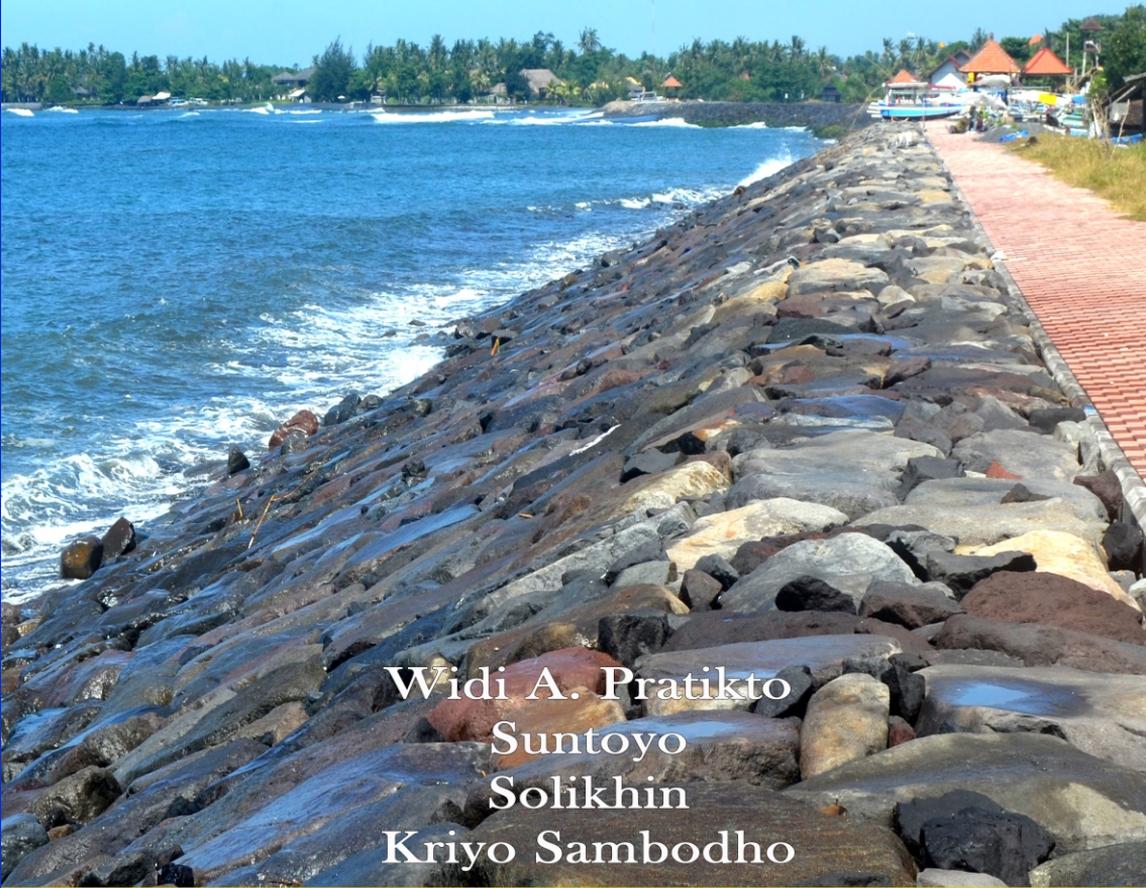


STRUKTUR PELINDUNG PANTAI



Widi A. Pratikto
Suntoyo
Solikhin
Kriyo Sambodho

● STRUKTUR PELINDUNG PANTAI

● Widi A. Pratikto ● Solikhin
● Suntoyo ● Kriyo Sambodho



Ir. ANGGRAHINI, M.Sc

Profesional Utama Pengembangan Sumber Daya Air (PU SDA)¹⁾

Dosen Tidak Tetap ITS (Purna Tugas Dosen HIDRODINAMIKA Jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS)

Sebagai negara kepulauan, Indonesia mempunyai lebih dari 17.000 pulau dengan wilayah pantai sepanjang kurang lebih 80.000 km. Wilayah pantai sepanjang itu merupakan daerah yang sangat intensif yang dimanfaatkan untuk kegiatan manusia yang berupa pengembangan permukiman, pelabuhan, pariwisata, perikanan dan sebagainya.

Peningkatan jumlah penduduk dengan berbagai kegiatannya akan meningkatkan kebutuhan lahan, yang kecenderungannya akan meningkatkan pembangunan di wilayah pantai. Aktivitas manusia di wilayah pantai dapat menimbulkan dampak negative antara lain dengan terjadinya erosi dan sedimentasi. Erosi dan sedimentasi dapat menimbulkan kerusakan pantai yang ujungnya mengakibatkan kerugian sangat besar. Dengan demikian, maka pembangunan di wilayah pantai memerlukan upaya untuk mengurangi dampak negative dengan cara membangun perlindungan terhadap kerusakan pantai, yang dapat dilakukan secara alami/hon struktur atau dengan upaya struktur yaitu pembangunan pelindung pantai seperti *revetment*, dinding pantai, pemecah gelombang dan/atau *groin*. Buku Struktur Pelindung Pantai ini dikhususkan membahas system perlindungan pantai dengan struktur. Untuk itu pembahasannya terdiri dari hal-hal teoritis dan praktis sehingga tidak hanya dapat digunakan sebagai referensi bagi mahasiswa S1, S2 dan S3 saja, tetapi dapat pula digunakan oleh para praktisi di bidang Teknik Pantai dalam merencanakan bangunan pantai.

Buku ini ditulis sesuai dengan pengalaman para penulisnya dan dalam bahasa Indonesia yang baik dan benar serta mudah dipahami, sehingga akan sangat bermanfaat bagi para penggunanya baik mahasiswa, dosen maupun para praktisi di bidang perencanaan bangunan pantai. Akhirnya sebagai praktisi yang telah membaca buku ini, saya sampaikan selamat kepada para penulis dan terimakasih atas kesediannya berbagi pengalaman yang berharga melalui buku ini, dalam upaya perlindungan pantai pada umumnya dan wilayah pantai di Indonesia khususnya.



Dr. Sudirman Saad, M.Hum

Direktur Jenderal Kelautan, Pesisir dan Pulau-pulau Kecil, Kementerian Kelautan dan Perikanan

Buku Struktur Pelindung Pantai ini patut dijadikan rujukan bagi yang mendalami teknik pantai beserta dinamika perairannya. Dilengkapi dengan penjelasan dan ilustrasi struktur pelindung pantai, buku ini pantas menjadi salah satu rujukan teknis penting untuk melakukan upaya melindungi pantai. Buku yang ditulis Prof. Widi Pratikto sebagai penulis utama yang memiliki pengalaman sebagai birokrat, diplomat dan teknokrat serta pernah menduduki jabatan strategis di Kementerian Kelautan dan Perikanan kaya akan pedoman dan rujukan untuk kemungkinan pengembangan metodologi dalam upaya perlindungan pantai. Kehadiran buku ini juga sangat penting sebagai salah satu acuan dalam implementasi amanah Peraturan Pemerintah No 64 Tahun 2010 tentang Mitigasi Bencana di Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Buku ini juga dilengkapi bab khusus yang membahas upaya perlindungan pantai dengan memanfaatkan vegetasi mangrove yang bisa merupakan upaya murah serta efektif dalam perlindungan pantai. Disamping bisa menjadi bahan bacaan penting bagi mahasiswa tingkat sarjana, magister ataupun doktoral, saya merekomendasikan buku ini untuk dirujuk oleh praktisi pengelolaan wilayah pesisir.



Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, MSc, PhD, FRINA

Dekan Fakultas Teknologi Kelautan - ITS

Saya sangat tertarik membaca buku Struktur Pelindung Pantai ini karena beberapa aspek. Pertama, buku ini memberikan penjelasan yang lugas menyangkut teori dasar hidrodinamika pantai, dan pengembangannya dalam menentukan efek beban yang akan ditimbulkan pada suatu struktur pelindung pantai. Kedua, buku ini memuat data-data penting, yang juga berupa grafik², serta prosedur penerapan komputasi yang akan memudahkan penerapannya dalam perancangan praktis struktur pelindung pantai. Penulis dengan seksama menjabarkan perbedaan-perbedaan metodologi ataupun algoritma yang harus dipahami dalam perancangan struktur pelindung pantai yang mempunyai sejumlah variasi dan konfigurasi. Ketiga, dalam buku ini secara langsung maupun tidak langsung telah diberikan arahan mengenai kemungkinan pengembangan metodologi untuk memecahkan permasalahan yang lebih kompleks, baik dari sisi variabilitas lingkungan maupun struktur itu sendiri. Oleh karena itu saya yakin buku ini akan bermanfaat bagi para mahasiswa, baik pada jenjang sarjana, magister ataupun doktoral, bagi para dosen, peneliti, serta praktisi lapangan. Selamat mempelajari.



Diterbitkan oleh :

PT. MEDIATAMA SAPTAKARYA (PT. MEDISA)
Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum

ISBN 978-602-97499-6-0



9 786029 749960

Pengantar Penerbit

Menyajikan informasi Bidang Pekerjaan Umum dan Permukiman dengan cepat, akurat dan dipercaya merupakan tekad bersama Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum didalam meningkatkan rasa kebersamaan dan produktivitas kerja, sehingga mampu menghasilkan kinerja yang optimal, dan meningkatkan kesejahteraan bersama.

PT. Mediatama Saptakarya (PT. MEDISA), sebagai badan usaha yang bergerak dibidang jasa penerbitan, pencetakan dan penjualan buku, mendapat tugas dari Yayasan Badan Penerbit PU (sebagai pemegang saham), untuk membantu penyebaran informasi serta mendorong penulisan dan penerbitan buku-buku ke-PU-an oleh para pegawai/tenaga ahli yang bekerja dibidang ke-PU-an.

Dalam mengemban tugas Yayasan Badan Penerbit PU tersebut, maka PT. Mediatama Saptakarya (PT.MEDISA) berusaha menerbitkan buku-buku ke-PU-an, dan menjual dengan harga yang terjangkau oleh masyarakat luas. PT. Mediatama Saptakarya (PT.MEDISA) juga dapat mewadahi kegiatan para penulis didalam penerbitan buku yang dapat dijadikan karya tulis, tidak hanya dari pengalaman dalam pelaksanaan tugas dan pengetahuan saja tapi juga dapat digali dari hasil kajian dan penelitian. Bila semua karya tulis tersebut dapat dijadikan buku, maka jelas hal ini secara langsung dapat memberikan manfaat sangat besar bagi masyarakat pada umumnya.

Kami menyambut dengan baik diterbitkannya Buku berjudul "STRUKTUR PELINDUNG PANTAI", yang ditulis oleh Widi A. Pratikto, Suntoyo, Solikhin dan Kriyo Sambodho. Buku ini memberikan penjelasan yang lugas menyangkut teori dasar hidrodinamika pantai, dan pengembangannya dalam menentukan efek beban yang akan ditimbulkan pada suatu struktur pelindung pantai dengan memuat data-data penting yang juga berupa grafik-grafik, serta prosedur penerapan komputasi yang akan memudahkan penerapannya dalam

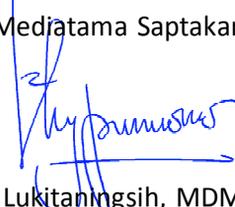
perancangan praktis struktur pelindung pantai yang mempunyai sejumlah variasi dan konfigurasi.

Buku ini juga dilengkapi bab khusus yang membahas upaya perlindungan pantai dengan memanfaatkan vegetasi mangrove yang bisa merupakan upaya murah serta efektif dalam perlindungan pantai.

Semoga dengan terbitnya Buku “ STRUKTUR PELINDUNG PANTAI “ yang ditulis oleh Widi A. Pratikto, Suntoyo, Solikhin dan Kriyo Sambodho ini dapat memotivasi masyarakat pada umumnya agar lebih terpacu didalam memberikan karya terbaiknya untuk Negara dan Bangsa yang kita cintai ini. Disamping bisa menjadi bahan bacaan penting bagi mahasiswa tingkat sarjana, magister ataupun doktoral dan para praktisi pengelolaan wilayah pesisir.

Jakarta, Juni 2014

PT. Mediatama Saptakarya



(Ir. Lukitaningsih, MDM)

Direktur Utama

Sambutan Menteri Pekerjaan Umum

**Sambutan
Direktorat Jenderal
Sumber Daya Air
Kementerian PU**

PRAKATA PENULIS

Buku Struktur Pelindung Pantai (SPP) ini diharapkan bisa menjadi buku pegangan untuk mahasiswa dan pengguna lainnya yang ingin mempelajari dan memperdalam hal-hal yang berkaitan dengan perencanaan bangunan pelindung pantai. Kami memahami bahwa melindungi pantai tidak mesti dengan Struktur, namun bisa dengan Vegetasi dan dengan berbagai Upaya, namun dalam buku ini di khususkan membahas Sistem Perlindungan Pantai dengan Struktur.

Buku ini memiliki sembilan bab pembahasan yang dirancang sedemikian rupa untuk memenuhi kebutuhan mahasiswa S1, S2 dan S3 serta para praktisi teknik dalam bidang terkait akan hal-hal teoretis dan praktis yang berhubungan dengan perencanaan bangunan pelindung pantai. Kesembilan bab tersebut membahas: gelombang, pembangkitan gelombang karena angin dan penentuan gelombang rencana, masalah overtopping dan transmisi gelombang, system perlindungan pantai, groins, seawall, bulkhead dan revetment, bangunan pemecah gelombang (breakwaters) dan jetties, sand dunes dan sand bypassing. Selain itu juga dibahas hal-hal yang berkaitan dengan perlindungan pantai dengan menggunakan vegetasi alami. Review matematika dan ilmu dasar terkait akan juga diberikan dalam buku ini.

Bagi mahasiswa yang akan mengambil mata kuliah SPP (Struktur Pelindung Pantai), seyogyanya sudah memiliki bekal Mekanika Fluida, Mekanika Tanah dan Pondasi.

Dalam kaitan untuk Studi lanjut untuk S2 dan S 3 maka pengelolaan perkuliahannya perlu di elaborasi dengan hal2 yang lebih Fundamental dan Filosofis. Bila bisa dilakukan demikian maka BUKU SPP ini bisa dipergunakan sebagai Panduan, dan diperlukan referensi lain yang mendukung.

Buku Struktur Pelindung Pantai ini dapat diselesaikan karena dikerjakan oleh Tim Dosen yang meliputi, saya sendiri, Dr. Ir. Suntoyo, Ir. Solikhin MT, dan Dr. Ir. Kriyo Sambodho; dan juga adanya dukungan dana dari Proyek Due-Like. Ucapan terima kasih yang mendalam penulis sampaikan kepada seluruh pengelola Due-Like (1999), baik di tingkat Institut maupun Jurusan. Tak lupa ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Prof P. Indiyono PhD (alm) dan Dr. Haryo Dwito Armono atas saran dan masukannya demi perbaikan kualitas buku ini. Ucapan terima kasih dan penghargaan yang tinggi juga penulis sampaikan kepada Taufik, ST. (alm.) dan Dian Yahya Hendradjaja, ST. atas bantuannya dalam penyusunan draft buku ini.

Demi kesempurnaan buku ini di masa mendatang, penulis juga mengharapkan masukan berupa kritik dan saran dari para pemakai dan rekan rekan yang menggeluti permasalahan pantai.

Akhirnya, seperti bunyi pepatah: “tiada gading yang tak retak”, untuk itu penulis mohon maaf jika dalam edisi perdana kali ini terdapat banyak kekurangan dan kesalahan.

Atas semua kerjasama dan pengertiannya, penulis ucapkan terima kasih.

Surabaya, Juni 2014

Penulis,



Widi A Pratikto

DAFTAR ISI

Pengantar Penerbit	i
Kata Sambutan	iii
Prakata Penulis	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Notasi	xv
Daftar Gambar	xviii
Daftar Tabel	xxvi
BAB I GELOMBANG	1
1.1. Teori Gelombang	1
1.1.1. Teori Gelombang Amplitudo Kecil	3
1.1.2. Teori Gelombang Amplitudo Hingga	6
1.1.2.1 Teori Gelombang Amplitudo Cnoidal	7
1.1.2.2 Teori Gelombang Solitary	11
1.1.3. Persamaan Gelombang Panjang	15
1.2. Transformasi Gelombang	19
1.2.1. Gelombang Ke Laut Dangkal (<i>WaveShoaling</i>)	20
1.2.2. Gelombang Pecah (<i>Wave Breaking</i>)	23
1.2.3. Refraksi Gelombang (<i>Wave Refraction</i>)	28
1.2.4. Defraksi Gelombang (<i>Wave Deffraction</i>)	35
1.2.5. Pantulan Gelombang (<i>Wave Reflection</i>)	37
BAB II PEMBANGKITAN GELOMBANG ANGIN DAN PENENTUAN GELOMBANG RENCANA	39
2.1. Pembangkitan Gelombang	39

2.1.1.	Karakteristik Gelombang Angin	41
2.1.2.	Pencatatan Gelombang Angin	43
2.1.3.	Gambaran skematis tumbuh dan hilangnya gelombang	45
2.2.	Statistika Gelombang	47
2.2.1.	Distribusi Tinggi Gelombang	48
2.2.2.	Perambatan Gelombang Tunggal	49
2.2.3.	Gelombang Berkelompok	49
2.2.4.	Narrow – Banded Spectra : Distribusi Rayleigh	51
2.2.5.	Probabilitas Rayleigh Fungsi Densitas	52
2.3.	Metode-Metode Prediksi Gelombang Angin	54
2.3.1.	Metode SMB	55
2.3.2.	Metode JONSWAP	60
2.3.3.	Metode Donelan	63
2.3.4.	Metode Shore Protection Manual (SPM, 1984)	64
2.4.	Analisa Gelombang Ekstrim	68
2.5.	Penentuan Gelombang Rencana	71

BAB III OVERTOPPING, RUN-UP DAN TRANSMISI

GELOMBANG	75
3.1. Gelombang Overtopping	75
3.2. Gelombang Run-Up	82
3.3. Gelombang Transmisi	92
3.3.1. Umum	92
3.3.2. Submerger Breakwater	93
3.3.3. Transmisi Gelombang Akibat Overtopping	96

3.3.4. Wave Transmission Pada Permeable Breakwater	105
3.3.5. Estimasi Koefisien Transmisi Gelombang Untuk Permeable Breakwater	107
3.3.6. Defraksi Wave Spectra	113
BAB IV SISTEM PERLINDUNGAN PANTAI	121
4.1. Umum	121
4.2. Faktor-Faktor Penyebab Erosi Pantai	123
4.3. Pemilihan Perlindungan Pantai	126
BAB V GROINS	129
5.1. Umum	129
5.2. Jenis-Jenis Groins	131
5.3. Pemilihan Jenis Groins	135
5.4. Perencanaan Groins	136
5.4.1. Tinggi Groins	136
5.4.2. Perencanaan Beach Alinement	138
5.4.3. Panjang Groins	139
5.4.4. Spasi Groins	141
5.4.5. Sistem Transisi Groins	142
5.4.6. Aturan Konstruksi Groins	144
5.4.7. Efektifitas Biaya Konstruksi Groins	145
BAB VI SEAWALL, BULKHEAD DAN REVERTMENT	147
6.1. Umum	147
6.2. Batasan Penggunaan	151
6.3. Perencanaan Struktur	152
6.4. Bulkhead	153
6.4.1 Tipe Struktur Bulkhead	155

6.4.2	Prosedur Perancangan Untuk Struktur Bulkhead Dengan Sistem Penjangkaran Tunggal	156
6.4.2.1	Umum	156
6.4.2.2	Menentukan Besarnya Kedalaman Pile	158
6.4.2.3	Menentukan Penjangkaran	161
6.5	Konsep Perencanaan Struktur Revertment	163
6.5.1.	Struktur Revertment Untuk Perlindungan Terhadap Gaya Gelombang	163
6.5.2.	Perencanaan Struktur Revertment Dengan Dinding Vertikal	165
6.5.3.	Revertment Terhadap Pengaruh Arus Dan Gelombang	167
6.5.4.	Contoh Permasalahan	168
6.6.	Dinding Vertikal Sebagai Pelindung Pantai	172
6.7.	Alternatif Konstruksi Dengan Biaya Murah	176
6.7.1.	Revertment	176
6.7.1.1.	Pertimbangan-Pertimbangan Dalam Perencanaan	177
6.7.1.2.	Karakteristik Lokasi	179
6.7.1.3.	Material-Material Konstruksi	180
6.7.2.	Bulkhead Dan Seawall	182
6.7.2.1.	Pertimbangan-Pertimbangan Dalam Perencanaan	183
6.7.2.2.	Karakteristik Lokasi	185
6.7.2.3.	Material-Material Konstruksi	186

BAB VII BREAKWATER DAN JETTIES	189
7.1. Breakwater	189
7.1.1. Tipe Breakwater	189
7.1.2. Kondisi Lingkungan	193
7.1.3. Tekanan Gelombang Pada Dinding Tegak	194
7.1.4. Tahapan Dalam Merencanakan Breakwater	210
7.1.5. Metode Perhitungan Breakwater	211
7.1.6. Stabilitas Breakwater	218
7.1.7. Pembangunan Breakwater	226
7.2. Jetty	230
7.2.1. Material Konstruksi	230
7.2.2. Lay Out Jetty	231
7.2.3. Metode Perhitungan	232
BAB VIII SAND DUNE DAN BYPASSING	235
8.1. Sand Dune	235
8.1.1 Stabilitas Sand Dune	235
8.1.1.1. Stabilitas Sand Dune Terhadap Sliding/ KelongSORan	235
8.1.1.2. Stabilitas Terhadap Geser	238
8.1.1.3 Penurunan (Settlement)	238
8.1.2. Parameter Desain	239
8.1.2.1. Material Sand Dune	239
8.1.2.2. Dimensi Sand Dune	240
8.2. Sand Bypassing	240
8.2.1. Metode-Metode Sand Bypassing	244
8.2.1.1. Land – Based Dreging Plant	246

8.2.1.1.1. Pertimbangan- Pertimbangan Plants	244
8.2.1.1.2. Pertimbangan Jalur Aliran	245
8.2.1.2. Floating Dredges	246
8.2.1.3. Land – Based Vehicles	247

BAB IX PERLINDUNGAN PANTAI DENGAN VEGETASI

MANGROVE	249
9.1. Gambaran Tentang Mangrove	249
9.2. Perencanaan Ekosistem Mangrove Sebagai Pelindung Pantai	250
9.3. Reduksi Tinggi Gelombang Di Daerah Mangrove	251
9.3.1. Gaya Drag Akibat Vegetasi Mangrove	253
Daftar Pustaka	261

DAFTAR NOTASI

a	= amplitudo gelombang
b_n	= lebar irisan
c	= celerity gelombang ($= L/T$)
C_c	= koefisien konsolidasi
C_D	= koefisien drag yang disebabkan oleh bottom friction
C_s	= swelling indeks
d_p	= beban timbunan
d_s	= kedalaman air pada kaki struktur
e_o	= angka pori
F_{eff}	= panjang fetch efektif (meter)
F_i	= panjang jalur fetch yang ditinjau
F	= gaya yang mengenai struktur
F_w	= gaya horisontal akibat gelombang
F_n	= gaya penahan antara breakwater dengan tanah dasar
g	= percepatan gravitasi
h	= ketinggian struktur
H	= tinggi gelombang (meter)
H_o	= tinggi perairan dalam
H_l	= tinggi gelombang rencana
K_f	= faktor reduksi tinggi gelombang akibat friksi
K_R	= koefisien refraksi
H_o	= tinggi gelombang equivalent pada perairan dalam
l	= gradien permukaan air
K	= angka gelombang ($= 2\pi/L$)
K_d	= koefisien jenis batu pelindung

Ks	= koefisien shoaling
L	= panjang gelombang (meter)
L_e	= skala jarak efektif
m	= data tinggi gelombang terbesar
Mp	= jumlah momen penggerak terhadap titik O
Mr	= jumlah momen penahan terhadap titik O
N	= data tinggi gelombang terkecil
po'	= tekanan efektif
pc	= tekanan prakonsolidasi
pa	= rapat masa batuan
P_1	= tekanan gelombang di SWL
qt	= tegangan akibat beban struktur
qa	= daya dukung ijin tanah dasar
P_2	= tekanan gelombang didasar laut
Q	= laju overtopping (volume/unit waktu)
α & Q_o^l	= koefisien empiris, tergantung dari karakteristik gelombang dan geometri struktur
R_T	= koreksi akibat adanya perbedaan temperatur antara udara dan air
R_L	= koreksi terhadap pencatatan angin yang dilakukan di darat
r	= interval waktu (dalam tahun) antara titik-titik data secara berurutan
R	= run-up pada struktur
Sc	= settlement yang terjadi
SF	= angka keamanan
Sr	= rapat masa relatif
T	= periode gelombang (detik)
T_r	= periode kala ulang atau interval kejadian (dalam tahun)
u	= kecepatan rata-rata aliran sepanjang arah x

U	=	kecepatan angin (m/det)
U_a	=	wind stress factor
$(U_{10})_L$	=	kecepatan angin pada ketinggian 10 m diatas daratan (m/det)
V_m	=	volume hambatan
w	=	berat volume air
w_0	=	berat jenis air laut
w_f	=	koefisien yang tergantung dari kecepatan angin
w_n	=	berat tanah dalam tiap irisan
W	=	berat minimum batu pelindung
γ	=	kedalaman perairan dari puncak atau lembah gelombang
θ	=	kemiringan struktur
ϕ	=	sudut geser tanah
σ	=	frekuensi angular (= $2\pi/T$)
ζ	=	profil gelombang

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Bagan Definisi Propertis Gelombang	5
Gambar 1.2.	Parameter-parameter Gelombang Cnoidal	9
Gambar 1.3.	Profil Permukaan Gelombang Cnoidal	10
Gambar 1.4.	Profil Permukaan Gelombang Cnoidal	10
Gambar 1.5.	Profil Permukaan Gelombang Solitary	11
Gambar 1.6.	Definisi Konversi Flux Energi Gelombang	22
Gambar 1.7.	Klasifikasi Gelombang Pecah	24
Gambar 1.8.	Refraksi Gelombang pada Dasar Kontur Sejajar	30
Gambar 1.9.	Template yang Digunakan Untuk Orthogonal Gelombang	32
Gambar 1.10.	Contoh Pemakaian Template Refraksi	34
Gambar 1.11.	Difraksi Gelombang	35
Gambar 1.12.	Gelombang yang Datang Melewati Celah Penghalang	36
Gambar 1.13.	Refleksi Gelombang	37
Gambar 2.1.	Pembentukan Gelombang Angin di Daerah Pembangkitan	42
Gambar 2.2.	Pencatatan Gelombang di Suatu Tempat	43
Gambar 2.3.	Tipikal Spektrum Gelombang Angin	44
Gambar 2.4.	Gambaran Skematis Tumbuh dan Hilangnya Gelombang	46
Gambar 2.5.	Probabilitas Raleygh Fungsi Densitas	53
Gambar 2.6.	Kurva Prediksi Gelombang SMB	57
Gambar 2.7.	Pertumbuhan Gelombang Signifikan Dengan Jarak Sepanjang Fetch pada Kecepatan Angin Tertentu ..	58
Gambar 2.8.	Definisi Sketsa Spektrum Jonswap	61
Gambar 2.9.	Koefisien Koreksi Kecepatan Angin Terhadap Perbedaan Temperatur	66

Gambar 2.10	Koefisien Koreksi Terhadap Pencatatan Kecepatan Angin di Darat	66
Gambar 3.1.	Parameter Overtopping dan (Dinding Vertikal Smooth pada Kemiringan Pantai 1:10)	78
Gambar 3.2.	Parameter Overtopping dan (Kemiringan Dinding Smooth 1:1.5 pada Kemiringan Pantai 1:10)	78
Gambar 3.3.	Parameter Overtopping dan (Kemiringan Dinding Smooth 1:3 pada Kemiringan Pantai 1:10)	79
Gambar 3.4.	Parameter Overtopping dan (Kemiringan Dinding Smooth 1:6 pada Kemiringan Pantai 1:10)	79
Gambar 3.5.	Parameter Overtopping dan (Kemiringan Dinding Riprap 1:1.5 pada Kemiringan Pantai 1:10)	80
Gambar 3.6.	Parameter Overtopping dan (Kemiringan Dinding Bertingkat 1:1.5 pada Kemiringan Pantai 1:10) ...	80
Gambar 3.7.	Parameter Overtopping dan (Dinding Lengkung pada Kemiringan Pantai 1:10)	81
Gambar 3.8.	Parameter Overtopping dan (Dinding Lengkung pada Kemiringan Pantai 1:25)	81
Gambar 3.9.	Parameter Overtopping dan (Dinding Lengkung Atas pada Kemiringan Pantai 1:10)	82
Gambar 3.10	Skesta Terjadinya Run-Up Gelombang	83
Gambar 3.11.	Run-up pada Permukaan Impermeable dan Smooth untuk $ds/H'0 = 0$ (Kemiringan Struktur 1:10)	86
Gambar 3.12.	Run-up pada Permukaan Impermeable dan Smooth untuk $ds/H'0 = 0.45$ (Kemiringan Struktur 1:10) ...	86
Gambar 3.13.	Run-up pada Permukaan Impermeable dan Smooth untuk $ds/H'0 = 0.8$ (Kemiringan Struktur 1:10)	87
Gambar 3.14.	Run-up pada Permukaan Impermeable dan Smooth untuk $ds/H'0 = 2.0$ (Kemiringan Struktur 1:10)	87
Gambar 3.15.	Run-up pada Permukaan Impermeable dan Smooth untuk $ds/H'0 = 3.0$ (Kemiringan Struktur 1:10)	88

Gambar 3.16.	Grafik Gelombang Run-up pada Dinding Vertikal Impermeable Terhadap H^0/gT^2	88
Gambar 3.17.	Grafik Gelombang Run-up pada Dinding Quarrystone Impermeable Terhadap H^0/gT^2	89
Gambar 3.18.	Grafik Gelombang Run-up pada Dinding Bertingkat Impermeable Terhadap H^0/gT^2	89
Gambar 3.19.	Grafik Gelombang Run-up pada Seawall Impermeable Terhadap H^0/gT^2	90
Gambar 3.20.	Grafik Gelombang Run-up pada Dinding Seawall (tipe Galvestone) Terhadap H^0/gT^2	90
Gambar 3.21.	Grafik Gelombang Run-up dan Run-down pada Riprap Bertingkat Terhadap H^0/gT^2	91
Gambar 3.22.	Perbandingan Gelombang Run-up pada Dinding Smooth Terhadap Dinding Rubble Permeable	91
Gambar 3.23.	Faktor Koreksi Run-up Karena Efek Skala	92
Gambar 3.24.	Hasil Pemilihan Gelombang Transmisi Untuk Submerged Breakwater	94
Gambar 3.25.	Koefisien Gelombang Transmisi Untuk Dinding Tegak dan Dinding Tegak Tipis	96
Gambar 3.26.	Transmisi Gelombang Karena Overtopping	97
Gambar 3.27.	Tinggi Gelombang Transmisi Signifikan Terhadap Freeboard Karena Overtopping pada Gelombang Irregular	98
Gambar 3.28.	Tinggi Gelombang Transmisi Sebagai Prosentase Kejadian	99
Gambar 3.29.	Faktor Koreksi Gelombang Transmisi	100
Gambar 3.30.	Transmisi Gelombang Karena Overtopping Untuk Breakwater Terendam	100
Gambar 3.31.	Gelombang Run-up pada Breakwater dan Riprap ...	101
Gambar 3.32.	Hasil Transmisi Gelombang yang Dipilih Untuk Subaerial Breakwater	102

Gambar 3.33.	Contoh Gelombang Transmisi dan Koefisien Refleksi Untuk Breakwater Smooth Impermeable ...	103
Gambar 3.34.	Transmisi Gelombang Monokromatik pada Breakwater Rubble-Mound Impermeable Untuk $H/d_s = 1.033$	104
Gambar 3.35.	Transmisi Gelombang Monokromatik pada Breakwater Rubble-Mound Impermeable Untuk $H/d_s = 1.133$	105
Gambar 3.36.	Transmisi Gelombang Melewati Breakwater Rubble-Mound ($d_s/H_s = 0.09$)	106
Gambar 3.37.	Transmisi Gelombang pada Breakwater yang Menggunakan Armor Tribar (Davidson, 1969)	107
Gambar 3.38.	Transmisi Gelombang dan Koefisien Refleksi Untuk Breakwater Kemiringan Datar Perairan Intermediate ($d/gT^2 = 0.015$)	108
Gambar 3.39.	Transmisi Gelombang dan Koefisien Refleksi Untuk Armor Breakwater pada Perairan Dangkal ($d/gT^2 = 0.016$)	109
Gambar 3.40.	Transmisi Gelombang Monokromatik pada Breakwater Rubble-Mound Impermeable Untuk $h/d_s = 1.03$	110
Gambar 3.41.	Transmisi Gelombang Monokromatik pada Breakwater Rubble-Mound Impermeable Untuk $h/d_s = 1.33$	111
Gambar 3.42.	Perkiraan Koefisien Transmisi Gelombang pada Breakwater Rubble-Mound Dengan Menggunakan Program Komputer MADSEN ($t = 10$ det)	112
Gambar 3.43.	Ponding Untuk Breakwater Impermeable Smooth Dengan $F = 0$	114
Gambar 3.44.	Perubahan Parameter Konsentrasi Direksional Maksimum Karena Refraksi Gelombang di Perairan Dangkal	115

Gambar 3.45.	Diagram Difraksi Breakwater Semi-Infinte Untuk Gelombang Acak pada Kejadian Normal	116
Gambar 3.46.	Diagram Difraksi pada Celah Breakwater Dengan $B/L = 1$ Untuk Gelombang Acak Kejadian Normal	117
Gambar 3.47.	Diagram Difraksi pada Celah Breakwater Dengan $B/L = 2$ Untuk Gelombang Acak Kejadian Normal	118
Gambar 3.48.	Diagram Difraksi pada Celah Breakwater Dengan $B/L = 4$ Untuk Gelombang Acak Kejadian Normal	119
Gambar 3.49.	Diagram Difraksi pada Celah Breakwater Dengan $B/L = 8$ Untuk Gelombang Acak Kejadian Normal	120
Gambar 4.1.	Klasifikasi Bangunan Pelindung Pantai	122
Gambar 4.2.	Pembentukan Tombolo pada Pantai yang dipasang Detach Breakwater	127
Gambar 5.1.	Bentuk-bentuk Bangunan Groins	130
Gambar 5.2.	Konstruksi Groin yang Menunjukkan Daerah Akresi dan Erosi	131
Gambar 5.3.	Groins Kayu	132
Gambar 5.4.	Sheet Pile Groins Baja - Kayu	133
Gambar 5.5.	Prestessed Concrete Pile Groins	134
Gambar 5.6.	Rubble-Mound Groins	135
Gambar 5.7.	Bagian-bagian Groins	138
Gambar 5.8.	Garis Pantai yang Terbentuk Akibat Dipasang Groins	139
Gambar 5.9.	Penentuan Panjang Groins pada Pantai Kerikil	140
Gambar 5.10.	Penentuan Panjang Groins pada Pantai Berpasir yang Landai	140
Gambar 5.11.	Groins untuk Mengurangi Gerusan di Kaki Seawall	141
Gambar 5.12.	Skematika Prosedure Pemendekan Sistem Groins	142
Gambar 6.1.	Klasifikasi Umum Tentang Permasalahan Reayasa Pantai	147

Gambar 6.2.	a. Contoh Penempatan Bulkhead	149
	b. Gambar Rencana Bulkhead yang Dibangun ...	149
Gambar 6.3.	a. Contoh Penempatan Seawall	149
	b. Gambar Rencana Seawall yang Dibangun	150
Gambar 6.4.	a. Contoh Penempatan Revetment	151
	b. Gambar Rencana Revetment yang Dibangun	151
Gambar 6.5.	Pekerjaan Pemasangan Bulkhead di Daerah Pantai	152
Gambar 6.6.	Konfigurasi Anchored Bulkhead di Daerah Pantai	154
Gambar 6.7.	Cantilevered Wall	155
Gambar 6.8.	Distribusi Tekanan pada Bulkhead	156
Gambar 6.9.	Grafik Hubungan Gaya-gaya yang Bekerja	157
Gambar 6.10.	Proses Pembangunan Revetment	164
Gambar 6.11.	Pengaruh Gelombang pada Revetment	167
Gambar 6.12.	Gambaran Lokasi Pembangunan Revetment	168
Gambar 6.13.	Grafik Tinggi Gelombang Pecah	169
Gambar 6.14.	Beberapa Tipe Dinding Vertikal Sebagai Pelindung Pantai	173
Gambar 6.15.	Distribusi Gaya pada Dinding Pelindung Pantai	174
Gambar 6.16.	Kondisi Kemiringan Tanah Untuk Struktur Revetment	179
Gambar 6.17.	Konstruksi Revetment Dari Balok-balok Beton ...	181
Gambar 6.18.	Konstruksi Revetment Dari Gabion	182
Gambar 6.19.	Pengaruh Gelombang pada Struktur Seawall dan Bulkhead	184
Gambar 6.20.	Kegagalan pada Struktur Seawall atau Bulkhead ...	185
Gambar 6.21.	Konstruksi Seawall atau Bulkhead dari Kombinasi Kantung Pasir	187
Gambar 6.22.	Konstruksi Seawall atau Bulkhead dari Kombinasi Kantung Pasir	188

Gambar 7.1.	Rouble Mound Breakwater	192
Gambar 7.2.	Tekanan Gelombang pada Dinding Vertikal (Non Breaking Wave)	195
Gambar 7.3.	Tekanan Gelombang pada Dinding Vertikal yang Rendah (<i>Non Breaking Wave</i>)	196
Gambar 7.4.	Tekanan Gelombang pada Dinding Vertikal yang Berada Diatas Lapisan Batu (Non Breaking Wave)	197
Gambar 7.5.	Tekanan Gelombang pada Dinding Vertikal	198
Gambar 7.6.	Tekanan pada Dinding Vertikal yang Lebih Rendah	199
Gambar 7.7.	Tekanan pada Dinding Vertikal Diatas Lapisan Batuan	200
Gambar 7.8.	Grafik Untuk Menghitung Gaya F (Non Breaking Wave)	201
Gambar 7.9.	Grafik Untuk Menghitung Momen M (Non Breaking Wave)	202
Gambar 7.10.	Diagram Tekanan Gelombang pada Wall	203
Gambar 7.11.	Diagram Tekanan Gelombang Saat Wave Trough	205
Gambar 7.12	Diagram Tekanan Gelombang pada Saat Broken Wave	206
Gambar 7.13	Diagram Tekanan Gelombang pada Dinding Vertikal	206
Gambar 7.14	Diagram Tekanan Gelombang pada Dinding Vertikal	208
Gambar 7.15	Pengaruh Arah Gelombang pada Dinding Vertikal	209
Gambar 7.16	Pengaruh Kemiringan Slope Terhadap Tekanan pada Dinding	209
Gambar 7.17	Penentuan Lapisan Struktur Batuan pada Roublemound Breakwate (Kedua Sisi Berbeda)	214

Gambar 7.18	Penentuan Lapisan Struktur Batuan pada Roublemound Breakwater (Kedua Sisi Sama)	215
Gambar 7.19	Type Material Rouble Mound Breakwater	216
Gambar 7.20	Dimensi Lapisan Pelindung Kaki pada Monolit Breakwater	218
Gambar 7.21.	Daya Dukung Tanah Dasar Dibawah Breakwater (Monolit/Roublemound)	219
Gambar 7.22.	Bahaya Guling Pada Breakwater Monolit	221
Gambar 7.23.	Bahaya Geser Pada Breakwater Monolit	222
Gambar 7.24	Type Overall Slope Failure	223
Gambar 7.25.	Analisa Stabilitas Dengan Metode Irisan	223
Gambar 7.26.	Urutan Pelaksanaan Pemasangan Roublemound Breakwater	227
Gambar 7.27.	Gambar Metode Over Crest Untuk Pelaksanaan Monolit Breakwater	229
Gambar 7.28.	Metode Terapung Untuk Pelaksanaan Monolit Breakwater	229
Gambar 7.29.	Rouble Mound Jetty Pada Mulut Pelabuhan	233
Gambar 7.30.	Sheetpile Jetty	233
Gambar 7.31.	Struktur Jetty Dari Beton Untuk Tambatan Kapal	234
Gambar 8.1.	Type Kelonsoran Talud	236
Gambar 8.2.	Analisa Stabilitas Dengan Metode Irisan	237
Gambar 8.3.	Gambar Dimensi Sand Dune	240
Gambar 8.4.	Penggunaan System Bypassing Untuk Berbagai Jenis Littoral Barrier	242
Gambar 9.1.	Perbedaan Reduksi Tinggi Gelombang Dengan dan Tanpa Mangrove	252
Gambar 9.2.	Volume Kontrol pada Tanaman Mangrove	255
Gambar 9.3.	Elemen-elemen Tanaman Mangrove yang Diukur	257

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Distribusi Probabilitas Yang Digunakan Pada Analisa Tinggi Gelombang Ekstrim	69
Tabel 2.2.	Skala Plotting Untuk Variasi Distribsi Probabilitas	70
Tabel 3.1.	Harga Faktor Koreksi R Untuk Berbagai Karakteristik Permukaan Struktur (CERC, 1977)	84
Tabel 3.2.	Pertimbangan-Pertimbangan Dalam Pemilihan Breakwater	95
Tabel 6.1.	Harga yang Dianjurkan Untuk Penentuan Berat Lapisan Pelindung	171
Tabel 6.2.	Harga Koefisien Lapisandan Porositas Untuk Lapisan Pelindung.	172
Tabel 7.1.	Nilai K Untuk Berbagai Material Breakwater	213
Tabel 7. 2.	Harga Koefisien Kd Untuk Masing-Masing Tipe Batuan	217

BAB I

GELOMBANG

1.1 TEORI GELOMBANG

Gelombang merupakan faktor penting di dalam perencanaan pelabuhan, rekayasa pantai dan lepas pantai. Gelombang di laut bisa dibangkitkan oleh angin (gelombang angin), gaya tarik matahari dan bulan (pasang surut) letusan gunung berapi atau gempa di laut (tsunami), kapal bergerak dan sebagainya. Gelombang-gelombang ini akan menimbulkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai maupun lepas pantai. Selain itu gelombang juga akan bisa menimbulkan arus dan transportasi sedimen di daerah pantai.

Gelombang yang berada di laut sering nampak membingungkan, puncak permukaan laut sering nampak berubah-ubah, hal ini bias diamati dari permukaan airnya yang diakibatkan oleh arah perambatan gelombang yang sangat bervariasi serta bentuk gelombang yang tak beraturan apalagi jika gelombang tersebut dibawah pengaruh angin. Arah penjalaran gelombang dapat ditaksirkan sebagai arah rata-rata dari gelombang – gelombang individu. Permukaan laut sangat sulit untuk dijelaskan karena terjadi interaksi diantara gelombang-gelombang individu tersebut. Gelombang yang menjalar lebih cepat akan menyusul dan melampaui gelombang yang lebih lambat dari berbagai arah. Akibat interaksi ini gelombang – gelombang tersebut kadang-kadang saling menguatkan atau saling menghilangkan antara yang satu dengan yang lain, sering bertabrakan bertabrakan dan berubah dalam bentuk turbulen dan percikan.

Gelombang yang mencapai daerah pantai sebagian energinya tercurahkan pada daerah *nearshore*. Sebagai gelombang yang mendekati pantai maka energy gelombang akan berhamburan sebagai gerakan turbulen fluida yang dipengaruhi pecahnya gelombang yang melewati bottom friction dan ulekan. Akibat adanya turbulensi dan gelombang pecah tersebut akan sangat mempengaruhi keberadaan pantai dan bangunan pelindung pantai di daerah tersebut. Ukuran dan desain dari bangunan pelindung pantai sangat tergantung pada kemampuan untuk meramalkan bentuk gelombang dan gerakan aliran akibat gelombang serta kehandalan memprediksikannya. Metode – metode untuk memprediksi umumnya didasarkan pada gelombang sederhana dimana fungsi matematis dapat digunakan untuk menjelaskan pergerakan gelombang.

Pada umumnya fenomena gelombang air adalah kompleks dan sukar untuk dijelaskan secara matematis karena non linieritas, karakteristik tiga dimensi, dan perilaku yang terlihat acak. Walaupun begitu telah ada dua teori klasik tentang gelombang , pertama dikembangkan oleh Airy (1845) dan lainnya dikembangkan oleh Stokes (1880) yang menjelaskan gelombang sederhana. Teori Airy dan Stokes umumnya untuk memprediksi perilaku gelombang secara lebih baik dimana kedalaman air relatif terhadap panjang gelombang tidak terlalu kecil. Teori gelombang cnoidal memerlukan suatu pendekatan gelombang sederhana yang sesuai untuk shallow water. Sedangkan untuk perairan dangkal didekat breaker zone teori gelombang solitary merupakan pendekatan yang sesuai untuk memprediksi perilaku gelombang. Teori gelombang paling besar yang digunakan adalah mengacu *small amplitude theory* atau teori gelombang linier, yang dikembangkan oleh Airy (1845). Teori ini merupakan dasar yang penting karena disamping mudah untuk menggunakannya juga handal untuk sebagian besar daerah gelombang. Secara matematis teori Airy dapat dipertimbangkan sebagai pendekatan pertama yang dapat dijelaskan secara teoritis dari seluruh perilaku gelombang, sesuai dengan diagram *Region Validity* (lihat gambar 1.14) Sedangkan untuk bias menjelaskan

perilaku gelombang secara lebih baik bias digunakan teori gelombang dengan orde tinggi dan biasanya disebut sebagai teori amplitudo hingga (*finite amplitude theory*). Teori amplitudo hingga pertama kali dikenal sebagai trochoidal theory yang dikembangkan oleh Gertsner (1802) dimana profil gelombang dianggap berbentuk trochoid. Teori trochoidal ini dalam peramalannya kurang begitu bagus sehingga tidak direkomendasikan untuk dipakai. Stokes (1880) mengembangkan teori amplitudo hingga yang lebih baik dari teori trochoidal, namun hanya sampai pada persamaan Stokes orde dua saja yang bias disajikan dengan baik sedangkan untuk orde yang lebih tinggi kadang-kadang harus dijustifikasi terlebih dahulu agar dapat dipakai dalam penyelesaian masalah secara praktis dan jugateori stoke ini hanya valid untuk daerah deep water. Sedangkan untuk daerah shallow water umumnya digunakan teori gelombang Cnoidal yang dikembangkan oleh Kortweg dan De Vries (1895). Untuk bisamemahami lebih jelas tentang teori gelombang dapat dilihat dari sub bab – sub bab berikut atau literature lain yang terkait.

1.1.1 TEORI GELOMBANG AMPLITUDO KECIL

Teori yang paling sederhana yang digunakan untuk menerangkan perambatan gelombang gravitasi dikenal sebagai *small amplitude wave theory* atau *linear wave theory*. Teori ini dapat digunakan untuk menganalisa gerakan gelombang, gelombang-gelombang menjalar tanpa terjadi deformasi dan baik profil permukaan maupun kecepatan partikel air membentuk sinusoidal. Oleh karena amplitudo gelombang yang terjadi disini jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan panjang gelombangnya maka daerah aliran dapat dijelaskan dengan potensial kecepatan, ϕ , dimana potensial kecepatan ini memenuhi persamaan Laplace berikut ini :

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad \dots\dots\dots(1.1)$$

Jika arah perambatan gelombang ke arah sumbu x , maka besarnya potensial kecepatan dan profil gelombang diberikan oleh persamaan berikut :

$$\phi = \frac{a\sigma}{k} \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \sin k(x - ct) \quad \dots\dots\dots (1.2)$$

$$\zeta = a \cos k(x - ct) \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

dimana,

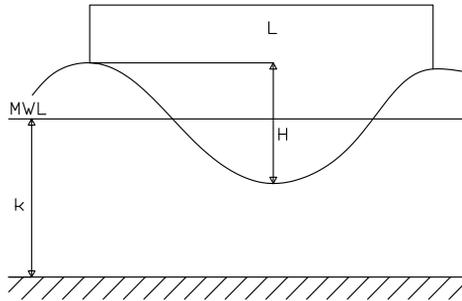
- a = amplitude gelombang (a = H/2)
- H = tinggi gelombang (meter) (lihat gambar 1.1)
- ϕ = frekuensi angular, $\phi = 2\pi/T$ (lihat gambar 1.7)
- ζ = profil gelombang
- κ = angka gelombang ($\kappa = 2\pi/L$)
- L = panjang gelombang (meter)
- c = celerity gelombang (c = L/T)
- T = periode gelombang (detik)

Komponen kecepatan partikel ke arah horizontal dan vertical, u dan w serta tekanan gelombang, p dihitung dengan persamaan berikut :

$$u = a\sigma \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \cos k(x - ct) \quad \dots\dots\dots (1.4)$$

$$w = a\sigma \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \sin k(x - ct) \quad \dots\dots\dots (1.5)$$

$$p = \rho g a \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \cos k(x - ct) - \rho g z \quad \dots\dots\dots (1.6)$$



Gambar1.1 bagan definisi propertis gelombang

Jika periode T dan kedalaman h diberikan maka hubungan disperse berikut bisa digunakan untuk menentukan panjang gelombang L.

$$\sigma^2 = gk \tanh kh \quad \dots\dots\dots (1.7)$$

Sehingga besarnya celerity gelombang dapat diekspresikan sebagai berikut :

$$C = \sqrt{\frac{g}{k} \tanh kh} \quad \dots\dots\dots (1.8)$$

Untuk perairan dalam , karena $kh \geq 1$, sehingga $\tanh kh \approx 1$ dan persamaan 1.7 berubah menjadi,

$$k_o = \sigma^2 / g \quad \dots\dots\dots (1.9)$$

dan

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} \quad \dots\dots\dots (1.10)$$

dimana subskrip o menunjukkan harga-harga propertis gelombang di perairan dalam, dan L_o disebut sebagai panjang gelombang di perairan dalam. Pd perirn dangkal, karena $kh \leq 1$, maka $\tan kh \approx kh$, sehingga persamaan 1.8 menjadi,

$$c = \sqrt{gh} \quad \dots\dots\dots (1.11)$$

Energy gelombang, E , untuk gelombang amplitude kecil diberikan sebagai berikut

$$E = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad \dots\dots\dots (1.12)$$

Dimana ρ merupakan densitas air laut.

1.1.2 TEORI GELOMBANG AMPLITUDO HINGGA

Gelombang amplitude hingga mempunyai bentuk tetap dan gelombang ini secar periodic menjaral dalam ir pad kedalmn uniform dengan tanpa terdeformsi. Ada tiga parameter bebas yang digunakan untuk menjelaskan gelombang bentuk tetap ini, yaitu kedalaman air d , panjang gelombang L dan tinggi gelombang H

Dari ketiga parameter tersebut dibuat variasi parameter-parameter nondimensional seperti kedalaman relative , d/L, kecuraman gelombang, H/L, rasio tinggi gelombang terhadap kedaalman air, H/d, dan parameter Ursell, $Ur = HL^2/d^3$.

Teori gelombang Stokes dan teori gelombang Cnoidal memiliki solusi partubasi, yang masing-masing solusi diekspresikan sebagai power series dalam syarat-syarat parameter nondimensional tertentu. Dalam teori gelombang Stokes, d/L dan H/L dipilih sebagai parameter-parameter bebas; H/L diasumsikan berkuantitas kecil sementara d/L tidak perlu kecil. Di sini penyelesaiannya diekspresikan sebagai power series dalam bats H/L . teori gelombang Cnoidal mengasumsikan bahwa H/d kecil dan Ur tidak diurutkan dalam satuan oleh karena itu $(d/L)^2 = (H/d)/Ur$ menjadi kecil. Dengan asumsi-asumsi yang digunakan tersebut dinyatakan bahwa teori gelombang Stokes valid untuk perairan dalam dan teori gelombang Cnoidal valid untuk perairan dangkal.

1.1.2.1 TEORI GELOMBANG CNOIDAL

Teori Gelombang Stokes valid untuk perairan dalam tetapi menjadi kurang tepat bila diterapkan di perairan intermediate. Untuk *finite amplitude wave* pada perairan dangkal, teori yang digunakan berdasarkan pada ekspansi dari kedalaman relative. Teori gelombang perairan dangkal umumnya berdasarkan penelitian yang dilakukan Kortwed dan de Vries (1895), yang biasanya disebut sebagai teori gelombang Cnoidal. Hasil-hasil teori Stokes masih dalam bentuk fungsi trigonometri tetapi teori Cnoidal sudah mencakup fungsi elliptic Jacobian, dinyatakan sebagai Cn , sehingga nama Cnoidal dipakai untuk teori gelombang ini. Penggunaan secara luas dari teori gelombang Cnoidal banyak dipakai untuk pendekatan gelombang orde pertama, tetapi dapat dijelaskan sebagai *finite height wave* pada perairan dangkal. Bentuk yang menarik dari teori cnoidal orde satu adalah anggapan pada perairan dalam tertentu sebagai teori gelombang amplitude kecil dan pada batas perairan dangkal sebagai teori gelombang solitary.

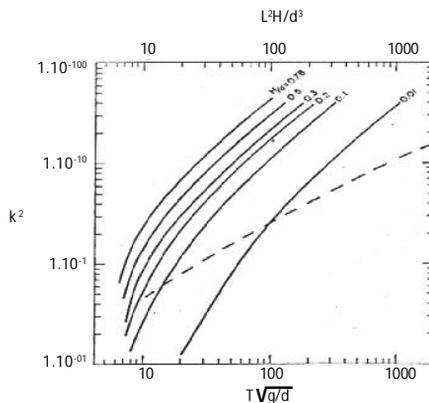
Teori gelombang cnoidal telah disajikan oleh beberapa ilmuwan, antara lain Keulegan dan Patterson (1940), Keller (1948), Laitone (1960) untuk pendekatan orde satu, dan Laitone (1960) dan Chappellear (1962) untuk pendekatan orde yang lebih tinggi. Pada kasus-kasus dimana hasilnya sangat sulit untuk diterapkan, beberapa ilmuwan merekomendasikan cakupan yang lebih luas dalam penggunaan teori-teori gelombang amplitude kecil, stokes solitary pada beberapa kedalaman perairan dimana hasil teori gelombang cnoidal bisa digunakan.

Dari penerapan teori gelombang cnoidal yang disajikan oleh Weigel (1960,1964) sangat banyak dipakai. Weigel (1960,1964) menguatkan hasil dari Kortweg dan de Vries (1985), Keulegan dan Patterson (1940) dan Keller (1948), serta menyajikan secara praktis dalam bentuk persamaan dan grafik. Dari paparan Weigel (1960,1964), jika diketahui tinggi gelombang, periode dan kedalaman perairan, maka dapat ditentukan panjang gelombang, celerity, profil gelombang, kecepatan partikel dan percepatan partikel. Laitone (1960) menunjukkan bahwa pada pendekatan pertama, variasi tekanan adalah hidrostatik, mengambil jarak dibawah permukaan air untuk menghitung tekanan.

Teori Cnoidal disajikan dalam bentuk suku-suku parameter k^2 dan $U_r = L^2 H / d^3$. Sedangkan K^2 adalah parameter yang berhubungan dengan panjang gelombang, tinggi gelombang dan kedalaman perairan, sehingga dapat disebut sebagai variabel bebas pada fungsi elliptic. Harganya bervariasi dari 0 untuk gelombang amplitude kecil dan 1.0 untuk gelombang solitary. umumnya dikenal sebagai Ursell parameter (Ursell, 1953) yang merupakan parameter tidak berdimensi dan terdiri dari tiga variabel terikat [wave steepness dan kedalaman relatif, $(H/L)/$ = yang banyak digunakan pada beberapa teori gelombang. Secara umum (Hardy dan Kraus, 1987) teori cnoidal dapat dipakai untuk > 25 dan teori stokes dapat dipakai untuk < 10 . Kedua teori tersebut sama-sama valid dipakai pada harga antara 10 – 25.

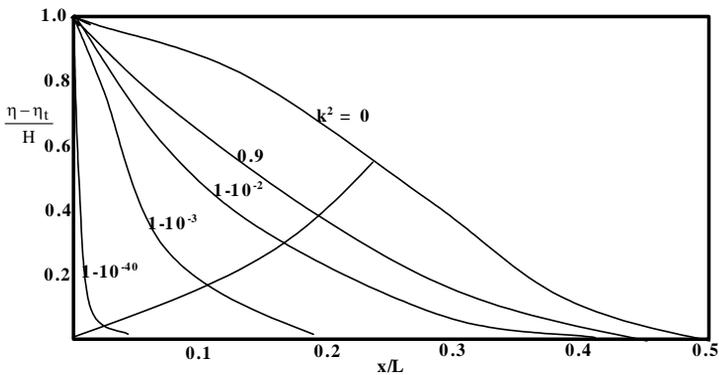
Gambar 1.2 dan gambar 1.3 menunjukkan karakteristik gelombang cnoidal. Jika diketahui periode gelombang, tinggi gelombang, kedalaman perairan maka periode gelombang tidak berdimensi dan H/d dapat dihitung untuk menentukan k^2 dari gambar 1.2. Nilai η dari dan dapat diketahui dari perpotongan garis putus-putus pada grafik. Dari , maka panjang gelombang dapat dihitung dan celerity gelombang didapat dari $C = L/T$ jika gelombang cnoidal tersebut periodic dan bentuknya tetap.

Dari harga k^2 maka kita dapat mengetahui profil permukaan gelombang dari gambar 1.3 yang merupakan plot dari amplitude permukaan η diatas elevasi lembah gelombang $-\eta_x(\eta(-\eta_x) = \eta + \eta_x)$ terhadap jarak horisontal dari puncak gelombang x . Harga x merupakan variable tidak berdimensi. Pada kondisi muka air tenang (swl) juga diberikan plot grafiknya, sedangkan untuk profil permukaan dengan harga $\eta = 0$ merupakan kurva cosinus seperti yang diberikan dalam teori gelombang amplitudo kecil. Dengan bertambahnya harga η maka profil permukaan asimetris dengan puncak gelombang yang lebih tajam dan lembah gelombang yang lebih datar, juga mempunyai amplitude puncak gelombang yang lebih besar dan amplitude lembah gelombang yang lebih kecil. Gambar 1.3 juga dapat kita gunakan dalam penentuan panjang gelombang, celerity, profil permukaan untuk teori gelombang cnoidal.

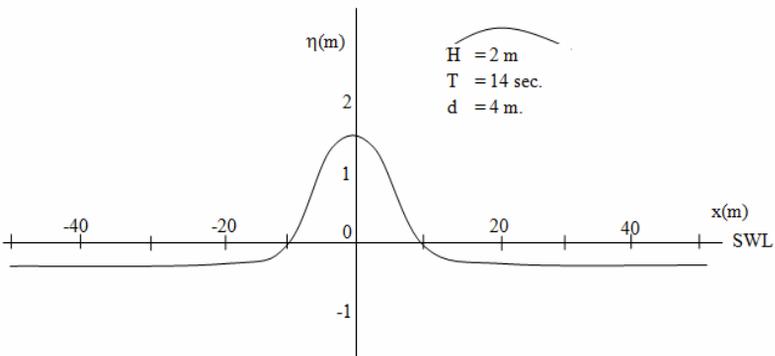


Gambar 1.2 parameter-parameter gelombang cnoidal Sorensen

Sebagai contoh , pertimbangan suatu gelombang mempunyai periode gelombang, $T = 14$ dt, tinggi gelombang , $H = 2$ meter, kedalaman air, $h = 4$ meter. Selanjutnya diperoleh harga $H/d = 0.5$ dan $T\sqrt{g/d} = 2.19$ dari gambar 1.2 didapatkan $k^2 = 1 \cdot 10^{-5.3}$ dan $U_r = 300$ dengan panjang gelombang , $L = 98.0$ meter dan celerity $c = 7$ m/dt. Harga Ursell number sebesar 300 ini menunjukkan bahwa teori gelombang Cnoidal bisa dipakai. Dari teori gelombang amplitude kecil diperoleh $L = 86,5$ m dan $C = 6,2$ m/dt, berbeda sekitar 11.7% (Sorensen,1993)



Gambar 1.3 profil permukaan gelombang cnoidal



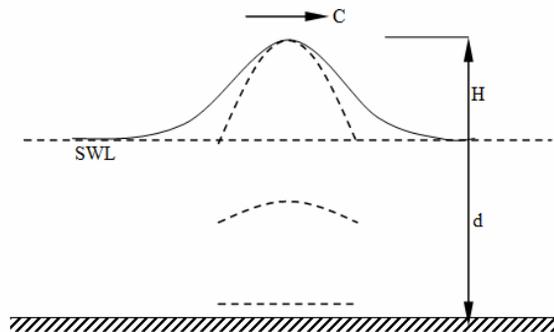
Gambar 1.4 profil permukaan gelombang cnoidal

Dengan harga k^2 dapat digunakan untuk menentukan profil permukaan gelombang dengan mengacu pada gambar 1.3. Gambar 1.4 merupakan gambar dari profil gelombang dimana mempunyai asimetri vertical signifikan ($\alpha_0/H = 0.86$).

Meskipun teori gelombang amplitude kecil menunjukkan periode gelombang yang dispersive dari perairan dalam dan perairan intermediate, namun stokes orde-3 dan orde yang lebih tinggi maupun dalam teori gelombang cnoidal tetap menunjukkan sifat dispersive begitu gelombang melintas dari perairan dalam menuju ke perairan dangkal.

1.1.2.2 TEORI GELOMBANG SOLITARY

Gelombang solitary adalah gelombang yang mempunyai displasmen permukaan yang secara lengkap berada diatas SWL. Karena itu gelombang solitary hanya mempunyai puncak gelombang seperti diperlihatkan dalam gambar 1.5. Dalam pembahasan masalah gelombang yang mempunyai gerakan *oscillatory* sebagaimana gerakan partikel-partikel air di dalam orbitnya. Hal ini berbeda dengan gelombang solitary yang bergerak secara translator mengingat partikel-partikel air hanya bergerak searah dengan arah gelombang dan tidak ada aliran yang berbalik sehingga periode gelombang dan panjangnya menjadi tak terbatas



Gambar 1.5 profil permukaan gelombang solitary

Gelombang solitary merupakan bentuk khusus dari gelombang cnoidal pada perairan yang mempunyai kedalaman yang semakin dangkal terutama pada daerah *surf zone*. Untuk panjang gelombang dan periode yang tidak terbatas maka *Ursell number*-nya juga menjadi tak terhingga dan akan bertemu di satu titik (lihat gambar 1.2). Gambar 1.3 juga menunjukkan bahwa semakin mendekati untuk bertemu pada saat lembah gelombang mendekati garis air tenang, seperti digambarkan pada gambar 1.5.

Gelombang periode panjang pada perairan dangkal dapat didekati dengan bentuk solitary, tetapi gelombang akan pecah sebelum benar-benar mendekati gelombang solitary. Gelombang tsunami (mempunyai periode gelombang lebih dari 10 menit) dapat didekati dengan bentuk gelombang solitary. Pada beberapa kasus teori gelombang cnoidal masih dapat digunakan dalam penerapannya di perairan dangkal. Oleh karena kesulitan dalam mengerjakan persamaan teori gelombang cnoidal menyebabkan para peneliti memilih teori gelombang solitary untuk menyelesaikan kasus-kasus gelombang di perairan yang sangat dangkal.

Kesimpulan-kesimpulan yang tepat dari persamaan-persamaan teori gelombang solitary diberikan oleh Munk (1949) dan Weigel (1964). Persamaan-persamaan tersebut diturunkan dengan menggunakan pendekatan teori gelombang cnoidal. Teori gelombang solitary orde-2 diberikan oleh Laytone (1960).

Ketika k^2 , profil permukaan gelombang cnoidal berubah menjadi,

$$\eta = H \operatorname{sech}^2 \left[\sqrt{\frac{3H}{4d^3}} (x - (t)) \right] \dots\dots\dots (1.13)$$

Dimana celerity gelombang diberikan sebagai,

$$C = \sqrt{gd} \left(1 + \frac{H}{2d}\right) \dots\dots\dots (1.14)$$

Ketika $H/d = 1.0$ celerity gelombang solitary menjadi 50% lebih besar dibandingkan dengan celerity gelombang amplitudo kecil pada perairan dangkal. Persamaan-persamaan lainnya untuk celerity gelombang yang sedikit berbeda dengan persamaan (1.14) dan berdasarkan pada eksperimen-eksperimen atau teori orde 2 telah diberikan oleh Weigel (1964).

Lintasan gerakan partikel fluida pada gelombang solitary yang melintas telah ditunjukkan pada gambar 1.5. Percobaan dari Dailey dan Stephan (1953) menunjukkan persamaan-persamaan yang paling baik digunakan dalam menentukan komponen-komponen kecepatan partikel diberikan oleh Mc. Cowan (1981)

$$u = NC \frac{1 + \cos\left(M \frac{z+d}{d}\right) \cosh\left(\frac{Mx}{d}\right)}{\left[\cos\left(M \frac{z+d}{d}\right) + \cosh\left(\frac{Mx}{d}\right)\right]^2} \dots\dots\dots (1.15)$$

$$W = NC \frac{\sin\left(M \frac{z+d}{d}\right) \sinh\left(\frac{Mx}{d}\right)}{\left[\cos\left(M \frac{z+d}{d}\right) + \cosh\left(\frac{Mx}{d}\right)\right]^2} \dots\dots (1.16)$$

Dimana N dan M ditentukan dari :

$$\frac{H}{d} = \frac{N}{M} \operatorname{tg} \frac{1}{2} \left[M \left(1 + \frac{H}{d}\right)\right] \dots\dots\dots (1.17)$$

Lintasan partikel air menyebabkan terjadinya transportasi masa air yang mana kejadian ini lebih mudah ditentukan dengan mengintegalkan elevasi permukaan air di atas SWL (persamaan (1.13)) dari harga negative ke harga positif. Untuk tiap unit lebar puncak gelombang diberikan sebagai,

$$V = \left(\frac{16}{3} d^3 H\right)^2 \dots\dots\dots (1.19)$$

Volume dari airakan bergerak searah dengan celerity gelombang Brunn (1963) menggunakan transportasi massa gelombang solitary untuk mengembangkan metode awal dalam memperkirakan kecepatan arus sejajar garis pantai pada area *surf zone*.

Energi di dalam gelombang solitary mendekati setengah dari energy potensial dan kinetiknya. Untuk tiap unit lebar puncak gelombang diberikan persamaan sebagai berikut :

$$E = \frac{8}{3\sqrt{3}} \rho g (Hd)^{3/2} \dots\dots\dots (1.20)$$

Tenaga gelombang akan dihasilkan dari energy gelombang dan celerity gelombang. Beberapa peneliti (Galvin,1972) telah menggunakan teori gelombang solitary untuk menentukan tinggi gelombang pecah jika diketahui kedalaman perairan persamaan celerity gelombang dan kecepatan partikel air. Harga H/d berkisar antara 0.73 sampai dengan 0.83 dan yang paling sering dipakai adalah 0.78.

1.1.3 PERSAMAAN GELOMBANG PANJANG

Untuk meningkatkan keakuratan dalam perhitungan, persamaan gelombang panjang dapat dinyatakan dalam berbagai bentuk persamaan differensial parsial yang dapat diselesaikan secara numeric. Seperti yang diberikan oleh Peregrine (1970), berupa persamaan untuk perambatan gelombang 2 – D pada kedalaman yang konstan, yang ditulis dalam kordinat rectangular sebagai berikut :

Persamaan linier :

$$\frac{\delta u}{\delta t} + g \frac{\delta \eta}{\delta x} = 0 \dots\dots\dots 21$$

$$\frac{\delta \eta}{\delta t} + d \frac{\delta u}{\delta x} = 0 \dots\dots\dots (1.22)$$

Persamaan finite – amplitude :

$$\frac{\delta u}{\delta t} + u \frac{\delta u}{\delta x} + g \frac{\delta \eta}{\delta x} = 0 \dots\dots\dots (1.23)$$

$$\frac{\delta \eta}{\delta t} + \frac{\delta[(d+\eta)u]}{\delta x} = 0 \dots\dots\dots (1.25)$$

Persamaan Boussinesq :

$$\frac{\delta u}{\delta t} + u \frac{\delta u}{\delta x} + g \frac{\delta \eta}{\delta x} = \frac{1}{3} d^2 \frac{\delta u}{\delta x^2} t \dots\dots (1.26)$$

$$\frac{\delta \eta}{\delta t} + \frac{\delta[(d+\eta)u]}{\delta x} = 0 \dots\dots (1.27)$$

Kemudian persamaan Boussinesq diturunkan ke dalam persamaan Korteweg- de Vries untuk penjalaran gelombang dalam satu arah yang selanjutnya dituliskan dalam persamaan berikut :

$$2 \frac{\delta u}{\delta t} + 2\sqrt{gd} \frac{\delta u}{\delta x} + 3u \frac{\delta u}{\delta x} + \frac{1}{3} d^2 \sqrt{gd} \frac{\delta^3 u}{\delta x^3} = 0 \dots\dots\dots (1.28)$$

$$\eta = (d/g)^{1/2} u + \frac{u^2}{4g} - \frac{d^3 \frac{\delta^2 u}{\delta x^2}}{6\sqrt{gd}} \dots\dots\dots (1.29)$$

Mengingat maksud uraian tentang propagasi gelombang periode panjang, maka parameter U, seharusnya dievaluasi dimana U didefinisikan sebagai :

$$U = \frac{H}{d} \left(\frac{L}{d}\right)^2 \dots\dots\dots (1.3)$$

dan kadang-kadang mengambil parameter Stokes maupun Ursell. Parameter penting ini pertama kali ditulis oleh Stokes(1987), yang menetapkan bahwa parameter itu harus menjadi kecil jika persamaannya masih sah untuk gelombang-gelombang panjang. Murty (1977), menyatakan bahwa nilai dari $(L/d)^2$ merupakan suatu ukuran disperse frekuensi. Sedangkan harga H/d merupakan ukuran disperse amplitude. Murty menunjukkan bahwa persamaan gelombangpanjang linier sah ketika $U \ll$

1. Jika H/d kecil maka disperse amplitude diabaikan.

Ketika U merupakan orde 1 [$U = O(1)$], maka amplitude dan frekuensi disperse adalah penting. Jika demikian maka persamaan Boussinesq atau Kortweg – de Vries seharusnya digunakan. Dimana $U \gg 1$ maka disperse amplitude mendominasi penyelesaian ini, dan finite – amplitude persamaan gelombang panjang nonlinier digunakan. Seharusnya ditekankan bahwa ketika $U = O(1)$ ini adalah tidak perlu bahwa $U=1$. Zabusky dan Galvin (1971) menunjukkan bahwa persamaan Kortweg – de Vries sesuai untuk menguraikan propagasi gelombang untuk $U < 800$ dalam beberapa bentuk.

Untuk gelombang dengan periode panjang, kondisi pada $U \ll 1$ biasanya tidak pernah memenuhi. Bagaimanapun, kesalahan hasil dari penggunaan persamaan linier sungguh kecil selama harga H/d kecil. Batasan harga H/d ini dapat diterima (titik dimana kesalahan perhitungan menjadi signifikan) tergantung pada sebagian kecepatan shoaling gelombang, meliputi kemiringan dari topografi dasar menuju pantai.

Parameter U diberikan oleh persamaan (1.23), telah didefinisikan ulang sebagai U^* dimana :

$$U^* = \left(\frac{H}{d}\right) \frac{1}{(\eta_x)_{max}^2} \dots\dots\dots (1.31)$$

dan

$$\eta_x = \frac{\delta\eta}{\delta x} \dots\dots\dots (1.32)$$

Hal ini dibahas oleh Peregrine (1970), yang menunjukkan bahwa batasan nonlinier yang diabaikan dalam persamaan (1.21) dan (1.22) menyebabkan kesalahan kumulatif yang cukup besar dalam penyelesaian numeric, diberikan oleh persamaan berikut :

$$t = \frac{d^{3/2}}{H\sqrt{g}} \dots\dots\dots (1.33)$$

Dimana *rapid shoaling*, meliputi gelombang yang lewat di atas kedalaman air dengan perubahan kedalaman yang besar dalam periode waktu yang relative singkat. Kesalahan yang terakumulasi akan menjadi lebih kecil dari pada untuk *slow shoaling*, dimana gelombang lewat diatas kedalaman air dengan perubahan kedalaman yang sama dalam periode waktu yang relative lama. Persamaan (1.23) dan (1.24) sah selama $U^* > 1$, tetapi biasanya menjadi tidak sah setelah terbatasnya waktu pada bagian epan gelombang curam. Persamaan Boussinesq juga dapat digunakan untuk $U^* > 1$; dimana $(\eta_x)_{max}^2 < (H/d)$. Peregrine (1970) menunjukkan bahwa Boussinesq mendekati pekerjaan yang benar untuk harga H/d di atas 0.5 Persamaan Boussinesq dan Kortweg – deVries digunakan pada gelombang mendekati garis pantai dimana harga H/d menjadi besar.

Harmack (1973) memberikan harga U^* seperti,

$$U^* = \left(\frac{\eta_{max}}{d}\right)^3 \frac{1}{(\eta_x)_{max}^2}$$

yang khusus digunakan untuk menjelaskan daerah yang bentuk gelombangnya kompleks. Bagaimanapun harga U^* akan diperkirakan bervariasi dari daerah ke daerah bentuk gelombang. Variasi ini akan menunjukkan bahwa penggunaan satu persamaan untuk menjelaskan bentuk gelombang yang kompleks menyebabkan hasil yang tidak benar.

1.2 TRANSFORMASI GELOMBANG

Gelombang menjalar dari perairan dalam menuju pantai mengalami beberapa proses perubahan tinggi gelombang, kecepatan, arah, dan fenomena lainnya seperti proses pendangkalan (*wave shoaling*), proses refraksi (*refraction*), proses difraksi (*difraction*), atau proses pantulan (*reflection*) sebelum gelombang tersebut pecah (*wave breaking*)

Proses pendangkalan gelombang (*shoaling*) adalah proses berkurangnya tinggi gelombang akibat perubahan kedalaman. Kecepatan gerak gelombang juga berkurang seiring dengan pengurang kedalaman dasar laut, sehinggah menyebabkan puncak gelombang yang berada di perairan yang lebih dalam. Jika sela perambatan gelombang tersebut disamping terjadi perubahan tinggi gelombang dan

celerity gelombang juga terjadi pembelokan arah gerak puncak gelombang mengikuti bentuk kontur kedalaman laut maka pada kondisi seperti ini gelombang tersebut dikatakan mengalami refraksi. *Shoaling* dan refraksi disebabkan oleh proses pendangkalan kedalaman. Namun pada *shoaling* lebih ditekankan pada perubahan langsung tinggi gelombang akibat pendangkalan, sedangkan refraksi ditekankan pada perubahan tinggi gelombang karena pembelokan arah gerak puncak gelombang.

Difraksi gelombang adalah proses pemindahan energy gelombang ke arah daerah yang terlindungi oleh pulau, bukit batu/karang yang menjorok ke laut, atau bangunan pantai. Perpindahan energy ini akan menyebabkan timbulnya gelombang di daerah yang terlindungi tersebut.

Proses-proses di atas perlu diketahui untuk memperkirakan berapa besar komponen energy gelombang yang menyebabkan *long shore current* dan penentuan tinggi gelombang rencana. Informasi ini berguna untuk menentukan lokasi terbaik suatu pelabuhan atau pintu masuk pelabuhan. Proses-proses transformasi gelombang yang terjadi di atas akan dijelaskan dalam bab berikut ini.

1.2.1 GELOMBANG KE LAUT DANGKAL (WAVE SHOALING)

Jika suatu gelombang menuju pengairan dangkal, maka terjadi perubahan karakteristik gelombang yang meliputi perubahan tinggi, panjang dan kecepatan gelombang. Dengan menganggap bahwa kemiringan perairan dapat diabaikan, maka panjang gelombang dan kecepatan gelombang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tan \frac{2\pi h}{2\pi}, \quad c = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L}, \quad L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}, \quad C_0 = \frac{gT}{2\pi} \quad (1.35)$$

dimana

- L = panjang gelombang (m)
- L_0 = panjang gelombang di laut dalam (m)
- g = percepatan gravitasi (m/dt^2)
- T = periode gelombang (dt)
- C = celerity gelombang (m/dt)
- C_0 = celerity gelombang di laut dalam (m/dt)
- d = kedalaman air (m)

dari persamaan-persamaan diatas, dapat kita tuliskan bentuk persamaan berikut :

$$\frac{L}{L_0} = \frac{C}{C_0} \tanh \frac{2\pi d}{L} \text{ atau } \frac{d}{L_0} = \frac{d}{L} \tanh \dots\dots\dots (1.36)$$

Dari persamaan diatas bisa diketahui bahwa panjang gelombang L pada kedalaman d ditentukan oleh kedalaman air dan panjang gelombang di air dalam, di mana panjang gelombang ini dapat dihitung dengan mudah dari periode gelombangnya. Untuk mendapatkan harga dari propertis gelombang untuk tiap perubahan kedalaman, d dan L_0 disamping bisa menggunakan persamaan 1.36 di atas juga bisa diperoleh dengan melakukan interpolasi linier pada table dalam lampiran A

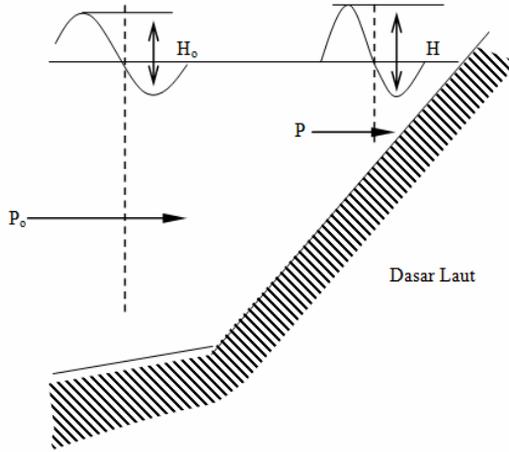
Rata-rata flux energy gelombang yang ditransportasikan dalam suatu potongan vertical dalam tiap satuan lebar puncak satuan waktu, P : yakni setara engan nEC adalah tetap sepanjang proses penjalaran gelombang (lihat gambar 1.6) sehingga :

$$\frac{\rho g H^2 C n}{8} = \frac{\rho g H_0^2 C_0 n_0}{8} \dots\dots\dots (1.37)$$

dimana

- P = flux energy gelombang
- H_0 = tinggi gelombang laut dalam
- n = rasio grup gelombang untuk celerity (lihat persamaan 1.38)
(untuk deep water $n = \frac{1}{2}$ dan untuk shallow water

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4\pi/L}{\sinh(\frac{4\pi}{L})} \right) \dots\dots\dots (1.38)$$



Gambar 1.6. Definisi Konversi Flux Energi Gelombang

Dari persamaan (1.37) diatas diperoleh perbandingan berikut :

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{1C_0}{2nC}} = K_s \quad \dots\dots\dots (1.39)$$

Jika k adalah wave number, atau $k = 2\pi/L$. maka koefisien shoaling K_s dapat dituliskan lagi dalam bentuk :

$$K_s = \sqrt{\frac{1}{\tanh kd \left(1 + \frac{\frac{4\pi}{L}}{\sinh\left(\frac{4\pi}{L}\right)}\right)}} \quad \dots\dots\dots(1.40)$$

Persamaan 1.40 menunjukkan bahwa koefisien shoaling adalah murni fungsi kd atau d/L . Di mana untuk kondisi perairan yang dangkal ($C = \sqrt{gd}$ dan $n = 1$) pada persamaan (1.39) K_s adalah :

$$K_s = \sqrt{\frac{C_0}{2\sqrt{gd}}} = \left[\frac{1}{8n} \frac{L_0}{d} \right]^{1/4} = 0.4464 \sqrt[4]{\frac{L_0}{d}} \dots\dots\dots (1.41)$$

Sebagaimana telah disebutkan diatas, tinggi gelombang akan bertambah sementara panjang gelombang akan berkurang. (kemiringan gelombang bertambah) sebelum gelombang tersebut mulai pecah. Oleh karena itu batas atas gelombang pecah disebabkan oleh :

- nilai maksimum kemiringan (*steepness*) gelombang (H/L)
- nilai maksimum perbandingan tinggi gelombang dan kedalaman air (H/d)

1.2.2. GELOMBANG PECAH (*WAVE BREAKING*)

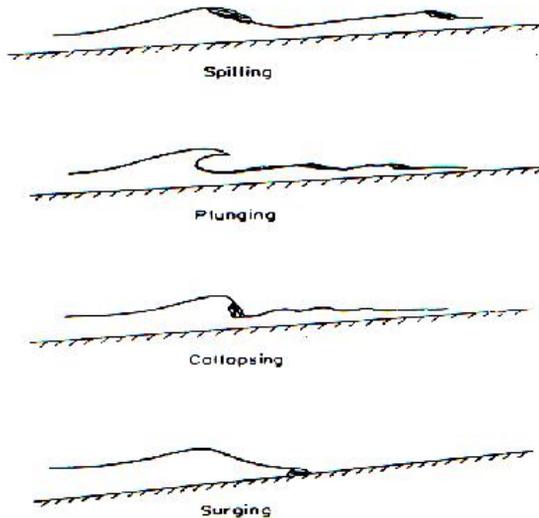
Panjang gelombang akan berangsur-angsur kurang, semetara tinggi gelombang akan bertambah tinggi pada saat gelombang menuju perairan dangkal, kemiringan gelombang akan bertambah besar karenanya, dan pada akhirnya gelombang akan pecah pada kedalaman tertentu. Pecahnya gelombang ini dikarenakan dalam penjarannya kecepatan partikel air, u menjadi lebih besar dari celerity gelombang, sehingga partikel akan keluar dari profil gelombang. Gelombang pecah berate jugaterjadi dissipasi energy, dimana energy kinetik ditransformasikan kedalam panas dengan derajat tinggi turbulensi. Parameter nondimensional yang sangat penting dan banyak digunakan untuk mengatasi berbagai macam jenis permasalahan perlindungan pantai disebut sebagai angka Iribarren (Schierack, 1998), yang diberikan oleh persamaan berikut :

$$\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{H/L_0}} \dots\dots\dots (1.42)$$

dimana

α = kemiringan dasar laut

Gelombang pecah diklasifikasikan dalam empat kategori yaitu *spilling*, *plunging*, *collapsing* dan *surging* sebagaimana terlihat dalam gambar 1.7 (Sorensen, 1993). Pada gelombang regular, misalnya di laboratorium, lokasi gelombang pecah hamper selalu tetap.



Gambar 1.7 Klasifikasi Gelombang Pecah (Sorensen, 1993)

- Spilling* : Ketika gelombang merambat maju pada puncak gelombang pertamakali Nampak berbuih dan terjadi turbulensi yang menyebar ke bawah pada muka gelombang. Kelihatannya gelombang ini tertimbun buih yang bergerak maju. Turbulensi ini yang secara keseluruhan yang menghamburkan energy gelombang sehingga semakin lama tinggi gelombang semakin kecil. Untuk gelombang pecah jenis ini memiliki harga $\xi < 0.3$
- Plunging* : Puncak gelombang berbentuk runcing dan melengkung sehingga akhirnya jatuh pada dasar dari bagian muka gelombang. Proses pecahnya dan disipasi energy lebih terlihat dari pada spilling breaker. Gelombang pecah dikategorikan jenis plunging jika memiliki harga $\xi = 0.5 - 3$
- Collapsing* : Bagian depan dari gelombang curam pada saat mulai pecah, bagian terendah dari muka gelombang jatuh ke depan dan gelombang runtuh. Collapsing breaker ini bentuknya terletak antara bentuk plunging dan surging dan tidak secara jelas didefinisikan dengan bentuk lainnya. Jenis pecah collapsing bisa dilihat dalam transisi antara pecah dan-pecah dan memiliki harga $\xi = 2.5 - 3$
- Surging* : Puncak dan muka gelombang mempunya bentuk yang hamper stabil, bentuknya bergelombang tergantung dari kemiringan pantai. Gelombang ini bergerak ke depan sebagai gelombang berdiri atau gelombang yang terpantulkan. Kategori jenis ini memiliki harga $\xi = 3 - 5$

Dari keempat jenis gelombang pecah tersebut dapat terjadi pada perairan dangkal tapi khusus untuk spilling dan plunging terjadi pada perairan dalam dan keduanya paling biasa terjadi di perairan dangkal. *Spilling breaker* bisa terjadi di perairan dalam jika disertai oleh angin yang kuat dan terjadi ombak yang memutih (*whitecapping*). Jenis gelombang pecah yang terjadi dapat memberikan konsekuensi-konsekuensi penting, misalnya : stabilitas rubble mound breakwater sangat tergantung pada jenis gelombang pecah yang terjadi dimana struktur itu dibangun Laju penyebaran energi yang melintasi surf zone, hasil pergerakan air dan run-up pada pantai sangat tergantung pada jenis gelombang pecah.

Jenis-jenis gelombang pecah yang terjadi di shallow water sangat tergantung pada kecuraman gelombang dan kemiringan pantai. Gelombang yang memiliki kecuraman besar dan kemiringan dasar pantai datar biasanya terjadi gelombang pecah jenis spilling. Sedangkan untuk jenis plunging dan collapsing terjadi ketika kecuraman gelombang berkurang dan kemiringan dasar bertambah besar.

Menurut Miche (1944) kondisi batas gelombang pecah untuk segala kedalaman air dalam memenuhi persamaan berikut :

$$\left[\frac{H}{L} \right]_{max} = \frac{1}{7} \tanh \left[\frac{2\pi d}{L} \right] \dots\dots\dots (1.43)$$

Sehingga untuk air dalam $\left[\frac{H}{L} \right]_{max} = \frac{1}{7}$ dan pada air dangkal=

$$\left[\frac{H}{L} \right]_{max} = \frac{1}{7} \tanh \left[\frac{2\pi d}{L} \right]$$

Wiegel (1972) (US Army Cerc, 1984) menurunkan hubungan empiris antara d_b/H_b dan H_b/gT^2 terhadap kemiringan pantai untuk memperoleh besarnya tinggi gelombang pecah, H_b dan kedalaman perairan saat gelombang pecah, d_b dengan persamaan berikut :

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - \left(\frac{aH_b}{gT^2} \right)} \dots\dots\dots (1.44)$$

dimana a dan b merupakan fungsi kemiringan pantai, m dan bisa didekati dengan persamaan berikut :

$$a = 43,75(1 - e^{-19m}) \dots\dots\dots (1.45)$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})} \dots\dots\dots (1.46)$$

1.2.3. REFRAKSI GELOMBANG (*WAVE REFRACTION*)

Jika celerity gelombang berkurang akibat perubahan kedalaman maka panjang gelombang juga akan berkurang secara proposional. Variasi kecepatan gelombang yang terjadi di sepanjang puncak gelombang yang bergerak terhadap sudut kontur dasar laut menyebabkan gelombang yang di perairan lebih tinggi akan bergerak lebih cepat dibandingkan dengan yang berada di perairan dangkal. Akibat adanya variasi tersebut akan menyebabkan terjadinya penikungan arah perambatan gelombang atau *Orthogonal* gelombang (yaitu garis tegak lurus puncak gelombang). Proses perubahan arah gerak puncak gelombang ini disebut sebagai refraksi (lihat gambar 1.8).

Meskipun di laut dalam jarak antar orthogonal tetap, namun di air dangkal jarak ini akan melebar atau menyempit tergantung pada kontur kedalaman. Dalam analisa refraksi diasumsikan bahwa gelombang yang menuju ke pantai tidak ada energi yang mengalir secara lateral sepanjang puncak gelombang dan energi yang ditransmisikan adalah konstan diantara dua orthogonal. Dengan mengabaikan disipasi energi gelombang, kita dapat menyatakan kekekalan flux energi yang dibatasi oleh kedua orthogonal yang dapat diuraikan dengan persamaan-persamaan berikut :

$$P_0 = P = \text{konstan}$$

$$n_0 B_0 E_0 C_0 = n B E C \dots\dots\dots (1.47)$$

dimana

$$E = \text{energy gelombang } (E = \rho g H^2 / 8)$$

$$n = \frac{c_g}{c} = 0.5 \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right); n_0 = 0.5$$

selanjutnya persamaan (1.47) di atas dapat ditulis dalam bentuk :

$$0.5 B_0 \frac{\rho g H^2}{g} C_0 = B_n \frac{\rho g H^2}{g} C \quad \dots\dots\dots(1.48)$$

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{L_0}{2nL}} \sqrt{\frac{B_0}{B}} = K_s K_r \quad \dots\dots\dots(1.49)$$

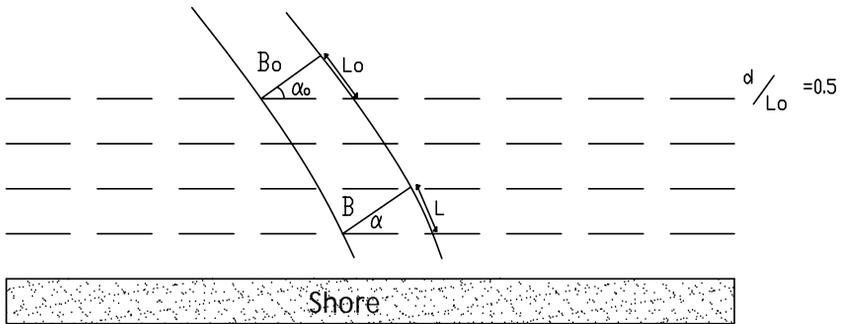
dimana

B_0 = lebar dua orthogonal di laut dalam

B = lebar dua orthogonal di lokasi yang dituju

K_s = koefisien shoaling

K_r = koefisien refraksi



Gambar 1.8 Refraksi gelombang pada dasar kontur sejajar (Sorensen, 1993)

Beberapa cara untuk membuat diagram refraksi diantaranya :

- “Wave crest method” cara grafis dari Johnson dkk 1948
- “Orthogonal method” cara grafis Arthur dkk 1952 dan
- “Computer graphic” (tidak terbatas)

A. WAVE CREST METHOD

Metode puncak gelombang ini merupakan metode yang sederhana untuk menggambarkan diagram refraksi gelombang dari gelombang yang merambat dari deep water menuju ke pantai dengan menunjukkan posisi puncak gelombang pada beberapa tempat dengan interval panjang gelombang secara menyeluruh. Jika diketahui posisi puncak gelombang awal, selanjutnya dari masing masing titik sepanjang puncak ditarik tegak lurus terhadap

puncak-puncak gelombang dan dari situ dapat dihitung besarnya panjang gelombang dengan menggunakan gelombang disperse (persamaan 1.35). Proses ini dilanjutkan sampai ke pantai dengan menggambarkan posisi-posisi puncak gelombangnya secara berturut-turut. Orthogonal dapat ditambahkan kemudian dengan membuat garis tegaklurus puncak gelombang sehingga diagram tersebut nampak seperti jaring.

B. ORTHOGONAL METHOD

Cara ini berdasarkan pada hokum Snellius, dan diperkenalkan oleh Arthur tahun 1952 dengan menggunakan refraksi template. Jika kedalaman pantai lurus dan parallel sejajar maka pengaruh refraksi dapat ditentukan dengan menggunakan hokum Sneillus, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 1.8, yaitu :

$$\frac{\sin\alpha_0}{L_0} = \frac{\sin\alpha}{L} = x \dots\dots\dots (1.50)$$

atau

$$\frac{\sin\alpha_0}{C_0} = \frac{\sin\alpha}{C} = x \dots\dots\dots (1.51)$$

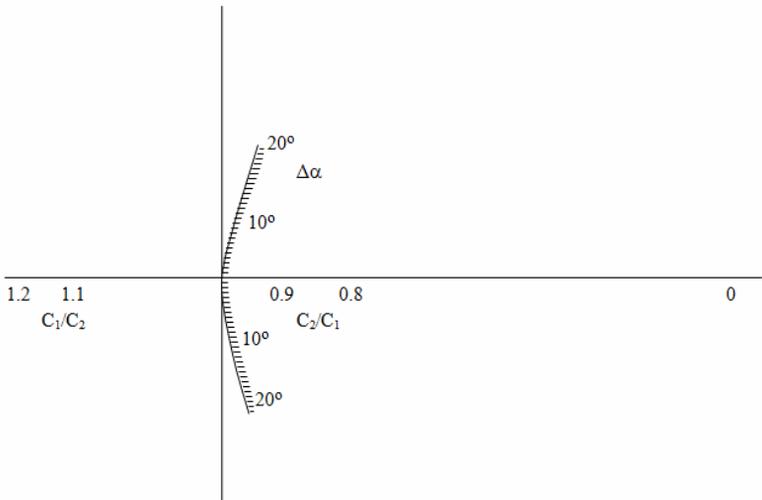
$$\frac{B_0}{\cos\alpha_0} = \frac{B}{\cos\alpha} \dots\dots\dots (1.52)$$

dan jika kita pilih harga B_0 dan B_1 sedemikian sehingga panjang orthogonalnya L_0 dan L seperti yang ditunjukkan dalam gambar 1.8, maka kita bisa peroleh koefisien refraksi (K_r) sebesar,

$$K_r = \sqrt{\frac{B_0}{B}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \dots\dots\dots (1.53)$$

Adapun cara pembuatan diagram refraksi dengan menggunakan metode orthogonal gelombang adalah sebagai berikut :

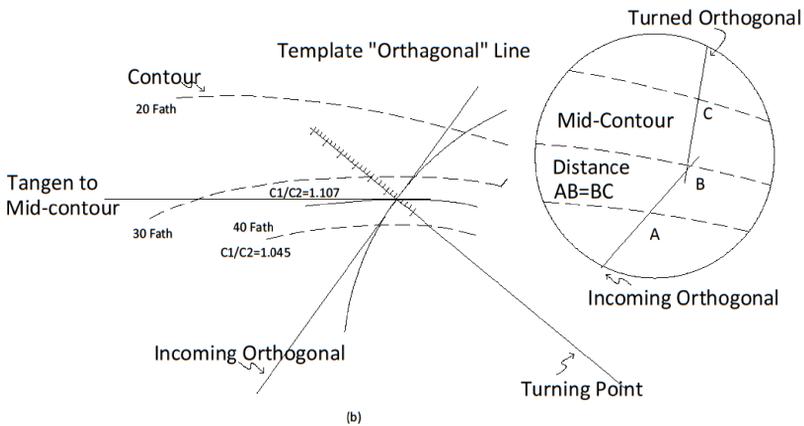
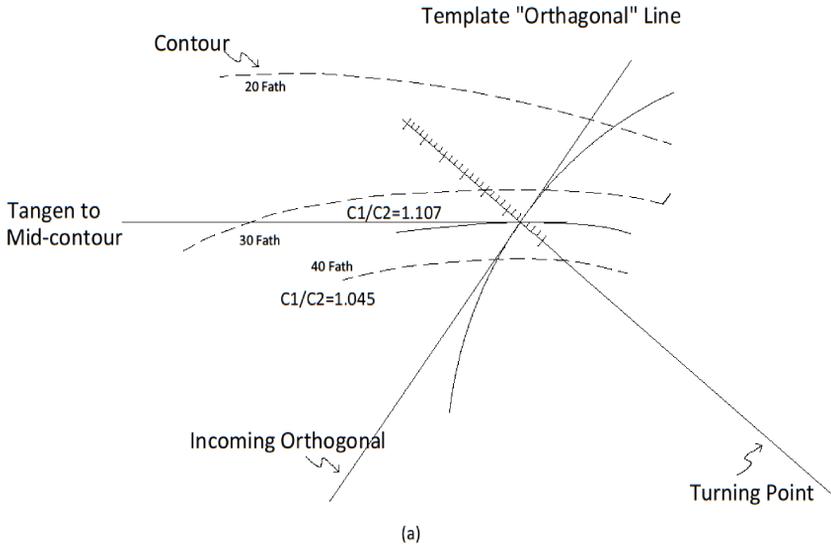
1. Tempatkan kontur kedalaman yang dinyatakan dalam $d/L_0 = 0.5$ pada peta hidrografi. Kemudian tandai masing-masing peta kontur kedalaman yang lebih rendah yang berkenaan dengan kedalaman relative d/L . Kontur dasar yang tak beraturan yang lebih kecil dari panjang satu gelombang yang tidak begitu berpengaruh terhadap perilaku gelombang diratakan.
2. Untuk tiap-tiap kontur dan yang menuju ke darat dihitung rasio celerity gelombangnya C_1/C_2 kita bisa menghitung harga d/L .



Gambar 1.9. Template yang digunakan untuk Orthogonal Gelombang (Arthur,dkk,1952)

3. Buatlah midkontur diantara dua kontur yang ada dengan jarak yang sama. Kemudian perpanjanglah garis dari orthogonal perairan dalam menuju ke midkontur dan buatlah garis singgung pada midkontur yang memotong midkontur dan orthogonal tersebut.
4. Letakkan template (gambar 1.9) pada perpotongan antara midkontur dengan ortogonal tersebut dengan menandai garis ortogonal diatas orthogonal datang saat $C_1/C_2 = 1,0$
5. Kemudian pada titik putar (turning point) dalam template dilekatkan, dengan memutar template sampai terhitug harga C_1/C_1 yang memotong miring ke mid kontur. Garis pada template ditandai sebagai ortogonal sekarang yang menempati arah simpangan ortogonal. Walaupun ini tidak pada posisi yang benar dari simpangan ortogonal tersebut.
6. Dengan sepasang segitiga, pindahkan simpangan ortogonal tersebut ke posisi sejajar sedemikian rupa sehingga ortogonal antara kontur adalah sama (maksudnya ortogonal datang dan simpangan ortogonal tidak bertemu dengan midkontur)
7. Ulang langkah 1 sampai dengan 6 untuk interval kontur lainnya secara berturut- turut yang memanjang dari deep water sampai pada titik yang ditinjau. Prosedur pembuatan diagram refraksi dengan cara ini untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 1.10

Semua ortogonal dari perairan dangkal sampai perairan dalam bisa dibuat dengan menggunakan prosedur yang sama, kecuali jika harga C_1/C_2 yang digunakan dengan harga C_1 yang merupakan celerity gelombang pada kontur yang lebih dalam. Arthur, dkk (1952) merekomendasikan bahwa interval kontur yang digunakan untuk membuat diagram refraksi cukup kecil sedemikian rupa sehingga DC_1/C_1 dan $Da < 15^\circ$. Jika sudut antara puncak gelombang dengan kontur kedalaman melebihi 80° , maka prosedur yang dijelaskan di atas tidak cukup akurat dan perlu memodifikasi prosedur yang akan digunakan. Prosedur tersebut secara rinci telah dibahas dalam US Army Cerc, 1984.



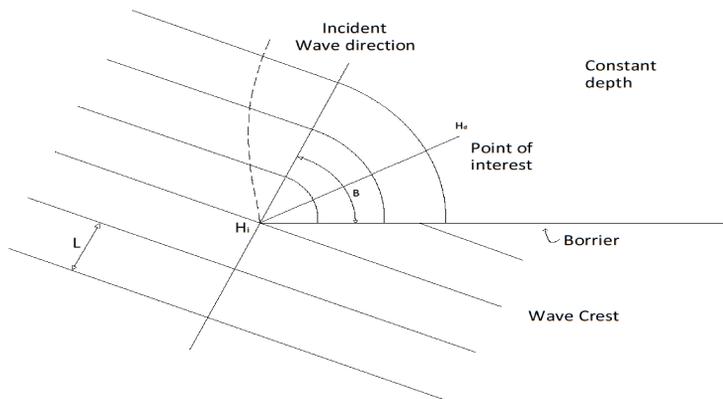
Note : The template has been turned about R until the value $C1/C2=1.045$ intersects the tangent to the midcontour. The template "Orthogonal" line lies in the direction of the turned orthogonal. this direction to be laid off some pint "B" on the incoming orthogonal, which is equidistant from two contours along the incoming and outgoing orthogonals.

Gambar 1.10 Contoh pemakaian template refraksi

1.2.4 DEFRAKSI GELOMBANG (WAVE DEFRACTION)

Ketika dalam perjalanan serangkaian gelombang dijumpai penghalang impermeable seperti breakwater, pulau atau tanjung, maka puncak gelombang akan berputar terhadap ujung penghalang dan bergerak ke daerah yang terlindungi oleh penghalang tersebut. Fenomena gelombang seperti ini disebut difraksi, difraksi gelombang ini analog dengan defraksi yang juga terjadi pada cahaya, gelombang suara atau electromagnet. Penelitian Penny dan Price (1952) menunjukkan bahwa penyelesaian matematis untuk difraksi cahaya dapat pula digunakan untuk memperkirakan pola puncak gelombang dan variasi tinggi pada gelombang air yang terdifraksi.

Difraksi terjadi ketika terdapat perbedaan energy gelombang yang tajam di sepanjang puncak gelombang. Pada awalnya kondisi di daerah yang terlindungi penghalang cukup tenang (tidak terdapat gelombang), saat gelombang melintasi penghalang. Perairan yang jauh dari penghalang akan memiliki energy lebih banyak (energy gelombang awal) dibandingkan perairan di belakang penghalang yang semula tenang (tidak ada energi karena tidak ada gelombang), terjadilah proses pemindahan energi di sepanjang puncak gelombang tersebut ke arah daerah yang terlindung penghalang. Proses difraksi ditunjukkan dalam gambar 1.11 berikut :



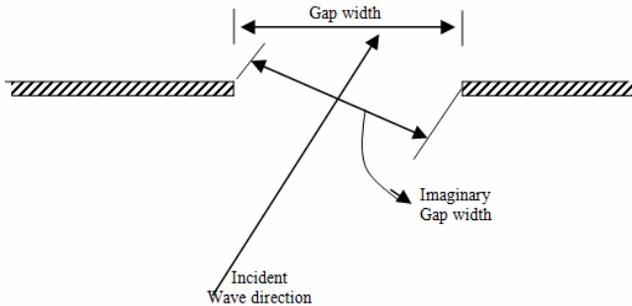
Gambar 1.11 Difraksi Gelombang (Sorensen, 1993)

Pada sketsa proses difraksi diatas, kedalaman air dianggap sama, apabila kedalaman air ini bervariasi, pola puncak gelombang dan tinggi gelombang akan dipengaruhi oleh proses refraksi gelombang. Namun pada umumnya di daerah yang terlindungi oleh penghalang, tinggi gelombang berkurang. Jika penghalang tersebut memantulkan energi gelombang, puncak gelombang pantulan juga akan terdifraksi, dan membentuk pola puncak gelombang yang melingkari ujung penghalang.

Daerah yang terlindung oleh penghalang di mana difraksi terjadi disebut daerah difraksi (*diffraction area*), sedangkan perbandingan antara tinggi gelombang di daerah difraksi (H_A) dengan tinggi gelombang datang (H_i) disebut koefisien difraksi (K_D)

$$= (K_D) \times (H_i) \dots\dots\dots (1.54)$$

Koefisien difraksi ini dipengaruhi oleh harga-harga parameter q , b , dan r/L seperti terlihat dalam gambar 1.11 di atas. Wiegel (1962) menggunakan penyelesaian eksak dari Penny dan Price (1952) untuk menghitung harga koefisien difraksi sebagai fungsi parameter-parameter di atas, lihat lampiran B.



Gambar 1.12. Gelombang yang datang melewati celah penghalang

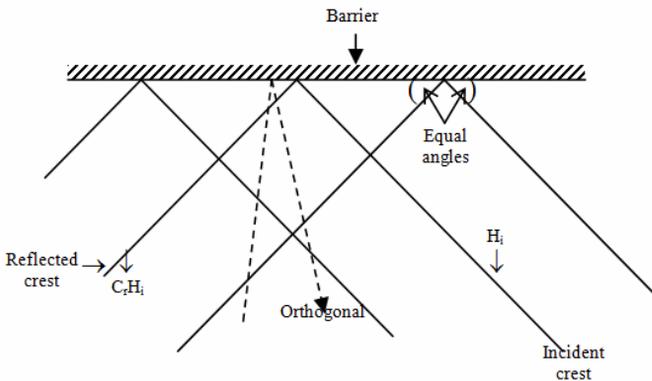
Apabila gelombang bergerak melalui celah penghalang (*barrier gap*), proses difraksi juga akan terjadi. Johnson (1952) menunjukkan suatu diagram yang dapat digunakan untuk memperkirakan nilai (K_D) pada gelombang yang melalui celah. Jika lebar celah ini lebih dari lima kali panjang gelombang datang ($>5L$), maka perhitungan koefisien difraksi

dapat dilakukan secara terpisah seperti cara terdahulu, yaitu dengan menganggap kedua penghalang sebagai penghalang individual. Jika gelombang yang datang mendekati celah ini membentuk sudut terhadap penghalang maka perhitungan dilakukan dengan menggunakan lebar celah maya, (imaginary gap width) seperti yang ditunjukkan dalam gambar 1.12.

Dengan menentukan harga (λ) untuk suatu periode gelombang pada arah tertentu, kita dapat mengevaluasi karakteristik spectrum gelombang di suatu titik di daerah yang terlindung oleh struktur pantai (breakwater) guna perencanaan dan evaluasi tata letak pelabuhan termasuk perluasan dan lokasi bangunan peredam gelombang

1.2.5. PANTULAN GELOMBANG (WAVE REFLECTION)

Pantulan gelombang yang terjadi prosesnya seperti halnya cahaya yang terjadi di cermin seperti yang ditunjukkan dalam gambar 1.13.berikut :



Gambar 1.13 Refleksi Gelombang

Koefisien pantul (reflection coefficient – CR) adalah perbandingan tinggi gelombang pantul (H_r) dengan tinggi gelombang yang datang (H_i) . Sehingga amplitude puncak gelombang pantul adalah sama dengan amplitude di daerah bayangan dikalikan koefisien pantul dinding.

$$H_R = C_R \times H_I \dots\dots\dots (1.55)$$

BAB II

PEMBANGKITAN GELOMBANG ANGIN DAN PENENTUAN GELOMBANG RENCANA

2.1. PEMBANGKITAN GELOMBANG

Angin yang berhembus di atas permukaan air yang semula tenang akan menyebabkan gangguan pada permukaan tersebut, selanjutnya timbul riak-riak gelombang kecil di atas permukaan air. Apabila kecepatan angin bertambah, riak gelombang tersebut menjadi bertambah besar dan apabila angin berhembus terus akhirnya akan terbentuk gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, maka semakin besarlah gelombang yang terbentuk hingga akhirnya membentuk puncak gelombang yang curam dan selanjutnya akan terjadi fenomena gelombang pecah (*breaking wave*). Proses pembangkitan gelombang angin ini tidak sepenuhnya dipahami tapi beberapa mekanisme dasar pembangkitan gelombang termasuk dalam proses ini. Tinjauan pembangkitan gelombang angin secara deskripsi dan analitis telah disajikan oleh Lebond dan Mysak (1978) dan pada pembahasan yang mendalam, pekerjaan analitis ini didasarkan pada subyek yang diberikan oleh Kinsman (1965). Disini, mereka menyajikan deskripsi secara singkat mekanisme dasar pembangkitan gelombang angin.

Sebagai titik awal menganggap suatu bidang angin secara penuh menghasilkan pergolakan lapis batas angin yang bertiup diatas permukaan air yang rata. Tegangan angin pada batas udara-air laut akan menghasilkan lapisan gesek (*shear layer*) di atas permukaan air yang

menghasilkan arus permukaan yang dibangkitkan angin. Lapis batas pergolakan angin ini berupa fluktuasi acak tiga dimensi bertekanan (*eddies*) yang bervariasi ukuran, frekuensi dan lamanya bertiup. Pergolakan itu bergerak maju dengan aliran udara pada kecepatan yang bervariasi yang tergantung pada ukuran dan posisi tetap pada lapis batas (lebih besar *eddies* lebih cepat pergerakannya). Fluktuasi bertekanan itu mendesak gaya normal pada permukaan air, yang menyebabkan permukaan air bergolak. Tapi pada pergolakan ini tidak cukup untuk mengembangkan dan mempertahankan gelombang-gelombang permukaan ini. Pedomannya pada mekanisme Philip yaitu interaksi getaran yang terjadi antara pergerakan maju fluktuasi bertekanan dan gelombang-gelombang bebas yang timbul yang merambat dengan kecepatan sama. Mekanisme resonansi ini menyebabkan timbulnya gelombang-gelombang dengan cepat dan menerus. Philips (1957) mengasumsikan gelombang-gelombang irrotational mempunyai kondisi batas permukaan yang linier (amplitude kecil). Karena itu efek-efek nonlinier menjadi penting, analisisnya tidak cukup untuk menghitung pertumbuhan gelombang yang diamati. Dan juga secara fisik mekanisme perpindahan momentum diperlukan untuk menjelaskan pertumbuhan gelombang selanjutnya ketika amplitudo gelombang menjadi cukup besar yang secara signifikan mempengaruhi bentuk aliran udara di atas permukaan gelombang. Mekanisme pembangkitan gelombang aliran gesek (*shear flow*) diusulkan oleh Miles (1957) yang menghendaki diskripsi penuh mekanisme pemindahan momentum.

Miles (1957) mengembangkan persamaan-persamaan untuk mendefinisikan pola aliran geser dan pertumbuhan gelombang yang menghasilkan komponen berbeda dari spektrum gelombang. Dia menggabungkan mekanisme resonansi dan shear flow untuk mengembangkan teori pembangkitan gelombang yang lebih umum. Perhitungan numerik terakhir (lihat Lebolond dan Mysak, 1978) telah memperjelas pemahaman tentang pola shear flow dan mekanisme transfer energi yang dihasilkan.

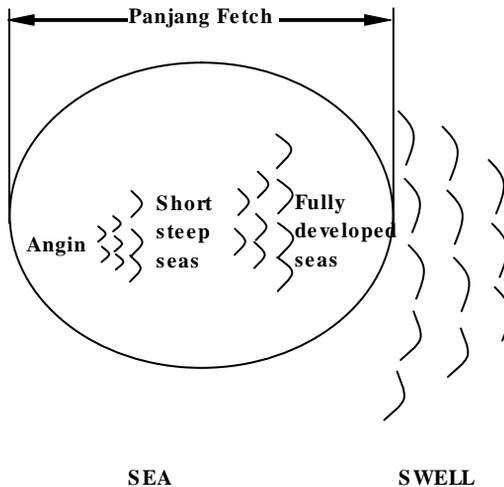
Faktor-faktor lain mekanisme resonansi dan *shear flow* yang keduanya berfungsi langsung sebagai gaya-gaya bertekanan juga dimasukkan. Gaya geser yang dihasilkan angin pada permukaan air ini memberikan sumbangan pada pertumbuhan gelombang dan modifikasi profil, tapi kontribusi ini kurang dari tekanan yang digunakan. Pemisahan aliran angin dari profil permukaan gelombang (berlawanan arah puncak gelombang) hanya terjadi ketika gelombang pecah. Tapi tahanan bentuk hasil pemisahan aliran ini disebabkan oleh perbedaan tekanan pada bentuk gelombang yang seharusnya memberikan kontribusi lanjut pada inputan angin untuk spektrum gelombang. Dan interaksi gelombang dari gelombang nonlinier ini akan menyebabkan pemindahan energi dari gelombang pendek ke gelombang yang lebih panjang dibawah kondisi tertentu. Mekanisme ini akan membantu kontinuitas dari pertumbuhan spektrum gelombang angin.

Sementara itu oleh Silvester (1974) menyatakan bahwa dalam pembangkitan gelombang terdapat empat tahap mekanisme pembangkitannya, yaitu *resonansi* (dihasilkan oleh pergolakan udara pada permukaan air), *shear flow* (timbul dari profil kecepatan angin rata-rata), *sheltering effect* (gelombang yang mempengaruhi aliran udara di permukaan) dan *breaking* (setelah gelombang mencapai kecuraman maksimum).

2.1.1. KARAKTERISTIK GELOMBANG ANGIN

Karena gelombang angin merupakan gelombang yang selalu berada di laut ataupun danau, sehingga merupakan gelombang yang sangat penting, terutama terhadap hal-hal yang berkaitan dengan proses morfologi pantai ataupun perencanaan bangunan pantai.

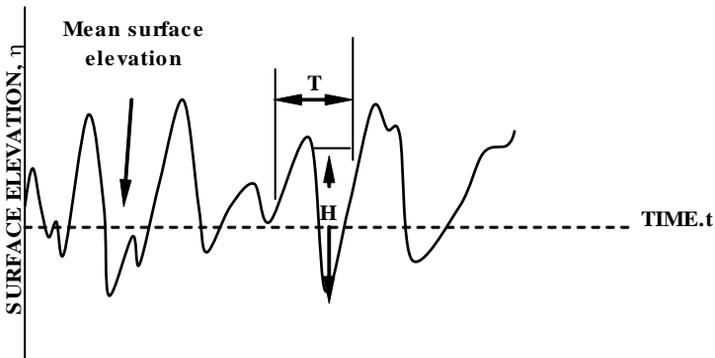
Untuk maksud-maksud rekayasa teknik pantai tersebut, gelombang angin dapat dibagi kedalam dua kelompok, yaitu gelombang badai (*storm waves/sea*) dan *swell*. Pembangkitannya masih dibangkitkan atau dipertahankan oleh angin, oleh karena itu keduanya dibatasi oleh *fetch* dan daerah badai (*storm zone*). Masing-masing jenis gelombang ini memiliki karakteristik yang berbeda. Angin yang berhembus di atas permukaan air akan memindahkan energinya ke air dan akan menimbulkan gelombang. Daerah dimana gelombang dibentuk disebut daerah pembangkitan gelombang (*wave generating area*). Gelombang yang terjadi di daerah pembangkitan gelombang ini kejadiannya bersamaan dengan hembusan angin, gelombang ini mempunyai bentuk seperti gunung dengan puncak tajam, dengan panjang gelombang antara 10-20 kali tinggi gelombang, gelombang ini disebut sebagai gelombang sea. Sedangkan gelombang yang menjalar keluar daerah pembangkitan merupakan gelombang bebas yang bentuknya lebih beraturan dengan panjang gelombang antara 30-500 kali tinggi gelombang, gelombang ini disebut sebagai gelombang *swell*. Gambaran mengenai gelombang *sea* dan *swell* ini dapat dilihat pada Gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1. Pembentukan gelombang angin di daerah pembangkitan

2.1.2. PENCATATAN GELOMBANG ANGIN

Pencatatan gelombang biasanya dilakukan pada daerah dimana gelombang dibangkitkan. Gambar 2.2 adalah suatu pencatatan gelombang sebagai fungsi waktu di suatu tempat. Gambar tersebut menunjukkan bahwa gelombang mempunyai bentuk yang tidak teratur, dengan tinggi dan periode tidak konstan.

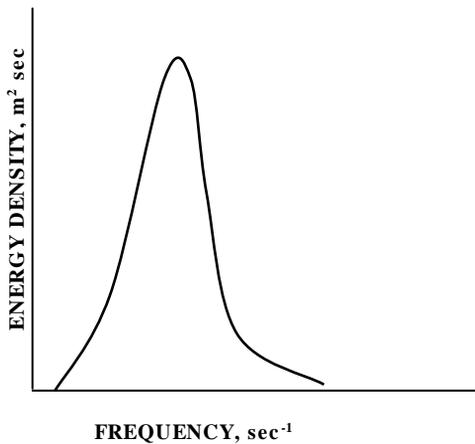


Gambar 2.2. Pencatatan gelombang di suatu tempat

Evaluasi terhadap gambar tersebut menimbulkan pertanyaan bagaimanakah untuk menganalisa record gelombang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 tersebut. Jawabannya tergantung pada jenis informasi apa yang kita inginkan dari record tersebut. Mungkin kita hanya ingin mendapatkan tinggi gelombang dan periodenya atau menginginkan lebih rinci tentang distribusi energi gelombang diatas frekuensi dalam pencatatan itu.

Ada dua pendekatan dasar untuk menganalisa pencatatan permukaan gelombang tersebut. Yang pertama untuk menunjukkan periode dan tinggi gelombang pada record gelombang dan kemudian

melakukan analisa statistik dari periode dan tinggi gelombang tersebut. Untuk tujuan perencanaan penekanan utamanya biasanya pada distribusi tinggi gelombang dalam record tersebut untuk mendapatkan tinggi gelombang ekstrim yang terjadi. Yang paling sering digunakan untuk mewakili tinggi gelombang dari distribusi gelombang biasanya disebut sebagai tinggi gelombang signifikan (H_s). Sverdrup dan Munk (1947) adalah orang yang pertama kali memperkenalkan parameter statistik peramalan gelombang. Gelombang signifikan didefinisikan sebagai tinggi rata-rata dari sepertiga gelombang yang tertinggi dalam pencatatan itu. Sedangkan periode rata-rata dari sepertiga periode tertinggi dinyatakan sebagai periode signifikan (T_s).



Gambar 2.3 Tipikal spektrum gelombang angin

Pendekatan dasar yang kedua untuk analisa pencatatan gelombang adalah menggunakan analisa Fourier dari hasil pencatatan itu untuk dibuat menjadi spektrum gelombang. Profile permukaan pencatatan diasumsikan terdiri dari komponen-komponen sinusoidal amplitudo kecil yang bervariasi frekuensi dan fasenya. Gambar 2.3. merupakan tipikal hasil spektrum gelombang yang disajikan sebagai

plot densitas energi sebagai fungsi dari frekuensi gelombang. Ini merupakan spektrum satu dimensi, didasarkan pada titik pengukuran dari time history permukaan air. Jika pengukuran dibuat lebih dari satu titik pada area yang terbatas, maka arah gelombang dapat dimasukkan pada spektrum tersebut. Hasilnya berupa spektrum dua dimensi atau spektrum berarah (*directional spectrum*).

2.1.3. GAMBARAN SKEMATIS TUMBUH DAN HILANGNYA GELOMBANG

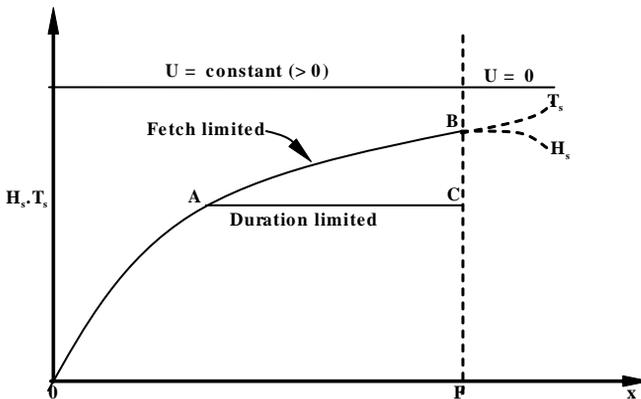
Karakteristik gelombang umumnya tergantung pada kecepatan gelombang U , panjang fetch F dan durasi angin, t . Kondisi lingkungan merupakan faktor lainnya yang sangat penting, meliputi lebar fetch yang diukur tegak lurus arah angin, kedalaman perairan dan kondisi dasar laut jika bagian spektrum gelombang itu ada pada perairan in-termediate ataupun perairan dangkal, perbedaan temperatur udara-air, dan perbedaan tempat dan waktu pada bidang angin selama pembangkitan gelombang.

Gelombang yang dibangkitkan dengan arah penjalaran yang bervariasi kira-kira 90o kesamping kanan dan kiri dari arah angin dominan. Periode gelombang rata-rata paling lama penjalaran gelombang terjadi pada arah angin ini dan berkurang dengan bertambahnya penyimpangan terhadap arah angin. Semakin besar lebar fetch, semakin kecil prosentase energi gelombang yang hilang, jika kecepatan angin bertiup lama dengan jarak fetch yang panjang maka tinggi gelombang rata-ratanya juga semakin besar.

Rasio temperatur udara-air mempengaruhi stabilitas atmosfer sebagai akibat dari profil kecepatan udara dalam *boundary layer*. Hal ini selanjutnya memberikan pengaruh pada mekanisme pembangkit-an gelombang.

Gambar 2.4. merupakan gambaran skematis pertumbuhan gelombang dalam arah angin (x) untuk kecepatan angin tetap dan mempunyai durasi. Karakteristik gelombang didefinisikan oleh tinggi dan periode gelombang signifikan. Jika durasi angin melampaui waktu yang diperlukan oleh gelombang yang dibangkitkan untuk menjalar memasuki panjang fetch, gelombang akan tumbuh sebagai OAB sepanjang fetch dan karakteristiknya pada ujung fetch hanya akan tergantung pada panjang fetch dan kecepatan angin. Untuk durasi angin yang melampaui waktu penjalaran gelombang di atas fetch memerlukan $t_d > F/C_g$ (catatan bahwa C_g akan bertambah sepanjang fetch seperti pertumbuhan periode gelombang dan akan berbeda untuk komponen-komponen yang berbeda dari spektrum), hal ini merupakan kondisi *fetch limited*.

Jika durasi angin kurang dari F/C_g pertumbuhan gelombang terhenti, singkatnya kondisi pada titik B. Pada ujung dari durasi angin kondisi gelombang sepanjang fetch akan didefinisikan sebagai OAC. Singkatnya kondisi titik A dikendalikan oleh durasi angin, kondisi semacam ini disebut sebagai kondisi *duration limited*.



Gambar 2.4. Gambaran Skematis tumbuh dan hilangnya gelombang

Jika keduanya fetch dan durasi cukup besar, maka kurva OAB secara esensial menjadi horisontal pada sudut arah angin dan *fully developed sea* telah dibangkitkan pada kecepatan angin tertentu. Ini memerlukan fetch dan durasi yang besar yang tidak sering ditemui di laut, kecuali dari *storm fetch* yang melintasi batas daratan.

Pada daerah yang jauh dari ujung fetch (kadang-kadang disebut *decay region*), dimana gelombang yang menjalar sebagai *swell*, tinggi signifikan akan berkurang dan periode signifikan akan bertambah. Penjalaran lateral gelombang pada *decay region* akan mengurangi tinggi gelombangnya dan karena pengaruh ini lebih besar pada periode gelombang yang lebih pendek, maka periode gelombang signifikannya akan bertambah.

2.2. STATISTIKA GELOMBANG

Dalam pengukuran gelombang seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.2, absis adalah waktu dari dimulainya pencatatan. Ada dua metode untuk menentukan gelombang yaitu *zero upcrossing method* dan *zero downcrossing method*. Untuk menjelaskan metode ini, pertama kali ditetapkan elevasi rerata dari permukaan air berdasarkan fluktuasi muka air pada waktu pencatatan. Muka air tersebut didefinisikan sebagai garis nol. Kemudian kurva gelombang ditelusuri dari awal sampai akhir. Pada metode *zero upcrossing*, diberi tanda titik perpotongan antara kurva naik dan garis nol, dan titik tersebut ditetapkan sebagai awal dari satu gelombang. Mengikuti naik turunnya kurva, penelusuran dilanjutkan untuk mendapatkan perpotongan antara kurva naik dan garis nol berikutnya. titik tersebut ditetapkan sebagai akhir dari gelombang pertama dan awal dari gelombang kedua. Jarak antara kedua titik tersebut adalah periode gelombang pertama (T_1), sedangkan jarak vertikal antara titik tertinggi dan terendah di antara kedua titik tersebut adalah tinggi gelombang pertama (H_1). Penelusuran dilanjutkan lagi untuk mendapatkan gelombang kedua, ketiga dan seterusnya. Metode *zero downcrossing* mempunyai prosedur yang sama, tetapi titik yang dicatat adalah pertemuan antara kurva turun dan garis nol.

2.2.1. DISTRIBUSI TINGGI GELOMBANG

Pada rekayasa kelautan sangat memerlukan pengetahuan yang memadai tentang tinggi gelombang yang memungkinkan untuk suatu perencanaan. Sebagai contoh, dalam perencanaan struktur, rekayasawan mungkin dihadapkan dengan perencanaan untuk tinggi gelombang maximum yang diharapkan, gelombang-gelombang paling tinggi yang memungkinkan, atau tinggi gelombang ekuivalen yang lainnya. Secara historis, beberapa gelombang telah menjadi populer sebagai karakteristik kondisi laut. Ada $H_{1/3}$ (tinggi gelombang signifikan) dan tinggi gelombang maksimum (H_{max}). Untuk menggambarkan apa maksud dari definisi-definisi tersebut, perhatikan sekelompok tinggi gelombang, N yang diukur pada suatu titik. Pengurutan gelombang-gelombang dari tinggi yang paling besar ke yang paling kecil dan memberikannya angka dari 1 sampai dengan N , dua pengukuran statistik harus diperoleh. Pertama, $H_{1/3}$ yang didefinisikan sebagai rata-rata dari sepertiga tinggi gelombang yang tertinggi ($N/3$). Berkesesuaian dengan H_p yang didefinisikan sebagai rata-rata dari p gelombang yang tertinggi (pN), dengan $p \leq 1$, H_1 disebut sebagai tinggi gelombang rata-rata. Kedua, probabilitas tinggi gelombang yang lebih besar atau sama dengan suatu tinggi gelombang yang berubah-ubah adalah:

$$P(H > \hat{H}) = \frac{n}{N} \dots\dots\dots (2.1)$$

dimana n adalah jumlah gelombang yang lebih besar dari. Kita bisa menuliskan kembali persamaan 2.1 menjadi,

$$P(H \leq \hat{H}) = 1 - n/N \dots\dots\dots (2.2)$$

Tinggi gelombang akar kuadrat rata-rata (*root-mean-square*) untuk group gelombang H_{rms} , didefinisikan sebagai,

$$H_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_i^2} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana selalu lebih besar dari H_1 pada kondisi laut sebenarnya.

2.2.2. PERAMBATAN GELOMBANG TUNGGAL

Permukaan laut dapat dijelaskan dengan gelombang sinusoidal tunggal, $\eta(t) = (H_o/2)\cos \sigma t$, gelombang-gelombang ini tingginya sama dan bahwa $H_p = H_a$ untuk beberapa p dan $H_{rms} = H_o$.

2.2.3. GELOMBANG BERKELOMPOK

Untuk membuat permukaan laut lebih realistis, penjalaran gelombang lainnya ditambah dengan frekuensi sedikit berbeda, agar gelombang berkelompok ini terbentuk seperti persamaan berikut

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{H_o}{2} \cos\left(\sigma - \frac{\Delta\sigma}{2}\right)t + \cos\left(\sigma + \frac{\Delta\sigma}{2}\right)t \\ &= H_o \cos \sigma t \cos \frac{\Delta\sigma}{2}t = \frac{H(t)}{2} \cos \sigma t \dots\dots\dots (2.4) \end{aligned}$$

dimana sajian sistem gelombang ini dihitung pada $x = 0$.

Sistem gelombang ini menghasilkan gelombang pada frekuensi angular, s dan tinggi gelombang yang dimodulasikan secara perlahan-lahan pada $2H_o \cos(\Delta\sigma/2)t$ (lihat persamaan 2.5). Meskipun untuk mendapatkan distribusi tinggi gelombang pada sistem gelombang ini, kita hanya perlu melihat *envelope* dari $t = 0$ sampai $\pi / \Delta\sigma$.

Untuk menentukan H_p , kita membuat rata-rata envelope tinggi gelombang dari $t = 0$ sampai dengan $p\pi/\Delta\sigma$, karena itu tinggi gelombang akan berkurang secara terus menerus dari maksimum ke minimum.

$$H_p = \frac{1}{p\pi/\Delta\sigma} \int_0^{p\pi/\Delta\sigma} 2H_o \cos\left(\frac{\Delta\sigma}{2}\right) dt \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

$$H_p = 4 \frac{H_o}{p\pi} \sin\left(\frac{p\pi}{2}\right) \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Tinggi gelombang rms dapat diturunkan dari persamaan berikut

$$H_{rms}^2 = \frac{1}{\pi/\Delta\sigma} \int 4H_o^2 \cos^2\left(\frac{\Delta\sigma}{2}\right) t dt \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

atau

$$H_{rms} = \sqrt{2}H_o \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Oleh karena itu kita dapat mengekspresikan tinggi gelombang H_p yang dibatasi H_{rms} , yang akan lebih dapat menerangkan tinggi gelombang untuk kondisi laut sebenarnya.

$$H_p = \frac{2\sqrt{2}H_{rms}}{p\pi} \sin\left(\frac{p\pi}{2}\right) \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

dan H_{max} harus sama dengan $2H_o$, yang kita peroleh dari persamaan 2.7, yaitu

$$H_{max} = \sqrt{2}H_{rms} \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

Dari persamaan 2.9 diatas dapat diturunkan besarnya $H_{1/10}$, $H_{1/3}$ dan H_1 sebagai berikut $H_{1/10} = 1,408 H_{rms}$; $H_{1/3} = 1,350 H_{rms}$ dan $H_1 = 0,9 H_{rms}$.

2.2.4. NARROW-BANDED SPECTRA DISTRIBUSI RAYLEIGH

Untuk sejumlah kasus yang lebih realistis, kita asumsikan bahwa permukaan gelombang tersusun dari sejumlah sinusoida-sinusoida yang mempunyai frekuensi-frekuensi yang berdekatan dengan nilai umumnya s , yang disebut sebagai *narrow-banded sea* (semua frekuensinya ada pada *band* yang sempit kira-kira sebesar s). Oleh karena itu frekuensi-frekuensi untuk komponen M ,

$$\eta(t) = \sum_{m=1}^M \frac{H_m}{2} \cos(\sigma_m t - \epsilon_m) \dots\dots\dots (2.11)$$

atau ekuivalen dengan notasi kompleks berikut,

$$\eta(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{m=1}^M \frac{H_m}{2} e^{i(\sigma_m t - \epsilon_m)} \right\} \dots\dots\dots (2.12)$$

Notasi $\text{Re} \{ . \}$ hanya untuk mengambil bagian riil, $\text{Re}(e^{i\sigma t}) = \cos \sigma t$. Unsur tersebut dikeluarkan dari frekuensi gelombang pembawa s ,

$$\eta(t) = \text{Re} \left\{ e^{i\sigma t} \sum_{m=1}^M \frac{H_m}{2} e^{i[(\sigma_m - \sigma)t - \epsilon_m]} \right\} \dots\dots\dots (2.13)$$

Untuk mendefinisikan distribusi gelombang, kita hanya perlu untuk menentukan statistik *envelope* yang berubah secara perlahan-lahan, $B(t)$,

$$B(t) = \sum_{m=1}^M \frac{H_m}{2} e^{i[(\sigma_m - \sigma)t - \epsilon_m]} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dari teori statistik, dapat ditunjukkan (Longuet-Higgins, 1952), bahwa jika komponen individu B independen secara statistik dan se-jumlah M data yang digunakan, maka probabilitas tinggi gelombang lebih besar atau sama dengan tinggi gelombang yang berubah-ubah (*arbitrary wave height*), \hat{H}_T yang diberikan oleh,

$$P(H \geq \hat{H}) = e^{-(\hat{H}/H_{rms})^2} \dots\dots\dots (2.15)$$

dimana persamaan 2.15 ini disebut sebagai *Distribusi Rayleigh*.

Probabilitas teoritis ini dapat dibandingkan dengan *rank-ordered group* dari N gelombang, persamaan 2.2, sehingga

$$P(H \geq \hat{H}) = \frac{n}{N} = e^{-(\hat{H}/H_{rms})^2} \dots\dots\dots (2.16)$$

Ekspresi ini memerlukan rata-rata untuk menentukan sejumlah gelombang dari total jumlah N yang mempunyai tinggi gelombang lebih besar atau sama dengan tinggi gelombang \hat{H} tertentu. Kemungkinan lain kita dapat menyelesaikan ekspresi ini untuk menentukan tinggi gelombang \hat{H} yang melebihi n gelombang pada kelompok N. Dengan menerapkan logaritma biasa kedua sisinya, kita peroleh:

$$\hat{H} = H_{rms} \sqrt{\ln \frac{N}{n}} \dots\dots\dots (2.17)$$

Oleh karena itu tinggi gelombang yang melebihi pN gelombang adalah

$$\hat{H} = H_{rms} \sqrt{\ln \frac{1}{p}} \dots\dots\dots (2.18)$$

2.2.5. PROBABILITAS RAYLEIGH FUNGSI DENSITAS

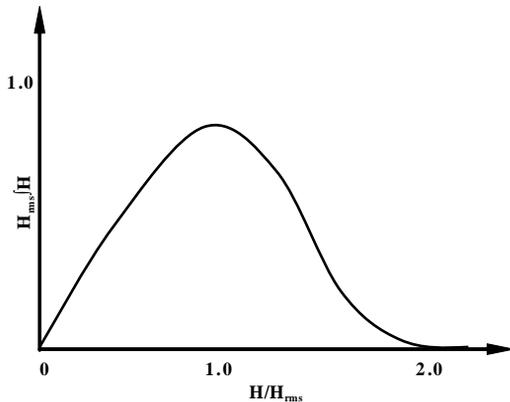
Probabilitas tinggi gelombang fungsi densitas f_H berikut diambil dari distribusi probabilitas Rayleigh $P(H < \hat{H})$:

$$f_H = \frac{d}{dH} [P(H \leq \hat{H})] = \frac{d}{d\hat{H}} [1 - e^{-(\hat{H}/H_{rms})^2}] = \frac{2H}{H_{rms}^2 e^{-(H/H_{rms})^2}} \dots (2.19)$$

Fungsi ini digambarkan dalam Gambar 2.5, pemaksimalan yang berkenaan dengan hasil probabilitas maksimum H pada $\hat{H}/H_{rms} = 1/\sqrt{2}$, atau gelombang yang paling sering adalah $H = 0,707 H_{rms}$.

Dari teori statistik kita dapat memperoleh hubungan yang penting dari pemakaian fungsi distribusi tinggi gelombang. Tinggi gelombang rata-rata didefinisikan oleh:

$$\begin{aligned} \bar{H} &= \frac{\int_0^{\infty} H f_H(H) dH}{\int_0^{\infty} f_H(H) dH} = \frac{2}{H_{rms}^{-1}} \int \frac{H^2 e^{-(H/H_{rms})^2}}{H_{rms}^2} d\left(\frac{H}{H_{rms}}\right) \\ &= \frac{\sqrt{\pi}}{2} H_{rms} = 0,866 H_{rms} \dots\dots\dots (2.20) \end{aligned}$$



Gambar 2.5. Probabilitas Rayleigh fungsi densitas

Untuk memperoleh tinggi gelombang rata-rata tertinggi dari gelombang pN, kita ingat kembali bahwa tinggi gelombang \hat{H} melebihi gelombang pN, yaitu:

$$\frac{H_p}{H_{rms}} = \sqrt{\ln \frac{1}{p}} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dari persamaan 2.21 dapat diturunkan besarnya $H_{1/10}$, $H_{1/3}$ dan H_1 sebagai berikut $H_{1/10} = 1,80 H_{rms}$; $H_{1/3} = 1,316 H_{rms}$ dan $H_1 = 0,886 H_{rms}$. Dari hasil ini jelas bahwa p menjadi lebih kecil dan ada perubahan yang signifikan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari model gelombang berkelompok sederhana (lihat persamaan 2.9).

Forristall (1978) telah menunjukkan bahwa pada kondisi laut yang luas, tinggi gelombang hasil distribusi Rayleigh ini cenderung overprediksi. Kelihatannya hal ini disebabkan oleh fenomena pecah "trimming" dari gelombang yang lebih tinggi.

2.3. METODE-METODE PREDIKSI GELOMBANG ANGIN

Metode yang digunakan untuk memprediksi gelombang sangat banyak sekali, biasanya formulasi yang digunakannya dikembangkan berdasarkan dari data hasil pengamatan langsung tinggi gelombang terhadap kecepatan angin, *fetch* dan lama bertiupnya angin (durasi). Fetch disini merupakan daerah diatas laut dimana angin bertiup dan membangkitkan gelombang, panjang fetch ini membatasi waktu yang diperlukan gelombang untuk berada di bawah pengaruh angin. Jadi apabila fetchnya pendek maka energi yang ditransfer angin ke air belum cukup besar, sehingga gelombang yang terjadi belum cukup tinggi. Dan gelombang dengan periode lama akan terjadi jika fetchnya cukup panjang. Formulasi empiris sederhana prediksi gelombang pertama kali dikembangkan oleh Steven (1886) dan Molitor (1934).

Selama perang dunia kedua Sverdrup dan Munk (1947), memper-gunakan konsep pertumbuhan energi gelombang yang dikembangkan sebagai teori prediksi gelombang yang secara pendekatan telah diuji dengan sejumlah data yang ada pada waktu itu. Beberapa waktu kemudian Bretschneider (1952, 1958) meninjau kembali hal tersebut, yang didasarkan pada rangkaian data angin dan gelombang tam-bahan, sehingga metode prediksi gelombang tersebut sekarang dise-but sebagai metode peramalan gelombang *Sverdrup-Munk-Bretschneider* (SMB), 1958.

Hasselman, dkk (1973), yaitu pada tahun 1968-1969 melakukan pengukuran gelombang angin di Laut Utara yang sering dikenal sebagai *Joint North Sea Wave Program* (Jonswap), hasilnya berupa spektrum gelombang dan selanjutnya dikenal sebagai spektrum Jonswap. Sementara itu *Shore Protection Manual* (lihat U.S. Army Coastal Research Center, 1977) menyajikan persamaan empiris dan memplotkannya dalam bentuk grafik dari apa yang telah dilakukan oleh *Sverdrup-Munk-Bretschneider*, (1958). Sedangkan Donelan (1980) mengembangkan formulasi prediksi gelombang yang diberikan oleh Jonswap dengan memasukkan sudut q (sudut antara arah angin dan gelombang). *Shore Protection Manual* (US. Army CERC, 1984) merekomendasikan bahwa prediksi gelombang perairan dalam, 1976 lebih baik daripada metode SMB yang direkomendasikannya pada SPM, 1977 sebelumnya.

2.3.1. METODE SMB

Hasil peramalan gelombang Sverdrup dan Munk, 1947 sebelumnya telah dilakukan perbaikan oleh Johnson dan Bretschneider, 1950, dan selanjutnya nama Bretschneider dicantumkan untuk hubungan tersebut (Bretschneider, 1957), selanjutnya hal ini dikenal sebagai metode peramalan gelombang *Sverdrup-Munk-Bretschneider* (SMB). Oleh mereka celerity gelombang di laut dalam diberikan dengan formulasi berikut:

$$C = \frac{gT}{2\pi} \dots\dots\dots (2.22)$$

dimana dimensi-dimensi tersebut secara konsisten dipakai, terlihat bahwa percepatan gravitasi merupakan suatu keutamaan yang esen-sial dari propagasi gelombang. Oleh karena itu seharusnya dipertim-bangkan dengan variabel lain yang berpengaruh terhadap kecepatan gelombang (C) dan tinggi gelombang (H) dengan kecepatan angin (U), panjang fetch (F) dan durasi angin (t). Selanjutnya diberikan suatu fungsi seperti persamaan berikut:

$$C = f (U, F, t, g) \dots\dots\dots (2.23)$$

$$H = f (U, F, t, g) \dots\dots\dots (2.24)$$

Analisa dimensional dilakukan dari hasil-hasil dari fungsi diatas dalam bentuk

$$\frac{C}{U} = f' \left(\frac{gF}{U^2}, \frac{gt}{U} \right) \dots\dots\dots (2.25)$$

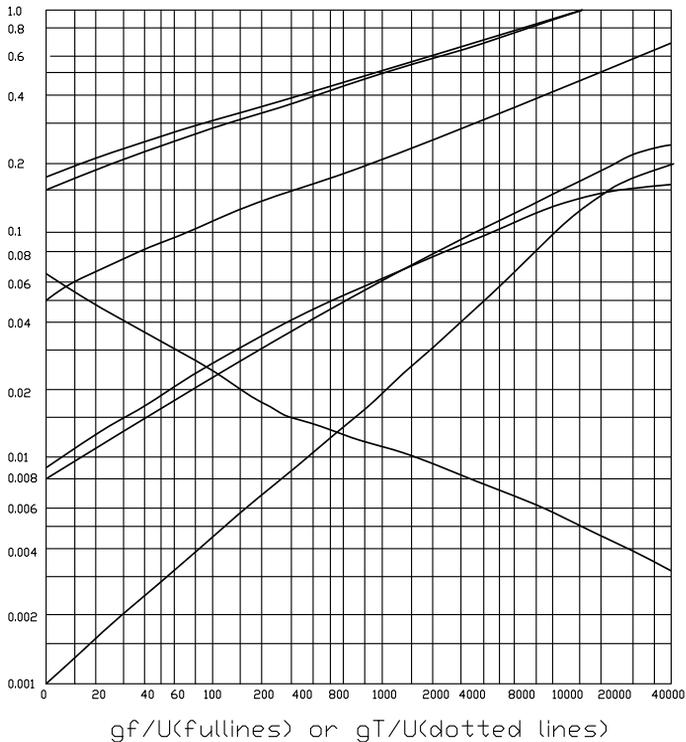
dan

$$\frac{gH}{U^2} = f'' \left(\frac{gF}{U^2}, \frac{gt}{F} \right) \dots\dots\dots (2.26)$$

Suatu pembangkit gelombang yang dibahas di sini memper-timbangkan pengambilan tempatnya di laut dalam, rasio C/U (sering disebut sebagai "wave age") bisa diganti dengan $gT / 2\pi U$.

Banyak data yang telah diplotkan dalam sebuah grafik, seperti berbagai fetch dan durasi yang digunakan untuk menentukan kons-tanta-konstanta secara proporsional. Grafik dengan dua variabel yang terpisah disajikan pada 2 kurva, satu untuk tinggi gelombang dan yang lain untuk periode gelombang. Karena parameter-parameter yang

sama digunakan, yaitu fetch dan durasi maka grafik ini umum-nya menyajikan parameter-parameter tersebut (lihat Gambar 2.6), dimana dua kurva ini dapat menyediakan tinggi gelombang dan periode gelombang. Dengan jelas terlihat bahwa pertumbuhan tinggi gelombang signifikan dapat dikendalikan oleh salah satu dari panjang fetch ataupun durasi angin. Demikian ketika dua harga dari $(gH_{1/3}/U^2)$ yang merupakan hasil yang diberikan oleh fetch (gF/U^2) dan yang diberikan oleh durasi angin (gt/U) lebih kecil dari dua harga yang dipilih, maka tidak satupun dari fetch maupun durasi angin yang mengendalikan tinggi gelombang ini. Untuk $H_{1/3}$ dan U tertentu (sebagai contoh, $gH_{1/3}/U^2 = \text{konstan}$) akan ada harga yang ditetapkan untuk menghasilkan gF/U^2 (fetch) dan gt/U (durasi). Hal tersebut dipertimbangkan sebagai persyaratan minimal.

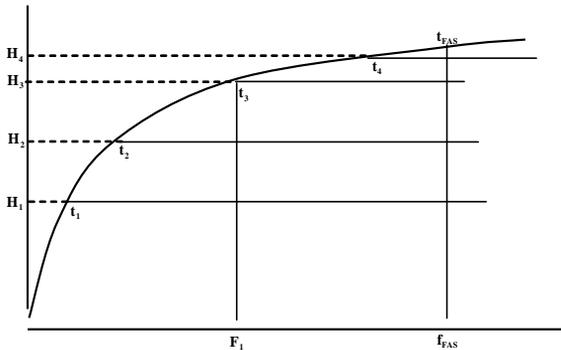


Gambar 2.6. Kurva prediksi gelombang SMB

Oleh karena itu, untuk menghitung harga $H_{1/3}$ pada F dan t dipilih harga yang terkecil dalam Gambar 2.6 diatas. Sebagai alternatifnya menggunakan kurva tU/F (ditunjukkan oleh garis putus-putus) untuk menentukan durasi minimum t_{min} , jika hal ini tidak diperoleh maka sebaliknya menggunakan kurva fetch. Hubungan $t_{min} U/F$ diturunkan dari harga gt/U yang diperolehnya dengan menghendaki bahwa tinggi gelombang sama dengan $(g/H_{1/3}/U^2)$ sebesar fetch tertentu (gF/U^2) dan rasio yang diperoleh adalah

$$\frac{gt/U}{gF/U^2} = \frac{t_{min}U}{F} \dots\dots\dots (2.27)$$

Seperti yang digambarkan dalam Gambar 2.7, akan ada suatu panjang fetch dan durasi yang sama-sama minimum ketika suatu kecepatan angin yang diberikan tidak dapat membangkitkan gelombang yang lebih tinggi, hal ini merupakan kondisi FAS (*fully arisen sea*). Atau dengan kata lain FAS bisa dinyatakan sebagai kondisi ketika panjang fetch dan durasi angin cukup lama memberikan kecepatan angin yang memungkinkan untuk memberikan tinggi gelombang yang paling besar. Gelombang ini dalam keadaan tetap (*steady state*), memerlukan panjang fetch minimum dan durasi yang dapat bersesuaian dengan kecepatan angin pada tinggi tertentu di atas permukaan laut.



Gambar 2.7. Pertumbuhan gelombang signifikan dengan jarak sepanjang fetch pada kecepatan angin tertentu

Gambar 2.7 disajikan dalam t_{FAS} dan F_{FAS} (menunjukkan untuk kondisi *fully arisen sea*), tinggi gelombang yang melebihi F_{FAS} akan sama dengan H_{FAS} . Pada taraf ini tak ada satupun dari fetch ataupun durasi yang diperlukan dalam perkiraan $H_{1/3}$ dan hanya kecepatan angin U saja yang berpengaruh. Seperti yang ditunjukkan oleh kurva pada Gambar 2.6, dimana kurva $gH_{1/3}/U^2$ cenderung horisontal pada harga-harga yang tinggi dari gF/U^2 dan gt/U . Sebenarnya asytmot kedua kurva memberikan $gH_{1/3}/U^2 = 0,263$, sedangkan untuk $g T_{1/3}/U = 0,73$, atau

$$H_{1/3} = 0,0268 U^2 \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

$$T_{1/3} = 0,468 U \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

Untuk perairan dalam dan belum ada pengaruh transformasi gelombang, SMB, (1958) memberikan formulasi peramalan gelombang signifikan sebagai berikut

$$\frac{gH}{U^2} = 0,283 \tanh \left[0,0125 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0,42} \right] \quad \dots\dots\dots (2.30)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = 1,2 \tanh \left[0,077 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{0,25} \right] \quad \dots\dots\dots (2.31)$$

$$\frac{gt}{U} = k \exp \left[\left(A \left(\ln \left(\frac{gF}{U^2} \right) \right)^2 + B \ln \left(\frac{gF}{U^2} \right) + C \right)^{0,5} + D \ln \left(\frac{gF}{U^2} \right) \right] \quad (2.32)$$

dimana faktor k , A , B , C dan D merupakan faktor-faktor yang diberikan oleh Bretschneider yang nilainya secara berturut-turut adalah sebagai berikut $k = 6,5882$, $A = 0,0161$, $B = 0,3692$, $C = 2,2024$ dan $D = 0,8798$.

2.3.2. METODE JONSWAP

Hasselman, dkk (1973) pada tahun 1968-1969 melakukan pengukuran gelombang angin di Laut Utara dengan laboratorium-laboratorium pendukung dari empat negara, program tersebut disebut sebagai Jonswap (*Joint North Sea Wave Program*). Hasil eksperimen tersebut digunakan untuk mengembangkan prediksi gelombang pada laut dalam dan dengan fetch yang membatasi spektrum gelombang. Spektrum yang disusun berdasarkan pada spektrum *Pierson-Moskowitz* (S_{PM}), (1964), dengan variabel fetch yang tergantung pada koefisien q dan faktor h yang secara signifikan mempertinggi puncak spektral. Dari dasar formulasi S_{PM} , 1964 ini, selanjutnya dapat diturunkan formulasi spektrum Jonswap sebagai berikut:

$$E(f) = \frac{ag^2}{(2\pi)^4 f^5} e^{a\gamma^b} \dots\dots\dots (2.33)$$

dimana

$$a = -1,25 \left(\frac{f_m}{f} \right)^4 \dots\dots\dots (2.34)$$

$$b = \exp - \left[\frac{(f - f_m)}{2\sigma^2 f_m^2} \right] \dots\dots\dots (2.35)$$

Dalam persamaan 2.32 sampai dengan 2.35, selanjutnya

$$\sigma \left\{ \begin{array}{l} \sigma_a = 0,07 \text{ unt } f < f_m \\ \sigma_b = 0,09 \text{ unt } f \geq f_m \end{array} \right\} \dots\dots\dots (2.36)$$

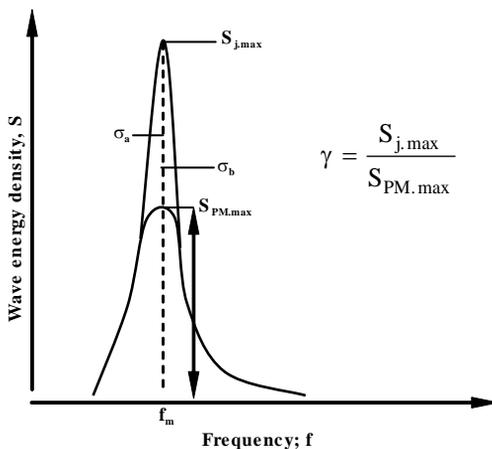
Dan h dikenal sebagai faktor bentuk puncak spektral yang merupakan rasio perbandingan dari puncak spektral dengan puncak S_{PM} , rasio ini mempunyai harga 1,6-6 dengan sebuah harga rata-rata yang direkomendasikan sebesar 3,3. a merupakan lebar sisi kiri puncak spektral, b menunjukkan lebar sisi kanan puncak spektral sedangkan f_m merupakan frekuensi puncak spektral.

Gambar 2.8 menunjukkan definisi-definisi dari spektrum Jonswap, spektrum ini sangat umum digunakan untuk perencanaan praktis dan untuk penelitian laboratorium yang menggunakan *ir-regular wave*.

Variabel-variabel dalam spektral tersebut dapat dimasukkan ke dalam bentuk hubungan dimensi sebagai fungsi dari penambahan fetch pada kecepatan angin yang diberikan:

$$f_{\max} U_{10}/g = 3,5 (g F/U_{10}^2)^{-0,33} \dots\dots\dots (2.37)$$

$S_{j.\max}$



Gambar 2.8. Definisi sketsa spektrum Jonswap

$$g H_{1/3}/U_{10}^2 = 0,0016 (g F/U_{10}^2)^{0,5} \dots\dots\dots (2.38)$$

dan

$$a = 0,016 \left(\frac{gF}{U_A} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (2.39)$$

Dalam persamaan-persamaan berikut, U_A merupakan faktor tegangan angin (*wind stress factor*) yang biasa disebut sebagai kecepatan yang disesuaikan (*adjusted speed*)

$$\frac{gH_{mo}}{U_A^2} = 0,0016 \left(\frac{gF}{U_A} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (2.40)$$

$$\frac{gT_p}{U_A} = 0,286 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3} \dots\dots\dots (2.41)$$

$$\frac{gt}{U_A} = 68,8 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{2/3} \dots\dots\dots 2.42)$$

dimana

$$U_A = 0,71 U_{10}^{1,23} \dots\dots\dots (2.43)$$

dimana U_A dan U_{10} (kecepatan angin yang diukur pada ketinggian di atas 10 meter dari permukaan) diberikan dalam m/dt. H_{mo} merupakan tinggi gelombang signifikan yang didasarkan pada energi spektral sedangkan T_p merupakan periode gelombang puncak pada spektrum. Metode Jonswap ini juga memberikan hubungan $T_s = 0,95 T_p$ untuk konversi ke dalam periode signifikan.

Dalam pemakaian prosedur ini kita dapat menggunakan persamaan 2.40 dan 2.41 untuk menghitung H_{mo} dan T_p secara berturut-turut. Persamaan-persamaan ini hanya memberlakukan kecepatan angin dan fetch, dan harga-harga yang sesuai untuk kondisi batas fetch. Kemudian untuk batas durasi, seharusnya dihitung dari persamaan 2.42. Jika durasi aktual kurang dari durasi batas, maka pembangkitan gelombang akan dibatasi durasi dan harga baru H_{mo} dan T_p dihitung dengan menggunakan persamaan 2.40 dan 2.41. Sedangkan untuk kondisi *fully developed sea* propertis gelombang signifikan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.44 sampai dengan 2.46, berikut:

$$\frac{gH_{ma}}{U_A^2} = 0,243 \dots\dots\dots (2.44)$$

$$\frac{gt}{U_A} = 7,1 \times 10^4 \dots\dots\dots (2.45)$$

$$\frac{gT_p}{U_A} = 8,13 \dots\dots\dots (2.46)$$

2.3.3. METODE DONELAN

Berdasarkan pada data yang dikumpulkan pada Great Lakes, Donelan (1980) mengembangkan formulasi gelombang yang mempunyai bentuk umum sama dengan formulasi yang diberikan oleh Jonswap, (1973), dengan memasukkan sudut q yang merupakan sudut arah angin dengan arah gelombang rata-rata, yaitu:

$$H_s = 0,00366 g^{-0,62} F^{0,38} (U \cos q)^{1,24} \dots\dots\dots (2.47)$$

$$T_p = 0,54 g^{-0,77} F^{0,23} (U \cos q)^{0,54} \dots\dots\dots (2.48)$$

$$t = 30,1 g^{-0,23} F^{0,77} (U \cos q)^{-0,54} \dots\dots\dots (2.49)$$

Persamaan-persamaan tersebut diatas menekankan pada kenyataan bahwa untuk badan air tidak beraturan, suatu fetch yang lebih panjang yang terletak pada suatu sudut arah angin bisa menghasilkan gelombang yang lebih besar dari pada fetch yang lebih pendek. Maka dari itu, energi gelombang dominan yang dibangkitkan (sebagai perwujudan dari frekuensi-frekuensi dekat puncak spektral) akan menjalar pada sudut-sudut tak berangin. Pada prediksi gelombang Donelan ini adalah memaksimumkan hasil $(\cos q)^{0,54} F^{0,23}$ untuk menetapkan arah angin atau arah gelombang dominan. Smith (1991) telah mengembangkan model numerik yang didasarkan pada formulasi persamaan Donelan yang telah direvisi, untuk memprediksi gelombang perairan dalam yang dibatasi oleh fetch-fetch.

2.3.4. METODE SHORE PROTECTION MANUAL (SPM, 1984)

Coastal Engineering Research Center (CERC), US Army telah melakukan studi pada proses-proses pantai, metode-metode perlindungan pantai, gelombang, perencanaan pelabuhan dan sebagainya. Salah satu hasil studi yang dipublikasikannya adalah *Shore Protection Manual (SPM)* yang berupa pedoman yang dipakai dalam rekayasa teknik pantai (*Coastal Engineering*). Untuk memprediksi gelombang SPM (1973, 1975, 1977) memberikan nomographs dari aplikasi formulasi *Sverdrup-Munk-Bretschneider*, (1970). Kecepatan angin yang digunakan dalam prediksi gelombang ini adalah berupa kecepatan angin permukaan rata-rata. Perbedaan temperatur udara-air pada kecepatan angin belum dibahas. Perhitungan fetch efektif didasarkan pada pekerjaan Saville (1954) yang merekomendasikan untuk batasan fetch yang didasarkan pada 2 asumsi pokok, sebagai berikut i). Gelombang dibangkitkan pada jarak 45° terhadap sisi lain arah angin sebagai transfer energi dari angin ke gelombang yang proporsional terhadap cosinus dari sudut antara angin dan gelombang, ii). Pertumbuhan gelombang proporsional terhadap panjang fetch, 15 radial dibentangkan dengan interval 6° pada sudut 45° kesamping kiri dan kanan dari arah mata angin.

Dalam perkembangan selanjutnya panjang fetch efektif diberikan dengan menarik garis-garis fetch setiap interval sudut 5° yang mempunyai daerah pengaruh selebar $22,5^\circ$ ke sebelah kiri dan kanan dari arah angin, SPM (1973,1975,1977,1984). Formulasi perhitungan fetch efektif ini diberikan pada persamaan 2.50, berikut:

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum F_i \cos^2 \theta_i}{\sum \cos \theta_i} \dots\dots\dots (2.50)$$

dimana

F_{eff} = panjang fetch efektif (m)

F_i = panjang jalur fetch yang ditinjau (m)

q = sudut antara jalur fetch yang ditinjau F_i dengan arah angin.

Untuk keperluan peramalan gelombang biasanya dipergunakan kecepatan angin pada ketinggian 10 m. Apabila kecepatan tidak di-ukur pada ketinggian tersebut maka kecepatan angin perlu dikoreksi terhadap ketinggian dengan formulasi pada persamaan 2.51, berikut:

$$U_{10} = U_z \left[\frac{10}{z} \right]^{1/7} \dots\dots\dots z < 20 \text{ m} \dots\dots\dots (2.51)$$

Disamping itu juga dilakukan koreksi stabilitas (*stability correction*) terhadap perbedaan temperatur udara dan air dengan menggunakan formulasi pada persamaan 2.52, berikut:

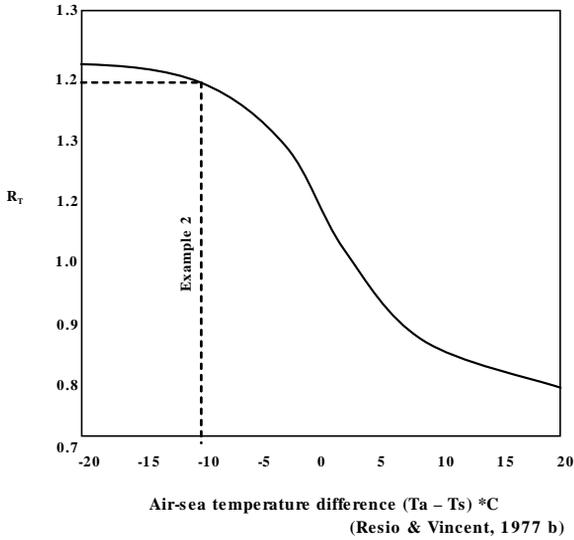
$$U = R_T R_L (U_{10})_L \dots\dots\dots (2.52)$$

dimana

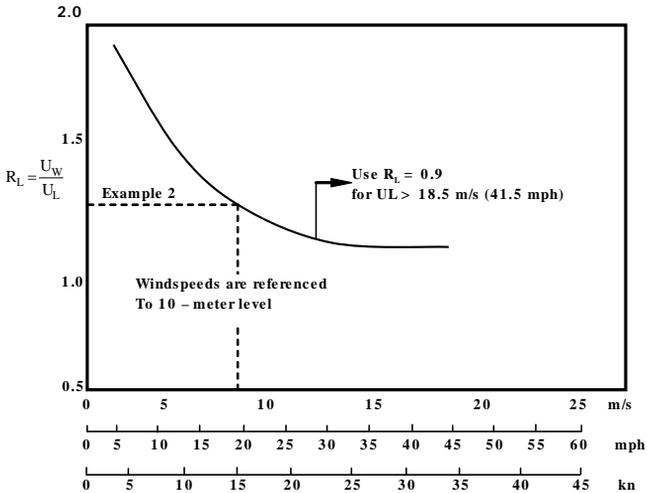
R_T = koreksi akibat adanya perbedaan temperatur antara udara dan air (lihat Gambar 2.9)

R_L = koreksi terhadap pencatatan angin yang dilakukan di darat (lihat Gambar 2.10)

$(U_{10})_L$ = kecepatan angin pada ketinggian 10 m di atas daratan.



Gambar 2.9. Koefisien koreksi kecepatan angin terhadap perbedaan temperatur
(US Army Cerc, 1984)



Gambar 2.10. Koefisien koreksi terhadap pencatatan kecepatan angin di darat
(US Army Cerc, 1984)

Dalam peramalan gelombang ini, kecepatan angin yang telah di-koreksi harus diubah ke dalam bentuk *wind stress factor*, U_A dengan menggunakan formulasi berikut:

$$U_A = 0,71 U^{1,23} \dots\dots\dots (2.53)$$

dimana

U = kecepatan angin (m/dt)

U_A = wind stress factor.

Persamaan 2.54 sampai dengan 2.56 merupakan persamaan yang digunakan untuk peramalan gelombang yang dibatasi fetch pada perairan dalam.

$$H_s = 5,112 \times 10^{-4} U_A F^{1/2} \dots\dots\dots (2.54)$$

$$T_s = 6,238 \times 10^{-2} (U_A F)^{1/3} \dots\dots\dots (2.55)$$

$$t = 3,2115 (F^2/U_A)^{1/3} \dots\dots\dots (2.56)$$

Untuk kondisi *fully developed sea* untuk perairan dalam, formulasi yang digunakan dalam peramalan gelombang adalah menggunakan persamaan-persamaan berikut:

$$H_s = 2,482 \times 10^{-2} U_A^2 \dots\dots\dots (2.57)$$

$$T_a = 8,30 \times 10^{-1} U_A \dots\dots\dots (2.58)$$

$$t = 7,296 \times 10^3 U_A \dots\dots\dots (2.59)$$

Sedangkan untuk peramalan gelombang pada perairan dangkal (*shallow water*) formulasi yang digunakan diberikan pada persamaan 2.60 sampai dengan 2.62, berikut:

$$\frac{gH_3}{U_A^2} = 0,283 \tanh \left[0,53 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{3/4} \right] \tanh \left\{ \frac{0,00565(gF/U^2)^{1/2}}{\tanh \left[0,53(gd/U_A^2)^{3/4} \right]} \right\} \quad (2.60)$$

$$\frac{gT}{U_A} = 7,543 \tanh \left[0,833 \left(\frac{gd}{U_A^2} \right)^{3/8} \right] \tanh \left\{ \frac{0,0379(gF/U^2)^{1/3}}{\tanh \left[0,833(gd/U_A^2)^{3/8} \right]} \right\} \quad (2.61)$$

$$\frac{gt}{U_A} = 5,37 \times 10^2 \left(\frac{gT}{U_A} \right)^{7/3} \dots\dots\dots (2.62)$$

2.4. ANALISA GELOMBANG EKSTRIM

Data gelombang yang dikumpulkan di suatu tempat baik dengan pengukuran langsung maupun dengan peramalan biasanya hanya menghasilkan pencatatan kondisi gelombang di tempat itu dalam waktu yang pendek saja. Padahal dalam perencanaan struktur pantai dan lepas pantai biasanya didasarkan pada kondisi gelombang eks-trim yang terjadi dalam periode waktu yang lebih panjang dari pada durasi yang diukur baik dari pengukuran maupun peramalan. Se-hing-ga pencatatan gelombang yang ada umumnya harus dieks-trapolasi sampai periode yang lebih lama untuk memperoleh kondisi gelombang rencana periode kala ulang. Biasanya didefinisikan seba-gai periode ulang kejadian, T_r yaitu interval waktu (dalam tahun) yang merupakan tinggi gelombang tertentu yang diharapkan untuk dihitung. Periode ulang 50 tahunan artinya bahwa kejadian tersebut mempunyai probabilitas kejadian sebesar 2% atau lebih dalam bebe-rapa tahun. Tinggi gelombang periode ulang ini dipakai untuk me-netapkan gelombang rencana yang sangat tergantung pada umur perencanaan bangunan dan faktor tambahan keamanan yang dipakai. Untuk bangunan-bangunan di lingkungan rekayasa pantai biasanya digunakan kala ulang 50 tahunan atau 100 tahunan (Sorensen, 1993).

Pendekatan umum untuk penentuan tinggi gelombang dan ka-rakteristik-karakteristik yang berkaitan dengan gelombang ekstrim yang mempunyai kala ulang tertentu adalah sebagai berikut:

1. Tabulasikan dan urutkan harga tinggi gelombang signifikan dari masing-masing kejadian yang dicatat ataupun kejadian yang diramalkan (*hindcast*).
2. Dari tabulasi itu tentukan dan gambarkan distribusi probabilitas kumulatif dari tinggi gelombang pada kertas berdasarkan pada distribusi probabilitas yang dipilih.
3. Lakukan ekstrapolasi dari gambar tersebut untuk memperoleh tinggi gelombang signifikan kala ulang yang diharapkan.
4. Dari distribusi Rayleigh tentukan harga H_r yang diharapkan.
5. Dengan tinggi dan periode yang didapatkan selanjutnya dengan menggunakan teori gelombang nonlinier dapat digunakan untuk menghitung karakteristik gelombang yang diharapkan.

Distribusi-distribusi probabilitas yang biasa digunakan untuk analisa tinggi gelombang ekstrim dapat dilihat dalam Tabel 2.1 berikut

Tabel 2.1. Distribusi Probabilitas yang digunakan pada Analisa Tinggi Gelombang Ekstrim

Distribution	Cumulative Probability
Log normal	$P(H) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^N \frac{1}{\alpha H} \exp \left[-1/2 \left(\frac{\ln H - \beta}{\alpha} \right)^2 \right] dH$
Gumbel	$P(H) = \exp \left\{ - \exp \left[- \left(\frac{H - \gamma}{\beta} \right) \right] \right\}$
Frechet	$P(H) = \exp \left[- \left(\frac{H}{\beta} \right)^{-\alpha} \right]$
Weibull	$P(H) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{H - \gamma}{\beta} \right)^{\alpha} \right]$

$P(H)$ pada Tabel 2.1 merupakan probabilitas dari tinggi gelombang yang besarnya $\leq H$. Parameter a , b dan g merupakan koefisien yang ditentukan secara empiris gunanya untuk membuat distribusi sebaran data paling baik. Dimana a merupakan parameter bentuk, b merupakan parameter yang mengendalikan sebaran data sepanjang sumbu H dan g merupakan parameter yang ditempatkan pada posisi fungsi densitas probabilitas.

Dengan menggunakan kertas grafik data yang ada untuk tiap-tiap distribusi akan diplot sebagai garis lurus, namun untuk distribusi lognormal, kertas grafik arithmetic-normal akan lebih cocok. Harga $P(H)$ akan diplot pada sumbu distribusi normal dan $\log(H)$ diplot pada sumbu arithmetic. Untuk distribusi normal lainnya kertas skala arithmetic akan digunakan dengan memasukkan harga-harga seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.2, dan biasanya H dianggap sebagai absis dan $P(H)$ sebagai ordinat.

Tabel 2.2. Skala Plotting untuk Variasi Distribusi Probabilitas

Distribusi	Tinggi gelombang (H)	Probabilitas, P(H)
Gumbel	H	$-\ln \{-\ln[P(H)]\}$
Frechet	$\ln(H)$	$-\ln\{-\ln[P(H)]\}$
Weibull	$\ln(H - \gamma)$	$\ln\{-\ln[1-P(H)]\}$

Selanjutnya hubungan antara probabilitas kumulatif dengan periode kala ulang dapat dilihat dalam persamaan berikut

$$\frac{T_r}{r} = \frac{1}{1-P(H)} \dots\dots\dots (2.63)$$

dimana

r = interval waktu (dalam tahun) antara titik-titik data secara berurutan (misalnya untuk tinggi gelombang rata-rata yang ditentukan dari pengukuran harian maka besarnya $r = 1/365$)

T_r = periode kala ulang atau interval kejadian (dalam tahun).

Langkah pertama pada plotting data dinyatakan sebagai T_r atau $P(H)$ untuk masing-masing titik data. Jika ada N data maka data tersebut diurutkan dari besar ke kecil, yaitu dari $m = 1$ sampai N , formulasi yang paling umum digunakan untuk menetapkan probabilitas data adalah (lihat Gumbel, 1958):

$$P(H) = 1 - \frac{m}{N+1} \dots\dots\dots (2.64)$$

Untuk annual data, maka:

$$T_r = \frac{N+1}{m} \dots\dots\dots (2.65)$$

dimana

m = data tinggi gelombang terbesar

N = data tinggi gelombang terkecil.

2.5. PENENTUAN GELOMBANG RENCANA

Alasan utama untuk menyelidiki dan menganalisa gelombang laut adalah untuk memilih kondisi gelombang yang dapat digunakan untuk keperluan perencanaan pada teknik pantai dan teknik kelautan. Jenis informasi gelombang yang diperlukan tentunya akan berbeda antara untuk keperluan pembangunan offshore platform, perhitungan laju sedimen transport, perencanaan submerged breakwater dan lain sebagainya. Data gelombang yang akan digunakan dalam perencanaan disini bisa berupa data gelombang hasil pengukuran maupun data gelombang hasil peramalan dari data angin.

Untuk pengukuran gelombang langsung dibutuhkan biaya, fasilitas yang tidak sedikit serta waktu yang lama. Sedangkan untuk mendapatkan data sekunder terkadang juga mengalami kesulitan terutama untuk daerah-daerah yang jarang untuk dilakukan studi. Mengacu dari permasalahan di atas maka, prediksi gelombang dari data angin ternyata lebih banyak digunakan dalam perencanaan-perencanaan. Banyak metode yang dipakai untuk memprediksi gelombang secara empiris kondisi *steady-state* yang ditawarkan, yaitu *Shore Protection Manual (SPM)*, (1973,1977,1984), *Sverdrup-Munk-Bretschneider (SMB)*, Donelan, *Joint North Sea Wave Program*(Jonswap), serta metode-metode prediksi gelombang lainnya (Sun-toyo,1999).

Ketepatan pemilihan metode peramalan gelombang ini sangat penting terhadap penentuan tinggi gelombang dan periode gelombang signifikan guna menunjang rekayasa pantai, bangunan pantai dan lepas pantai, perencanaan pelabuhan dan sebagainya. Informasi properties gelombang untuk perencanaan ini sangat tergantung dari kebutuhan dan biasanya berupa $H_{1/10}$, $H_{1/3}$ atau H_s , H_1 , H_5 ataupun H_{max} serta dengan periode gelombangnya. Untuk mendapatkannya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan yang telah diberikan pada subbab 2.2. H_{max} adalah merupakan tinggi gelombang tertinggi diantara gelombang-gelombang yang ada. $H_{1/3}$ atau H_s merupakan tinggi gelombang signifikan yang merupakan rata-rata dari 1/3 tinggi gelombang yang tertinggi adapun H_5 bisa didefinisikan sebagai rata-rata dari 5% gelombang tertinggi. Sedangkan untuk mendapatkan properties gelombang signifikan dari peramalan gelombang angin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan yang diberikan pada subbab 2.3 tergantung pada metode peramalan gelombang yang dipilih. Jika kita menghendaki agar struktur yang akan direncanakan tersebut tidak rusak dalam waktu 50 tahun atau bahkan 100 tahun maka analisa gelombang yang digunakan harus menggunakan analisa gelombang ekstrim berdasarkan kala ulang waktu tertentu.

Penentuan gelombang rencana untuk berbagai macam jenis bangunan lepas pantai dan bangunan pantai serta keperluan lainnya telah diberikan oleh Sorensen, 1993 yaitu sebagai berikut:

1. RUBBLE MOUND STRUKTUR

Jenis bangunan rubble mound yang dibangun di wilayah pantai sangat banyak sekali, meliputi (1) revetment dan seawall yang di-ba-ngun pada muka pantai di sepanjang pantai untuk melin-dungi erosi tebing; (2) groin dan jetties dibangun tegak lurus pan-tai yang memanjang ke laut ; (3) breakwater yang dibangun se-jajar pantai untuk stabilisasi pantai dan breakwater yang dipa-sang pada pelabuhan. Gelombang rencana yang akan di-guna-kan sangat tergantung dari spesifik struktur. Untuk kondisi biasa H_s bisa digunakan namun untuk lebih amannya bisa digunakan H_s atau H_{10} seperti yang disarankan oleh US Army Cerc, 1984. Sedangkan untuk pemilihan tinggi gelombang ren-cana yang didasarkan pada pertimbangan probabilitas kejadian atau kala ulang maka informasi data yang disajikan untuk me-netapkan gelombang rencana tersebut harus memenuhi tingkat kepercayaan yang tinggi terhadap kepentingan struktur.

2. STRUKTUR RANGKA

Struktur yang dikategorikan dalam jenis ini meliputi struktur rangka tiga dimensi yang berbentuk silinder dan terutama yang dibangun didaerah gelombang pecah (breaker zone). Silinder yang digunakan harus berdiameter lebih kecil dari panjang ge-lom-bang. Konsekuensinya beban gelombang dihitung dengan menggunakan persamaan Morison (Morison et al.,1950). Pende-katan yang digunakan untuk menentukan tinggi gelombang rencana adalah dengan memilih tinggi gelombang signifikan yang berkaitan dengan kala ulang umur struktur yang direnca-nakan. Dengan menggunakan hubungan distribusi Rayleigh se-de-mikian rupa sehingga $H_{0,1}$ bisa ditentukan dari tinggi gelom-bang signifikan.

3. STRUKTUR DINDING VERTIKAL

Untuk struktur dinding vertikal dalam kedalaman air yang cukup dimana gelombang *unbroken* Goda (1985) merekomendasikan bahawa untuk perhitungan beban agar menggunakan tinggi gelombang rencana sebesar $1,8 H_s$. Sedangkan untuk keperluan rekayasa secara umum disarankan untuk menggunakan harga antara $1,6 H_s - 2 H_s$.

4. STRUKTUR APUNG YANG MENGGUNAKAN SISTEM MOORING

Breakwater apung yang digunakan untuk melindungi vessel pada pelabuhan kecil atau untuk tujuan yang lain termasuk pengoperasian bangunan untuk sementara waktu. Biasanya digunakan tinggi gelombang rencana antara H_s sampai dengan H_1 .

5. PROSES-PROSES PANTAI

Proses-proses pantai ditimbulkan oleh aktivitas gelombang yang dibangkitkan oleh angin pada MSL (*Mean Sea Level*) yang sangat dipengaruhi oleh badai maupun pasang surut. Sedangkan struktur yang digunakan untuk stabilisasi pantai dapat berupa groin, breakwater ataupun jetties dan juga informasi maupun prediksi tentang laju sedimen transport sepanjang pantai sangat diperlukan. Untuk memprediksi laju sedimen transport bisa menggunakan data gelombang baik dari peramalan maupun pengukuran dengan data yang tersedia paling sedikitnya satu tahun dan agar didapatkan hasil yang baik disarankan data yang tersedia selama 10 tahun. Penentuan tinggi gelombang dan arahnya seharusnya dilakukan pengukuran setiap 12/24 jam sampai dengan data yang diperlukan untuk perhitungan sedimen transport tersedia (gelombang rencana yang dipakai adalah H_s).

BAB III

OVERTOPPING, RUN-UP DAN TRANSMISI GELOMBANG

3.1. GELOMBANG OVERTOPPING

Overtopping gelombang bisa diijinkan atau dikehendaki terjadi pada suatu struktur dan juga tidak diperkenankan terjadi tergantung pada struktur pelindung pantai yang dikenai. Pada beberapa kasus di mana *levees* (tanggul) biasanya berfungsi sebagai pelindung suatu daerah, overtopping kemungkinan bisa menyebabkan limpahan air yang berlebihan atau overtopping akan menyebabkan erosi pada sistem bangunan yang mengakibatkan kerusakan atau kegagalan struktur. Untuk kasus-kasus yang lain, overtopping yang dikehendaki terjadi pada beberapa sistem breakwater, groin atau jetty tidak berarti mengindikasikan untuk memperkecil dimensi struktur yang akan dibuat atau untuk menghemat biaya pembuatannya, tetapi berfungsi untuk mengatur pola pergerakan sediment yang terjadi.

Pada perhitungan gaya-gaya gelombang yang mengenai struktur, diasumsikan tidak terjadi overtopping. Sebaliknya jika diasumsikan terjadi overtopping, maka reduksi gaya-gaya gelombang pada struktur akan diperhitungkan. Reduksi gaya F^1 didefinisikan sebagai :

$$F^1 = r_f F \dots\dots\dots (3.1)$$

di mana r_f adalah faktor reduksi gaya yang diberikan sebagai,

$$r_f = \frac{h}{y} \left(2 - \frac{h}{y} \right) \quad \text{untuk } \frac{h}{y} < 1.0$$

dan

$$r_f = 1.0 \quad \text{untuk } \frac{h}{y} \geq 1.0$$

di mana,

- F = Gaya yang mengenai struktur, diasumsikan tidak terjadi overtopping
- h = ketinggian struktur
- y = kedalaman perairan, dari puncak atau lembah gelombang

Laju dari overtopping yang terjadi tergantung dari ketinggian struktur, kedalaman perairan diukur dari kaki struktur, kemiringan permukaan struktur dan kekasaran permukaan struktur. Pengujian model telah dilakukan dan memberikan persamaan overtopping gelombang (CERC, 1977) :

$$Q = \left(g Q_o^* H_o^{i^2} \right)^{1/2} e^{-\left(\frac{0.217}{\alpha} \tanh^{-1} \left(\frac{h - d_s}{R} \right) \right)} \dots\dots\dots (3.2)$$

dengan,

$$0 \leq \frac{h - d_s}{R} < 1.0$$

di mana,

- Q = laju overtopping (volume/unit waktu)
- α = percepatan gravitasi
- H_o^i = tinggi gelombang equivalent pada perairan dalam
- h = ketinggian puncak struktur dari garis tanah
- d_s = kedalaman air dari kaki struktur
- R = run-up pada struktur
- $\alpha & Q_o^*$ = koefisien empiris, tergantung dari karakteristik gelombang dan geometri struktur

Persamaan ini berlaku untuk gelombang regular (*monochromatic*), di mana gelombang monokromatik merupakan model gelombang yang dibangkitkan di laboratorium dengan tipikal masing-masing gelombang mempunyai panjang gelombang dan periode yang sama (CERC, 1977).

Laju overtopping juga dipengaruhi oleh angin laut, pengaruh angin laut pada laju overtopping didefinisikan sebagai faktor k :

$$k = 1.0 + W_f \sin \theta \dots\dots\dots (3.3)$$

di mana,

W_f = koefisien yang tergantung dari kecepatan angin

θ = kemiringan struktur, dari posisi horisontal ke arah permukaan struktur

$W_f = 2.0$ untuk kecepatan angin 60 mph

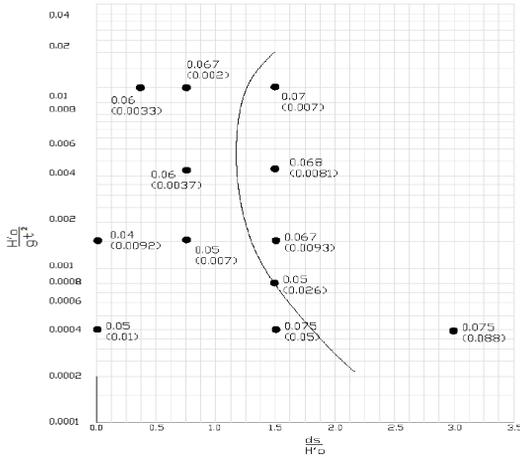
$W_f = 0.5$ untuk kecepatan angin 30 mph

$W_f = 0$ jika tidak ada angin

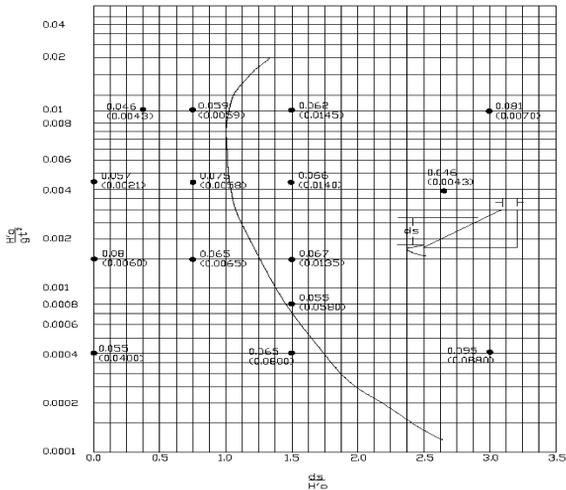
Grafik Gambar 3.1 sampai dengan Gambar 3.9 menunjukkan harga dan pada berbagai tipe struktur dan kemiringan pantai.

Formula yang sama juga telah dikembangkan untuk gelombang irregular, tetapi tidak ada pengujian model yang cukup baik untuk mendukung formulasi tersebut, sehingga tidak akan disertakan dalam buku ini.

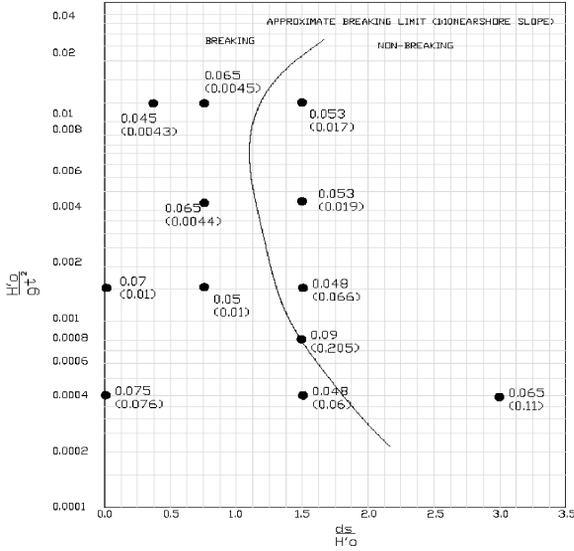
Karena overtopping tergantung dari run-up gelombang pada struktur, maka hal ini juga perlu dipertimbangkan. Dalam buku ini akan dibahas khusus dalam sub-bab berikut.



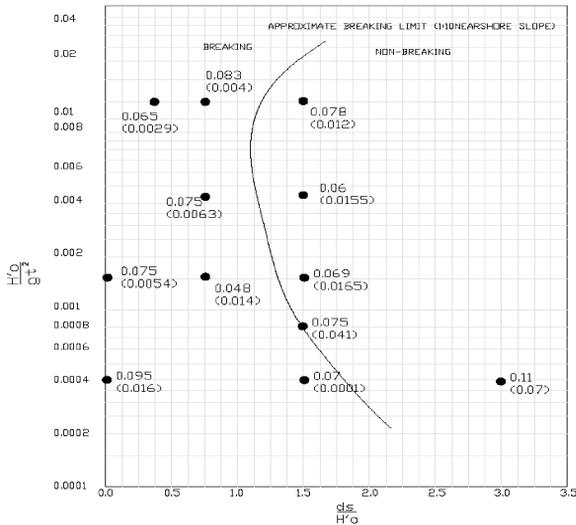
Gambar 3.1. Parameter Overtopping dan (Dinding Vertikal Smooth pada Kemiringan Pantai 1:10)



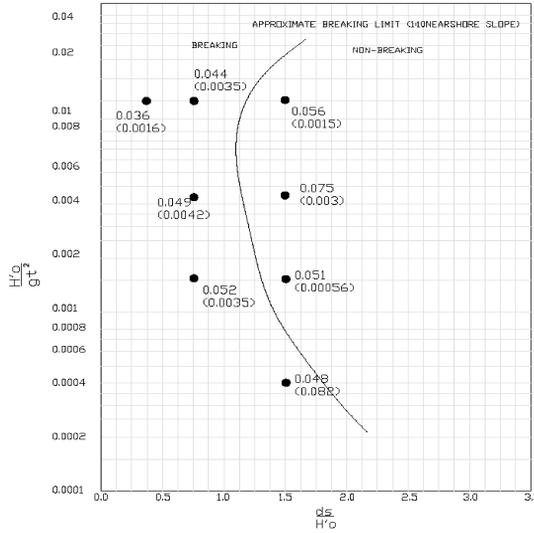
Gambar 3.2. Parameter Overtopping dan (Kemiringan Dinding Smooth 1:1.5 pada Kemiringan Pantai 1:10)



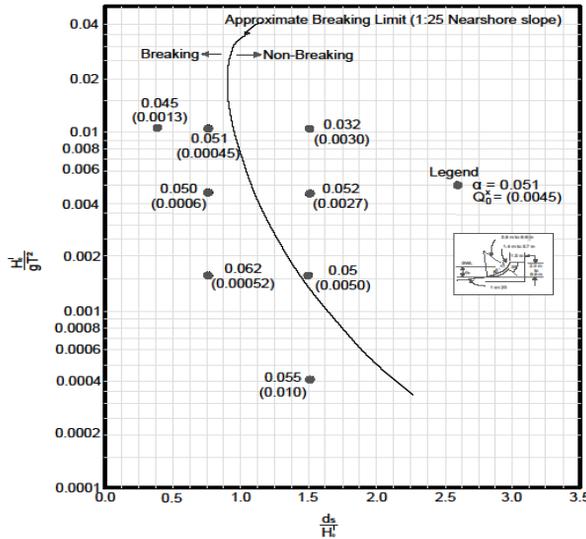
Gambar 3.5. Parameter Overtopping dan (Kemiringan Dinding Riprap 1:1.5 pada Kemiringan Pantai 1:10)



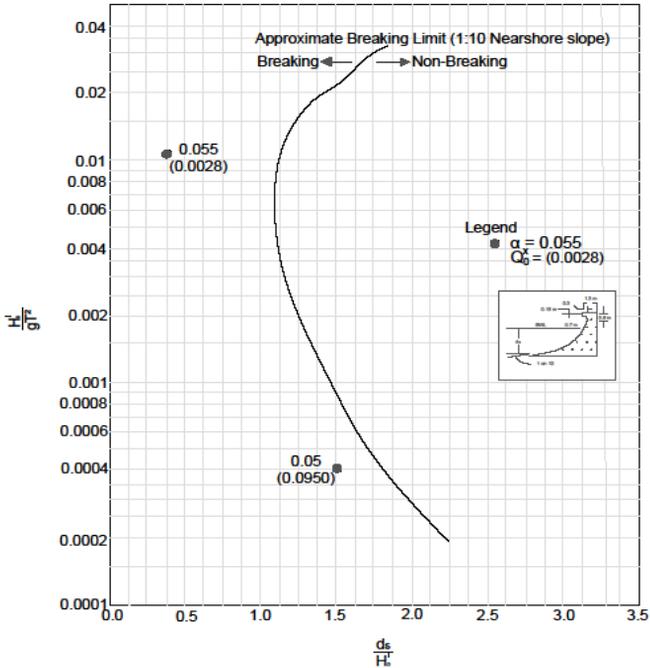
Gambar 3.6. Parameter Overtopping dan (Kemiringan Dinding Bertingkat 1:1.5 pada Kemiringan Pantai 1:10)



Gambar 3.7. Parameter Overtopping dan (Dinding Lengkung pada Kemiringan Pantai 1:10)



Gambar 3.8. Parameter Overtopping dan (Dinding Lengkung pada Kemiringan Pantai 1:25)

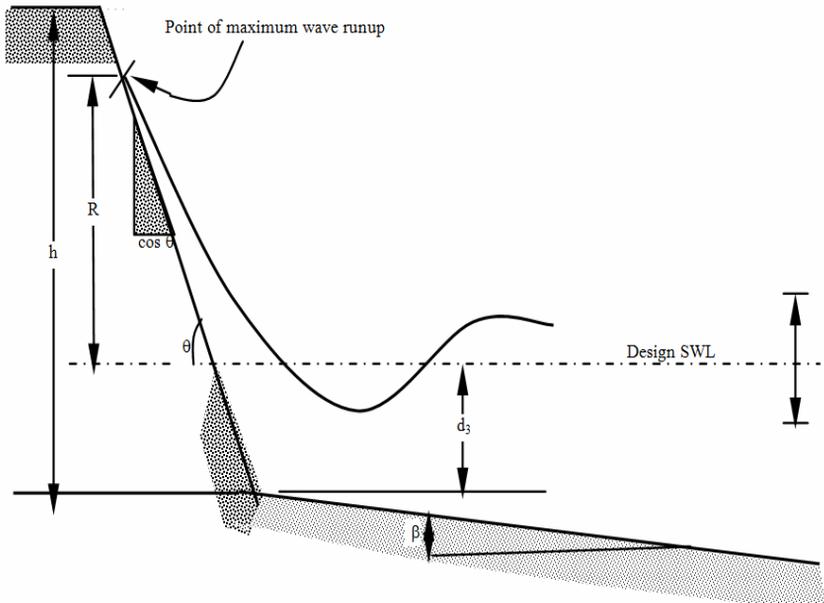


Gambar 3.9. Parameter Overtopping dan (Dinding Lengkung Atas pada Kemiringan Pantai 1:10)

3.2. GELOMBANG RUN-UP

Ketika gelombang datang menghantam suatu struktur, air yang terbawa oleh momentumnya terdorong naik merayap ke atas permukaan struktur. Ketinggian vertikal dari SWL yang berhasil dicapai oleh gelombang yang datang tersebut disebut *wave run-up*. Untuk membahas lebih dalam mengenai run-up gelombang perlu diketahui pula ketinggian struktur, apabila akan diperkenankan overtopping. Untuk beberapa struktur mungkin dapat diterima, tetapi lain halnya untuk struktur yang lain yang disinyalir malah akan mengakibatkan bencana.

Run-up gelombang tergantung dari beberapa faktor; seperti bentuk struktur, kekasaran permukaan struktur, kedalaman perairan pada dasar struktur, kemiringan struktur dan karakteristik gelombang yang terjadi. Pada Gambar 3.10 ditunjukkan sketsa sederhana terjadinya run-up gelombang. Beberapa studi dan penelitian mengenai run-up gelombang telah dilakukan, terutama pada permukaan struktur yang halus. Risalah lengkap dapat dilihat pada CERC Manual (1977) dan Battjes (1974).



Gambar 3.10 Sketsa Terjadinya Run-up Gelombang

Pada CERC (1977) ditunjukkan bahwa run-up gelombang (R) adalah fungsi dari kemiringan struktur dan tinggi gelombang perairan dalam H_o^i untuk beberapa tipe struktur. Dari grafik Gambar 3.11 sampai dengan Gambar 3.22 terlihat bahwa pengukuran run-up didapat dari pengujian model yang diperkecil (skala), oleh karena itu perlu dilakukan koreksi untuk mendapatkan tinggi run-up aktual yang sebenarnya dengan menggunakan grafik Gambar 3.23. tetapi perlu diketahui bahwa penggunaan grafik tersebut berdasarkan hasil pengujian model yang menggunakan permukaan yang halus dan rata sehingga perlu dilakukan koreksi lagi. Tabel 3.1 (Battjes,1974) yang telah dipublikasikan dalam CERC Manual (1977) menunjukkan penggunaan harga faktor koreksi untuk berbagai macam karakteristik permukaan struktur.

Tabel 3.1 Harga Faktor Koreksi r untuk Berbagai Karakteristik Permukaan Struktur (CERC, 1977)

Slope Surface Characteristics	Placement	r
Smooth, impermeable	-	1.00
Concrete blocks	Fitted	0.90
Basalt blocks	Fitted	0.85 - 0.90
Gobi blocks	Fitted	0.85 - 0.90
Grass	-	0.85 - 0.90
One layer of quarystone (impermeable foundation)	Random	0.80
Quarystone	Fitted	0.75 - 0.80
Rounded quarystone	Random	0.60 - 0.65
Three layers of quarystone (impermeable foundation)	Random	0.60 - 0.65
Quarystone	Random	0.50 - 0.55
Concrete armor units (~50 percent void ratio)	Random	0.45 - 0.50

Dalam penggunaan grafik-gragik untuk penentuan run-up dikenal ada beberapa parameter ; H_o^i , T , d_s , dan .

di mana,

H_o^i : tinggi gelombang perairan dangkal, diberikan sebagai $H_o^i: H_o K_f K_r$

H_o : tinggi gelombang perairan dalam

K_f : faktor reduksi tinggi gelombang akibat friksi

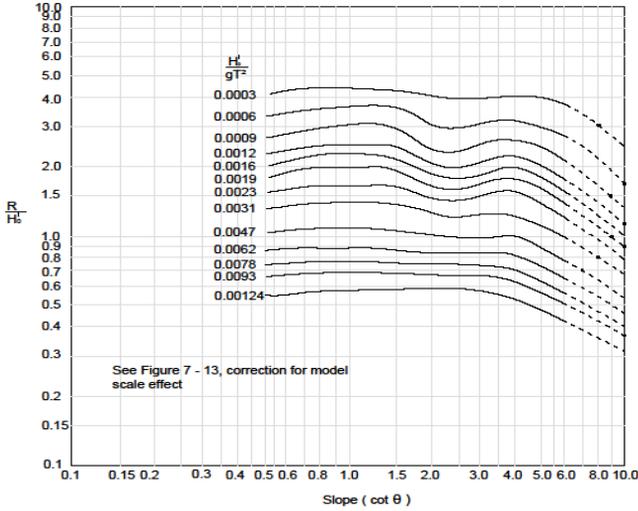
K_R : koefisien refraksi

T : periode gelombang

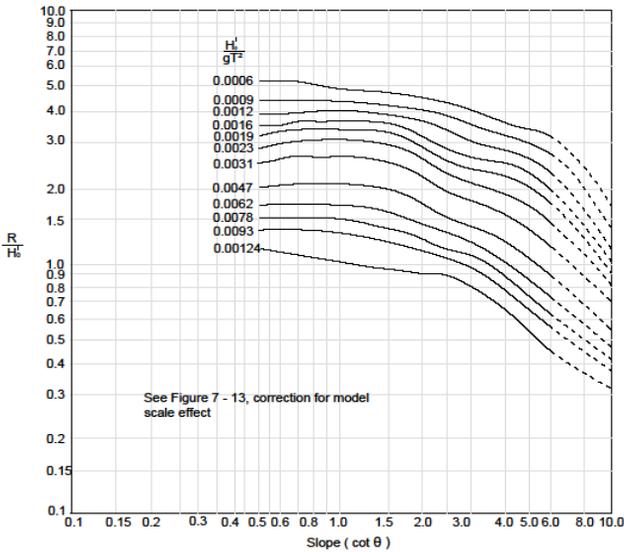
d_s : kedalaman perairan pada kaki struktur

θ : kemiringan struktur, dari posisi horisontal ke arah permukaan struktur

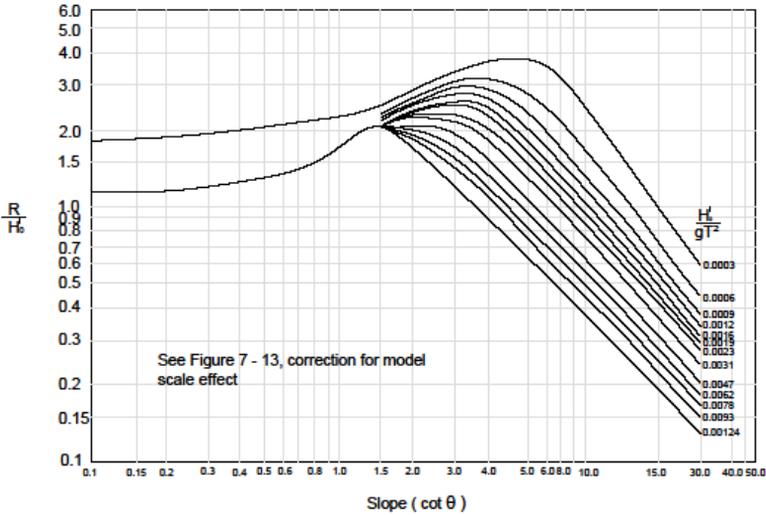
Parameter d_s dan θ tergantung dari desain struktur, sedangkan H_o dan T ditentukan dari panjang fetch dan durasi dari gelombang rencana. Harga K_R tergantung dari sudut datang gelombang dan kedalaman perairan pada daerah yang ditinjau.



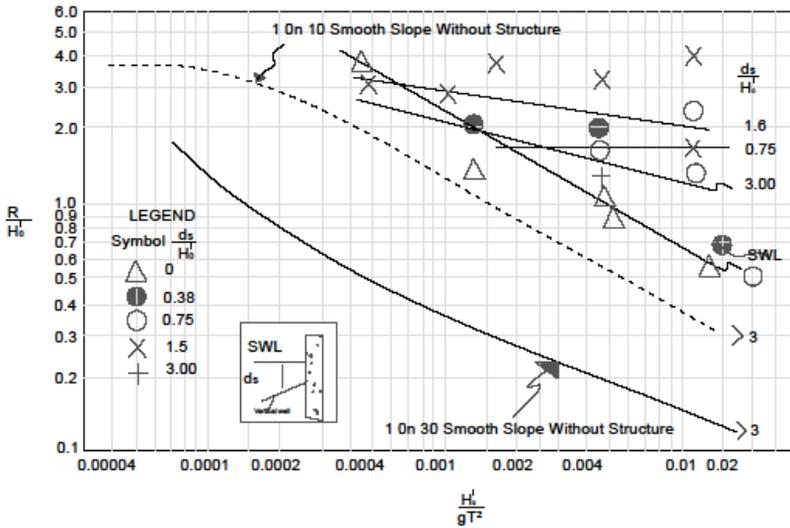
Gambar 3.11. Run-up pada Permukaan Impermeable dan Smooth untuk $ds/H'_0 = 0$ (Kemiringan Struktur 1:10)



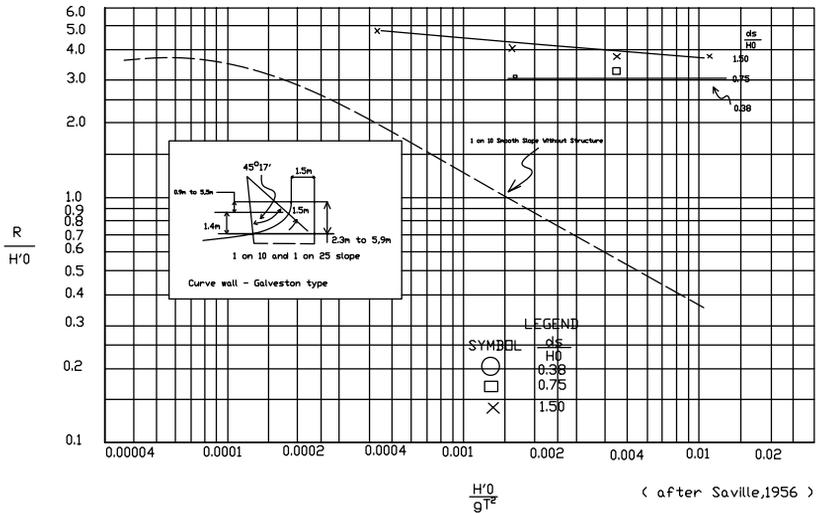
Gambar 3.12. Run-up pada Permukaan Impermeable dan Smooth untuk $ds/H'_0 = 0.45$ (Kemiringan Struktur 1:10)



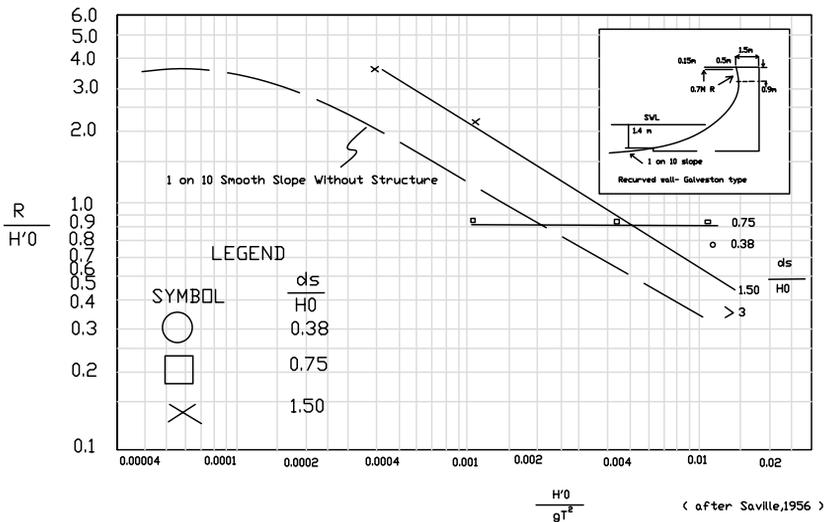
Gambar 3.15. Run-up pada Permukaan Impermeable dan Smooth untuk $d_s/H'_0 = 3.0$ (Kemiringan Struktur 1:10)



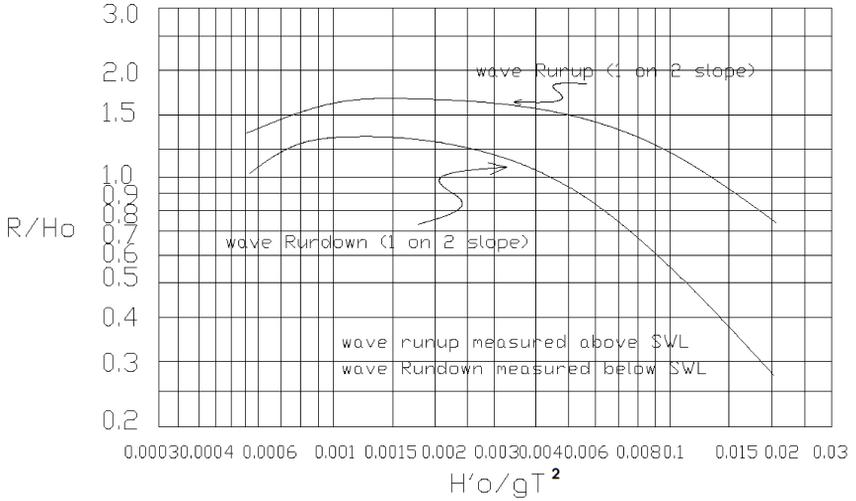
Gambar 3.16. Grafik Gelombang Run-up pada Dinding Vertikal Impermeable Terhadap H'_0/gT^2



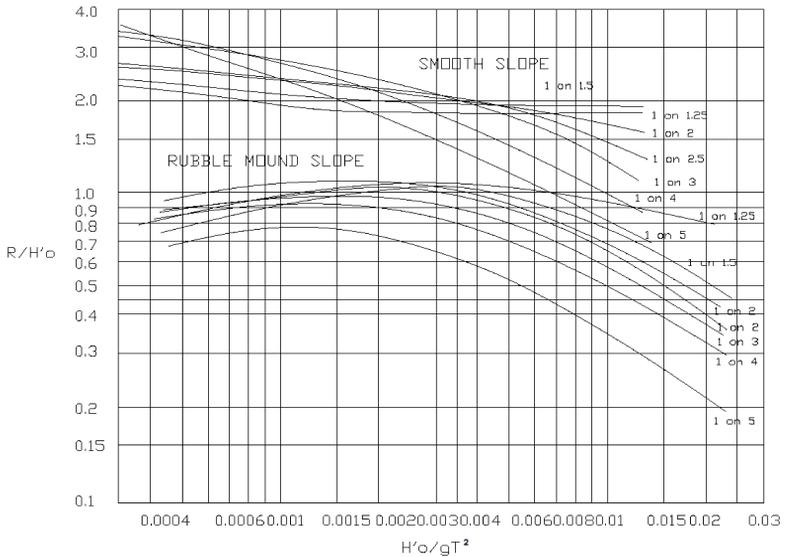
Gambar 3.19. Grafik Gelombang Run-up pada Seawall Impermeable Terhadap H'_0/gT^2



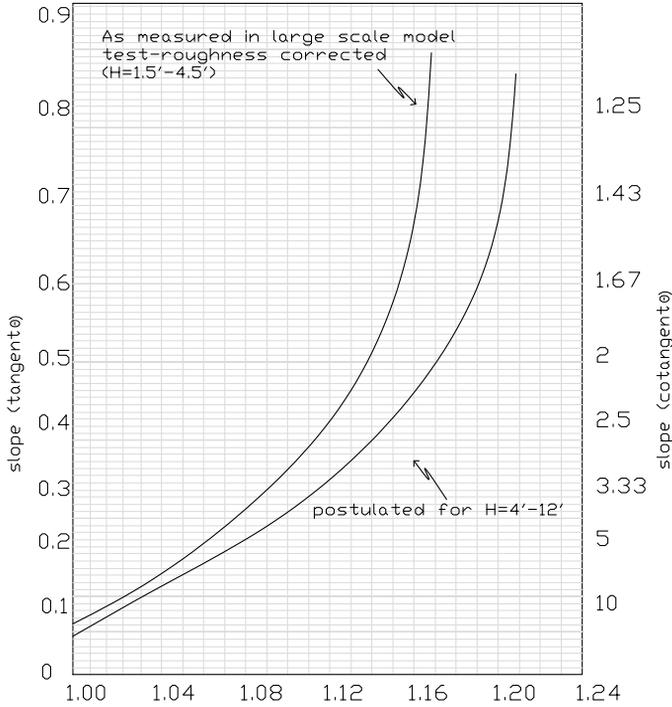
Gambar 3.20. Grafik Gelombang Run-up pada Dinding Seawall (tipe Galvestone) Terhadap H'_0/gT^2



Gambar 3.21. Grafik Gelombang Run-up dan Run-down pada Riprap Bertingkat Terhadap H'_o/gT^2



Gambar 3.22. Perbandingan Gelombang Run-up pada Dinding Smooth Terhadap Dinding Rubble Permeable



Gambar 3.23. Faktor Koreksi Run-up Karena Efek Skala

3.3. GELOMBANG TRANSMISI

3.3.1. UMUM

Ketika gelombang datang dan mengenai breakwater, energi gelombang akan dipantulkan, hilang atau diteruskan melewati struktur. Perubahan energi gelombang tersebut tergantung dari karakteristik gelombang (periode, tinggi gelombang dan kedalaman perairan), tipe breakwater (rubble atau smooth, permeable atau impermeable) dan geometri dari struktur (slope, elevasi puncak gelombang relatif terhadap SWL dan lebar puncak gelombang).

Transmisi dari energi gelombang yang melalui breakwater seharusnya dapat diminimalkan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada pelabuhan-pelabuhan akibat resonansi gelombang.

Banyak informasi mengenai transmisi gelombang, refleksi dan energi dissipasi pada breakwater yang didapatkan dari studi model fisik, hal ini dikarenakan investigasi semacam ini sangat mudah dan relatif murah untuk dilakukan. Meskipun akhir-akhir ini pengujian-pengujian banyak dilaksanakan dengan menggunakan gelombang acak (Seelig, 1980) dari pada gelombang monochromatic, yang mana hal ini lebih sesuai dengan kondisi sebenarnya.

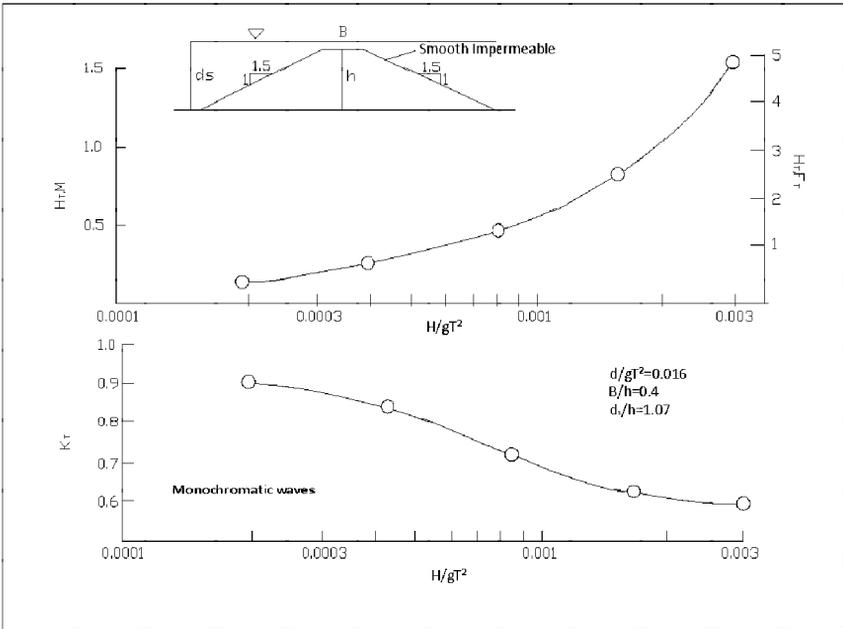
3.3.2. SUBMERGED BREAKWATER

Submerged breakwater mempunyai beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihannya seperti terlihat pada tabel 3.2. Meskipun banyak hal yang tidak dilakukan dalam pemilihan tersebut adalah sesuatu yang cukup signifikan dari transmisi gelombang yang terjadi dengan koefisien transmisi yang lebih besar dari 0,4 untuk banyak kasus,

$$K_T = \frac{H_T}{H_i} \dots \dots \dots (3.4)$$

dimana H_i dan H_T adalah tinggi gelombang yang terjadi dan tinggi gelombang yang ditransmisikan. Salah satu keuntungan dari *submerged breakwater* adalah adanya *freeboard* dari breakwater yang didefinisikan sebagai:

$$F = h - d_s \dots \dots \dots (3.5)$$



Gambar 3.24. Hasil Pemilihan Gelombang Transmisi untuk Submerged Breakwater

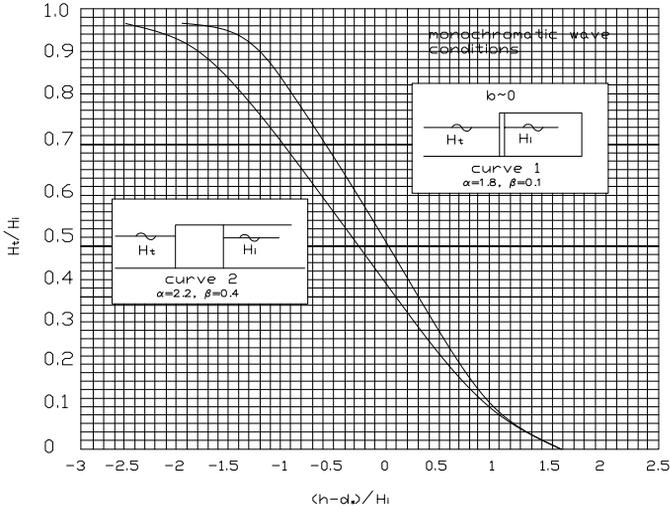
Dimana h adalah tinggi struktur dan d_s adalah kedalaman yang ditinjau. Besarnya koefisien transmisi akan berkurang seiring dengan bertambahnya periode gelombang dan tinggi gelombang. Hal ini mengindikasikan bahwa breakwater akan sangat efektif untuk gelombang-gelombang yang besar, sehingga *submerged breakwater* dapat digunakan untuk memecah gelombang-gelombang yang tinggi. Gambar 3.24 menunjukkan pemilihan koefisien transmisi dan tinggi gelombang yang ditransmisikan untuk smooth impermeable *submerged breakwater* dengan perbandingan kedalaman perairan dengan tinggi struktur adalah:

$$\frac{d_s}{h} = 1,07$$

Tabel 3.2. Pertimbangan-pertimbangan Dalam Pemilihan Breakwater

Increasing Permeability 			
		Impermeable	Permeable
Increasing Structure Height 	Submerged	High wave transmission ($K_T > 0$)	Same
		Low reflection	Same
		Low amount of material	Same
		Does not obstruct view	Same
		May be a navigation hazard	Same
			Provides habitat for marine life.
	Subaerial	Low transmission except where runup is extreme	Excellent dissipator of wave energy
		Good working platform	Low transmission
		High reflection	Low reflection
		Occupies little space	Deserves serious consideration if adequate armor material is available
		Failure may be dramatic	Structure can be functional even with some failure
		Inhibits circulation	Provides habitat for marine life Allows circulation due to low-steepness waves.

Gambar 3.25 memberikan *design curve* untuk breakwater vertikal yang tipis dan breakwater yang berukuran tebal (Goda, 1969)



Gambar 3.25. Koefisien Gelombang Transmisi untuk Dinding Tegak dan Dinding Tegak Tipis

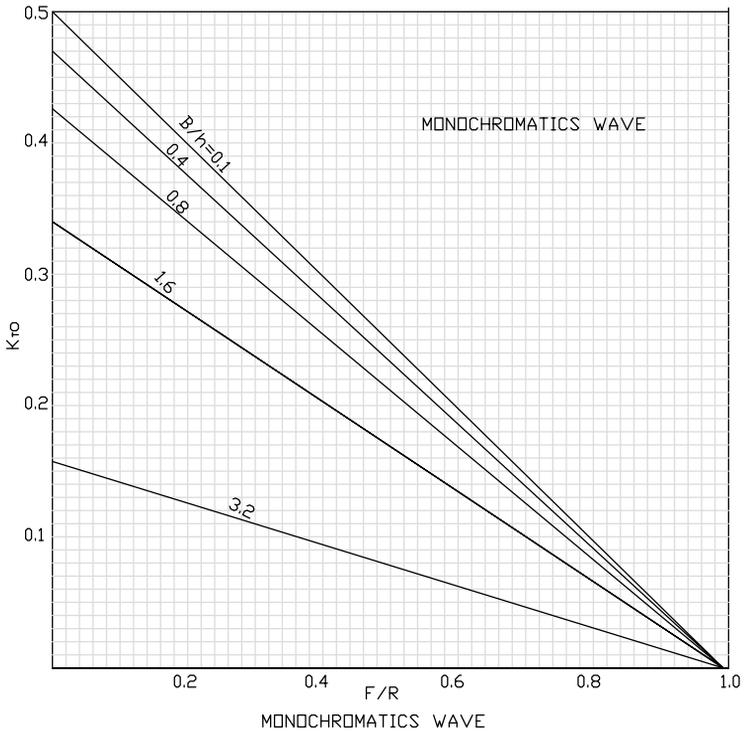
3.3.3. TRANSMISI GELOMBANG AKIBAT OVERTOPPING

Suatu *subaerial* (elevasi puncak gelombang diatas water level pada positif F) akan mengalami transmisi akibat *overtopping* ketika *run-up* lebih besar (tinggi) dari *freeboard* ($F/R < 1.0$) (Cross dan Sollit, 1971), dimana R adalah run-up yang akan terjadi jika struktur cukup tinggi sehingga tidak terjadi *overtopping*. Seelig (1980) melakukan modifikasi pada formula Cross dan Sollitt (1971) untuk menunjukkan bahwa *overtopping* dapat diestimasi dari:

$$K_{T0} = C (1.0 - F/R) \dots \dots \dots (3.6)$$

Dimana koefisien empiris *overtopping* C berkurang secara gradual seiring dengan bertambahnya lebar breakwater relatif B

$$C = 0,51 - 0,11 \left(\frac{B}{H} \right) \text{ untuk } 0 < \frac{B}{H} < 3,2 \dots \dots \dots (3.7)$$

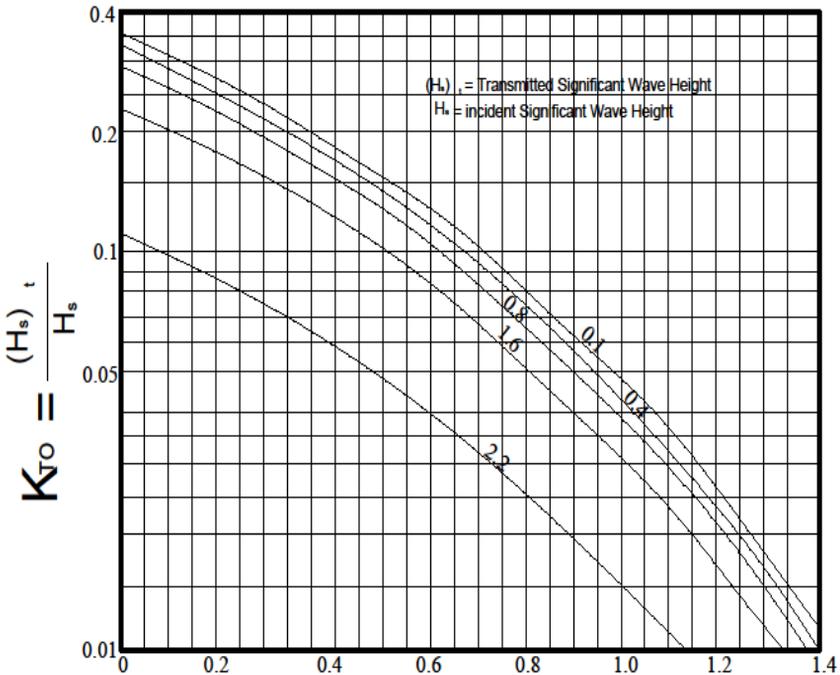


Gambar 3.26. Transmisi Gelombang Karena Overtopping

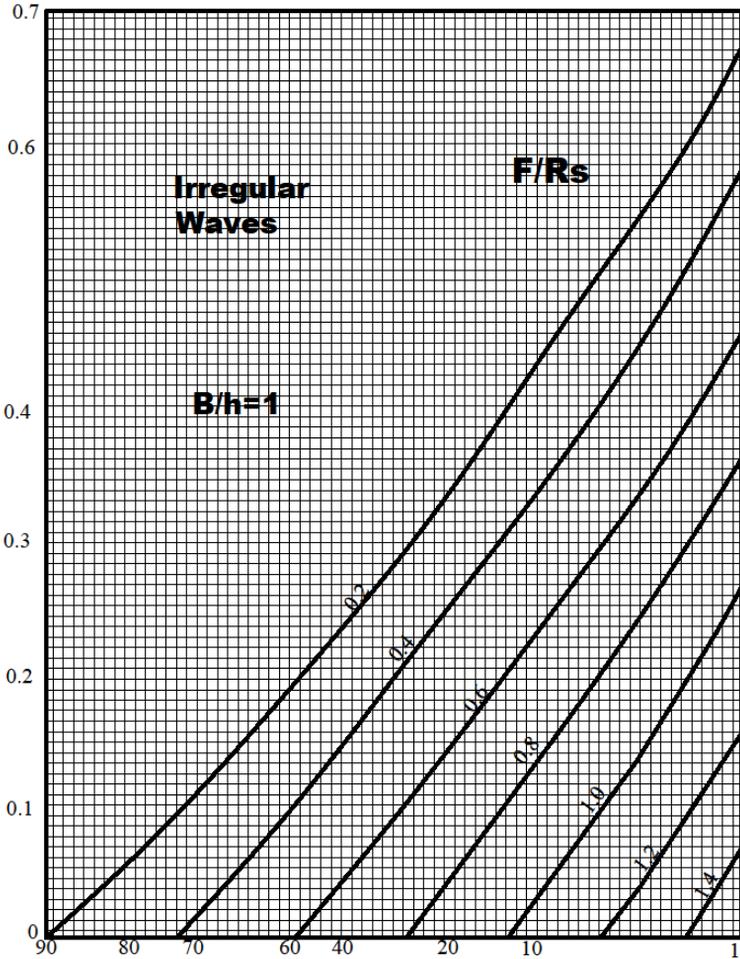
Pada kasus gelombang monokromatik ditunjukkan pada Gambar 3.26 untuk ratio lebar terhadap tinggi struktur yang dipilih.

Pada kasus gelombang irregular, elevasi run-up bervariasi dari gelombang pertama ke gelombang yang berikutnya. Gelombang diasumsikan menghasilkan run-up yang mempunyai distribusi Rayleigh sehingga persamaan (3.6) dapat diintegrasikan dan akan menghasilkan seperti pada grafik Gambar 3.27. Catatan untuk gelombang acak R_s adalah run-up signifikan yang ditentukan dari tinggi gelombang

signifikan H_s yang terjadi dan periode dari densitas puncak energi (T_p). Hal ini dapat kita lihat dengan membandingkan Gambar 3.26 dan 3.27 bahwa kondisi gelombang monokromatik dengan periode dan tinggi gelombang yang diberikan akan selalu mempunyai koefisien transmisi gelombang rata-rata yang lebih tinggi daripada gelombang irregular dengan tinggi gelombang signifikan dan periode dari densitas energi puncak yang diberikan. Fenomena ini disebabkan banyak dari run-up gelombang irregular terlalu kecil, sehingga beberapa struktur yang tinggi akan mengalami transmisi karena overtopping akibat kejadian run-up yang cukup besar.

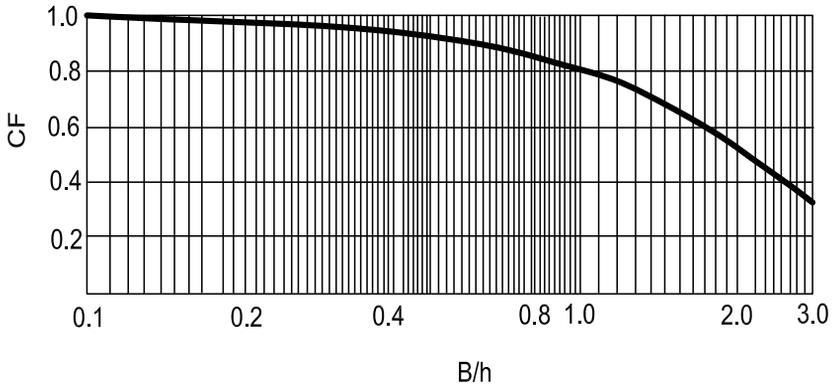


Gambar 3.27. Tinggi Gelombang Transmisi Signifikan terhadap Freeboard Karena Overtopping pada Gelombang Irregular

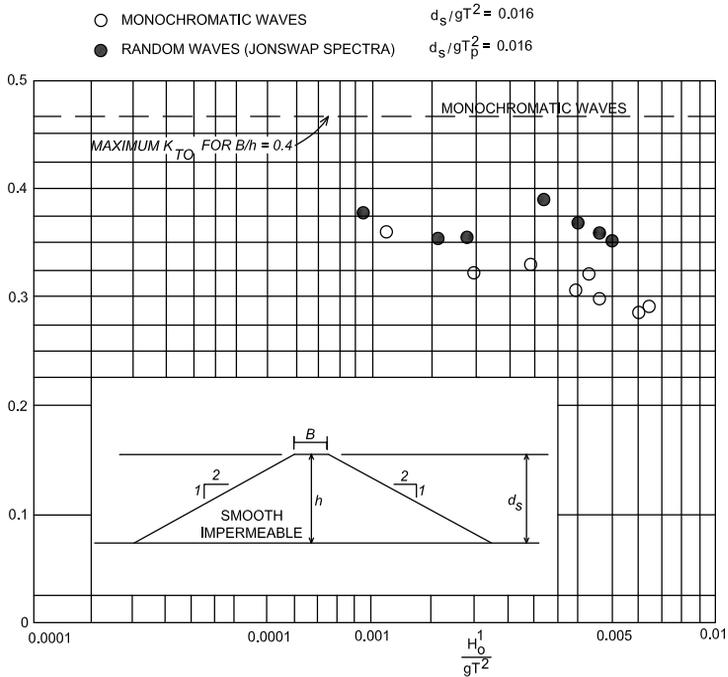


Gambar 3.28. Tinggi Gelombang Transmisi sebagai Prosentase Kejadian

Distribusi dari tinggi gelombang yang ditransmisikan untuk gelombang irregular diberikan pada Gambar 3.28 (lihat Gambar 3.29 untuk faktor koreksi) sebagai fungsi dari prosentase kejadian yang ekstrim.



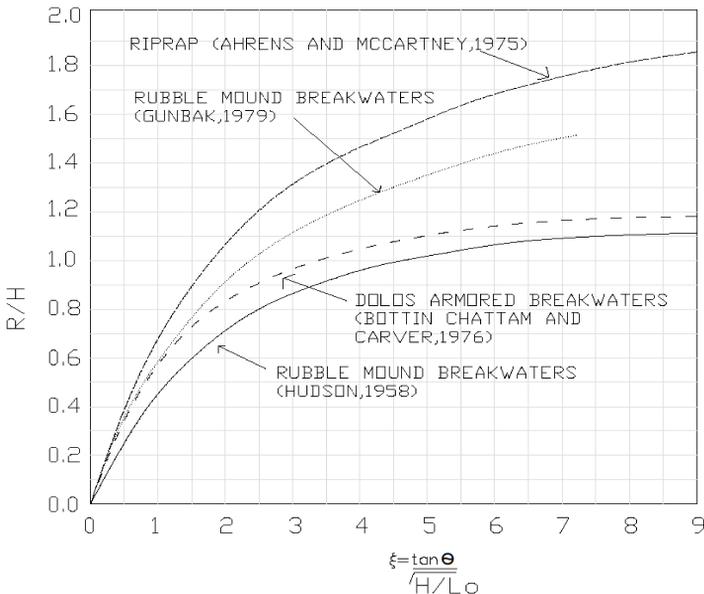
Gambar 3.29. Faktor Koreksi Gelombang Transmisi



Gambar 3.30. Transmisi Gelombang Karena Overtopping untuk Breakwater Terendam

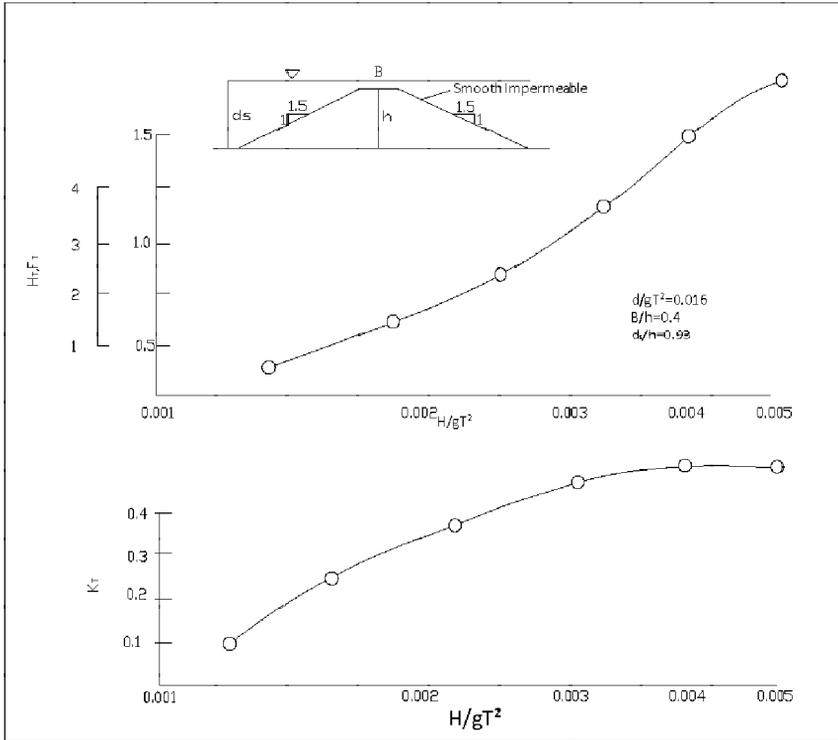
Persamaan (3.6) memberikan estimasi harga yang cukup konservatif dari K_{T0} untuk $F = 0$ dengan perkiraan nilai koefisien transmisi yang berhubungan dengan kasus ketika magnitudo dari tinggi gelombang kejadian sangat kecil. Observasi dari koefisien transmisi untuk $F = 0$ pada umumnya lebih kecil dari yang diprediksikan, dengan koefisien transmisi sebagai fungsi dari wave steepness seperti yang digambarkan pada Gambar 3.30.

Harga run-up gelombang pada persamaan (3.6) dan yang dipergunakan dengan Gambar 3.26, 3.27, 3.28, 3.29 dapat diketahui pada masalah Wave Run-up. Sedangkan run-up untuk permukaan breakwater yang kasar baik itu permeable maupun impermeable dapat diestimasi dengan menggunakan Gambar 3.31. Kurva *riprap* seharusnya dipakai untuk struktur-struktur yang cukup tinggi dengan permukaan kasar dan impermeable yang berguna untuk mengetahui pendekatan-pendekatan konservatif pada perancangan breakwater. Pada kurva-kurva yang lain seperti misalnya pada salah satu contoh yang diambil dari Hudson (1958), banyak digunakan tipe-tipe breakwater rubble-mound permeable.



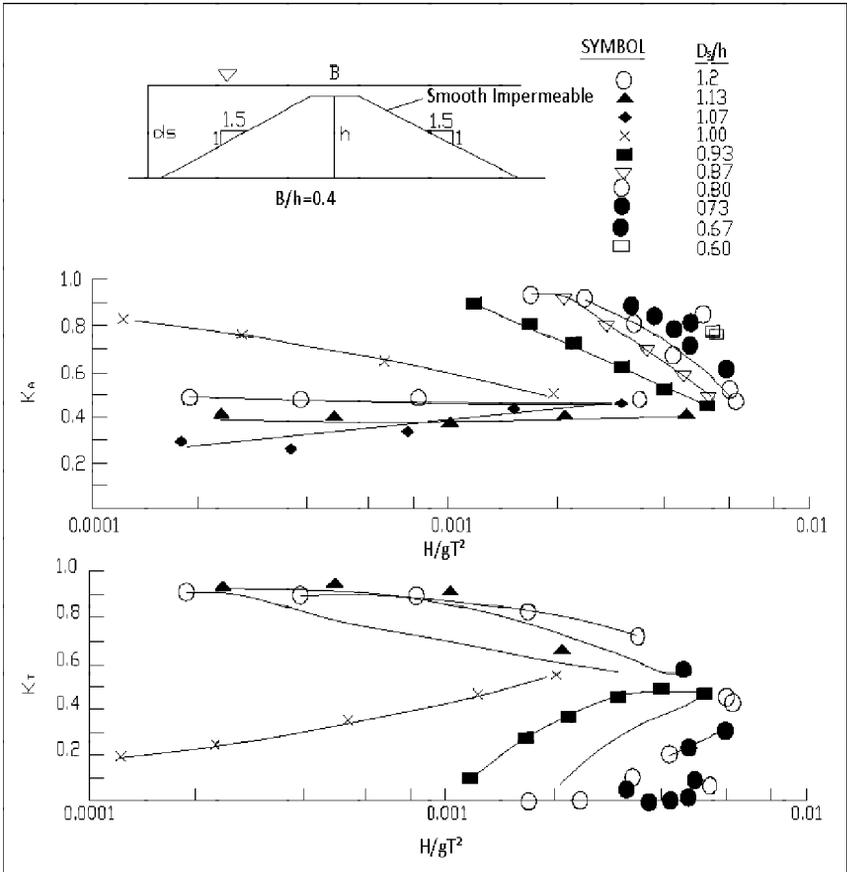
Gambar 3.31. Gelombang Run-up pada Breakwater dan Riprap

Perlu diketahui bahwa transmisi gelombang karena overtopping dari *subaerial* breakwater, transmisi tersebut menjadi lebih efisien pada penambahan tinggi gelombang saat kejadian (semua faktor-faktor dianggap konstan) sampai K_{T0} mencapai harga yang uniform (Gambar 3.32). Hal ini berlawanan dengan kecenderungan pada pengamatan yang dilakukan untuk submerged breakwater (Gambar 3.24).

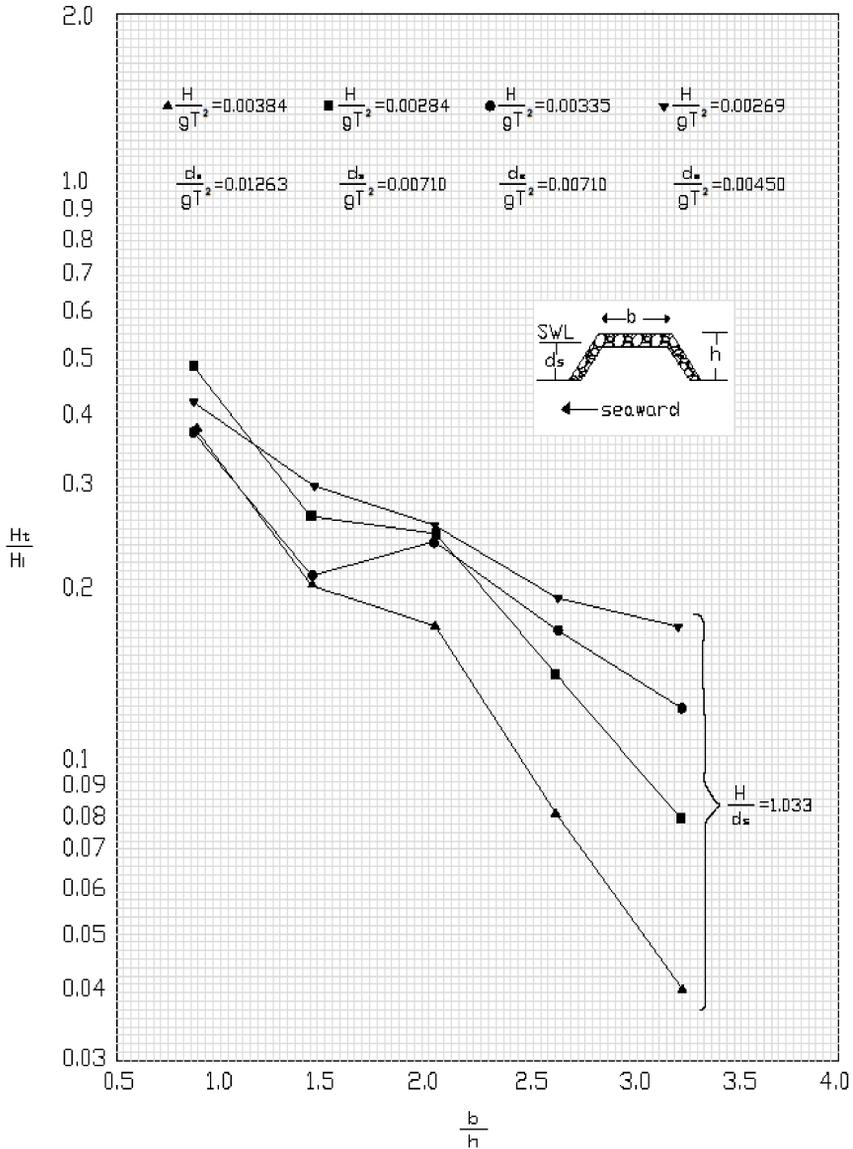


Gambar 3.32. Hasil Transmisi Gelombang yang Dipilih untuk Subaerial Breakwater

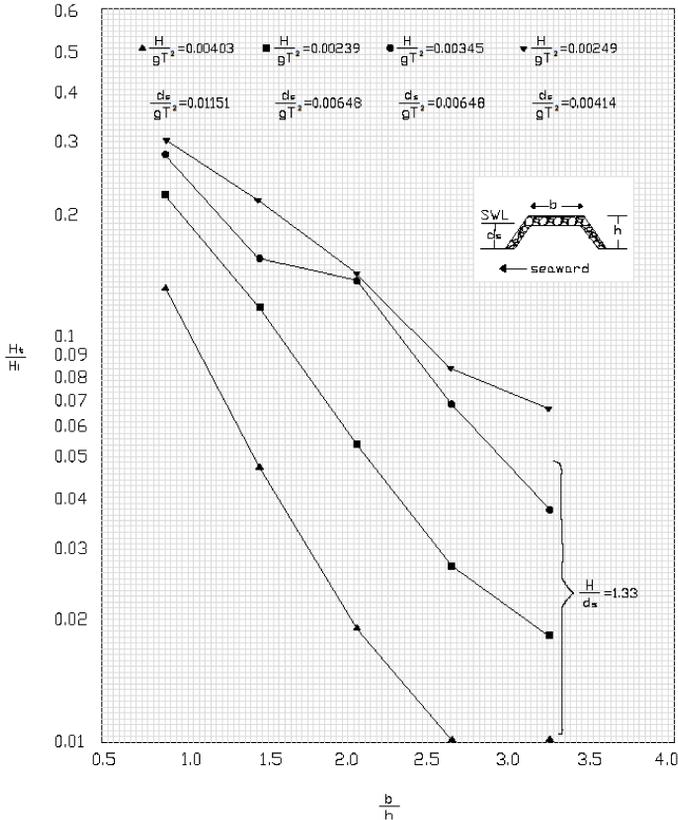
Gambar 3.33 menyimpulkan koefisien refleksi dan transmisi untuk smooth impermeable breakwater, yang meliputi submerged breakwater ($d_s/h > 1$) dan *subaerial* breakwater ($d_s/h < 1$). Beberapa contoh transmisi gelombang untuk impermeable breakwater dengan permukaan kasar ditunjukkan pada Gambar 3.34 dan Gambar 3.35.



Gambar 3.33. Contoh Gelombang Transmisi dan Kofisien Refleksi untuk Breakwater Smooth Impermeable



Gambar 3.34. Transmisi Gelombang Monokromatik pada Breakwater Rubble-Mound Impermeable untuk $H/d_s = 1.033$



Gambar 3.35. Transmisi Gelombang Monokromatik pada Breakwater Rubble-Mound Impermeable untuk $H/d_s = 1.133$

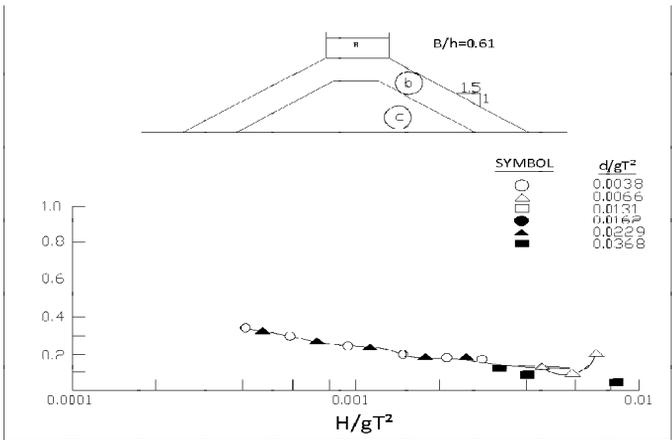
3.3.4. WAVE TRANSMISSION PADA PERMEABLE BREAKWATER

Transmisi gelombang pada permeable breakwater dapat terjadi karena transmisi yang diakibatkan overtopping maupun transmisi melewati/ menembus struktur, dimana koefisien transmisi K_T diberikan sebagai berikut:

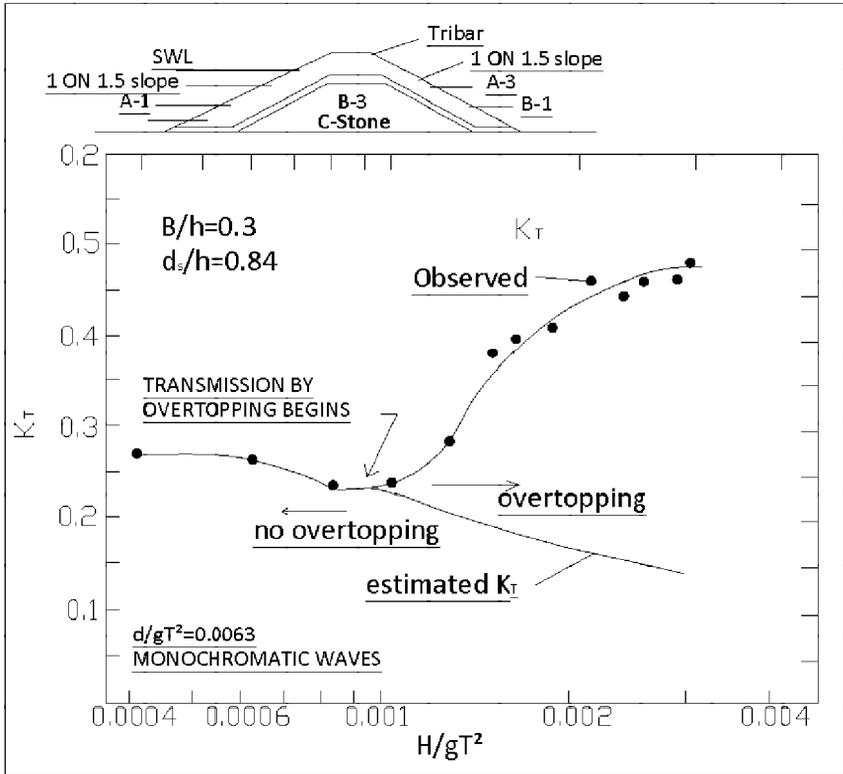
$$K_T = \sqrt{K_{T0}^2 + K_{Tt}^2} \dots \dots \dots (3.8)$$

Dimana K_{T1} adalah koefisien untuk transmisi gelombang yang menembus breakwater. Transmisi gelombang yang menembus struktur, K_{T1} adalah fungsi yang cukup kompleks dari kondisi gelombang yang meliputi: lebar struktur, ukuran, permeabilitas dan lokasi dari bermacam-macam lapisan material; ketinggian struktur; dan kedalaman perairan. *Wave steepness* yang sangat rendah seperti fenomena pasang surut, kemungkinan mengakibatkan penetrasi yang cukup besar dari transmisi gelombang ($K_{T0} \approx 1,0$), ketika *wind waves* dapat meredam cukup efektif. *Storm waves* lokal yang terjadi dan steepness yang cukup tinggi mungkin berpengaruh dengan rendahnya koefisien transmisi (Gambar 3.36), yang mana dapat dijelaskan dengan banyaknya permeable breakwater pada pantai-pantai yang dilindungi.

Ketika transmisi akibat overtopping terjadi kecenderungan yang berlawanan dapat dijelaskan sebagai koefisien transmisi bertambah seiring dengan bertambahnya tinggi gelombang kejadian, untuk semua faktor yang telah ditetapkan. Sebagai contoh Gambar 3.37 menunjukkan kasus transmisi gelombang pada breakwater armored dan tribar. Harga K_{T1} yang semula berkurang, kemudian segera bertambah seiring dengan transmisi yang disebabkan oleh overtopping mulai terjadi. Harga koefisien yang besar pada contoh ini diakibatkan karena besarnya porositas pada tribar armor.



Gambar 3.36. Transmisi Gelombang Melewati Breakwater Rubble-Mound ($d_s/H_s = 0.09$)



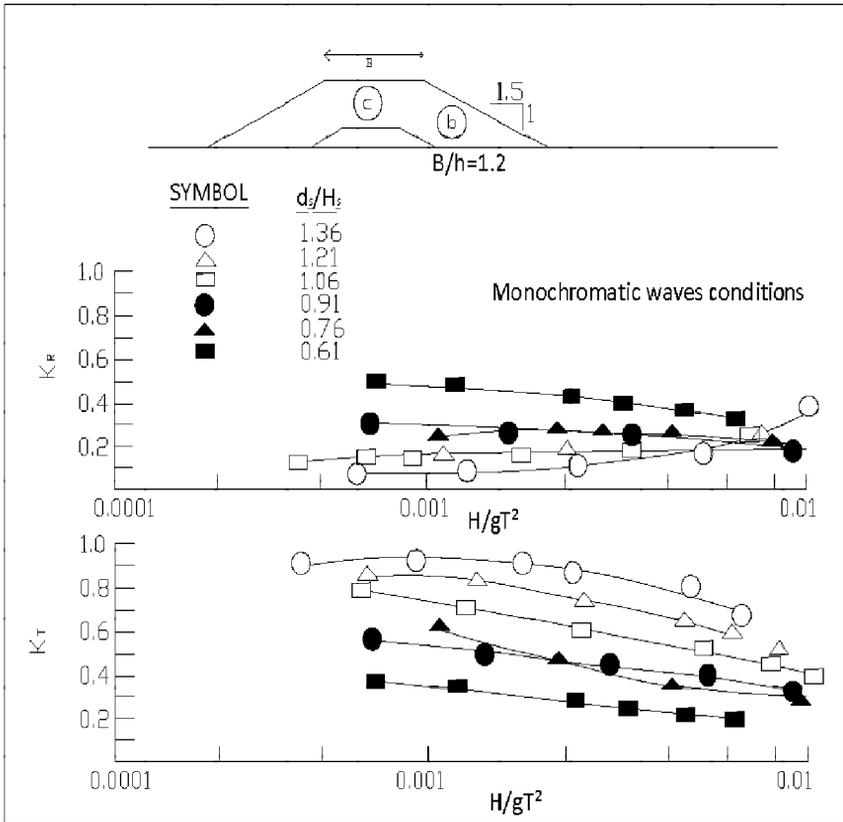
Gambar 3.37. Transmisi Gelombang pada Breakwater yang Menggunakan Armor Tribar (Davidson, 1969)

3.3.5. ESTIMASI KOEFISIEN TRANSMISI GELOMBANG UNTUK PERMEABLE BREAKWATER

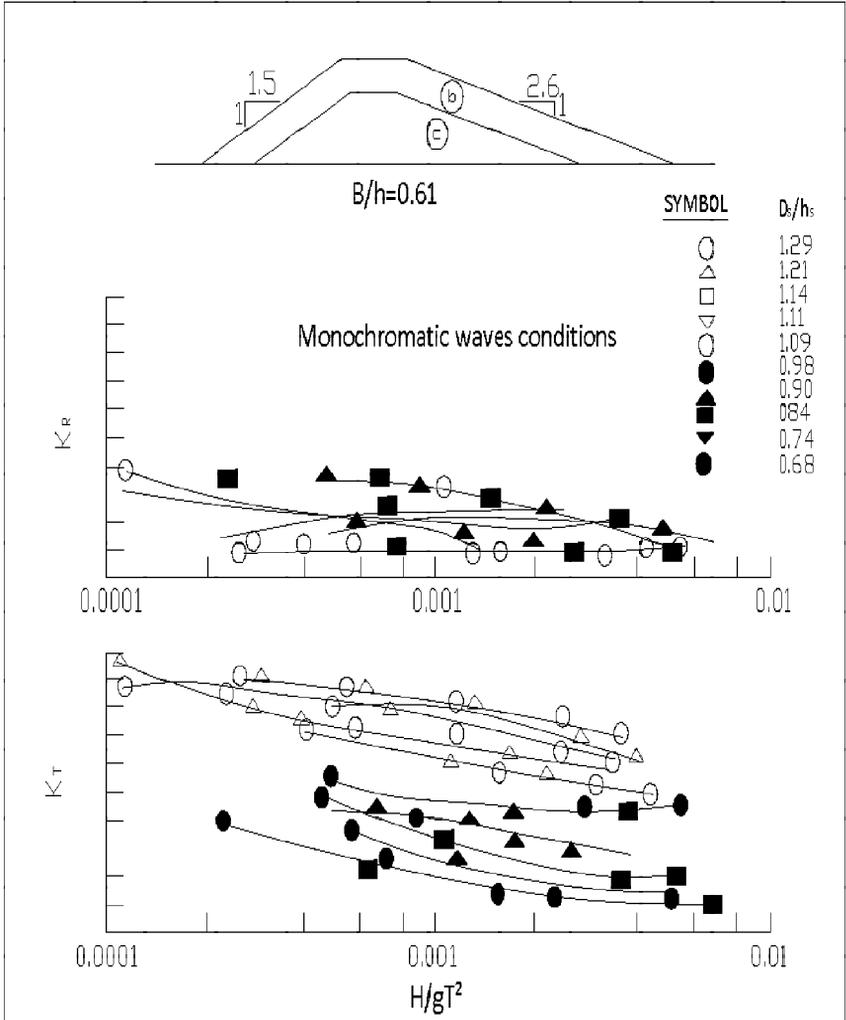
Ada beberapa pendekatan untuk mengestimasi koefisien transmisi pada permeable breakwater:

- (1). Pendekatan pertama adalah menggunakan hasil dari studi model yang telah dilakukan sebelumnya. Pada Gambar 3.38 diberikan contoh koefisien transmisi dan refleksi pada breakwater dengan

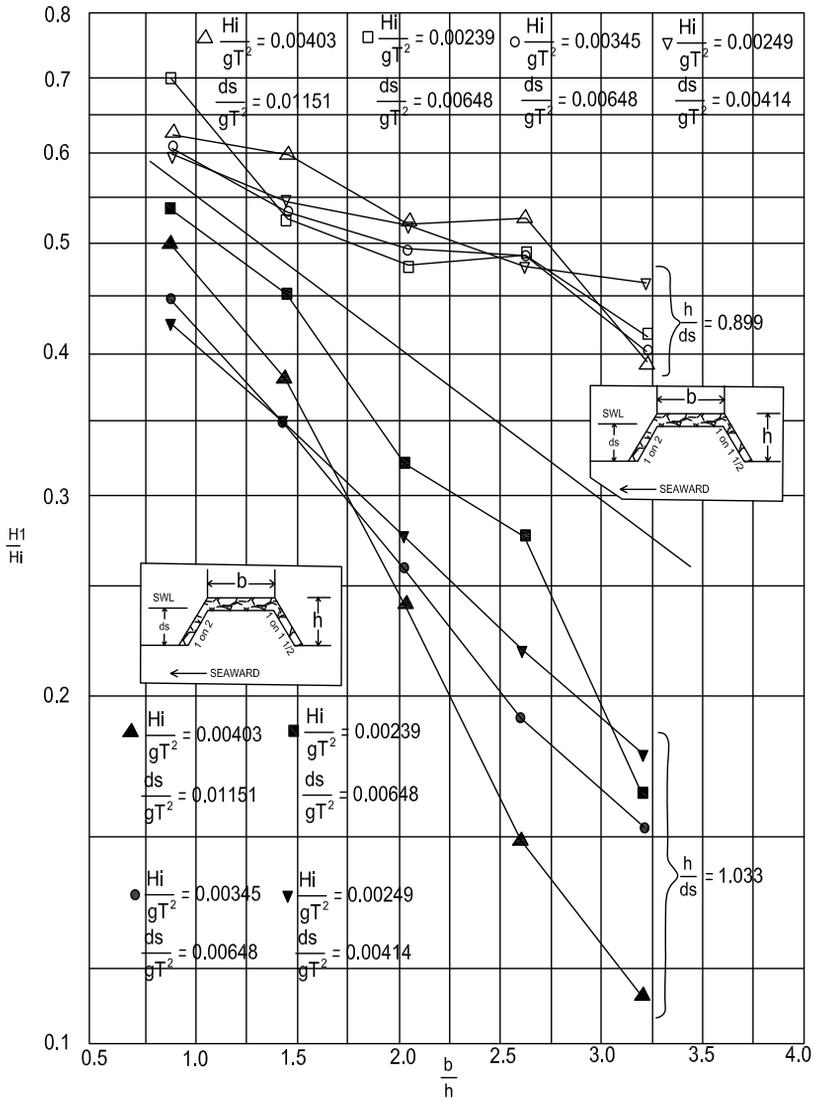
sudut kemiringan menghadap arah gelombang cukup datar yang mana struktur ini dibangun untuk perairan dalam. Contoh yang lain terdapat pada struktur yang disusun dengan armor utama (besar) yang dibangun pada perairan relatif dangkal, seperti diilustrasikan pada Gambar 3.39. Contoh-contoh lain menunjukkan pengaruh dari ketinggian dan lebar struktur seperti ditampilkan pada Gambar 3.40 dan 3.41.



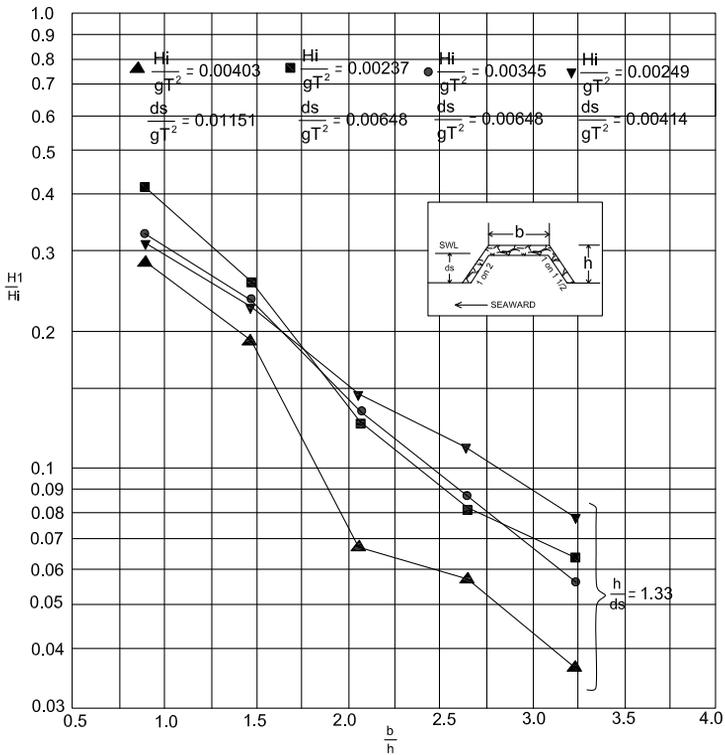
Gambar 3.38. Transmisi Gelombang dan Koefisien Refleksi Untuk Breakwater Kemiringan Datar Perairan Intermediate ($d/gT^2 = 0.015$)



Gambar 3.39. Transmisi Gelombang dan Koefisien Refleksi untuk Armor Breakwater pada Perairan Dangkal ($d/gT^2 = 0,016$)

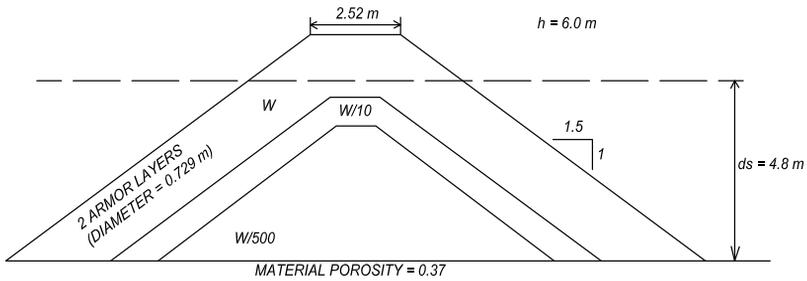


Gambar 3.40. Transmisi Gelombang Monokromatik pada Breakwater Rubble-Mound Impermeable untuk $\frac{h}{d_s} = 1.03$

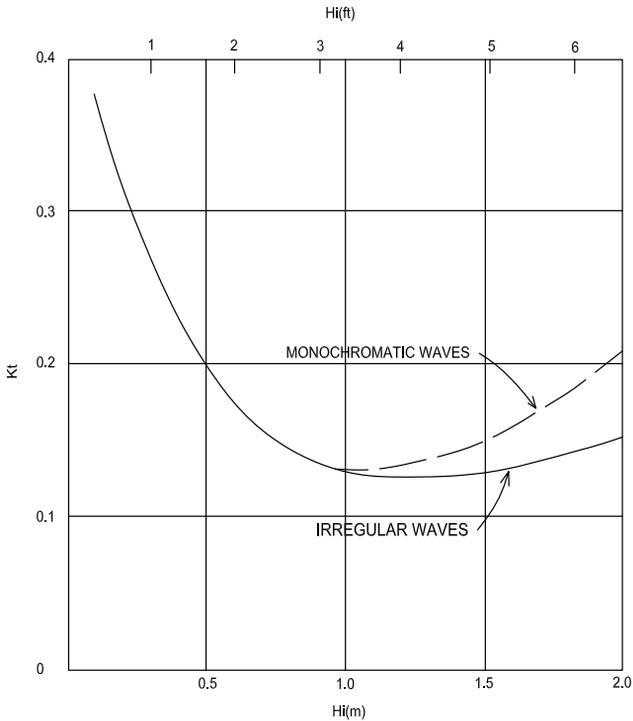


Gambar 3.41. Transmisi Gelombang Monokromatik pada Breakwater Rubble-Mound Impermeable untuk $h/d_s = 1.33$

- (2). Pendekatan yang lain adalah penggunaan program komputer (Seelig, 1979). Program ini menggunakan model Madsen dan White (1976). Transmisi gelombang akibat overtopping seperti yang dijelaskan sebelumnya berguna untuk mengestimasi koefisien transmisi lokal. Keuntungan dari program komputer (Seelig, 1976) adalah dapat digunakan untuk membuat *preliminary evaluation* dari berbagai aspek pada alternatif perancangan struktur, water levels dan kondisi gelombang secara singkat dengan biaya murah. Contoh hasil prediksi oleh program komputer ditunjukkan pada Gambar 3.42.



BREAKWATER CROSS SECTION

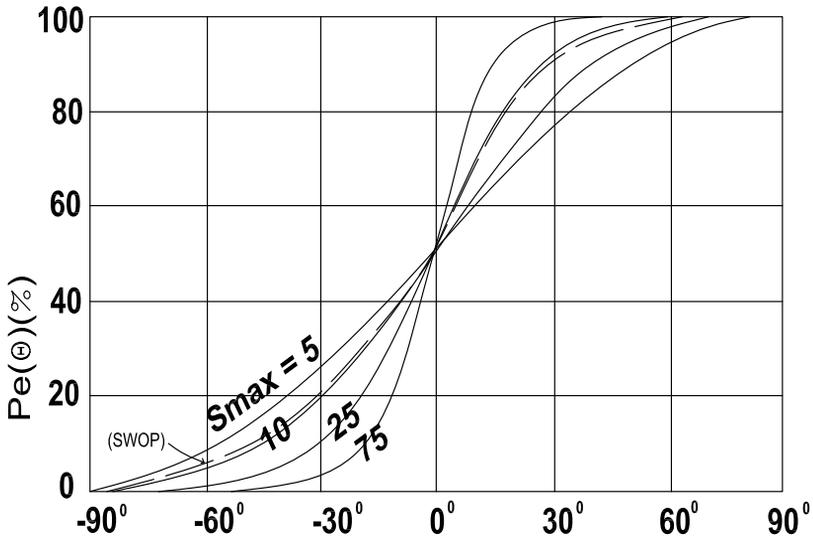


Gambar 3.42. Perkiraan Koefisien Transmisi Gelombang pada Breakwater Rubble-Mound dengan Menggunakan Program Komputer MADSEN

- (3). Studi laboratorium dengan menggunakan model berskala juga direkomendasikan apabila cukup layak, biasanya dilakukan pada final design. Keuntungan dari studi model fisik adalah stabilitas struktur, transmisi gelombang dan refleksi gelombang dapat diketahui pada tiap seri pengujian/ model tes (Hudson et al., 1974).

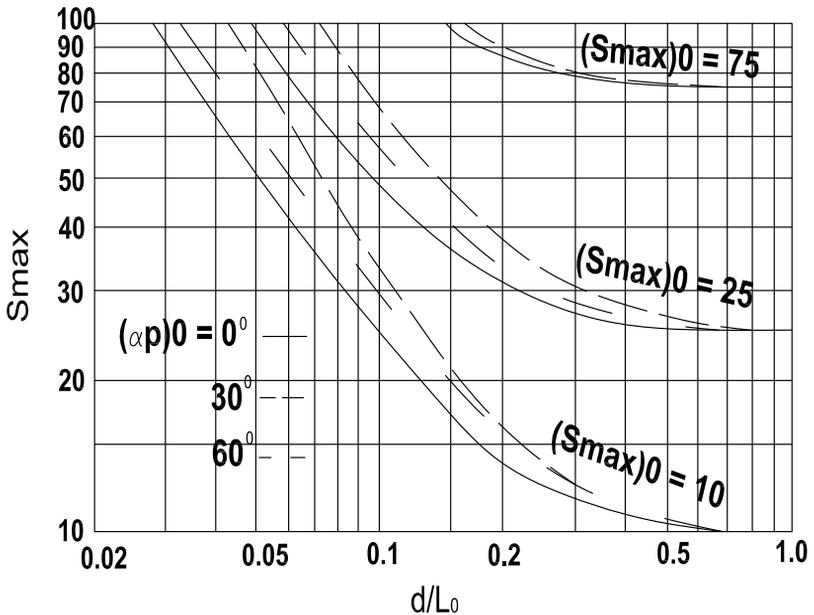
3.3.6. DIFRAKSI WAVE SPECTRA

Difraksi gelombang monokromatik disekitar semi-infinite breakwater dan menembus celah-celah breakwater pada variasi lebarnya akan menimbulkan banyak gelombang yang mempunyai bermacam-macam frekuensi, masing-masing penjalaran dengan arah yang tertentu. Goda, Takayama dan Suzuki (1973) mempunyai diagram-diagram perhitungan difraksi untuk penjalaran dari gelombang irregular dan directional pada semi-infinite breakwater yang menembus celah-celah breakwater. Diagram-diagram yang berdasarkan pada difraksi frekuensi by frekuensi oleh Mitsuyasu yang telah dimodifikasi spektrum Bretschneider (Bretschneider, 1968; Mitsuyasu, 1968). Hasilnya ternyata tidak begitu sensitif sesuai dengan bentuk spektrum, sehingga kemungkinan mereka juga berkenan dengan spektrum JONSWAP. Hasil dari pendekatan ini lebih mendekati penyebaran yang lebih terarah dari spektrum. Penyebaran ini dapat ditangkap dari parameter, S_{max} . Harga yang kecil dari S_{max} menunjukkan penyebaran yang terarah lebih banyak/ luas, sebaliknya harga yang besar dari S_{max} menunjukkan pendekatan pada gelombang unidirectional. Untuk *wind wave* pada daerah pembangkitan, $S_{max} = 10$; pada swell dengan jarak pengurangan yang panjang/ jauh (mendekati unidirectional waves), $S_{max} = 75$. Banyaknya penyebaran yang terarah untuk beberapa harga S_{max} ditunjukkan pada Gambar 3.43.



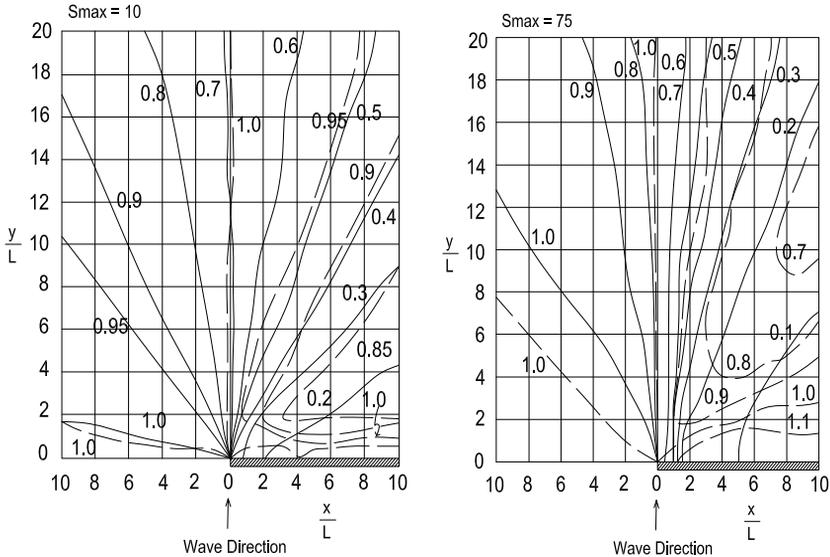
Gambar 3.43. Ponding untuk Breakwater Impermeable Smooth dengan $F = 0$

Harga dari S_{max} , atau equivalen dengan banyaknya directional spreading akan dimodifikasi dengan adanya refraksi. Perubahan harga S_{max} karena refraksi tergantung pada kedalaman air setempat dan pada arah kedalaman perairan penjalaran gelombang yang relatif terhadap garis pantai. Untuk refraksi karena kontur yang lurus terhadap garis pantai, kontur dasar paralel, perubahan S_{max} diberikan pada Gambar 3.44 sebagai fungsi dari d/L untuk gelombang perairan dalam yang membentuk sudut 0; 30; dan 60 derajat terhadap garis pantai.



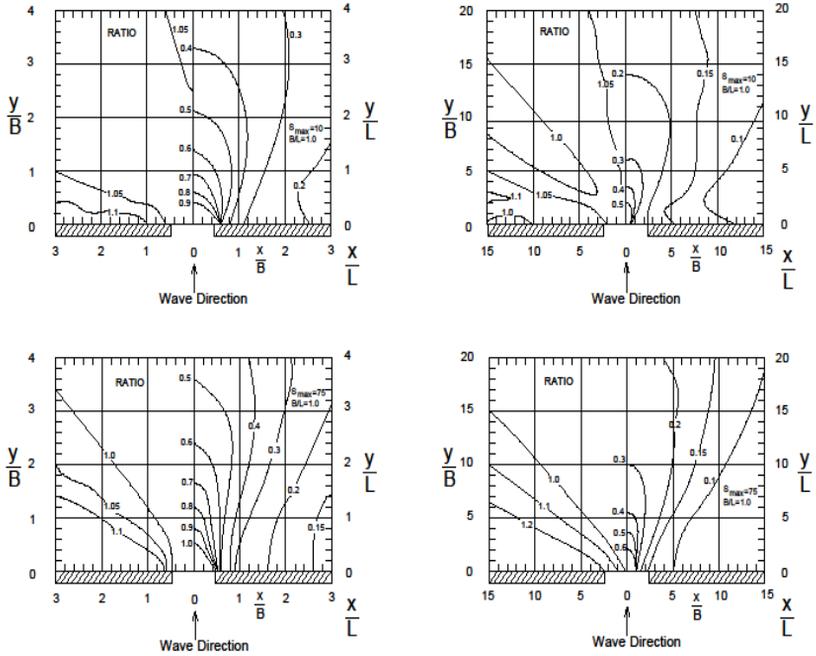
Gambar 3.44. Perubahan Parameter Konsentrasi Direksional Maksimum Karena Refraksi Gelombang di Perairan Dangkal

Difraksi gelombang hampir mendekati tegak lurus semi-infinite breakwater seperti ditunjukkan pada Gambar 3.45a dan Gambar 3.45b untuk masing-masing nilai $S_{max} = 10$ dan $S_{max} = 75$. Sebagai tambahan untuk kontur koefisien difraksi, pada Gambar menunjukkan kontur-kontur yang mempunyai rasio periode gelombang yang sama. Untuk difraksi gelombang irregular ada perubahan pada periode (atau frekuensi) densitas energi maksimum (periode atau frekuensi berhubungan dengan puncak spektrum) karena perbedaan frekuensi mempengaruhi perbedaan koefisien difraksi pada satu titik tetap di belakang breakwater. Sehingga pada gelombang monokromatik yang kontras akan ada perubahan pada karakteristik atau periode max.

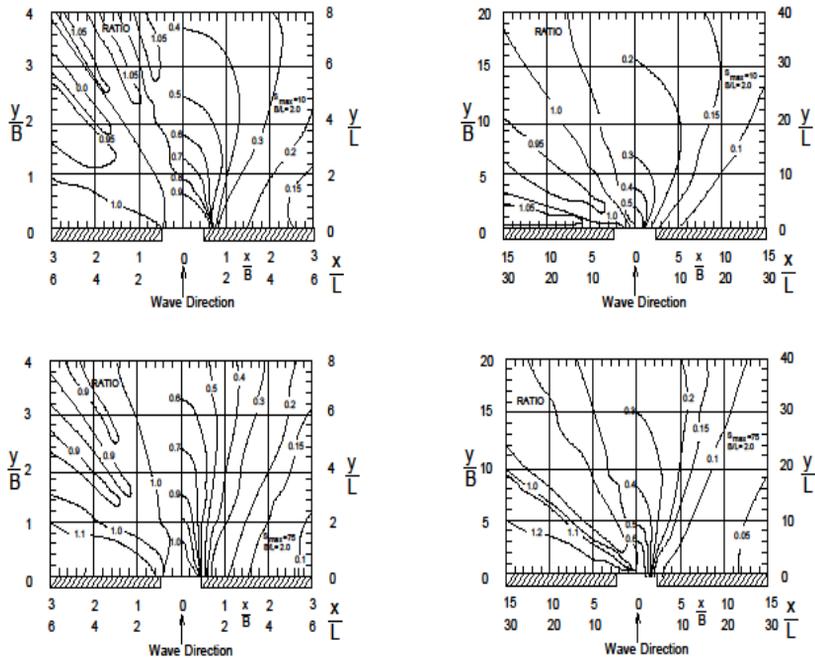


Gambar 3.45. Diagram Difraksi Breakwater Semi-Infinite untuk Gelombang Acak pada Kejadian Normal

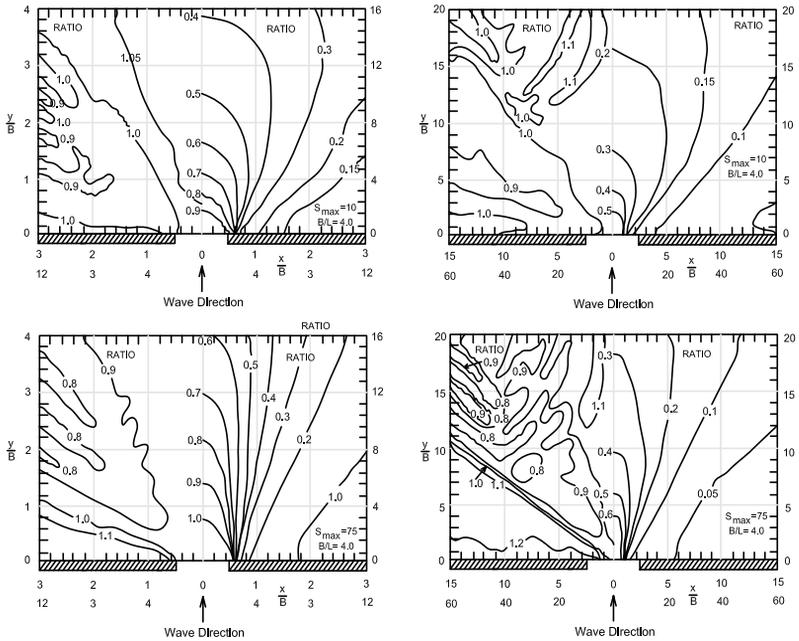
Difraksi directional spectra yang menembus celah breakwater yang mempunyai lebar bervariasi ditunjukkan pada Gambar 3.46 sampai Gambar 3.49. Masing-masing gambar menunjukkan lebar celah yang berbeda dan juga menunjukkan bentuk difraksi untuk directional spreading yang luas ($S_{max} = 10$) maupun directional spreading yang sempit ($S_{max} = 75$). Pada diagram ditunjukkan untuk daerah di dekat celah (0 sampai 4 celah di belakang breakwater) dan untuk area yang lebih luas (berjarak 20 lebar celah). Masing-masing diagram dibagi menjadi dua bagian, sisi kiri menunjukkan rasio periode dan sisi kanan menunjukkan bentuk yang simetris terhadap *center line* dari celah. Semua diagram yang ditunjukkan berlaku hanya untuk kejadian gelombang yang normal, misalkan center dari bentuk directional spreading yang ada adalah *center line* sepanjang celah breakwater.



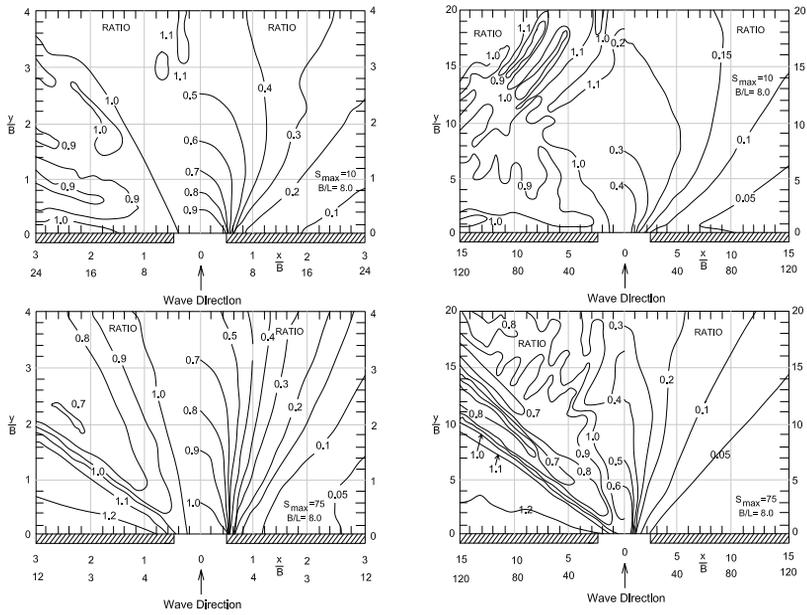
Gambar 3.46. Diagram Difraksi pada Celah Breakwater dengan $B/L = 1$ untuk Gelombang Acak Kejadian Normal



Gambar 3.47. Diagram Difraksi pada Celah Breakwater dengan $B/L = 2$ untuk Gelombang Acak Kejadian Normal



Gambar 3.48. Diagram Difraksi pada Celah Breakwater dengan $B/L = 4$ untuk Gelombang Acak Kejadian Normal



Gambar 3.49. Diagram Difraksi pada Celah Breakwater dengan $B/L = 8$ untuk Gelombang Acak Kejadian Normal

BAB IV

SISTEM PERLINDUNGAN PANTAI

4.1 UMUM

Erosi pantai merupakan salah satu permasalahan di daerah pantai yang harus mendapatkan perhatian yang besar dari semua pihak baik pemerintah pusat, pemerintah daerah, maupun masyarakat yang tinggal di daerah pantai dan sekitarnya . Karena erosi ini dapat menimbulkan kerugian yang sangat besar berupa rusaknya kawasan pemukiman dan fasilitas-fasilitas yang ada di daerah tersebut

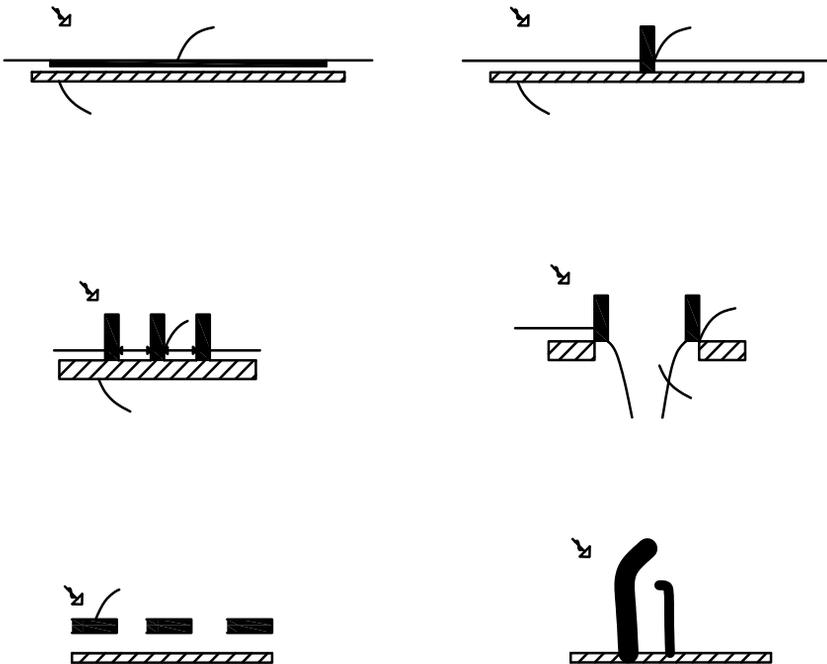
Untuk menanggulangi erosi pantai, langkah pertama yang harus dilakukan adalah mencari penyebab terjadinya erosi. Dengan mengetahui penyebabnya, selanjutnya dapat ditentukan cara penanggulangannya, yang biasanya adalah dengan membuat bangunan pelindung pantai dan atau menambah suplai sedimen serta melakukan pengelolaan pantai secara terpadu.

Bangunan pantai yang dibangun dapat digunakan untuk melindungi pantai terhadap kerusakan karena serangan gelombang dan arus maupun untuk kepentingan lainnya seperti fasilitas untuk menarik wisatawan khususnya untuk daerah pantai wisata. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk melindungi pantai, yaitu :

- a. Memperkuat / melindungi muka pantai agar mampu menahan serangan gelombang,
- b. Mengubah laju transportasi sedimen pantai,
- c. Mengurangi energi gelombang yang sampai ke pantai,
- d. *Beach nourishment* dengan menambah suplai sedimen ke pantai,
- e. Melakukan penghijauan (reboisasi) daerah pantai.

Berdasarkan fungsinya bangunan pantai secara umum dapat diklasifikasikan dalam tiga kelompok (lihat gambar 4.1) yaitu :

- a. Konstruksi yang dibangun di pantai dan sejajar dengan garis pantai,
- b. Konstruksi yang dibangun kira kira tegak lurus pantai dan berhubungan dengan pantai,
- c. Konstruksi yang dibangun dilepas pantai dan kira kira sejajar dengan garis pantai.



Gambar 4.1. Klasifikasi bangunan pelindung pantai (Derajat, 2000)

Dalam Proses *beach nourishment* diperlukan pengerukan (dredging) dan reklamasi. Pengerukan adalah kegiatan pemindahan bahan/material dari suatu lingkungan perairan dengan menggunakan alat keruk darat dan terapung, sedangkan reklamasi dalam proses *beach nourishment* adalah penempatan supai material untuk mengembangkan garis pantai ke arah laut.

4.2 FAKTOR FAKTOR PENYEBAB EROSI PANTAI

Informasi tentang faktor-faktor penyebab terjadinya erosi sangat berguna untuk mengatasi permasalahan yang terjadi dipantai. Informasi ini bisa diperoleh dari hasil wawancara masyarakat setempat, pemerintah daerah setempat maupun dengan cara menganalisa data lingkungan dan kondisi pantai (Pratikto, dkk, 1996). Seperti telah diketahui bahwa dalam melakukan perencanaan bangunan pantai langkah pertama yang harus diambil adalah menganalisa sebab-sebab timbulnya permasalahan pantai tersebut. Erosi pantai dapat terjadi oleh berbagai sebab, secara umum sebab erosi tersebut dapat dikelompokkan menjadi dua hal, pertama sebab-sebab secara alami dan sebab-sebab buatan yang disebabkan oleh aktivitas manusia.

1. Sebab-sebab secara alamiah, meliputi:

a. Naiknya muka air laut

Naiknya muka air laut dalam jangka panjang terjadi dibanyak tempat di dunia. Kenaikan muka air relatif, terhadap daratan, dapat terjadi karena turunnya muka tanah (*land Subsidence*) atau karena muka air laut yang naik secara absolut. Akibat naiknya muka air laut tersebut, maka garis pantai secara perlahan mundur ke arah laut.

b. Perubahan supply sedimen

Supply sedimen ke daerah pantai dapat berasal dari darat (*clastic sediment*) atau dari laut (*biogenic sediment*). Berubahnya supply sedimen blastik ke pantai dapat terjadi karena proses alami pelapukan batuan didarat atau debit Sungai yang mengangkut sedimen berkurang. Berkurangnya supply sedimen dari laut dapat terjadi karena daerah karang yang rusak atau pertumbuhan karang terhambat.

c. Gelombang Badai

Gelombang badai dapat menyebabkan erosi pantai. Pada saat badai terjadi, arustegak lurus pantai yang cukup besar yang mengangkut ke arah tegak lurus pantai. Umumnya proses erosi yang terjadi akibat gelombang badai ini berlangsung dalam waktu singkat tetapi temporer karena material yang tererosi akan tertinggal di *surf zone* dan akan kembali ke pantai ketika gelombang tenang (*Swell*). Namun apabila dilepas pantai batimetrinya sangat terjal, atau terdapat palung palung pantai, maka sedimen yang terbawa ke laut akan mengisis daerah yang dalam tersebut dan tidak sampai ke pantai

d. Overwash

Overwash terjadi pada saat pasang tinggi yang kadang kadang disertai gelombang yang cukup tinggi membentur pantai dan melimpas diatas lidah pasir atau *dune*. Akibat limpasan (*overwash*) tersebut lidah pasir pantai akan tererosi dan biasanya diendapkan sebagai endapan kipas disisi dalam lidah pasir.

e. Angkutan sejajar pantai

Karena aktivitas gelombang, dapat terjadi pemilihan (*sorting*) material pantai akan berubah sesuai dengan gradasi butiran dan keadaan lingkungan gelombangnya. Perubahan landai pantai berarti berubahnya garis pantai, atau pantai akan mengalami erosi/akresi.

f. Angkutan oleh angin

Angkutan sedimen oleh angin ke darat dapat mengakibatkan erosi pantai. Selain itu angin berperan mendistribusikan pasir pantai ke arah sejajar pantai.

Apabila suplay pasir dari suatu tempat lebih kecil dari kapasitas angkutan angin, maka akan terjadi erosi pada pantai tersebut.

2. Sebab-sebab buatan, meliputi :

a. Penurunan tanah

Penurunan tanah dapat terjadi akibat perbuatan manusia, misalnya karena pengambilan air tanah secara tak terkendali, atau penambangan minyak dan bahan mineral lainnya.

b. Penggalian pasir

Salah satu sebab erosi pantai yang banyak terjadi adalah penggalian pasir dan mineral lainnya dari daerah pesisir dan pantai. Penggalian pasir di daerah dune dan spit akan mengurangi "*cadangan*" pasir di daerah tersebut, akibatnya garis pantai akan tererosi.

c. Interupsi angkutan sejajar pantai

Interupsi angkutan sejajar pantai dapat terjadi karena pembuatan bangunan tegak lurus pantai. Bangunan tegak lurus pantai menahan angkutan sedimen dari daerah hulu, sehingga bagian hilir akan kekurangan sedimen, akibatnya akan terjadi akresi di hulu dan erosi di hilir bangunan.

d. Pengurangan suplay sedimen ke pantai

Suplay sedimen ke hilir dari sungai dapat berkurang karena aktivitas manusia di darat, seperti pembuatan bendungan, pengaturan aliran sungai, dan sebagainya. Karena suplay sedimen berkurang, sedangkan kapasitas angkutan sedimen tetap, maka akan terjadi pengangkutan material pantai.

e. Pemusatan energi gelombang di pantai

Pembuatan bangunan pantai dapat mengakibatkan terjadinya pemusatan energi gelombang di daerah tersebut, akibatnya akan terjadi erosi.

f. Perusakan pelindung alam

Pada umumnya pantai menyediakan pelindung alami, baik berupa tumbuhan bakau maupun cadangan pasir dalam bentuk dune. Perusakan tanaman bakau dan penggalian dune mengakibatkan daerah belakang pantai terbuka terhadap gelombang, sehingga daerah yang tak terlindung tersebut tak tahan terhadap gempuran gelombang.

4.3 PEMILIHAN SISTEM PERLINGUNGAN PANTAI

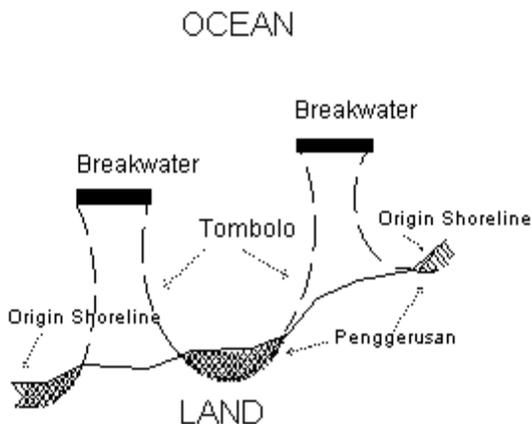
Dalam pemilihan sistem perlindungan pantai pada lokasi pantai tertentu agar bangunan dapat berfungsi secara optimal, maka perlu mempertimbangkan hal hal berikut (Darajat, 2000) :

- a. Penyebab kerusakan pantai
- b. Tujuan yang ingin dicapai
- c. Efektifitas bangunan
- d. Bahan-bahan bangunan yang tersedia di sekitar lokasi studi
- e. Karakter gelombang (tinggi gelombang, periode dan arah datangnya)
- f. Kelestarian lingkungan
- g. Aktivitas masyarakat di sekitar kawasan studi
- h. Estetika pantai

Adapun alternatif bangunan pantai tersebut dapat meliputi :

1. Detached breakwater

Cara pengurangan tenaga gelombang yang menghantam pantai dapat dilakukan dengan membuat bangunan pemecah gelombang sejajar pantai (*detach breakwater*). Dengan adanya bangunan ini gelombang yang datang menghantam pantai sudah pecah pada suatu tempat yang agak jauh dari pantainya, sehingga energi gelombang yang datang sampai di pantai cukup kecil. Detach breakwater selain untuk melindungi hantama gelombang juga dapat untuk menahan sedimen yang kembali ke laut yang disebabkan oleh arus laut (*onshore – offshore transport*). Lama kelamaan sedimen yang tertahan tersebut menumpuk dan membentuk tombolo (lihat gambar 4.2). Tombolo ini nantinya berfungsi sebagai penahan sedimen sejajar pantai, tapi pembentukan tombolo ini memerlukan waktu lama.



Gambar 4.2. Pembentukan Tombolo pada pantai yang dipasang Detach breakwater (pratikto, dkk, 1996)

2. Groin

Bangunan elindung ini berfungsi menangkap *longshore san transport* sehingga tidak efektif menghentikan laju erosi pada pantai berlumpur dan tidak efektif untuk merubah karakter *surfzone* sehingga tinggi gelombang sepanjang pantai tidak berubah.

3. Reverment, Seawall dan Bulkhead

Perkuatan tebing dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya adalah dengan pemasangan "*revertment*" dan "*seawall*" ataupun "*bulkhead*". Bangunan tersebut berfungsi untuk melindungi tanah dibelakang *seawall / revertment* tersebut dari gempuran gelombang. Kelemahan bangunan ini adalah kemungkinan terjadinya penggerusan yang cukup dalam di kaki bangunan, sehingga dapat mengganggu stabilitas bangunan. Oleh karena itu pada bagian kaki bangunan ini harus dibuatkan sautu perlindungan erosi (*toe protection*) yang cukup baik.

4. Beach Nourishment

Beach nourishment merupakan sistem pengaman pantai dengan cara memindahkan sedimen dari suatu tempat ke tempat yang mengalami erosi atau mengembalikan keadaan dengan memberikan sejumlah sedimen dari sumber lain. Keuntungan yang didapat dari sistem pengaman pantai dengan *sand nourishment* yaitu dari segi pelaksanaannya yang sederhana. Sedangkan kerugiannya adalah dari seg biaya dimana pengamanan pantai dengan *sand nourishment* membutuhkan material yang cukup banyak.

5. Reboisasi

Penanaman tumbuhan pelindung pantai seperti pohon bakau atau pohon api-api sangat cocok untuk pantai lumpur atau lempung. Pohon bakau selain dapat mematahkan energi gelombang juga bermanfaat untuk beberapa hal seperti : 1) perlindungan dan pelestarian terhadap kehidupan pantai, seperti ikan, burung dan satwa-satwa lain yang hidup di daerah tersebut, 2) membantu mempercepat pertumbuhan pantai karena lumpur yang terbawa air dapat diendapkan di sela sela akar, 3) sebagai daerah "*green belt*" yang dapat berfungsi sebagai daerah produksi oksigen.

BAB V

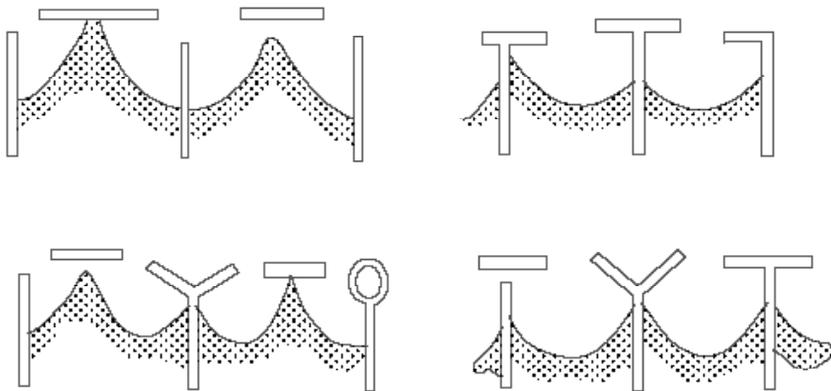
GROINS

5.1. UMUM

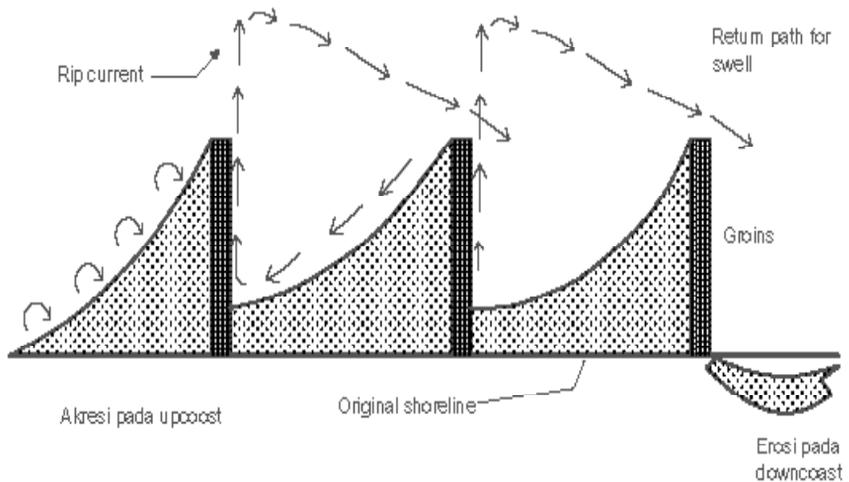
Groins merupakan suatu bangunan pelindung pantai yang direncanakan untuk menangkap transportasi sedimen sejajar pantai dan dibangun tegak lurus pantai. Groins ini dapat memberikan atau memperlebar pantai dengan menahan sedimen sejajar pantai (*littoral drift*) atau dapat menstabilkan dan mengendalikan erosi pada daerah garis pantai dengan mengurangi kecepatan hilangnya sedimen pantai. Oleh karena itu groins sangat efektif jika erosi pantai yang terjadi disebabkan oleh akibat transportasi sedimen sejajar pantai yang terganggu dengan material pantai berupa pasir. Apabila transportasi sedimen tegak lurus pantai atau dari pantai menuju lepas pantai atau sebaliknya (*offshore – onshore transport*) dan atau material pantai berupa lumpur atau tanah liat, maka groins tidak akan memberikan kontribusi positif terhadap perlindungan pantai.

Bentuk dari groins sendiri bermacam – macam yaitu berbentuk huruf I, L, T, dan Y (Lihat gambar 5.1) , Pemasangannya bisa dikombinasikan dengan break water. Jika groins tersebut ada tambahan struktur melintang diujungnya disebut groins bentuk T, struktur tambahan ini diperlukan jika groins cukup panjang melebihi daerah transportasi sedimen samping itu juga dapat berfungsi sebagai peredam gelombang. Kelemahan groins adalah terjadinya erosi dibagian hilir (*down drift*) groins, sehingga untuk melindungi suatu pantai secara menyeluruh harus dipertimbangkan sejauh mana pantai harus dipasang groin tersebut.

Berikut ini merupakan konstruksi groins yang tegak lurus pantai, seperti yang ditunjukkan dalam gambar 5.2 akumulasi pasir dapat diperoleh pada bagian *upcoast* dan erosi terjadi pada *downcoast*, kenyataan ini sangat dipengaruhi oleh arah dari *longshore transport* akibat pengaruh sudut gelombang datang. Namun material (pasir) yang ditahan diantara groins tersebut akan beresiko jika datang gelombang badai yang bertiup kencang dari berbagai arah dan akan membentuk garis pantai yang baru. *Longshore current* yang ditangkap oleh masing masing groins (lihat gambar 5.2) akan dipantulkan ke laut dalam bentuk *rip current*. Ini akan membawa material lepas pantai (*offshore material*) dalam volume yang besar dan selanjutnya tertahan digaris pantai yang lama. Sebaliknya saat *rip current* menuju ke lepas pantai juga akan mengikis pantai dan membawa material pantai menuju lepas pantai sehingga daerah pantai akan tererosi. Material pantai yang tertangkap di masing-masing groins ukurannya sangat bervariasi, pada groins 1 akan ditangkap material yang cukup besar jika longshore current terjadi cukup kuat maka material yang lebih kecil akan terbawa arus dan selanjutnya akan ditangkap oleh groins ke 2 dan seterusnya hingga akhirnya groins yang terakhir akan menangkap material yang paling kecil di daerah kaki groins yang terakhir akan tererosi dan untuk mengatasi erosi (*scouring*) pada kaki groins ini perlu diberikan *toe protection*.



Gambar 5.1. Bentuk – bentuk bangunan Groins (silvester,1997)



Gambar 5.2. konstruksi groins yang menunjukkan daerah akresi dan erosi

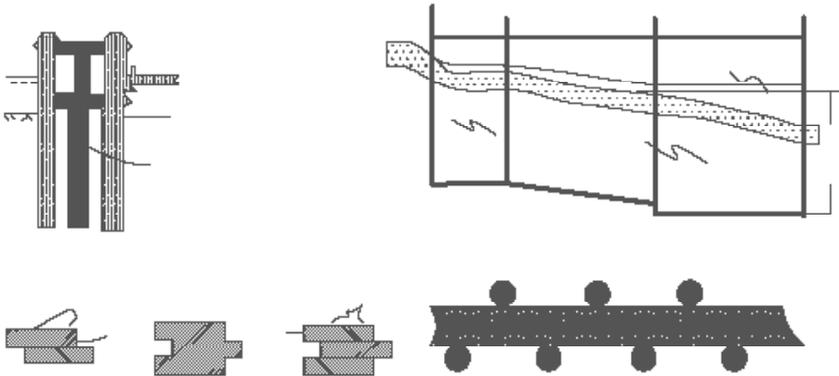
5.2. JENIS – JENIS GROINS

Secara umum material konstruksi groin dapat dibuat dari bahan *permeable* ataupun *impermeable* dengan profil yang tinggi ataupun rendah. Bahan yang digunakan dalam pembangunan groins meliputi batu, beton, baja dan kayu. Aspal dan karung yang diisi pasir (*sandbag*) digunakan untuk membatasi daerah groins. Dari berbagai jenis bahan – bahan tersebut tentu akan mempengaruhi bentuk konstruksi groins yang akan dibangun.

a. Groins kayu

Umumnya jenis kayu ini disusun dari struktur *impermeable sheet piles* yang dididukung dengan balok (*wales*) dan *round piles*, lihat gambar 5.3. jenis groins kayu permeable dibangun dengan menyisakan tempat (*spaces*) antara papan kayu. Bentuk tiang kayu bundar yang merupakan struktur pendukung utama seharusnya paling sedikitnya berdiameter 30 cm pada ujungnya. Balok yang akan dibaut dengan piles sebelumnya harus dibor dan dilapisi

dengan ter (cairan minyak) terlebih dahulu dan sedikitnya berukuran 20 cm dan ukuran 25 cm biasanya lebih baik. Jenis sambungan sheet pile ini antara lain berupa *wakefield*, *tongue and groove* dan *shiplap* dukungan arah bertikal antara blok dengan blok tersebut dikuatkan dengan paku.



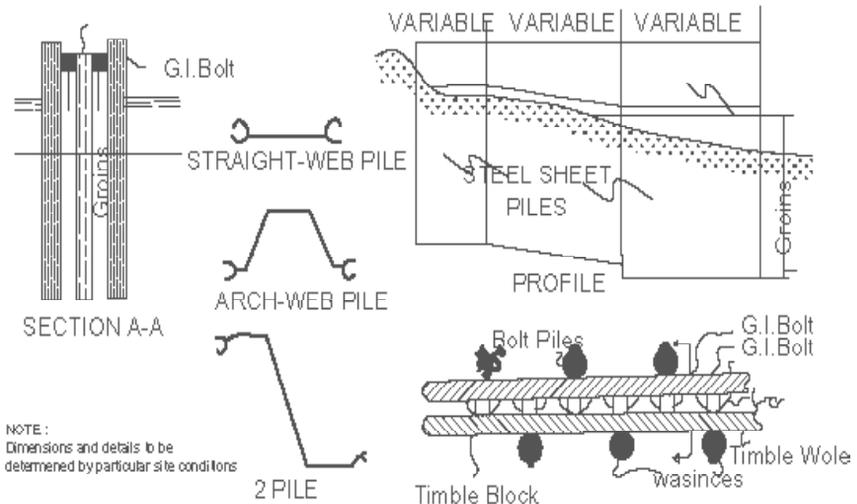
Gambar 5.3. groins kayu (US Army CERC, 1992)

b. Groins baja

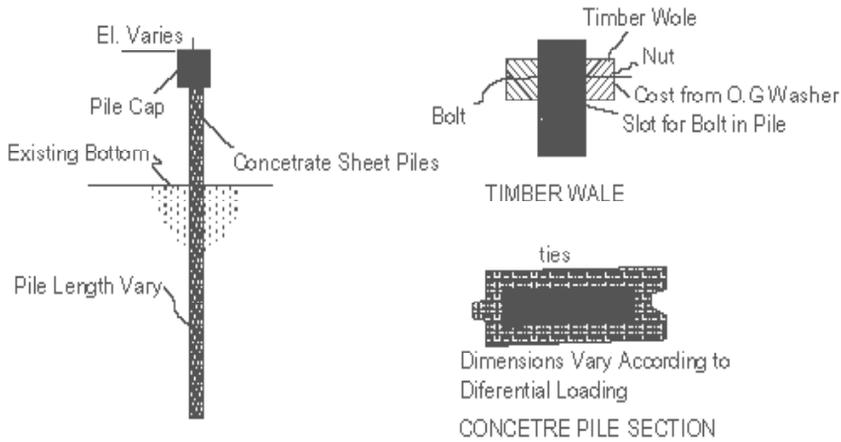
Salah satu bentuk desain groins sheet pile baja – kayu dapat dilihat pada gambar 5.4. groins sheet pile baja yang telah di buat biasanya berbentuk *straight – web*, *arch –web* dan *Z*. Bersifat permeable dengan potongan pile terbuka. Pemilihan jenis sheet pile ini tergantung pada daya dukung tanah yang menahannya. Apabila Beban yang bekerja kecil *straight web piles* bisa digunakan. Groins sheet pile baja – kayu dibangun dengan menggunakan kayu horizontal atau balok baja yang dipasang pada sepanjang bagian atas dari sheet pile baja, dan tiang kayu bundar dipasang tegak atau tiang penguat yang dibautkan ke bagian luar dari balok sebagai struktur pendukung tambahan.

c. Groins beton

Penggunaan beton (*concrete*) pada groins biasanya dibatasi untuk bangunan yang bersifat permeable yang mengijinkan pasir dapat melewati bangunan ini. Perencanaan groin jenis ini telah banyak dibahas oleh Portland Cement Association (1955), Berg dan Watts (1967). Perkembangan terakhir penggunaan concrete untuk konstruksi groins yang bersifat impermeable dapat dilihat gambar 5.5. bangunan ini berupa *prestressed concrete pile* dengan beton yang dicetak ditempat.



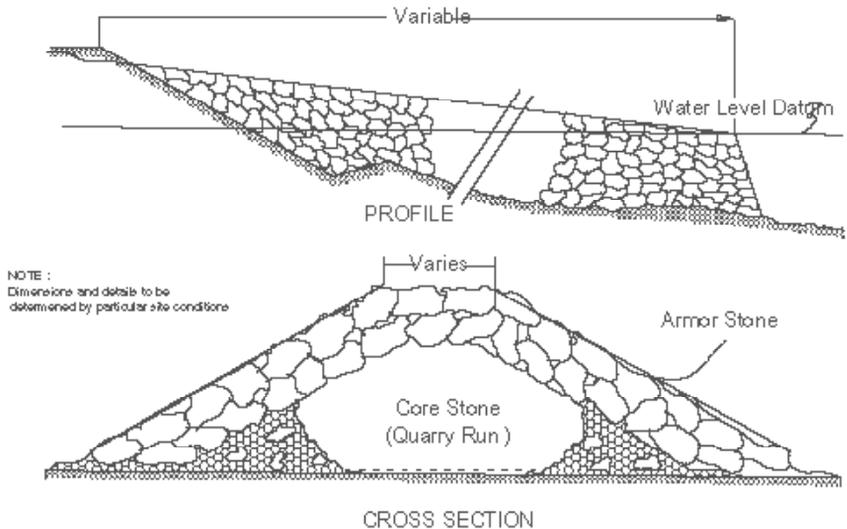
Gambar 5.4. Sheet Pile Groins baja – kayu (US Army CERC, 1992)



Gambar 5.5. Prestressed Concrete pile Groins (Us Army CERC, 1992)

d. Groins Rubble – Mound

Groins Rubble – Mound ini di bangun dengan menggunakan inti batu alam (*quarry stone*), meliputi batuan kecil-kecil yang ditutupi dengan batuan besar sebagai pelapis (*armor stone*). Armor stone ini harus cukup berat agar bangunan menjadi stabil terhadap gelombang rencana. Jenis groins ini seperti yang digambarkan dalam gambar 5.6. Jika permeabilitas dari groins ini merupakan suatu masalah, maka rongga antara batuan diatas puncak batuan inti dapat diisi dengan beton atau aspal. Pemberian beton ataupun aspal ini dapat juga menambah stabilitas struktur terhadap gelombang rencana.



Gambar 5.6. Rubble – mound Groins (US Army CERC,1992)

e. Groins Aspal

Percobaan tentang groins aspal ini dimulai pada tahun 1984 di pantai wrightsville, North Carolina, AS. Setelah itu mulai dikembangkan ditempat – tempat lain seperti pantai fernandina, New Jersey dan lain lain. Perilaku dari jenis groins pasir – aspal ini dipakai untuk menunjukkan batas tertentu keefektifannya. Contoh dari bangunan ini adalah groins yang dipasang melebihi garis air terendah yang disusun dari campuran aspal panas dan cenderung mengalami kegagalan lebih awal pada daerah yang menuju ke laut. Kegagalan ini disebabkan oleh kurang kuatnya pondasi yang dipasang dan beberapa alasan lain seperti kualitas campuran kurang, variasi dari kedalaman dasar, dan sebagainya.

5.3. PEMILIHAN JENIS GROINS

Pemilihan jenis groins didasarkan pada variasi faktor – faktor yang berkaitan dengan kondisi pada masing – masing tempat, penelitian

secara seksama terhadap bahan kondisi yang ada adalah sangat esensial. Pengeboran dan pemeriksann seharusnya dilakukan untuk menentukan kondisi lapisan dan penetrasi dari piles. Apabila penetrasi kecil, struktur jenis gravity seperti rubble groins dan cellular – steel sheet – pile. Groin sangat cocok, namun jika penetrasi baik struktur jenis kantilever yang terbuat dari beton, groins kayu atau steel sheet pile groin lebih cocok untuk kondisi ini.

Ketersediaan bahan di lokasi berpengaruh besar terhadap pemilihan dari jenis groin yang berkaitan dengan biaya pembangunan. Pemeliharaan tahunan, selama periode perlindungan yang dikehendaki dan ketersediaan dana saat awal pembangunan juga harus dipertimbangkan. Biaya awal untuk jenis groin dari bahan kayu dan baja dalam hal ini akan lebih mudah jika dibandingkan dengan biaya pembangunan dari jenis bahan yang lain. Beton umumnya lebih mahal dari kayu ataupun baja, namun lebih murah daripada rubble – mound groin. Meskipun begitu concrete groin dan rubble – mound groin memerlukan biaya pemeliharaan yang rendah dan mempunyai umur bangunan yang lebih lama jika dibandingkan dengan groin jenis kayu ataupun baja. Oleh karena itu dalam pemilihan jenis groin. Harus mempertimbangkan beberapa hal antara lain, besarnya biaya keseluruhan, kekuatan bangun dan ketersediaan bahan, agar diperoleh jenis groin yang ekonomis, efektif dan efisien.

5.4. PERENCANAAN GROINS

Dalam perencanaan groins berarti penentuan panjang groins, jarak antar groins, tinggi groins, tata letak groins dan cara pembangunannya. Dari jenis parameter perencanaan tersebut sangat bergantung pada kondisi perairan pantai yang akan dipasang groin baik kondisi gelombang, pasang surut, arus, material pantai, bathimetry, kemiringan pantai serta tata guna lahan disekitar pantai tersebut.

5.4.1. TINGGI GROIN

Untuk keperluan perencanaan fungsional groin dapat dibagi

menjadi tiga bagian (lihat gambar 5.7) yaitu : Horizontal Shore Section (HSS) , Intermediate Slope Section (ISS) dan Outer Section (OS).

1). Horizontal Shore Section (HSS)

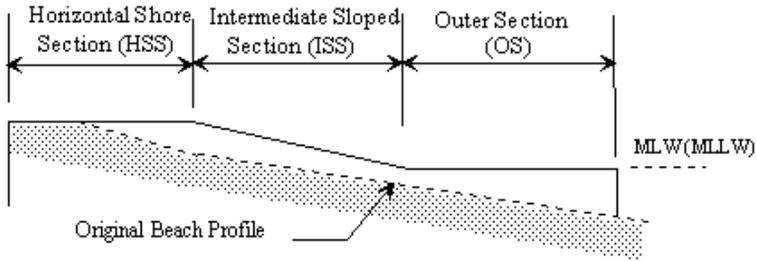
Bagian ini memanjang ke darat cukup jauh sehingga berfungsi sebagai penguat dan sangat mendukung stabilitas bangunan. Ketinggian HSS sangat bergantung pada keinginan sejauh mana pasir melewati groin dan melindungi daerah *down drift* yang rawan terjadi penggerusan. Tinggi standart bagian HSS adalah sama dengan tinggi berm pantai alamiah atau HHWL ditambah dengan *wave uprush*. untuk konstruksi rubble mound disarankan tinggi groin adalah berm alamiah ditambah 30 cm.

2). Intermediate Sloped Section (ISS)

ISS Memanjang antara HSS dan OS. Kemiringan dari bagian ini kurang lebih sama dengan kemiringan alamiah pantai. Elevasi dari ujung kemiringan yang paling rendah ditentukan oleh metode konstruksi yang digunakan. Sudut kemiringan ini diharapkan layak untuk menghalangi pergerakan material sejajar pantai.

3). Outer Section

OS adalah bagian yang menjorok kelaut sesudah ISS. Elevasi bagian ini biasanya didasarkan pada penghematan harga bangunan dan keamanan bangunan dan biasanya pada elevasi terendah (*Mean low low water level*).



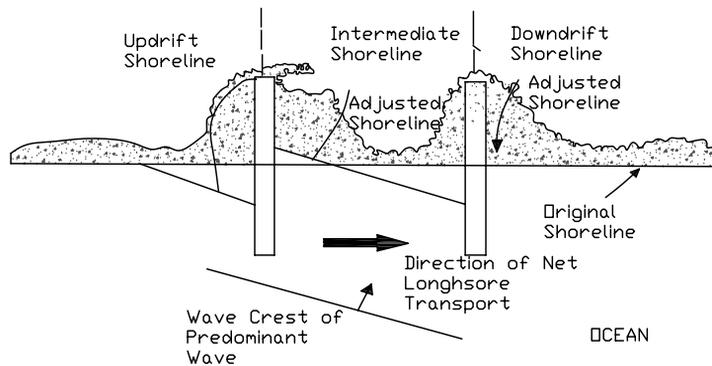
Gambar 5.7. Bagian – bagian Groins

Dengan demikian secara seksama bagian bagian dari groins tersebut diatas kita akan dapat menentukan tinggi groin yang akan di bangun. Jika groin dibuat terlalu tinggi, hal ini akan mengakibatkan timbulnya gerusan yang cukup besar akibat refleksi gelombang yang berlebihan dan turbulensi. Dan groin ini akan efektif menahan dan menangkap sedimen, namun pada bagian hilir (*downdrift*) akan terjadi erosi yang cukup besar. Oleh karena itu, groin harus direncanakan tidak terlalu tinggi terhadap muka air yang direncanakan. Tinggi groin menurut Thorn dan Roberts berkisar antara 50-60 cm diatas elevasi rencana, sedangkan berdasarkan Muir Wood dan Fleming antara 0,5 – 1,0 m di atas elevasi rencana.

5.4.2. PERENCANAAN BEACH ALINEMENT

Beach alinement adalah merupakan orientasi gari pantai yang akan terbentuk disekitar groin. Langkah pertama dalam perencanaan groin atau tata letak groin adala penentuan *beach alinement* yang akan terjadi, dalam hal ini garis pantai mengacu pada puncak berm. Perkiraan yang paling baik dalam orientasi ini ditentukan berdasarkan pengamatan pengisian material disekitar bangunan akibat proses – proses pantai. Jika informasi ini tidak didapat, penentuan didasarkan berdasarkan pada arah

gelombang dominan yang mendekati pantai dan kemudian diasumsikan beach alinement tegak lurus terhadap arah itu. Seperti ditunjukkan gambar 5.8, beach alinement ini mempunyai bentuk yang berbeda dan dibedakan dalam tiga lokasi yaitu : garis pantai pada hulu (*updrift shoreline*), garis pantai pada hilir (*downdrift shoreline*) dan garis pantai pada bagian tengah yang terletak antara dua buah groin (*intermediate shoreline*) .



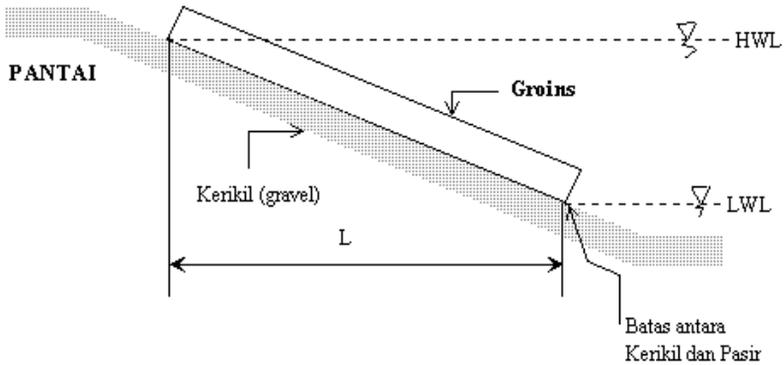
Gambar 5.8. garis pantai yang terbentuk akibat dipasang groins

5.4.3. PANJANG GROINS

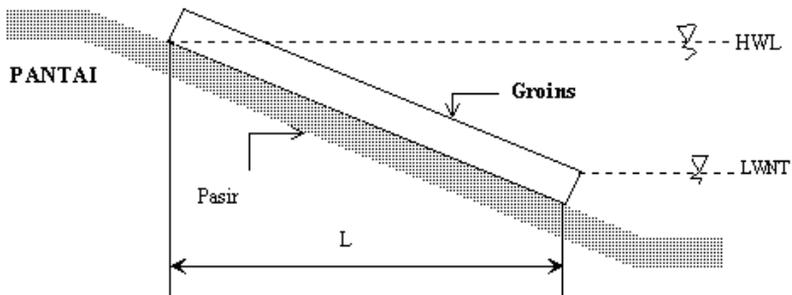
Penentuan panjang groin sangat bergantung pada jenis pantai dimana groin tersebut akan dibangun. Pada pantai kerikil groin direncanakan dan dibangun sampai dasar pasir dan tidak perlu terlalu jauh dari titik pertemuan antara pasir dan kerikil, lihat pada gambar 5.9.

Pada pantai berpasir groins dibuat sampai LWNT (Low Water Neap Tide) , hal ini dimaksudkan untuk mengurangi mahalannya harga groins dan pembangunannya. Disamping itu juga didasarkan pada hasil penelitian yang dilakukan oleh CERC. US. Army (SPM, 1984) diperoleh bahwa 90% angkutan pasir

sepanjang pantai dianggap terjadi diatas muka air rendah. Gambar 5.10 memberikan ilustrasi panjang groin yang dipasang pada pantai berpasir yang landai.

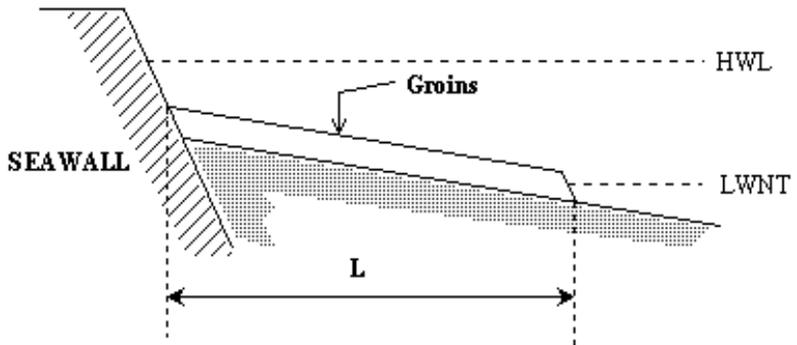


Gambar 5.9. Penentuan panjang Groins pada pantai kerkil



Gambar 5.10. Penentuan panjang Groins pada pantai berpasir yang landai

Apabila pada sesuatu bangunan seawall yang dipasang di sepanjang pantai mengalami gerusan pada kakinya, groin juga bisa digunakan untuk mengurangi gerusan pada kaki seawall, lihat gambar 5.11.



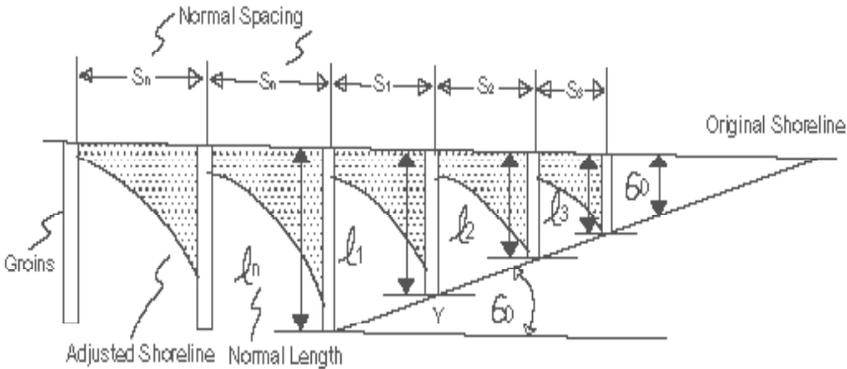
Gambar 5.11. Groins untuk mengurangi gerusan di kaki seawall

5.4.4 SPASI GROINS

Dalam perencanaan sistem groin besarnya jarak antar groin sangat tergantung pada panjang groin (L), sudut gelombang datang, selisih pasang surut (*tidal range*), jenis material pantai dan kemiringan pantai. Jarak pada single beach biasanya diambil $B = (1 \text{ sampai } 2) L$, sedangkan pada pantai pasir diambil $B = (2 - 4) L$, berdasarkan SPM, 1984. Jarak groin yang terlalu dekat akan memberikan sistem groin yang mahal disamping itu dari segi artistik akan mengganggu pemandangan di sekitar pantai. Sedangkan jarak yang terlalu jauh akan menghasilkan suatu perencanaan groin yang yang tidak efektif dan erosi akan tetap berlanjut, sehingga fungsi groin untuk menangkap sedimen tidak tercapai.

5.4.5 SISTEM TRANSISI GROINS

Untuk menghindari perubahan yang tak beraturan pada beach alinement yang menyebabkan erosi pada hulu pantai dapat dilakukan dengan merencanakan perubahan tinggi groin yang dipasang di sepanjang garis pantai. Metode perencanaan sistem transisi groin yang melibatkan pemendekan groin diberikan oleh U.S. Army Engineer District, Wilmington, 1973.



Gambar 5.12. Sekematika Prosedure Pemendekan Sistem Groins (U.S. Army CERC, 1984)

Kressner (1928) melakukan pengujian model dengan menggunakan tiga groins yang dipendekkan pada ujung downdrift pada sistem groin, lihat gambar 5.12. Dari percobaan ini didapatkan bahwa transisi paling efektif jika garis yang berhubungan ke laut pada ujung groin dan garis dari pantai alamiah yang dihubungkan ke ujung groin yang melewati groin-groin yang dipendekkan membentuk sudut 60° , seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.11. Panjang dari groin, l diukur dari puncak berm pantai ke ujung groin yang menjorok ke laut berarti panjang groin memanjang dari *shoreward* ke berm. Batas dari pemendekan groins ini sangat tergantung dari

pengambilan keputusan dari perencana, tetapi dalam hal ini tidal area pantai dan disarankan bahwa panjang groin transisional yang terakhir tidak melebihi garis MLLW. Dengan y adalah pemendekan groins, l_n panjang normal groin, l_1, l_2, l_3 berturut – turut merupakan panjang groin yang telah mengalami pemendekan pertama, kedua dan ketiga, dan s merupakan jarak antar groin, dimana ,

$$y = s_1 \tan 6^\circ \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

dan

$$l_1 = l_n - y \quad \dots\dots\dots (5.2)$$

atau

$$l_1 = l_n - s_1 \tan 6^\circ \quad \dots\dots\dots (5.3)$$

selanjutnya,

$$l_2 = l_1 - s_2 \tan 6^\circ \quad \dots\dots\dots (5.4)$$

dan

$$l_3 = l_2 - s_3 \tan 6^\circ \quad \dots\dots\dots (5.5)$$

Jarak antar groin pada daerah yang mengalami pemendekan seharusnya berkurang, hal ini dimaksudkan untuk mempertahankan rasio perencanaan antara spasi dan panjang groin. Karena panjang groin di tiap-tiap tempat berbeda , maka besarnya rasio spasi – panjang, R_{s1} didasarkan pada panjang rata-rata dari groin yang berdekatan, dengan mempertahankan besarnya rasio tersebut kita dapat menghitung besarnya spasi antar groin dengan menggunakan formulasi – formulasi berikut :

$$s_1 = \left(\frac{\ell_n + \ell_1}{2} \right) R_{s1} \dots\dots\dots (5.6)$$

$$s_2 = \left(\frac{\ell_1 + \ell_2}{2} \right) R_{s1} \dots\dots\dots (5.7)$$

dan

$$s_3 = \left(\frac{\ell_2 + \ell_3}{2} \right) R_{s1} \dots\dots\dots (5.8)$$

5.4.6. ATURAN KONSTRUKSI GROINS

Di tempat – tempat dimana sistem groins dipertimbangkan untuk dibangun, maka akan timbul dua kemungkinan cara pengisian material yaitu, pengisian secara artifisial dan pengisian akibat tertahannya sedimen sejajar pantai. Dengan pengisian secara artifisial akan menghalangi transportasi sedimen sejajar pantai, oleh karena itu waktu yang dibutuhkan untuk pengisian material dan waktu pemasangan groins harus dipertimbangkan secara seksama. Untuk alasan ekonomis , pengisian biasanya dilakukan pada sekali operasi saat pelaksanaan pembangunan berlangsung terutama ketika dilakukan dengan *hydraulic dredge*. Untuk mengurangi periode waktu antara pembangunan groins dan dan deposisi pengisian , maka semua groins harus dibangun secara bersama-sama. Deposisi pengisian harus dimulai segera saat konstruksi groins dilakukan. Pengisian material secara alami akan menyebabkan berkurangnya supply sedimen ke pantai bagian hilir. Waktu yang diperlukan seluruh sistem untuk bisa terisi secara alami dan material mulai mengisi ke bagian hilir mungkin sangat lama sehingga pada bagian hilir ini akan terjadi erosi yang besar. Untuk mengurangi bahaya ini , sebuah groin atau group di ujung

hilir harus dibangun lebih awal. Groins kedua atau group seharusnya tidak dimulai dulu dan menunggu sampai pengisian material pada groin pertama telah selesai dan sedimen melewati disekitar atau di atas groins sehingga pada bagian hilir stabil lagi. Meskipun cara seperti ini meningkatkan biaya pembangunan, namun tidak hanya akan mengurangi bahaya itu saja tetapi juga akan memenuhi persyaratan dari petunjuk praktis perhitungan spasi groins.

5.4.7. EFEKTIFITAS BIAYA KONSTRUKSI GROINS

Pantai yang terbuka terhadap aktivitas gelombang akan secara konstan berubah akibat variasi karakteristik dan arah gelombang datang. Oleh karena pergerakan material pantai yang konstan, pantai akan stabil jika laju sedimen yang hilang tidak melebihi laju sedimen yang masuk ke daerah tersebut. Jika laju sedimen yang masuk kurang dari sedimen yang keluar maka erosi akan terjadi di daerah pantai tersebut. Erosi pantai dapat dipulihkan kembali dengan pemasangan perlindungan pantai secara artifisial dan stabilisasi dengan *artificial nourishment* yaitu penempatan pasir secara artifisial untuk mengurangi kekurangan laju sedimen yang masuk atau bisa juga dengan *artificial nourishment* yang didukung dengan pemasangan groins untuk mengurangi laju sedimen yang hilang. Alternatif pemilihan pelindung pantai antara groins, *artificial nourishment* maupun kombinasi antara groins dengan *artificial nourishment* harus didasarkan pada biaya secara keseluruhan, sampai pantai tersebut menjadi stabil.

Pada pantai-pantai yang panjang, membuat kekurangan supplay pasir mempengaruhi stabilitas jumlah yang masuk mencapai pantai. Sistem groins yang mencapai sepanjang pantai sangat mahal, namun lebih murah daripada menggunakan *artificial nourishment*, terutama dimana *nourishment* sampai pada hilir pantai tidak akan dapat dicapai apalagi kalau dilakukan di

Indonesia akan ada kendala kesulitan pencarian pasir atau material untuk nourishment. Metode yang kadang-kadang digunakan untuk memperkirakan *life cycle cost* secara komparatif untuk sistem groins adalah dengan memperkirakan *annual cost* dari sistem itu termasuk *annual cost* dari artificial nourishment dengan kombinasi groins pada hilir pantai.

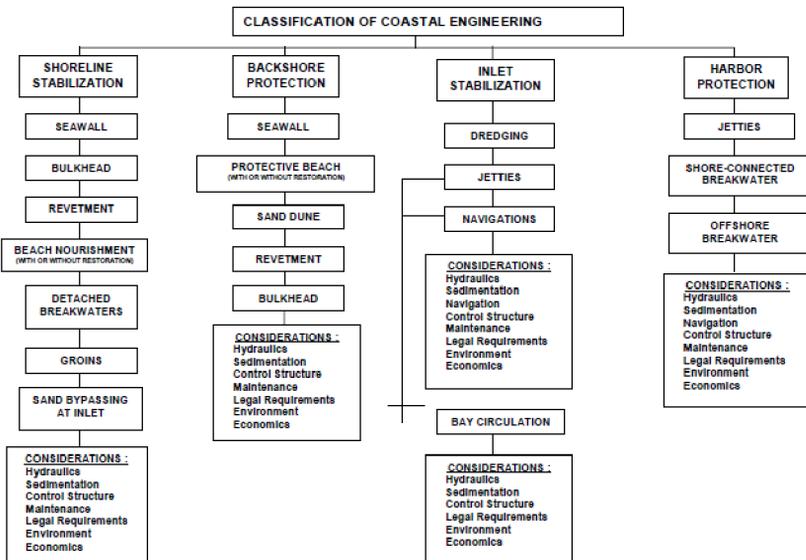
Apabila laju transportasi sedimen tinggi, sistem groin tidak akan memerlukan artificial nourishment. Volume yang diperlukan untuk mengisi sistem groin mudah untuk diperkirakan sedangkan yang diperkirakan untuk mengisi dari daerah lepas pantai sangat susah untuk diperkirakan. Oleh karena itu waktu yang dibutuhkan untuk pengisian secara komplit sangat sukar diperkirakan. Mungkin akan memerlukan beberapa tahun untuk sepanjang groins sepanjang waktu itu, karena lamanya waktu yang diperlukan jika kita menggunakan artificial nourishment maka bagian hilir pantai akan tererosi. Volume nourishment akan sama dengan volume ditahan oleh sistem groins dan volume yang menuju ke lepas pantai ditambah dengan kehilangan volume sebelum groin dibangun. Setelah pengisian selesai, pantai akan mempunyai bentuk garis pantai baru dengan sistem groins, laju sedimen sejajar pantai (*littoral transport rate*) barangkali akan dikurangi selama periode pengisian dan bagian hilir akan memerlukan nourishment yang lebih banyak.

BAB VI

SEAWALL, BULKHEAD DAN REVETMENT

6.1. UMUM

Problema yang sering dihadapi dalam bidang rekayasa teknik pantai, dapat digolongkan dalam 4 (empat) kategori utama, yaitu; bagaimana menstabilkan garis pantai, bagaimana kita melindungi daerah (daratan) di belakang pantai, bagaimana kita menstabilkan inlet, dan terakhir bagaimana kita melindungi kawasan pelabuhan, lihat diagram pada Gambar 6.1.



Gambar 6.1. Klasifikasi Umum Tentang Permasalahan Rekayasa Pantai

Pada Gambar 6.1, terlihat bagaimana kita memilih tipe struktur atau jenis pekerjaan perlindungan yang sesuai untuk masing-masing permasalahan yang ada, beserta faktor-faktor yang harus dipertimbangkan untuk menangani setiap permasalahan. Pertimbangan faktor hidraulik termasuk perhitungan mengenai angin, gelombang, arus, pasang surut dan bathimetri daerah tinjauan. Pertimbangan tentang sedimentasi mencakup material dan proses terjadinya sedimentasi (misalnya; arah gerakan sedimen, rata-rata kecepatan transport sedimen, klasifikasi jenis sedimen dan karakteristiknya) dalam hal tersebut juga dibahas mengenai perubahan garis pantai karena proses tersebut.

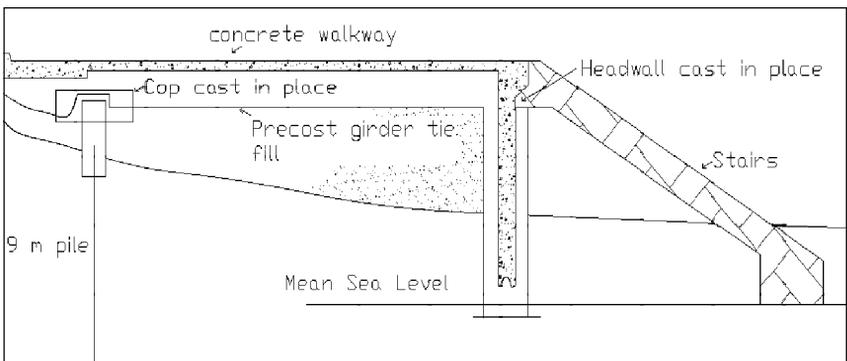
Secara umum struktur-struktur seawall, bulkhead, dan revetment, adalah struktur yang dibangun paralel atau hampir paralel terhadap garis pantai. Untuk memisahkan daerah darat dan daerah laut pada kawasan pantai.

Fungsi utama dari struktur bulkhead adalah untuk menahan tanah di belakang struktur atau untuk mencegah longsornya tanah dibelakang struktur, selain itu juga menyediakan perlindungan terhadap bagian tanah di belakang struktur karena gaya gelombang. Diharapkan nantinya daerah "baru" di belakang struktur bulkhead yang dibangun dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Fungsi lain dari struktur bulkhead ini adalah menyediakan tempat bagi sarana tambat atau bongkar muat kargo bagi kapal jika diperlukan.

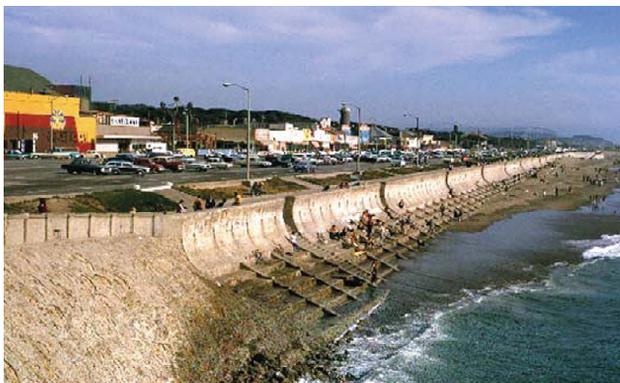
Struktur seawall atau revetment, berguna untuk melindungi daerah pantai dari erosi karena gelombang atau arus, kalau kita amati lebih lanjut, seawall atau revetment juga mempunyai fungsi yang hampir mirip dengan struktur bulkhead.



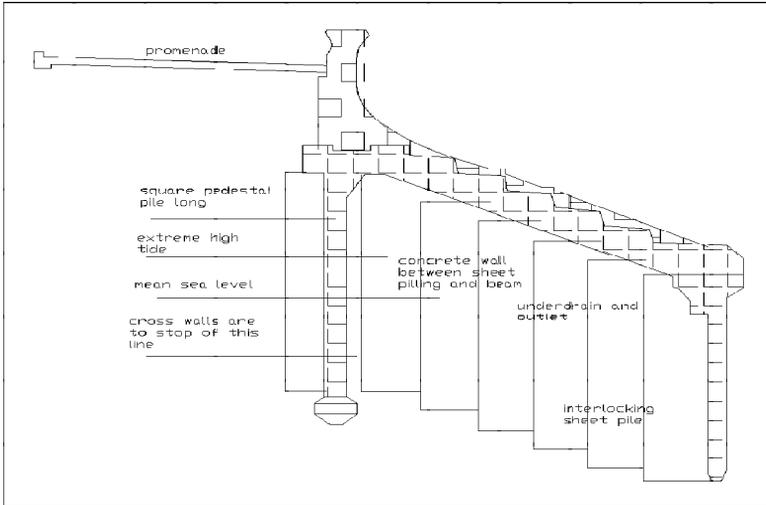
Gambar 6.2. (a) Contoh Penempatan Bulkhead



Gambar 6.2. (b) Gambar Rencana Bulkhead yang Dibangun



Gambar 6.3. (a) Contoh Penempatan Seawall

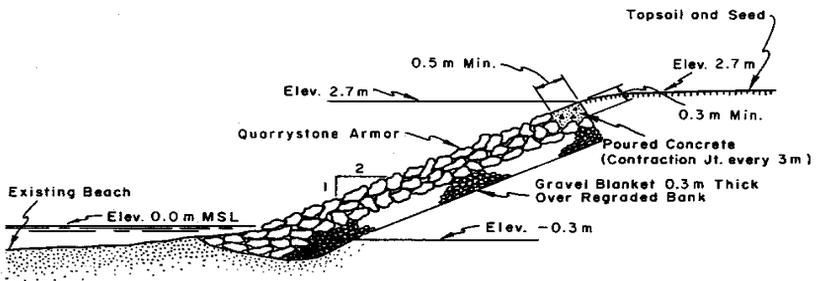


Gambar 6.3. (b) Gambar Rencana Seawall yang Dibangun

Memang selama ini tidak ada definisi yang tepat untuk melukiskan perbedaan fungsi antara ketiga jenis struktur tersebut. Perbedaan nama yang ada, biasanya hanya tergantung pada tempat dimana struktur tersebut dibangun. Bisa jadi struktur yang sama, akan mempunyai nama yang berbeda bila dibangun di daerah yang berbeda. Jadi, sangatlah sulit bagi kita untuk mendefinisikan apakah struktur batuan atau beton yang dibangun untuk menahan beban vertikal di pantai, bernama seawall atau revetment, atau bisa juga kita kesulitan untuk menentukan apakah dinding pelindung daerah pantai dari hempasan gelombang bernama seawall atau bulkhead. Tetapi bagaimanapun juga, diantara struktur-struktur tersebut terdapat satu kesamaan, yaitu ketiga struktur tersebut dibangun untuk “memisahkan” daerah darat dengan daerah laut pada kawasan pantai. Se-cara umum, kita dapat membedakan ketiga struktur tersebut berdasarkan besarnya dimensi masing-masing struktur. Struktur sea-wall, biasanya merupakan struktur terbesar diantara ketiga macam struktur tersebut. Hal ini karena, struktur seawall direncanakan untuk menahan hempasan gelombang secara penuh. Berikutnya adalah struktur bulkhead. Terakhir adalah struktur revetment, struktur yang “paling kecil” diantara ketiganya, hal ini karena kebanyakan fungsi revetment dibangun untuk melindungi garis pantai dari bahaya erosi karena arus atau gaya gelombang.



Gambar 6.4. (a) Contoh Penempatan Revetment



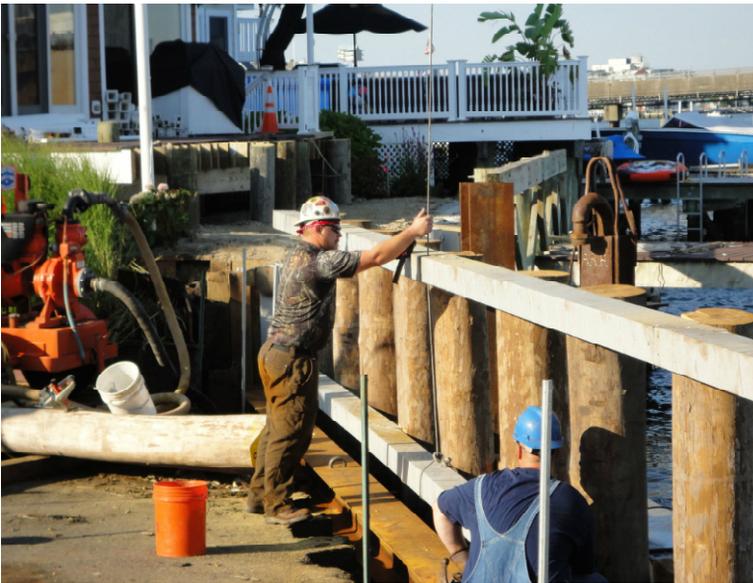
Gambar 6.4. (b) Gambar Rencana Revetment yang Dibangun

6.2. BATASAN PENGGUNAAN

Struktur bulkhead, seawall, dan revetmen, dibangun pada dasarnya hanya untuk melindungi lapisan tanah di belakang struktur tersebut, sehingga nantinya “daratan” yang terbentuk terlindung dari pengaruh gelombang atau arus. Dengan kata lain, area pantai dari laut sampai tempat dimana struktur tersebut dibangun, masih tidak terlindung dari bahaya gelombang atau arus. Efek dari hal tersebut, yaitu daerah pada bagian depan struktur dibangun, masih mungkin sekali terjadi erosi, dimana kalau proses erosi tersebut dibiarkan, maka material pantai di depan struktur tersebut lama-lama akan berkurang. Penanggulangan erosi yang terjadi di sekitar struktur perlu diupayakan. Pada kasus tertentu, dengan dibangunnya struktur-struktur bulkhead, seawall atau revetment, malah mempercepat terjadinya erosi pada bagian depan struktur, sehingga penanganan daerah didepan struktur-struktur tersebut dibangun juga merupakan hal yang sangat penting.

6.3. PERENCANAAN STRUKTUR

Penempatan struktur seawall, bulkhead, dan revetment tidaklah begitu sulit, mengingat fungsi utama dari ketiga struktur tersebut adalah menyediakan perlindungan yang tepat untuk daerah di belakang struktur dari pengaruh gelombang dan arus. Beberapa faktor yang bisa dijadikan pertimbangan dalam merencanakan antara lain; kegunaan dan bentuk struktur yang akan dibangun, penempatannya pada areal pantai, stabilitas tanah tempat dimana struktur tersebut dibangun, tinggi muka air, ketersediaan material penyusunnya, serta batasan-batasan ekonomis, faktor lingkungan, serta peraturan pemerintah yang terkait dengan pengembangan wilayah pantai, jika ada.



Gambar 6.5. Pekerjaan Pemasangan Bulkhead di Daerah Pantai

Keterkaitan antara manfaat struktur yang akan dibangun dengan bentuk struktur sangat erat. Bentuk struktur yang nantinya akan dibangun, secara kasar dapat digolongkan menjadi; struktur vertikal (atau hampir vertikal), menyudut, melengkung (cekung atau cembung)

dan struktur dengan bentuk berundak (dengan anak tangga). Pada kondisi tertentu, setelah dengan melakukan berbagai pertimbangan, bentuk struktur dapat bervariasi menurut kondisi lingkungan pantai.

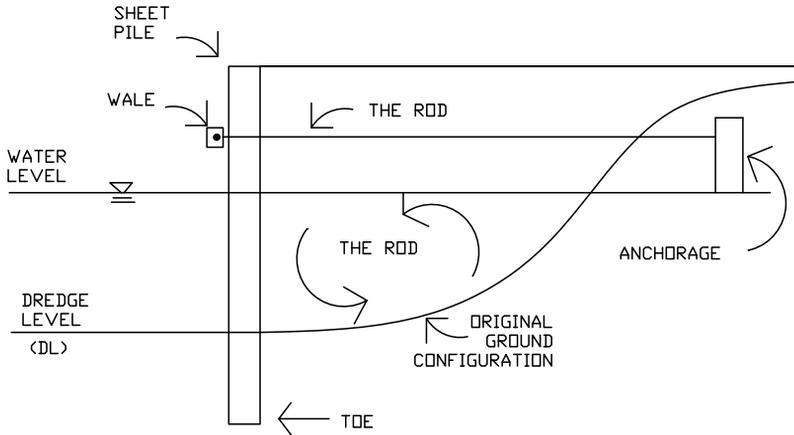
Struktur berbentuk vertikal (atau hampir vertikal), didesain dengan pertimbangan dapat digunakan sebagai tempat tambatan dan bongkar muat kapal. Struktur dengan bentuk menyudut, efektif untuk menyerap energi gelombang, mengurangi *run-up* dan *overtopping* gelombang, serta mengurangi terjadinya *scouring* pada bagian bawah struktur. Struktur dengan tipe berundak (dengan anak tangga), dipilih dengan pertimbangan mendapatkan kemudahan jalan menuju lokasi pantai.

Panjang struktur yang akan dibangun, seringkali ditentukan berdasarkan panjang daerah pantai yang akan dilindungi.

Struktur bulkhead, seawall, dan revetmen, dapat dibangun setinggi mungkin, sehingga daerah di belakang struktur nantinya aman dari ancaman gelombang, karena gelombang tidak dapat melewati struktur tersebut. Tetapi, hal ini sangat tidak efektif dari segi pembiayaan. Oleh karena itu perlu diadakan kajian menyeluruh mengenai perkiraan *run-up* dan *overtopping* gelombang yang akan terjadi, seperti yang dibahas pada bagian gelombang. Selain itu juga perlu diadakan pengujian fisik terhadap model struktur yang akan dibangun, sehingga kondisi perairan tempat struktur akan dipasang, interaksi gelombang dan struktur yang akan dibangun dapat diamati secara visual, sehingga struktur yang akan dibangun nantinya dapat berfungsi seperti yang direncanakan.

6.4. BULKHEAD

Pada bagian awal sudah dijelaskan mengenai kegunaan dari struktur bulkhead. Kinerja struktur bulkhead, selain ditentukan oleh kestabilan material penyusunnya, juga amat ditentukan oleh daya dukung tanah tempat dimana struktur bulkhead tersebut dibangun. Beban vertikal tanah inilah (selain gelombang) yang akan ditahan oleh struktur bulkhead dalam operasionalnya sehari-hari. Pada Gambar 6.6, dilukiskan konfigurasi dari sistem *anchored* bulkhead sederhana.



Gambar 6.6. Konfigurasi Anchored Bulkhead Sederhana

Komponen utama dalam sistem ini adalah sheet pile. Adanya gaya tekanan horisontal tanah pada bagian urugan, menyebabkan kecenderungan bergesernya sheet pile ke arah luar. Selain ditentukan oleh kekuatan sheet pile, kekuatan untuk menahan gaya tekanan horisontal tanah juga ditentukan oleh kedalaman penetrasi sheet pile ke dalam tanah.

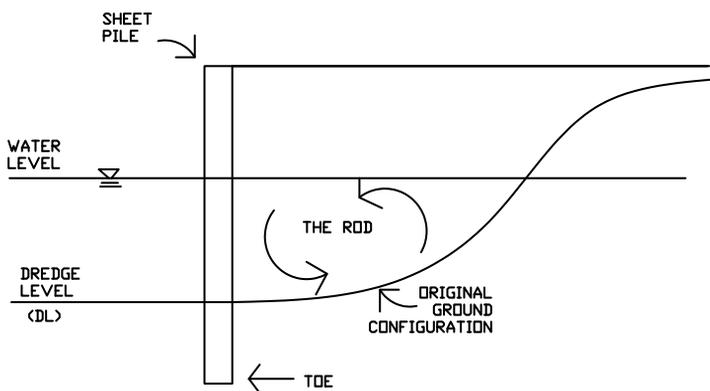
Tekanan horisontal tanah yang mengenai sheet pile, menyebabkan terjadinya bending, sehingga dalam perhitungan kita dapat memperlakukan sheet pile seperti balok sederhana. Sehingga dalam merancang sheet pile ini harus memperhatikan faktor; bahwa sheet pile cukup panjang untuk menahan kegagalan pada bagian toe dan pemilihan material sheet pile yang cukup kuat untuk menahan bending. Material sheet pile dapat bermacam-macam. Untuk struktur bulkhead ini, biasanya digunakan material sheet pile yang terbuat dari bahan baja, beton, atau kayu yang telah diolah sehingga memenuhi kriteria desain yang diinginkan. Sekarang ini banyak juga struktur bulkhead yang menggunakan bahan asbes atau aluminium sebagai bahan pembuat sheet pilenya.

Pada pemasangannya, sheet pile ini diikat secara bersamaan oleh wale, yang didesain sedemikian rupa sehingga dapat menahan bending, dan diikat pada sheet pile dengan baut. Untuk memperkuat ketahanan supaya tidak bergeser, maka sheet pile ini diikat dan dijangkar ke sisi lain pada lapisan tanah asli. Jarak pengikatan ini juga harus diperhitungkan dengan benar. Jarak yang terlalu dekat, berarti bahwa jangkar akan terletak pada daerah kegagalan, hal ini berarti sama dengan tidak menggunakan jangkar.

6.4.1. Tipe Struktur Bulkhead

Struktur bulkhead dengan sistem jangkar yang telah dijelaskan, adalah salah satu alternatif pembangunan struktur bulkhead. Variasi yang dapat dilakukan adalah dengan menghilangkan sistem penjangkaran dan pengikatan, sehingga struktur bulkhead dapat diperlakukan sebagai *cantilevered wall*, lihat Gambar 6.7.

Konfigurasi ini dari sisi ekonomis mungkin lebih menguntungkan, tetapi hal yang perlu dipertimbangkan pada pembangunan struktur bulkhead tipe ini adalah kedalaman penetrasi dari sheet pile.



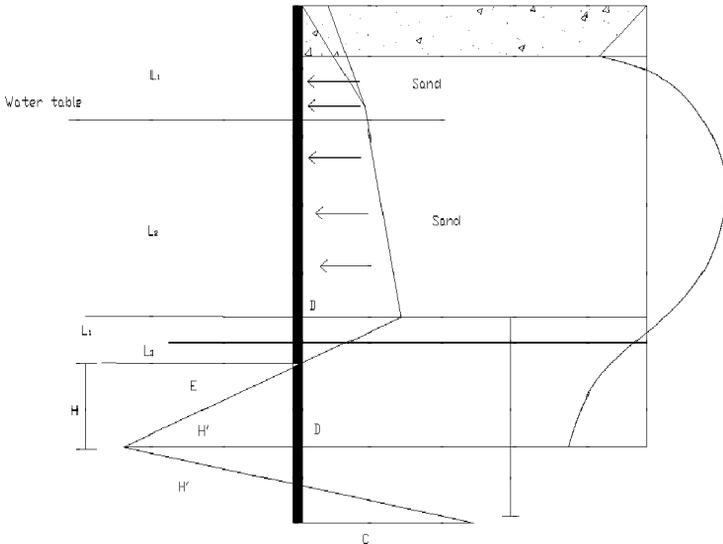
Gambar 6.7. Cantilevered Wall

6.4.2. Prosedur Perancangan untuk Struktur Bulkhead dengan Sistem Penjangkaran Tunggal (*Single Anchor Bulkheads*)

6.4.2.1. Umum

Pada prosedur perancangan ini, digunakan asumsi bahwa sifat tanah seragam dan tidak kohesif, sehingga hanya faktor densitas tanah dan sudut internal friction yang digunakan sebagai parameter tanah.

Dalam perhitungan dengan menggunakan metode *fixed earth support*, digunakan asumsi bahwa bagian *toe* dari pile yang digunakan "terikat" dari rotasi. Pada Gambar 6.8. terlihat distribusi tekanan lateral pada kondisi tersebut.



Gambar 6.8. Distribusi Tekanan pada Bulkhead

Dalam penyelesaian dengan metode ini, porsi terendah dari diagram distribusi tekanan ($H'F'H'G'H$) digantikan oleh konsentrasi gaya P' , hal ini dilakukan untuk menghitung L_4

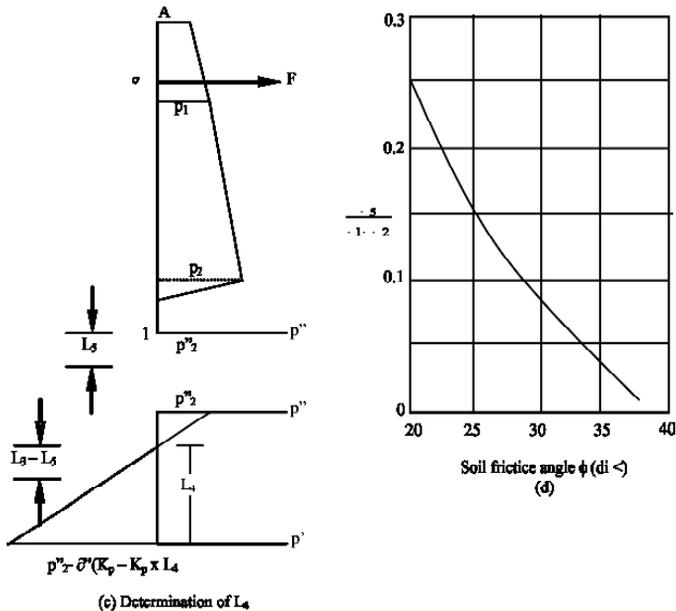
dan penyelesaian ini disebut juga penyelesaian dengan cara *equivalent beam solution* (EBS) yang telah banyak dikenal.

Pemahaman mengenai EBS menunjuk pada titik I, di mana tidak tersebut adalah titik dimana terjadi perubahan bentuk *sheet pile*, pada titik tersebut, pile dapat diasumsikan menjadi engsel, dan momen bendungnya menjadi sama dengan 0, jarak vertikal antara titik I dan garis keruk adalah L_5 .

Hubungan antara L_5 dan $L_1 + L_2$, dapat diketahui dari Gambar

6.9., didapat hubungan $\frac{L_5}{L_1 + L_2}$ dari sudut geser tanah (ϕ), dengan

diketahui harga q , dan $L_1 + L_2$, maka besarnya L_5 dapat diketahui.



Gambar 6.9. Grafik Hubungan Gaya-gaya yang Bekerja

Bagian *sheet pile* di atas titik I dapat diperlakukan seperti *beam* dimana tekanan tanah lateral melalui gaya pada jangka F (KN/m) dan gaya geser P' (KN/m). Gaya geser dapat dihitung dengan mengambil momen di O' (titik letak jangkar).

Setelah harga P' diketahui panjang L4 dapat diketahui dengan mengambil momen dari titik H (Gambar 6.9), setelah hal tersebut diketahui, maka kedalaman pile (D) dapat diketahui dengan menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Bowles, 1990.

6.4.2.2. Menentukan Besarnya Kedalaman Pile

1. Menghitung Koefisien Tekanan Tanah

Tekanan tanah lateral adalah sebuah parameter perancangan yang penting di dalam penyelesaian permasalahan pondasi. Tekanan tanah akan muncul selama ada pergeseran partikel tanah atau selama terjadi perenggangan tanah, tetapi sebelum tanah tersebut berada di ambang kerusakan.

a. Tekanan Tanah Aktif

Jika sebuah dinding tidak berotasi sebesar jumlah yang diberikan di atas, maka akibatnya didapat tekanan dinding lateral yang akan lebih besar daripada yang telah diperkirakan sebelumnya. Setiap penambahan rotasi dinding, yang mungkin akan terjadi jika dinding tersebut mengalami keruntuhan, akan menyebabkan pengurangan tekanan lateral ini menjadi sama dengan tekanan tanah aktif, jadi dalam banyak hal tekanan tanah aktif adalah merupakan nilai kritis untuk perencanaan dinding.

$$K_a = \tan^2 (45 - f/2) \dots\dots\dots (6.1)$$

b. Tekanan Tanah Pasif

Suatu dinding yang bertranslasi kedepan karena tekanan yang lebih besar dari tekanan tanah aktif, tidak dapat kembali bertranslasi ke kedudukan semula, sewaktu tekanan lateral berkurang. Tekanan tanah pasif yang khas dibentuk oleh plat jangkar, atau balok-balok yang ditanamkan ke dalam tanah, selain itu, tekanan tanah pasif juga dibentuk di tempat terjadinya penarikan jangkar atau tegangan kabel ke arah yang berlawanan. Besarnya tekanan tanah pasif ditentukan sebagai berikut:

$$K_p = \tan^2 (45 + f/2) \dots\dots\dots (6.2)$$

2. Menentukan besarnya gaya tekanan tanah

Di dalam menentukan besarnya gaya tekanan tanah lateral ini, metode yang digunakan adalah metode Rankine, dimana Rankine meninjau tanah dalam keadaan kesetimpangan plastik (pada dasarnya asumsi yang digunakan sama seperti metode Coulomb), kecuali bahwa Rankine menganggap tidak ada kohesi dinding dan gesekan dinding, untuk menyederhanakan persoalan tersebut.

$$P = gHk_a \qquad P = \frac{1}{2} gH^2K_a$$

$$P = gHK_p \qquad P = \frac{1}{2} gH^2K_p \dots\dots\dots (6.3)$$

3. Menentukan besarnya L_3

Jarak L_3 adalah jarak antara garis keruk (*dreged line*) dengan titik potong distribusi tekanan tanah aktif ke tekanan tanah pasif, dimana perumusan penentuan jarak ini diberikan oleh Boqles,

1990 adalah sebagai berikut:

$$(Z - I) = L_3 = \frac{P_2}{\gamma(K_p - K_a)} \dots\dots\dots (6.4)$$

4. Menentukan L_5

Dalam menentukan panjang jarak vertikal antara titik I dan garis keruk (L_5) adalah dengan menggunakan grafik *soil friction angle*, (Bowles, 1990). Dimana dengan mengetahui harga f , kita akan

mengetahui besarnya harga $\frac{L_5}{L_1 + L_2}$ dan setelah menentukan hasil dari penjumlahan $L_1 + L_2$ kita akan mendapatkan besarnya harga L_5 .

5. Menghitung P_2'

P_2' adalah tekanan tanah pada tegangan geser tanah, hal ini digunakan untuk mendapatkan gaya geser tanah, dimana dapat digunakan persamaan yang dikembangkan Bowles, 1990 sebagai berikut:

$$P_2' = \frac{P_2(L_3 - L_5)}{L_3} \dots\dots\dots (6.5)$$

6. Menghitung P'

Didalam menghitung gaya geser dilakukan dengan menghitung momen di titik O' dan daerah momennya adalah titik O' sampai I.

Dengan menggunakan persamaan $P_2' = g'(K_p - K_a)L_4'$, kita mendapatkan harga tekanan tanah pasif.

7. Menghitung L_4 dan kedalaman jangkar

Dengan memakai perhitungan momen dititik I (antara I dan H)

kita juga dapat menentukan jarak vertikal L_4 . setelah harga L_4 diketahui, kita akan mengetahui panjang penetrasi kedalaman *sheet pile* (D), yaitu dengan menggunakan persamaan Bowles, 1990, sebagai berikut:

$$D = 1,2 \text{ sampai } 1,4 (L_3 + L_4) \dots\dots\dots (6.6)$$

6.4.2.3. Menentukan Gaya Penjangkaran

Setelah semua gaya seperti yang terlihat pada Gambar 6.8 dan Gambar 6.9 distribusi tekanan didapatkan, selanjutnya dihitung resultan masing-masing gayanya (SH) untuk mendapatkan besarnya gaya penjangkaran, setelah itu kita akan menentukan jarak antar titik tempat gaya geser sama dengan 0 (z) dan gaya maksimum.

1. Menentukan Gaya Reaksi pada Tie Rod

Setelah lokasi titik z diketahui dan momen maksimumnya juga diketahui, maka akan didapatkan gaya reaksi pada *tie rod*, yaitu dengan persamaan:

$$R_d = \frac{M_{MAX}}{H} \text{ dimana } H \text{ adalah } (h_2 + h_3) \dots\dots\dots (6.7)$$

Sehingga reaksi pada *tie rod* (Ap) dapat dihitung dengan:

$$Ap = F_{jangkar} - R_d \dots\dots\dots (6.8)$$

2. Menentukan Penampang Melintang Sheet Pile

Penampang melintang *sheet pile* yang digunakan dalam perencanaan bulkhead, dapat diketahui dari modulus penampangnya, yang dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$W = \frac{M_{MAX}}{\sigma_a} \dots\dots\dots (6.9)$$

Dimana W adalah modulus bahan yang digunakan sebagai *sheet pile*, dan M_{MAX} adalah momen maksimum yang bekerja. Setelah harga modulus bahan didapatkan, tentu saja tidak sulit bagi kita untuk mengetahui penampang melintang bahan tersebut, bisa digunakan tabel standar yang ba-nyak terdapat dipasaran.

3. *Menentukan Dimensi Tie Rod*

Besarnya *tie rod* adalah besarnya tegangan pada jangkar dari perhitungan yang telah kita lakukan sebelumnya. Hubungan antara tegangan pada jangkar dan modulus *tie rod*, dapat diberikan sebagai berikut:

$$A = \frac{T}{\sigma_{aII}} \dots\dots\dots (6.10)$$

Penentuan panjang *tie rod*, tergantung pada jarak penjangkaran ke sisi bulkhead, dimana jarak tersebut dapat dihitung dengan persamaan:

$$DTR = (h_2 + h_3) + D$$

$$L = \frac{H}{\tan(45 + \frac{\phi}{2})} + \frac{D}{\tan(45 - \frac{\phi}{2})} \dots\dots\dots (6.11)$$

4. *Stabilitas Dimensi Jangkar*

Tipe jangkar didapatkan dari perhitungan sebelumnya, yaitu dengan penentuan penampang melintang. Setelah kita mengetahui tipe jangka yang digunakan, kita dapat menentukan stabilitas jangkar tersebut agar tidak tercabut dari tanah, dengan menggunakan persamaan.

$$SF = \frac{P_{ult}}{P_{all}} > 1,2, \text{ dimana } P_{ult} = P_{pasir} - P_{aktif} \dots\dots\dots (6.12)$$

6.5. KONSEP PERENCANAAN STRUKTUR REVETMENT

Revetment adalah salah satu jenis struktur perlindungan pantai terhadap gaya gelombang dan/atau arus. Langkah awal yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan struktur revetment ini adalah penentuan beban dominan yang nantinya akan diterima struktur tersebut, apakah karena gelombang atau arus.

6.5.1. Struktur Revetment untuk Perlindungan terhadap Gaya Gelombang

Ada banyak tipe struktur revetment yang digunakan untuk mengatasi bahaya gelombang. Untuk kesemua tipe yang ada, pertama sekali kita harus mempertimbangkan batasan dalam penggunaannya. Batasan tersebut pada dasarnya adalah perencanaan terhadap kon-disi gelombang. Pada kebanyakan tipe struktur revetment ini, seorang perencana harus mengetahui besarnya tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode gelombang yang terjadi. Biasanya, dalam perencanaan revetment ini faktor arah datangnya gelombang tidak begitu signifikan untuk diperhitungkan, tetapi tentu saja tidak ada salahnya bila seorang perencana yang baik pasti memperhitungkan faktor tersebut.



Gambar 6.10. Proses Pembangunan Revetment

Seperti telah kita ketahui bersama, bahwa gelombang di perairan pantai mengikuti pola yang acak, sehingga dalam perencanaannya, kita tidak dapat dipisahkan dengan pendekatan statistik.

Gelombang rencana yang digunakan sebagai salah satu para-meter desain, mempunyai periode yang berulang. Hal ini berarti, seorang perencana harus merencanakan struktur revetment yang akan dibangunnya sedemikian rupa sehingga struktur tersebut nantinya dapat bertahan terhadap bahaya kegagalan (rata-rata) sekali selama umur operasi struktur tersebut. Hal ini bisa didekati dengan pendekatan statistik.

Sebagai ilustrasi diberikan sebagai berikut, jika seorang perencana merencanakan struktur revetment yang akan dibangunnya nanti sedemikian rupa sehingga dapat bertahan selama 20 tahun, maka tidak berarti bahwa struktur tersebut nantinya akan mempunyai waktu 19 tahun dalam keadaan tanpa kegagalan, dan hanya akan mengalami kegagalan pada tahun ke20. Tetapi anggapan tersebut

lebih mencerminkan bahwa, rata-rata periode antara dua kegagalan struktur revetment yang direncanakan adalah selama 20 tahun. Kadang kala periode tersebut malah bisa 2 tahun atau bahkan bisa mencapai 40 tahun. Pendekatan seperti ini biasanya sering disebut dengan analisa kegagalan.

Setelah menentukan periode operasi struktur revetment yang akan dibangun, selanjutnya dapat ditentukan karakteristik gelombang disekitar perairan dimana struktur revetment akan di bangun. Hal ini dapat dilakukan dengan beberapa cara, misalnya:

- Menggunakan data angin yang telah tersedia
- Menggunakan hasil perhitungan statistik gelombang
- Ataupun mengamati langsung di lapangan.

Setelah semua kondisi gelombang di perairan tersebut diketahui, langkah selanjutnya adalah pemilihan tipe struktur revetment yang sesuai, misalnya:

- Struktur rip-rap
- Konstruksi rivetment dengan penempatan blok-blok beton
- Konstruksi rivetment dengan dinding vertikal
- Konstruksi rivetment dengan bahan aspal (tidak cocok untuk daerah beriklim panas)
- Konstruksi rivetment dengan gabion (tidak dianjurkan untuk perlindungan pantai di lingkungan air asin).

6.5.2. Perencanaan Struktur Revetment dengan Dinding Vertikal

Beban yang diterima oleh suatu struktur (*revetment*) dengan dinding vertikal untuk perlindungan pantai, dapat digolongkan menjadi tiga, yaitu:

1. Beban statis gelombang, disebabkan karena perbedaan muka air laut.
2. Perbedaan tekanan tanah.
3. Beban dinamis gelombang.

Dinding vertikal yang akan digunakan sebagai revetment, direncanakan dapat menahan gaya dari gelombang tegak (*standing wave*), tidak seperti dalam perencanaan breakwater,

dimana gaya gelombang tidak begitu menjadi masalah. Gaya gelombang dapat dihitung dengan teori gelombang linier untuk gelombang tegak. Hal yang lebih kompleks pada perencanaan revetment ini adalah permasalahan pondasi dari dinding struktur tersebut. Dinding vertikal sebagai struktur revetment, dapat direncanakan dalam tiga cara:

1. Sebagai *sheet pile wall*.
2. Sebagai *gravity wall*.
3. Atau sebagai struktur *caisson*.

Apabila struktur revetment yang nantinya akan kita bangun direncanakan sebagai struktur *caisson*, maka harus diterapkan metode perencanaan seperti yang telah dikembangkan oleh Goda, dimana semua aspek tentang struktur *caisson* dan stabilitasnya diperhitungkan.

Pada permasalahan struktur revetment sebagai *gravity wall* (dan dinding tipe L) gaya-gaya yang terjadi bisa juga dihitung berdasarkan perhitungan struktur *caisson*, tetapi dalam perhitungan stabilitas, tidak dapat digunakan metode yang sama, perhitungan ini haruslah dilakukan secara terpisah.

Pada jenis *sheet pile wall*, dapat dihitung dengan menggunakan metode standard perencanaan *sheet pile*, seperti pada bahasan *bulkhead*.

Hal yang paling penting untuk diperhatikan oleh seorang perencana dalam mendesain revetment adalah, seorang perencana tidak dapat mencegah terjadinya erosi di bagian depan dari dinding bangunan pelindung (*revetment*), tanpa perlindungan tambahan. Hal ini berarti perlu diupayakan perlindungan terhadap bagian kaki struktur (*bed protection*) tersebut. Seringkali hal ini justru sangat bertentangan dengan keinginan para pengguna kawasan pantai, kita tahu bahwa kebanyakan yang orang berkunjung ke pantai, lebih senang duduk-duduk hamparan dipasir, daripada di tumpukan batuan.

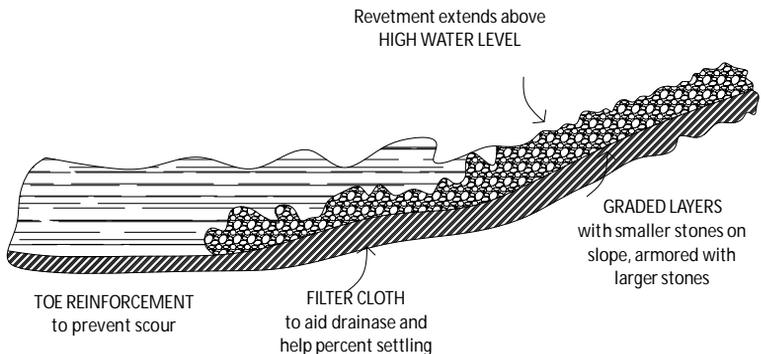
Pada kasus penempatan dinding vertikal pada pantai berpasir, dan tidak adanya perlindungan pada bagian kaki strukturnya, maka seharusnya struktur tersebut didesain dengan cara memperhitungkan

bahwa erosi pantai nantinya tidak mempengaruhi stabilitas dinding (*revetment*). Tentu saja konsekuensi logis yang harus diambil adalah biaya pembuatan struktur yang makin tinggi. Pada kebanyakan kasus, adanya dinding vertikal tidak pernah menghambat laju erosi, malahan pada kebanyakan kasus justru mempercepat terjadinya erosi

6.5.3. Revetment terhadap Pengaruh Arus dan Gelombang

Pada kasus revetment yang dibangun untuk perlindungan daerah pantai, pengaruh arus tidak begitu penting, hal ini sangat berbeda sekali dengan kasus penempatan revetment di mulut sungai. Untuk perhitungan revetment terhadap pengaruh arus, dapat digunakan persamaan shields.

Dalam perencanaannya, hal yang paling penting yang menjadi pertimbangan kita adalah apakah gaya yang paling berpengaruh nantinya adalah gaya gelombang ataukah karena arus.



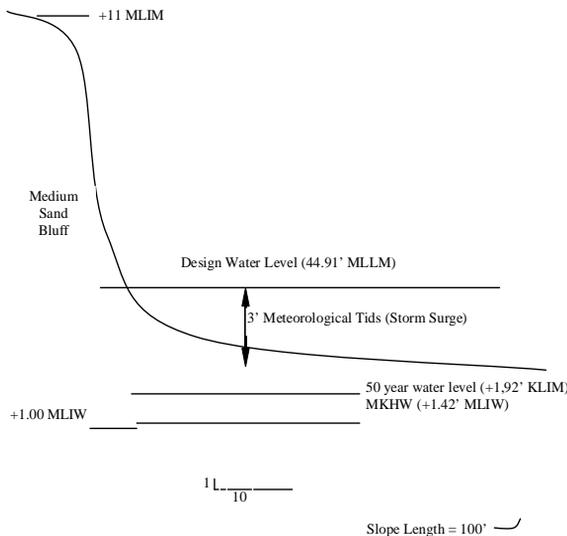
Gambar 6.11. Pengaruh Gelombang pada Revetment

Ada bermacam-macam tipe struktur revetment yang digunakan sebagai perlindungan terhadap gaya gelombang. Dari bermacam tipe struktur perlindungan pantai yang ada, dalam pemilihannya selalu didasarkan pada penentuan kondisi sekitar perairan pantai yang akan dilindungi.

Untuk merencanakan struktur revetment, kita harus mengetahui tinggi gelombang signifikan (H_s), dan periode gelombang yang terjadi di perairan pantai yang akan dibangun struktur tersebut, dan biasanya faktor arah datangnya gelombang juga mendapatkan perhatian, meskipun tidak signifikan.

6.5.4. Contoh Permasalahan

Dari kondisi perairan, seperti pada gambar, diketahui tinggi gelombang rencana, $H = 4,20$ ft. Periode gelombang rencana, $T = 4,25$ dt. Rencanakan bangunan revetment yang sesuai untuk kondisi tersebut.



Gambar 6.12. Gambaran Lokasi Pembangunan Revetment

Jawab:

Dari kondisi perairan yang ada akan dibangun sebuah revetment dengan slope 1: 2.

a. Kriteria Gelombang Pecah

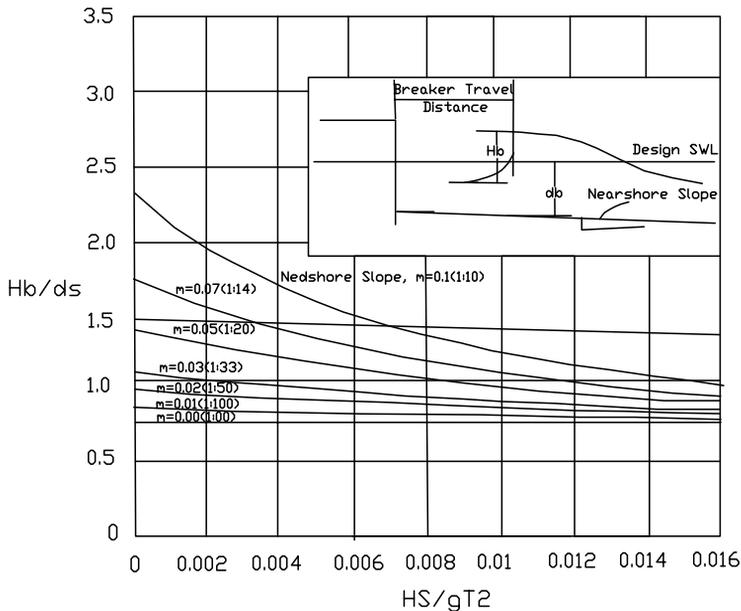
Analisis kondisi gelombang terhadap tinggi gelombang pecah maksimum:

$$d_s = 4,91 - 1,00 df = 3,91 \text{ ft}$$

$$T = 4,25 \text{ dt}$$

$$m = 0,10 \text{ (slope dasar laut)}$$

$$\frac{d}{gT^2} = 0,0067.$$



Gambar 6.13. Grafik Tinggi Gelombang Pecah

Dari grafik tinggi gelombang pecah untuk perencanaan di atas, didapatkan:

$$\frac{H_b}{d_s} = 1,45$$

Jadi $H_b = 1,45 \times 3,91 = 5,67$ ft, lebih besar dari tinggi gelombang rencana, H maka digunakan $H = 4,20$ untuk perencanaan.

b. Penentuan Ukuran Batuan Pelapis

Rip-rap

$$H = 4,20 \text{ ft}$$

$$T = 4,25 \text{ dt}$$

$$\text{Cot } q = 2,0$$

$$g_r = 165 \text{ lb/ft}^3$$

$$g_w = 165 \text{ lb/ft}^3$$

$$KD = 2,2 \text{ (lihat tabel dibawah).}$$

Dengan persamaan:

$$W_{50} = \frac{\gamma_r H^3}{KD \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_e} - 1 \right)^3 \cot \theta} \dots\dots\dots (6.14)$$

Didapatkan harga $W = 780$ lb.

Dengan variasi ukuran batuan yang disarankan adalah dari 0,75 W sampai 1,25 W, atau dari 585 lb sampai 975 lb. Dengan komposisi 50% ukuran lebih besar dari W. Bila diasumsikan luasan A = 1000 ft², maka jumlah batuan pelindung yang dipergunakan, N_r adalah:

Tabel 6.1.

Harga yang Dianjurkan untuk Penentuan Berat Lapisan Pelindung

Armor Unit	n ¹	Placement	Slope (col8)	X ₀
Quarrystone				
Smooth Rounded	2	Random	1.5 to 3.0	1.2
Smooth Rounded	> 3	Random	1.5 to 3.0	1.6
Rough Angular	1	Random	1.5 to 3.0	Do not use
Rough Angular	2	Random	1.5 to 3.0	2.0
Rough Angular	> 3	Random	1.5 to 3.0	2.2
Rough Angular	2	Special	1.5 to 3.0	7.0 to 20.0
Graded Riprap	2	Random	2.0 to 6.0	2.2
Concrete Armor Units				
Tetrapod	2	Random	1.5 to 3.0	7.0
Tripod	2	Random	1.5 to 3.0	9.0
Tripod	1	Uniform	1.5 to 3.0	12.0
Dolos	2	Random	2.0 to 3.0 ¹	15.0

¹ n equals the number of equivalent spherical diameters corresponding to the median stone weight that would in within the layer thickness

² Special placement with long axes of slope placed perpendicular to the slope face. Model lasts are described in Marble and David-son (1979).

³ Graded riprap is not recommended where wave heights exceed 5 h.

⁴ By definition, graded riprap thickness is two times the diameter of the minimum W_n size

⁵ Stability of dolosse on slope sleeper than 1 on 2 should be verified by model lasts.

⁶ No damage design (3 to 5 percent of units move). If no rocking of armor (less than 2 percent) is desired, reduce K₀ by approximately 50 percent

Tabel 6.2.

Harga Koefisien Lapisan dan Porositas untuk Lapisan Pelindung

Layer Coefficients and Porosity for Various Armor Units				
Armor Unit	n	Placement	KB	P(%)
Quarrystone (smooth)	2	Random	1.00	38
Quarrystone (rough)	2	Random	1.00	37
Quarrystone (rough)	2	Random	1.00	40
Graded riprap	2 ⁴	Random	N/A	37
Tetrapod	2	Random	1.04	50
Tribar	2	Random	1.02	54
Tribar	1	Uniform	1.13	47
Dolos	2	Random	0.94	56

*By definition, riprap thickness equals two cubic lengths of W_{60} or $1.25 W_{100}$.

Dari tabel 6.2. di atas, didapatkan harga $P = 37\%$.

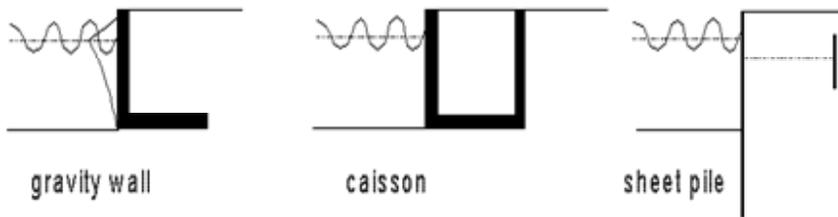
$$N_r = A n K_D \left(1 - \frac{P}{100}\right) \left(\frac{\gamma_r}{W}\right)^{2/3}$$

Maka didapatkan jumlah batuan N_r tiap 1000 ft² adalah 450 buah.

6.6. DINDING VERTIKAL SEBAGAI PELINDUNG PANTAI

Konstruksi dinding vertikal sebagai pelindung pantai dapat dibangun dengan berbagai cara. Pada bagian ini akan dibahas tiga tipe bangunan tersebut, yaitu:

- Gravity wall (misalnya. L-type wall)
- Caisson
- Sheet-pile.



Gambar 6.14. Beberapa Tipe Dinding Vertikal sebagai Pelindung Pantai

L-type wall dan caisson, pada kenyataannya, keduanya merupakan gravity walls (stabilitas struktur tersebut karena berat struktur itu sendiri). Perbedaan utama di antara keduanya adalah pada cara pembangunannya. L-type wall, biasanya dibangun langsung di lokasi atau dilakukan pre-fabrikasi bagian per bagiannya, kemudian di pasang dilokasi dengan menggunakan crane, sedangkan caisson dapat dibangun dimana saja dan kemudian dipasang pada lokasi dimana caisson ditempatkan.

Pada penentuan dimensinya, ada dua hal dominan yang berpengaruh, yaitu stabilitas dinding (berbeda antara pada gravity wall dengan sheet pile) dan erosi pada bagian yang terkena air.

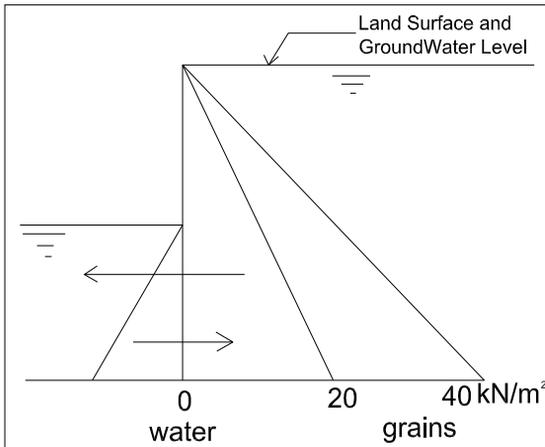
Beban hidrolik yang paling penting untuk diperhatikan pada perencanaan vertical wall yaitu gaya gelombang tegak (*standing wave*), dimana profil gelombang, kecepatan orbital, dan tekanan pada gelombang tegak dapat dihitung berdasarkan teori gelombang linier. Seperti terlihat pada gambar, beban gelombang di bawah wave crest, tidak begitu dominan pada kasus ini, hal ini karena lapisan tanah berperan untuk menahan dinding terhadap tekanan gelombang. Justru gelombang pada bagian bawahlah yang lebih penting, sebab kalau

diperhatikan resultan gaya gelombang justru bekerja pada arah yang sama dengan tekanan tanah, pada daerah tersebut.

Beban lain adalah beban yang ditimbulkan oleh tanah karena adanya perbedaan tinggi permukaan tanah pada kedua sisi bangunan. Dengan tinggi gelombang yang kecil bila dibandingkan dengan perbedaan tinggi ini, akan merupakan beban dominan yang diterima dinding vertikal. Beban ini terdiri dari beban hidrostatis, karena perbedaan muka air, pada kedua sisi, ditambah beban akibat tekanan tanah. Beban karena tekanan tanah untuk dinding kaku (*inflexible walls*) didapatkan dengan cara mengalikan tekanan tanah vertikal (kedalaman tanah dikali berat spesifik) dengan koefisien $(1 - \sin \phi)$.

Diberikan sebuah contoh sebagai berikut.

Sebuah dinding beton setinggi 2 m, dibangun di daerah pantai berpasir untuk menahan hempasan gelombang. Muka air tanah dapat dianggap sama dengan permukaan tanah (selama musim hujan lebat). Muka air laut (musim terendah) adalah 1 m di bawah permukaan tanah. Berat spesifik pasir adalah 16 kN/m^3 (di atas muka air tanah), dan sama dengan 10 kN/m^3 (di bawah muka air tanah).



Gambar 6.15. Distribusi Gaya pada Dinding Pelindung Pantai

Gaya-gaya horisontal yang bekerja pada dinding menjadi:

$$\text{Tekanan air} \quad : 1/2 * 2 * 20 - 1/2 * 1 * 10 = 20 - 5 = 15 \text{ kN/m}$$

$$\text{Tekanan tanah} \quad : 1/2 * 2 * (1 - \sin 30) * 20 = 10 \text{ kN/m}$$

Sehingga, total gaya per m panjang yang diterima dinding adalah 25 kN.

Beban-belan lain yang diterima dinding vertikal dapat disebabkan oleh fungsi lain tanah disekitar struktur dinding vertikal tersebut. Misalkan, bila dinding vertikal yang dibangun untuk perlindungan pantai tersebut, terletak dimana struktur tersebut merupakan batas antara daerah pantai dan jalan raya di tepi pantai, maka tentu saja, lalu lintas kendaraan akan merupakan beban yang paling dominan. Jika dinding vertikal tersebut dibangun pada daerah pelabuhan, yang digunakan untuk sarana bongkar muat kapal kargo, maka berat muatan kargo harus dipertimbangkan dalam perencanaannya.

Seperti telah dijelaskan pada bagian awal, stabilitas dari dinding vertikal tipe L-type walls dan caissons, adalah karena berat strukturnya sendiri. Dalam kata lain, gaya-gaya dan momen yang bekerja pada struktur tersebut haruslah memenuhi hukum kesetimbangan gaya. Kalau diperhatikan, begitu pula dengan gaya gesek antara dasar struktur dengan lapisan tanah, harus seimbang juga.

Dalam perencanaannya, biasanya diambil harga antara 0.4 – 0.5 sebagai harga koefisien gesek antara beton (material dinding) dan tanah. Pada suatu kasus dimana kualitas tanah amat buruk, maka gaya gesek antara beton dan tanah tidaklah dominan, tetapi yang lebih dominan untuk diperhitungkan adalah gaya gesek dalam (*internal friction*) tanah. Oleh karena itu, biasanya diambil harga, $2/3 * \square$ sebagai batas atas untuk koefisien gesekannya.

Beban hidrolik pada sheet pile wall adalah sama seperti apa yang ada pada gravity wall. Hanya pada gaya tekanan tanah yang mungkin dapat berbeda, sebab sheet-pile wall tidak setegar dinding beton (*concrete wall*). Oleh sebab itu, koefisien untuk gaya tekanan tanah

horisontal akan berbeda. Pada saat sekarang, telah banyak tersedia perangkat lunak untuk melakukan perhitungan stabilitas sheet pile walls

Terjadinya erosi pada daerah yang menghadap laut, dapat mengurangi stabilitas struktur vertikal wall ini, atau juga dapat membuat ketidaknyamanan wisatawan untuk menikmati pemandangan sekitar pantai.

Jika daerah pantai yang dilindungi dengan struktur vertikal wall ini bukan merupakan daerah wisata (pemandangan pantai tidak begitu penting), maka perlu diupayakan perlindungan terhadap kaki struktur (*bed protection*) vertikal wall ini. Sebagai asumsi awal dapat digunakan anggapan yang sama seperti pada hubungan stabilitas seperti pada toe breakwater. Panjang dari lapisan pelindung bagian bawah struktur vertikal wall ini sekitar setengah panjang gelombang.

Jika tidak diupayakan perlindungan bagian bawah struktur vertikal wall ini, maka perlu diupayakan untuk membuat kedalaman erosi, di depan struktur. Dapat digunakan sebagai asumsi awal kedalaman erosi tersebut sekitar H_s .

6.7. ALTERNATIF KONSTRUKSI DENGAN BIAYA MURAH

6.7.1. Revetment

Revetment adalah struktur yang digunakan untuk melindungi daerah tepi pantai atau sungai, untuk menyerap energi gelombang, biasanya dibangun untuk mempertahankan fungsi alami garis pantai dan menjaga kemiringan pantai. Seperti halnya *seawall*, revetment juga berfungsi untuk menjaga dan melindungi daratan dibelakangnya. Bentuknya bisa saja struktur yang benar-benar kedap air, struktur perlindungan terhadap kemiringan pantai secara menyeluruh atau struktur yang porous (memungkinkan adanya sebagian air yang lewat, setelah energi gelombang dipecahkan).

Kebanyakan struktur revetment tidak mempunyai efek yang signifikan terhadap pergerakan *litoral drift*. Struktur

revetment tidak menyebabkan energi gelombang yang timbul, mempengaruhi daerah yang tidak terlindungi, meskipun daerah pantai didepan struktur revetment cenderung mudah tererosi. Bagaimanapun juga material pantai yang tererosi sebelum proses pembangunan revetment, turut membantu proses pemulihan kondisi sekitarnya. Percepatan proses erosi yang terjadi setelah pembangunan revetment dapat dikendalikan dengan membangun struktur perlindungan pantai seperti groin atau breakwater.

6.7.1.1. Pertimbangan-pertimbangan dalam Perencanaan

Kondisi gelombang yang menerpa struktur revetment dapat diperlukan sama seperti bila gelombang menerpa tepian pantai atau sungai yang tanpa ada perlindungan, dan air langsung menghantam sepanjang kemiringan pantai. Adanya penyebaran area rayapan gelombang ini dapat dikurangi dengan penempatan batuan atau bentuk-bentuk material yang tidak teratur atau kasar, sebagai material konstruksinya. Bentuk permukaan material yang kasar lebih memberikan ketahanan dalam menghambat laju aliran air, daripada permukaan alami pantai, sehingga dapat dikatakan, hal yang akan dilakukan adalah secepatnya mengurangi energi gelombang, baru kemudian mencegah lebih jauhnya efek rayapan gelombang.

Pertimbangan-pertimbangan penting dalam proses perencanaan termasuk adanya perencanaan yang sesuai untuk tinggi, lebar dan perlindungan terhadap bagian *toe*, struktur revetment. Revetment yang akan dibangun nantinya harus cukup tinggi untuk mencegah terjadinya *overtopping* oleh gelombang-gelombang yang tinggi. Untuk mencegah terjadinya erosi pada tepi pantai atau sungai, daerah tepian tersebut haruslah terlindungi. Efek penggerusan pada bagian *toe* dapat dicegah dengan penempatan batuan apron sebagai struktur perlindungannya. Jika revetment yang akan dibangun nantinya ditempatkan di daerah pantai, maka pertimbangan yang tidak

alah penting untuk dilakukan adalah pembangunan revetment nantinya diusahakan tidak mengganggu para pengguna pantai yang lain, biasanya para wisatawan.

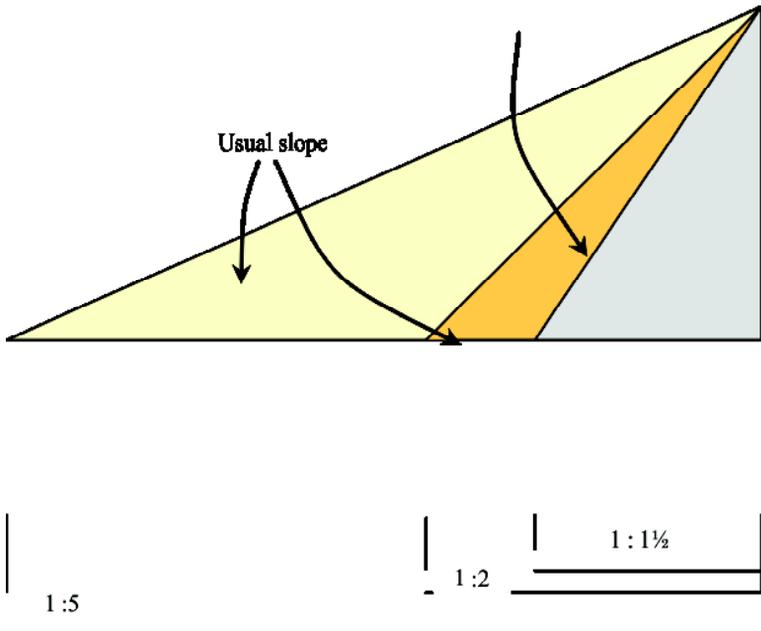
Revetment yang akan dibangun nantinya, sebaiknya juga mempertimbangkan adanya sarana untuk penanganan terhadap tekanan air tanah pada daerah yang terlindungi. Saringan yang terbuat dari kain atau kerikil dapat digunakan untuk membebaskan tekanan air pada revetment poreus, hal ini menjaga saluran drainase tetap terbuka dan mempercepat proses pemadatan. Pada jenis revetment solid dapat digunakan penempatan beberapa "lubang alir" sepanjang bagian bawah struktur sebagai saluran drainase pada daerah yang tidak tererosi, dan mencegah adanya upaya air untuk mencari jalan sendiri, sepanjang material yang lunak pada sisi miringnya.

Struktur revetment yang cukup kuat pada kondisi normal, mungkin dapat mengalami kerusakan pada beberapa kondisi badai, dimana pada kondisi tersebut kecepatan gelombang dan gaya gelombang bisa menjadi beberapa kali lipat bila dibandingkan dengan kondisi normalnya. Revetment harus direncanakan sedemikian rupa sehingga mampu menahan hempasan gelombang yang datang bertubi-tubi atau gelombang yang mungkin membawa partikel-partikel batuan (atau lainnya). Untuk keperluan tersebut, biasanya pada revetment tipe poreus digunakan batuan yang berukuran besar, atau penggunaan bahan yang bisa saling mengunci.

Struktur revetment dapat digunakan pada berbagai variasi kondisi lokasi setempat, dan ketersediaan material penyusunannya. Bisa saja beberapa jenis material lebih cocok untuk daerah pantai atau tepian sungai yang landai dengan kondisi gelombang yang tenang, sedangkan tipe material lain lebih cocok untuk daerah yang lain juga. Bagaimanapun juga kunci sukses dalam perencanaan struktur revetment ini adalah perlindungan revetment dengan lapisan material permukaan yang berat, dan penyediaan saluran drainase yang cukup.

6.7.1.2. Karakteristik Lokasi

Struktur revetment stabil bila dibangun pada kemiringan yang cukup landai, misalnya dengan perbandingan kemiringan 1: 2, sampai 1: 4. Struktur revetment, sedapat mungkin tidak dibangun pada daerah yang memiliki kemiringan lebih kecil dari 1: 5. Untuk keperluan pembangunannya, daerah sisi miring pantai haruslah melalui proses perataan permukaan, hal ini untuk mempermudah proses persiapan pembangunan pondasi revetment.



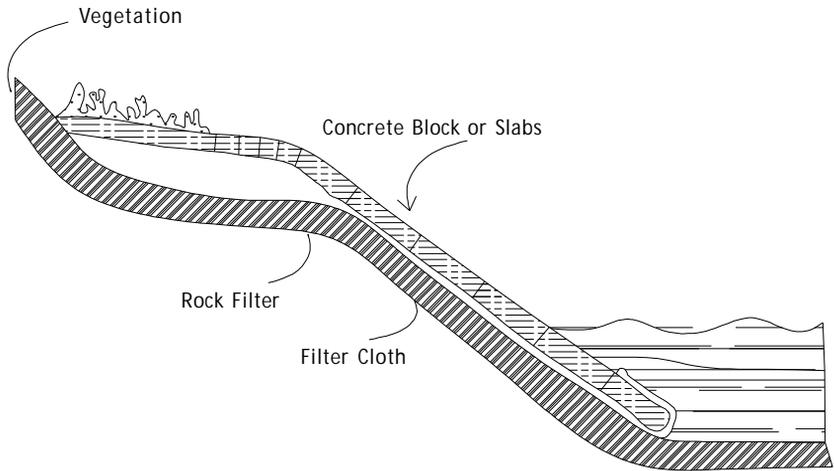
Gambar 6.16. Kondisi Kemiringan Tanah untuk Struktur Revetment

Adanya efek erosi pada daerah *toe*, biasanya pada revetment yang landai, lebih jauh lagi dapat mengganggu kestabilan revetment. Pada daerahdaerah yang memiliki kecenderungan mudah mengalami erosi, maka perlu dipertimbangkan untuk mengupayakan sarana lain untuk pengendalian erosi tersebut, hal ini juga merupakan masalah tersendiri, terutama jika diperlukan material konstruksi yang berat, dan tahan lama.

6.7.1.3. Material-material Konstruksi

Jika pada daerah di mana revetment akan dibangun terdapat banyak material batuan kasar atau batu kali yang siap pakai, maka material tersebut sudah cukup untuk membangun revetment yang handal dan ekonomis. Hal lain yang tidak boleh dilupakan adalah penyediaan material pelapis dan penyediaan material untuk bahan saringan untuk keperluan drainasenya. Upah pekerja, biasanya lebih banyak dikeluarkan pada saat tahapan persiapan pondasi dan tahap pemasangan batuan yang berat dan berukuran besar, meskipun kita bisa mendapatkan material penyusun dengan biaya yang wajar.

Sebagai material alternatif dengan biaya murah, bisa digunakan karung yang diisi pasir atau sedikit campuran beton. Tetapi material tersebut hanya dapat digunakan untuk daerah dengan kondisi gelombang yang tidak begitu besar. Sebagai material alternatif untuk mencegah lepasnya material pelapis revetment atau mencegah adanya displasemen, dapat digunakan karung yang diisi dengan campuran pasir basah dan semen.

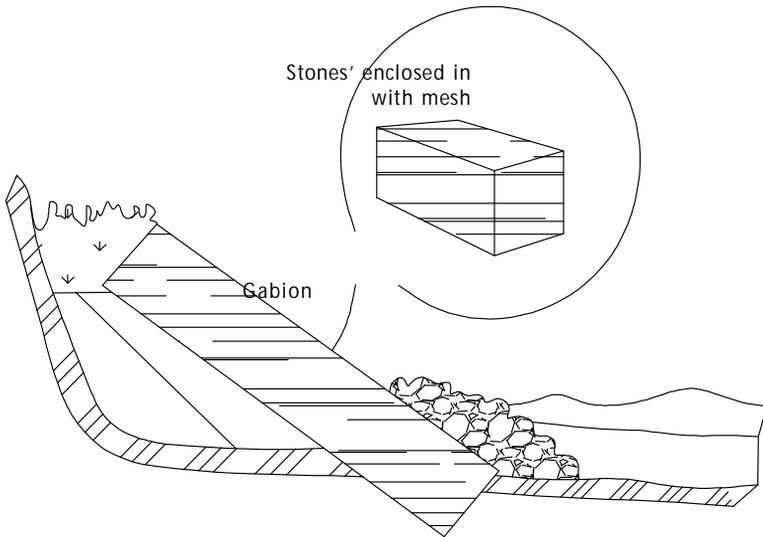


Gambar 6.17. Konstruksi Revetment dari Balok-balok Beton

Penggunaan blok-blok beton dalam berbagai bentuk, terbukti efektif dalam pembangunan revetment. Balok beton berukuran besar dan penggunaan desain balok beton yang saling mengunci, terbukti merupakan bentuk konstruksi. Penggunaan campuran beton juga disarankan, jika beton standar yang ada terbukti tidak cukup kuat menahan hempasan gelombang.

Gabion dapat juga digunakan sebagai material pembuatan revetment. Tetapi hal yang perlu diperhatikan adalah pembuatan anyaman kawat, yang digunakan sebagai tempat batuan, harus cukup diperhitungkan, sehingga tidak memungkinkan untuk lewatnya material-material yang berukuran agak kecil, lewatnya batuan pada anyaman kawat ini, juga memungkinkan untuk terjadinya abrasi pada kawat, sehingga dapat menyebabkan rusaknya anyaman. Batuan yang digunakan untuk penyusun gabion inipun ukurannya harus diperhatikan, biasanya digunakan ukuran batu dengan diameter tidak kurang dari 4 inch. Dalam perawatannya, revetment yang menggunakan gabion ini harus lebih diperhatikan. Material batuan yang terdapat dalam “keranjang” harus selalu diisi, bila ditemui telah mengalami pemadatan, ataupun hilang terbawa ombak. Penggunaan gabion pada struktur revetment ini harus

dihindari pada perairan dimana gelombangnya banyak membawa partikel-partikel kecil (dapat menyebabkan rusaknya anyaman kawat), atau pada daerah yang sering dipakai lalu lalang pejalan kaki.



Gambar 6.18. Konstruksi Revetment dari Gabion

6.7.2. Bulkhead dan Seawall

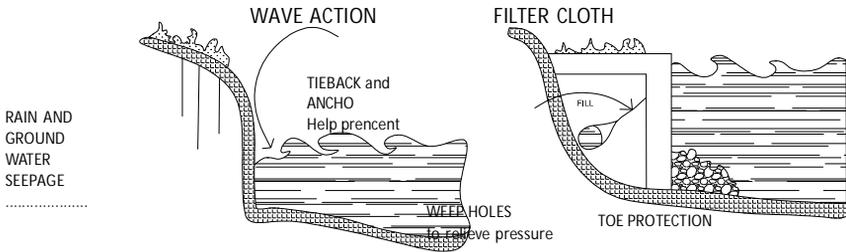
Struktur bulkhead dan seawall, melindungi daerah pantai dengan cara memisahkan areal daratan terhadap perairan didepannya cara kerja bulkhead ini hampir mirip dengan *retaining wall*, dimana bulkhead menjaga runtuhnya lapisan tanah tersebut. Sedangkan seawall utamanya digunakan untuk menahan hempasan gelombang. Pertimbangan-pertimbangan desain yang harus diambil untuk kedua tipe struktur tersebut adalah sama.

Kedua struktur ini tidak melindungi area pantai di depan keduanya. Pada kenyataannya di lapangan, jika struktur bulkhead atau seawall ini ditempatkan pada daerah yang gelombangnya cukup signifikan, keduanya malah mempercepat terjadinya erosi pantai. Hal ini karena sebagian banyak energi gelombang langsung diarahkan ke bawah, pada bagian *toe*, oleh kedua struktur ini, dimana gelombang langsung menerpa lapisan pasir atau tanah yang lebih lunak. Dengan kata lain pantai di daerah dekat struktur bulkhead atau seawall, menahan beban gelombang lebih banyak bila dibandingkan daerah yang tidak terdapat struktur tersebut. Tentu saja hal ini lebih mempercepat erosi.

6.7.2.1. Pertimbangan-pertimbangan dalam Perencanaan

Terdapat tiga macam desain dasar dalam perencanaan bulkhead dan seawall. Keduanya dapat berbentuk:

1. *Sheet pile tipis*, yang didesain saling mengunci yang ditanamkan di tanah.
2. Pile-pile tunggal yang digunakan untuk menahan struktur di atas lapisan tanah, atau
3. Struktur *gravity* yang diletakkan pada dasar pantai, yang didukung oleh berat struktur itu sendiri, daripada sistem *piling*.



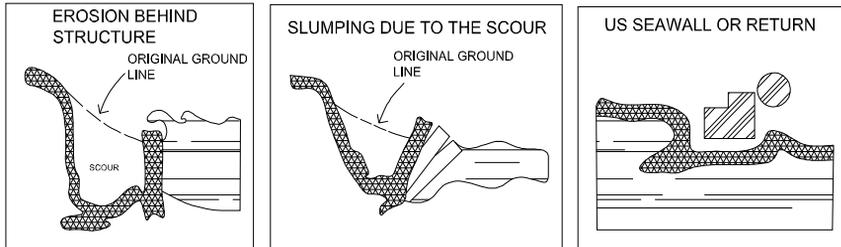
Gambar 6.19. Pengaruh Gelombang pada Struktur Seawall dan Bulkhead

Bulkhead dan seawall harus dapat melindungi daerah di depan atau dibelakangnya terhadap ancaman gaya gelombang. Gelombang yang melalui bagian atas struktur tersebut, dapat menyebabkan erosi pada daerah dibelakang struktur, seperti jika daerah tidak terlindungi. Sehingga struktur yang direncanakan, harus cukup tinggi untuk mencegah terjadinya pengaruh karena adanya *overtopping*. Adanya lapisan tanah di belakang bangunan, ditambah dengan adanya hujan, dapat menyebabkan adanya tekanan dari bagian belakang struktur, yang dapat menekan struktur ke arah sebaliknya. Seperti halnya pada struktur revetment, dapat digunakan metode yang sama untuk menanggulangi efek semacam ini, sehingga struktur bulkhead dan seawall bisa tetap tegak.

Untuk melindungi bagian depan struktur terhadap gaya gelombang, struktur ini harus dibuat dari bahan yang cukup kuat untuk menahan hempasan gelombang atau menahan gelombang yang mungkin membawa partikel-partikel kecil di dalamnya.

Perlindungan di sekitar *toe* juga diperlukan untuk mencegah miringnya, atau bahkan robohnya struktur ini. Material batuan apron atau batuan berat lainnya, dapat digunakan sebagai perlindungan pada bagian bawah struktur, sehingga energi gelombang yang datang padanya dapat diserap, sekaligus melindungi bagian lapisan tanah lunak di sekitarnya dari bahaya erosi.

Air yang berada di sekitar struktur ini juga dapat menyebabkan bahaya erosi pada struktur, sehingga diupayakan untuk melapisi bagian struktur yang terkena air supaya tidak mudah tererosi. Konstruksi sistem penjangkaran, digunakan untuk mencegah runtuhnya struktur karena efek erosi pada sisi struktur.



Gambar 6.20. Kegagalan pada Struktur Seawall atau Bulkhead

6.7.2.2. Karakteristik Lokasi

Untuk penggunaan di daerah tepian sungai yang mudah tererosi, bulkhead dan seawall, biasanya cocok apabila ditempatkan pada daerah berbatu, daerah berpasir atau ditanam pada pondasi yang dalam. Kondisi permukaan dasar sangat mempengaruhi pemilihan tipe struktur yang sesuai.

Dengan kondisi dasar yang berpasir, atau tanah asli, dapat digunakan alternatif desain dengan menggunakan model *sheet pile*, atau menggunakan desain pile-pile tunggal, untuk menahan struktur di atas tanah. Untuk daerah-daerah berbatu, biasanya lebih ekonomis bila digunakan tipe struktur gravity, tetapi bila melihat pertimbangan kondisi energi gelombang atau pertimbangan-pertimbangan lain, maka struktur pile bisa juga menjadi pilihan. Pada daerah kondisi berbatu lunak, maka struktur jenis pile dapat digunakan, tentu saja perlu dilakukan pengeboran, untuk pemasangan pile-pilenya, dan juga perlu dipertimbangkan sistem penjangkarnya.

Kondisi gelombang setempat, juga sangat berpengaruh dalam pemilihan struktur bulkhead dan seawall yang sesuai. Sebab, karakteristik kedua struktur tersebut adalah menahan gelombang laut secara langsung, jadi kekuatan material penyusunannya, pada kondisi ini, merupakan hal yang sangat penting untuk diperhatikan. Sangat tidak direkomendasikan menggunakan material yang mahal (misal, campuran beton yang diperkuat) sebagai penyusun bulkhead dan seawall ini, dalam kasus ini lebih disarankan untuk membangun breakwater atau kombinasi struktur perlindungan yang lain.

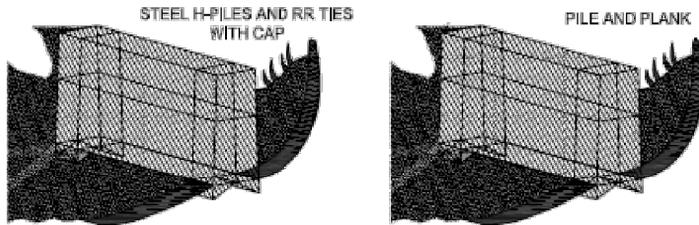
6.7.2.3. Material-material Konstruksi

Sebagai material alternatif, biasanya banyak digunakan bahan kayu olahan sebagai material penyusun struktur bulkhead dan seawall dengan biaya murah, tetapi keterbatasannya, tidak semua desain di atas dapat menggunakan material ini. Bahan kayu olahan ini lebih berguna bila diterapkan pada desain *sheet pile* atau pada desain *pile and plank*. Penggunaan kombinasi kayu olahan dengan baja H, relatif lebih mahal untuk digunakan, dan dengan mahalnya harga material, maka otomatis membatasi perencanaan struktur ini hanya pada masalah tertentu saja.

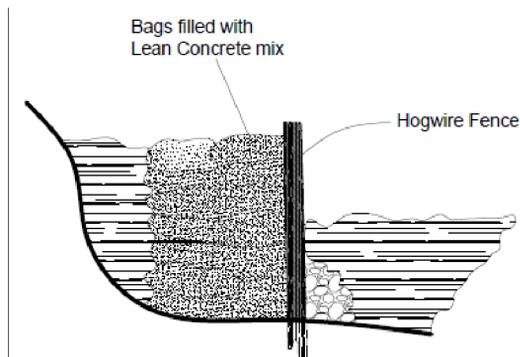
Baja atau besi, bisa digunakan pada tipe desain *sheet pile*, pemilihan material ini sangat tergantung pada segi pembiayaan dan kondisi lingkungan sekitar (baja dapat lebih tertanam pada material yang keras daripada aluminium). Bagaimanapun juga penggunaan desain struktur tipe *sheet pile* ini, memerlukan beberapa peralatan pembantu untuk pemasangannya, misalkan saja peralatan untuk menancapkan pile ke tanah. Keuntungan utama yang bisa digunakan bila dipilih jenis *sheet pile* sebagai konstruksi bulkhead dan seawall adalah, penampilannya yang rapi untuk dipandang dan relatif bebas biaya perawatan.

Material dengan bahan karung yang berisi campuran sedikit beton, dan dipasang dengan anyaman kawat, cocok digunakan untuk tipe struktur bawah tanah, atau *gravity*.

Kehati-hatian sangat diperlukan pada tahapan pemilihan material, material-material mana yang banyak tersedia (hanya) di daerah setempat dan material-material mana yang banyak terdapat dimana saja, oleh karena itu perlu dikonfirmasi terlebih dahulu terhadap batasan perancangan, seperti yang telah disinggung di muka. Sebagai tambahan terakhir, modifikasi-modifikasi khusus, kadangkala diperlukan untuk penerapan rancangan struktur, berdasarkan ketersediaan material penyusunnya.



Gambar 6.21. Konstruksi Seawall atau Bulkhead dari Kombinasi Profil Baja dan Kayu



Gambar 6.22. Konstruksi Seawall atau Bulkhead dari Kombinasi Kantung Pasir

BAB VII

BREAKWATER DAN JETTIES

7.1. BREAKWATER

Pemecah gelombang atau breakwater adalah suatu bangunan pantai yang bertujuan untuk mematahkan/menahan energy gelombang yang datang menuju pantai sehingga karakteristik gelombang yang datang sesuai dengan yang direncanakan/disyaratkan. Bangunan breakwater pada umumnya dibuat untuk melindungi konstruksi bangunan pantai lainnya seperti : pelabuhan, kawasan pantai wisata, dan sebagainya , atau bisa juga untuk melindungi garis pantai dari bahaya erosi dan sedimentasi. Bangunan breakwater tersebut biasanya terbuat dari tumpukan batu, beton, ataupun baja sesuai dengan tipe breakwaternya.

7.1.1. TIPE BREAKWATER

Breakwater dapat digolongkan kedalam beberapa tipe/macam, antara lain:

a. **Sloping breakwater**

Konstruksi breakwater ini dibuat dengan kemiringan/slope tertentu yang terdiri dari tumpukan batu/beton dimana stabbilitas tumpukan tersebut tergantung pada kemiringan tumpukannya. Tipe ini dapat digolongkan berdasarkan bahan konstruksinya, yaitu:

1. **Rubble mound breakwater**; dimana breakwater tersebut terbuat dari tumpukan batu alam atau batu buatan dengan ukuran tertentu yang disusun berlapis, dimana lapisan paling luar (utama) berukuran paling besar dan lapisan dibawahnya (lapisan sekunder dan lapisan inti) memakai ukuran batu yang lebih kecil.
2. **Concrete block breakwater** ; dimana breakwater tersebut terbuat dari tumpukan beton yang dibuat sedemikian rupa (precast) dengan ukuran tertentu.

Tipe slopping breakwater ini digolongkan menjadi:

- 1) *Overtopping breakwater*; Dimana gelombang yang ditahan oleh breakwater ini diperkenankan/diijinkan untuk melimpas diatasnya.
- 2) *Non overtopping breakwater* ; dimana gelombang yang ditahan oleh breakwater tidak diperkenankan untuk melintas diatasnya.

b. Upright breakwater (breakwater dinding tegak)

Breakwater tipe ini terbuat dari konstruksi beton atau baja yang dibuat tegak lurus/vertical yang merupakan suatu struktur yang solid/massif. Tipe ini bisa lebih "ramping" tetapi perlu pengecekan stabilitas yang lebih teliti, dikarenakan energi gelombang tidak diserap melainkan dipantulkan/ditahan oleh struktur breakwater tersebut. Upright breakwater dibagi dalam beberapa jenis, antara lain:

1. *Monolit breakwater* ; yaitu breakwater dengan dinding tegak yang terbuat dari beton yang di cor monolit (biasanya dicor ditempat/cast instu), dimana stabilitasnya terhadap gaya gelombang tergantung dari berat strukturnya sendiri.

2. *Caisson breakwater* ; yaitu breakwater dengan dinding tegak yang terbuat dari beton (biasanya precast/prestress) atau baja (sheetpile atau pipa bulat diameter besar) yang dipasangkan dengan cara khusus.

c. Composite breakwater

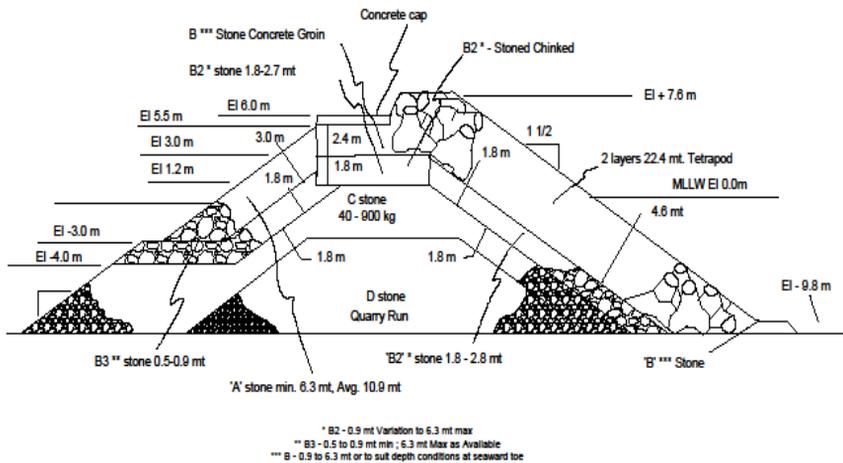
Yaitu breakwater yang tersusun dari kombinasi beberapa macam bahan yang merupakan suatu kesatuan konstruksi. Konstruksi breakwater tipe composite ini bisa merupakan gabungan antara bahan beton (tipe caisson) dengan bahan pasir sebagai pengisi digabungkan dengan tipe rubble mound, juga bisa tipe sheetpile dengan bahan pengisi seperti pasir atau batu.

d. Breakwater tipe khusus

Yaitu tipe breakwater yang didesain khusus tergantung kondisi lingkungan yang ada seperti : floating breakwater, concrete block yang diletakkan diatas pile, dan sebagainya.



Nawiliwili Harbor - Dolos Breakwater



Gambar 7.1. Rouble mound breakwater

7.1.2 KONDISI LINGKUNGAN (gelombang, arus, angin, pasang surut, dan tanah dasar)

Kondisi lingkungan yang perlu diperhatikan dalam merencanakan breakwater yaitu :

a. Gelombang

Sebagian besar yang mempengaruhi perencanaan breakwater adalah gelombang, baik untuk stabilitas breakwater itu sendiri maupun pengaruh gelombang tersebut terhadap bangunan lain. Pada slopping breakwater energi gelombang dengan sendirinya akan tereduksi, tetapi pada breakwater yang tegak energi gelombang akan sepenuhnya ditahan oleh breakwater dapat dilihat pada pembahasan gelombang sebelumnya.

b. Arus

Arus sangat menentukan arah dan jumlah sedimen yang akan terjadi pada daerah tertentu akibat adanya breakwater. Untuk stabilitas breakwater, tekanan arus tersebut biasanya relative kecil dan kurang diperhitungkan, tetapi bahaya scouring maupun sedimentasi disekitar breakwater perlu diperhatikan.

c. Pasang surut

Pasang surut permukaan air laut perlu diperhatikan dalam menentukan puncak breakwater, sehingga fungsi breakwater (overtopping atau non overtopping) dapat sesuai dengan yang direncanakan.

d. Angin

Tekana angin ataupun kecepatan angin sangat berpengaruh pada proses timbulnya gelombang. Pada slopping breakwater pengaruh tekanan angin tidak perlu diperhitungkan, tetapi pada breakwater tegak pengaruh tekanan angin perlu diperhatikan yang harus dikombinasikan dengan beban gelombang yang ada.

e. Tanah dasar

Tanah dasar dibawah breakwater sangat berpengaruh pada stabilitas breakwater. Bahaya settlement, sliding, ambias, dan bahaya liquefaction sangat tergantung dari jenis dan karakteristik tanah dibawah breakwater.

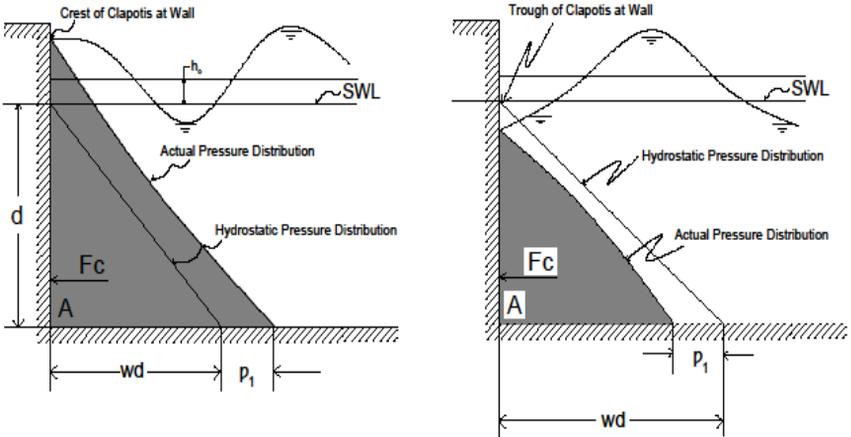
7.1.3 TEKANAN GELOMBANG PADA DINDING TEGAK (WALL)

Pada breakwater yang tegak lurus dan kedap air, gelombang yang mengenainya akan menimbulkan teekananan tertentu. Perhitungan besarnya gaya tekan (force) pada wall ini dibagi dalam tiga kondisi, yaitu: pada kondisi *non breaking wave* (sebelum gelombang pecah), *braking wave* (saat gelombang pecah), dan *broken wave* (setelah gelombang pecah)

a. Kondisi non breaking wave

Perumusan tekanan gelombang pada kondisi ini diusulkan oleh Miche Rundgren (1958) yaitu dibagi pada tiga kondisi, antara lain:

1) Kondisi dimana ketinggian wall cukup tinggi



Gambar 7.2. Tekanan gelombang pada dinding vertical (non breaking wave)

Dari gambar diatas, besarnya gaya pada dinding (F_{total}) dan momen terhadap kaki dinding (M_{total}) adalah :

$$\text{Force} \quad : \quad F_{total} = F_{wave} + F_{hidrostatik} \quad (7.1)$$

$$\text{Momen} \quad : \quad M_{total} = M_{wave} - M_{hidrostatik} \quad (7.2)$$

Dimana

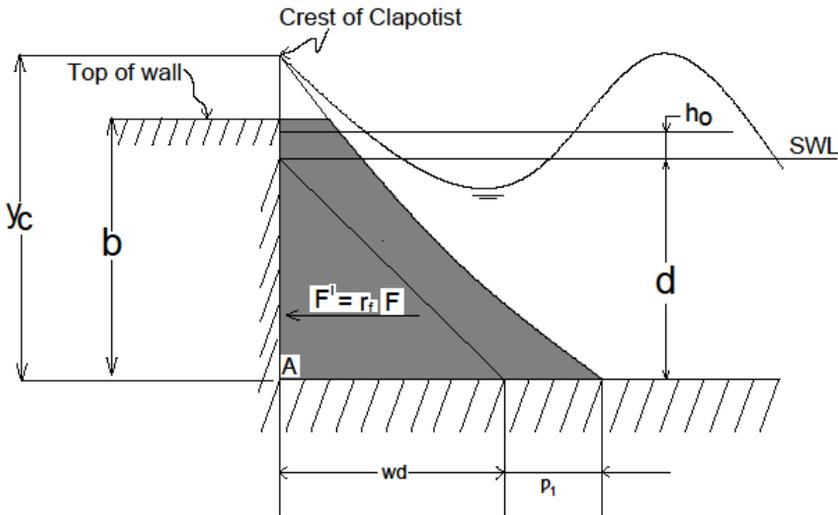
F_{wave} dan M_{wave} = didapat dari Gambar 7.9 dan Gambar 7.10

$$F_{hidrostatik} = \frac{1}{2} \cdot W \cdot d^2 \quad (7.3)$$

$$M_{hidrostatik} = \frac{1}{6} \cdot W \cdot d^3 \quad (7.4)$$

- Keterangan :
- H_i = Tinggi gelombang rencana
 - T = Prioda gelombang
 - g = Percepatan gravitasi = 9,8 m/det
 - d = Kedalaman air dari SWL
 - w = Berat volume air
 - h_o = Ketinggian "clapotis orbit centre"

2) Kondisi dimana ketinggian wall lebih rendah



Gambar 7.3 Tekanan gelombang pada dinding vertical yang rendah (non breaking wave)

Maka :

$$F' = r_f \cdot F_{total} \tag{7.5}$$

$$M' = r_m \cdot M_{total} \tag{7.6}$$

Dimana :

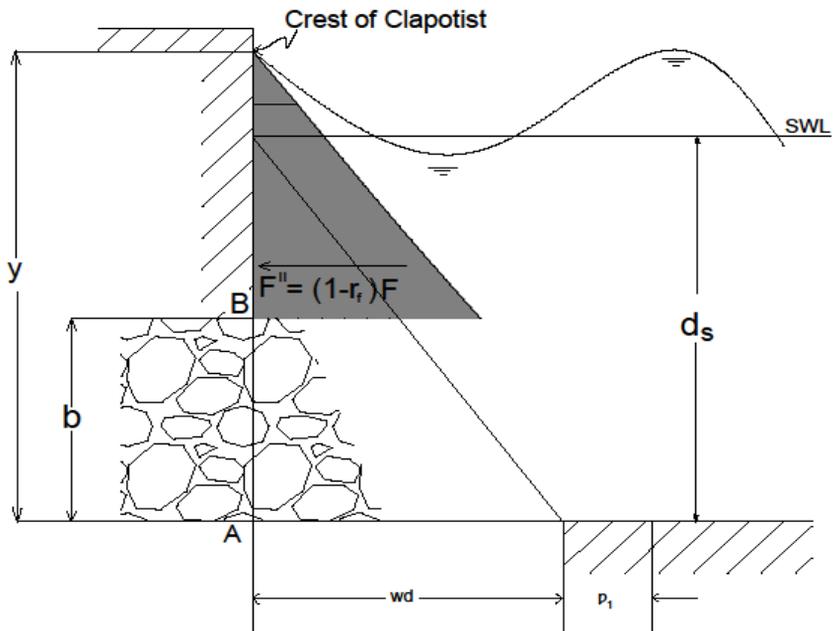
$$r_f = b/y \cdot (2 - b/y) \quad \text{untuk } 0,5 < b/y < 1 \quad (7.7)$$

$$r_f = 1 \quad \text{untuk } b/y \geq 1$$

$$m = (b/y)^2 \cdot (3 - 2 \cdot b/y) \quad \text{untuk } 0,5 < b/y < 1 \quad (7.8)$$

$$m = 1 \quad \text{untuk } b/y \geq 1$$

3) Kondisi dimana wall tersebut diatas lapisan batu



Gambar 7.4. Tekanan gelombang pada dinding vertical yang berada diatas lapisan batu (non breaking wave)

Maka : $F'' = (1-r_f) \cdot F_{total}$ (7.9)

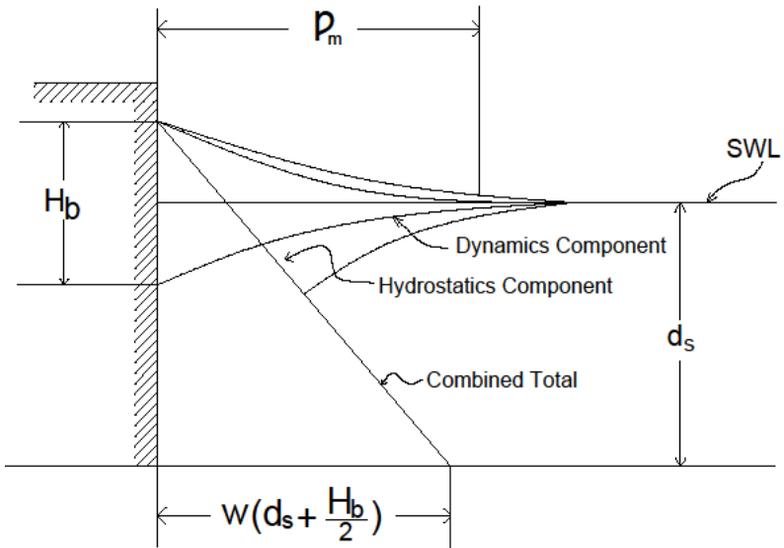
$Ma'' = (1-r_m) \cdot M_{total}$ (7.10)

$Mb'' = Ma'' - b \cdot F''$ (7.11)

b. Kondisi Breaking Wave

Perhitungan pada kondisi ini dapat dihitung dengan metoda sebagai berikut :

1) Metode Minikin (1963)



Gambar 7.5 Tekanan gelombang pada dinding vertical (Minikin, 1963)

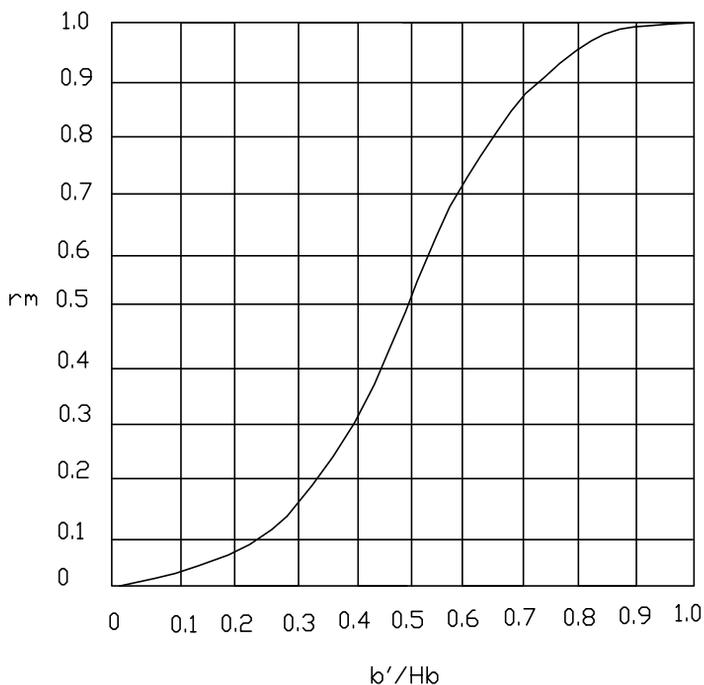
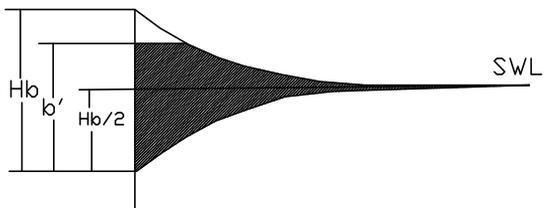
Dari gambar diatas ditentukan :

Gaya gelombang (R_t) $= R_m + \frac{1}{2} \cdot (w (d_s + H_b/2)^2)$ (7.12)

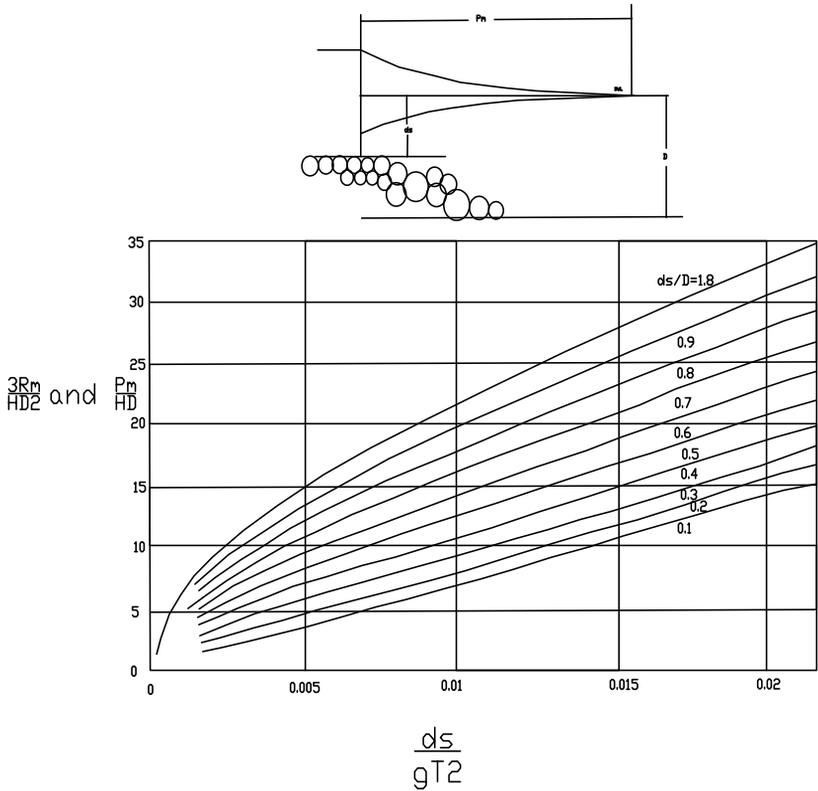
Momen terhadap kaki (M_t) $= M_m + \frac{1}{6} \cdot (w (d_s + H_b/2)^3)$ (7.13)

Dimana : $R_m = 1/3 \cdot P_m \cdot H_b$ (7.14)

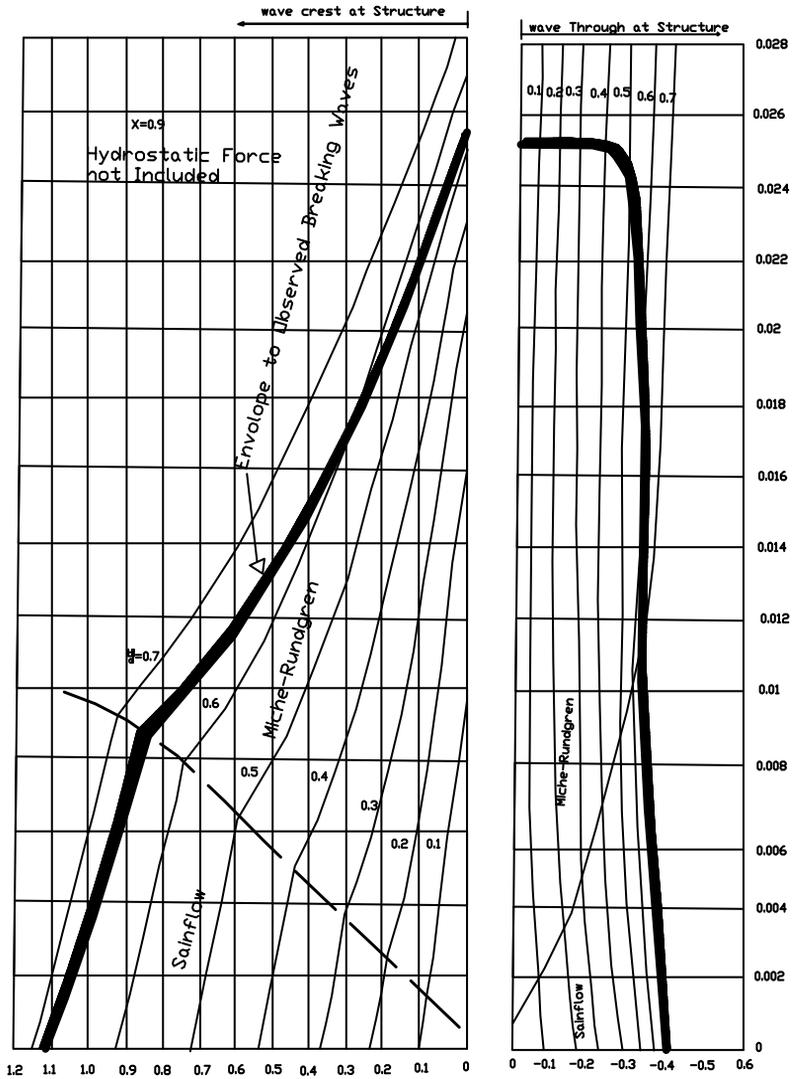
$P_m = 101 \cdot w \cdot H_b/L_d \cdot ds/D (D + ds)$ (7.15)



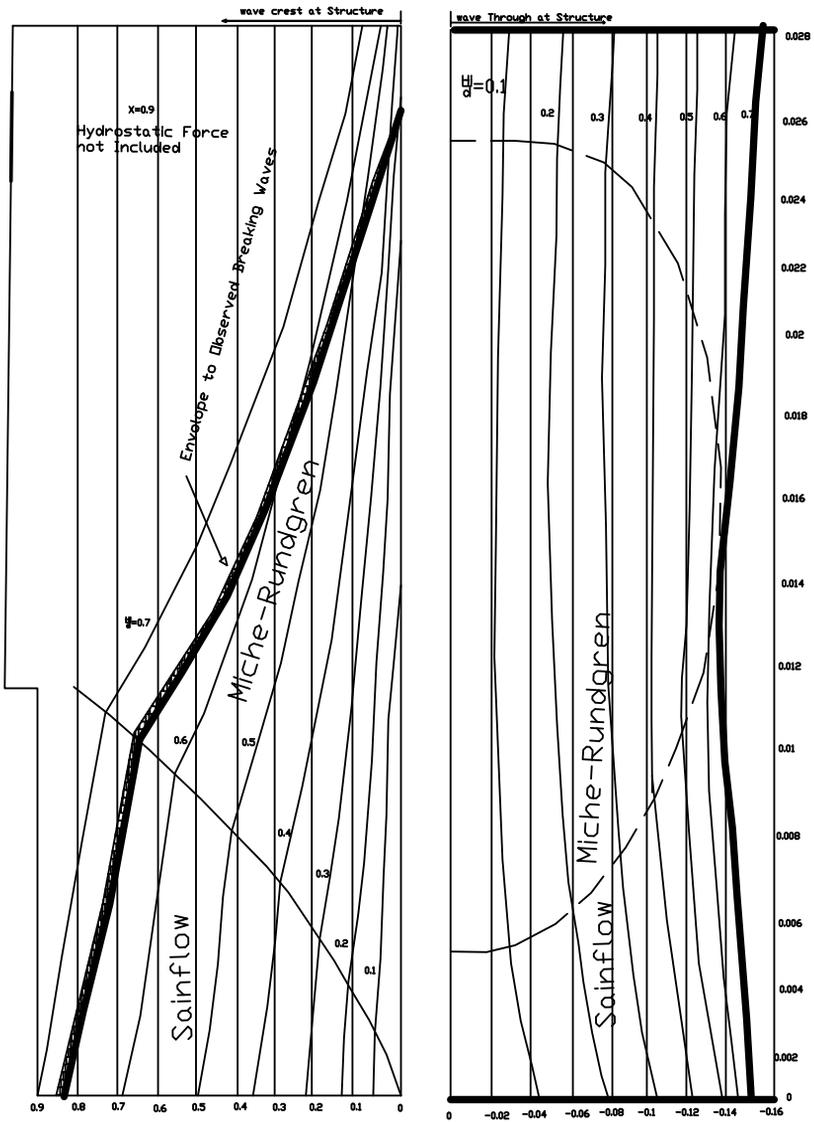
Gambar 7.6 Tekanan pada dinding vertical yang lebih rendah (Minikin 1963)



Gambar 7.7 Tekanan pada dinding vertical diatas lapisan batuan (Minikin 1963)

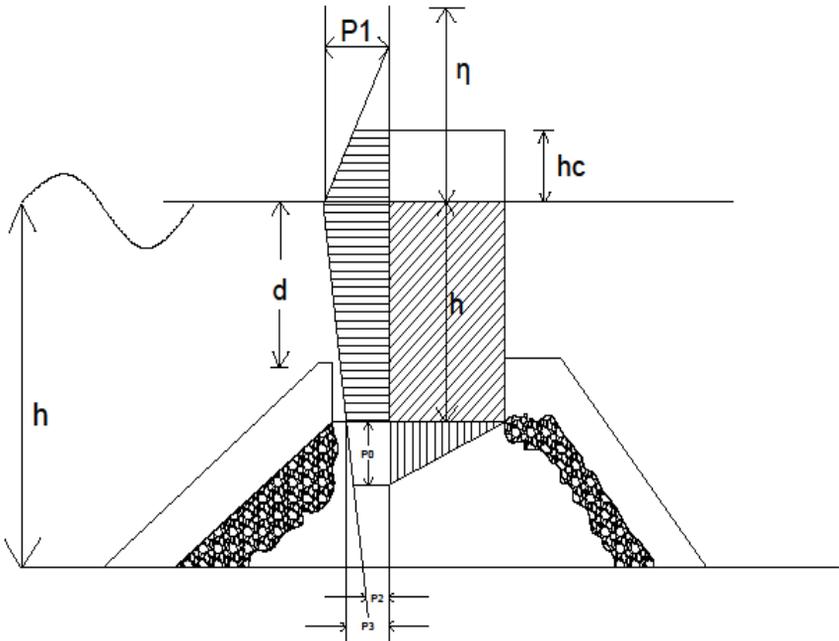


Gambar 7.8 Grafik untuk menghitung gaya F (non breaking wave)



Gambar 7.9. Grafik untuk menghitung Momen M (non breaking wave)

2. Menurut **Yosimi Goda** , 1985 mengusulkan suatu diagram tekanan gelombang pada breakwater tegak (wall) seperti berikut :



Gambar 7.10. Diagram tekanan gelombang pada wall (Goda, 1985)

Dari diagram tekanan diatas, dapat diuraikan sebagai berikut :

- 1) Tinggi gelombang rencana (H-max) :

$$H\text{-max} = 1,8 \cdot H_{1/3} \quad (7.16)$$

- 2) Ketinggian tekanan gelombang (ζ^*) :

$$\eta^* = 0,75 (1 + \cos \theta) H\text{max} \quad (7.17)$$

3) Tekanan gelombang didepan dinding :

$$P1 = \frac{1}{2} \cdot (1 + \cos \theta)(\alpha_1 + \alpha_2 \cos^2 \theta) \text{ wo. } H_{\max} \quad (7.18)$$

$$P2 = P1 / (\cosh (2\pi h/L)) \quad (7.19)$$

$$P3 = \alpha_3 P1 \quad (7.20)$$

Dimana :

$$\alpha_1 = 0,6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi h}{L} / \sinh \left(\frac{4\pi h}{L} \right) \right]^2 \quad (7.21)$$

$$\alpha_2 = \min [(hb-d)/3hb(H_{\max}/d)^2, \text{ atau } 2d/H_{\max}]^2 \quad (7.22)$$

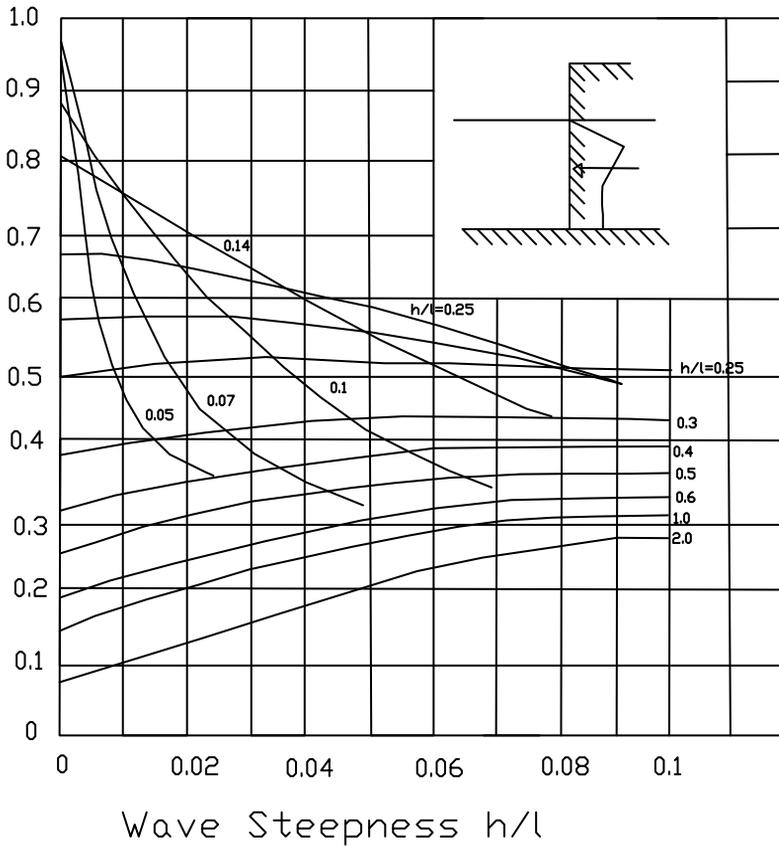
$$\alpha_3 = 1 - [h'/h(1 - 1/(\cosh 2\pi h/L))] \quad (7.23)$$

hb = kedalaman air didepan breakwater sejarak $5 \cdot H_{1/3}$

4) Tekanan keatas (uplift pressure)

$$P_u = \frac{1}{2} \cdot (1 + \cos \alpha_1 \cdot \alpha_3 \cdot \text{wo. } H_{\max}) \quad (7.24)$$

5) Tekanan gelombang pada saat wave trough, dapat dilihat seperti diagram dibawah ini.

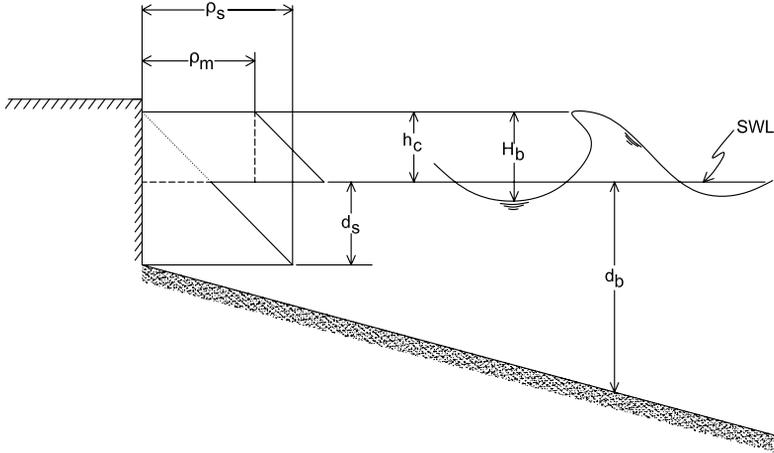


Gambar 7.11 Diagram tekanan gelombang saat wave trough
(Goda, 1985)

c. Kondisi broken wave

$$\text{Force } R_t = R_m + R_s = \left(\frac{1}{2} \cdot w \cdot d_b \cdot hc\right) + \left(\frac{1}{2} \cdot w \cdot (ds + hc)^2\right) \quad (7.25)$$

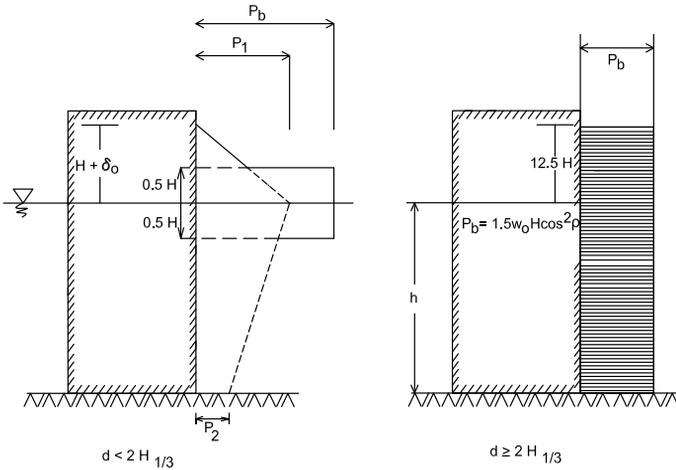
$$\text{Momen } M_t = M_m + M_s = R_m (ds + hs/2) + \frac{1}{6} \cdot w \cdot (ds + hc)^3 \quad (7.26)$$



Gambar 7.12 Diagram tekanan gelombang pada saat broken wave

Perumusan lain untuk mencari gaya gelombang pada dinding vertical ini diberikan juga oleh :

a. Menurut Hiroi



Gambar 7.13 Diagram tekanan gelombang pada dinding vertical (menurut Hiroi)

Untuk kondisi $d/H_{33} > 2$

$$P_b = 1,5 \cdot w_o \cdot H_d \quad (7.27)$$

$$P_1 = (P_2 + w_o \cdot h) \cdot (H_d + h_o) / (h + H_d + h_o) \quad (7.28)$$

$$P_2 = P_u = w_o \cdot H_d / \cosh (2\pi h/L) \quad (7.29)$$

$$H_o = \pi d^2 / L \coth (2\pi h/L) \quad (7.30)$$

2) Untuk kondisi $d/H_{33} < 2$

$$P_b = 1,5 \cdot w_o \cdot H_d \quad (7.31)$$

$$P_u = 1,25 \cdot w_o \cdot H_d \quad (7.32)$$

$$R = 1,25 \cdot H_d \quad (7.33)$$

Keterangan :

P_1 = tekanan gelombang di SWL

P_2 = tekanan gelombang di dasar laut

P_u = tekanan uplift gelombang

h = kedalaman air didepan dinding

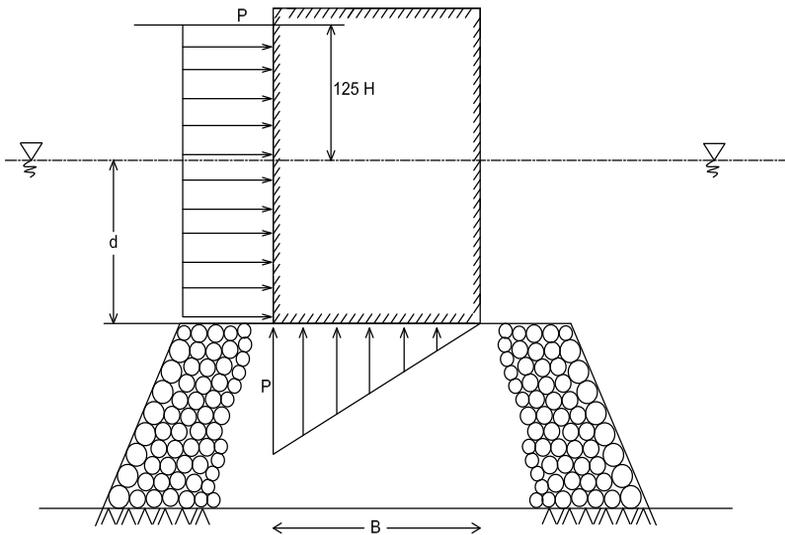
d = kedalaman air sampai lapis lindung kaki

w_o = berat jenis air laut

H_d = tinggi gelombang rencana = $1,8 H_{33}$

R = tinggi run-up

b. Menurut Ito



Gambar 7.14 Diagram tekanan gelombang pada dinding vertical (menurut Ito)

Dari gambar diatas didapat

$$P = 0,7 \cdot w_o \cdot H \text{ untuk : } H/d < 1 \tag{7.34}$$

$$P = (0,7 + 0,55 (H/d - 1)) w_o \cdot H \text{ untuk : } H/d > 1 \tag{7.35}$$

$$R = 1,25 H \tag{7.36}$$

Dimana :

P = tekanan gelombang atau uplift

R = tinggi run-up

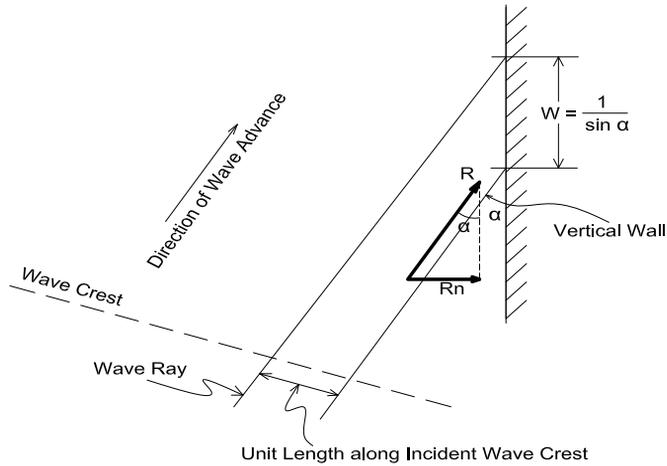
d = kedalaman air sampai lapis lindung kaki

w_o = berat jenis air laut

H_d = tinggi gelombang rencana = 1,8 H₃₃

- Pengaruh arah gelombang terhadap dinding vertical (wall)

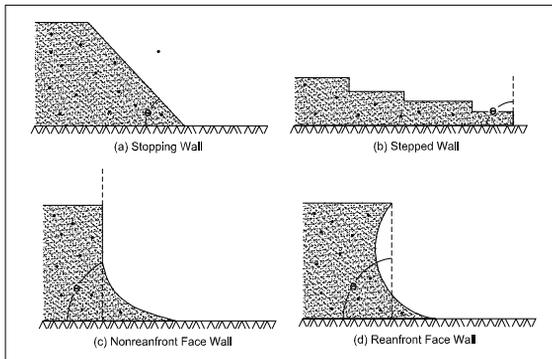
$$R' = R \cdot \sin^2 \alpha \quad (7.37)$$



Gambar 7.15 Pengaruh arah gelombang pada dinding vertical

- Pengaruh kemiringan/slope dari dinding

$$R'' = R' \cdot \sin^2 \theta$$



Gambar 7.16 Pengaruh kemiringan slope terhadap tekanan pada dinding

7.1.4. TAHAPAN DALAM MERENCANAKAN BREAKWATER

Tahapan dalam merencanakan breakwater sangat tergantung pada besar atau tipe breakwater yang akan dibangun. Breakwater yang kecil dan “tradisional” tentunya akan lebih mudah dan sederhana bila dibandingkan dengan tahap-tahap dalam merencanakan breakwater yang besar dan utama dalam suatu pelabuhan.

Dalam merencanakan breakwater ada beberapa tahap yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Pembentukan tim perencana
2. Pemilihan lokasi
3. Pengumpulan dan analisa data: klimatologi, oceanografi, hidrografi dan data soil/geologi
4. Perkiraan awal kondisi gelombang
5. Membuat draft lay-out breakwater
6. Pengumpulan data gelombang (minimal satu tahun terakhir)
7. Pengumpulan data angin yang actual untuk mengkalibrasi model dari angin ke gelombang
8. Pengumpulan data gelombang panjang dalam satu periode tertentu (bila dibutuhkan)
9. Studi tentang kondisi gempa (tsunami)
10. Pengumpulan data pasang surut (minimal 2 bulan)
11. Perhitungan data angin
12. Pencatatan data arus (satu atau lebih lokasi pencatatan)
13. Survey topografi dan hidrografi
14. Studi sedimentasi
15. Studi lingkungan
16. Menentukan material konstruksi yang cocok
17. Studi material batuan

18. Test model hidrolik untuk penentuan lay-out
19. Pemilihan tipe breakwater yang akan dipakai
20. Pembuatan rencana awal potongan breakwater (*cross section*)
21. Pembuatan model test untuk mengoptimasi penampang dan ujung breakwater
22. Perencanaan detail breakwater / perencanaan akhir
23. Pelaksanaan tender
24. Perbandingan dengan desain lain yang diajukan oleh peserta tender
25. Perubahan penampang dan detail (jika perlu) sesuai hasil negosiasi dengan pelaksana/kontraktor
26. Penandatanganan kontrak kerja
27. Modifikasi desain (jika perlu) setelah ada informasi tambahan (misalnya : perubahan material, metode kerja dan sebagainya)

7.1.5. METODE PERHITUNGAN BREAKWATER

A. Rouble mound breakwater

a) Penentuan jumlah lapisan batu

Didalam SPM 1984 diberikan suatu acuan perencanaan dalam menentukan jumlah lapisan batuan rouble mound breakwater untuk kondisi breaking dan non breaking wave seperti pada Gambar 7.17 dan Gambar 7.18.

b) Penentuan berat batu

Dalam menentukan berat batu, rumus yang umum digunakan adalah dari Hudson (1953) seperti berikut :

$$W > p_a \cdot g \cdot H^3 / (K_d \cdot (S_r - 1)^3 \cdot C_o \cdot \alpha) \quad (7.39)$$

Dimana :

W = berat minimum batu pelindung

H = tinggi gelombang rencana

g = percepatan gravitasi bumi

Kd = koefisien jenis batu pelindung

Sr = rapat masa relative = p_a/p_w

a = lereng bangunan

p_a = rapat masa batuan

Namun demikian rumus ini terbatas untuk kondisi sebagai berikut :

1. Berlaku untuk lereng bangunan $\text{Cot } \alpha > 1,5$
2. Kondisi gelombang non breaking wave
3. Run-up tidak lebih dari puncak gelombang
4. Tidak memperhitungkan pengaruh periode gelombang
5. Model test dilakukan dengan gelombang regular

c) Penentuan tebal lapisan batu pelindung (t)

$$t = m K_{\Delta} \cdot (W/(p_a \cdot g))^{1/3} \quad (7.40)$$

dimana :

m = jumlah lapisan batu pelindung (biasanya 2)

K_{Δ} = koefisien lapis batu pelindung

d) Penentuan lebar puncak breakwater (B)

$$B = m' K_{\Delta} \cdot (W/(p_a \cdot g))^{1/3} \quad (7.41)$$

dimana :

m' = jumlah lapisan batu pelindung di puncak (biasanya 3)

e) Penentuan jumlah batu pelindung C

$$C = m \Delta (1 - n) (W/(p.a. g))^{2/3} \quad (7.42)$$

Dimana:

n = porositas

m = jumlah lapisan batu pelindung (per layer)

Tabel 7.1. Nilai $K\Delta$ untuk masing-masing tipe material

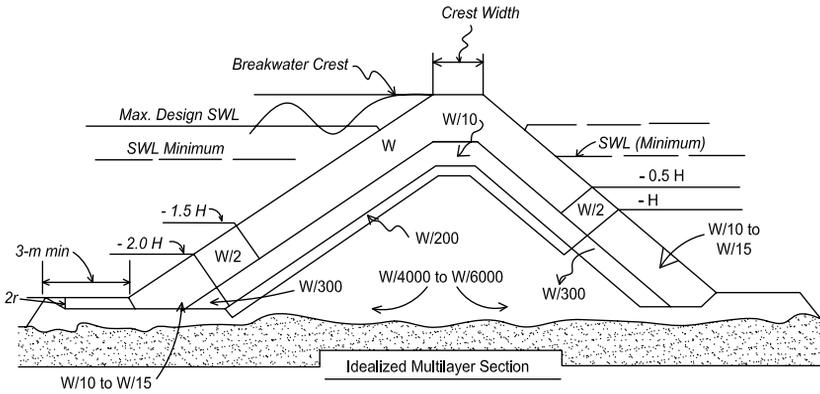
No	Tipe material	$K\Delta$	Porositas n (%)
1	Akmon	1	55 - 60
2	Kubus beton	1,1	47
3	Dolos	1	63
4	Batu alam	1-1,15	37
5	Tetrapod/quadripod	1,04	50
6	Tribar	1,13	47

f) Perlindungan kaki pemecah gelombang (*toe protection*)

Untuk menahan bahaya scouring pada kaki breakwater yang bisa mengakibatkan keruntuhan, maka perlu diberikan perlindungan khusus pada kaki breakwater seperti pada gambar dibawah ini.

Seaward

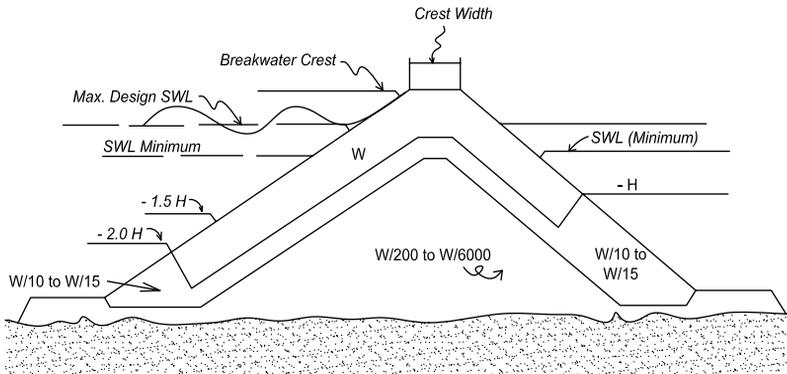
Leeward



Rock Size	Layer	Rock Size Gradation (%)
W	Primary Cover Layer ¹	125 to 75
W/2 and W/15	Secondary Cover Layer ²	125 to 75
W/10 and W/300	First Underlayer ³	130 to 70
W/200	Second Underlayer	150 to 50
W/4000 and W/6000	Core and Bending Layer	170 to 30

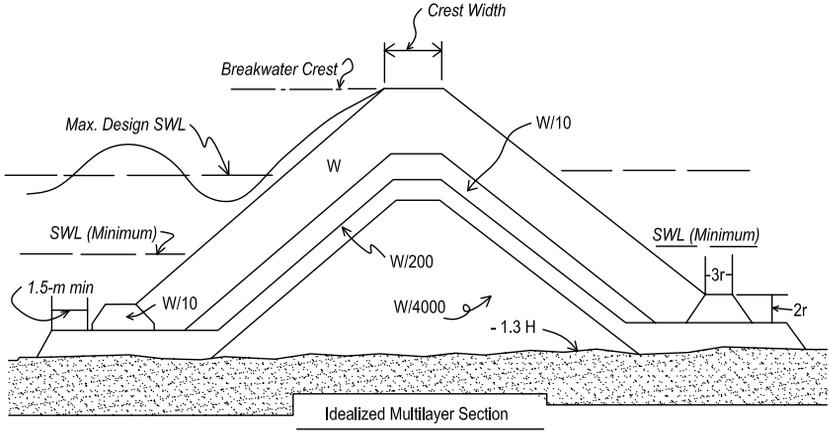
H = Wave Height
 W = Weight of Individual Armor Unit
 r = Average Layer Thickness

For concrete armor : ¹Section III, 7, g, (1), (2) and (6)
²Section III, 7, g, (7)
³Section III, 7, g, (8)



Recommended Three - layer Section

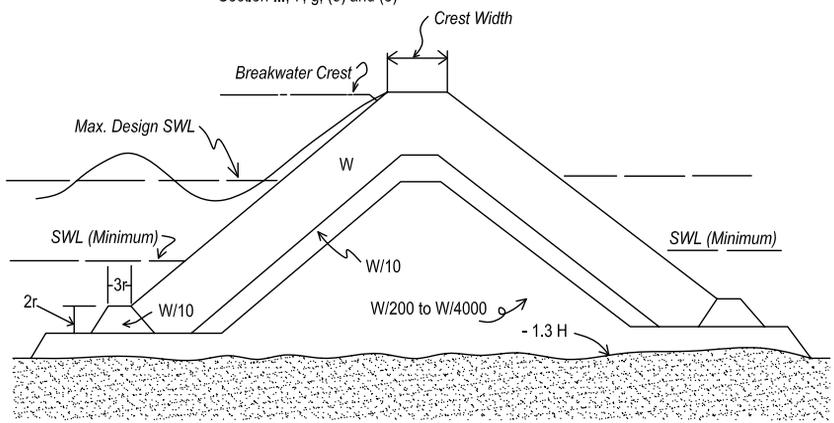
Gambar 7.17. Penentuan lapisan struktur batuan pada rubble mound breakwater (kedua sisi berbeda)



Rock Size	Layer	Rock Size Gradation (%)
W	Primary Cover Layer ¹	125 to 75
W/10	Toe Berm and First Underlayer ²	130 to 70
W/200	Secondary Cover Layer	150 to 50
W/4000	Core and Bending Layer	170 to 30

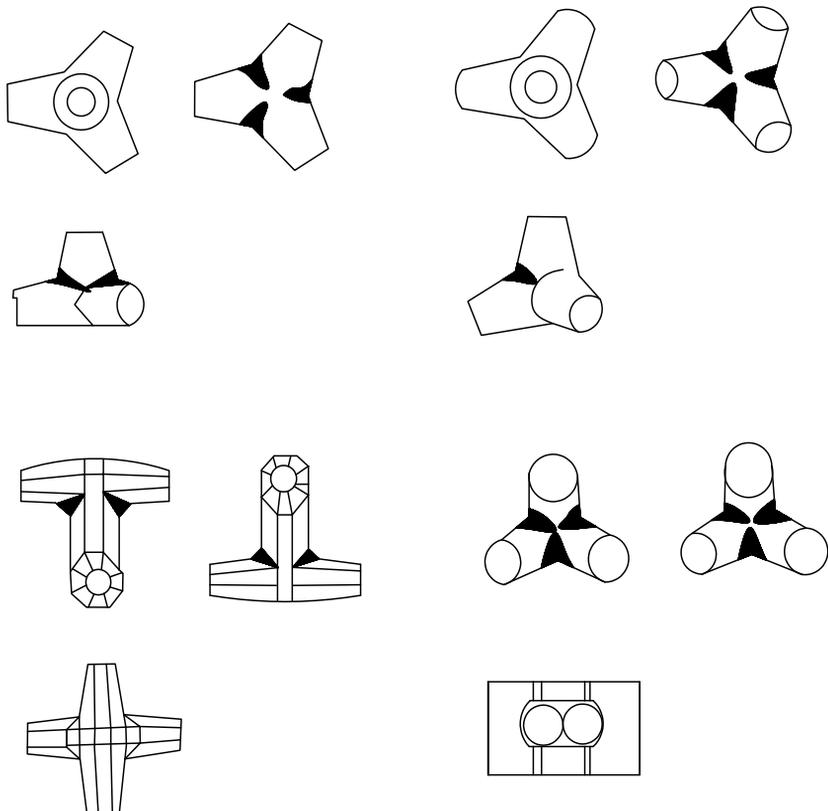
H = Wave Height
 W = Weight of Individual Armor Unit
 r = Average Layer Thickness

For concrete armor : ¹Section III, 7, g, (1), (2) and (6)
²Section III, 7, g, (5) and (8)



Recommended Three - layer Section

Gambar 7.18. Penentuan lapisan struktur batuan pada rubble mound breakwater (kedua sisi sama)

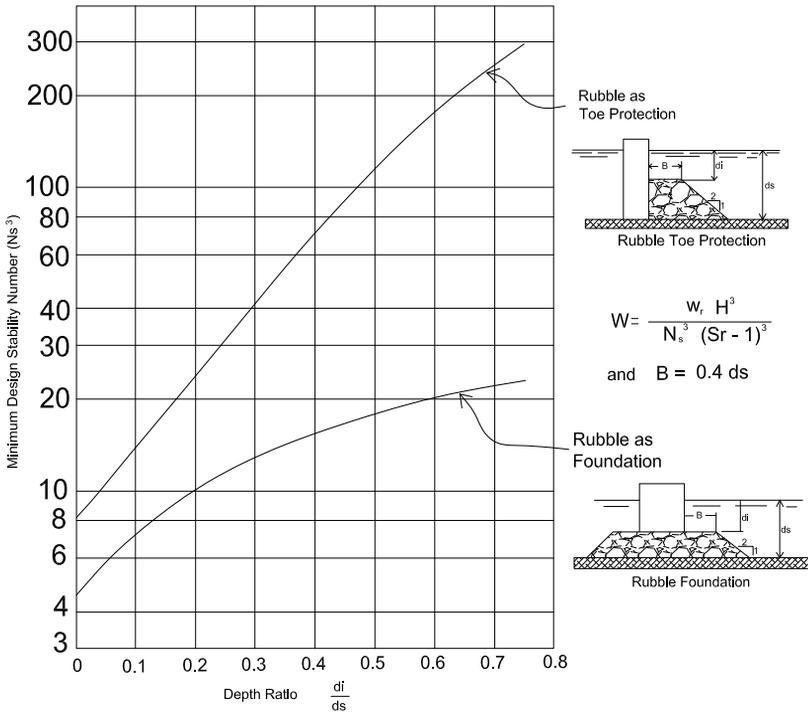


Gambar 7.19. Tipe material rouble mound breakwater

Tabel 7.2. Harga koefisien KD untuk masing-masing tipe batuan (SPM, 1984)

No-Damage Criteria and Minor Overtopping							
Armor Units	n ³	Placement	Structure Trunk		Structure Head		
			K _D ⁵		K _D		Slope
			Breaking Wave	NonBreaking Wave	Breaking Wave	Nonbreaking Wave	Cot θ
Quarystone Smooth rounded	2	Random	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5 to 3.0 <i>5</i> <i>5</i>
	>3	Random ₄	1.6 ₄	3.2	1.4 ₄	2.3	
Smooth rounded	1	Random		2.9		2.3	
Rough angular	2	Random	2.0	4.0	1.9 1.6 1.3	3.2 2.8 2.3	1.5 2.0 3.0
Rough angular	>3	Random	2.2	4.5	2.1	4.2	<i>5</i> <i>5</i>
Smooth angular	2	<i>Special</i> ⁶	5.8	7.0	5.3	6.4	
<i>Parallelepiped</i> ⁷	2	<i>Special</i> ¹	7.0 – 20.0	8.5 – 24.0	--	--	
Tetrapod And Quadripod	2	Random	7.0	8.0	5.0 4.5 3.5	6.0 5.5 4.0	1.5 2.0 3.0
	2	Random	9.0	10.0	8.3 7.8 6.0	9.0 8.5 6.5	1.5 2.0 3.0
Tribar	2	Random	15.8 ⁸	31.8 ⁸	8.0 7.0	16.0 14.0	2.0 ⁹ 3.0
Dolos	2	Random	6.5	7.5	--	5.0	<i>5</i> <i>5</i> <i>5</i>
Modified cube	2	Random	8.0	9.5	5.0	7.0	
Hexapod	2	Random	11.0	22.0	--	--	
Toskane	1	Uniform	12.0	15.0	7.5	9.5	
Tribar	-	Random	2.2	2.5	--	--	
Quarystone (Kgg) Craded angular							

1. CAUTION: those KD values shown in italics are unsupported by test results and are only provided for preliminary design purposes
2. Applicable to slopes ranging from 1 on 1.5 to 1 on 5
3. n is the number of units comprising the thickness of armor layer
4. the use of single layer of quarystone armor units is not recommended for structures subject to breaking waves, and only under special conditions for structures subject to nonbreaking waves, when it is used, the stone should be carefully placed
5. until more information is available on the variation of KD value with slope, the use of KD should be limited to slopes ranging from 1 on 1,5 to 1 on 3. Some armor units tested on a structure head indicate a KD slope dependence
6. special placement with long axis of stone placed perpendicular to structure face
7. parallelepiped shaped stone: log slab like stone with the long dimensions about 3 times the shortest dimension (Markle and Davidson, 1979)
8. refers to no damage criteria (<5 percent displacement, rocking, etc.); if no rocking (<2 percent) is desired, reduce KD 50 percent (Zwambom and Van Niekerk, 1982).
9. Stability of dolosse on slopes steeper then 1 on 2 should be substantiated by site specific model tests.



Gambar 7.20. Dimensi lapisan pelindung kaki pada monolit breakwater

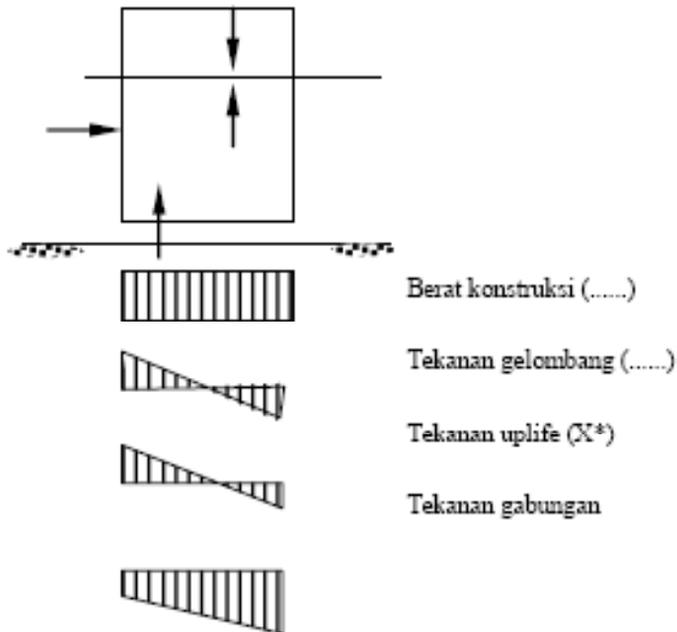
7.1.6. STABILITAS BREAKWATER

Agar konstruksi breakwater yang direncanakan dapat stabil dari berbagai aksi/beban yang bekerja padanya sesuai dengan umur rencana bangunan yang diinginkan, maka perlu dilakukan pengecekan terhadap beberapa hal antara lain:

A. Daya dukung tanah dasar

Akibat adanya beban struktur diatas tanah dasar, maka pengecekan daya dukung tanah perlu dilakukan (terutama untuk tanah lempung lunak) agar konstruksi breakwater

tersebut tidak ambles. Pada slopping breakwater bahaya ambles tersebut tidak terlalu berbahaya karena dengan mudah dapat diperbaiki, tetapi pada konstruksi upright breakwater bahaya ambles sangat berbahaya, karena perbaikannya akan sangat sulit. Oleh karena itu breakwater dibuat sedemikian rupa agar tidak mengalami bahaya ambles akibat daya dukung tanah dasar yang kecil.



Gambar 7.21 Daya dukung tanah dasar dibawah breakwater (monolit/rouble mound)

Pengecekan daya dukung tanah dasar dilakukan seperti pada konstruksi pondasi dangkal dimana:

$$qt < qa \quad (7.43)$$

dimana :

q_t = tegangan akibat beban struktur (beban persatuan luas)

q_a = daya dukung ijin tanah dasar = q_{ult} / SF

SF = angka keamanan (diambil 2 – 3)

$$q_{ult} = 1,3 c. N_c + \gamma. h. N_q + 0,5. \gamma. B. N_\gamma \quad (7.44)$$

dengan :

c = kohesi tanah dasar

h = kedalaman breakwater dari tanah dasar (pada umumnya $h = 0$)

B = lebar breakwater

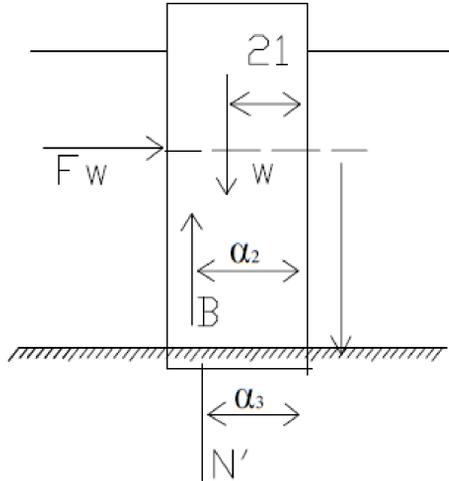
γ = berat volume tanah dasar

N_c, N_q, N_γ = faktor yang tergantung dari sudut geser tanah (ϕ)

B. *Overtunning/guling*

Akibat adanya gaya horizontal yang bekerja pada *breakwater* (terutama pada *upright breakwater*) akan terjadi bahaya penggulingan / *overtunning*. Stabilitas terhadap bahaya *overtunning* dinyatakan sebagai berikut:

$$M_p / M_r > SF \quad (7.45)$$



Gambar 7.22. Bahaya guling pada breakwater monolit

Dimana :

W = berat breakwater

B = gaya apung/bouyancy

N = gaya uplift

M_p = jumlah momen penggerak terhadap titik O .

$$= W \cdot a_1$$

M_r = jumlah momen penahan terhadap titik O .

$$= F_w \cdot y_l + B \cdot a_2 + N \cdot a_3 \quad (7.46)$$

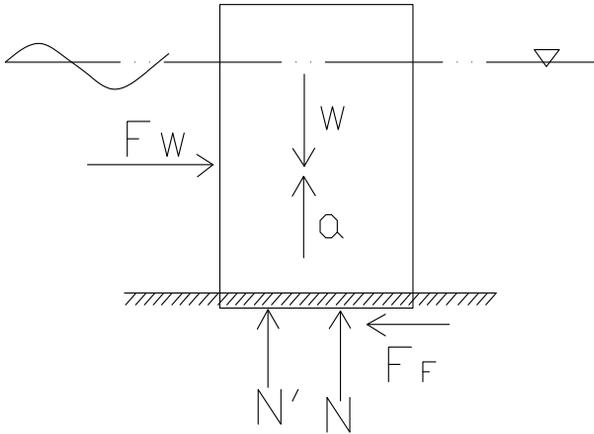
SF = angka keamanan (diambil 1,5)

C. Geser

Akibat gaya horizontal pada breakwater akan menyebabkan breakwater tersebut bergeser dari tempat yang direncanakan.

Pengecekan bahaya geser ini dilakukan sebagai berikut :

$$F_w / F_n > SF \quad (7.47)$$



Gambar 7.23. Bahaya geser pada breakwater monolit

Dimana:

F_w = Gaya horizontal akibat gelombang

F_n = Gaya penahan antara breakwater dengan tanah dasar

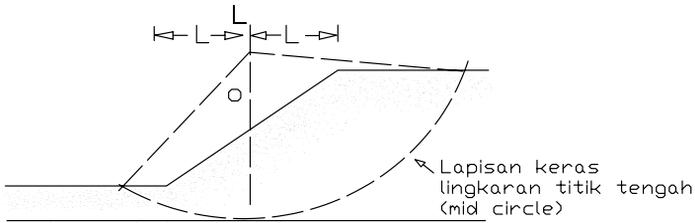
= $\tan(2/3 \phi)(W - B - N)$ untuk tanah dasar : sand

= $c.B$ untuk tanah dasar : clay

SF = angka keamanan (biasanya diambil 1,5)

D. Overall slope stability (kelongsoran)

untuk breakwater yang ditempatkan pada tanah dasar berupa tanah lempung (*overall slope stability*) akan sangat mungkin terjadi. Hal ini disebabkan adanya pergerakan komponen berat struktur/batu yang sejajar dengan kemiringan breakwater tersebut ke arah bawah. Bila komponen berat batu tersebut cukup besar, kelongsoran slope breakwater (*overall slope failure*) tersebut akan terjadi. Dengan kata lain, gaya dorong (*driving force*) melampaui gaya berlawanan yang berasal dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor (Das, 1985)

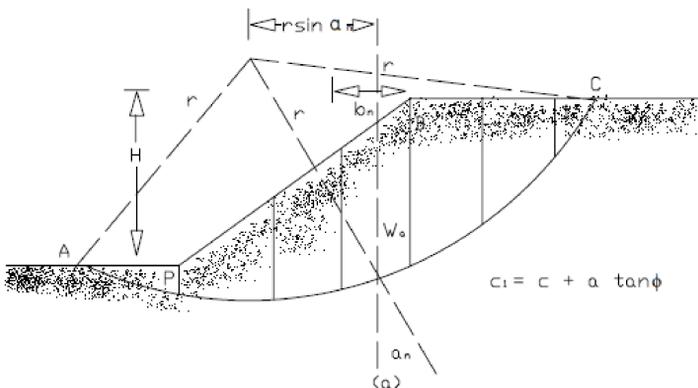


Gambar 7.24. Tipe overall slope failure

Stabilitas tersebut dinyatakan dengan besarnya angka keamanan / safety factor (SF). Dimana untuk:

- SF < 1 : breakwater tidak stabil
- SF = 1 : breakwater dalam keadaan kritis
- SF > 1 : breakwater dalam keadaan stabil

Harga SF untuk perencanaan stabilitas breakwater biasanya diambil SF > 1,5. Perhitungan nilai stabilitas (SF) tersebut, digunakan metode irisan (*slice method*), yang kemudian dikembangkan oleh Bishop (1955), dimana tanah diatas bidang longsor dibagi kedalam beberapa irisan kecil seperti gambar dibawah ini.



Gambar 7.25. Analisa stabilitas dengan metode irisan

Harga angka keamanan (SF) dinyatakan dengan persamaan :

$$SF = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c \cdot bn + Wn \cdot \tan \phi) \frac{1}{m \alpha(n)}}{\sum_{n=1}^{n=p} Wn \cdot \sin \alpha_n} \quad (7.48)$$

Dimana :

- c = nilai kohesi tanah
- bn = lebar irisan
- Wn = berat tanah dalam tiap irisan
- ϕ = sudut geser tanah
- α = sudut antara titik gelincir dengan titik berat irisan

E. *Settlement*

Akibat adanya beban *breakwater*, maka akan terjadi penurunan/*settlement* pada tanah dasar. Penurunan tersebut dapat dibagi kedalam dua bagian, yaitu:

- a. *Immediately Settlement* ; dimana penurunan tanah terjadi dalam waktu yang relative singkat (biasanya pada tanah dasar berupa pasir) dan akan selesai pada saat pekerjaan konstruksi selesai
- b. *Consolidation Settlement* ; dimana penurunan tanah terjadi pada waktu yang relative lama (terutama untuk tanah dasar berupa lapisan lempung). *Consolidation settlement* biasanya cukup besar dan bisa menimbulkan pengaruh kepada bahaya kelongsoran.

Perhitungan besarnya *settlement* tersebut, dapat berguna untuk memprediksi penurunan yang terjadi dan juga untuk memperkirakan jumlah material tambahan akibat *settlement* tersebut. Perumusan untuk menghitung besarnya *settlement* digunakan pada kondisi *over consolidated clay*, yaitu :

$$S = \frac{C_s.H}{1+e_o} \cdot \log \frac{P_c}{P_o} + \frac{C_c.H}{1+e_o} \cdot \log \left(\frac{P_o' + \Delta p}{P_c} \right) \quad (7.49)$$

Dimana:

- S = Settlement yang terjadi
- H = Tebal lapisan lempung
- Cs = Swelling indeks
- Cc = Koefisien konsolidasi
- eo = angka pori
- dp = beban timbunan
- po' = tekanan efektif
- pc = tekanan pra konsolidasi (= wo.h)

F. *Liquefaction/quicksand*

Liquefaction adalah suatu kondisi pada tanah yang berbutir/pasir (*loose* dan *saturated*) dimana tanah tersebut seakan-akan menjadi cair yang diakibatkan adanya variasi beban yang cepat seperti: gempa bumi atau gelombang, sehingga daya dukungnya menjadi sangat kecil. Akibat adanya beban yang cepat tersebut menyebabkan terjadinya pemampatan butiran dengan diikuti oleh peningkatan tekanan air pori yang sangat cepat, sehingga kekuatan geser tanah menjadi sangat kecil, yang menyebabkan seakan-akan tanah tersebut seperti mencair.

Faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya bahaya *liquefaction* (Prakash, 1981) antara lain:

- a. Distribusi ukuran butiran
- b. *Initial relative density* (Dr)
- c. Karakteristik beban vibrasinya

- d. Lokasi drainase dan ketebalan endapan
- e. Magnitude beban
- f. Struktur lapisan tanah
- g. Periode pembebanan
- h. Gambaran regangan tanah (*strain history*) sebelumnya
- i. Kandungan udara dalam tanah

Untuk menghindari bahaya *liquefaction* tersebut pada bangunan *breakwater*, dapat dilakukan beberapa hala, antara lain (Yuwono, 1992) :

1. Membuat konstruksi *drainase vertical*
2. Perbaikan tanah dasar
3. Pemakaian pondasi tiang

7.1.7 PEMBANGUNAN *BREAKWATER*

Didalam membangun *breakwater* biasanya dilakukan sesuai dengan kemampuan kontraktor/pelaksana setempat tanpa merubah hasil perencanaan yang ada. Namun sebagai gambaran dibawah ini dijelaskan mengenai metode pelaksanaan yang sering dipakai, yaitu:

A. Untuk pembangunan *rouble mound breakwater*

Untuk melaksanakan pembangunan *rouble mound breakwater* dibawah ini diberikan beberapa alternative metode pelaksanaannya, antara lain:

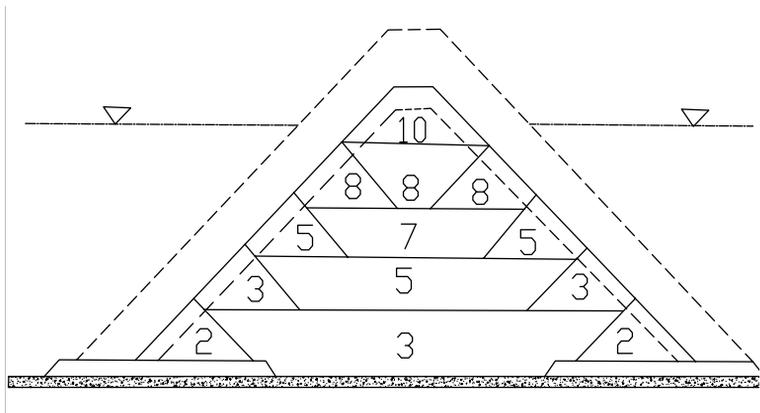
1. Menggunakan alat terapung
Material *breakwater* dibawa ke lokasi yang direncanakan dengan menggunakan alat yang terapung diatas air. Material untuk lapisan inti (*core*) bisa digunakan *barge* , sedangkan untuk lappisan utama bisa memakai *crane*.
2. Mempergunakan bangunan tetap
Breakwater dibangun dengan memakai bangunan tetap baik yang sudah ada atau sengaja dibuat untuk hal tersebut biasanya berupa jembatan diatas pondasi tiang.

Namun sering pula pembangunan dilakukan dari bangunan *breakwater* yang sudah jadi (jika berdekatan letaknya).

3. Menggunakan *helicopter*

Apabila medannya sangat sulit atau batuan yang dipakai sangat besar maka penggunaan *helicopter* bisa dipertimbangkan. Dimana batuan bisa diangkat oleh *helicopter* dan ditempatkan/dijatuhkan pada lokasi *breakwater* yang akan dibangun. Contoh proyek yang pernah menggunakan *helicopter* adalah *breakwater* tanah lot, Bali.

Adapun urutan pelaksanaan *rouble mound breakwater* adalah seperti gambar dibawah ini:



The construction steps shown in this figure proceed in numeres sequence, or, being more specific:

1. Filter layers are placed at each toe.
 2. Ridges of secondary armor are placed. Only portion is needed stability of the final structure. A similer statement is remaining even numbered layers.
 3. Core material is placed between the ridges.
 4. Alternate ridges and core layers are placed.
 5. In upper layer consists entirely of secondary armor
 6. Primary armor is added after completion of the rest of thetion.
- If there is severe attack, this onmor may be added socer, as the other construction progresses.

Gambar 7.26. Urutan pelaksanaan pemasangan rubble mound breakwater

B. Untuk pembangunan monolit breakwater

Sedangkan untuk melaksanakan pembangunan monolit breakwater dibawah ini diberikan beberapa alternative metode pelaksanaannya, antara lain :

1. Pembangunan lewat puncak (*over crest*)

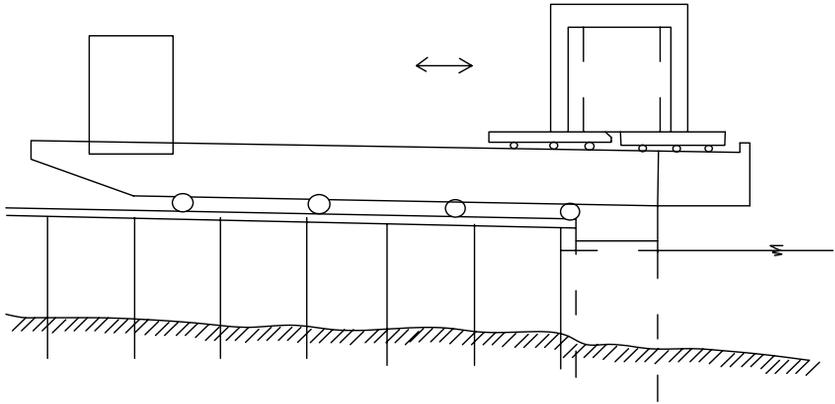
Prinsipnya adalah dengan memanfaatkan pemecah gelombang yang sudah terpasang sebagai jalan pembangunan. Biasanya diatas pemecah gelombang yang sudah terpasang tersebut dibuat rel dimana diatasnya ditempatkan kereta pengangkut yang dilengkapi dengan crane yang cukup besar. Keuntungan metode ini adalah pembangunannya tidak tergantung pada kondisi gelombang yang ada. Sedangkan kerugiannya, pembangunannya memerlukan alat-alat yang besar dan pelaksanaan agak lambat.

2. Pembangunan lewat pengapungan

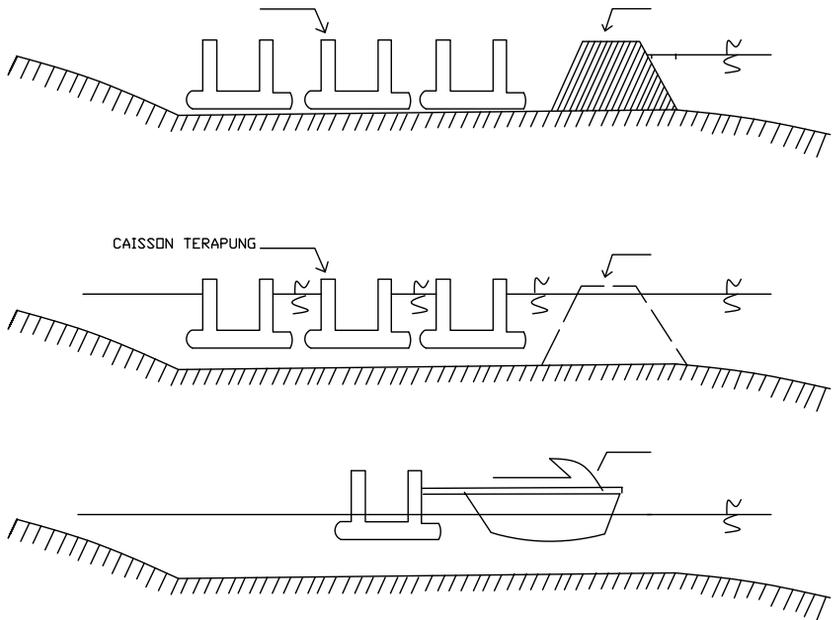
Prinsipnya adalah material breakwater tersebut diapungkan diatas air (dibuat seperti caisson) kemudian ditarik ke lokasi penempatan, sesampainya dilokasi penempatan, breakwater tersebut ditenggelamkan. Metode ini cocok untuk kondisi perairan yang cukup dalam, dimana bila menggunakan metode *over crest* akan memerlukan peralatan yang sangat besar.

3. Pembangunan ditempat

Pada kondisi tertentu (misalnya tanahnya jelek dan breakwater tidak terlalu besar) pembuatannya bisa langsung ditempat/dilokasi breakwater. Biasanya tipe breakwater yang dipakai menggunakan sheetpile yang diisi dengan pasir atau batuan.



Gambar 7.27. Metode over crest untuk pelaksanaan monolir breakwater



Gambar 7.28. Metode terapung untuk pelaksanaan monolir breakwater

7.2. JETTY

Pada prinsipnya bangunan jetty hamper sama dengan bangunan breakwater. Hanya saja fungsi penggunaannya yang menyebabkan ada perbedaan antara jetty dengan breakwater biasa. Bangunan jetty biasanya berfungsi sebagai:

1. Stabilisasi mulut pelabuhan (inlet) dari bahaya sedimentasi pada sisi laut.
2. Stabilisasi muara sungai dari proses pendangkalan/shoaling
3. Sebagai tambatan kapal, terutama pada jetty dengan struktur beton

7.2.1. MATERIAL KONSTRUKSI

Secara umum struktur bangunan jetty hamper sama dengan struktur bangunan breakwater. Oleh karena itu material penyusunnya pun sama dengan breakwater. Ada beberapa material yang umum dipakai untuk bangunan jetty antara lain:

a. Rouble mound jetties

Penggunaan material batuan akan memberikan beberapa keuntungan antara lain:

- 1) Settlement yang terjadi dapat direduce oleh material penyusunnya
- 2) Mudah diperbaiki apabila terjadi kerusakan
- 3) Material penyusun dapat menyerap energy gelombang

b. Sheet pile jetties

Konstruksi jetty dengan memakai konstruksi sheetpile dapat digolongkan pada dua kondisi:

- 1) Shettpile pada satu sisinya saja, dapat digunakan tie-rod dan anker atau batter pile sebagai pendukung stabilitas sheetpile tersebut
- 2) Sheetpile dengan dua sisi, anra kedua sisi sheetpile tersebut bisa diikat dengan tie-rod atau kedua-duanya

berdiri sendiri. Ruangan yang ada diantara kedua *sheetpile* tersebut bisa diisi dengan material pasir atau kerikil/*gravel*.

c. *Concrete structure jetties*

Konstruksi jetty yang terbuat dari beton biasanya digunakan untuk bertambatnya kapal, akan tetapi harus dilengkapi bangunan lainnya seperti dolphin atau *testacle/access bridge*

7.2.2. LAY OUT JETTY

Didalam menentukan lay out dari jetty, ada beberapa hal yang harus diperhatikan, antara lain:

a. Panjang jetty

Jetty dibangun memotong dengan garis pantai (*attached*). Umumnya panjang jetty dimulai dari garis pantai tersebut sampai "*breaker zone*". Hal ini mengingat fungsi jetty sebagai penahan bahaya sedimentasi, dimana sedimentasi tersebut terjadi pada daerah "*breaker zone*". Akan tetapi bisa saja panjang tersebut disesuaikan dengan kondisi lapangan (kontur dasar laut, maneuver kapal, dsb) bisa lebih pendek atau lebih panjang. Oleh karena itu jetty dibangun melintang pantai, pada jetty yang panjang bisa berfungsi sebagai groin yang menahan sedimentasi, sehingga biasanya dilengkapi dengan pompa untuk memindahkan sedimen (*sand by passing*) atau dilakukan dredging pada waktu tertentu pada kedua sisi-sisinya.

b. *Alignent / lay out jetty*

Lay out / alignment jetty disesuaikan dengan rencana geometri dari muara sungai / mulut pelabuhan dan direncanakan yang paling ekonomis dan tidak menimbulkan permasalahan baru disekitarnya, mengingat bisa berfungsi sebagai groin yang dapat menimbulkan daerah sekitar bisa terkena erosi, atau mengganggu navigasi kapal pada mulut pelabuhan.

c. Tinggi jetty

Umumnya ketinggian jetty diharapkan mampu menahan semua gelombang yang datang (*non overtopping*), akan tetapi bisa saja dipakai kondisi overtopping dengan catatan perlu penelitian dan perencanaan yang teliti.

d. Permeabilitas

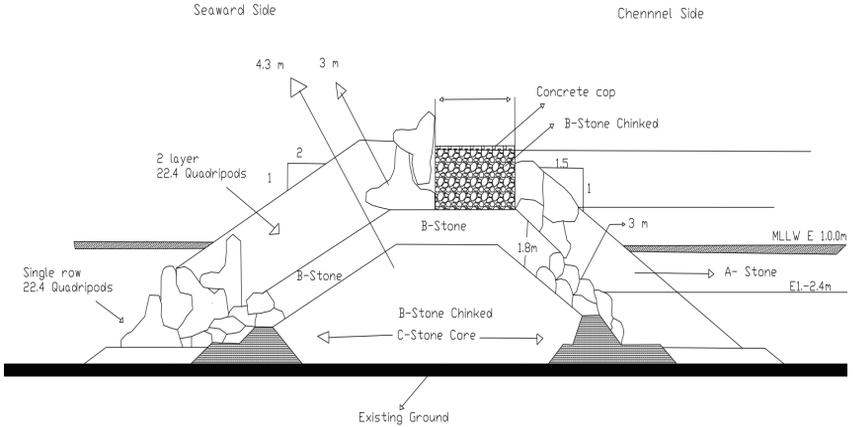
Bangunan jetty diharapkan dapat menahan laju sedimentasi dengan baik, sehingga permeabilitas strukturnya sangat penting terutama pada struktur roublemound jetty. Diharapkan permeabilitas batuannya sekecil mungkin, sehingga sedimentasi tidak masuk kedalam saluran/pelabuhan.

e. *Single* atau *double jetty*

Mengingat arah gelombang selalu bergerak tidak pada satu arah saja, maka umumnya jetty dibuat double/ganda dengan posisi sejajar. Akan tetapi bisa saja jetty hanya dibuat disalah satu sisi saja pada arah gelombang dominan, namun sedimentasi masih ada yang masuk kedalam saluran.

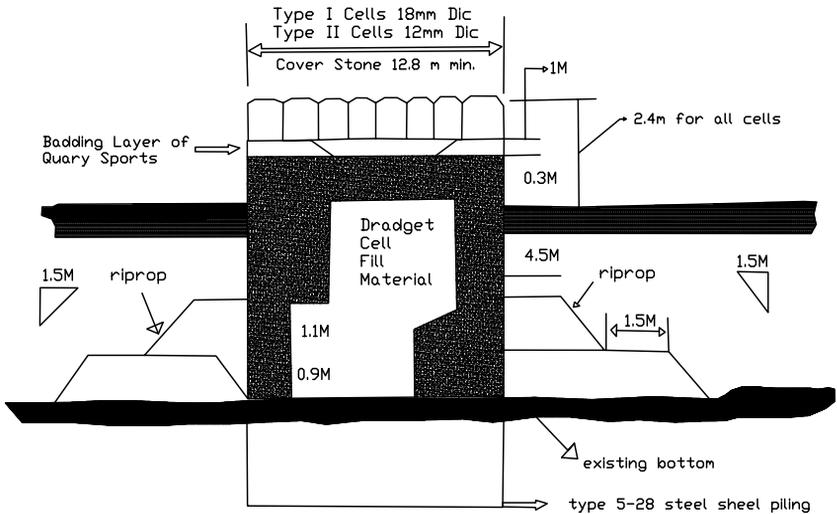
7.2.3. METODE PERHITUNGAN

- a. Roublemound jetty ; metode perhitungannya sama dengan perencanaan struktur roublemound breakwater.
- b. Untuk sheetpile jetty ; metode perhitungannya baik yang satu sisi maupun yang dua sisi (double sheetpile) sama seperti perhitungan konstruksi bulkhead.
- c. Untuk perhitungan concrete jetty yang berfungsi untuk tambatan kapal, perlu dihitung stabilitasnya dengan memperhatikan besarnya gaya tumbukan kapal ke system fender yang terpasang pada jetty tersebut. Kemudian perhitungan struktur dianalisa seperti dalam perhitungan dermaga.

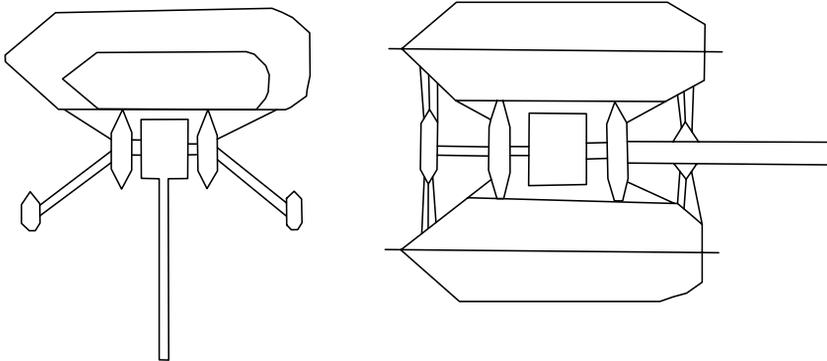


- A – Stone Avg. 9,2 mt, Min. 6,1 mt
- B – Stone 50% > 2,8 mt, Min. 1,8 mt
- C – Stone 1,8 mt to 0,1m 50% > 224 kg

Gambar 7.29. Rouble mound jetty pada mulut pelabuhan



Gambar 7.30. Sheetpile jetty



Gambar 7.31. Struktur jetty dari beton untuk tambatan kapal

BAB VIII

SAND DUNE DAN SAND BYPASSING

8.1. SAND DUNE

Salah satu alternative bangunan pelindung pantai adalah sand dune; yaitu *embankment* / tumpukan dari material pasir yang mempunyai dimensi tertentu sehingga sand dune tersebut stabil terhadap beban-beban yang bekerja padanya. Penempatan sand dune sedemikian rupa sehingga mampu menahan beban gelombang tsunami tersebut tidak sampai pada lokasi lokasi penting seperti permukiman penduduk, pusat perdaganga, dan sebagainya.

Didalam merencanakan sand dune, beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah bahwa sand dune tersebut harus stabil terhadap bahaya ; sliding/kelongsoran, geser, dan penurunan/settlement. Bentuk dan type sand dune dibuat sedemikian rupa sehingga memenuhi aspek stabilitas tersebut. Variasi kemiringan embankment atau penggunaan material lain, seperti geotextile sebagai bahan "*reinforce*" dapat digunakan sebagai alternatif.

8.1.1. STABILITAS SAND DUNES

8.1.1.1. STABILITAS SAND DUNE TERHADAP SLIDING/KELONGSORAN.

Embankment / talud yang mempunyai kemiringan tertentu terhadap bidang horisontal akan menyebabkan adanya pergerakan komponen berat tanah yang sejajar dengan kemiringan embankment tersebut ke arah bawah. Bila komponen berat tanah tersebut cukup besar,

kelongsoran talud/embankment tersebut akan terjadi. Dengan kata lain, gaya dorong (*driving force*) melampaui gaya berlawanan yang berasal dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor (Das, 1985).

Type kelongsoran talud yang biasanya terjadi dan ditinjau dalam perencanaan sand dune ini dibagi kedalam dua jenis kelongsoran, yaitu:

- a. Kelongsoran talud dangkal (*shallow slope failure*) ; dimana kelongsoran talud terjadi atas ujung dasarnya.
- b. Kelongsoran dasar (*base failure*) ; dimana kelongsoran talud terjadi dibawah ujung dasar talud.



Gambar 8.1. Type kelongsoran talud

Stabilitas talud dinyatakan dengan besarnya angka keamanan / *safety factor* (SF). Dimana untuk :

SF < 1 : Talud tidak stabil

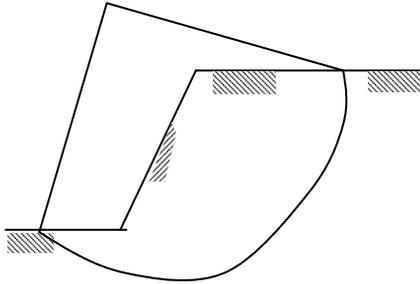
SF = 1 : Talud dalam keadaan kritis

SF > 1 : Talud dalam keadaan stabil

Harga SF untuk perencanaan stabilitas sand dune diambil SF > 1,2. Dengan asumsi bahwa diatas sand dune tersebut tidak ada bangunan yang penting manakala talud tersebut mengalami keruntuhan. Pada kondisi beban tetap biasanya diambil SF = 1,5 atau lebih.

Perhitungan nilai stabilitas (SF) tersebut, digunakan metode irisan (*slice method*), yang kemudian dikembangkan oleh Bishop (1955),

dimana tanah diatas bidan longsor dibagi kedalam beberpa irisan kecil seperti gambar dibawah ini.



Gambar 8.2. Analisa stabilitas dengan metode irisan

Harga angka keamanan (SF) dinyatakan dengan persamaan:

$$SF = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c \cdot b_n + W_n \cdot \tan \phi) \frac{1}{m \alpha (n)}}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \cdot \sin \alpha_n} \quad (8.1)$$

Dan

$$m \alpha_n = \cos \alpha_n + \frac{\tan \phi \sin \alpha_n}{SF} \quad (8.2)$$

Dimana :

C = Nilai kohesi tanah

B_n = lebar irisan

W_n = berat tanah dalam tiap irisan

θ = sudut geser tanah

α = sudut antara titik gelincir dengan titik berat irisan

Untuk mempercepat dan mempermudah perhitungan dan menganalisa stabilitas talud tersebut digunakan bantuan software komputer yaitu : program STABLE

8.1.1.2 STABILITAS TERHADAP GESER

Akibat adanya gaya lateral/horizontal dari beban gelombang pada sand dune, maka pengecekan terhadap bahaya geser dari sand dune perlu dilakukan. Dimana pergeseran yang besar dari sand dune akan menyebabkan pula terjadinya keruntuhan/kelongsoran talud sand dune. Perumusan yang dipakai diasumsikan seperti terjadinya pada dinding penahan tanah yaitu :

$$SF = \frac{c \cdot B}{P} \quad (8.3)$$

Dimana :

- c = kohesi
- B = Lebar sand dune
- W = Berat sand dune
- θ = Sudut geser tanah
- P = Gaya lateral akibat gelombang

8.1.1.3. PENURUNAN (*SETTLEMENT*)

Akibat adanya beban timbunan, maka akan terjadi penurunan/*settlement* pada tanah dasar. Penurunan tersebut dapat dibagi kedalam dua bagian yaitu :

- a. *Immediately Settlement* ; Dimana penurunan tanah terjadi dalam waktu yang relatif singkat (biasanya pada tanah dasar berupa pasir) dan akan selesai pada saat pekerjaan konstruksi selesai
- b. *Consolidation Settlement* ; Dimana penurunan tanah terjadi pada waktu yang relatif lama (terutama untuk tanah dasar berupa lapisan

lempung). *Consolidation settlement* biasanya cukup besar dan bisa menimbulkan pengaruh kepada bahaya kelongsoran.

Perhitungan besarnya *settlement* tersebut, dapat berguna untuk memprediksi penurunan yang terjadi dan juga memperkirakan jumlah material tambahan akibat *settlement* tersebut. Perumusan untuk menghitung besarnya *settlement* digunakan pada kondisi *over consolidated clay*, yaitu :

$$S = \frac{C_s \cdot H}{1 + e_0} \cdot \log \frac{P_c}{P_0} + \frac{C_c \cdot H}{1 + e_0} \cdot \log \left(\frac{P_0 + \Delta p}{P_c} \right) \quad (8.4)$$

Dimana :

- Sc = Settlement yang terjadi
- H = Tebal lapisan lempung
- Cs = Swelling indeks
- Cc = Koefisien konsolidasi
- eo = Angka pori
- dp = Beban timbunan
- po' = Tekanan efektif
- pc = Tekanan pra konsolidasi (diambil sebesar 2 ton/m²)

8.1.2. PARAMETER DESAIN

8.1.2.1. MATERIAL SAND DUNE

Material sand dune terdiri dari pasir dengan gradasi yang halus – kasar dan sedikit kandungan lempung yang berfungsi untuk mengurangi bahaya "*liquefaction*" akibat adanya pengaruh gempa. Material pasir untuk perencanaan sand dune ini diasuksikan sebagaimana material yang sering digunakan dengan parameter fisik sebagai berikut :

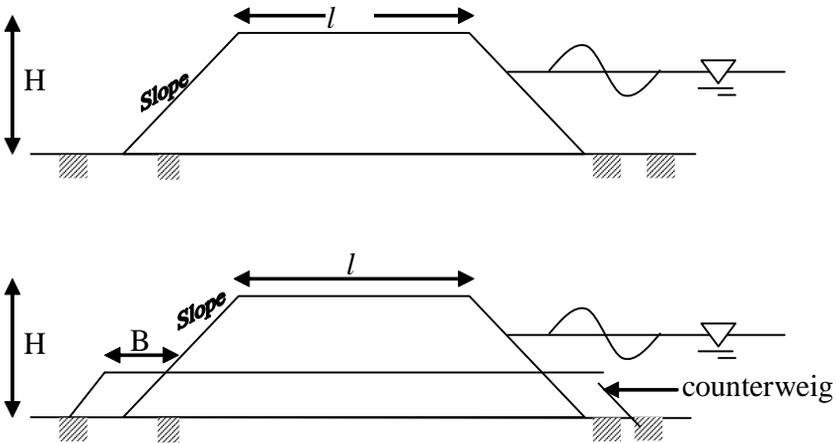
$$\gamma = 1,90 \text{ t/m}^3 \text{ (dalam keadaan padat)}$$

$$\phi = 30^\circ$$

$$C = 0$$

8.1.2.2. DIMENSI SAND DUNE

Ukuran sand dune dibuat dari tumpukan pasir sebagai embankment dengan kemiringan slope tertentu sehingga syarat stabilitasnya terpenuhi. Untuk ketinggian sand dune yang tinggi, maka disamping slope di perlandai juga dapat diberi konstruksi "counterweight". Lebar atas sand dune minimal dapat untuk lalu lintas pengangkutan kendaraan pengangkut material dan alat pematat (Lihat gambar 8.3)



Gambar 8.3. Gambar Dimensi Sand Dune

8.2. SAND BYPASSING

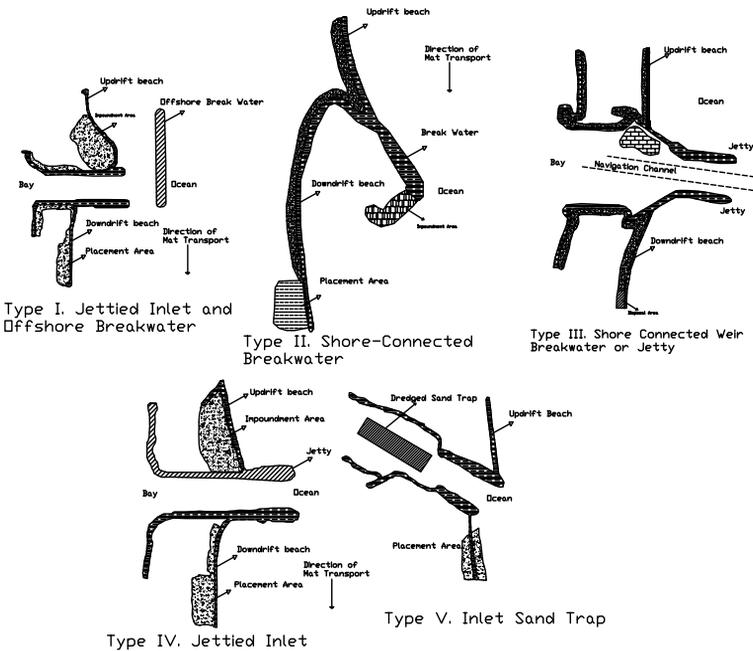
Inlet merupakan jalan air yang pendek dan sempit yang berhubungan dengan laut atau dapat juga berupa danau besar dengan air didalamnya, inlet itu ada yang alamiah (teluk) dan ada pula yang

sengaja di buat untuk keperluan navigasi (Pelabuhan) dengan jalan menahan laju transportasi sedimen sejajar pantai. Inlet alamiah mempunyai bentuk yang telah terdefiniskan dengan baik pada bagian yang menuju ke laut (*seaward*). Bagian pasir yang ditransportasikan sepanjang pantai biasanya dipindahkan menyebrangi inlet dengan cara *sand bypassing* . Tetapi supply sedimen yang mencapai bagian hilir (*downdrift*) biasanya tak tertentu dibandingkan kondisi pantai tanpa adanya inlet dan bagian hilir biasanya menjadi tidak stabil dalam jarak yang besar. Jika tidal flow melintasi inlet dan masuk ke dalam maka badan air akan menguat dan bagian material yang sedang bergerak sepanjang pantai terbawa masuk ke dalam badan air dan mengumpul secara permanen sebagai *middle – ground school*, pengurangan supply ini dapat dilakukan dengan pengisian material pada bagian hilir pantai. *Outer bar* biasanya berpindah saat inlet berpindah namun *middle – ground shoal* tidak . *middle – ground shoal* bertambah panjang seperti inlet. Yang berpindah tempat dan volume material yang tertimbun dalam inlet tersebut bertambah banyak.

Ketika inlet diperdalam dengan cara pengerukan melalui *outer bar/ inner bar* atau langsung pada channel maka daya tampung penyimpanan tambahan perlu dibuat untuk mengumpulkan littoral drift yang didapat dan secara kuantitas mengurangi yang melintasi inlet menjadi berkurang. Jika material yang dikeruk dibuang ke deepwater atau dibuang ke batas terluar dari *littoral currents*, maka supply pada hilir pantai (*downdrift*) mungkin dapat dihilangkan. Erosi yang terjadi akan proporsional terhadap pengurangan laju dari supply sedimen.

Cara yang biasa dilakukan untuk memperbaiki kondisi inlet dilakukan dengan memasang jetties atau break water pada kedua sisi saluran inlet, bangunan ini digunakan untuk menghalangi transportasi sedimen sepanjang pantai. Jetties mempunyai lebih dari satu fungsi antara lain : untuk menahan masuknya *littoral drift* ke dalam channel, berfungsi sebagai training wall selama terjadi tidal current pada inlet, untuk stabilitas posisi dari navigation channel. Jika arah longshore transport tidak ada yang dominan maka jetties dapat menstabilkan sepanjang pantai, namun pasir yang tertahan pada jetties hanya

sedikit. Stabilisasi bagian pantai sepanjang inlet dengan ataupun tanpa jetties bisa diperbaiki dengan artificial nourishment untuk menambah kekurangan supply sedimen yang diambil dari bagian hulu dari inlet (*updrift*), proses ini dikenal dengan *sand bypassing*. Jenis-jenis penghalang sedimen (*Jetties* dan *Breakwater*) yang secara umum digunakan berkaitan dengan perbaikan alur pelabuhan dan inlet ditunjukkan dalam gambar 8.4. jika transportasi sedimen sejajar pantai dominan dalam satu arah, dengan adanya penghalang ini dapat menyebabkan akresi pada updrift dan erosi pada downdrift dan hal ini dapat dilakukan tindakan pencegahan berupa *sand bypassing*, yaitu dengan cara memindahkan sedimen yang ada di updrift ke daerah downdrift yang tererosi.



Gambar 8.4. Penggunaan system bypassing untuk berbagai jenis littoral barrier (US Army CERC, 1984)

Pada sebuah *jettied inlet* (lihat gambar 8.4 tipe I), *bypassing* dapat secara umum dilakukan dengan baik dengan *land – based dredging plant* atau *land vehicles*. *Floating plant* hanya dapat digunakan dimana gelombang yang terjadi pada daerah yang terkurung (*impounding zone*) adalah gelombang dengan energi yang kecil atau gelombang yang pecah dalam bagian *landward* dari *impounding zone* dan pengerukan di belakang berm pantai. Pengoperasian semacam ini telah dilakukan di pelabuhan Hueneme, Kalifornia pada tahun 1953. Pada tipe ini mungkin tidak dengan cara *bypassing* semua sedimen yang diperoleh namun sebagian sedimen akan Melewati updrift jetty dan masuk ke dalam channel, terutama setelah daya tampung *jetties* telah tercapai.

Pengerukan pasir yang tertahan didalam inlet atau pintu masuk pelabuhan (lihat gambar 8.4 Tipe II) memerlukan teknik *sand bypassing* terutama ketika arus pasang surut pada inlet kuat. Arus ini menggerakkan sedimen masuk ke dalam inlet dari material yang terperangkap dan yang mengendap dipindahkan ke bagian daerah hilir pantai dengan pengoperasian *sand bypassing*.

Untuk menjaha *bypassing* sedimen supaya berhasil lebih sempurna, kombinasi antara *jettied inlet* dan *offshore breakwater* (gambar 8.4 tipe III) dikembangkan. Dalam desain seperti ini *floating plant* akan bekerja secara efektif, daerah yang dilindungi dengan *breakwater* dan pergerakan pasir pada *offshore breakwater* di *bypass*. Secara praktis diharapkan tidak ada pendangkalan pada channel. Meskipun tipe ini betul-betul dipertimbangkan lebih efektif namun jenis ini perlu ditingkatkan untuk navigasi dan *sand bypassing* dan biasanya biayanya juga paling mahal.

Brakwate yang dihubungkan pantai dengan penimbunan sedimen pada ujung seaward (lihat gambar 8.4 tipe IV) telah digunakan secara efektif. *Bypassing* dilakukan dengan *floating plant*, namun jika gelombang besar terjadi akan menyebabkan pemindahan dari bagian luar dari daerah penimbunan sedimen. Banyak pasir yang ditransportasikan sepanjang pantai di *bypass*, baik secara alamiah maupun secara mekanis namun harus dilakukan pengerukan pada pendangkalan yante terjadi pada navigation channel.

Breakwater yang dihubungkan pantai atau jetties dengan *low still* atau *weir* dan *impounding zone* dari kolam berada di belakang breakwater (lihat gambar 8.4 tipe V) direncanakan untuk memerlukan bypassing littoral drift yang bergerak diujung seaward dari weir dengan floating plant, jika tidak mengijinkan *littoral drift* tersebut mendangkalkan navigation channel. Pengoperasian bypassing jenis ini berhasil dilakukan dengan baik pada Inlet Hillsboro, Florida (Hodges, 1955), dimana basin berada di belakang *natural rock* yang dikeruk secara periodik. Dalam lima belas tahun terakhir ini konsep bypassing dengan weir jetties telah menunjukkan hasil yang efektif.

8.2.1. METODE – METODE SAND BYPASSING

Banyak teknik yang telah digunakan untuk sand bypassing secara mekanis pada inlet, dengan kombinasi dari teknik – teknik tersebut menunjukkan hasil yang lebih praktis dan ekonomis. Metode dasar tersebut meliputi : a). Land - based dredging plants, b) floating dredges dan c) land based vehicles.

8.2.1.1. LAND – BASED DREGING PLANTS

8.2.1.1.1. PERTIMBANGAN – PERTIMBANGAN PLANTS

Selama operasi ini, dredging plant ditempatkan pada posisi di dekat pantai yang mana pasir yang ditransportasikan sepanjang pantai ditahan pergerakannya mencapai plant. Sekarang ini, plants berjenis pompa dan operasi dasarnya sebagai keruk pengisap biasa. Sebagian besar plant ditempatkan pada bangunan yang ada dan tidak tergantung pada pondasinya. Plants yang dapat bergerak ditempatkan pada dermaga (*piers*) atau jetties dengan kemampuan pengerukannya sepanjang piers dan kedua sisinya. Plants semacam ini mempunyai tempat penampungan sedimen yang lebih besar atau endapan kolam terakumulasi saat periode badai dan ketika itu laju transportasi sedimen akan melebihi kapasitas dari plant.

Sebuah studi kritis tentang proses-proses pantai pada sebuah littoral barrier harus dibuat dengan variasi pergerakan longshore

transport menuju barrier harus diperkirakan untuk perencanaan dan penempatan *fixed bypassing plants*. Untuk memperoleh stabilitas, rata-rata tahunan material yang tertahan oleh littoral barrier umumnya harus sama dengan kuantitas minimum yang harus disupply ke hilir pantai. Fluktuasi jangka pendek dari laju aktual pergerakan sedimen ke barrier atas dasar jam-jaman, harian atau mingguan mungkin berkali-kali lebih besar atau kurang dari laju tahunan atau mingguan. Oleh karena itu sekalipun perencanaan bypassing didesain untuk menangani total jumlah sedimen yang mencapai barrier selama setahun, kadang-kadang sedimen yang berhasil ditahan oleh barrier akan melebihi kapasitas pompa plants atau mungkin plants akan beroperasi dibawah kapasitas akibat sedikitnya sedimen yang ditahan oleh barrier.

Agar kita dapat menetapkan kriteria desain, kita melakukan studi secara rinci dengan membuat *littoral barrier* pada hulu dari profil pantai untuk menentukan lokasi yang paling baik dari plants. Membandingkan profile dari *foreshore* terhadap waktu tidak hanya akan membantu prediksi posisi yang akan datang namun juga akan dapat membantu menentukan posisi yang terbaik dari plants. Lokasi plants yang terlalu jauh menuju daratan mungkin akan menghasilkan plants yang terkurung oleh daratan (*landlocked*) ketika laju transportasi sedimen yang mencapai barrier dalam interval waktu yang pendek melebihi kapasitas dari pompa plants. Lokasi yang demikian mungkin juga akan menghasilkan kehilangan material disekitar barrier dalam jumlah yang besar. Lokasi yang terlalu jauh menuju ke laut akan menghasilkan pengoperasian yang tidak efektif dari material yang tertahan oleh barrier dan peralatan yang masuk ke lokasi.

8.2.1.1.2. PERTIMBANGAN JALUR ALIRAN (*DISCHARGE LINE*)

Discharge line alinement yang paling baik dari sebuah *fixed plant* ke bagian hilir dari littoral barrier atau inlet sangat bergantung pada kondisi setempat. *Discharge line* harus melintasi channel yang harus tetap dijaga untuk lalu lintas kapal, dalam hal ini pemakaian *floating discharge line* sangat tidak praktis. Jika garis aliran tersebut ditempatkan pada

dasar channel maka harus dibuatkan perlindungan terhadapnya dari gangguan gerakan kapal dan terhadap pengerukan channel. Jika menggunakan submerged line juga memerlukan sistem pembilasan khusus untuk menjaga agar terjadi penyumbatan ketika pompa dimatikan.

Titik pelepasan pada bagian hilir dari littoral barrier merupakan kepentingan kritis. Meskipun titik tersebut tidak kritis dalam daerah longshore transport yang datang dari berbagai arah, dalam daerah ini mempunyai periode transportasi yang berlawanan, banyak material pada titik ini yang ditransportasikan kembali masuk ke dalam littoral barrier ataupun inlet. Transportasi balik ini seharusnya dijaga seminimum mungkin untuk mengurangi perawatan channel dan dimana transportasi

Balik yang terjadi harus dibuat studi secara rinci mengenai distribusi littoral yang bekerja pada bagian hilir barrier. Arus pasang surut yang menuju ke inlet dengan frekuensi yang dominan akan menghasilkan pergerakan material yang kuat menuju ke bagian hilir dari jetties ataupun masuk ke dalam inlet. Dalam hal ini, titik pelepasan yang paling baik akan ditempatkan pada pantai jauh dari pengaruh hilir jetties dan gaya-gaya littoral yang cenderung menggerakkan material ke arah hulu. Penetapan titik ini memerlukan data gelombang statistik, diagram refraksi dan difraksi gelombang dan data arus pasang surut di dekat pantai. Titik pelepasan alternatif yang lebih dekat barrier juga disarankan, penggunaan groin untuk menahan pergerakan sedimen di hulu pada titik pelepasan. Pertimbangan – pertimbangan untuk alternatif yang demikian adalah berdasarkan penentuan biaya yang paling ekonomis.

8.2.1.2. FLOATING DREDGES

Pengoperasian floating dredges diklasifikasikan dalam dua kategori umum, yaitu hidrolik dan mekanik. Hidrolik dredges berupa pipeline penghisap dengan plain suction atau cutterhead untuk menggali material yang keras dan hopper dredge yang berputar sendiri.

Sedangkan tipe-tipe mekanik meliputi dipper dredges dan bucket dredges.

Pipeline dredges bekerja sebagai discharge pipeline yang menyalurkan material yang dikeruk di titik pelepasan atau daerah tujuan penempatan material, penguatan pompa digunakan pada jalur ini jika dikehendaki. Hopper dredges standart mempunyai *bins* yang diisi secara hidrolik biasanya dialirkan dengan mendorong keluar material yang dikeruk dari dasar *bins*. Jenis ini memerlukan daerah pembuangan dengan kedalaman yang cukup untuk kepentingan *dumping*. Hopper dredges tidak cocok untuk operasi bypassing jika tidak alirannya dalam suatu daerah dimana material ditanganni kembali dengan tipe pengerukan yang lain.

Pengerukan secara mekanik memerlukan peralatan yang luar biasa (seperti *dumps scows*, *conveyors* dan *eductors*) untuk transportasi material ke lokasi penempatan material. Pertimbangan pemakaian floating dredge untuk operasi bypassing tiap-tiap jenis plant yang digunakan untuk pengerukan harus di evaluasi. Evaluasi tersebut meliputi : 1) kelayakan penggunaan berbagai jenis floating dredges, 2) pengoprasian secara rinci, 3) keekonomisan floating plant yang digunakan untuk memindahkan material harus dipilih yang dengan satuan biaya yang paling kecil. Karena kondisi lokasi yang berbeda-beda maka faktor-faktor yang dipertimbangkan untuk masing-masing floating plant tidak dapat di standarisasi.

8.2.1.3. LAND – BASED VEHICLES

Untuk bypassing operations di lokasi setempat sangat cocok jika menggunakan kendaraan pengangkut. Faktor-faktor yang harus dipertimbangkan dan yang harus dievaluasi adalah keberadaan atau tersedianya jalan dan jembatan agar land-based equipment dapat masuk ke daerah penimbunan dan dapat beroperasi dengan leluasa, volume material yang di bypass dan waktu yang diperlukan untuk pengangkutan material. Faktor-faktor yang terkait dalam daerah penimbunan juga sama seperti yang dibahas dalam land based dredging plants.

BAB IX

PERLINDUNGAN PANTAI DENGAN VEGETASI MANGROVE

9.1. GAMBARAN TENTANG MANGROVE

Hutan mangrove merupakan tipe hutan yang khas yang tumbuh di sepanjang pantai atau muara sungai. Mangrove akan tumbuh dengan baik pada daerah yang aliran airnya banyak mengandung lumpur dan pasir. Hutan mangrove dapat berfungsi sebagai peredam gelombang dan dan mempercepat pengendapan lumpur yang dibawa oleh sungai-sungai disekitarnya.

Hutan mangrove berkembang di daerah pantai berlumpur dengan pohon yang berbatang lurus dan tinggi mencapai 30 – 40 meter. Adapun jenis penyusun hutan mangrove adalah sebagai berikut:

1. *Bruguiera* sp.
 - Tinggi pohon mencapai 40 m
 - Tumbuh di lumpur yang padat, tergenang air pasang atau lumpur yang agak keras.
2. *Rhizophora Mucronata*.
 - Cenderung tumbuh di muara sungai dan daerah pesisir pantai di bawah pengaruh pasang surut.
 - Tinggi pohon mencapai 30 – 40 meter

3. *Avicennia* sp.
 - Menempati berbagai habitat mangrove di daerah tidal atau dibelakang zone mangrove.
 - Tinggi pohon mencapai 30 meter.
4. *Sonneratia* sp.
 - Tinggi mencapai 12 – 15 meter.
 - Tumbuh pada lumpur lembut/halus sampai berpasir dengan salinitas sedang sampai tinggi.
5. *Ceriops* Tagal (Tinggi)
 - Pohon kecil dan ramping.
 - Umumnya tumbuh pada lumpur yang agak keras.

9.2. PERENCANAAN EKOSISTEM MANGROVE SEBAGAI PELINDUNG PANTAI

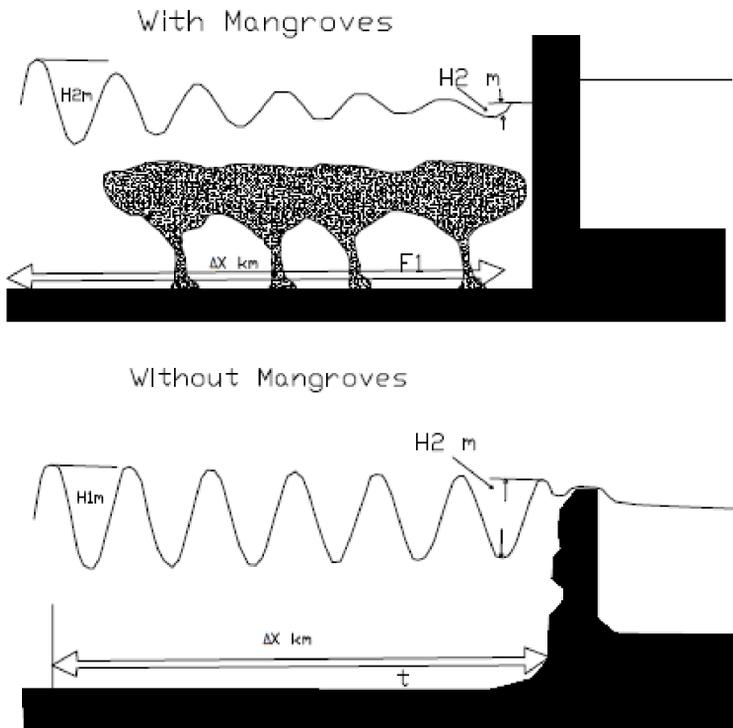
Pada dasarnya perlindungan pantai dengan menggunakan tanaman pelindung seperti mangrove sangat cocok untuk kondisi pantai berlumpur atau lempung, karena ada sebagian pantai berpasir yang tidak memungkinkan untuk ditumbuhi tanaman jenis apapun. Dipilih tanaman mangrove karena jenis ini mempunyai pengaruh terhadap kandungan air, sedimen, dan partikel lainnya yang dilimpaskan dari daratan. Selain itu ekosistem ini juga berpengaruh terhadap transpor partikel sedimen dan gerakan pasang surut gelombang yang datang dari laut lepas. Karena struktur akar mangrove yang khas, akar-akar tersebut memperlambat gerakan massa air yang pada gilirannya memungkinkan partikel sedimen mengendap ke dasar perairan. Hasilnya berupa lumpur, sehingga substrat dasar perairan di daerah hutan mangrove berupa lumpur yang bermanfaat terhadap kehidupan pantai. Selain itu dengan kemampuan sistem akar-akarnya membantu mempercepat pertumbuhan pantai kritis akibat erosi dengan menahan atau mengumpulkan sedimen berupa lumpur yang terbawa air di sela-sela akar.

Keuntungan yang lain adalah tanaman ini murah dan mudah didapat karena di Indonesia sendiri memiliki hutan mangrove seluas 4,25 juta ha pada tahun 1986 dan merupakan hutan mangrove terluas di dunia (Kartawinata dkk, 1990). Sehingga reboisasi hutan pantai dengan memanfaatkan tanaman mangrove sangatlah tepat khususnya bertujuan untuk melindungi pantai dari pengaruh gelombang dan pasang surut. tampak adanya ketidakserasian antara pantai dan ekosistem mangrove.

9.3. REDUKSI TINGGI GELOMBANG DI DAERAH MANGROVE

Vegetasi mangrove di sepanjang pantai dapat mempengaruhi karakteristik gelombang, terutama mangrove berfungsi sebagai peredam energi gelombang dengan cara menurunkan tinggi gelombang saat melaluinya. Reduksi tinggi gelombang ini disebabkan karena adanya gaya drag yang bekerja sepanjang tanaman (Gambar 9.1).

Gaya drag untuk aliran air diantara batang pohon terjadi di sepanjang kedalaman mulai dari dasar sampai ke permukaan air. Untuk arus pasang surut (pasut), Wolanski et al. (1992), Furukawa dan Wolanski (1996) serta Mazda et al. telah mempelajari gaya drag di bagian-bagian tumbuhan mangrove seperti pada akar-akar penyangga, akar napas (*pneumatophora*), batang pohon dan juga pada ranting dan daunnya (untuk mangrove yang terendam air).



Gambar 9.1. Perbedaan reduksi tinggi gelombang (a) dengan dan (b) tanpa mangrove.

- (a) Gaya drag SF_1 pada tanaman terjadi sepanjang kedalaman.
- (b) Hanya akibat pengaruh bottom friction t di dasar laut.

Reduksi tinggi gelombang yang disebabkan oleh gesekan dasar (*bottom friction*) di daerah perairan pantai tanpa adanya tanaman telah dibahas oleh Bretschneider dan Reid (1954). Di sini untuk perhitungan pengaruh tahanan alir (*flow resistance*) yang disebabkan oleh tanaman mangrove yang terdistribusi sepanjang kedalaman digunakan rumus seperti yang disebabkan oleh bottom friction. Dalam perairan dangkal

reduksi tinggi gelombang yang disebabkan oleh bottom friction adalah sebagai berikut : (Bretschneider and Reid, 1954)

$$\frac{H_2}{H_1} = \frac{1}{1 + \frac{\pi^5 K_s^2}{\sqrt{2g^2 T^4}} C_D H_1 \Delta x \left(\sinh \frac{2\pi d}{L} \right)^{-3}} \dots\dots\dots (9.1)$$

dimana:

- H_1 : tinggi gelombang di pantai (m)
- H_2 : tinggi gelombang di daerah mangrove (m)
- D_x : jarak antara H_1 dan H_2 (km)
- d : kedalaman air di daerah H_1 (m)
- T : periode gelombang H_1 (dt)
- L : panjang gelombang H_1 (m)
- g : percepatan gravitasi (m/dt²)
- K_s : koefisien shoaling
- C_D : koefisien drag yang disebabkan oleh bottom friction.

9.3.1. Gaya Drag Akibat Vegetasi Mangrove

Aliran pasang surut (pasut) di daerah vegetasi mangrove adalah dominan dalam arah tegak lurus terhadap pasut sungai, sebab panjang gelombang pasut lebih besar daripada panjang sungai. Sehingga dapat dituliskan persamaan momentum rata-rata pada tiap kedalaman di daerah hutan mangrove sebagai berikut:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + F \dots\dots\dots (9.2)$$

dimana:

- x : jarak tegak lurus antara sungai dan daerah mangrove
- t : waktu
- u : kecepatan rata-rata aliran sepanjang arah x
- Dx : elevasi dari permukaan air
- g : percepatan gravitasi
- F : tahanan alir.

Harga $\partial u / \partial t$ dan $u \partial u / \partial x$ lebih kecil daripada $g \partial \zeta / \partial x$ sehingga tingkat kemiringan laut hanya dapat diimbangi oleh tahanan alir F dan persamaannya menjadi:

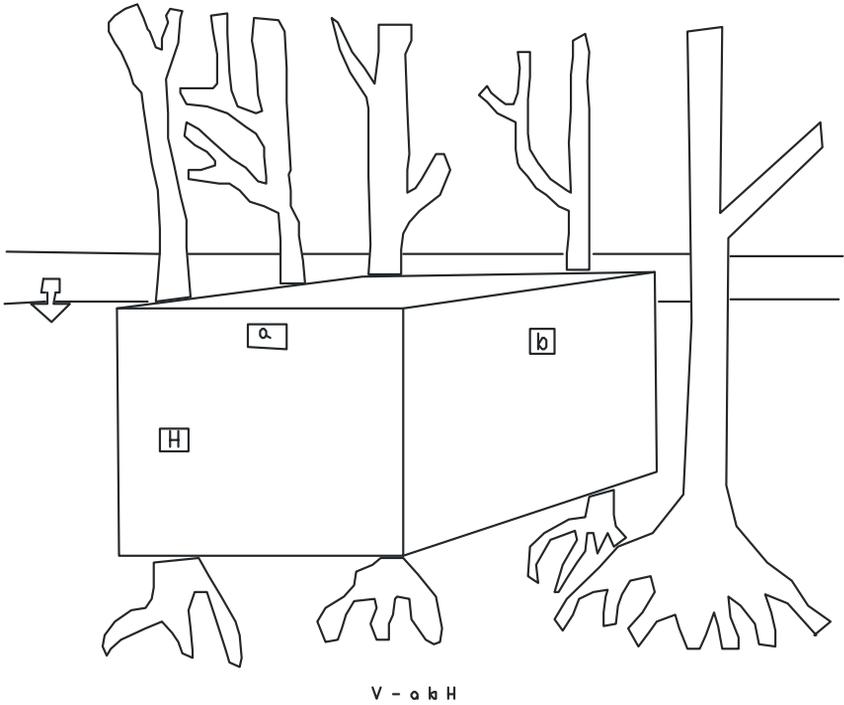
$$0 = -g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + F \quad \dots\dots\dots (9.3)$$

Untuk masing-masing bagian seperti batang dan akar secara individu dilalui oleh aliran yang sama besarnya, padahal pada kenyataannya satu tanaman mangrove memiliki banyak batang dan akar sehingga persamaan (9.3) dibuat skala yang lebih besar. Dengan mengintegrasikan besarnya batang dan akar dalam suatu volume (*volume kontrol*) V dimana besarnya adalah luas penyebaran akar dan batang a x b dengan kedalaman H diukur dari permukaan air (gambar 9.2).

Pada daerah hutan mangrove yang lebat, bottom friction dapat diabaikan karena bagian dasar tertutup oleh akar-akar penyangga, pneumatophora dan batang mangrove sehingga tahanan alir F yang terjadi hanya diakibatkan oleh gaya drag pada tanaman (Petryk and Bosmajian, 1975; Mazda et al., 1992).

Selanjutnya parameter F yang menggunakan koefien drag C_D (Batchelor, 1967) menjadi:

$$\int_v F dV = \frac{1}{2} C_D A u^2 \quad \dots\dots\dots (9.4)$$



Gambar 9.2. Volume Kontrol pada Tanaman Mangrove

Persamaan 9.4 selanjutnya dijabarkan menjadi per-samaan berikut:

$$\int_v g \frac{\partial \zeta}{\partial x} dV = gI(V - V_M) \quad \dots\dots\dots (9.5)$$

Dari persamaan (9.4) dan persamaan (9.5) diperoleh:

$$I = \frac{C_D}{2g} \frac{A/V}{(1 - V_M/V)} u^2 \quad \dots\dots\dots (9.6)$$

dimana:

- A = luas wilayah pengamatan
- I = gradien permukaan air
- V = volume kontrol ($A \times H$)
- H = kedalaman air
- V_M = volume hambatan berupa akar penyangga, pneumatophora dan batang pohon dalam volume kontrol V.

Jadi bila dilihat dari persamaan (9.6) maka parameter hidrodinamik di daerah vegetasi mangrove tergantung pada A/V dan V_M/V yang diperoleh dari pengukuran jumlah batang, akar-akar penyangga, pneumatophora dan semua elemen yang ada pada tanaman mangrove pada kondisi di bawah permukaan air. Untuk menghitung A dan V_M , bentuk dari batang pohon, akar-akar penyangga dan pneumatophora dapat diasumsikan ke dalam bentuk seperti misal sebagai berikut:

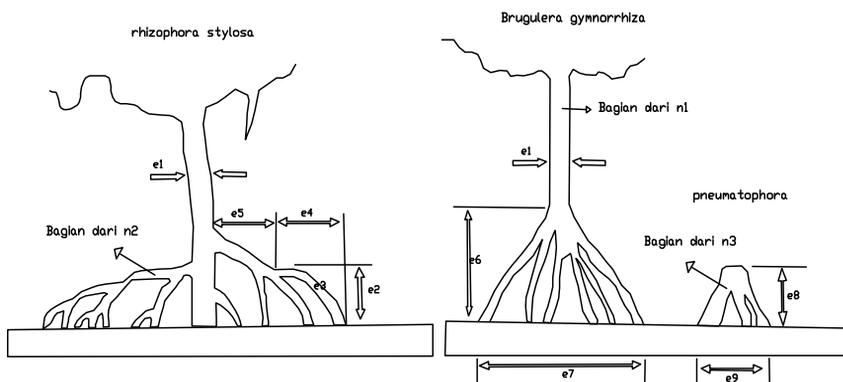
Pada tanaman mangrove jenis *Rhizophora stylosa* :

- batang pohon → silinder bulat tegak
- akar-akar penyangga → silinder bulat tegak.

Sedangkan pada tanaman mangrove jenis *Bruguiera gymnorhiza* :

- batang pohon → silinder bulat tegak
- akar-akar penyangga → bulat kerucut
- pneumatophora → bulat kerucut.

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar (9.3) berikut ini



Gambar 9.3. Elemen-elemen Tanaman Mangrove yang Diukur

Keterangan:

e1 ~ e9 = elemen-elemen pada tanaman yang diukur (cm), dimana:

e1 = diameter batang pohon

e2 = tinggi akar penyangga

e3 = diameter akar penyangga

e4, e5 = panjang akar penyangga yang bercabang

e6 = tinggi akar-akar penyangga (yang berkelompok membentuk kerucut)

e7 = diameter luas penyebaran akar-akar penyangga (diameter alas kerucut)

e8 = tinggi pneumatophora

e9 = diameter luas penyebaran akar-akar pneumatophora

n1 = jumlah batang pohon/m²

n2 = jumlah akar-akar penyangga/batang pohon

n3 = jumlah pneumatophora/m²

Sehingga untuk menentukan harga V_M dari V (volume kontrol) di suatu daerah vegetasi dengan pengamatan seluas A pada kedalaman air sebesar H dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$V_M = n_1x \text{ (vol. batang pohon)} + n_1x n_2 x \text{ (vol. akar-akar penyangga)} + n_3 x \text{ (vol. pneumatophora)} \dots\dots\dots (9.7)$$

dimana volume batang pohon, akar-akar penyangga dan pneumatophora dihitung berdasarkan pengukuran elemen-elemen yang telah ditunjukkan pada gambar (9.3)

Karena vegetasi mangrove di dalam hutan tersebar secara acak baik itu batang pohon, akar-akar penyangga maupun akar-akar napasnya (*pneumatophora*) terutama pada hutan yang lebat maka diperlukan suatu ketentuan didalam mengelompokkan satu tanaman dengan tanaman yang lain sehingga diperoleh jarak efektif untuk masing-masing tanaman. Selanjutnya untuk menentukan skala jarak efektif antara satu tanaman dengan tanaman yang lain digunakan rumus sebagai berikut : (Petryk and Bosmajian, 1975).

$$L_E = \frac{(V - V_M)}{A} \dots\dots\dots (9.8)$$

dimana

L_E = skala jarak efektif untuk masing-masing tanaman.

Sehingga dari persamaan (9.1) sampai dengan persamaan (9.8) di atas dapat disusun kembali menjadi:

$$C_D = \frac{2gI}{u^2} L_E \dots\dots\dots (9.9)$$

dimana:

- C_D = koefisien drag aliran yang melalui vegetasi mangrove.
- l = gradien permukaan air
- u = kecepatan gelombang
- L_E = skala jarak efektif
- g = percepatan gravitasi.

C_D adalah koefisien drag dari aliran yang melalui suatu vegetasi dalam hal ini vegetasi mangrove. C_D akibat mangrove ini dipakai untuk menggantikan C_D akibat *bottom friction*.

C_D merupakan faktor utama yang sangat berpengaruh dalam perhitungan energi gelombang adalah tinggi gelombang, sehingga dengan berubahnya tinggi gelombang maka energinya juga ikut berubah. Gelombang yang melalui suatu penghalang akan mengalami perubahan tinggi dan energinya. Begitu juga dengan gelombang yang melalui ekosistem mangrove, tinggi gelombang tersebut akan mengalami reduksi baik tinggi maupun energi yang dihasilkannya.

Faktor yang berpengaruh dari perhitungan reduksi tinggi gelombang yang melewati vegetasi mangrove adalah koefisien drag (C_D) dari mangrove. Untuk itu diperlukan harga V_m yang besar dengan tujuan untuk memperbesar harga L_E . Bukan berarti dengan harga L_E yang besar maka jarak tanamannya renggang, tetapi L_E menunjukkan skala jarak efektif antar tanaman mangrove dimana bagian tanaman mangrove yang berpengaruh terhadap V_m adalah bagian yang berada di bawah permukaan air dalam hal ini adalah akar. Dengan demikian L_E menggambarkan banyaknya akar-akar yang tersebar luas dari tiap pohon, semakin luas penyebaran akar-akarnya berarti semakin besar pula volume hambatannya.

Gaya drag untuk aliran air diantara batang mangrove terjadi disepanjang kedalaman mulai dari dasar sampai ke permukaan air. Wolanski et.al. (1992), Furukawa dan Wolanski (1996) telah mempelajari gaya drag di bagian-bagian tumbuhan hutan mangrove

seperti pada batang pohon, akar-akar penyangga, akar-akar napas (*pneumatophores*) dan juga pada ranting dan daunnya (untuk mangrove yang terendam air).

Beberapa alternatif yang dapat dilakukan untuk memperbesar harga V_m diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Memperbanyak jumlah tanaman

Dengan semakin banyak tanaman dalam suatu wilayah, semakin banyak pula akar dan batang yang ada, berarti volume hambatan V_m juga bertambah besar.

2. Memilih jenis tanaman

Jenis tanaman yang memiliki jumlah akar banyak dan menyebar luas ke segala arah, dapat juga dimungkinkan yang memiliki akar napas (*pneumatophora*) adalah jenis tanaman yang memiliki volume hambatan V_m cukup besar.

3. Mengatur jarak tanam

Skala jarak tanam antara tanaman yang satu dengan yang lain dapat diatur sehingga diperoleh jarak tanam yang efektif L_e dengan tujuan agar sistem akar-akar mangrove dapat bekerja secara efektif dalam memperlambat pergerakan massa partikel air yang melaluinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Battjes, J.A.** (1974) Computation of Set-up Longshore Currents, Run-Up, and Overtopping Due to Wind Generated Waves, *Doctor of Philosophy Dissertation*, Delft Technische Hogeschool, Delft, The Netherlands.
- Bishop, C.T. & Donelan, M.A.** (1988), *Wave and wave forecasting* Ocean Engineering, Technomic Publishing Company, Inc. Lancaster, P.A. Vol. 3, pp. 653-695.
- Bretschneider, C.L. and Reid, R.O.**, (1954), *Modification of Wave Height Due to Bottom Friction*, B.E.B. Tech. Memo, No. 45, 1 – 36.
- Bretschneider, C.L.** (1958), "Revisions in wave forecasting, deep and shallow water", *Proceeding of the 6th Conference on Coastal Engineering*, ASCE, New York.
- Bretschneider, C.L.** (1970), *Wave forecasting Relations for Wave Generation*, Lab.Hawaii, vol. 1., No. 3.
- CERC** (1977), *Shore Protection Manual*, U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, VA.
- Darajat, R.**, (2000), *Studi Perubahan Garis Pantai dan Perencanaan Perlindungannya di Pantai Kerawang Jawa Barat*, Tugas Akhir S1, Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Dean, R.G. & Dalrymple, R.A.** (1984), *Water wave Mechanich for Engineers and Scientists*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Donelan, M.A. Hamilton, J. & Hui, W.H.**, (1983), *Directional spectra of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (Janswap)*, DTSC, Hydrogr. Z, 12. 1 – 195.
- Ehrlich, L.A. & Kulhawy, F.H.**, (1982), *Breakwater, Jetties and Groins : A Design Guide*, Cornell University, Ithace, New York.

- Furukawa, K and Wolanski, E.** 1996. *"Sedimentation in Mangrove Forests"*, Mangroves and Salt Marshes, 1, 3 – 10.
- Hasselmann, D.E. et al.** (1973), *"Measurement of Wind – wave Growth and Swell Decay During the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP)"*, Report, German Hydrographic Institute, Hamburg.
- Kulhawy, F.H. & Hubbell, W.D.** (1982), *"Coastal Structures Handbook Series"*, Environmental Loads, School of Civil and Environmental Engineering, Cornell University, Ithaca, New York.
- Mazda, Y. and Magi, M.** (1997), *"Mangrove as A Coastal Protection From Waves In The Tong King Delta, Vietnam"*, Mangroves and Salt Marshes 1, pp 127-135, Kluwer Academic Publisher, Netherland.
- Mazda, Y. and Wolanski, E.,** (1997), *"Drag Force Due To Vegetation in Mangroves Swamp"*, Mangroves and Salt Marshes 1, pp 193-199, Kluwer Academic Publisher, Netherland.
- Pratikto, W.A., Armono, H.D. & Suntoyo** (1977), *"Perencanaan Fasilitas Pantai dan Laut"*, BPFE, Yogyakarta.
- Pratikto, W.A., Rochani I. & Suntoyo,** (1966), *"Kajian Pengaman dan Perlindungan Pantai Candidasa"*, Laporan Penelitian Matching Grant – Lemlit – ITS, Surabaya.
- Saville, T.** (1954), *"The Effect of Fetch Width on Wave Generation"*, *Technical Memorandum 70*, U.S. Army Beach Erosion Board, Washington, DC.
- Silvester, R. & Hsu, J.R.C.** (1997), *"Coastal Stabilization"*, *Advanced series on Ocean Engineering, vol. 14*, World Scientific Publishing Co. Ptc., Ltd, Singapore.
- Sorensen, R.M.** (1993), *"Basic Wave Mechanic for Coastal & Ocean Engineering"*, John Willey & Sons, New York.
- Suntoyo** (1999), *"Studi Perbandingan Peramalan Gelombang Antara SPM, SMB, Donelan dan Jonswap: Sebagai Contoh Sebuah Studi Kasus"*, *Laporan Penelitian Dana DIK – Lemlit ITS*, Surabaya.

- U.S. Army CERC**, *"Shore Protection Manual"*, Vol. I & II, Mississippi, 1984.
- U.S. Army CERC**, (1992) *"Coastal Groin and Near Shore Break-water"*, Engineering and Design, Departement of Army U.S. Army Corpof Engineers, Washington.
- Wolanski, E. Mazda, Y. and Ridd, P.V.** (1992). *"Mangrove Hydrodynamics"*, In: Robertson, A.I. and Alongi, D.M., *Tropical Mangrove Ecosystems. Coastal and Estuarine Studies*, 412, American Geophysical Union, Washington, DC, 43 – 62.

