairan dalam, vektor bilangan gelombang dengan frekuensi σ_3 dan σ_4 berbaring di sudut $\theta_1 = -11.5^\circ$ dan $\theta_2 = 33.6^\circ$ ke vektor bilangan gelombang dua lainnya yang identik satu sama lain dalam frekuensi, bilangan gelombang dan arah. Quadruplet kedua adalah cerminan dari quadruplet pertama dalam arti bahwa $\theta_1 = 11.5^\circ$, $\theta_2 = -33.6^\circ$ dan $\lambda = 0.25$. Istilah sumber yang sesuai di perairan dalam untuk interaksi antar gelombang quadruplet $4S_{nl4}(\sigma, \theta)$ adalah

$$S_{nl4}(\sigma, \theta) = S_{nl4}^*(\sigma, \theta) + S_{nl4}^{**}(\sigma, \theta) \quad (2.33)$$

Dimana S_{nl4}^* (σ, θ) mengacu pada konfigurasi quadruplet pertama dan S_{nl4}^{**} (σ, θ) adalah yang kedua. Kontribusi quadruplet dapat ditulis sebagai

$$S_{nl4}(\sigma, \theta) = 2\delta S_{nl4}(\alpha_1\sigma, \theta) + \delta S_{nl4}(\alpha_2\sigma, \theta) - \delta S_{nl4}(\alpha_3\sigma, \theta) \quad (2.34)$$

Dimana setiap istilah adalah,

$$\delta S_{nl4}(\alpha_i\sigma, \theta) = C_{nl4} (2\pi)^2 g^{-4} \left(\frac{\sigma}{2\pi}\right)^{11} \times \left\{ E^2(\alpha_i\sigma, \theta) \left[\frac{E(\alpha_i\sigma^+, \theta)}{(1+\lambda)^4} + \frac{E(\alpha_i\sigma^-, \theta)}{(1-\lambda)^4} \right] - 2 \frac{E(\alpha_i\sigma, \theta) E(\alpha_i\sigma^+, \theta) E(\alpha_i\sigma^-, \theta)}{(1-\lambda^2)^4} \right\} \quad \text{untuk } i = 1, 2, 3 \quad (2.35)$$

II.4. Sumber Disipasi (S_{ds})

Disipasi dibagi atas tiga bagian:

- Disipasi oleh white-capping ($S_{ds,w}$)
- Disipasi oleh gesekan dasar ($S_{ds,b}$)
- Disipasi oleh gelombang pecah ($S_{ds,br}$)

Dengan demikian suku disipasi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S_{ds} = S_{ds,w} + S_{ds,b} + S_{ds,br} \quad (2.36)$$

II.4.1. White-Capping ($S_{ds,w}$)

Proses whitecapping dalam model SWAN diwakili oleh model berbasis pulsa dari Hasselmann (1974). Dirumuskan kembali dalam hal jumlah gelombang (bukan frekuensi) untuk dapat diterapkan dalam kedalaman air terbatas (WAMDI, 1988), ungkapan ini adalah:

$$S_{ds,w}(\sigma, \theta) = -\Gamma \tilde{\sigma} \frac{k}{\tilde{k}} E(\sigma, \theta) \quad (2.37)$$

dimana $\tilde{\sigma}$ dan \tilde{k} menunjukkan frekuensi rata-rata dan bilangan gelombang rata-rata, dan koefisien Γ tergantung pada kecuraman gelombang keseluruhan.

$$\Gamma = \Gamma_{KJ} = C_{ds} \left((1 - \delta) + \delta \frac{k}{\tilde{k}} \right) \left(\frac{\tilde{s}}{\tilde{s}_{PM}} \right)^p \quad (2.38)$$

Untuk $\delta = 0$, ekspresi Γ mengurangi ekspresi yang digunakan oleh kelompok WAMDI (1988). Koefisien C_{ds} , δ dan p adalah koefisien yang dapat diatur. \tilde{s} adalah kemiringan gelombang keseluruhan, \tilde{s}_{PM} adalah nilai \tilde{s} untuk spektrum Pierson-Moskowitz (1964): $\tilde{s}_{PM} = \sqrt{3.02 \times 10^{-3}}$. Keseluruhan kecuraman gelombang didefinisikan sebagai $\tilde{s} = \tilde{k} \sqrt{E_{tot}}$.

Frekuensi rata-rata $\tilde{\sigma}$, bilangan gelombang rata-rata \tilde{k} dan total energi gelombang E_{tot} ditentukan sebagai:

$$\tilde{\sigma} = \left[E_{tot}^{-1} \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \sigma^{-1} E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta \right]^{-1} \quad (2.39)$$

$$\tilde{k} = \left[E_{tot}^{-1} \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \frac{1}{\sqrt{k}} E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta \right]^{-2} \quad (2.40)$$

$$E_{tot} = \int_0^{2\pi} \int_0^\infty E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta \quad (2.41)$$

Nilai dari koefisien merdu C dan δ dan p eksponen dalam model ini telah diperoleh oleh Komen et al. (1984) dan Janssen (1992) dengan menutup keseimbangan energy gelombang dalam kondisi pertumbuhan gelombang ideal (baik untuk angin yang tumbuh dan berkembang sepenuhnya laut) untuk air dalam. Ini berarti bahwa koefisien dalam kecacatan dependensi curam Γ bergantung pada formulasi input angin yang digunakan. Karena dua formulasi masukan angin yang berbeda digunakan dalam model SWAN, dua set koefisien digunakan. Untuk angina masukan dari

Komen et al. (1984; berkaitan dengan WAM Cycle 3; the WAMDI group, 1988): $C_{ds} = 2,36 \times 10^{-5}$ ds, $\delta = 0$ dan $p = 4$. Janssen (1992) dan juga Günther et al. (1992) diperoleh (dengan asumsi $p = 4$) $C_{ds} = 4,10 \times 10^{-5}$ dan $\delta = 0,5$.

II.4.2. Gesekan Dasar ($S_{ds,b}$)

Formulasi untuk gesekan dasar dapat diekspresikan dalam bentuk berikut:

$$S_{ds,b} = -C_b \frac{\sigma^2}{g^2 \sinh^2 kd} E(\sigma, \theta) \quad (2.42)$$

di mana C_b adalah koefisien gesekan dasar yang umumnya bergantung pada orbital bawah gerak diwakili oleh U_{rms} :

$$U_{rms}^2 = \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \frac{\sigma^2}{\sinh^2 kd} E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta \quad (2.43)$$

Ekspresi Collins (1972) didasarkan pada formulasi konvensional untuk gelombang periodik dengan parameter yang sesuai disesuaikan dengan bidang gelombang acak. Tingkat disipasi dihitung dengan formulasi gesekan dasar konvensional Persamaan. (2.54) di mana koefisien gesekan dasar adalah $C_b = C_f g U_{rms}$ dengan $C_f = 0.015$ (Collins, 1972)².

Madsen dkk. (1988) menurunkan formulasi yang mirip dengan Hasselmann dan Collins (1968) tetapi dalam model faktor gesekan dasar adalah fungsi dari kekasaran dasar tinggi dan kondisi gelombang yang sebenarnya. Koefisien gesekan dasar mereka diberikan oleh:

$$C_b = f_w \frac{g}{\sqrt{2}} U_{rms} \quad (2.44)$$

di mana f_w merupakan faktor gesekan non-dimensi yang diperkirakan dengan menggunakan formulasi Jonsson (1966) lihat Madsen dkk. (1988):

$$\frac{1}{4\sqrt{f_w}} + \log_{10} \left(\frac{1}{4\sqrt{f_w}} \right) = m_f + \log_{10} \left(\frac{a_b}{K_N} \right) \quad (2.45)$$

di mana $m_f = -0.08$ (Jonsson dan Carlsen, 1976) dan a_b adalah representasi amplitude perjalanan dekat-dasar:

$$a_b^2 = 2 \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \frac{1}{\sinh^2 kd} E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta \quad (2.46)$$

dan K_N adalah skala panjang kekasaran dasar. Untuk nilai-nilai a_b/K_N lebih kecil dari 1.57 faktor gesekan f_w adalah 0.30 (Jonsson, 1980).

II.4.3. Gelombang pecah ($S_{ds,br}$)

Untuk memodelkan disipasi energi dalam gelombang acak karena pemecahan gelombang akibat kedalaman. Berdasar model Battjes dan Janssen (1978) digunakan dalam SWAN. Tingkat rata-rata energi disipasi per satuan luas horizontal akibat pecahnya gelombang D_{tot} diekspresikan sebagai:

$$D_{tot} = -\frac{1}{4} \alpha_{BJ} Q_b \left(\frac{\tilde{\sigma}}{2\pi} \right) H_{max}^2 = -\alpha_{BJ} Q_b \tilde{\sigma} \frac{H_{max}^2}{8\pi} \quad (2.47)$$

di mana $\alpha_{BJ} = 1$ dalam SWAN, Q_b adalah pecahan gelombang yang ditentukan oleh:

$$\frac{1-Q_b}{\ln Q_b} = -8 \frac{E_{tot}}{H_{max}^2} \quad (2.48)$$

di mana H_{max} adalah tinggi gelombang maksimum yang bisa ada di kedalaman yang diberikan dan $\tilde{\sigma}$ adalah a frekuensi rata-rata yang didefinisikan sebagai:

$$\tilde{\sigma} = E_{tot}^{-1} \int_0^{2\pi} \int_0^\infty \sigma E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta \quad (2.49)$$

Fraksi pemecah yang diinduksi kedalaman (Q_b) ditentukan dalam SWAN dengan

$$Q_b = \begin{cases} 0, & \text{untuk } \beta \leq 0.2 \\ Q_b - \beta^2 \frac{Q_0 - \exp(Q_0 - 1)/\beta^2}{\beta^2 - \exp(Q_0 - 1)/\beta^2}, & \text{untuk } 0.2 < \beta < 1 \\ 1, & \text{untuk } \geq 1 \end{cases} \quad (2.50)$$

Dimana $\beta = H_{rms}/H_{max}$. Selanjutnya, untuk $\beta \leq 0.5$, $Q_0 = 0$ dan untuk $0.5 < \beta \leq 1$, $Q_0 = (2\beta - 1)^2$.

Memperluas ekspresi Eldeberky dan Battjes (1995) untuk memasukkan arah spektral, disipasi untuk komponen spektral per satuan waktu dihitung dalam SWAN dengan:

$$S_{ds,br}(\sigma, \theta) = \frac{D_{tot}}{E_{tot}} E(\sigma, \theta) = -\frac{\alpha_{BJ} Q_b \tilde{\sigma}}{\beta^2 \pi} E(\sigma, \theta) \quad (2.51)$$

Tinggi gelombang maksimum H_{maks} ditentukan dalam SWAN dengan $H = \gamma d$, di mana γ adalah parameter pemecah dan d adalah total kedalaman air (termasuk pengaturan yang diinduksi oleh gelombang jika dihitung oleh SWAN). Dalam literatur, parameter pemecah γ sering kali konstan atau benar dinyatakan sebagai fungsi kemiringan dasar atau kecuraman gelombang insiden (lihat Galvin, 1972; Battjes dan Janssen, 1978; Battjes dan Stive, 1985; Arcilla dan Lemos, 1990; Kaminsky dan Kraus, 1993; Nelson, 1987, 1994). Dalam publikasi Battjes dan Janssen (1978) di dimana model disipasi dijelaskan, parameter pemecah konstan, berdasarkan pada Miche kriteria, dari $\gamma = 0,8$ digunakan. Battjes dan Stive (1985) menganalisis kembali data gelombang angka percobaan laboratorium dan lapangan dan menemukan nilai untuk parameter pemecah bervariasi antara 0,6 dan 0,83 untuk jenis batimetri yang berbeda (bidang, palang bar dan bar) dengan rata-rata 0,73. Dari

kompilasi sejumlah besar percobaan Kaminsky dan Kraus (1993) telah menemukan parameter pemecah pada kisaran 0,6 hingga 1,59 dengan rata-rata 0,79.

Disipasi total karena pemecahan gelombang akibat kedalaman diformulasikan sebagai

$$D_{tot} = -\frac{B^3 \tilde{\sigma}}{8\pi d} \int_0^\infty H^3 P_b(H) dH \quad (2.52)$$

di mana B adalah koefisien proporsionalitas dan $p_b(H)$ adalah fungsi densitas probabilitas pemecah gelombang kali fraksi pemutus, Q_b . Berdasarkan pengamatan lapangan, ketinggian gelombang di zona selancar diasumsikan tetap didistribusikan Rayleigh, bahkan setelah pecah. Ini menyiratkan bahwa semua gelombang akan pecah, tidak hanya yang tertinggi seperti yang diasumsikan oleh Battjes dan Janssen (1978). Fungsi $p_b(H)$ diperoleh dengan mengalikan fungsi densitas probabilitas tinggi gelombang Rayleigh $p(H)$, diberikan oleh

$$p(H) = \frac{2H}{H_{rms}^2} \exp\left(-\left(\frac{H}{H_{rms}}\right)^2\right) \quad (2.53)$$

oleh fungsi pembobotan $W(H)$ didefinisikan sehingga $0 \leq W(H) \leq 1$, untuk menghasilkan

$$p_b(H) = W(H) p(H) \quad (2.54)$$

Thornton dan Guza (1983) mengusulkan fungsi pembobotan berikut di mana fraksi gelombang melanggar independen dari ketinggian gelombang:

$$W(H) = Q_b = \left(\frac{H_{rms}}{\gamma d}\right)^n \quad (2.55)$$

dengan parameter kalibrasi $n (= 4)$ dan indeks pemutus γ . Integral di kemudian dapat disederhanakan, sebagai berikut:

$$\int_0^{\infty} H^3 p_b(H) dH = Q_b \int_0^{\infty} H^3 p(H) dH = \frac{3}{4} \sqrt{\pi} Q_b H_{rms}^3 \quad (2.56)$$

Karenanya

$$D_{tot} = -\frac{B^3 \tilde{\sigma}}{32 \sqrt{\pi} d} Q_b H_{rms}^3 \quad (2.57)$$