

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Reklamasi bertujuan untuk menambah luasan daratan untuk suatu aktivitas yang sesuai di wilayah tersebut. Sebagai contoh pemanfaatan lahan reklamasi adalah untuk keperluan industri, terminal peti kemas, kawasan pariwisata dan kawasan pemukiman. Selain untuk tujuan di atas, kegiatan reklamasi ini juga dapat dimanfaatkan untuk keperluan konservasi wilayah pantai. Kegiatan ini dilakukan bilamana suatu wilayah sudah tererosi atau terabrasi cukup parah sehingga perlu dikembalikan seperti kondisi semula, karena lahan tersebut mempunyai arti penting bagi Negara, misalnya konservasi pulau Nipa, Batam. Konservasi pulau Nipa dilakukan untuk mempertahankan batas Negara Kesatuan Republik Indonesia (NKRI).

Reklamasi pantai akan berdampak terhadap aktifitas sosial, lingkungan, hukum, ekonomi dan bahkan akan memacu pembangunan sarana prasarana pendukung lainnya. Dengan adanya reklamasi, diharapkan kebutuhan akan lahan akan terpenuhi, namun disisi lain dapat menimbulkan dampak negatif, misalnya meningkatkan potensi banjir, kerusakan lingkungan dengan tergusurnya pemukiman nelayan dari pemukiman pantai. Untuk menghindari dampak tersebut di atas, maka dalam perencanaan reklamasi harus diawali dengan tahapantahapan, diantaranya adalah kegiatan konsultasi publik yaitu kegiatan untuk menjelaskan maksud dan tujuan kegiatan reklamasi ke seluruh *stake holder* atau pemakai kawasan pantai. Disamping kegiatan tersebut perlu dilakukan pula perencanaan reklamasi pantai yang benar dengan dasar akademik dan data-data primer (kunjungan- kunjungan ke lapangan).

2.2. Sistem Reklamasi

Ada beberapa sistem yang menyangkut pertimbangan-pertimbangan, yaitu tujuan reklamasi itu sendiri, kondisi dan lokasi lahan, serta ketersediaan sumber daya. Beberapa sistem tersebut adalah sebagai berikut:

2.2.1 Sistem kanalisasi

Yaitu membuat kanal-kanal atau saluran drainase (kondisi tertentu dilengkapi pintu) bertujuan untuk menurunkan muka air sehingga lahan bisa dimanfaatkan. Sebagai contoh adalah perkebunan kelapa sawit di daerah gambut.

2.2.2 Sistem polder

Dalam sistem ini yaitu: melingkupi suatu lahan basah (genangan) dengan tanggul yang diusahakan kedap air dan menurunkan tinggi muka air tanah di dalam areal tersebut, selanjutnya mengendalikan tinggi muka air supaya selalu berada di bawah ambang batas yang dikehendaki, sehingga lahan cukup kering dan siap untuk dimanfaatkan untuk pertanian, perindustrian dan lain-lainnya.

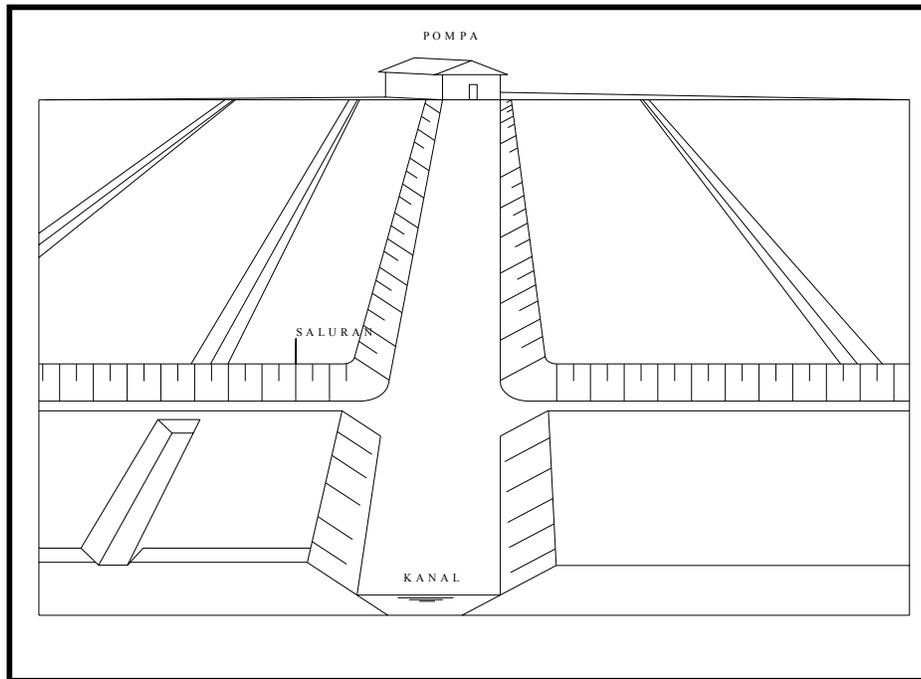
Keberhasilan dari sistem ini adalah menjaga atau mempertahankan kondisi muka air tanah sehingga diperlukan kemampuan pompa untuk mengatur muka air tersebut. Keuntungan sistem ini adalah volume tanah urugan sangat kecil terutama jika lahan tidak perlu ditinggikan. Kekurangannya adalah diperlukan biaya cukup besar untuk pembuatan tanggul, sistem kanal dan saluran serta sistem pompa. Selain itu diperlukan waktu yang cukup panjang untuk penyiapan lahan reklamasi tersebut. Sistem Polder ini dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu:

1. Polder Dalam.

Air yang disedot dari polder tidak langsung dibuang ke laut akan tetapi ke waduk-waduk tampungan atau ke suatu saluran yang ada di luar polder untuk kemudian dialirkan ke laut.

2. Polder Luar

Air dari polder langsung dibuang ke laut.



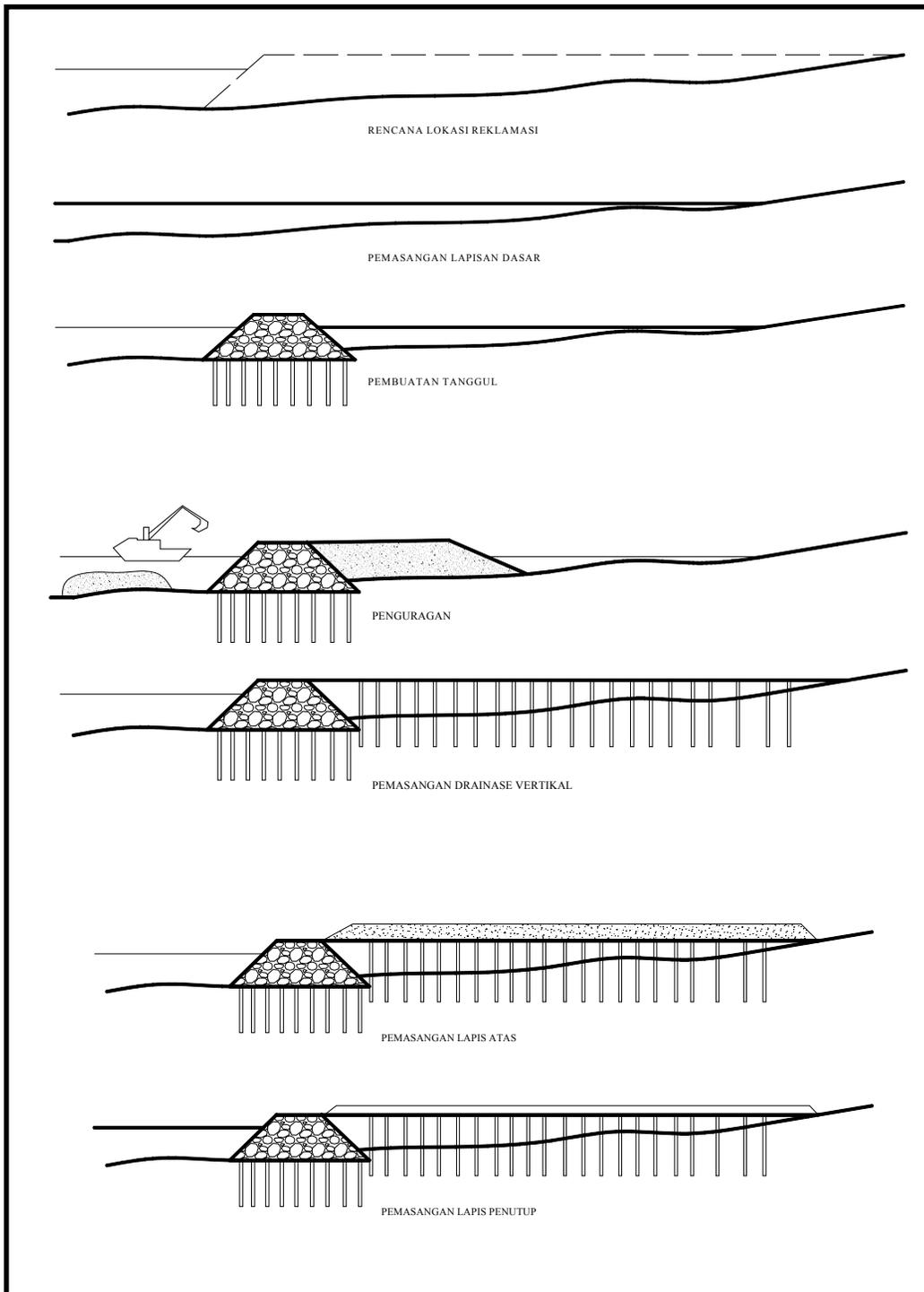
Gambar 2.1 Reklamasi dengan Sistem Polder

2.2.3 Sistem Urugan

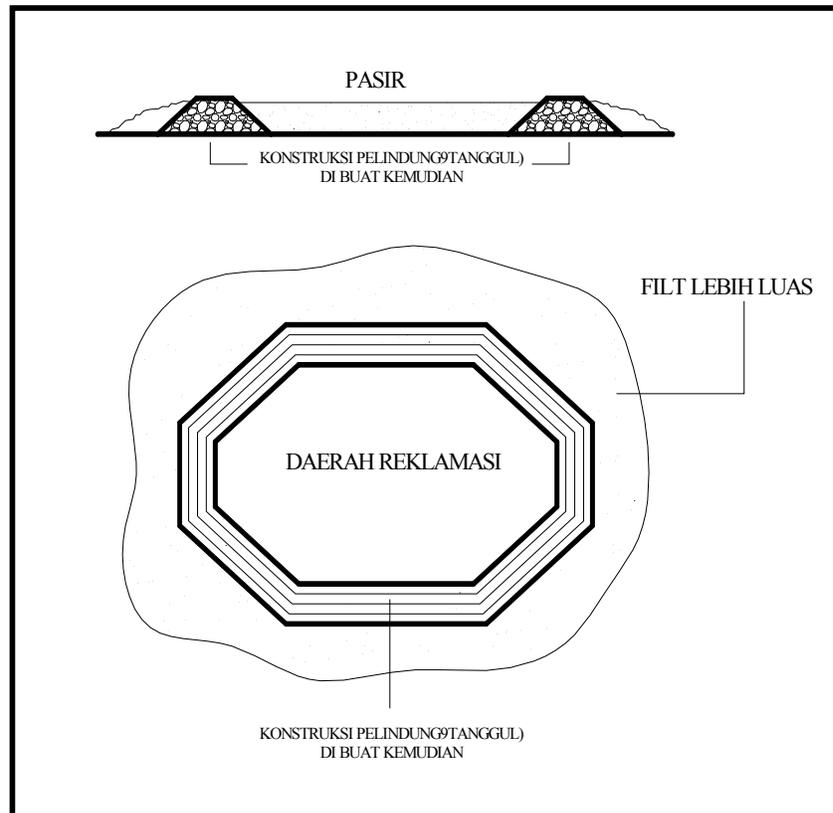
Sistem reklamasi dengan jalan mengurug lahan yang akan direklamasi kemudian diikuti dengan langkah-langkah perlindungan dari sistem perbaikan tanahnya (tanah urug reklamasi). Sistem ini berkembang didukung dengan berbagai jenis alat-alat besar seperti alat penggalian tanah, alat pengambilan dan pengeruk tanah, alat-alat transport, perlengkapan penebaran bahan-bahan tanah urug, dan alat perlengkapan pemadatan tanah.

Pada sistem ini dibedakan dua macam cara kerja yaitu:

1. *HYDRAULIC FILL*: Dibuat tanggul terlebih dahulu baru kemudian dilakukan pengurugan.
2. *BLANKET FILL*: Tanah di urug lebih dahulu baru kemudian tanggul atau sistem perlindungan dibuat belakangan.



Gambar 2.2 Sistem Urugan dengan Sistem *Hydraulic Fill*



Gambar 2.3 Reklamasi dengan *Blanket Fill*

Material Urugan Reklamasi

Dalam Pekerjaan reklamasi dengan urugan, ada beberapa aspek yang dipertimbangkan yaitu antara lain: jenis material, volume kebutuhan material, lokasi sumber material, waktu yang tersedia dan biaya. Sehingga akan berpengaruh pada metode pelaksanaan dan peralatan yang digunakan.

Jenis Material

1. Material Pasir

Material urugan yang baik umumnya berupa pasir dengan kandungan pasir halus tidak melebihi 15%, Sedangkan untuk dasar tanggul dan untuk permukaan dasar tanah yang lembek, maka persyaratannya lebih baik lagi yaitu bandingan fraksi halusnya < 10%. Analisis material diambil dari hasil pemboran dan hasilnya menunjukkan :

- Plastisitas : Sebaiknya Plastisitasnya kecil (<10%)
- Kohesivitas : Sebaiknya kecil (1,5 s/d 5 kgf/cm²)
- Sudut geser dalam : Sebaiknya besar (45° s/d 50°)
- Berat Jenis : ± 2,6 kg/cm².
- Permeabilitas : 1 x 10⁻⁴ cm/detik.

2. Material Batu

Material ini terutama digunakan sebagai konstruksi perlindungan daerah yang akan direklamasi antara lain yaitu: Dengan tumpukan batu (*Rubble Mound*) jenis batu yang digunakan umumnya merupakan batuan beku karena batuan ini memiliki nilai ketahanan yang tinggi terhadap proses erosi dan pelapukan.

3. Material Tanah

Sebagai material reklamasi tanah umumnya lebih banyak digunakan sebagai material penutup pada bagian paling atas suatu timbunan (*soil Cover*).

Sumber Material

Kebutuhan material bahan timbunan reklamasi yang akan digunakan umumnya meliputi jumlah jutaan ton dan diusahakan letaknya tidak terlalu jauh dari lokasi lahan reklamasi. Lokasi sumber material dapat berada di daratan (*on shore*) maupun yang bersumber dari dasar laut.

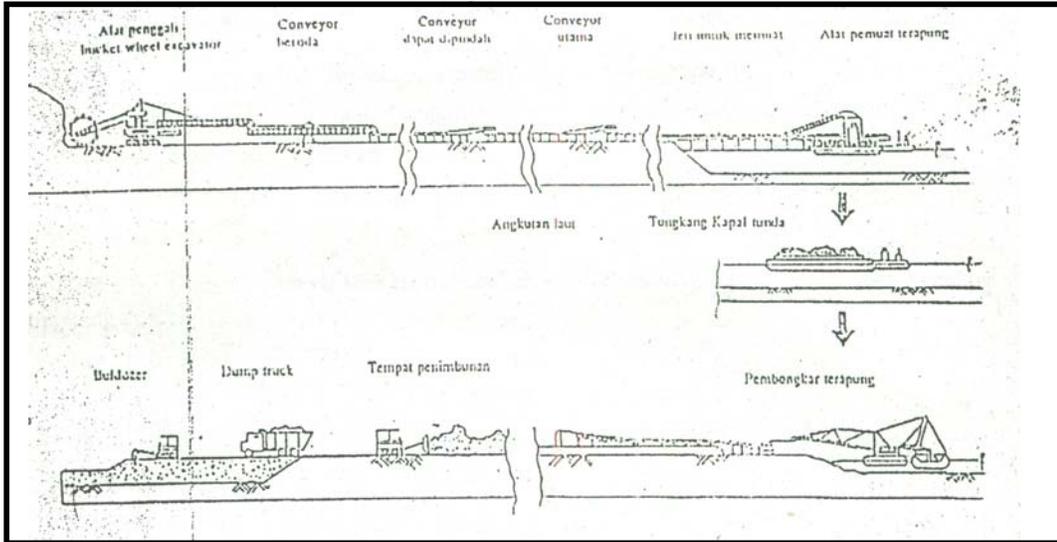
Sumber Material Daratan

Sumber material daratan dapat berupa bukit atau deposit datar. Sumber material yang berupa bukit umumnya berupa batuan beku (*Andesit*) dan tanah urugan (*Soil Cover*). Sedangkan sumber material deposit datar pada umumnya berupa material pasir (*endapan alluvial*).

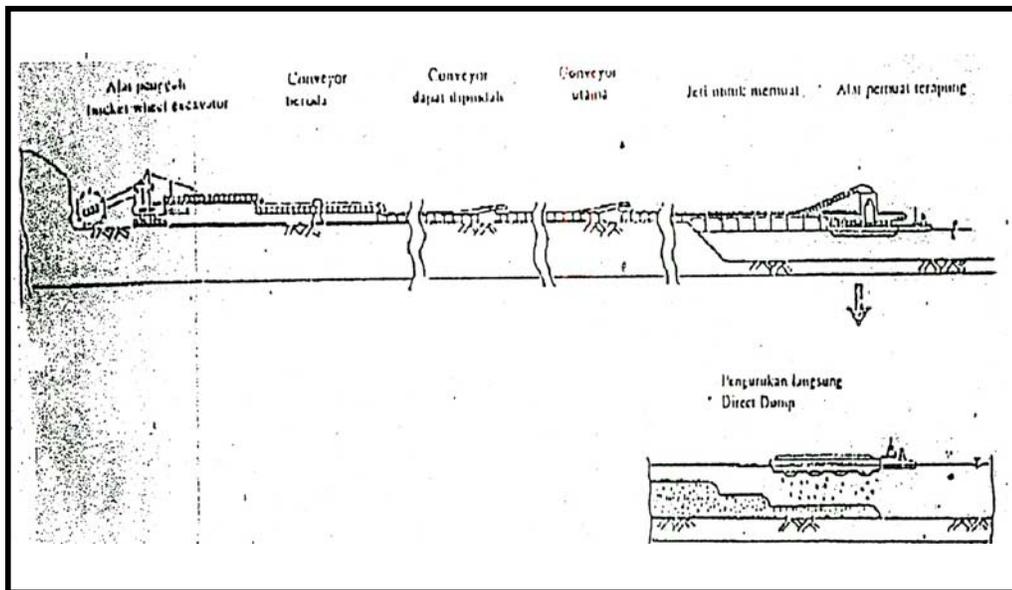
Sumber material dari bukit dapat digali dengan *wheel – dredger*, yaitu alat pengeruk yang mana pengerukannya terpasang pada suatu roda yang diputar. Sedangkan yang dari deposit datar digali dengan mempergunakan jenis alat penggalian seperti *excavator*.

Bahan yang sudah digali dengan *wheel-dredger*, kemudian diangkut ke tempat (terminal) pemuat dengan menggunakan ban berjalan (*belt conveyor*).

Sebagai tempat penampungan biasanya mempergunakan tongkang berukuran besar baru kemudian diangkut ke lokasi lahan reklamasi menggunakan tongkang-tongkang kecil.



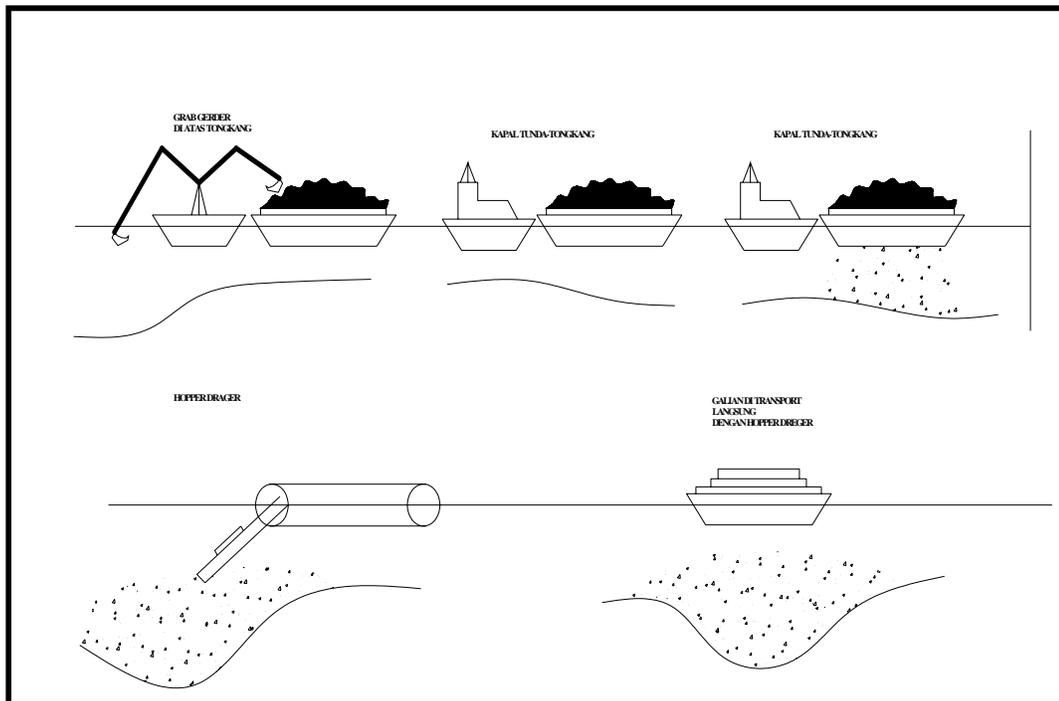
Gambar 2.4 Reklamasi dengan bahan galian dari darat (bukit) dengan mengangkut dan menimbun dahulu, baru kemudian mengurug



Gambar 2.5 Reklamasi dengan Bahan Galian dari darat (bukit) dengan mengangkut dan langsung mengurug dari tongkang

Sumber Material di Laut

Sebagai alternatif bahan timbunan diambil dari sumber yang berlokasi di laut yaitu berupa pasir endapan di dasar laut. Pengambilan pasir endapan tersebut untuk kapasitas besar menggunakan *cutter suction dredger* yang dimuatkan di kapal itu sendiri (*hopper dredger*) atau ketongkang kemudian dibawa ke lokasi dimana material tersebut dipompakan kelahan yang akan di urug. Selain itu pengambilannya bisa menggunakan *grab-dredger* yang dipasang di atas suatu tongkang besar.



Gambar 2.6 Pengambilan pasir dari dasar laut dan diangkut ke daerah reklamasi

2.4 Hidro-oseanografi

Bentuk profil pantai dipengaruhi oleh aspek Hidrooseanografi diantaranya yaitu :

- Gelombang
- Angin
- Pasang Surut
- Arus
- Bathimetri pantai

Gelombang

Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada gaya pembangkitnya. Gelombang tersebut itu adalah gelombang angin yang diakibatkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan, gelombang tsunami terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak, dan sebagainya.

Gelombang dapat menimbulkan energi yang dapat mempengaruhi profil pantai. Selain itu gelombang juga menimbulkan arus dan transport sedimen dalam arah tegak lurus maupun sepanjang pantai, serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai.

Terdapat beberapa teori gelombang dengan beberapa derajat kekomplekan dan ketelitian untuk menggambarkan kondisi gelombang di alam diantaranya adalah teori Airy, Stokes, Gerstner, Mich , Knoidal dan Tunggal. Teori gelombang Airy merupakan teori gelombang amplitude kecil, sedangkan teori gelombang yang lain adalah gelombang amplitude terbatas (*finite amplitude waves*)

A. BEBERAPA FUNGSI GELOMBANG

1. Teori Gelombang Airy

Teori Gelombang Airy (teori amplitude kecil) diturunkan berdasarkan persamaan Laplace untuk aliran tidak tak rotasi (*irrotational flow*) dengan kondisi batas di dasar laut dan di permukaan air (Triatmadja B,1996). Terdapat

beberapa anggapan yang digunakan untuk menurunkan persamaan gelombang adalah sebagai berikut:

1. Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan, sehingga rapat masa adalah konstan.
2. Tegangan permukaan diabaikan.
3. Gaya *coriolis* (akibat perputaran bumi diabaikan)
4. Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan.
5. Zat cair adalah ideal, sehingga berlaku aliran tak rotasi.
6. Dasar Laut adalah Horisontal, tetap dan *impermeable* sehingga kecepatan vertikal di dasar adalah nol.
7. Amplitudo gelombang kecil terhadap panjang gelombang dan kedalaman air.
8. Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjalaran gelombang sehingga gelombang adalah dua dimensi.

Gambar 2.7 menunjukkan suatu gelombang yang berada pada sistem koordinat x-y. Gelombang menjalar pada sumbu x.

Beberapa notasi yang digunakan adalah di dalam perhitungan gelombang Airy menurut buku Pelabuhan “Bambang Triatmodjo” adalah :

- d : Jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut)
- $\eta(x,t)$: Fluktuasi muka air terhadap muka air diam
- a : Amplitudo gelombang
- H : Tinggi gelombang = 2 a
- L : Panjang gelombang, yaitu jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan
- L_0 : Panjang gelombang awal
- T : Periode gelombang, yaitu interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya
- C : Kecepatan rambat gelombang = L/T
- C_0 : Kecepatan rambat gelombang awal

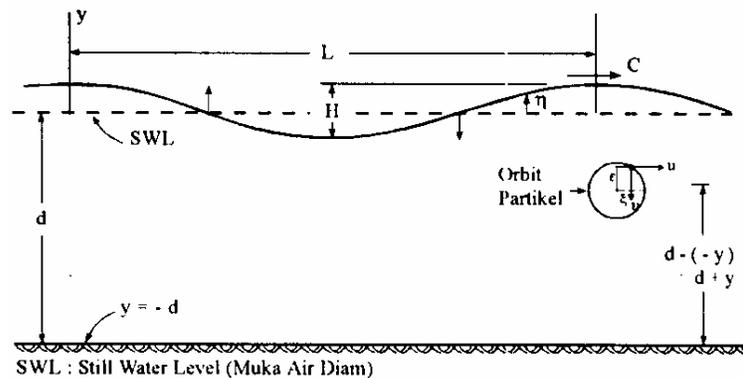
- k : angka gelombang = $2\pi/L$
 σ : frekuensi gelombang = $2\pi/T$
 g : gravitasi = $9,81 \text{ m/d}^2$

Hubungan cepat rambat gelombang dengan T dan d adalah

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (2.1)$$

Dan hubungan panjang gelombang sebagai fungsi kedalaman adalah

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (2.2)$$

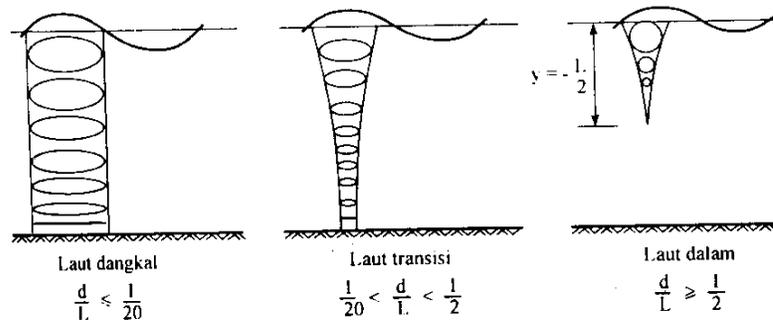


Gambar 2.7 Skets definisi gelombang

Klasifikasi Gelombang Menurut Kedalaman Relatif

Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air dan panjang gelombang L , (d/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam (gambar 2.8) yaitu :

1. Gelombang di laut dalam jika $d/L \geq 1/2$
2. Gelombang di laut transisi jika $1/20 < d/L < 1/2$
3. Gelombang di laut dangkal jika $d/L \leq 1/20$



Gambar 2.8 Gerak Orbit Partikel Zat Cair di Laut Dangkal, Transisi, dan Dalam

Apabila kedalaman relatif d/L adalah lebih besar dari 0,5: nilai $\tanh(2\pi d/L) = 1,0$ sehingga persamaan (2.1) dan (2.2) menjadi :

$$C_o = \frac{gT}{2\pi} \quad (2.3)$$

dan

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = 1,56 T^2 \quad (2.4)$$

Indeks So menunjukkan bahwa nilai-nilai tersebut adalah untuk kondisi di laut dalam.

Apabila kedalaman relatif kurang dari $1/20$, nilai $\tanh(2\pi d/L) = 2\pi d/L$ sehingga persamaan (2.1) dan (2.2) menjadi:

$$C = \sqrt{gd} \quad (2.5)$$

$$L = \sqrt{gd} \quad T = C T \quad (2.6)$$

Untuk kondisi gelombang di laut transisi, yaitu jika $1/20 < d/L < 1/2$, cepat rambat dan panjang gelombang dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2.

Apabila persamaan (2.1) dibagi (2.3) atau (2.2) dibagi dengan (2.4) akan didapat :

$$\frac{C}{C_o} = \frac{L}{L_o} = \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (2.7)$$

Apabila kedua ruas dari persamaan (2.7) dikalikan dengan d/L maka akan didapat :

$$\frac{d}{L_0} = \frac{d}{L} = \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (2.8)$$

2. TEORI GELOMBANG STOKES.

Teori stokes mengembangkan teori orde kedua untuk gelombang yang mempunyai tinggi gelombang kecil tetapi berhingga. Beberapa karakteristik pengerjaan teori gelombang stokes diberikan berikut ini (Triatmadja B,1996):

a) Panjang dan kecepatan rambat gelombang.

Panjang dan kecepatan rambat gelombang untuk teori gelombang stokes sama dengan teori gelombang airy yaitu :

Hubungan cepat rambat gelombang dengan T dan d adalah

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (2.9)$$

Dan hubungan panjang gelombang sebagai fungsi kedalaman adalah

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (2.10)$$

b) Fluktuasi muka air

Persamaan muka air untuk teori orde kedua adalah sebagai berikut :

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \sigma) + \frac{\pi H^2}{8L} \frac{\cosh kd}{\sinh^3} (2 + \cosh 2kd) \cos 2(kx - \sigma) \quad (2.11)$$

Untuk laut dalam ($d/l > 0.5$) persamaan diatas menjadi

$$\eta = \frac{H_0}{2} \cos\left(\frac{2\pi x}{L_0} - \frac{2\pi t}{T}\right) + \frac{\pi H_0^2}{4L_0} \cos\left[\frac{4\pi x}{L_0} - \frac{4\pi t}{T}\right] \quad (2.12)$$

c) Kecepatan partikel (u dan v)

Komponen kecepatan partikel dalam arah x dan y mempunyai bentuk berikut :

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \cos(kx - \sigma) + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L}\right)^2 C \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^4 kd} \cos 2(kx - \sigma) \quad (2.13)$$

$$v = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh k(d+y)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma) + \frac{3}{4} \left(\frac{\pi H}{L} \right)^2 C \frac{\sinh 2k(d+y)}{\sinh kd} \sin 2(kx - \sigma) \quad (2.14)$$

d) Perpindahan (*displacement*) partikel (ξ dan ε)

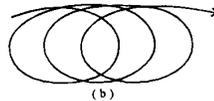
Persamaan orde kedua dari perpindahan partikel terhadap posisi rerata untuk gelombang amplitudo berhingga mempunyai bentuk berikut ini.

$$\xi = \frac{H}{2} \frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd} \sin(kx - \sigma) + \frac{\pi H^2}{8L} \frac{1}{\sinh^2 kd} \left[1 - \frac{3}{2} \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^2 kd} \right] \sin 2(kx - \sigma) + \left(\frac{\pi H}{L} \right)^2 \frac{Ct}{2} \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^2 kd} \quad (2.15)$$

$$\varepsilon = \frac{H}{2} \frac{\sinh k(d+y)}{\sinh kd} + \frac{3}{16} \frac{\pi H^2}{L} \frac{\sinh 2k(d+y)}{\sinh^4 kd} \cos 2(kx - \sigma) \quad (2.16)$$

e) Kecepatan transpor massa

Teori stokes menganggap bahwa partikel air bergerak dalam orbit berupa lingkaran atau elips tidak tertutup. Sehingga hal ini menyebabkan terjadinya aliran massa air dalam arah penjalaran gelombang (Triatmadja B,1996) ; seperti terlihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Orbit Partikel Air Pada Gelombang Stokes

$$U_{(y)} = \left[\frac{\pi H}{L} \right]^2 \frac{C}{2} \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^2 kd} \quad (2.17)$$

f) Tekanan gelombang

Distribusi tekanan gelombang pada kedalaman air diberikan oleh bentuk berikut :

$$p = \rho g \frac{H}{2} \frac{\cosh k(d+y)}{\cosh kd} \cos(kx - \sigma) - \rho g y$$

$$\begin{aligned}
& + \frac{3}{8} \rho g \frac{\pi H^2}{L} \frac{\tanh kd}{\sinh^2 kd} \left\{ \frac{\cosh 2k(d+y)}{\sinh^2 kd} - \frac{1}{3} \right\} \cos 2(kx - \sigma) \\
& - \frac{1}{8} \rho g \frac{\pi H^2}{L} \frac{\tanh kd}{\sinh^2 kd} [\cosh 2k(d+y) - 1]
\end{aligned} \tag{2.18}$$

3. TEORI GELOMBANG KNOIDAL

Teori gelombang knoidal merupakan teori gelombang amplitudo berhingga yang cocok digunakan pada perairan dangkal dengan perbandingan $d/l < 1/8$. Gelombang knoidal adalah gelombang periodik yang biasanya mempunyai puncak tajam yang dipisahkan oleh lembah yang cukup panjang.

Gambar 2.10 menunjukkan beberapa parameter gelombang knoidal. Karakteristik gelombang dinyatakan dalam parameter yang mempunyai fungsi dari k . Parameter k tidak mempunyai arti fisik, dan hanya digunakan untuk menyatakan hubungan antara berbagai parameter gelombang. Ordinat dari permukaan air y_s diukur terhadap dasar diberikan oleh :

$$y_s = y_t + H \cdot cn^2 \left\{ 2K(k) \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right), k \right\} \tag{2.19}$$

Dengan :

Y_t : jarak dari dasar ke lembah gelombang

Cn : fungsi cosinus elips

$K(k)$: integral elips

K : modulus dari integral elips. (nilai k berkisar antara $0 - 1$)

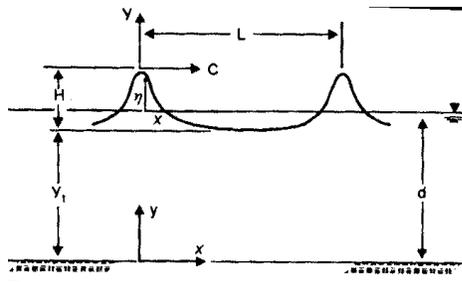
Jarak dari dasar ke lembah gelombang (y_t) adalah :

$$\frac{y_t}{y_c} = \frac{y_c}{d} - \frac{H}{d} = \frac{16d^2}{3L^2} K(k) \{ K(k) - E(k) \} + 1 - \frac{H}{d} \tag{2.20}$$

Dengan y_c adalah jarak dari dasar ke puncak gelombang.

Panjang gelombang di berikan oleh rumus :

$$L = \sqrt{\frac{16d^3}{3H}} k \cdot K(k) \tag{2.21}$$

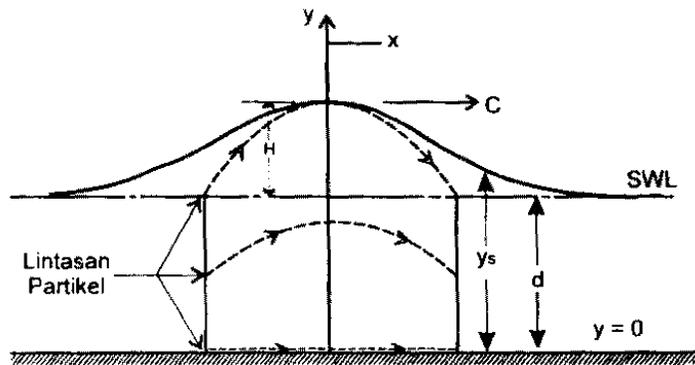


Gambar 2.10 Gelombang Knoidal

4. TEORI GELOMBANG TUNGGAL (*solitary wave*)

Gelombang tunggal adalah gelombang berjalan yang terdiri dari satu puncak gelombang. Apabila Gelombang memasuki perairan yang sangat dangkal, amplitudo gelombang menjadi semakin tinggi, puncaknya menjadi semakin tajam dan lembahnya menjadi semakin datar. Gelombang tunggal merupakan gelombang translasi, dimana kecepatan partikel air hanya bergerak dalam arah penjalaran gelombang.

Gambar 2.11 merupakan sistem koordinat dari gelombang tunggal. Diberikan oleh persamaan berikut ini.



Gambar 2.11 Gelombang Tunggal

$$y_s = d + H \operatorname{sech}^2 \left\{ \sqrt{\frac{3}{4}} \frac{H}{d^3} (x - Ct) \right\} \text{ atau } \eta = H \operatorname{sech}^2 \left\{ \sqrt{\frac{3}{4}} \frac{H}{d^3} (x - Ct) \right\} \quad (2.22)$$

Dimana sumbu x berawal dari puncak gelombang.

Kecepatan rambat gelombang memiliki bentuk seperti berikut :

$$C = \sqrt{g(H + d)} \quad (2.23)$$

Kecepatan partikel gelombang diberikan oleh :

$$u = CN \frac{1 + \cos(My/d) \cosh(Mx/d)}{\{\cos(My/d) + \cosh(Mx/d)\}^2}$$

$$v = CN \frac{\sin(My/d) \sinh(Mx/d)}{\{\cos(My/d) + \cosh(Mx/d)\}^2} \quad (2.24)$$

Dengan M dan N adalah fungsi H/d seperti diberikan pada gambar 2.12 dan y diukur dari dasar. Kecepatan horisontal u sering dipergunakan untuk memprediksi gaya gelombang pada bangunan pantai di air dangkal. Kecepatan maksimum Umaks terjadi apabila $x = t = 0$, sehingga :

$$U_{maks} = \frac{CN}{1 + \cos(My/d)} \quad (2.25)$$

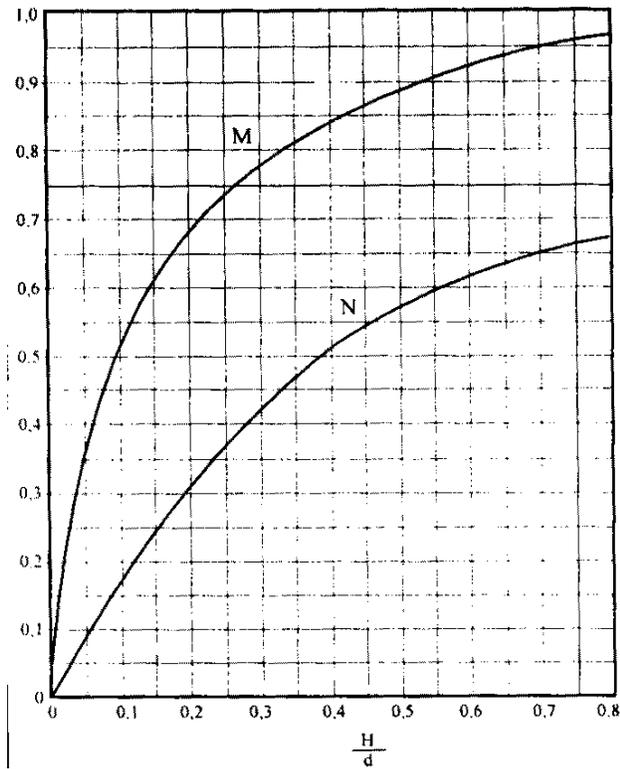
Energi gelombang total tiap satuan lebar :

$$E = \frac{8}{3\sqrt{3}} \cdot \rho \cdot g \cdot H^{3/2} d^{3/2} \quad (2.26)$$

Tekanan Gelombang diberikan oleh bentuk :

$$P = \rho \cdot g \cdot (yc - y) \quad (2.27)$$

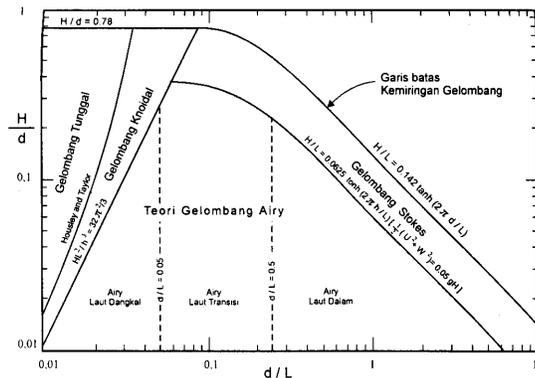
$$\text{Gelombang pecah akan terjadi jika } \left(\frac{H}{d}\right)_{maks} = 0.78 \quad (2.28)$$



Gambar 2.12 Fungsi M dan N Pada Teori Gelombang Tunggal

5. BATASAN PENGGUNAAN TEORI GELOMBANG

Berikut ini akan di berikan gambar mengenai batasan – batasan didalam pemilihan teori gelombang. Gambar ini didasarkan pada perbandingan H/d dan d/L.



Gambar 2.13 Daerah Penerapan Fungsi Gelombang Fungsi H/d dan d/L

Deformasi gelombang

Gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai akan mengalami perubahan bentuk. Di laut dalam bentuk gelombang adalah *sinusoidal*. Di laut transisi dan dangkal, puncak gelombang menjadi semakin tajam, sehingga tidak stabil dan pecah. Setelah pecah gelombang terus menjalar ke pantai, dan semakin dekat dengan pantai tinggi gelombang semakin berkurang.

Penyebaran gelombang dipengaruhi oleh kontur dasar perairan dimana pergerakan ditransformasikan menurut variasi topografi dasar perairan tersebut. Ada beberapa tipe transformasi gelombang, diantaranya refraksi dan pengaruh pendangkalan, difraksi, refleksi gelombang dan pola (bentuk) garis puncak gelombang di suatu tempat di daerah pantai. Pada laporan ini hanya ditekankan pada refraksi dan/atau difraksi saja.

Analisis transformasi gelombang sering dilakukan dengan konsep gelombang laut dalam ekuivalen, yaitu tinggi gelombang laut dalam apabila gelombang tidak mengalami refraksi. Pemakaian gelombang ini bertujuan untuk menetapkan tinggi gelombang yang mengalami refraksi, difraksi dan transformasi lainnya, sehingga perkiraan transformasi dan deformasi gelombang dapat dilakukan lebih mudah. Tinggi gelombang di laut dalam ekuivalen diberikan oleh bentuk :

$$H'_o = K' K_r H_o \quad (2.29)$$

H'_o : tinggi gelombang laut dalam ekuivalen

H_o : tinggi gelombang laut dalam

K' : koefisien difraksi

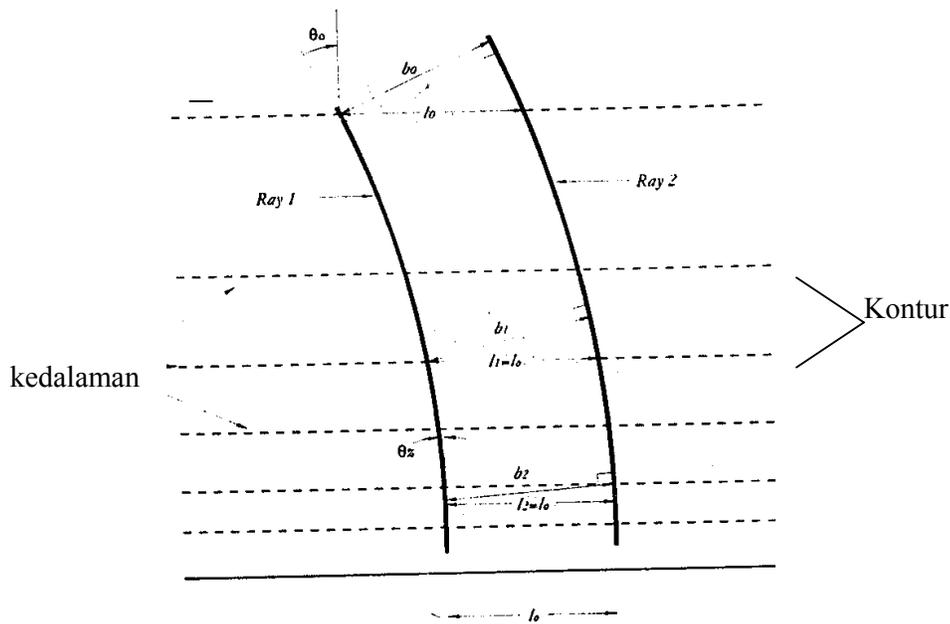
K_r : koefisien refraksi = $\sqrt{\frac{b_o}{b}}$

B : jarak antar garis orthogonal

Refraksi adalah peristiwa berubahnya arah perambatan dan tinggi gelombang akibat perubahan kedalaman dasar laut. Gambar 2.14 merupakan gambaran sederhana terjadinya refraksi. Gelombang akan merambat lebih cepat

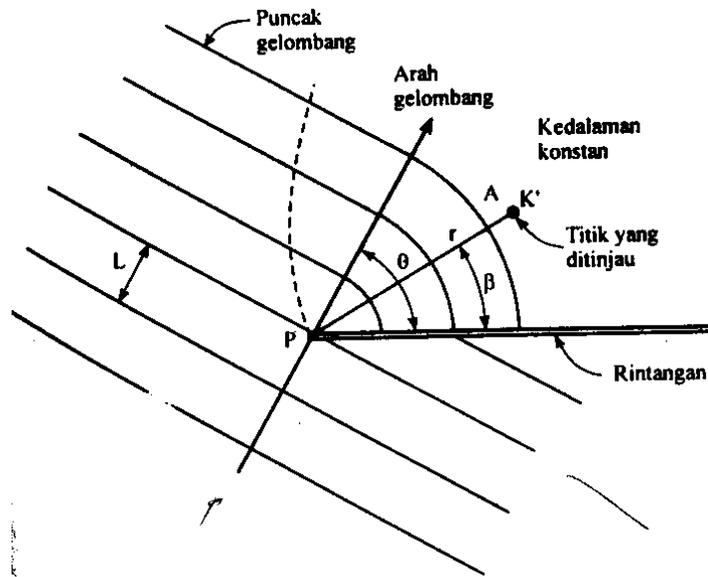
pada perairan yang dalam dari perairan yang dangkal. Hal ini menyebabkan puncak gelombang membelok dan menyesuaikan diri dengan kontur dasar laut.

Garis orthogonal



Gambar 2.14 Perambatan Arah Gelombang Akibat Refraksi

Apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung di belakangnya, seperti terlihat pada gambar 2.15. Fenomena ini dikenal dengan difraksi gelombang. Garis puncak gelombang di belakang rintangan membelok dan mempunyai bentuk busur lingkaran dengan pusatnya pada ujung rintangan. Dianggap bahwa kedalaman air adalah konstan. Apabila tidak maka selain difraksi juga terjadi refraksi gelombang. Biasanya tinggi gelombang berkurang di sepanjang puncak gelombang menuju daerah terlindung.



Gambar 2.15 Difraksi gelombang dibelakang rintangan

Pada rintangan (pemecah gelombang) tunggal, tinggi gelombang disuatu tempat di daerah terlindung tergantung pada jarak titik tersebut terhadap ujung rintangan r , sudut antara rintangan dan garis garis yang menghubungkan titik tersebut dengan ujung rintangan β , dan sudut antara arah penjalaran gelombang dan rintangan θ . Perbandingan antara tinggi gelombang di titik yang terletak di daerah terlindung dan tinggi gelombang datang disebut koefisien difraksi K' .

$$H_A = K' H_p \quad (2.30)$$

$$K' = f(\theta, \beta, r/L) \quad (2.31)$$

Dengan A adalah titik yang ditinjau di belakang rintangan dan P adalah ujung pemecah gelombang. Nilai K' untuk α, β dan r/L tertentu diberikan dalam tabel 2.1 dan tabel 2.2

Tabel 2.1

Tabel Koefisien difraksi gelombang, K^* , dari gelombang datang

r/L	β (derajat)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
$\theta = 15^\circ$													
1/2	0.49	0.79	0.83	0.90	0.97	1.01	1.03	1.02	1.01	0.99	0.99	1.00	1.00
1	0.38	0.73	0.83	0.95	1.04	1.04	0.99	0.98	1.01	1.01	1.00	1.00	1.00
2	0.21	0.68	0.86	1.05	1.03	0.97	1.02	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5	0.13	0.63	0.99	1.04	1.03	1.02	0.99	0.99	1.00	1.01	1.00	1.00	1.00
10	0.35	0.58	1.10	1.05	0.98	0.99	1.01	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$\theta = 30^\circ$													
1/2	0.61	0.63	0.68	0.76	0.87	0.97	1.03	1.05	1.03	1.01	0.99	0.95	1.00
1	0.50	0.53	0.63	0.78	0.95	1.06	1.05	0.98	0.98	1.01	1.01	0.97	1.00
2	0.40	0.44	0.59	0.84	1.07	1.03	0.96	1.02	0.98	1.01	0.99	0.95	1.00
5	0.27	0.32	0.55	1.00	1.04	1.04	1.02	0.99	0.99	1.00	1.01	0.97	1.00
10	0.20	0.24	0.54	1.12	1.06	0.97	0.99	1.01	1.00	1.00	1.00	0.98	1.00
$\theta = 45^\circ$													
1/2	0.49	0.50	0.55	0.63	0.73	0.85	0.96	1.04	1.06	1.04	1.00	0.99	1.00
1	0.38	0.40	0.47	0.59	0.76	0.95	1.07	1.06	0.98	0.97	1.01	1.01	1.00
2	0.29	0.31	0.39	0.56	0.83	1.08	1.04	0.96	1.03	0.98	1.01	1.00	1.00
5	0.18	0.20	0.29	0.54	1.01	1.04	1.05	1.03	1.00	0.99	1.01	1.00	1.00
10	0.13	0.15	0.22	0.53	1.13	1.07	0.96	0.98	1.02	0.99	1.00	1.00	1.00
$\theta = 60^\circ$													
1/2	0.40	0.41	0.45	0.52	0.60	0.72	0.85	1.13	1.04	1.06	1.03	1.01	1.00
1	0.31	0.32	0.36	0.44	0.57	0.75	0.96	1.08	1.06	0.98	0.98	1.01	1.00
2	0.22	0.23	0.28	0.37	0.55	0.83	1.08	1.04	0.96	1.03	0.98	1.01	1.00
5	0.14	0.15	0.18	0.28	0.53	1.01	1.04	1.05	1.03	0.99	0.99	1.00	1.00
10	0.10	0.11	0.13	0.21	0.52	1.14	1.07	0.96	0.98	1.01	1.00	1.00	1.00
$\theta = 75^\circ$													
1/2	0.34	0.35	0.38	0.42	0.50	0.59	0.71	0.85	0.97	1.04	1.05	1.02	1.00
1	0.25	0.26	0.29	0.34	0.43	0.56	0.75	0.95	1.02	1.06	0.98	0.98	1.00
2	0.18	0.19	0.22	0.26	0.36	0.54	0.83	1.09	1.04	0.96	1.03	0.99	1.00
5	0.12	0.12	0.13	0.17	0.27	0.52	1.01	1.04	1.05	1.03	0.99	0.99	1.00
10	0.08	0.08	0.10	0.13	0.20	0.52	1.14	1.07	0.96	0.98	1.01	1.00	1.00
$\theta = 90^\circ$													
1/2	0.31	0.31	0.33	0.36	0.41	0.49	0.59	0.71	0.85	0.96	1.03	1.03	1.00
1	0.22	0.22	0.24	0.28	0.33	0.42	0.56	0.75	0.96	1.07	1.05	0.99	1.00
2	0.16	0.16	0.18	0.20	0.26	0.35	0.54	0.69	1.08	1.04	0.96	1.02	1.00
5	0.10	0.10	0.11	0.13	0.16	0.27	0.53	1.01	1.04	1.05	1.02	0.99	1.00
10	0.07	0.07	0.08	0.09	0.13	0.20	0.52	1.14	1.07	0.96	0.99	1.01	1.00

Sumber : Bambang Triatmadja, *Pelabuhan*, 1996

Tabel 2.2

dengan sudut θ , sebagai fungsi r/L dan β (Wiegel, dalam Sorensen, 1978)

		β (derajat)													
		0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	
		$\theta = 105^\circ$													
1		0.28	0.28	0.29	0.32	0.35	0.41	0.49	0.59	0.72	0.85	0.97	1.01	1.00	
	1	0.20	0.20	0.24	0.23	0.27	0.33	0.42	0.56	0.75	0.95	1.06	1.04	1.00	
		0.14	0.14	0.13	0.17	0.20	0.25	0.35	0.54	0.83	1.08	1.03	0.97	1.00	
		0.09	0.09	0.10	0.11	0.13	0.17	0.27	0.52	1.02	1.04	1.04	1.02	1.00	
	1	0.07	0.06	0.08	0.08	0.09	0.12	0.20	0.52	1.14	1.07	0.97	0.99	1.00	
		$\theta = 120^\circ$													
1		0.25	0.26	0.27	0.28	0.31	0.35	0.41	0.50	0.60	0.73	0.87	0.97	1.00	
	1	0.18	0.19	0.19	0.21	0.23	0.27	0.33	0.43	0.57	0.76	0.95	1.04	1.00	
		0.13	0.13	0.14	0.14	0.17	0.20	0.26	0.16	0.55	0.83	1.07	1.03	1.00	
		0.08	0.08	0.08	0.09	0.11	0.13	0.16	0.27	0.53	1.01	1.04	1.03	1.00	
	1	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.09	0.13	0.20	0.52	1.13	1.06	0.98	1.00	
		$\theta = 135^\circ$													
1		0.24	0.24	0.25	0.25	0.26	0.28	0.32	0.36	0.42	0.52	0.63	0.76	1.00	
	1	0.18	0.17	0.18	0.18	0.19	0.21	0.23	0.28	0.34	0.44	0.59	0.78	1.00	
		0.12	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14	0.17	0.20	0.26	0.37	0.56	0.84	1.00	
		0.08	0.07	0.08	0.08	0.08	0.09	0.11	0.13	0.17	0.28	0.54	1.00	1.00	
	1	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.09	0.13	0.21	0.53	1.12	1.00	
		$\theta = 150^\circ$													
1		0.23	0.23	0.24	0.25	0.27	0.29	0.33	0.38	0.45	0.55	0.68	0.83	1.00	
	1	0.16	0.17	0.17	0.18	0.19	0.22	0.24	0.29	0.36	0.47	0.63	0.83	1.00	
		0.12	0.12	0.12	0.13	0.14	0.15	0.18	0.22	0.28	0.39	0.59	0.86	1.00	
		0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.10	0.11	0.13	0.18	0.29	0.55	0.99	1.00	
	1	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07	0.08	0.10	0.13	0.22	0.54	1.10	1.00	
		$\theta = 165^\circ$													
1		0.23	0.23	0.23	0.24	0.26	0.28	0.31	0.35	0.41	0.50	0.63	0.79	1.00	
	1	0.16	0.16	0.17	0.17	0.19	0.20	0.23	0.26	0.32	0.40	0.53	0.73	1.00	
		0.11	0.11	0.12	0.12	0.13	0.14	0.16	0.19	0.23	0.31	0.44	0.68	1.00	
		0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.09	0.10	0.12	0.15	0.20	0.32	0.63	1.00	
	1	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.07	0.08	0.11	0.11	0.21	0.58	1.00	
		$\theta = 180^\circ$													
1		0.20	0.25	0.23	0.24	0.25	0.28	0.31	0.34	0.40	0.49	0.61	0.78	1.00	
	1	0.10	0.17	0.16	0.18	0.18	0.23	0.22	0.25	0.31	0.38	0.50	0.70	1.00	
		0.02	0.09	0.12	0.12	0.13	0.18	0.16	0.18	0.22	0.29	0.40	0.60	1.00	
		0.02	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.18	0.27	0.46	1.00	
	1	0.01	0.05	0.05	0.04	0.06	0.07	0.07	0.08	0.10	0.13	0.20	0.36	1.00	

Sumber : Bambang Triatmadja, *Pelabuhan*, 1996

Angin

Angin yang berhembus di atas permukaan air akan memindahkan energinya ke air. Kecepatan angin menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga permukaan air yang semula tenang akan terganggu dan timbul riak gelombang kecil di atas permukaan air. Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut menjadi semakin besar, dan apabila angin berhembus terus akhirnya akan

terbentuk gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, semakin besar gelombang yang terbentuk.

Tinggi dan perioda gelombang yang dibangkitkan dipengaruhi oleh kecepatan angin U , lama hembus angin D , arah angin dan fetch F .

A. Distribusi kecepatan angin

Distribusi kecepatan angin di atas permukaan laut terbagi dalam tiga daerah sesuai dengan elevasi di atas permukaan. Di daerah *geostropik* yang berada di atas 1000 m kecepatan angin adalah konstan. Di bawah elevasi tersebut terdapat dua daerah yaitu daerah Ekman yang berada pada elevasi 100 sampai 1000 m dan daerah di mana tegangan konstan yang berada pada elevasi 10 sampai 100 m. Di kedua daerah tersebut kecepatan dan arah angin berubah sesuai dengan elevasi, karena adanya gesekan dengan permukaan laut dan perbedaan temperatur antara air dan udara.

Untuk memprediksi gelombang didasarkan pada kecepatan angin yang diukur pada elevasi $y = 10$ m. Apabila angin tidak diukur pada elevasi 10 m, maka kecepatan angin harus dikonversikan pada elevasi tersebut. Untuk y lebih kecil dari 20 dapat menggunakan persamaan berikut :

$$U(10) = U(y) (10/y)^{1/7} \dots\dots\dots(2.32)$$

U : kecepatan angin

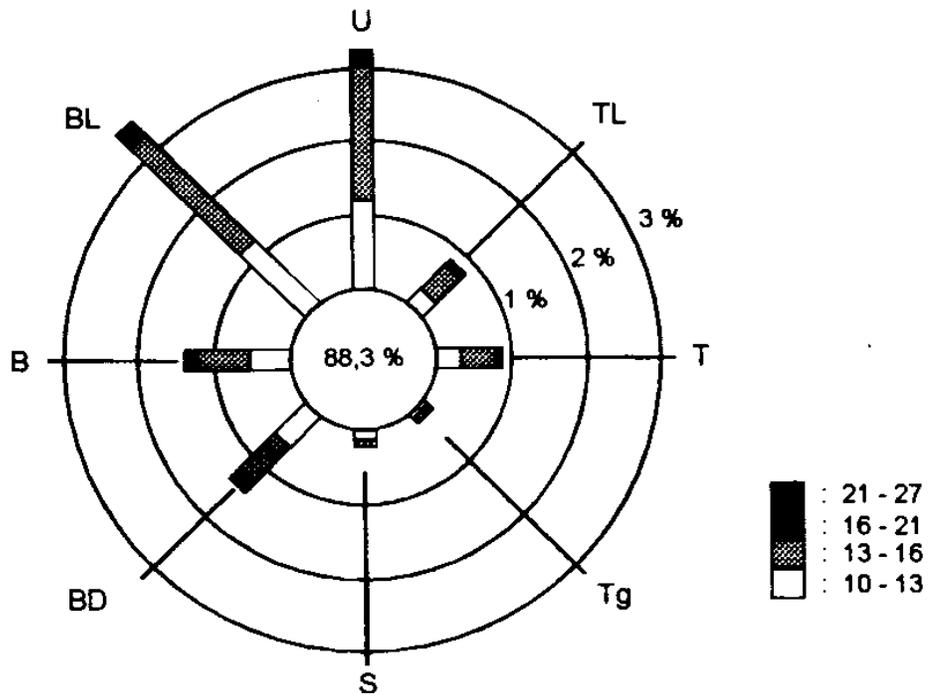
y : elevasi terhadap permukaan air

B. Data Angin

Data angin yang digunakan untuk peramalan gelombang adalah data di permukaan laut pada lokasi pembangkitan. Data tersebut dapat diperoleh dari pengukuran langsung di atas permukaan laut (menggunakan kapal yang sedang berlayar) atau pengukuran di darat (di lapangan terbang) di dekat lokasi peramalan yang kemudian dikonversi menjadi data angin laut. Kecepatan angin diukur dengan anemometer, dan biasanya dinyatakan dalam knot. Satu knot adalah panjang satu menit garis bujur melalui khatulistiwa yang ditempuh dalam satu

Tabel 2.4 Data Presentasi Kejadian Angin

Kecepatan (knot)	Arah Angin							
	U	TL	T	Tg	S	BD	B	BL
0-10	88,3 %							
10-13	1,23	0,27	0,32	0,06	0,08	0,6	0,56	1,35
13-16	1,84	0,40	0,48	0,08	0,13	0,7	0,70	2,03
16-21	0,17	0,07	0,08	0,01	0,01	0,12	0,12	0,20
21-27	0,01	-	-	-	-	0,03	0,03	-



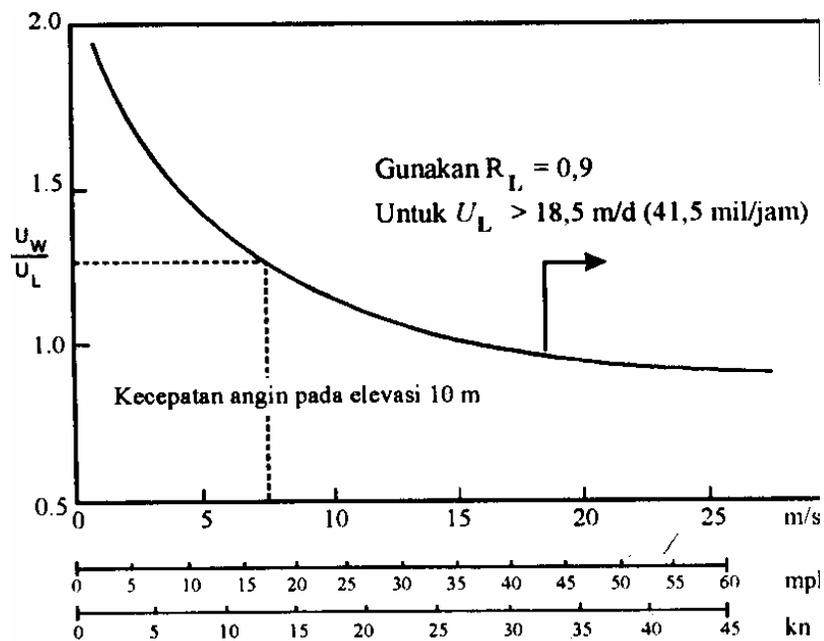
Gambar 2.16 Mawar angin

Sumber : Bambang Triatmadja, Pelabuhan, 1996

Tabel dan gambar tersebut menunjukkan presentasi kejadian angin dengan kecepatan tertentu dari berbagai arah dalam periode waktu pencatatan. Dalam gambar tersebut garis-garis radial adalah arah angin dan tiap lingkaran menunjukkan presentasi kejadian angin dalam periode waktu pengukuran.

C. Konversi Kecepatan Angin

Sudah dijelaskan di depan bahwa data angin dapat diperoleh dari pencatatan di permukaan laut atau pengukuran di darat. Pada laporan ini data angin yang di gunakan merupakan hasil pengukuran di darat yang diperoleh dari Stasiun Meteorologi Klas II Maritim Semarang. Oleh karena itu diperlukan transformasi dari data angin di lokasi stasiun angin ke data angin di atas permukaan laut. Hubungan antara angin di atas laut dan angin di atas daratan terdekat diberikan oleh $R_L = U_w/U_L$ seperti dalam gambar 2.17, gambar tersebut merupakan hasil penelitian yang dilakukan di Great Lake, Amerika Serikat.



Gambar 2.17 Hubungan Antara Kecepatan Angin di Laut dan di Darat

Rumus-rumus dan grafik pembangkitan gelombang mengandung variabel U_A yaitu faktor tegangan angin (*wind-stress factor*) yang dapat dihitung dari kecepatan angin. Kecepatan angin dikonversikan pada faktor tegangan angin dengan menggunakan rumus berikut:

$$U_A = 0,71 (U)^{1,23} \dots\dots\dots(2.33)$$

Dimana :

U_L : kecepatan angin di atas daratan yang terdekat dengan lokasi studi

U : kecepatan angin

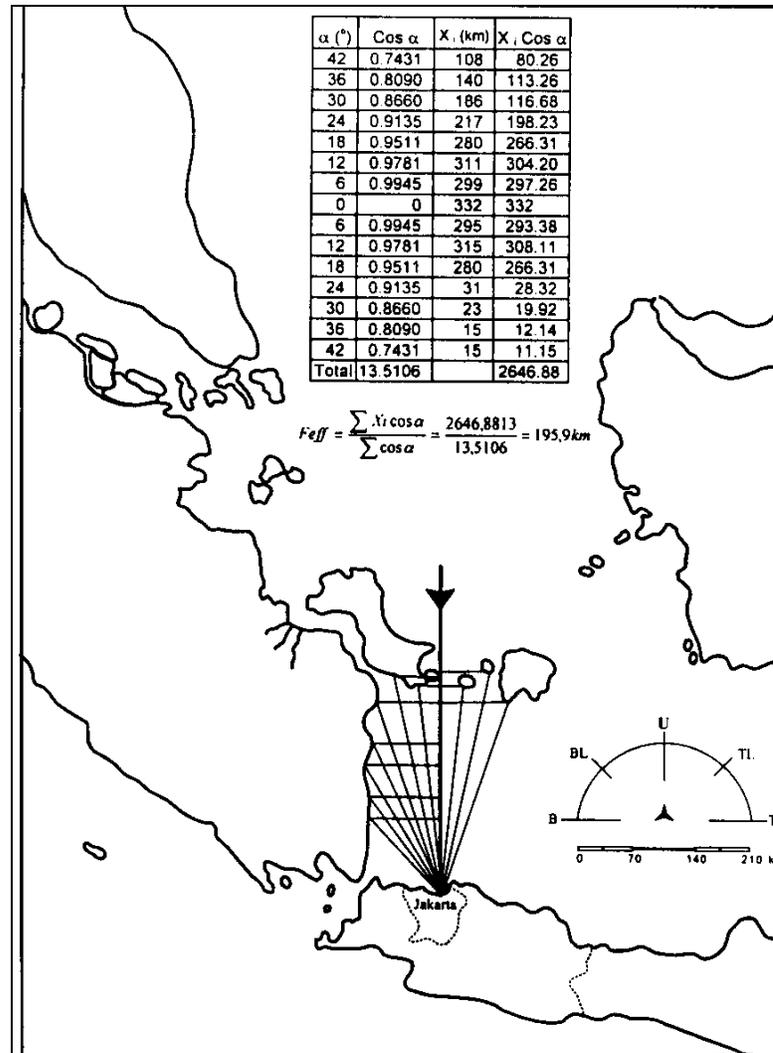
D. Fetch

Di dalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Gambar 2.18 menunjukkan cara untuk mendapatkan *fetch* efektif . *Fetch* rerata efektif diberikan oleh persamaan berikut :

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots\dots\dots (2.34)$$

Dengan :

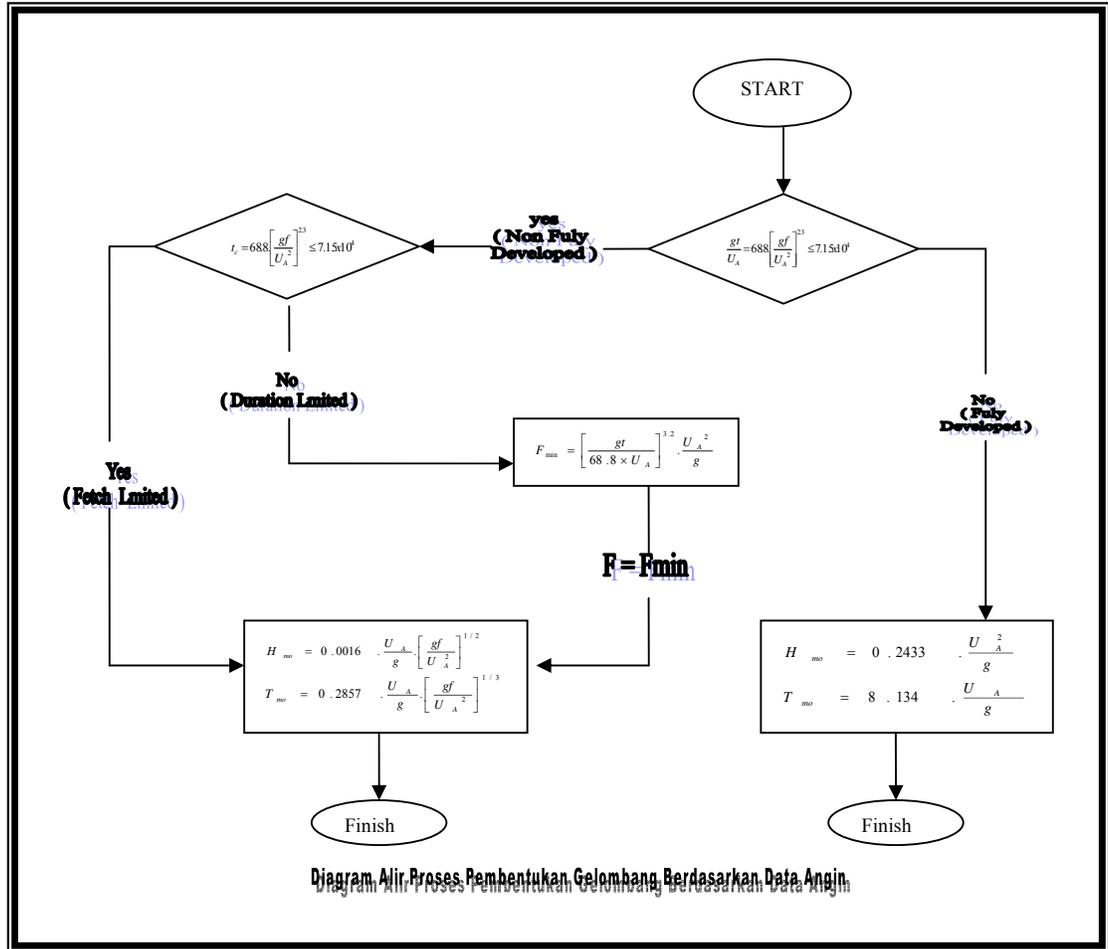
- F_{eff} : fetch rerata efektif
- X_i : panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang keujung akhir fetch
- α : deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan penambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin.



Gambar 2.18 Fetch

D. Peramalan Gelombang

Peramalan gelombang berdasarkan data angin sebagai pembangkit utama gelombang dan daerah pembentukan gelombang (*fetch*). Dari data angin dan *fetch* gelombang akan didapatkan jenis, tinggi dan perioda gelombang yang ada di daerah pantai. Dengan menggunakan rumus – rumus seperti berikut :



Gambar 2.19 Flow Chart dan Rumus Peramalan Gelombang (SPM,vol 1)

Dimana :

H_{mo} : Wave Height (tinggi gelombang signifikan) adalah tinggi rerata dari 33% nilai tertinggi gelombang yang terjadi.

T_{mo} : Wave Period (Periode puncak Gelombang)

F : Efektif fetch length (fetch efektif)

U_a : Wind Stres Factor (Modified Wind Speed) faktor tegangan angin

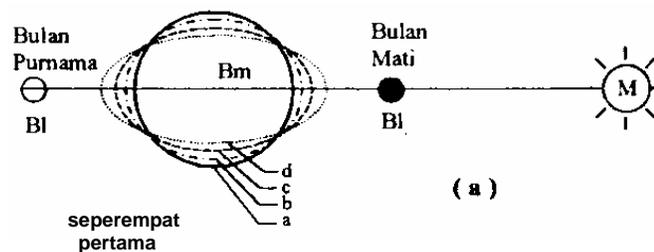
g : grafitasi

t : waktu

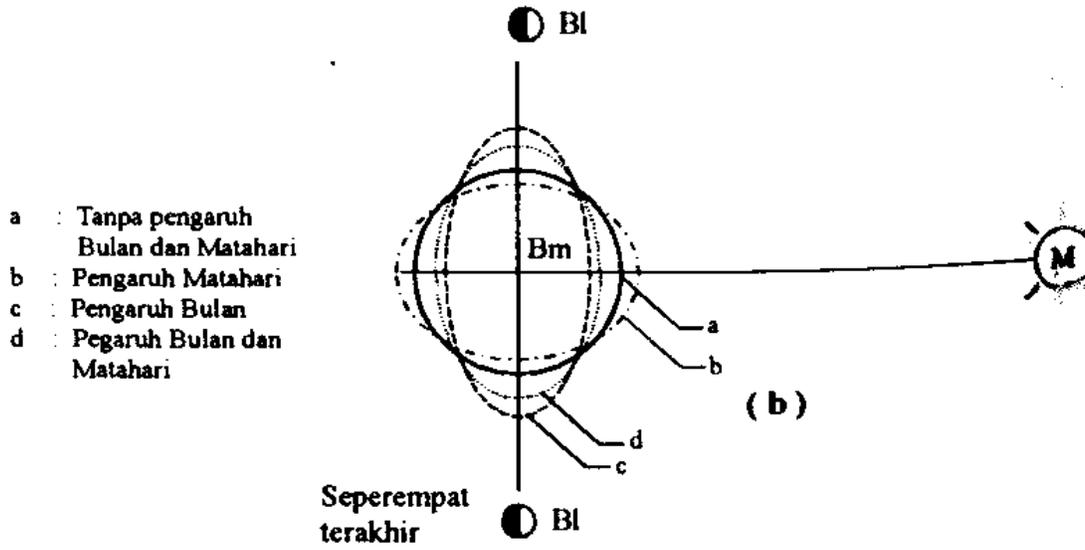
Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut. Tinggi pasang surut adalah jarak vertikal antara air tertinggi dan air terendah yang berurutan. Periode pasang surut adalah waktu yang diperlukan dari posisi muka air pada muka air rerata ke posisi yang sama berikutnya. Variasi muka air laut menimbulkan arus yang disebut dengan arus pasang surut, yang mengangkut massa air dalam jumlah sangat besar.

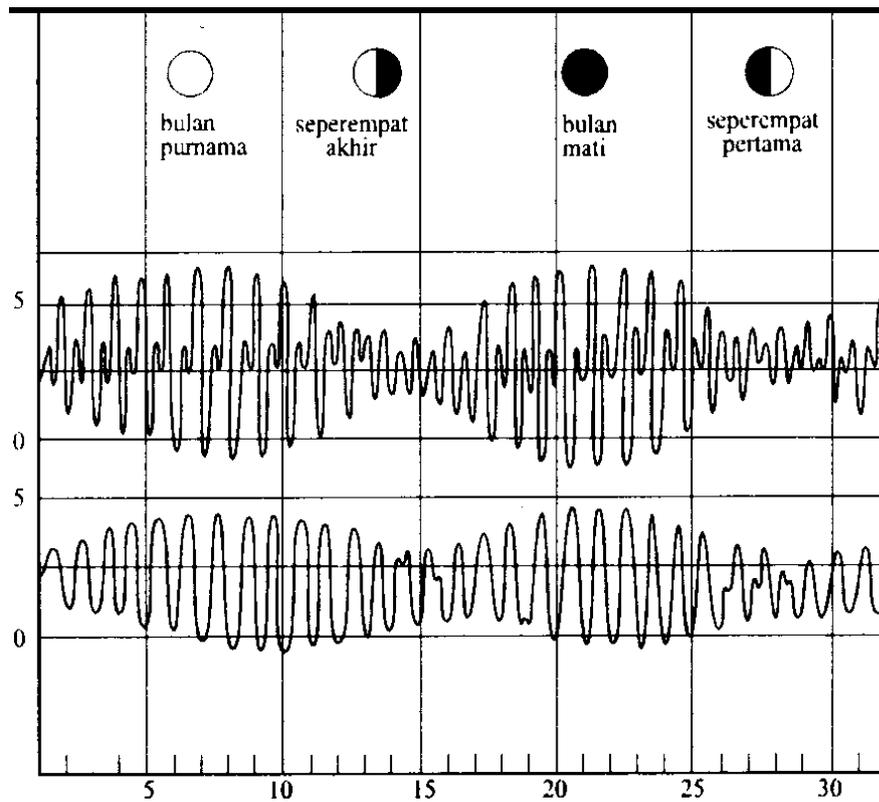
Di dalam perencanaan bangunan pelindung pantai diperlukan data pengamatan pasang surut minimal selama 15 hari. Karena pada setiap tanggal 1 dan 15 (bulan muda dan bulan purnama) posisi bumi-bulan-matahari kira-kira berada pada garis lurus (gambar 2.20.a), sehingga gaya tarik bulan dan matahari terhadap bumi saling memperkuat. Pada keadaan ini terjadi pasang surut purnama (pasang besar, *spring tide*). Sedangkan pada tanggal 7 (seperempat revolusi bulan terhadap bumi) dimana bulan dan matahari membentuk sudut siku-siku terhadap bumi (gambar 2.20.b) maka gaya tarik menarik bumi saling mengurangi, pada keadaan ini terjadi pasang surut perbani (pasang kecil, *neap tide*). Pengamatan ini dilakukan dengan menggunakan alat *automatic water level recorder*. Gambar 2.21 menunjukkan variasi pasang surut selama satu bulan yang menunjukkan pasang surut purnama dan perbani.



Gambar 2.20.a Posisi Bumi-Bulan-Matahari



Gambar 2.20.b Posisi Bumi-Bulan-Matahari



Gambar 2.21 Variasi Pasang Surut Selama Satu Bulan

Beberapa definisi muka air laut berdasarkan data pasang surut yaitu :

1. Muka air tinggi (*High Water Level, HWL*), adalah muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut .
2. Muka air rendah (*Low Water Level, LWL*), adalah kedudukan air terendah yang dicapai pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut.
3. Muka air tinggi rerata (*Mean High Water Level, MHWL*), adalah rerata dari muka air tinggi selama periode 19 tahun (Bambang Triatmojo, "Teknik Pantai").
4. Muka air rendah rerata (*Mean Low Water Level, MLWL*), adalah rerata dari muka air rendah selama periode 19 tahun. (Bambang Triatmojo, "Teknik Pantai").
5. Muka air laut rerata (*Mean Sea Level, MSL*), adalah muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata.
6. Muka air tinggi tertinggi (*Highest High Water Level, HHWL*), adalah air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
7. Muka air rendah terendah (*Lowest Low Water Level, LLWL*), adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.

Beberapa definisi muka air diatas, banyak digunakan dalam perencanaan bangunan pantai dan pelabuhan, misalnya MHWL atau HHWL digunakan untuk menentukan elevasi puncak pemecah gelombang, dermaga dan sebagainya.

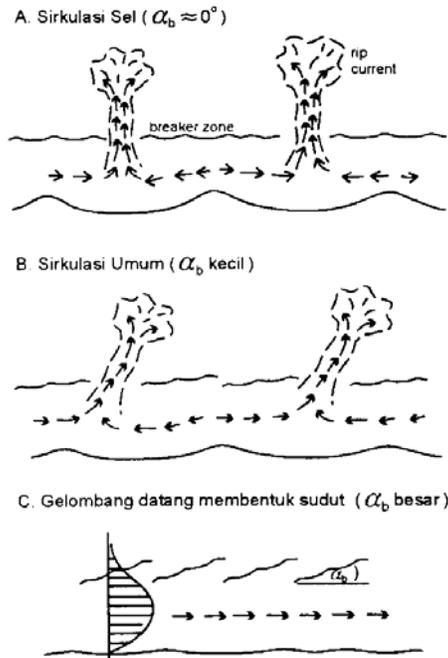
Arus

Gelombang yang menjalar menuju pantai membawa massa air dan momentum dalam arah penjalaran gelombang. Transpor massa dan momentum tersebut menimbulkan arus di dekat pantai. Di beberapa daerah yang dilintasinya, perilaku gelombang dan arus yang ditimbulkannya berbeda. Daerah yang dilintasi gelombang tersebut adalah *offshore zone*, *surf zone*, dan *swash zone*. Di daerah lepas pantai (*offshore zone*) yaitu daerah yang terbentang dari lokasi gelombang pecah ke arah laut, gelombang menimbulkan gerak orbit partikel air. Orbit lintasan partikel tidak tertutup sehingga menimbulkan transpor massa air.

Transpor massa tersebut dapat disertai dengan terangkutnya sedimen dasar dalam arah menuju pantai (*on-shore*) dan meninggalkan pantai (*off-shore*). Di *surf zone*, yaitu daerah antara gelombang pecah dan garis pantai, ditandai dengan gelombang pecah dan penjalaran gelombang setelah pecah ke arah pantai. Gelombang menimbulkan arus dan turbulensi yang sangat besar yang dapat menggerakkan sedimen dasar. Setelah pecah, gelombang melintasi *surf zone* menuju pantai. Di *swash zone*, gelombang yang sampai di garis pantai menyebabkan massa air bergerak ke atas dan kemudian turun kembali pada permukaan pantai. Gerak massa air tersebut disertai dengan terangkutnya sedimen.

Di antara ketiga daerah tersebut, karakteristik gelombang di *surf zone* dan *swash zone* adalah yang paling penting di dalam analisis proses pantai. Arus yang terjadi di daerah tersebut sangat tergantung pada arah datangnya gelombang.

Apabila garis puncak gelombang sejajar dengan garis pantai, maka akan terjadi arus dominan di pantai berupa sirkulasi sel dengan *rip current* yang menuju ke laut (gambar 2.22.a). Kejadian ekstrim lainnya terjadi apabila gelombang pecah dengan membentuk sudut terhadap garis pantai ($\alpha_b > 5^\circ$), yang akan menimbulkan arus sejajar pantai di sepanjang pantai (gambar 2.22.c). sedang yang terjadi adalah kombinasi dari kedua kondisi tersebut (gambar 2.22.b).



Gambar 2.22 Arus di Dekat Pantai

Sirkulasi sel dengan *rip current* terjadi karena adanya variasi sepanjang pantai dari tinggi gelombang pecah. Gelombang yang pecah pada pantai yang miring akan menyebabkan terjadinya kenaikan gelombang (*wave setup*) di pantai, yang menaikkan elevasi muka air di atas elevasi muka air diam. Kenaikan gelombang di sepanjang pantai adalah tidak sama, karena tinggi gelombang pecah di sepanjang pantai berbeda. Hal ini dapat menyebabkan kemiringan muka air di sepanjang pantai, yang dapat menimbulkan aliran air sepanjang pantai menuju ke tempat dengan muka air yang lebih rendah (gelombang pecah kecil). Tempat ini merupakan pertemuan arus sepanjang pantai yang berasal dari sebelah kiri dan kanannya. Sesuai dengan hukum kontinuitas, maka massa air yang menuju ke tempat tersebut dibelokkan kembali ke arah laut yang membentuk arus dikenal dengan *rip current*. *Rip current* terjadi pada tempat dimana tinggi gelombang adalah kecil.

Pada suatu pantai yang panjang dapat terjadi beberapa sirkulasi sel, yang tergantung pada kondisi topografi di daerah tersebut begitu juga pada kondisi pasang surut. Komponen-komponen dari sirkulasi sel adalah transpor massa air ke arah darat yang terjadi pada waktu gelombang pecah, arus sejajar pantai dan *rip current*. *Rip current* ini mempunyai kecepatan yang sangat besar sehingga dapat menyebabkan terbawanya sedimen pantai.

Kecepatan arus yang diperoleh pada laporan ini merupakan hasil survei yang dilakukan oleh Pusat Penelitian Lingkungan Hidup – Lembaga Penelitian (PPLH – LEMLIT) UNDIP. Kecepatan arus ini merupakan hasil pengukuran arus dengan kedalaman tertentu (0.2d, 0.6d, 0.8d) dalam suatu penampang dan pada lokasi dimana arus mempunyai pengaruh penting. Pengukuran arus dilakukan pada dua saat, yaitu pada saat pasang tertinggi (*spring tide*) dan surut terendah (*neap tide*). Lama pengukuran masing-masing selama 24 jam dengan interval waktu tertentu yaitu pada saat pasang/surut ke pasang/surut berikutnya atau disebut satu siklus pasang surut. Kecepatan arus rata-rata pada suatu penampang yang besar adalah :

$$V = 0.25 (V_{0.2d} + 2 \times V_{0.6d} + V_{0.8d}) \dots \dots \dots (2.35)$$

dengan

$V_{0.2d}$: arus pada kedalaman 0.2d

D : kedalaman lokasi pengamatan arus

Arus sepanjang pantai (*longshore current*) dapat juga ditimbulkan oleh gelombang yang pecah dengan membentuk sudut terhadap garis pantai. Arus ini terjadi di daerah antara gelombang pecah dan garis pantai. Parameter terpenting di dalam menentukan kecepatan arus sepanjang pantai adalah tinggi dan sudut datang gelombang pecah.

Arus sepanjang pantai yang ditimbulkan oleh gelombang pecah dengan membentuk sudut terhadap garis pantai, seperti terlihat dalam gambar 2.22.c. Dibangkitkan oleh momentum yang dibawa oleh gelombang. Longuet-Higgins menurunkan rumus untuk menghitung arus sepanjang pantai berikut ini :

$$V = 1.17 (g H_b)^{1/2} \sin \alpha_b \cos \alpha_b \dots\dots\dots(2.36)$$

Dengan :

- V : kecepatan arus sepanjang pantai
 g : percepatan gravitasi
 H_b : tinggi gelombang pecah
 α_b : sudut datang gelombang pecah

Distribusi kecepatan arus sepanjang pantai mempunyai bentuk seperti ditunjukkan dalam gambar 2.22.c. Di garis pantai kecepatan adalah nol, kemudian bertambah dengan jarak garis pantai, mencapai maksimum di sekitar titik tengah *surf zone* dan berkurang dengan cepat di luar daerah gelombang pecah.

Arus sejajar pantai yang diberikan oleh rumus (2.36) dapat mengangkut sedimen yang telah digerakkan (dierosi) oleh gelombang dan terus terbawa sepanjang pantai. Sedimen yang terangkut tersebut dikenal dengan transpor sedimen sepanjang pantai.

2.4.5 Bathimetri Pantai

Peta bathimetri diperlukan untuk mengetahui keadaan kedalaman laut disekitar lokasi pekerjaan. Peta ini digunakan untuk mengetahui kondisi gelombang di lokasi pekerjaan. Peta Bathimetri pada laporan ini diperoleh dari survei yang dilakukan oleh PPLH – LEMLIT UNDIP.

2.5 Macam Bangunan Pelindung Reklamasi

Perlindungan pantai dapat ditimbulkan secara alami oleh pantai maupun dengan bantuan manusia. Perlindungan pantai secara alami dapat berupa *dunes* maupun karang laut ataupun lamun yang tumbuh secara alami. Perlindungan pantai dengan bantuan manusia dapat berupa struktur bangunan pengaman pantai, penambahan timbunan pasir, dan mangrove yang tumbuh secara alami pada daerah pantai.

Bangunan Pantai digunakan untuk melindungi lahan reklamasi terhadap kerusakan karena serangan gelombang dan arus yang dapat menyebabkan erosi.

Ada beberapa macam cara yang dapat dilakukan untuk melindungi lahan reklamasi, yaitu :

1. Memperkuat atau melindungi lahan reklamasi agar mampu menahan serangan gelombang
2. Mengubah laju *transport sediment* sepanjang lahan reklamasi pantai
3. Mengurangi energi gelombang yang sampai ke lahan reklamasi.
4. Menambah *suplay sediment*.

Sesuai dengan fungsinya tersebut diatas, bangunan pengaman pantai dapat diklasifikasikan ke dalam 3 kelompok yaitu :

1. Konstruksi yang dibangun di pantai dan sejajar dengan garis pantai. Misal *seawall* dan *revetment*
2. Konstruksi yang dibangun kira-kira tegak lurus pantai dan sambung ke pantai. Misal: *groin*, *jetty* dan *breakwater*.
3. Konstruksi yang dibangun di lepas dan kira-kira sejajar dengan garis pantai. Misal :*breakwater*.

Bangunan yang termasuk dalam kelompok pertama adalah dinding pantai atau *revetmen* yang dibangun pada garis pantai atau di daratan yang digunakan untuk melindungi pantai langsung dari serangan gelombang (gambar 2.23.a).

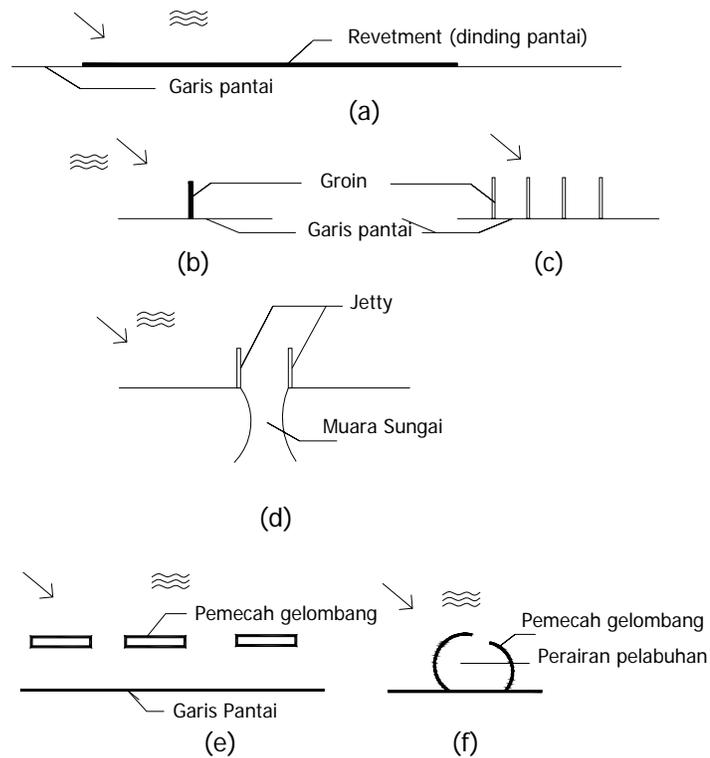
Kelompok kedua meliputi *groin* dan *jetty*. *Groin* adalah bangunan yang menjorok dari pantai ke arah laut, yang digunakan untuk menangkap/menahan gerak sedimen sepanjang pantai, sehingga transpor sedimen sepanjang pantai berkurang/berhenti (gambar 2.23.b). Biasanya *groin* dibuat secara seri, yaitu beberapa *groin* dibuat dengan jarak tertentu di sepanjang pantai yang dilindungi (gambar 2.23.c). *Jetty* adalah bangunan tegak lurus garis pantai yang ditetapkan di kedua sisi muara sungai (gambar 2.23.d). Bangunan ini digunakan untuk menahan sedimen/pasir yang bergerak sepanjang pantai masuk dan mengendap di muara sungai.

Kelompok ketiga adalah pemecah gelombang (*breakwater*), yang dibedakan menjadi dua macam yaitu pemecah gelombang lepas pantai (gambar

2.23.e) dan pemecah gelombang sambung pantai (gambar 2.23.f). Bangunan tipe pertama banyak digunakan sebagai pelindung pantai terhadap erosi, yang menghancurkan energi gelombang sebelum mencapai pantai. Perairan di belakang bangunan menjadi tenang, sehingga terjadi endapan di daerah tersebut. Endapan ini dapat menghalangi *transpor sediment* sepanjang pantai. Bangunan ini dapat dibuat dalam satu rangkaian pemecah gelombang yang dipisahkan oleh celah dengan panjang tertentu.

Bangunan tipe kedua biasanya digunakan untuk melindungi daerah perairan pelabuhan dari gangguan gelombang, sehingga kapal-kapal dapat merapat ke dermaga untuk melakukan bongkar muat barang dan menaik-turunkan penumpang.

Menurut bentuknya bangunan pantai dapat dibedakan menjadi bangunan dari tumpukan batu yang bagian luarnya diberi lapis pelindung yang terbuat dari batu-batu ukuran besar, blok beton, atau batu buatan dari betok dengan bentuk khusus seperti *tetrapods*, *quadripods*, *tribars*, dolos dan sebagainya. Lapis pelindung ini harus mampu menahan serangan gelombang. Sedang yang termasuk tipe kedua adalah bangunan terbuat dari pasangan batu, kaisan beton, tumpukan buis beton, dinding turap baja atau beton dan sebagainya. Gambar 2.24 menunjukkan contoh kedua tipe bangunan pantai. Gambar 2.24.b adalah pemecah gelombang sisi miring, yang terdiri dari tumpukan batu. Gambar 2.24.a adalah pemecah gelombang sisi tegak dari kaisan beton. Kaisan adalah konstruksi berbentuk kotak dari beton betulang yang di dalamnya diisi pasir atau batu. Bangunan tersebut diletakkan di atas tumpukan batu yang berfungsi sebagai pondasi. Untuk menanggulangi gerusan pada pondasi, maka dibuat perlindungan kaki yang terbuat dari batu atau blok beton.



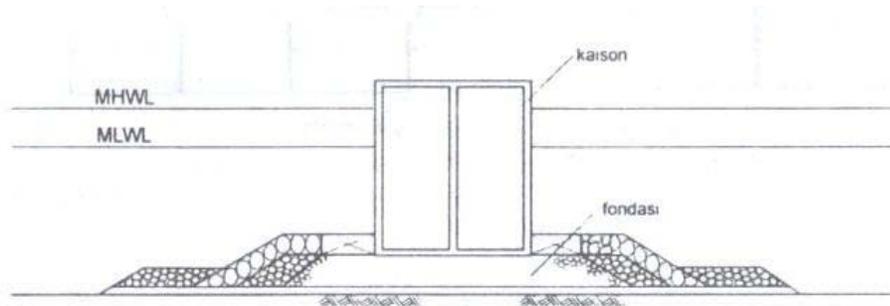
Gambar 2.23. Macam Bangunan Pelindung Pantai

Tipe bangunan pantai yang digunakan biasanya ditentukan oleh ketersediaan material di atau di dekat lokasi pekerjaan, kondisi dasar laut, kedalaman air, dan ketersediaan peralatan untuk pelaksanaan pekerjaan. Batu adalah salah satu bahan utama yang digunakan untuk membuat bangunan. Mengingat jumlah yang diperlukan sangat besar maka ketersediaan batu di sekitar lokasi pekerjaan harus diperhatikan.

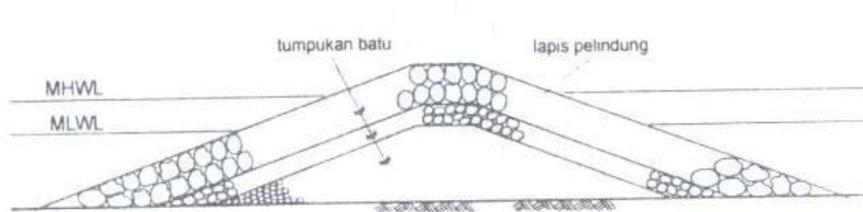
Faktor penting lainnya adalah karakteristik dasar laut yang mendukung bangunan tersebut di bawah pengaruh gelombang. Tanah dasar (pondasi bangunan) harus mempunyai daya dukung yang cukup sehingga stabilitas bangunan dapat terjamin. Pada pantai dengan tanah dasar lunak, dimana daya dukung tanah kecil, maka konstruksi harus dibuat ringan (memperkecil dimensi) atau memperlebar dasar sehingga bangunan berbentuk trapesium (sisi miring) yang terbuat dari tumpukan batu atau block beton. Bangunan berbentuk trapesium

mempunyai luas alas besar sehingga tekanan yang ditimbulkan oleh berat bangunan kecil. Apabila daya dukung tanah besar maka dapat digunakan pemecah gelombang sisi tegak. Bangunan ini dapat dibuat dari buis beton atau block beton yang ditumpuk atau berupa kaisan.

Pada perencanaan pantai Marina ini tanah dasarnya sangat lunak sehingga tidak mampu mendukung beban di atasnya. Untuk mengatasi masalah tersebut dengan cara memancang terucuk bambu yang akan berfungsi sebagai pondasi.



(a) Bangunan Pantai Sisi Tegak



(b) Bangunan Pantai Sisi Miring

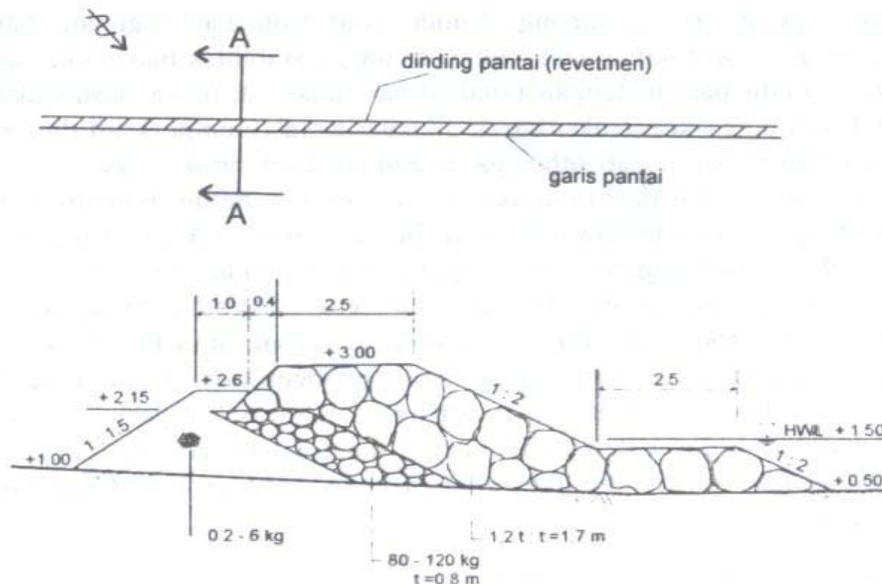
Gambar 2.24 Contoh Kedua Tipe Bangunan Pantai

2.5.1 Dinding Pantai (*Seawall*) dan *Revetment*

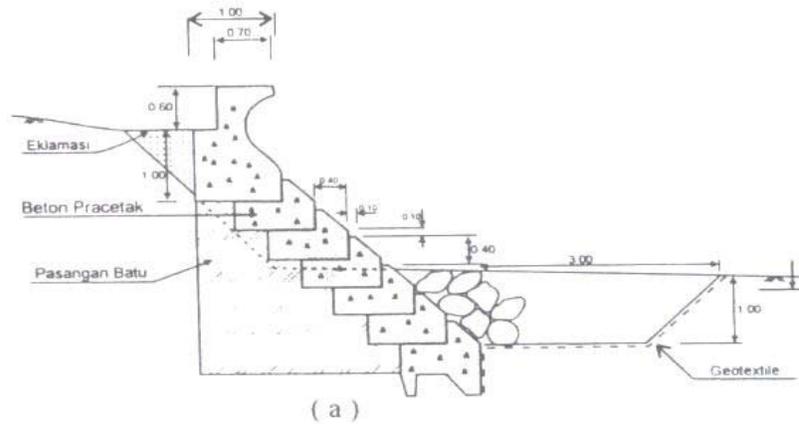
Dinding pantai (*seawall*) dan *revetment* adalah bangunan yang memisahkan daratan dan perairan pantai, yang terutama berfungsi sebagai pelindung pantai terhadap erosi dan limpasan gelombang (*overtopping*) ke darat. Daerah yang dilindungi adalah daratan tepat di belakang bangunan (daerah reklamasi). Dinding pantai biasanya berbentuk dinding vertikal sedang *revetment* mempunyai sisi miring.

Dalam perencanaan dinding pantai dan *revetment* perlu ditinjau fungsi dan bentuk bangunan, lokasi, panjang, tinggi, stabilitas bangunan dan tanah pondasi, elevasi muka air baik di depan maupun di belakang bangunan, ketersediaan bahan bangunan dan sebagainya. Fungsi bangunan akan menentukan pemilihan bentuk. Permukaan bangunan dapat berbentuk sisi tegak, miring, lengkung atau bertangga.

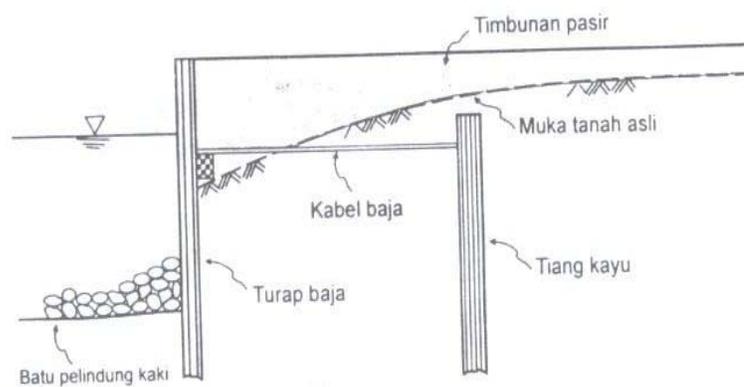
Bangunan sisi tegak kurang efektif terhadap serangan gelombang, terutama terhadap limpasan dibanding dengan bentuk lengkung (*konkaf*). Pemakaian sisi tegak dapat mengakibatkan erosi yang cukup besar apabila kaki atau dasar bangunan berada di air dangkal. Untuk mencegah erosi tersebut diperlukan perlindungan di dasar bangunan yang berupa batu dengan ukuran dan gradasi tertentu untuk mencegah keluarnya butir-butir tanah halus melalui sela-sela batuan yang dapat berakibat terjadinya penurunan bangunan, pada dasar pondasi diberi lapisan *geotekstil*. Sisi miring dan kasar dapat menghancurkan dan menyerap energi gelombang, mengurangi kenaikan gelombang (*wave run-up*), limpasan gelombang dan erosi dasar.



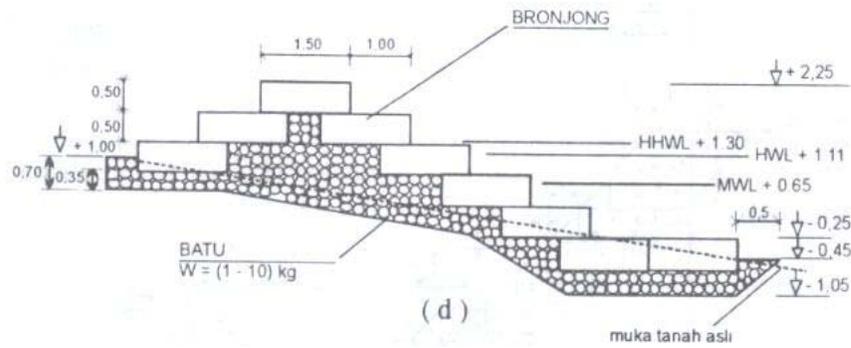
Gambar 2.25 Contoh Dinding Pantai atau *Revetment*



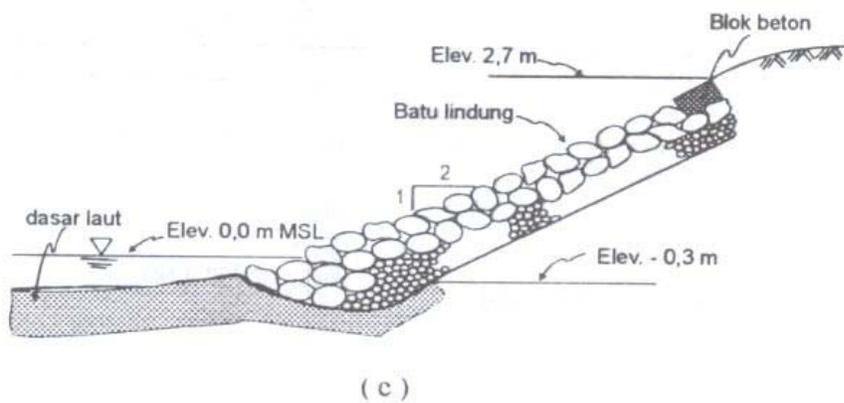
Gambar 2.26 *Revetmen yang Terbuat dari Beton Pracetak dan Pasangan Batu*



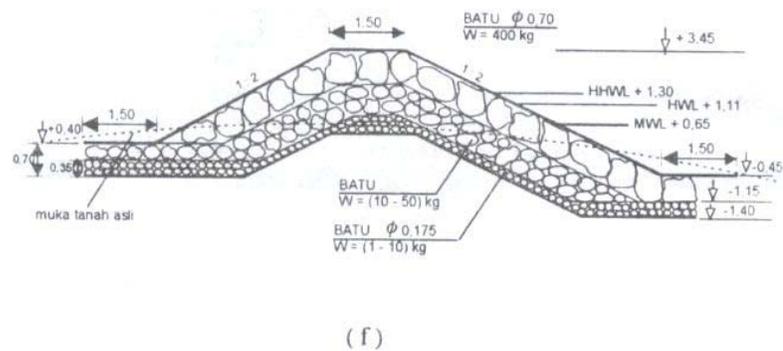
Gambar 2.27. *Contoh Dinding Pantai dari Kayu dan Baja*



Gambar 2.28 *Revetmen* yang Terbuat dari Tumpukan Bronjong



Gambar 2.29 Dinding Pantai yang Terbuat dari Tumpukan- tumpukan Pipa (Buis) Beton



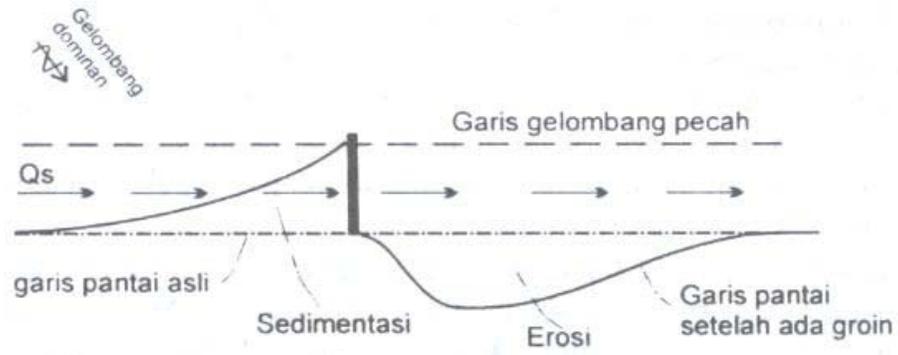
Gambar 2.30 Contoh *Revetmen* dari Tumpukan Batu

2.5.2 GROIN

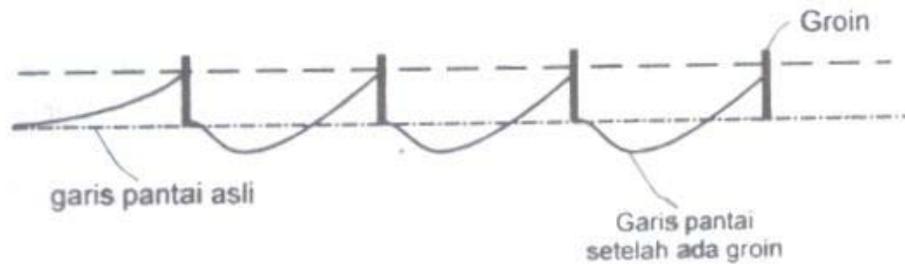
Groin adalah bangunan pelindung pantai yang biasanya dibuat tegak lurus garis pantai dan berfungsi untuk menahan *transpor sediment* sepanjang pantai, sehingga dapat mengurangi atau menghentikan erosi yang terjadi. Perlindungan pantai dengan menggunakan satu buah groin tidak efektif. Biasanya perlindungan pantai dilakukan dengan membuat seri bangunan yang terdiri dari beberapa groin yang ditempatkan dengan jarak tertentu. Dengan menggunakan satu sistem groin perubahan garis pantai yang terjadi tidak terlalu besar.

Mengingat *transpor sediment* sepanjang pantai terjadi di *Surf zone* maka groin akan efektif menahan sediment apabila bangunan tersebut menutup seluruh lebar *surf zone*, dengan kata lain panjang groin sama dengan lebar *surf zone*. Tetapi bangunan seperti itu dapat mengakibatkan *suplay sediment* ke daerah hilir terhenti, sehingga mengakibatkan erosi yang besar di daerah tersebut. Garis pantai di sebelah hulu dan hilir bangunan berubah secara mendadak dengan perubahan yang sangat besar. Oleh karena itu sebaiknya masih dimungkinkan terjadinya *suplay sediment* ke daerah hilir, yaitu dengan membuat groin yang tidak terlalu panjang dan tinggi, pada umumnya panjang groin adalah 40-60 % dari lebar rata *surf zone* dan jarak antara groin adalah antara 1 dan 3 kali panjang Groin (Horikawa, 1978). Lebar *surf zone* berubah dengan elevasi muka air laut karena pasang surut.

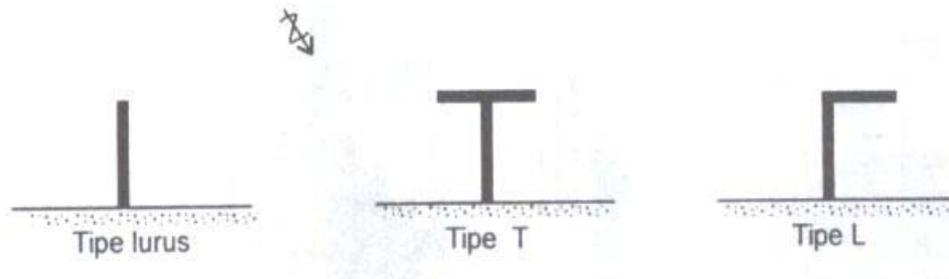
Untuk dapat memberikan suplai sedimen ke daerah hilir groin dapat juga dilakukan dengan membuat groin permeable. Groin permeable dapat dibuat dengan memancang tiang pancang dengan jarak tertentu dengan arah tegak lurus garis pantai. Biasanya dibuat dua baris tiang, dan masing-masing tiang tersebut disatukan dengan balok memanjang dan melintang tersebut. Groin dapat dibedakan menjadi beberapa tipe yaitu Tipe lurus, tipe T dan tipe L. Menurut konstruksinya groin dapat berupa tumpukan batu, kaisan beton, turap, tiang yang dipancang berjajar, atau tumpukan buis beton yang di dalamnya diisi beton.



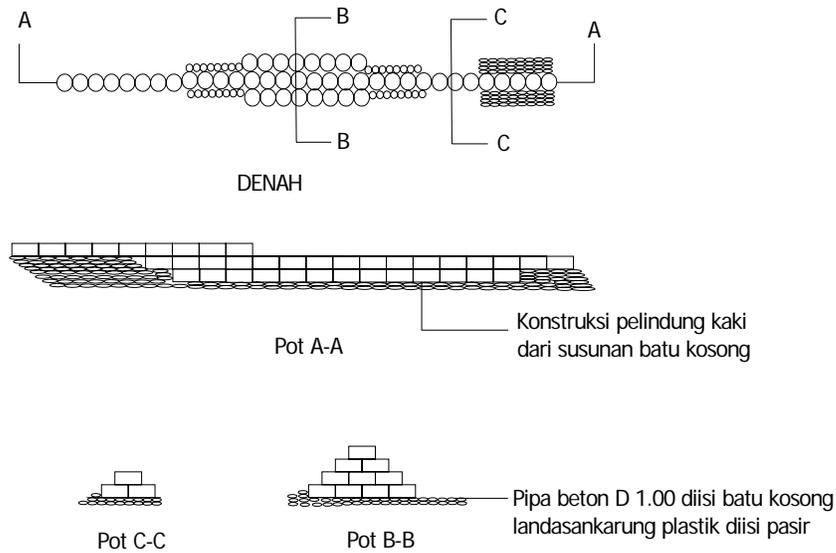
Gambar 2.31 Groin Tunggal dan Perubahan Garis Pantai yang Ditimbulkan



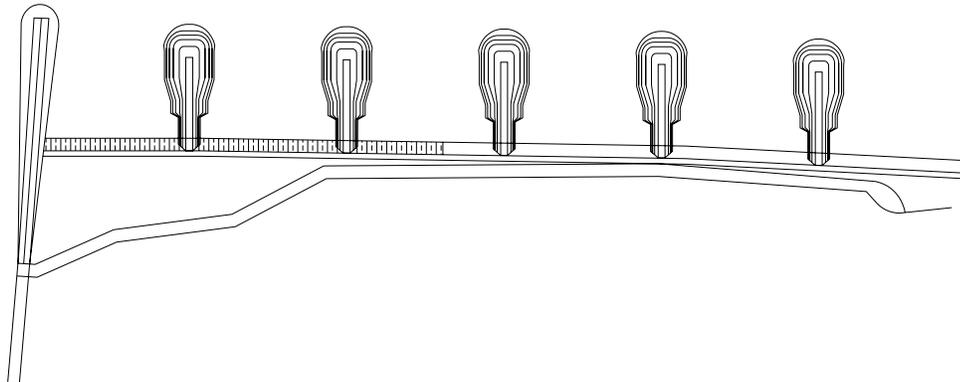
Gambar 2.32 Seri Groin dan Perubahan Garis Pantai yang Ditimbulkan



Gambar 2.33 Beberapa Tipe Groin



Gambar 2.34 Groin dari Buis Beton

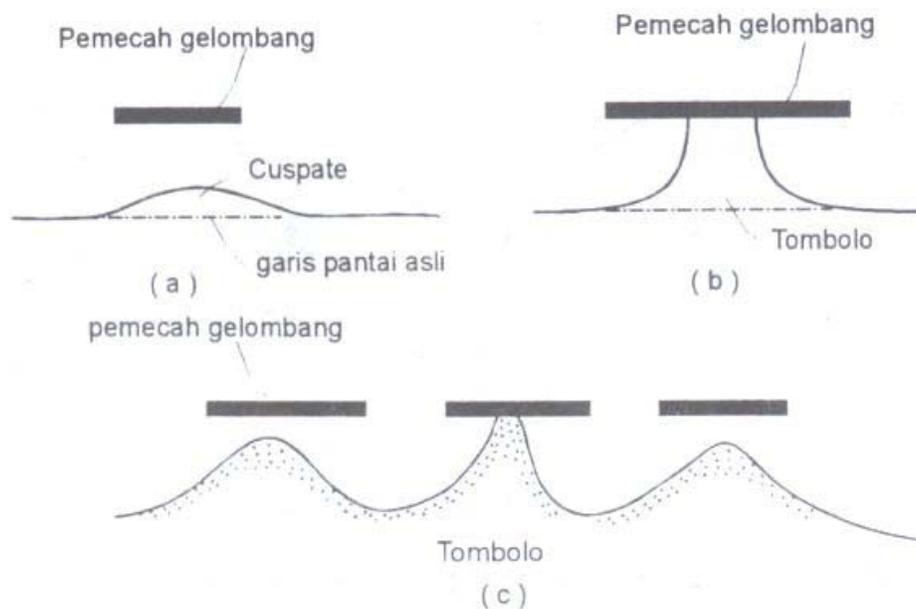


Gambar 2.35 Groin yang Dipasang Secara Seri

2.5.3 Pemecah Gelombang Lepas Pantai (*Breakwater*)

Pemecah Gelombang lepas pantai adalah bangunan yang dibuat sejajar pantai dan berada pada jarak tertentu dari garis pantai. Bangunan ini direncanakan untuk melindungi pantai yang terletak dibelakangnya dari serangan gelombang. Tergantung pada panjang pantai yang dilindungi, pemecah gelombang lepas pantai dapat dibuat dari 1 pemecah gelombang atau suatu seri bangunan yang

terdiri dari beberapa ruas pemecah gelombang yang dipisahkan oleh celah. Gambar 2.36 menunjukkan pengaruh bangunan pemecah gelombang lepas pantai terhadap perubahan garis pantai. Pada gambar 2.36.a dimana panjang pemecah gelombang relatif kecil terhadap jaraknya dari garis pantai dapat menyebabkan terbentuknya tonjolan daratan dari garis pantai kearah laut (*cusplate*), sedang gambar 2.36.b Menunjukkan terbentuknya tombolo oleh pemecah gelombang yang cukup panjang. Gambar 2.36.c menunjukkan pengaruh suatu seri pemecah gelombang terhadap bentuk pantai di belakangnya.



Gambar 2.36 Pemecah Gelombang Lepas Pantai

2.5.4 Jetty

Jetty adalah bangunan tegak lurus pantai yang diletakkan pada kedua sisi muara sungai yang berfungsi untuk mengurangi pendangkalan alur oleh sedimen pantai. Pada penggunaan muara sungai sebagai alur pelayaran, pengendapan di muara dapat mengganggu lalu lintas kapal. Untuk keperluan tersebut jetty harus panjang sampai ujungnya berada di luar gelombang pecah. Dengan jetty panjang

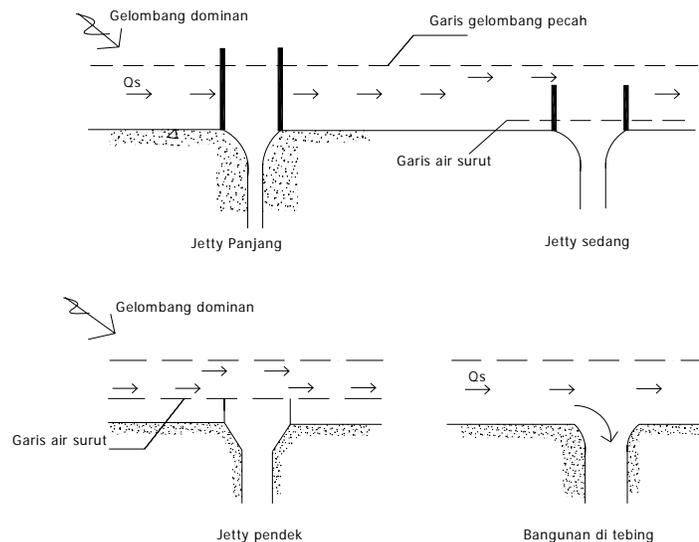
Laporan Tugas Akhir

Perencanaan Bangunan Pengaman Reklamasi Pantai Marina Semarang

transpor sediment sepanjang pantai dapat tertahan, dan pada alur pelayaran kondisi gelombang tidak pecah sehingga memungkinkan kapal masuk ke muara sungai.

Selain untuk melindungi alur pelayaran, jetty juga dapat digunakan untuk mencegah pendangkalan di muara dalam kaitannya dengan pengendalian banjir. Sungai-sungai yang bermuara pada pantai berpasir dengan gelombang cukup besar sering mengalami penyumbatan muara oleh endapan pasir. Karena pengaruh gelombang dan angin, endapan pasir terbentuk dimuara. *Transpor sediment* sepanjang pantai juga sangat berpengaruh terhadap pembentukan endapan tersebut. Pasir yang melintas di depan muara akan terdorong oleh gelombang masuk ke muara dan kemudian diendapkan. Endapan yang sangat besar dapat menyebabkan tersumbatnya muara sungai.

Gambar 2.37 memberikan bentuk dari masing-masing bangunan tersebut, disertai dengan perubahan garis pantai yang ditimbulkannya. Seperti halnya dengan groin, jetty dapat juga dibuat dari tumpukan batu, beton, tumpukan buis beton, turap, dan sebagainya.



Gambar 2.37 Beberapa Tipe Jetty

2.5.5 Hutan Mangrove

Hutan Mangrove merupakan ekosistem utama pendukung kehidupan yang penting di wilayah pantai. Selain berfungsi ekologis sebagai penyedia nutrient bagi biota perairan, tempat pemeliharaan berbagai macam biota, penahan abrasi, amukan angin topan dan tsunami, penyerap limbah, pencegah intrusi laut dan lain-lain. Hutan mangrove juga mempunyai fungsi ekonomis penting seperti penyedia kayu (kayu bakar / bahan baku furniture) daun-daunan sebagai bahan baku obat, dan lain-lain.

Hutan mangrove sangat efektif sebagai penahan gelombang. Semakin besar gelombang yang menghantamnya maka semakin kuat pula hutan mangrove itu terbentuk. Akar- akar tumbuhan mangrove tersebut akan semakin kuat. Pada perencanaan reklamasi pantai Marina ini tidak memungkinkan adanya hutan mangrove dikarenakan pantai Marina yang sangat dalam dan gelombang yang cukup besar sehingga mangrove tidak dapat bertahan hidup.

2.6 Kriteria Desain Bangunan Pengaman

2.6.1 Pendahuluan

Desain bangunan pengaman pantai sangat di pengaruhi oleh tujuan pembangunan dan kondisi daerah sekitar. Beberapa jenis bangunan pengaman yang dapat dijadikan pertimbangan desain antara lain: *seawalls*, *bulkhead*, *revetments*, *protective beaches*, *groins*, *jetties*, dan *Breakwater*. Selain bangunan pengaman untuk melindungi daerah pantai dapat juga dengan *sand dunes*, *sand bypassing*, *sand nourishmen* dan *mangrove* .

2.6.2. Teknik Pengamanan Pantai

Teknik pengamanan pantai dibagi menjadi 3 yaitu :

1. Menggunakan perkuatan pada sepanjang garis pantai,
2. Membuat timbunan pasir di sekitar garis pantai,
3. Membuat bangunan pengatur laju sediment di area pantai.

Ketiga teknik diatas digunakan untuk tujuan dan maksud yang berbeda tergantung dari area daerah yang akan diperbaiki.

2.6.2.1 Perkuatan di sepanjang garis pantai.

Pada pelaksanaannya teknik ini dapat di lakukan dengan menggunakan beberapa tipe bangunan yaitu *seawalls*, *bulkheads* dan *revetments* dari ketiga bangunan tersebut terdapat beberapa perbedaan yang mendasar.

A. Menggunakan mangrove sebagai perkuatan pantai.

Penggunaan tanaman mangrove sebagai perkuatan pantai banyak digunakan. Penggunaan mangrove memiliki beberapa kelebihan terutama umur rencana. Semakin lama perkuatan yang menggunakan mangrove akan semakin kuat dan efektif didalam menanggulangi bahaya abrasi pantai. Tetapi perkuatan dengan menggunakan mangrove hanya bisa digunakan pada daerah-daerah dengan kondisi perairan yang memungkinkan bagi tanaman mangrove untuk tumbuh.

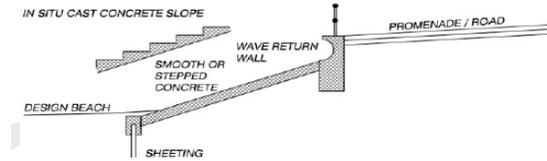
Penggunaan mangrove perlu dilakukan penanganan yang sangat hati-hati terutama jika umur mangrove masih muda, hal ini dikarenakan tanaman mangrove yang masih muda rawan akan kematian.

B. Seawalls

Jika dilihat dari ukuran strukturnya maka *seawalls* memiliki ukuran yang relatif lebih besar jika di dibandingkan dengan kedua alternatif yang lain. Hal ini di karenakan *seawalls* diprioritaskan untuk menahan gempuran gelombang laut secara penuh.

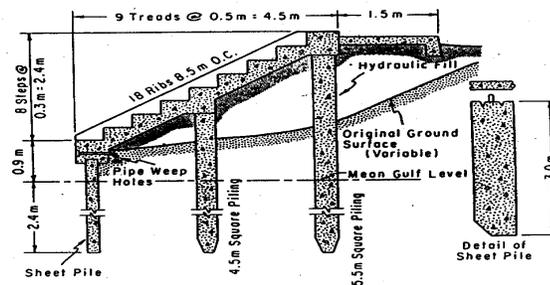
Seawalls memiliki beberapa bentuk desain yang secara umum banyak dipergunakan. Antara lain *a curved – face seawall*, *stepped face seawall* dan *combination between step and curves-face seawall*. Beberapa alternatif ini cocok digunakan untuk beberapa kondisi yang berbeda.

➤ *Curved – face seawall* cocok digunakan untuk menahan energi gelombang yang besar dan mengurangi gerusan yang terjadi pada dasar bangunan.



Gambar 2.38 Curved – Face Seawall dan Step Curves-Face Seawall

- Sedangkan *Step face seawall* biasanya digunakan untuk jenis gelombang yang tidak terlalu besar.

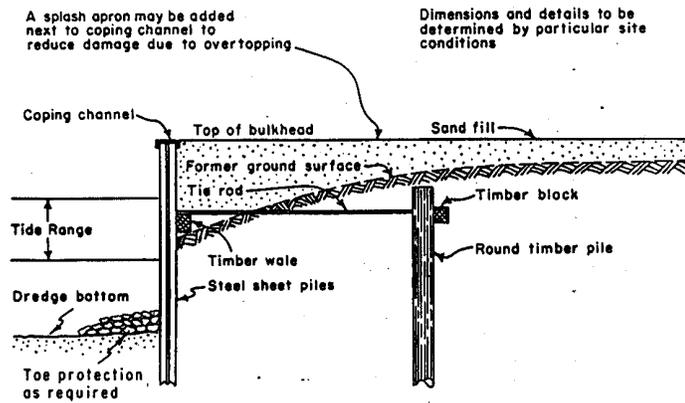


Gambar 2.39 Concrete Step-Face Seawall

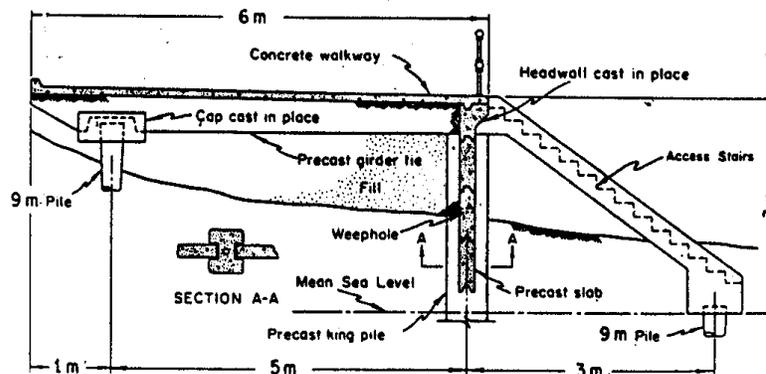
C. Bulkheads (Sekat Pemisah)

Struktur ini biasanya digunakan jika posisi lapisan batuan dekat dengan permukaan sehingga tidak dimungkinkan untuk melakukan pengankuran dengan menggunakan *sheet-pile*.

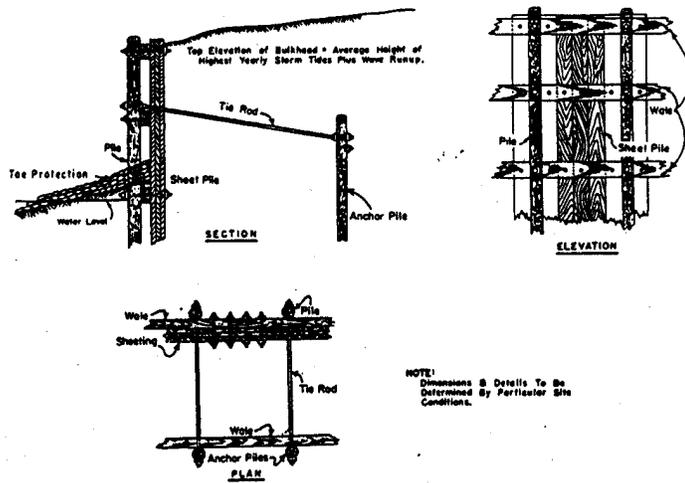
Jika pada saat pelaksanaan tinggi air laut pada sisi dalam dinding < 0.5 kali tinggi gelombang maksimum maka harus dibuat perkuatan tambahan pada dasar di dinding untuk menghindari dari bahaya *scouring* sehingga dapat mengurangi stabilitas bangunan.



Gambar 2.40 Steel Sheet-Pile Bulkhead



Gambar 2.41 Concrete Slab and King-Pile Bulkhead



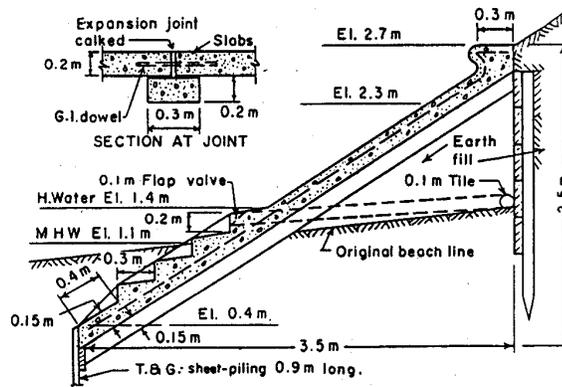
Gambar 2.42 Timber Sheet-Pile Bulkhead

D. Revetments

Revetments merupakan struktur paling ringan, hal ini dikarenakan struktur *revetments* hanya digunakan untuk melindungi struktur pantai dari bahaya erosi dan gelombang kecil.

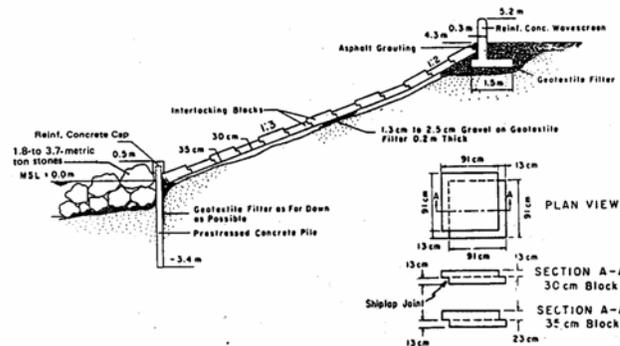
Struktur *Revetments* terdapat dua macam yaitu struktur fleksibel dan struktur *rigid*. Dari kedua struktur ini memiliki keunggulan masing – masing.

- Pada struktur *rigid* keunggulan terletak pada perlindungan terhadap lapisan pasir, tetapi pada saat pelaksanaan perlu dilakukan proses *dewatering* terlebih dahulu.

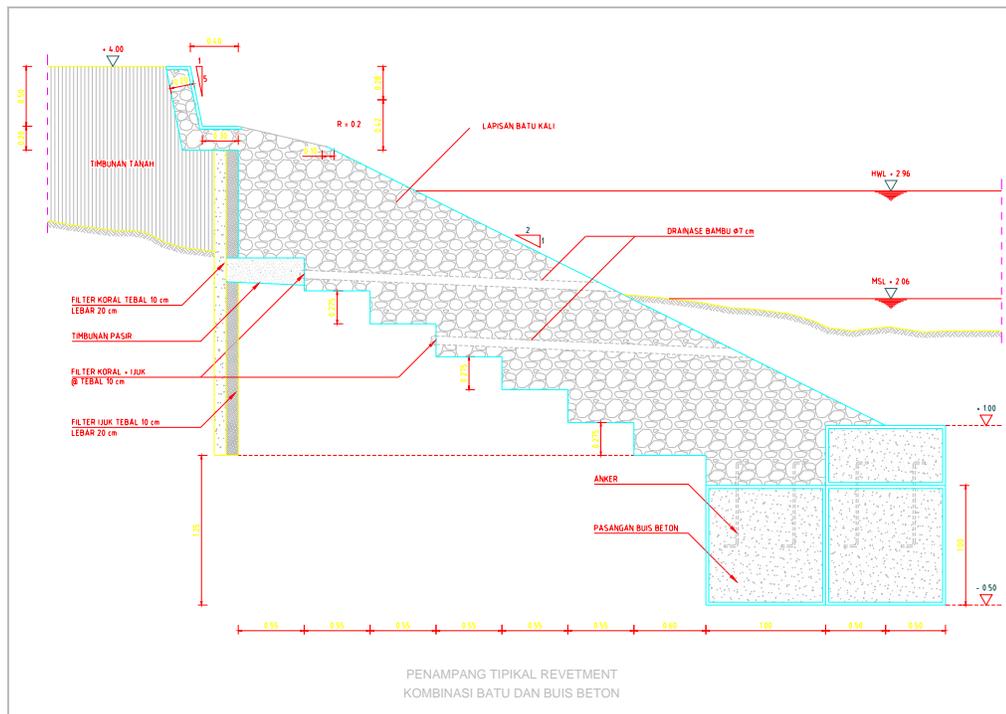


Gambar 2.43 Concrete Revetment

- Pada struktur *flexible* keunggulan terletak pada perlindungan yang baik terhadap lapisan pasir, dapat mengatasi kegagalan struktur yang diakibatkan oleh konsolidasi atau *settlement* dan pada saat pelaksanaan pekerjaan tidak diperlukan proses *dewatering* terlebih dahulu.



Gambar 2.44.a Interlocking Concrete-Block Revetment

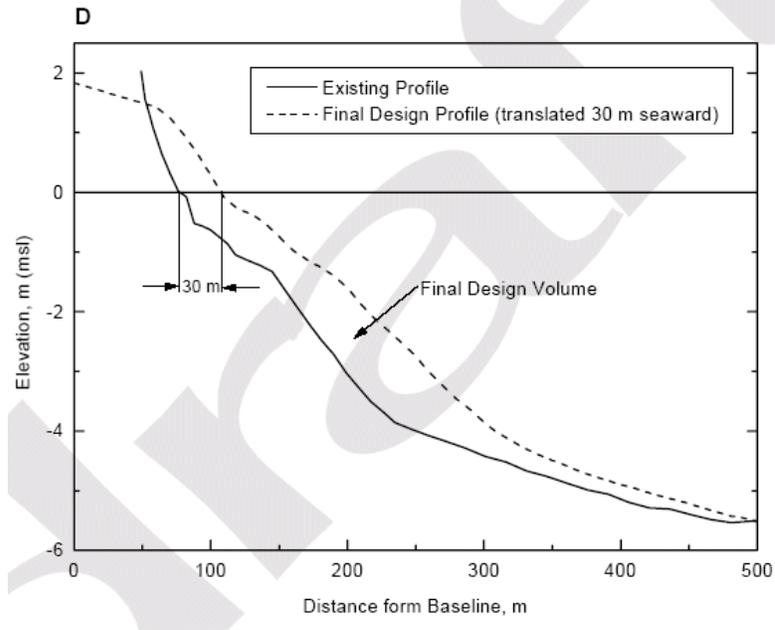


Gambar 2.44.b Penampang Tipikal Revetmen Kombinasi Batu Dan Bis Beton

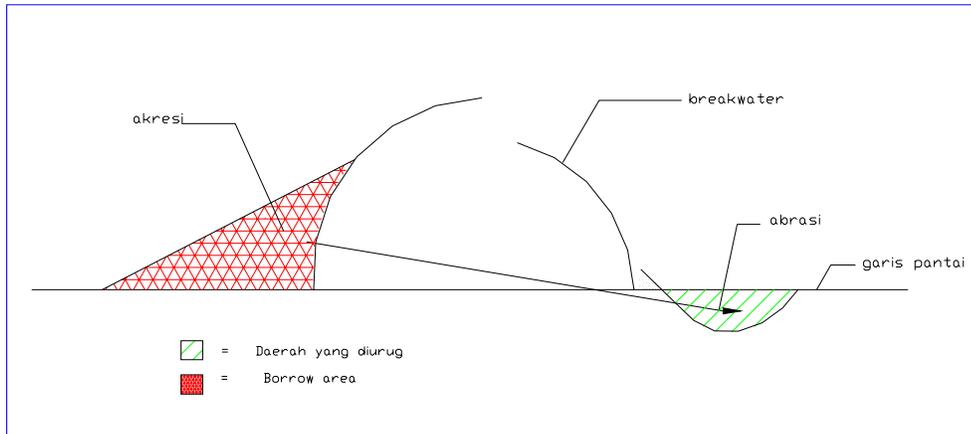
2.6.2.2 Penimbunan Pasir di Sekitar Garis Pantai

Didalam melakukan penimbunan pasir terdapat dua cara yang biasa dilakukan yaitu dengan melakukan pengangkutan menggunakan jalan darat, atau bisa juga dengan menggunakan *floating dredger* untuk melakukan pengambilan pasir dari *Quarry* dan disalurkan menggunakan pipa menuju daerah penimbunan. Metode penimbunan pasir disekitar garis pantai dibagi menjadi dua macam yaitu :

1. *Sand Nourishment* adalah penambahan pasir pada garis pantai yang terabrasi atau pantai yang akan direklamasi dapat dilihat pada gambar 2.45
2. *Sand by passing* adalah dengan memindahkan material dasar pantai dari daerah yang terakresi ke daerah yang tererosi yang ditimbulkan dari pengaruh bangunan pengaman pantai terhadap garis pantai.



Gambar 2.45 Contoh Profil Pantai Setelah Dilakukan Penimbunan (Sand Nourishment)



Gambar 2.46 Sand by Passing

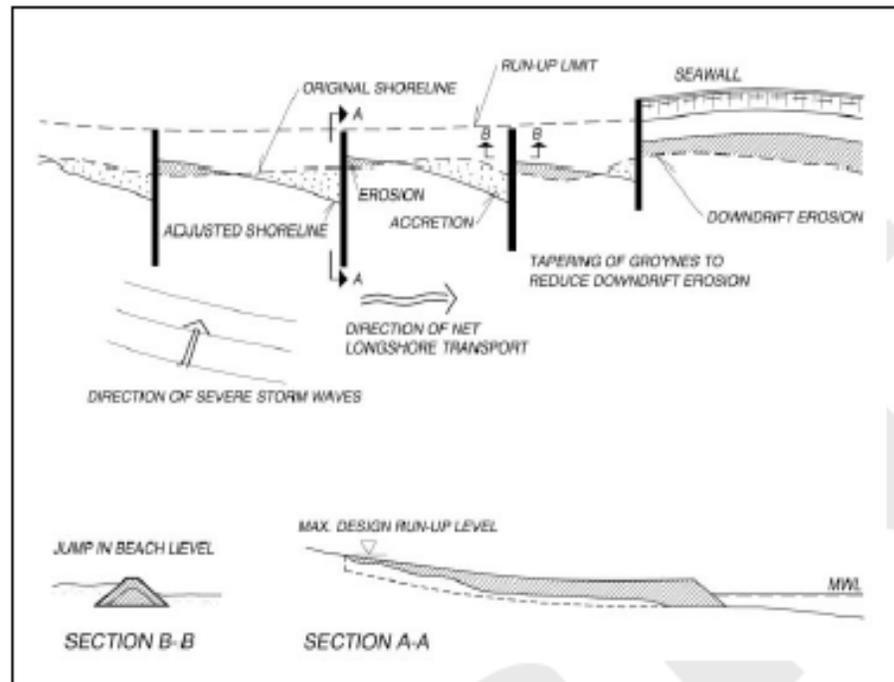
2.6.2.3 Pembuatan Bangunan Pengatur Laju Sedimen

Prinsip dasar dari pembuatan bangunan pengatur laju sedimen adalah untuk mengatur *longshore transport sediment*. Pengaturan ini dimaksudkan agar

proses *scouring* dan sedimentasi dapat terjadi pada daerah yang diinginkan. Bangunan pengatur sedimen antara lain dapat berupa *groyne*, *jetties* dan *Breakwater*.

1. *Groyne*

Tujuan pembuatan *groyne* adalah untuk mengurangi laju angkutan sedimen sejajar pantai. Kelemahan *groyne* adalah erosi yang sering terjadi di sebelah hilirnya (*down drift*) arah laut lepas. Bentuk *groyne* bisa berbentuk I, T, atau L *Groyne* adalah bangunan pengendali sedimen yang ditempatkan menjorok dari pantai ke arah laut. (gambar 2.47)



Gambar 2.47. Profil *Groyne* Terhadap Pantai

Penggunaan *Groyne* memiliki beberapa keunggulan dan kerugian antara lain :

KEUNTUNGAN :

1. *Groyne* dapat dibuat dengan menggunakan peralatan dari arah pantai.
2. Material yang digunakan untuk membuatnya dapat disesuaikan sesuai dengan kebutuhan dan kemudahan pengadaan bahan dan kemudahan dalam pemasangan.
3. *Groyne* tidak merubah *surf zone* sehingga tidak mengganggu fungsi pantai secara garis besar.

4. Mampu melepaskan pasir ke arah laut jika terjadi penumpukan sedimen yang terlalu besar

KERUGIAN :

1. *Groin* tidak efektif jika dipasang pada daerah *off shore*
2. Tidak dapat digunakan pada daerah pantai dengan kadar lumpur tinggi.
3. Terjadi *scouring* pada bagian hilirnya

JENIS – JENIS GROIN :

A. Timber Groin

Groin ini terbuat dari kayu dan merupakan struktur yang kedap (*impermeable*) dan disusun oleh *sheet piles* yang didukung oleh wales dan tiang bundar (*round piles*).

B. Steel Groin

Groin dengan bahan baja ini ada beberapa macam, diantaranya *timber-steel sheetpile groin*, *cantilever-steel sheet-pile groin*, dan *cellular-steel sheet-pile groin*. *Groin* jenis *cantilever-steel sheet pile* ini digunakan apabila gelombang dan bebannya berukuran sedang (moderat). Pada struktur ini, *sheet piles* merupakan kerangka dasar dari struktur. *Groin* jenis *cellular-steel sheet-pile* ini terdiri dari sel-sel dengan ukuran yang bervariasi dan setiap sel terdiri dari dinding semi sirkular yang dihubungkan dengan diafragma. Setiap sel kemudian diisi dengan pasir atau agregat untuk menjamin stabilitas struktur.

C. Concrete Groin

Salah satu *groin* dengan bahan material beton adalah *prestressed-concrete sheet pile groin*. *Groin* jenis ini termasuk struktur yang kedap atau *impermeabel*.

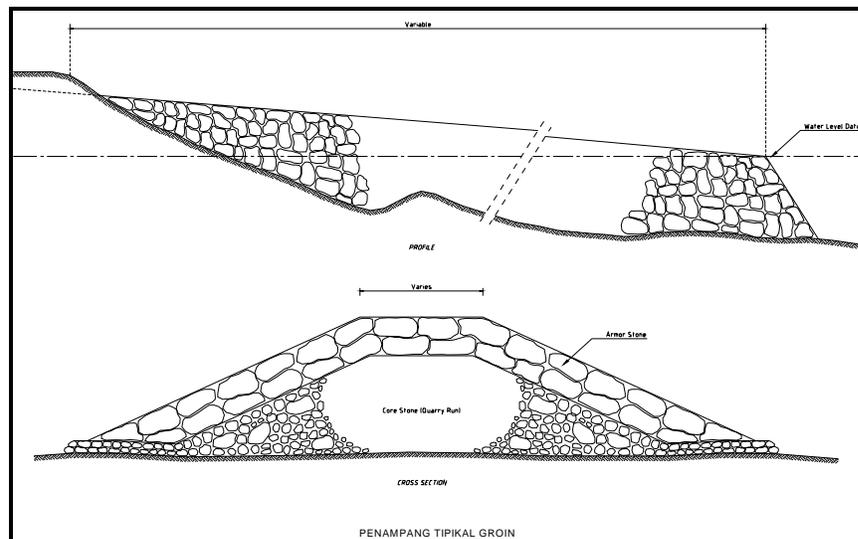
D. Rubble-Mound Groin

Groin jenis ini terbuat dari material batuan alam. Konstruksinya terdiri dari lapisan inti (*core of quarry-run material*) pada bagian tengah, yaitu material halus agar *groin* rapat air, dan ditutup dengan lapis lindung (*armor*) yang terbuat dari batuan alam dan/atau buatan. Batu lapis lindung yang digunakan harus mempunyai berat yang cukup untuk menahan gelombang rencana. Apabila permeabilitas *groin* jenis ini menjadi masalah, maka ruang kosong (*void*) antara

batuan pada puncak *groin* dapat diisi dengan suntikan beton atau aspal sehingga akan meningkatkan stabilitas struktur untuk menahan gelombang.

E. Asphalt Groin

Groin jenis ini terbuat dari aspal. Keefektifan *groin* jenis ini tergantung dari modifikasi perencanaan pada campuran, dimensi dan rangkaian dari konstruksi. Jenis dan bentuk dari seri *groin* tersebut dapat dilihat pada gambar 2.48



Gambar 2.48 Rubble Mound Groin

2. *Detachment Breakwater*

Detached breakwater adalah jenis pemecah gelombang yang ditempatkan secara terpisah-pisah pada jarak tertentu dari garis pantai dengan posisi sejajar pantai. Struktur pemecah gelombang ini dimaksudkan untuk melindungi pantai dari hantaman gelombang yang datang dari arah lepas pantai.

Prinsip kerja dari *breakwater* jenis ini adalah dengan memanfaatkan refraksi gelombang sehingga gelombang yang datang dari arah pantai mengalami refraksi. Akibat adanya refraksi gelombang maka akan menimbulkan pengaruh terhadap angkutan sedimen yang dibawa salah satunya dengan terbentuknya

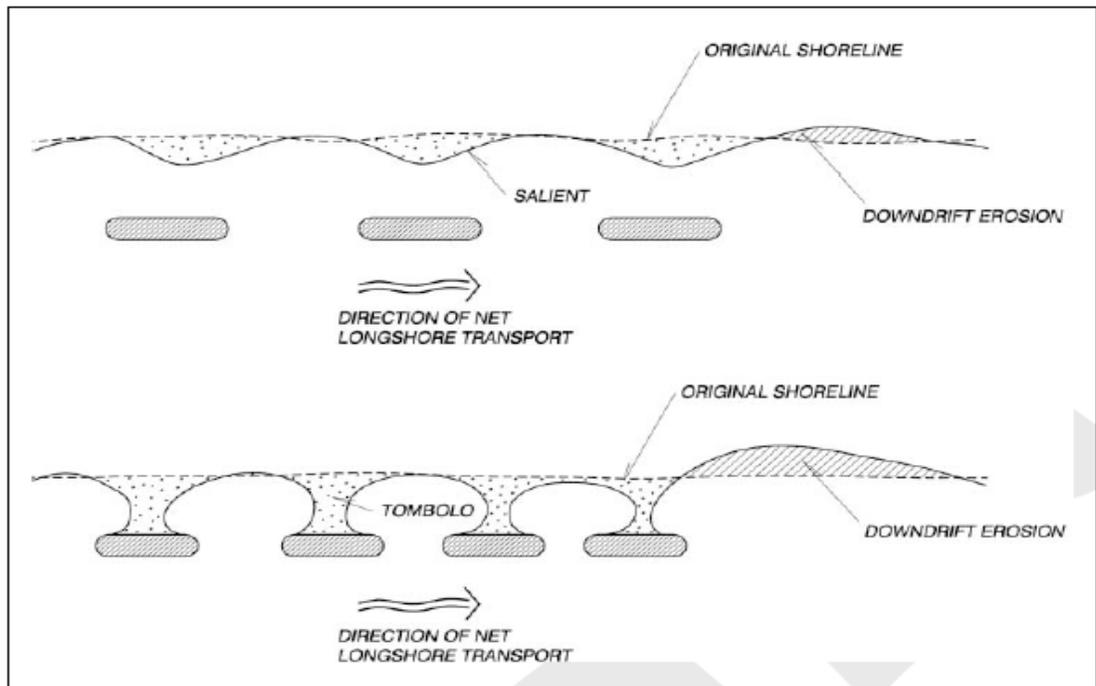
tombolo di belakang posisi *Breakwater*. *Break water* jenis ini memiliki beberapa keunggulan dan kekurangan antara lain :

KEUNGGULAN :

- Tidak dibangun sepanjang garis pantai yang akan di lindungi sehingga volume bahan yang lebih sedikit.
- Berfungsi juga untuk mengurangi ketinggian gelombang.
- Berfungsi untuk menahan laju sedimen sejajar pantai dan ke arah lepas pantai.

KELEMAHAN

- Proses pembuatan relatif lebih sulit dikarenakan pembangunan dilakukan terpisah dari pantai sehingga membutuhkan teknik khusus guna menempatkan peralatan konstruksi.
- Membutuhkan waktu agar dapat bekerja sesuai dengan fungsi karena harus menunggu terjadinya tombolo.



Gambar 2.49 Detached Breakwater

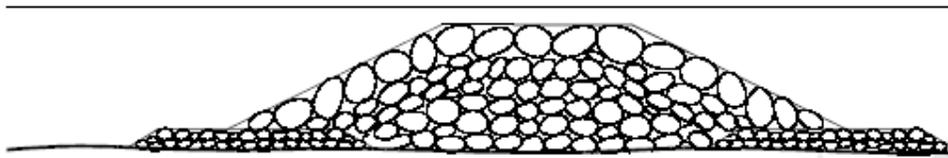
3. *Reef Breakwater*

Reef Breakwater adalah struktur paralel setengah tenggelam, yang dibangun di daerah pantai guna mengurangi kekuatan gelombang ketika mencapai daerah pantai. Hal ini dilakukan dengan menghilangkan sebagian energi gelombang ketika melewati karang.

Biasanya struktur ini dibangun dengan menggunakan struktur homogen seperti penggunaan tiang, menggunakan armor. Struktur ini dapat didesain dengan dua jenis yaitu :

1. Dapat didesain dengan kokoh sehingga tidak dapat bergerak jika terkena ombak.
2. Juga dapat didesain secara fleksibel agar posisinya dapat bereposisi jika terkena hantaman gelombang.

Reef breakwater



Gambar 2.50 Reef Breakwater

4. *Offshore Breakwater*

Merupakan struktur yang direncanakan untuk menghasilkan perlindungan terhadap aksi gelombang pada sebuah area atau garis pantai yang berada di sisi dalam struktur tersebut. Sesuai dengan namanya maka *offshore breakwater* dibangun di laut lepas (*offshore*). *Breakwater* jenis ini biasanya diklasifikasikan menjadi dua macam, yaitu:

- *Rubble-mound breakwater*
- *Cellular-steel sheet-pile breakwater*

Yang sering digunakan dari tipe *offshore breakwater* ini adalah konstruksi *rubblemound*. Bahan material kayu dan beton *caisson* juga dapat digunakan dalam konstruksi *breakwater*. Variasi dari *offshore breakwater* adalah *breakwater* yang mengambang/mengapung. Struktur ini didesain terutama untuk melindungi

pelabuhan kapal kecil dan tidak direkomendasikan untuk aplikasi pada pantai terbuka.

A. Berat Batuan Pelapis (Armor)

Desain struktur perlindungan pantai berupa groin atau breakwater dapat terdiri dari beberapa armor layer yang berbeda. Tiap lapis terdiri dari tumpukan batu alam maupun batu buatan dimana berat satu unit pelapis utama (primary cover layer) dihitung memakai persamaan berikut ini:

$$W = \frac{G_b H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \quad (2.37)$$

dimana :

W = berat satu unit batuan pelapis (armor), ton.

G_b = berat satuan batu = 2,4 ton/m³.

G_a = berat satuan air laut = 1,03 ton/m³.

H = tinggi gelombang rencana ≈ 0,4h.

h = kedalaman air = (HBL-SBL).

K_D = koefisien stabilitas (dari Tabel 7-8, SPM Volume II, 1984)

S_r = G_b/G_a.

θ = kemiringan dinding breakwater.

Berat satu unit batuan pelapis kedua (secondary cover layer), dihitung menggunakan ketentuan pada Figure 7-116, SPM Volume II, yaitu W/10 sampai W/15.

B. Tebal Lapisan Pelindung

Tebal lapisan pelindung (t), dapat dihitung memakai persamaan:

$$t = nK\Delta \left(\frac{W}{G_b} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.38)$$

dimana :

t = tebal lapisan pelindung, meter.

n = jumlah lapisan batuan.

$k\Delta$ = koefisien lapisan batuan (Tabel 7-13, SPM Volume II, 1984).

C. Lebar Mercu (*Crest Width*)

Lebar mercu (*crest width*), dapat dihitung dengan persamaan:

$$B = nK\Delta \left(\frac{W}{G_b} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.39)$$

dimana :

n = jumlah lapisan batuan pada mercu.

G_b = berat satuan batu = 2,4 ton/m³.

G_a = berat satuan air laut = 1,03 ton/m³.

$k\Delta$ = koefisien lapisan batuan (Tabel 7-13, SPM Volume II, 1984).

Tabel 2.5 Koefisien Lapisan Pelapis Batuan dan Koefisien Porositas Armor

Armor Unit	n	Placement	Layer Coefficient $K\Delta$	Porosity (P) %
Quarrystone (smooth) ¹	2	Random	1.02	38
Quarrystone (rough) ²	2	Random	1.00	37
Quarrystone (rough) ²	>3	Random	1.00	40
Quarrystone (parallepiped) ⁶	2	Special	-	27
Cube (modified) ¹	2	Random	1.10	47
Tetrapod ¹	2	Random	1.04	50
Quadripod ¹	2	Random	0.95	49
Hexipod ¹	2	Random	1.15	47
Tribar ¹	2	Random	1.02	54
Dolos ⁴	2	Random	0.94	56
Toskane ⁵	2	Random	1.03	52
Tribar1	21	Special	1.13	47
Quarrystone ⁷	<i>Graded</i>	<i>Random</i>	-	37

Hudson (1974)

Carver (1983)

Hudson (1961a)

Carver and Davidson (1977)

Carver (1978)

Tebal lapisan dua kali dimensi panjang rata-rata batu belah. Porositas diperkirakan dari uji satu lapis yang ditempatkan tidak seragam (Hudson, 1974)

Tebal lapisan minimum harus dua kali dimensi kubik dari riprapW50. Check untuk menentukan tebal lapisan yang tersaring 1,25 dari dimensi kubik riprap Wmax.

Sumber : Bambang Triatmadja, Pelabuhan, 1996

2.6.3. Aspek Pemilihan Bangunan Pengaman

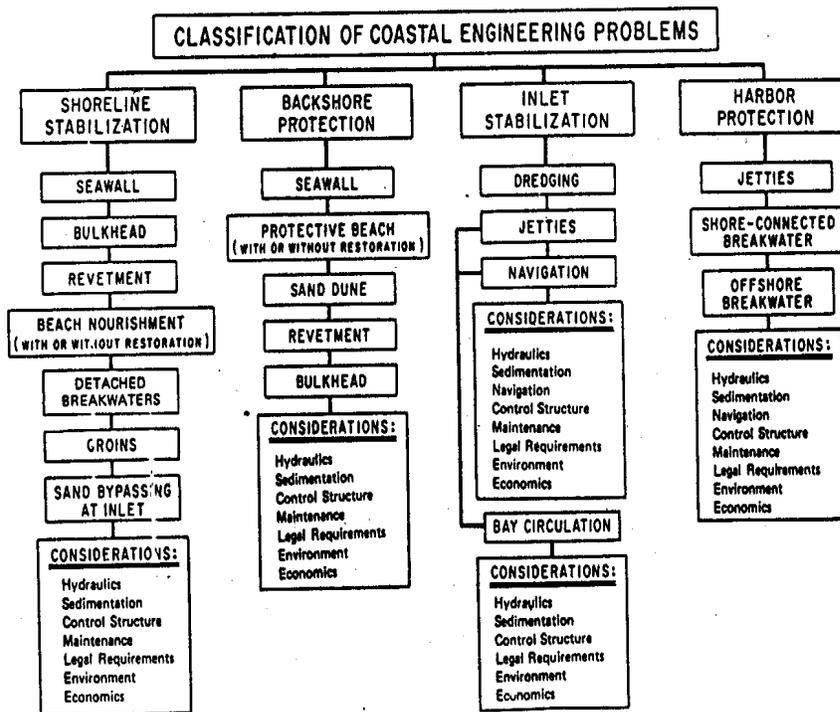
Didalam perencanaan bangunan pengaman pantai dapat di klasifikasikan kedalam 4 kategori umum antara lain : *Shoreline stabilitation, beckshore protection, inlet stabilitation* dan *harbor protection*. Permasalahan pantai memiliki banyak kategori dan banyak sekali alternatif pemecahan masalah yang

Laporan Tugas Akhir

Perencanaan Bangunan Pengaman Reklamasi Pantai Marina Semarang

dapat di ambil oleh seorang engineer teknik pantai. Beberapa masalah merupakan permasalahan struktural, sebagian lagi merupakan permasalahan akibat manajemen pemanfaatan lahan pantai. Pada bab ini penulis hanya menjelaskan mengenai pemecahan masalah struktural saja. Hal ini di karenakan untuk permasalahan menyangkut permasalahan manajemen pemanfaatan lahan penanggulangannya sangat tergantung dari segi perencana dan pemilik proyek.

Sedangkan penanggulangan masalah struktural penulis mengambil acuan berdasarkan pada S.P.M (*Shore Protection Manual*). Berdasarkan SPM penanganan masalah struktural dapat dipecahkan dengan langkah seperti diagram alir berikut ini



Gambar 2.51 Bagan Alir Perencanaan Bangunan Pengaman

Pertimbangan hidrolik harus diperhitungkan di dalam desain bangunan pengaman pantai. Kasus hidrolik yang harus di pertimbangkan antara lain : angin, gelombang, arus dan pasang surut air laut. Sedangkan untuk faktor sedimen hal-hal yang perlu di perhatikan antara lain transpor material sejajar dan tegak lurus

pantai (arah pergerakan, *net transport* dan *gross transport* serta karakteristik dan klasifikasi sediment) serta perubahan garis pantai.

A. Seawall, Bulkhead dan Revetment.

Kedudukan *seawall*, *bulkhead*, dan *revetments* biasanya digunakan untuk mempertahankan kondisi awal daerah. Didalam pertimbangan penggunaan struktur perlu di perhatikan mengenai kegunaan dan keseluruhan fungsional dari bentuk bangunan, lokasi pembuatan dengan pertimbangan terhadap panjang garis pantai, kedalaman perairan, stabilitas tanah, ketinggian air, kemudahan memperoleh material, kelayakan ekonomi dan lingkungan serta kebijakan institusi terkait.

Pemilihan bentuk bangunan tergantung dari kegunaan dari struktur. Tipe muka tegak lurus akan sangat cocok digunakan jika struktur bangunan digunakan sebagai area tambatan kapal, sedangkan tipe miring dan lengkung dapat digunakan untuk kegunaan yang lain.

Pemilihan lokasi pembangunan bisanya diprioritaskan pada daerah yang mengalami abrasi air laut, atau bisa juga ditempatkan di sepanjang area pantai yang akan dilakukan reklamasi.

Tinggi struktur bangunan dapat didesain setinggi mungkin sehingga gelombang laut tidak dapat melampaui tinggi bangunan, tetapi biasanya hal ini tidak ekonomis. Akan lebih ekonomis jika tinggi bangunan dihitung dengan menggunakan persamaan *runup* gelombang dengan pemilihan gelombang sesuai dengan gelombang desain.

B. Groin

Hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan struktur perlindungan pantai (*groin* dan *breakwater*) adalah sebagai berikut:

- Kondisi hidro-oseanografi: batimetri, gelombang, pasut, dan arus.
- Kondisi geoteknik tapak struktur.
- Sumber material (*borrow area*) yang tersedia: jumlah, kualitas, dan jarak sumber material ke lokasi proyek.

- Kemudahan pelaksanaan konstruksi: jalan masuk ke proyek (*access road*) dan setting peralatan konstruksi di lapangan.
- Alokasi dana yang tersedia.

Perencanaan struktur perlindungan pantai harus melibatkan gaya-gaya yang akan bekerja pada struktur tersebut. Gaya-gaya yang harus diperhitungkan dalam perencanaan:

- Gaya akibat gelombang.
- Gaya akibat arus.
- Gaya-gaya akibat tekanan tanah.
- Beban gempa.

Desain dan Perencanaan Struktur Groin

Dalam perencanaan struktur groin terdapat beberapa hal yang harus diperhitungkan secara lebih menyeluruh dan terperinci. Hal-hal yang patut di perhitungkan antara lain :

1. *Groin Length* (Panjang Groin)

Struktur groin memiliki fungsi utama untuk mengatur laju sedimen sejajar pantai. Angkutan sedimen sejajar pantai sebagian besar terjadi pada daerah *surf zone* yang terletak di antara daerah gelombang pecah dan daerah pantai pada batas di bawah daerah limit dari *wave runup*.

Lokasi dari area surf zone sangat bervariasi tergantung dari kondisi gelombang dan ketinggian dari pasang surut arus laut. Daerah *surf zone* berkisar antara 0.5 – 0.78 dari panjang keseluruhan area breaking wave.

2. Tinggi Groin dan Profil Mercu
3. *Spacing Groin* (Panjang Groin)
4. *Permeability Groin*.

2.7 Peramalan Garis pantai

Penyesuaian bentuk pantai merupakan tanggapan yang dinamis alami pantai terhadap laut. Proses dinamis pantai sangat dipengaruhi oleh *littoral transport*, yang didefinisikan sebagai gerak sedimen di daerah dekat pantai (*nearshore zone*) oleh gelombang dan arus. *Littoral transport* dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu transport sepanjang pantai (*longshore transport*) dan transport tegak lurus pantai (*onshore-offshore transport*). Material pasir yang ditranspor disebut dengan *littoral drift*. Transport tegak lurus pantai terutama ditentukan oleh kemiringan gelombang, ukuran sediment dan kemiringan pantai. Pada umumnya gelombang dengan kemiringan besar menggerakkan material kearah laut (abrasi), dan gelombang kecil dengan periode panjang menggerakkan material ke arah darat (akresi).

Bentuk profil pantai sangat dipengaruhi oleh serangan gelombang, sifat-sifat sedimen seperti rapat massa dan tahanan terhadap erosi, ukuran dan bentuk partikel, kondisi gelombang dan arus, serta bathimetri pantai.

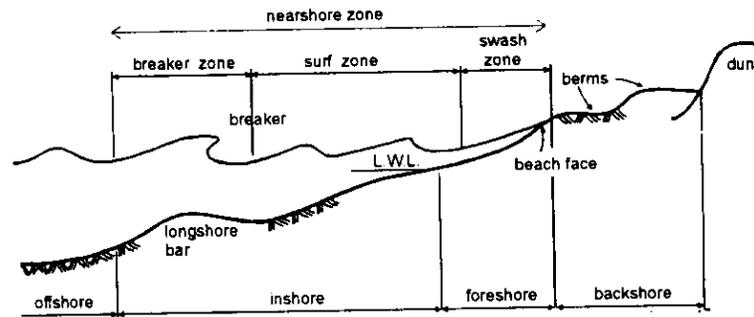
2.7.1 Bentuk Pantai

Pantai bisa terbentuk dari material dasar berupa lumpur, pasir atau kerikil (*gravel*). Kemiringan dasar pantai tergantung pada bentuk dan ukuran material dasar. Pada pantai kerikil kemiringan pantai bisa mencapai 1:4, pantai pasir mempunyai kemiringan 1:20-1:50 dan untuk pantai berlumpur mempunyai kemiringan sangat kecil mencapai 1:5000.

Pantai berlumpur terjadi di daerah pantai di mana terdapat banyak muara sungai yang membawa sedimen suspensi dalam jumlah besar ke laut. Selain itu kondisi gelombang di pantai tersebut relatif tenang sehingga tidak mampu membawa sedimen tersebut ke perairan dalam laut lepas.

Pada pantai berpasir mempunyai bentuk seperti ditunjukkan pada gambar 2.52. Dalam gambar tersebut pantai dibagi menjadi *backshore* dan *foreshore*. Batas antara kedua zona adalah puncak *berm*, yaitu titik dari *run up* maksimum pada kondisi gelombang normal (biasa). *Run up* adalah naiknya

gelombang pada permukaan miring. Run up gelombang mencapai batas antara pesisir dan pantai hanya selama terjadi gelombang badai. *Surf zone* terbentang dari titik di mana gelombang pertama kali pecah sampai titik *run up* di sekitar lokasi gelombang pecah. Di lokasi gelombang pecah terdapat *longshore bar*, yaitu gundukan pasir di dasar yang memanjang sepanjang pantai.



Gambar 2.52 Profil Pantai

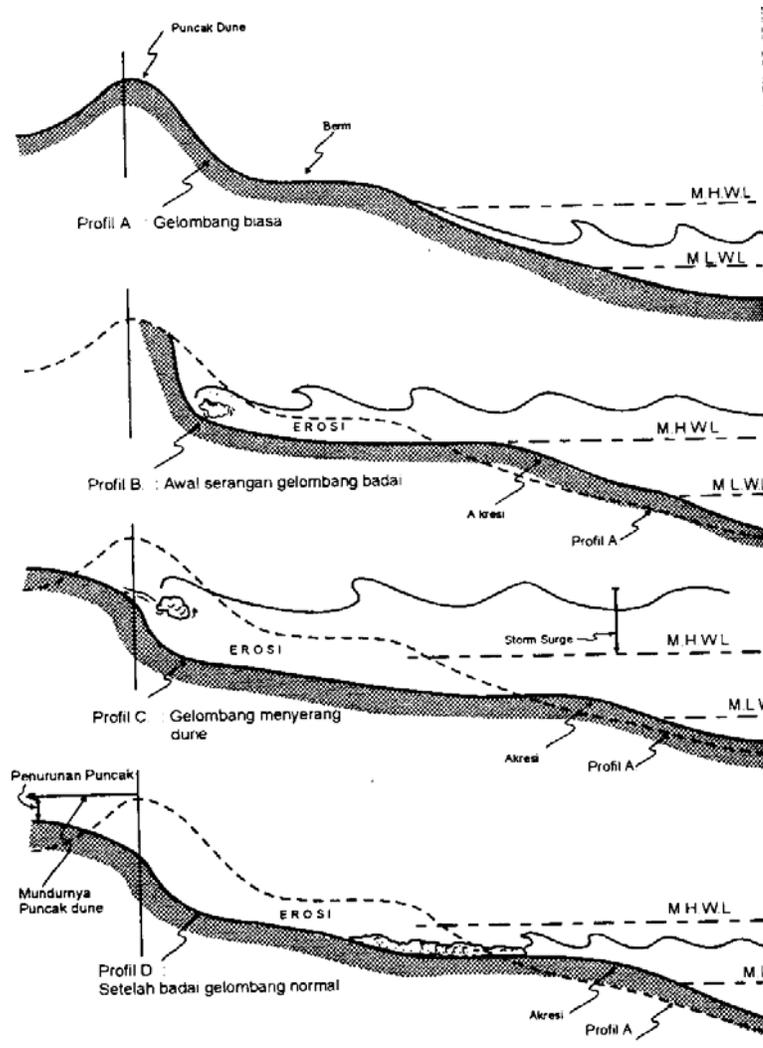
Pada kondisi gelombang normal pantai membentuk profilnya yang mampu menghancurkan energi gelombang. Jika pada suatu saat terjadi gelombang yang lebih besar, pantai tidak mampu meredam energi gelombang sehingga terjadi erosi. Pasir yang tererosi akan bergerak ke arah laut. Pasir yang tererosi akan bergerak ke arah laut. Setelah sampai di daerah dimana kecepatan air di dasar kecil, pasir tersebut mengendap. Akumulasi endapan tersebut akan membentuk *offshore bar*, yaitu gundukan pasir di dasar pantai yang biasanya memanjang sejajar garis pantai (*longshore bar*). *Offshore bar* ini, yang kedalamannya kecil, menyebabkan lokasi gelombang pecah berada lebih jauh dari garis pantai yang memperlebar *surf zone* dimana sisa energi gelombang dihancurkan.

Dengan demikian *offshore bar* juga berfungsi sebagai pertahanan pantai terhadap serangan gelombang. Pembentukan *offshore bar* ini semakin besar pada waktu terjadinya gelombang badai. Selama terjadinya badai yang tinggi dan kemiringan gelombang besar. Angin dan gelombang tersebut dapat menyebabkan kenaikan elevasi muka air laut (*wind setup* dan *wave setup*), sehingga serangan gelombang dapat mengenai bagian pantai yang lebih tinggi. Bagian tersebut biasanya tidak terkena serangan gelombang. Kenaikan elevasi muka air tersebut

memungkinkan gelombang besar melewati *off shore bar* tanpa pecah. Gelombang tersebut akan pecah pada lokasi yang sudah dekat garis pantai, sehingga lebar *surf zone* tidak cukup untuk menghancurkan energi gelombang badai tersebut. Akibatnya pantai, berm kadang-kadang dune yang sekarang terbuka terhadap serangan gelombang akan tererosi. Material yang tererosi tersebut dibawa ke arah laut (*offshore*) dalam jumlah besar yang kemudian diendapkan di dasar *nearshore* dan membentuk *offshore bar*. *Bar* tersebut akhirnya tumbuh cukup besar untuk memecah gelombang datang lebih jauh ke *offshore*, sehingga penghancuran energi gelombang di *surf zone* lebih efektif.

Pada saat terjadi badai, dimana gelombang besar dan elevasi muka air diam lebih tinggi karena adanya setup gelombang dan angin, pantai dapat mengalami erosi. (Gambar 2.53) menunjukkan proses terjadinya erosi pantai oleh gelombang badai (CERC, 1984) dengan puncak gelombang sejajar garis pantai. (Gambar 2.53.a) adalah profil pantai dengan gelombang normal sehari-hari. Pada saat terjadinya badai dengan bersamaan muka air tinggi, gelombang mulai mengerosi *sand dunes*, dan membawa material ke arah laut kemudian mengendap (Gambar 2.53.b). Gelombang badai yang berlangsung cukup lama semakin banyak mengerosi bukit pasir (*sand dunes*) seperti terlihat dalam (Gambar 2.53.c). Setelah badai reda gelombang normal kembali. Selama terjadi badai tersebut terlihat perubahan profil pantai. Dengan membandingkan profil pantai sebelum dan sesudah badai, dapat diketahui volume sedimen yang tererosi dan mundurnya garis pantai (Gambar 2.53.d).

Setelah badai berlalu, kondisi gelombang normal kembali. Gelombang ini akan mengangkut sedimen yang telah diendapkan di perairan dalam selama badai, kembali ke pantai. Gelombang normal yang berlangsung dalam waktu panjang tersebut akan membentuk pantai kembali ke profil semula. Dengan demikian profil pantai yang ditinjau dalam satu periode panjang menunjukkan kondisi yang stabil dinamis.



Gambar 2.53 Proses Pembentukan Pantai

Apabila gelombang yang terjadi membentuk sudut dengan garis pantai, maka akan terjadi dua proses angkutan sedimen yang bekerja secara bersamaan, yaitu komponen tegak lurus dan sejajar garis pantai. Sedimen yang tererosi oleh komponen tegak lurus dan sejajar pantai akan terangkut oleh arus sepanjang pantai sampai ke lokasi yang cukup jauh. Akibatnya apabila ditinjau di suatu lokasi, pantai yang mengalami erosi pada saat terjadinya badai tidak bisa terbentuk kembali pada saat gelombang normal, karena material yang terbawa ke tempat lain. Dengan demikian, untuk suatu periode waktu panjang, gelombang

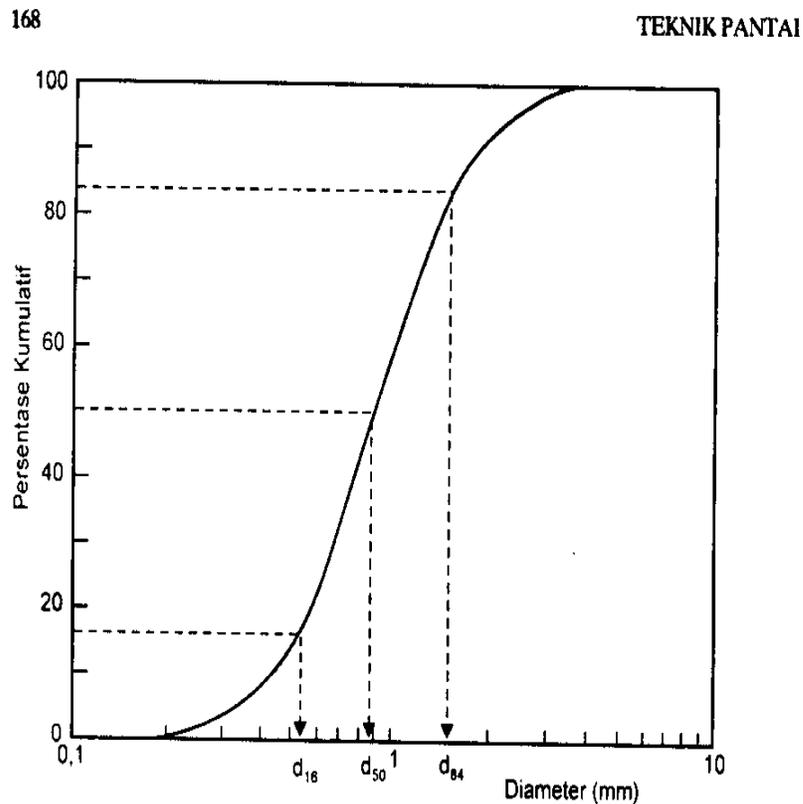
yang datang dengan membentuk sudut terhadap garis pantai dapat menyebabkan mundurnya (erosi) garis pantai.

2.7.2 Sifat-Sifat Sedimen Pantai

Sedimen pantai bisa berasal dari erosi garis pantai itu sendiri, dari daratan yang di bawa oleh sungai, dan/atau dari laut dalam yang terbawa arus ke daerah pantai. Sifat-sifat tersebut adalah ukuran partikel dan distribusi butir sedimen, rapat massa, bentuk, kecepatan endap, tahanan terhadap erosi.

A. Ukuran partikel sedimen

Sedimen pantai diklasifikasikan berdasarkan ukuran butir menjadi lempung, lumpur, pasir, kerikil, koral (*pebble*) dan batu (*boulder*). Distribusi ukuran butir biasanya dianalisis dengan saringan dan dipresentasikan dalam bentuk kurva presentase berat kumulatif seperti diberikan pada (gambar 2.54)



Gambar 2.54 Distribusi imbalanced pantai

Ukuran butir median D_{50} adalah paling banyak digunakan untuk ukuran butir pasir. D_{50} adalah ukuran butir dimana 50% dari berat sampel.

B. Rapat Massa, Berat Jenis Dan Rapat Relatif

Rapat massa ρ adalah massa tiap satuan volume, sedang berat jenis γ adalah berat tiap satuan volume. Terhadap hubungan antar berat jenis dan rapat massa, yang membentuk $\gamma = \rho g$. Rapat massa atau berat jenis sedimen merupakan fungsi dari komposisi mineral. Rapat relatif adalah perbandingan antara rapat massa suatu zat dengan rapat massa air pada 4°. Rapat massa air pada temperatur tersebut adalah 1000 kg/m^3 dan rapat relatif pasir adalah sekitar 2,65.

C. Kecepatan Endap

Untuk sedimen non kohesif kecepatan endap tergantung pada rapat massa sedimen dan air, viskositas air, dimensi dan bentuk partikel sedimen.

2.7.3 Transpor Sedimen Pantai

Transpor sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dibangkitkannya. Transpor sedimen pada laporan ini adalah yang terjadi didaerah antara gelombang pecah dan garis pantai.

Transpor sedimen pantai dapat diklasifikasikan menjadi transpor menuju dan meninggalkan pantai (*onshore-offshore transport*) dan transpor sepanjang pantai (*longshore transport*). Transpor menuju dan meninggalkan pantai mempunyai arah rata-rata tegak lurus garis pantai, sedang transpor sepanjang pantai mempunyai arah rata-rata sejajar pantai. Salah satu penyebab terjadinya abrasi di wilayah pantai Marina- Semarang adalah transpor sedimen sepanjang pantai.

Berdasarkan kepada S.P.M (Shore Protection Manual,1984) maka perhitungan nilai longshore transport di sepanjang garis pantai dapat di hitung menggunakan 4 teknik alternatif perhitungan antara lain :

🚧 Metode pertama S.P.M merekomendasikan untuk membuat penyesuaian dengan berdasarkan data yang diambil dari area lain di sekitar situs. Proses

perhitungan dilakukan melakukan kalkulasi antara sedimen terbongkar, analisa daerah yang terlindung, kondisi garis pantai dll.

Metode kedua berdasarkan pada akumulasi sedimen atau perubahan garis pantai di sekitar daerah gelombang pecah, teluk atau di bangunan pantai. Volume sedimen diakumulasi dengan berdasarkan pada perubahan batimetri dari dua periode dibagi dengan lama periode pengukuran. Nilai rata-rata transport yang didapatkan pada metode ini merupakan pendekatan dari *net transport* dan *gross transport* tergantung dari proses yang menyebabkan akumulasi sedimen. Jika berdasar dari akumulasi gelombang, maka menghasilkan akumulasi dari *net transport*. Jika pada teluk maka dihasilkan estimasi *gross transport*. Prinsip dasar yang diterapkan pada metode ini adalah untuk membuat perkiraan sederhana nilai transport pada daerah garis pantai dengan asumsi bahwa *influx* dan *eflux* diketahui pada beberapa lokasi. Sebagai contoh pada area gelombang pecah nilai *eflux* diasumsikan nol (0). Daerah akumulasi transpor sedimen terletak pada area gelombang pecah sampai garis pantai (variasi bentuk garis pantai sepanjang area gelombang pecah dan hasil variasi pada *longshore transport* pada umumnya diabaikan). Untuk area teluk, sedimen yang masuk akibat *longshore transport* dari kedua sisi inlet diasumsikan tertahan, dan natural *eflux* dari sedimen yang berasal dari *inlet* adalah nol. Pengerukan teluk juga diperhitungkan didalam perhitungan volume sedimen yang terperangkap.

Metode ketiga dihitung berdasarkan pada fungsi bahwa *longshore transport* (Q) tergantung pada komponen flux energi pada area breaking line. Angkutan sediment sepanjang pantai:

$$Q = \frac{K}{(\rho_s - \rho)ga'} P_t \quad (2.40)$$

Dimana :

Q = Angkutan sediment sepanjang pantai (m³/hari)

K = koefisien empiris dimensi (0.39) diambil dari SPM 1984 equation (4-49)

s = berat jenis sedimen

ρ = berat jenis air

g = percepatan gravitasi

a' = porositas

$$P_1 = \frac{\rho g}{16} H_b^2 C_b \sin(2\alpha_b) \quad (2.41)$$

Dimana :

P_1 = Komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah (Nm/d/m)

G = Gravitasi (9,81m/d²)

H_b = Tinggi gelombang pecah (m)

C_b = Cepat rambat gelombang pecah (m/d) = $\sqrt{gd_b}$

α_b = Sudut datang gelombang pecah

Berikut ini adalah beberapa rumus empiris untuk memprediksi transpor sedimen sepanjang pantai.

Tabel 2.6 Rumus Empiris *Transport Sediment*

No	Nama	Rumus
1	Ijma, Sato Aono, Ishii	$Q_s = 0.130 P^{0.54}$
2	Ichikawa, Achiai, Tmita,	$Q_s = 0,130 P_1^{0.8}$
3	CERC	$Q_s = 0,401 P_1$

✚ Dengan menggunakan persamaan (2.40) dapat dilakukan estimasi *longshore transport* dengan menggunakan parameter gelombang pecah. Data gelombang diperoleh dari Littoral Enviroment Observation (LEO) atau dengan mentransformasikan angin laut menjadi gelombang pecah. Sehingga hanya dapat dilaksanakan apabila terdapat data-data kondisi gelombang harian (seperti tinggi gelombang, periode dan arah). Metode empat menghasilkan pendekatan empiris *transport sediment* kotor tahunan berdasarkan pada

perhitungan *transport sediment* bersih. Variasi persamaan yang dikembangkan Dalvin (1972) adalah sebagai berikut :

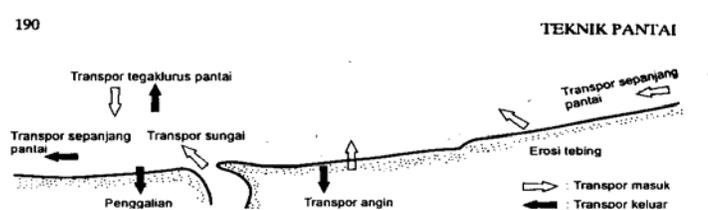
$$Q_g = 0.03636\sqrt{g}H_b^{5/2} \tag{2.42}$$

Dimana :

- Q_g = Transport kotor/bruto tahunan
- G = Percepatan gravitasi
- H_b = Tinggi gelombang pecah pertahun

2.7.4 Model Perubahan Garis Pantai

Analisis imbangan sedimen pantai dapat digunakan untuk mengevaluasi suatu pantai yang mengalami akresi dan erosi. (Gambar 2.55) menunjukkan imbangan sedimen pantai pada suatu ruas pantai. Akresi dan erosi yang terjadi di sertai dengan maju dan mundurnya garis pantai.



Gambar 2.55 Imbangan Sedimen Pantai

Model perubahan garis pantai didasarkan pada persamaan kontinuitas sedimen. Untuk itu pantai dibagi menjadi sejumlah sel (ruas). Pada tiap sel ditinjau angkutan sedimen yang masuk dan keluar. Sesuai dengan hukum kekekalan massa, jumlah laju aliran massa netto di dalam sel adalah sama dengan laju perubahan massa dalam di dalam tiap satuan waktu. Laju aliran massa sedimen netto di dalam sel adalah :

$$M_n = \rho_s(Q_m - Q_k) = -\rho_s(Q_k - Q_m) = -\rho_s\Delta Q \tag{2.43}$$

Laju perubahan massa dalam setiap satuan waktu adalah

$$M_t = \frac{\rho_s V}{\Delta t} \tag{2.44}$$

Dimana ρ_s adalah rapat massa sediment, Q_m dan Q_k masing-masing adalah debit sedimen masuk dan keluar sel.

Dengan menyamakan persamaan tersebut, didapat persamaan

$$\frac{\Delta y}{\Delta t} = -\frac{1}{d} \frac{\Delta Q}{\Delta x} \dots\dots\dots (2.45)$$

Dimana :

- y : jarak antara garis pantai dan garis referensi
- Q : trasnpor sedimen sepanjang pantai
- t : waktu
- x : absis searah panjang pantai
- d : kedalaman air yang tergantung pada profil pantai

2.8 Penjelasan Program GENESIS

Untuk membantu dalam penyelesaian laporan ini, penulis menggunakan program GENESIS. Pada program GENESIS dapat memperkirakan nilai longshore transport rate serta perubahan garis pantai akibat angkutan sedimen tanpa maupun dengan adanya struktur pada pantai untuk jangka waktu tertentu.

Nama GENESIS merupakan akronim dari (**GENE**ralized model for **SI**mulating **Shoreline**). Genesis merupakan sistem pemodelan numerik yang didesain untuk melakukan simulasi perubahan garis pantai pada proyek-proyek pengamanan pantai seperti (*Groin, Offshore breakwater, seawalls dan Beach fills*)

A. INPUT DATA

Data masukan untuk Genesis antara lain bentuk profil muka pantai , dan kondisi gelombang. Gelombang yang dijadikan input program genesis dapat berupa gelombang pada laut dalam atau gelombang pecah di area yang akan dilakukan penyelidikan mengenai perubahan garis pantai.

Jika data masukan berupa data geombang laut dalam maka untuk meramalkan kondisi gelombang pada area gelombang pecah program akan mengasumsikan arah gelombang sebagai garis lurus dengan menganggap kondisi kontur di area gelombang pecah adalah lurus dan paralel.

Jika data yang digunakan adalah data cuaca maka untuk merubah kedalam gelombang dipergunakan program yaitu RCPWAVE. Program ini digunakan untuk mentransformasikan data angin menjadi data gelombang (Tinggi gelombang , periode gelombang dan arah gelombang.) sehingga dapat menjadi data masukan perhitungan di dalam program GENESIS .

B. PROSES KALKULASI

Proses kalkulasi dilakukan dengan melakukan prediksi *longshore transport* berdasarkan pada bentuk muka pantai. Sedangkan untuk peramalan garis pantai akan dilakukan kalkulasi dengan mempertimbangkan aspek-aspek *longshore transport* yang terjadi.

Longshore transport rate (Q), atau tingkat angkutan sedimen sejajar pantai, lazim mempunyai satuan meter kubik / tahun (dalam SI). Karena pergerakannya sejajar pantai maka ada dua alternatif pergerakan, yaitu ke arah kanan dan kiri relatif terhadap seorang pengamat yang berdiri di pantai menghadap ke arah laut. Pergerakan dari kanan ke kiri diberi notasi (Q_{lt}), dan pergerakan ke arah kanan (Q_{rt}), sehingga di dapatkan tingkat angkutan sedimen 'kotor' (gros) $Q_g = Q_{lt} + Q_{rt}$, dan tingkat angkutan 'bersih' (net) $|Q_n| = Q_{lt} - Q_{rt}$. Nilai Q_g digunakan untuk meramalkan tingkat pendangkalan pada suatu alur perairan terbuka. Q_n digunakan untuk desain alur yang di lindungi dan perkiraan erosi pantai, dan Q_{lt} serta Q_{rt} untuk penumpukan sedimen di 'dibelakang' sebuah struktur pantai yang menahan pergerakan sedimen.

Dalam perhitungan program Genesis penghitungan *longshore transport* dilakukan dengan menggunakan persamaan hasil modifikasi dari persamaan :

$$Q_{(+)} = \frac{1}{2}(Q_g + Q_n) \quad (2.46)$$

$$Q_{(-)} = \frac{1}{2}(Q_g - Q_n) \quad (2.47)$$

Hasil persamaan yang telah dimodifikasi ditulis di dalam persamaan berikut ini :

$$Q = \frac{(H^2 C_g)_B}{8 \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) a \cdot (1.416)} \quad (2.48)$$

$$\left[\frac{k_1}{2} \sin 2\theta_b - \frac{K_2 \cdot \cos \theta_b}{1.416 \tan \beta \cdot x} \right]_b \quad (2.49)$$

Dimana :

H = Tinggi gelombang

Cg = Kecepatan group gelombang (berdasarkan teori gelombang Linear)

a = 1- porositas pasir di area pantai (diambil 0.6)

ρ_s = Masa jenis pasir

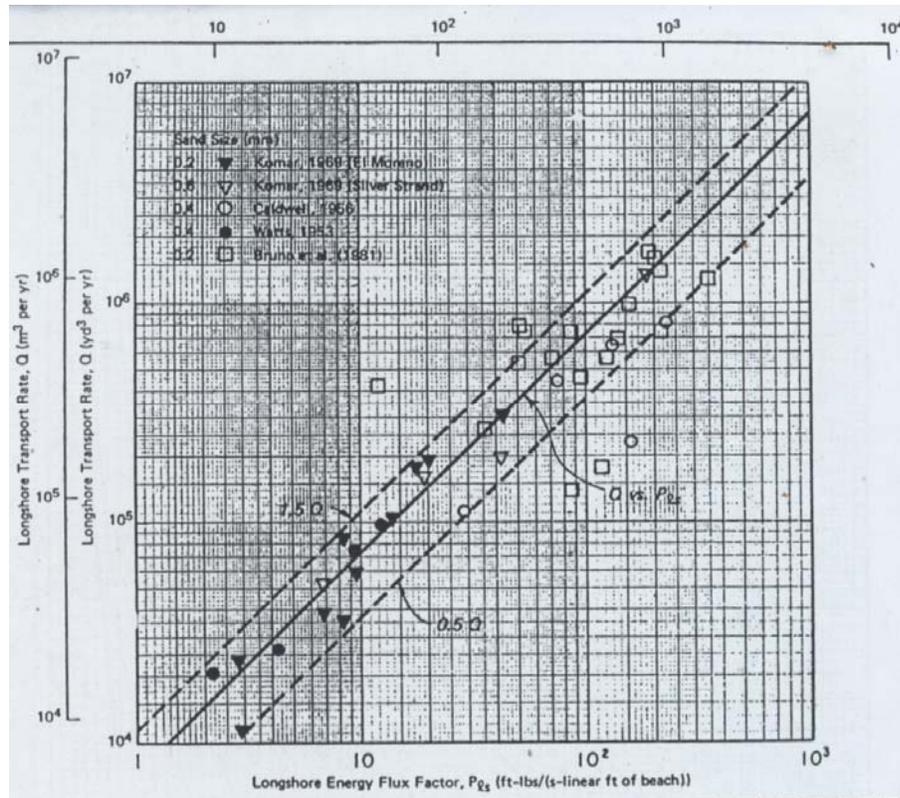
ρ = Masa jenis air

θ_b = Angle breaking wave makes with the local shoreline.

K1 = Koefisien pendekatan untuk hubungan antara nilai *transport* dan *longshore* energiflux diambil dari gambar (2.70)

K2 = Adalah koefisien perbandingan antara kemiringan pantai dengan ketinggian gelombang pecah (diambil 0.39) dari SPM 1984

$\tan \beta$ = Kemiringan dasar pantai sepanjang area (*Surf Zone*) sampai dengan *longshore sand transport*



Gambar 2.56 Kurva Koefisien Pendekatan

Hubungan Antara Nilai Transport dan Longshore Energi Flux

Sumber : SPM 1984 (*Shore Protection Manual*)

C. GROIN.

GENESIS dapat memperhitungkan pengaruh adanya *Groin*, *Breakwater*, *Seawalls* dan *Beach fills* terhadap kondisi garis pantai.

Struktur groin dibagi menjadi 2 bagian yaitu *diffracting* dan *non diffracting*. *Nondiffracting* groin biasanya memilih panjang yang relatif lebih pendek jika dibandingkan dengan *diffracting* groin. Program Genesis juga memungkinkan pengguna untuk memasukkan nilai permeabilitas groin yang pada akhirnya akan mempengaruhi kondisi sedimen yang lolos dan yang tertahan oleh groin. Permeabilitas groin juga dapat disesuaikan dan digunakan sebagai faktor kalibrasi sehingga didapatkan prototipe groin yang sesuai dengan perubahan garis pantai yang di kehendaki.

Faktor lain yang dapat mempengaruhi *transport sediment* yang dapat dilewatkan oleh groin adalah lokasi *breaking line* groin dihitung relatif terhadap *seaward* sampai dengan akhir dari struktur groin. Kondisi asumsi terjadinya *longshore transport* adalah pada kedalaman 1.6 kali dari kedalaman gelombang pecah, dengan ketinggian gelombang *significant* berdasarkan dari hasil perhitungan (Hallermeier 1983). Jika kedalaman *breaking line* lebih besar dari kedalaman ujung groin, maka beberapa material angkutan sedimen akan dilewatkan di sekitar ujung groin. Besarnya angkutan sedimen dihitung dengan mengasumsikan bahwa besarnya *longshore transport* adalah sama. Sehingga besarnya pasir yang dilewatkan pada ujung groin dapat dihitung dengan menggunakan rasio perbandingan antara panjang groin dan posisi terjadinya *longshore transport* terhadap posisi garis pantai.

D. BREAKWATERS

Didalam melakukan perhitungan terhadap struktur breakwater program GENESIS mengasumsikan struktur breakwater sebagai *diffracting* struktur dengan perambatan gelombang di sekitar ujung dari breakwater. Setiap ujung breakwater di asumsikan sebagai ” *energi window* ” sehingga perhitungan *longshore transport* dihitung terhadap setiap titik garis pantai dengan berdasarkan pada perambatan energi gelombang yang melewati dua ” *energi window* ” dimana salah satunya didefinisikan sebagai perambatan energi gelombang di ujung-ujung breakwater.

Program GENESIS menggunakan acuan yang diberikan oleh (Hanson dan Kraus , 1990) didalam perhitungan tombolo dan salient, dimana untuk perhitungannya digunakan pertimbangan-pertimbangan berdasar pada variasi cuaca, panjang breakwater, koefisien transmisi gelombang dan jarak break water terhadap garis pantai.

E. SEAWALLS DAN BULKHEAD

GENESIS juga mampu memprediksi perubahan garis pantai di sekitar seawalls dan Bulkheads. Pada area pantai yang terjadi abrasi tetapi telah dipasang seawalls atau bulkhead, perhitungan abrasi akan tertahan setelah garis pantai mencapai posisi dibangunnya *seawalls* dan *bulkhead*. Kemudian posisi titik awal terjadinya *updrift* pada seawalls dianggap sebagai acuan garis pantai baru, dimana nilai longshore transport dianggap konstan seperti permulaan (sebelum dibangunnya struktur perkuatan dinding).

F. SKEMA PERHITUNGAN STABILISASI GARIS PANTAI.

GENESIS memiliki beberapa fitur yang dapat membantu didalam melakukan pemilihan terhadap beberapa alternatif bangunan pengaman pantai. Seperti misalnya didalam pembuatan groin, GENESIS dapat meramalkan kondisi garis pantai jika digunakan beberapa alternatif pembuatan groin dengan kombinasi jarak dan panjang groin. Atau pada perhitungan struktur *Breakwater* GENESIS dapat meramalkan efek yang akan terjadi terhadap garis pantai dengan melakukan perhitungan terhadap beberapa alternatif *layout* (panjang,*spacing*, dan jarak *breakwater* terhadap posisi pantai). Hal ini dapat sangat membantu didalam pemilihan *layout* suatu bangunan pengaman pantai, sehingga didapatkan respon perubahan garis pantai yang diinginkan.