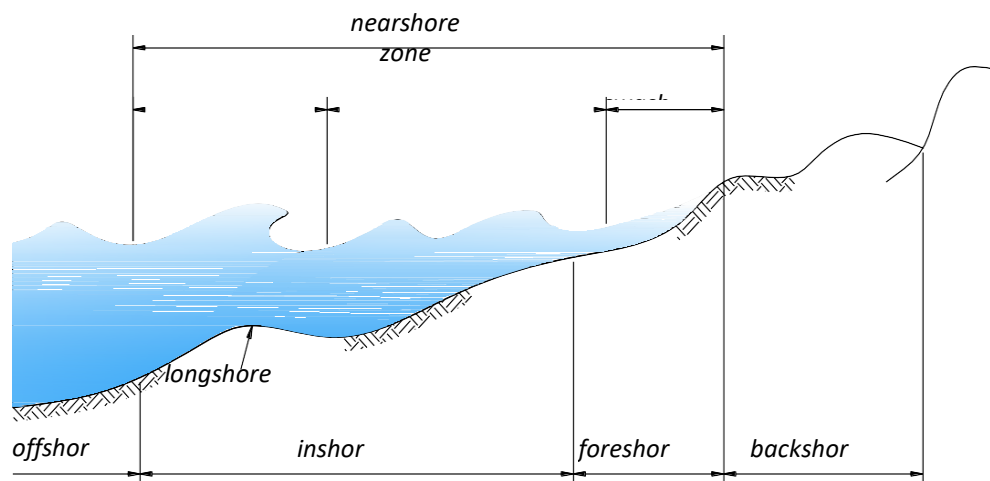


BAB II STUDI PUSTAKA

2.1 Pengertian Pantai

Pantai adalah daerah yang terbentang dari tempat terjadinya perubahan fisiografi seperti tebing pantai, bukit pasir (*dune*), atau tempat dimana terdapat tumbuh-tumbuhan permanen sampai ke suatu tempat di perairan (laut) dimana sedimen dasar tidak dipengaruhi gelombang permukaan (Triatmodjo, 1988:4).

Daerah pantai (*coastal area*) secara umum dapat dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu *coast*, *beach shore*, dan *nearshore inshore*. Gambar profil pantai disajikan pada Gambar 2.1. berikut ini.



Gambar 2.1. Profil pantai (Sumber : Triatmodjo, 1999 : 3)

Keterangan:

1. *Nearshore* adalah daerah yang terbentang ke arah pantai dari garis gelombang pecah.
2. *Backshore* adalah daerah yang terbentang antara batas *foreshore* dan garis pantai yang dipengaruhi oleh gelombang pada saat badai dan air pasang tertinggi.
3. *Foreshore* adalah daerah yang terbentang dari garis pantai pada saat

muka air rendah sampai batas atas dari gelombang yang bergerak naik pada saat air pasang tertinggi.

4. *Inshore* adalah daerah dari profil pantai yang membentang ke arah laut dari *foreshore* sampai tepat di luar daerah gelombang pecah.
5. *Offshore* adalah daerah lepas pantai.
6. *Breaker zone* adalah daerah dimana gelombang yang datang dari laut (lepas pantai) mencapai ketidakseimbangan dan pecah.
7. *Surf zone* adalah daerah yang terbentang antara bagian dalam dari gelombang pecah dan batas naik turunnya gelombang di pantai.
8. *Swash zone* adalah daerah yang dibatasi oleh garis batas tertinggi naiknya gelombang dan batas terendah turunnya gelombang di pantai.
9. *Longshore bar* adalah gunduk pasir yang memanjang dan kira-kira sejajar garis pantai, terbentuk karena proses gelombang pecah di daerah *inshore*.

2.2 Bangunan Pengaman Pantai

2.2.1 Pengertian Secara Umum

Erosi pantai merupakan salah satu permasalahan di daerah pantai yang harus mendapatkan perhatian yang besar dari semua pihak baik pemerintah pusat, pemerintah daerah, maupun masyarakat yang tinggal di daerah pantai dan sekitarnya. Dampak dari erosi ini dapat menimbulkan kerugian yang sangat besar berupa rusaknya kawasan pemukiman dan fasilitas-fasilitas yang ada di daerah tersebut. Langkah pertama untuk menanggulangi erosi pantai adalah mencari penyebab terjadinya erosi. Dengan mengetahui penyebabnya, selanjutnya dapat ditentukan cara penanggulangannya, yang biasanya adalah dengan membuat bangunan pelindung pantai atau menambah suplai sedimen serta melakukan pengelolaan pantai secara terpadu.

Bangunan pantai yang dibangun dapat digunakan untuk melindungi pantai terhadap kerusakan karena serangan gelombang dan arus maupun untuk

kepentingan lainnya seperti fasilitas untuk menarik wisatawan khususnya untuk daerah pantai wisata. Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk melindungi pantai, yaitu:

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

2.2.2 Bangunan Pengaman Pantai

Berdasarkan fungsinya bangunan pantai secara umum dapat diklasifikasikan dalam tiga kelompok yaitu:

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

Beberapa jenis bangunan pantai:

1. *Breakwater*

Pemecah gelombang atau *breakwater* adalah suatu bangunan pantai yang bertujuan untuk mematahkan/menahan energi gelombang yang datang menuju pantai sehingga karakteristik gelombang yang datang sesuai dengan yang direncanakan/disyaratkan. Bangunan *breakwater* pada umumnya dibuat untuk melindungi konstruksi bangunan pantai lainnya seperti pelabuhan, kawasan pantai wisata, dan bisa juga untuk melindungi garis pantai dari bahaya erosi dan sedimentasi. Bangunan *breakwater* tersebut biasanya terbuat dari tumpukan batu, beton, ataupun baja sesuai dengan tipe *breakwater*nya. Berikut adalah gambar dari bangunan *Breakwater* pada Pantai Pasuaran. (Pratikto, dkk 2014)



Gambar 2.2. *Breakwater*

Breakwater dapat digolongkan ke dalam beberapa tipe/macam, antara lain:

a. *Slopping Breakwater*

Konstruksi *Breakwater* ini dibuat dengan kemiringan/slope tertentu yang terdiri atas tumpukan batu/beton dimana stabilitas tumpukan tersebut tergantung pada kemiringan tumpukannya.

b. *Upright Breakwater (Breakwater dinding tegak)*

Breakwater tipe ini terbuat dari konstruksi beton atau baja yang dibuat tegak lurus/vertikal yang merupakan suatu struktur yang solid/massif. Tipe ini bisa lebih “ramping” tetapi perlu pengecekan stabilitas yang lebih teliti dikarenakan energi gelombang tidak diserap melainkan dipantulkan/ditahan oleh struktur *breakwater* tersebut.

c. *Composite Breakwater*

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

d. *Breakwater tipe khusus*

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

2. *Jetty*

Pada prinsipnya bangunan *jetty* hampir sama dengan bangunan *breakwater*. Namun, yang membedakan antara *jetty* dengan *breakwater* biasa ialah fungsi penggunaannya. Bangunan *jetty* biasanya berfungsi sebagai:

1. Stabilisasi mulut pelabuhan (inlet) dari bahaya sedimentasi pada sisi laut.
2. Stabilisasi muara sungai dari proses pendangkalan/*shoaling*.
3. Sebagai tambatan kapal, terutama pada *jetty* dengan struktur beton.

Secara umum struktur bangunan *jetty* hampir sama dengan struktur bangunan *breakwater*. Pada Gambar 2.4. berikut adalah contoh bangunan *jetty*. Oleh karena itu material penyusunnya pun sama dengan *breakwater*. (Pratikto, dkk 2014)



Gambar 2.3. *Jetty*

Berikut ini beberapa material yang umum dipakai untuk bangunan *jetty* antara lain:

- a. *Rubble mound jetties*, penggunaan material batuan akan memberikan beberapa keuntungan antara lain:
 - 1) *Settlement* yang terjadi dapat *direduce* oleh material penyusunnya
 - 2) Mudah diperbaiki apabila terjadi kerusakan

- 3) Material penyusun dapat menyerap energi gelombang
- b. *Sheet pile jetties*, konstruksi *jetty* dengan memakai konstruksi *sheetpile* dapat digolongkan pada dua kondisi:
- 1) *Sheetpile* pada satu sisinya saja, dapat digunakan *tie-rod* dan anker atau *batter pile* sebagai pendukung stabilitas *sheetpile* tersebut.
 - 2) *Sheetpile* dengan dua sisi, antara kedua sisi *sheetpile* tersebut bisa diikat dengan *tie-rod* atau kedua-duanya berdiri sendiri. Ruang yang ada diantara kedua *sheetpile* tersebut bisa diisi dengan material pasir atau kerikil/*gravel*.
- c. *Concrete structure jetties*, konstruksi *jetty* yang terbuat dari beton biasanya digunakan untuk bertambatnya kapal, akan tetapi harus dilengkapi bangunan lainnya seperti *dolphin* atau *testacle/ access bridge*.

3. *Revetment*

Revetment adalah struktur yang digunakan untuk melindungi daerah tepi pantai atau sungai. untuk menyerap energi gelombang biasanya dibangun guna mempertahankan fungsi alami garis pantai dan menjaga kemiringan pantai. Pada Gambar 2.4. berikut adalah contoh *Revetment*. Struktur perlindungan terhadap kemiringan pantai secara menyeluruh atau struktur yang porous (memungkinkan adanya sebagian air yang lewat, setelah energi gelombang dipecahkan). (Pratikto, dkk 2014)



Gambar 2.4. *Revetment*

Kebanyakan struktur *revetment* tidak mempunyai efek yang signifikan terhadap pergerakan *litoral drift*. Struktur *revetment* tidak menyebabkan energi gelombang yang timbul dan mempengaruhi daerah yang tidak terlindungi meskipun daerah pantai di depan struktur *revetment* cenderung mudah tererosi. Bagaimanapun juga material pantai yang tererosi sebelum proses pembangunan *revetment* turut membantu proses pemulihan kondisi sekitarnya. Percepatan proses erosi yang terjadi setelah pembangunan *revetment* dapat dikendalikan dengan membangun struktur perlindungan pantai seperti groin atau *breakwater*.

4. *Seawall*

Seawall hampir serupa dengan *revetment* (struktur pelindung pantai yang dibuat sejajar pantai dan biasanya memiliki permukaan miring), yaitu dibuat sejajar pantai namun *seawall* memiliki dinding relatif tegak atau lengkung. Pada Gambar 2.5 di bawah ini merupakan contoh gambar dari *seawall*, *seawall* juga dapat dikatakan sebagai dinding banjir yang berfungsi sebagai pelindung/penahan terhadap kekuatan gelombang. *Seawall* pada umumnya dibuat dari konstruksi padat seperti beton, turap baja/kayu, pasangan batu atau pipa beton sehingga *seawall* tidak meredam energi gelombang, tetapi gelombang yang memukul permukaan *seawall* akan dipantulkan kembali dan menyebabkan gerusan pada bagian tumitnya. (Pratikto, dkk 2014)



Gambar 2.5. *Seawal*

5. Groins

Groins adalah suatu bangunan pelindung pantai yang direncanakan untuk menangkap transportasi sedimen sejajar pantai dan dibangun tegak lurus pantai. Groins dapat melebarkan pantai dengan menahan sedimen sejajar pantai (*littoral drift*) atau dapat menstabilkan dan mengendalikan erosi pada daerah garis pantai dengan mengurangi kecepatan hilangnya sedimen pantai. Oleh karena itu, groins sangat efektif jika erosi pantai yang terjadi akibat transportasi sedimen sejajar pantai yang terganggu pasir. Apabila transportasi sedimen tegak lurus pantai atau dari pantai menuju lepas pantai atau sebaliknya (*offshore – onshore transport*) dan atau material pantai berupa lumpur atau tanah liat, maka groins tidak akan memberikan kontribusi positif terhadap perlindungan pantai. Berikut adalah gambar dari bangunan *groins* pada Pantai Anyer. (Pratikto, dkk 2014)

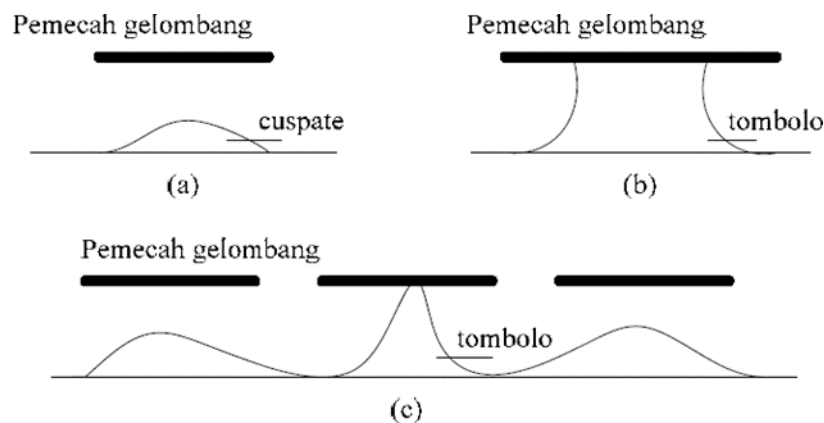


Gambar 2.6. *Groins*

2.3 Pemecah Gelombang Lepas Pantai

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 di belakangnya dari serangan gelombang. Pemecah gelombang lepas pantai dapat dibuat dari satu pemecah gelombang atau satu seri bangunan yang terdiri atas beberapa ruas pemecah gelombang yang dipisahkan oleh celah. Gambar 2.7. menunjukkan pengaruh bangunan pemecah

gelombang lepas pantai terhadap perubahan garis pantai. Pada Gambar 2.7.a. menunjukkan dimana panjang pemecah gelombang relatif kecil terhadap jaraknya dari garis pantai dapat menyebabkan terbentuknya tonjolan daratan dari garis pantai ke arah laut (I), sedang Gambar 2.7.b. menunjukkan terbentuknya tombolo oleh pemecah gelombang yang cukup panjang, dan Gambar 2.7.c. menunjukkan pengaruh suatu seri pemecah gelombang terhadap bentuk pantai di belakangnya.



Gambar 2.7. Pemecah gelombang lepas pantai
(Sumber: Triatmodjo, 1999 : 225)

2.4 Prinsip Dasar Perencanaan Pemecah Gelombang

Pemecah gelombang tumpukan batu dibangun berlapis dengan lapisan paling luar yang terdiri atas batu lindung yang paling besar atau paling berat, sedangkan makin ke dalam ukurannya makin kecil. Dasar perencanaan konstruksi adalah lapis luar akan menerima beban gaya (dari gelombang) yang paling besar, sehingga ukurannya harus direncanakan sedemikian berat hingga masih cukup stabil. Mengingat batu ukuran besar harganya lebih mahal, maka bagian dalam dari pemecah gelombang dapat diisi dengan batu yang ukurannya lebih kecil. Syarat utama ukuran bahan yang dipakai lapisan dalam adalah tidak boleh tercuci lewat pori-pori atau rongga lapisan luar. Bentuk pemecah gelombang biasanya sangat ditentukan oleh bahan bangunan yang tersedia di

lokasi pekerjaan. Di samping itu diperluaka pula ukuran batu pemecah gelombang disesuaikan dengan peralatan yang akan dipergunakan untuk membangun.

2.5 Bahan Lapis Lindung

Bahan lapis lindung yang dipakai untuk pemecah gelombang harus memenuhi syarat-syarat berikut ini:

1. Bahan lapis lindung harus tahan terhadap keadaan lingkungan (tidak mudah lapuk, tidak rusak karena bahan kimia, tahan terhadap gaya dinamik yang berasal dari gelombang pecah, dan sebagainya).
2. Batu (alam ataupun buatan) harus mempunyai berat jenis yang cukup besar ($> 2,6$). Makin besar berat jenis bahan yang dipakai, makin kecil ukuran batu yang diperlukan, sehingga mempermudah pelaksanaan pekerjaan.
3. Bahan lapis lindung haruslah cukup kasar sehingga mampu menahan gaya-gaya yang disebabkan oleh gelombang.
4. Bahan lapis lindung yang dipakai haruslah yang relatif murah. Perlu pemilihan jenis bahan yang ada di lokasi pekerjaan, sehingga didapatkan jenis kontruksi yang murah.

2.6 Sifat-Sifat Bahan Lapis Lindung

Sifat-sifat bahan lapis lindung perlu dikuantifikasikan dalam suatu parameter untuk keperluan penentuan ukuran lapis lindung. Ada empat sifat bahan lapis lindung yang penting dan dua diantaranya sangat penting untuk perhitungan stabilitas kontruksi (ρ_a dan K_d). Sedangkan kedua sifat yang lain sangat penting untuk penentuan ukuran pemecah gelombang. Keempat sifat tersebut adalah:

1. Rapat massa batuan, ρ_a ("mass density")

$$\text{Rapat massa batu granit} = 2650 - 3000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Rapat massa batu basalt} = 2700 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Rapat massa limestone} = 2300 - 2750 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Rapat massa beton} = 2300 - 3000 \text{ kg/m}^3$$

Limestone blok jarang digunakan untuk pemecah gelombang karena rapat massanya yang relatif rendah dan tidak tahan terhadap lingkungan (cuaca, gempuran gelombang, bahan kimia, dan sebagainya). Rapat massa beton dapat diusahakan tinggi dengan cara menggunakan bahan agregat khusus. Beton yang digunakan harus mempunyai kekuatan paling tidak 30 N/mm^2 pada saat berumur 28 hari.

2. Koefisien batu lindung, K_d (“damage coefficient”)

Koefisien ini merupakan pencerminan dari berbagai sifat-sifat bahan yang belum termasuk dalam ketiga sifat bahan yang dijelaskan (ρ_a , $K\Delta$, n). sifat-sifat bahan yang diwakili oleh koefisien K_d antara lain: bentuk batu, kekasaran, tingkat “interlocking”, lokasi batu dalam pemecah gelombang, dan sebagainya.

3. Koefisien lapisan, $K\Delta$ (“layer coefficient”, packing coef”)

Koefisien ini menunjukkan tingkat bahan lapis lindung untuk bergabung bersama dalam suatu lapisan. Koefisien ini penting untuk menentukan ukuran ketebalan lapisan.

4. Koefisien porositas, n (“porosity”)

Koefisien ini menunjukkan rasio antara volume rongga (“void volume”) dengan total volume. Koefisien ini terutama untuk menentukan jumlah batu (“armour unit”) dalam suatu proyek.

2.7 Pembangkitan Gelombang

2.7.1 Pembangkitan Gelombang Yang Dipengaruhi Oleh Angin

Angin yang berhembus di atas permukaan air akan memindahkan energi air. Kecepatan angin akan menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga permukaan air yang tadinya tenang akan terganggu dan timbul riak gelombang kecil di atas permukaan air. Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut akan menjadi semakin besar, dan apabila angin berhembus terus akhirnya akan berbentuk gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, semakin besar gelombang yang terbentuk.

1. Koreksi lokasi

Biasanya pengukuran angin dilakukan di darat, padahal dalam rumus-rumus pembangkitan gelombang data angin yang digunakan adalah data di atas permukaan air laut. Karena itulah diperlukan transformasi data di atas permukaan laut. Oleh karenanya diperlukan transformasi dari data angin di atas daratan yang terdekat dengan lokasi studi menjadi data angin di atas permukaan laut. Hubungan antara kecepatan angin di atas laut dengan di darat adalah:

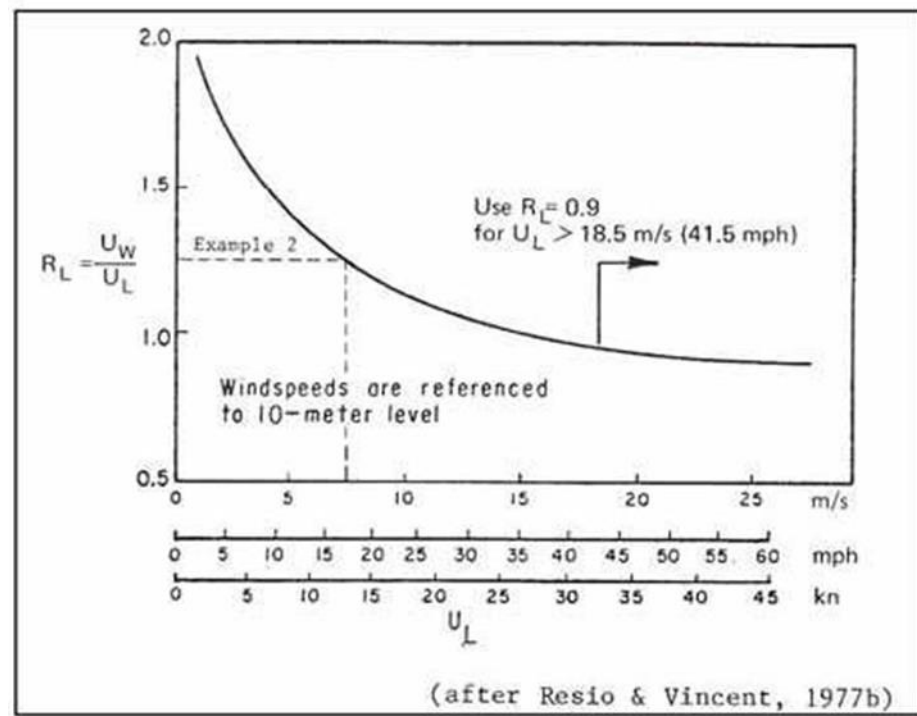
$$R_L = U_w/U_L \dots\dots\dots(2.1)$$

Dengan:

U_w : kecepatan angin di laut (m/dt).

U_L : kecepatan angin di darat (m/dt)

Grafik hubungan antara U_w dengan U_L disajikan di dalam **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8. Faktor Koreksi Lokasi Pengamatan

(Sumber: Triatmodjo, 1999 : 154)

Rumus-rumus dan grafik-grafik pembangkitan gelombang mengandung

variabel U_A , yaitu faktor tegangan angin (*wind-stress factor*) yang dapat dihitung dari kecepatan angin. Setelah dilakukan berbagai konversi kecepatan angin seperti yang dijelaskan di atas, kecepatan angin dikonversikan pada faktor tegangan angin dengan menggunakan rumus berikut:

$$U_A = 0,71 U^{1,23} \dots\dots\dots (2.2)$$

Di mana U adalah kecepatan angin dalam m/d .

2.8 Fetch

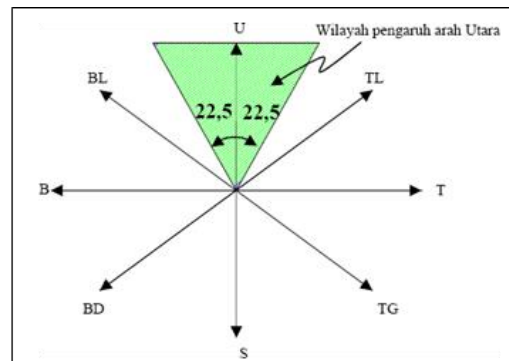
Fetch adalah panjang daerah dimana angin berhembus dengan kecepatan dan arah yang konstan, dalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin, tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Peristiwa ini terjadi pada daerah pembentukan gelombang *Fetch* rata-rata efektif diberikan oleh persamaan berikut:

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dengan :

- F_{eff} : *fetch* rata-rata efektif.
- X_i : panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*.
- α : deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6 pada kedua sisi dari arah angin.

Tiap arah mata angin meliputi wilayah pengaruh *fetch* $22,50^\circ$ searah jarum jam dan $22,50$ berlawanan arah jarum jam seperti terlihat pada Gambar 2.9.

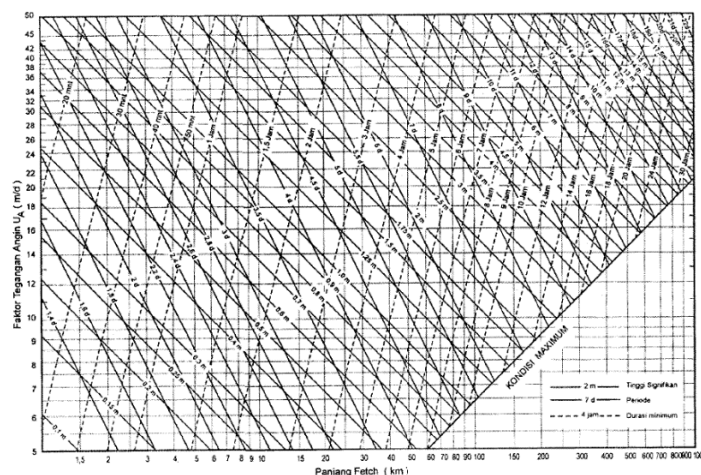


Gambar 2.9. Wilayah Pengaruh *Fetch*

2.9 Pemilihan gelombang rencana

Bangunan pelabuhan harus direncanakan untuk mampu menahan gaya-gaya yang bekerja padanya. Hitungan stabilitas bangunan biasanya didasarkan pada kondisi ekstrim, dimana dengan kondisi tersebut bangunan harus tetap aman.

Untuk menghitung gaya-gaya gelombang maksimum yang bekerja pada bangunan atau berat batu pelindung pemecah gelombang diperlukan pemilihan tinggi dan periode gelombang rencana yang dapat mempresentasikan spektrum gelombang selama kejadian ekstrim, Adapun peramalan gelombang dilakukan dengan menggunakan grafik pada Gambar 2.10 berikut ini.



Gambar 2.10. Grafik Peramalan Gelombang

2.10 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 di bumi. Bentuk pasang surut di berbagai daerah tidak sama. Secara umum pasang surut di berbagai daerah dapat dibedakan dalam empat tipe sebagai berikut:

1. Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*), dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi secara berurutan secara teratur. Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit. Pasang surut jenis ini terdapat di selat Malaka sampai laut Andaman.
2. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut. Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit. Pasang surut tipe ini terjadi di perairan selat Karimata.
3. Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*), dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda. Pasang surut jenis ini banyak terdapat di perairan Indonesia Timur.
4. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*), pada tipe ini dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda. Pasang surut jenis ini terdapat di selat Kalimantan dan pantai Utara Jawa Barat.

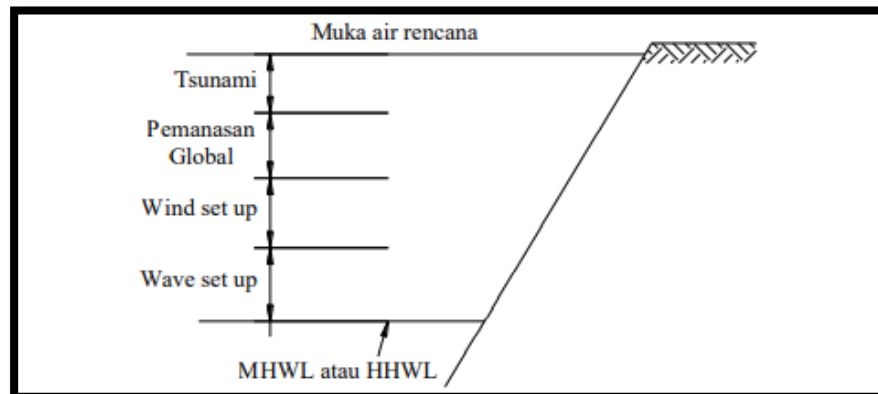
Mengingat elevasi muka air laut selalu berubah setiap saat, maka diperlukan suatu elevasi yang ditetapkan berdasar data pasang surut, yang dapat digunakan sebagai pedoman di dalam perencanaan suatu pelabuhan dan bangunan pantai. Beberapa elevasi tersebut adalah sebagai berikut ini:

1. Muka air tinggi (*high water level*), muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut.

2. Muka air rendah (*low water level*), 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 rata-rata dari muka air tinggi selama periode 19 tahun.
4. Muka air rendah rerata (*mean low water level*, MLWL), adalah rata-rata dari muka air rendah selama periode 19 tahun.
5. Muka air laut rerata (MSL), adalah muka air rata-rata antara muka air tinggi rata-rata dan muka air rendah rata-rata. Elevasi ini digunakan sebagai referensi untuk elevasi di daratan.
6. Muka air 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.

Perencanaan bangunan pantai biasanya dibatasi oleh waktu, antara 6 bulan sampai satu tahun atau lebih, tergantung pada volume pekerjaan dan permasalahannya. Dengan demikian untuk mendapatkan data pasang surut di lokasi pekerjaan sepanjang 19 tahun tidak dapat dilakukan. Dalam hal ini elevasi muka air laut (MHWL, MLWL, MSL) ditentukan berdasarkan pengukuran pasang surut selama minimum 15 hari. (Triatmodjo, 1999)

Merencanakan suatu bangunan pantai harus ditentukan terlebih dahulu elevasi muka air laut rencana. Elevasi tersebut merupakan penjumlahan dari beberapa parameter. Parameter-parameter tersebut yaitu pasang surut, tsunami, *wave set-up*, *wind set-up*, dan kenaikan muka air laut karena pemanasan global. Dalam kenyataan kemungkinan terjadinya faktor-faktor tersebut secara bersamaan adalah sangat kecil. Oleh karena itu beberapa parameter tersebut dapat digabungkan. Gambar 2.11. menunjukkan elevasi muka air rencana yang diakibatkan parameter-parameter tersebut diatas.



Gambar 2.11. Elevasi muka air laut rencana

(Sumber : Triatmodjo, 1999 : 127)

2.11 Sifat-Sifat Bahan Lapis Lindung

Penentuan ukuran lapis lindung membutuhkan sifat-sifat bahan lapis lindung yang perlu dikuantifikasikan dalam suatu parameter. Ada empat sifat bahan lapis lindung yang penting dan dua diantaranya sangat penting untuk perhitungan stabilitas konstruksi (ρ_a dan K_d). Sedangkan kedua sifat yang lain sangat penting untuk penentuan ukuran pemecah gelombang. Keempat sifat tersebut adalah:

1. Rapat massa batuan, ρ_a (“mass density”)

Rapat massa batu granit = 2650 – 3000 kg/m³

Rapat massa batu basalt = 2700 kg/m³

Rapat massa limestone = 2300 – 2750 kg/m³

Rapat massa beton = 2300 – 3000 kg/m³

Limestone blok jarang digunakan untuk pemecah gelombang karena rapat massanya yang relatif rendah dan tidak tahan terhadap lingkungan (cuaca, gempuran gelombang, bahan kimia, dan sebagainya). Rapat massa beton dapat diusahakan tinggi dengan cara menggunakan bahan agregat khusus. Beton yang digunakan harus mempunyai kekuatan paling tidak 30 N/mm² pada saat berumur 28 hari.

2. Koefisien batu lindung, K_d (“damage coefficient”)

Koefisien ini merupakan pencerminan dari berbagai sifat-sifat bahan yang belum termasuk dalam ketiga sifat bahan yang dijelaskan (ρ_a , $K\Delta$, n). Sifat-sifat bahan yang diwakili oleh koefisien K_d antara lain : bentuk batu, kekasaran, tingkat “interlocking”, lokasi batu dalam pemecah gelombang, dan sebagainya.

3. Koefisien lapisan, $K\Delta$ (“layer coefficient”, packing coef”)

Koefisien ini menunjukkan tingkat bahan lapis lindung untuk bergabung bersama dalam suatu lapisan. Koefisien ini penting untuk menentukan ukuran ketebalan lapisan.

4. Koefisien porositas, n (“porosity”)

Koefisien ini menunjukkan rasio antara volume rongga (“void volume”) dengan total volume. Koefisien ini terutama untuk menentukan jumlah batu (“armour unit”) dalam suatu proyek.

2.12 Gelombang Pecah

2.12.1 Gelombang Pecah di Laut Dalam

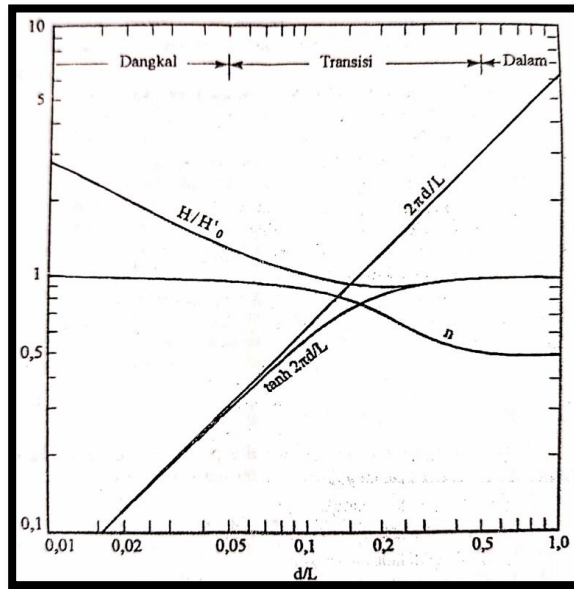
Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringannya yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Pada saat kemiringan gelombang maksimum di mana gelombang mulai tidak stabil, kecepatan partikel di puncak gelombang sama dengan kecepatan rambat gelombang. Kemiringan yang lebih tajam dari batas maksimum tersebut menyebabkan kecepatan partikel di puncak gelombang lebih besar dari kecepatan rambat gelombang sehingga terjadi ketidakstabilan dan gelombang pecah. Adapun kemiringan batas maksimum diberikan oleh bentuk (Triatmodjo, 2008:17):

$$\frac{H_0}{L_0} = \frac{1}{7} = 0,142 \dots \dots \dots (2.4)$$

Sedangkan persamaan cepat rambat gelombang dan panjang gelombang di laut dalam dapat dirumuskan sebagai berikut (Triatmodjo, 1999:17):

$$C_0 = \frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$L_0 = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \dots\dots\dots (2.6)$$



Gambar 2.12. Parameter Fungsi Kedalaman Relatif.

Indeks 0 menunjukkan bahwa nilai-nilai tersebut adalah untuk kondisi di laut dalam. Apabila percepatan gravitasi adalah $9,81 \text{ m/d}^2$ maka persamaan $L_0 = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi}$ menjadi :

$$L_0 = 1,56 T^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

2.13 Perencanaan Pemecah Gelombang Tumpukan Batu

1. Berat Batu Dua buah rumus yang dapat digunakan untuk menentukan berat batu lindung adalah:

a. Iribarren (1938)

$$W = \frac{\gamma r H^3}{K_d (S_e - 1)^3 (f \cos \theta + \sin \theta)^3} \dots\dots\dots (2.8)$$

$$S_r = \frac{\gamma r}{\gamma \alpha} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dengan :

W : berat butir batu pelindung (ton)

γ : berat jenis beton (ton/m³)

H : tinggi gelombang rencana (m)

Sr : rapat massa relatif

θ : sudut kemiringan sisi bangunan

γ_r : berat jenis batu

γ_a : berat jenis air laut

f : konstanta

Kd : koefisien jenis batu lindung

b. Van der Meer

$$W = \frac{4}{3} \pi \left(\frac{D_{n50}}{2} \right)^3 \dots\dots\dots (2.10)$$

Untuk gelombang plunging (di air dangkal):

$$\frac{H_{2\%}}{Sr D_{n30}} = 8,7 P^{0,18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0,2} \zeta_m^{-0,5} \dots\dots\dots (2.11)$$

Untuk gelombang surging (di air dangkal):

$$\frac{H_{2\%}}{Sr D_{n50}} = 1,4 P^{-0,13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0,2} \zeta_m^{-0,5} \dots\dots\dots (2.12)$$

Sedangkan

$$\zeta_m = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2\pi H_S}{g T_m^2}}} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$Sr = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$N = \frac{\text{lama hembus angin}}{\text{periode gelombang}} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dengan :

W : berat butir batu pelindung (ton)

Dn50 : diameter batu (m)

HS : tinggi gelombang signifikan (m)

H2% : nilai karakteristik tertinggi dari distribusi tinggi gelombang

$$\left(\frac{H_{2\%}}{H_s}\right) = 1,4$$

- T_m : periode gelombang (dt)
 S_r : rapat massa relatif
 Γ_r : berat jenis batu (kg/m^3)
 γ_a : berat jenis air laut (kg/m^3)
 α : sudut kemiringan dasar laut ($^\circ$)
 S : tingkat kerusakan bangunan pada akhir umur rencana
 P : faktor permeabilitas

c. Hudson (1953)

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \text{Cot} \theta} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dengan :

- W : berat butir batu pelindung (ton)
 H : tinggi gelombang rencana (m)
 S_r : rapat massa relatif
 θ : sudut kemiringan sisi bangunan
 γ_r : berat jenis batu
 γ_a : berat jenis air laut
 K_D : koefisien stabilitas yang tergantung pada bentuk batu pelindung (batu alam atau batu buatan), kekasaran permukaan batu, ketajaman sisi-sisinya, ikatan antar butir, keadaan pecahnya gelombang. Nilai K_d untuk berbagai bentuk batu pelindung diberikan dalam Tabel 2.1

Lapis Lindung	n	Penempatan	Lengan Bangunan		Ujung (kepala) Bangunan		Kemiringan
			K _D		K _D		
			Gelomb. Pecah	Gelomb. Tdk. Pecah	Gelomb. Pecah	Gelomb. Tdk. Pecah	
Batu pecah							
Bulat halus	2	Acak	1,2	2,4	1,1	1,9	1,5-3,0
Bulat halus	>3	Acak	1,6	3,2	1,4	2,3	*2
Bersudut kasar	1	Acak	*1	2,9	*1	2,3	*2
Bersudut kasar	2	Acak	2,0	4,0	1,9	3,2	1,5
Bersudut kasar	>3	Acak	2,2	4,5	2,1	4,2	*2
Bersudut kasar	2	Khusus*3	5,8	7,0	5,3	6,4	*2
Paralelepipedum	2	Khusus	7,0-20,0	8,5-24,0	-	-	
Tetrapod dan Quadripod	2	Acak	7,0	8,0	5,0	6,0	1,5
Tribar	2	Acak	9,0	10,0	4,5	5,5	2,0
Dolos	2	Acak	15,8	31,8	8,3	9,0	1,5
Kubus dimodifikasi	2	Acak	6,5	7,5	7,8	8,5	2,0
Hexapod	2	Acak	8,0	9,5	6,0	6,5	3,0
Tribar	1	Seragam	12,0	15,0	7,0	7,0	14,0
							3,0
							*2
							*2

Tabel 2.1. Koefisien stabilitas KD untuk berbagai jenis butir

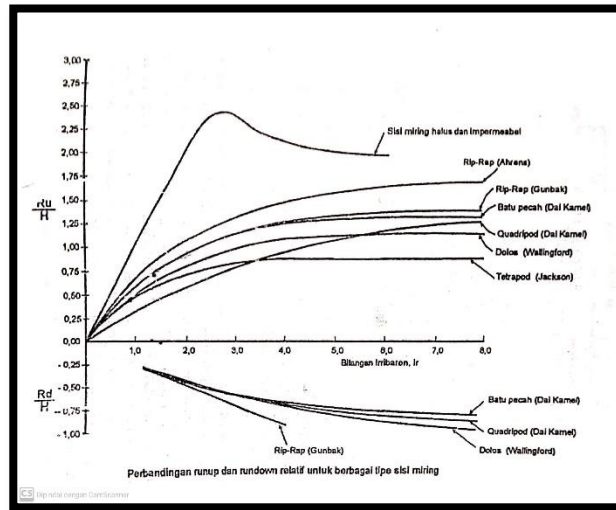
Catatan:

n : jumlah susunan butir batu dalam lapis lindung

*1 : penggunaan n=1 tidak disarankan untuk kondisi gelombang pecah

*2 : sampai ada ketentuan lebih lanjut tentang nilai KD, penggunaan KD dibatasi pada kemiringan 1:1,5 sampai 1:3

*3 : batu ditempatkan dengan sumbu panjangnya tegak lurus permukaan bangunan



Gambar 2.13. Grafik Runup Gelombang

2. Ukuran Pemecah Gelombang

a. Tinggi pemecah gelombang

Elevasi puncak bangunan dapat direncanakan, untuk submerged *breakwater* elevasi puncak bangunan berada dibawah permukaan air laut.

b. Lebar puncak Pemecah gelombang

Lebar bidang puncak dapat dihitung dengan rumus

$$B = nk_{\Delta} \left[\frac{W}{\gamma r} \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dengan :

B : lebar puncak

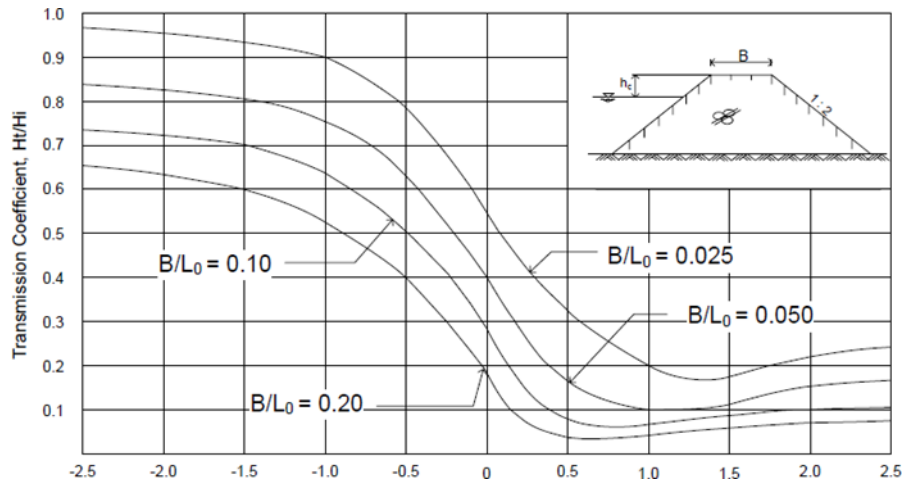
n : jumlah butir batu (n minimum = 3)

k Δ : koefisien lapis diberikan dalam tabel 2.4.

W : berat butir batu pelindung

γr : berat jenis batu lindung

Lebar puncak *breakwater* juga dapat ditentukan dengan menggunakan tabel yang diberikan oleh Tanaka dibawah ini :



Gambar 2.14. Koefisien transmisi untuk gelombang regular pada breakwater

Tebal dan Jumlah Butir Lapis Lindung Tebal dan jumlah butir lapis lindung dapat dihitung dengan rumus:

$$t = nk_{\Delta} \left[\frac{W}{r} \right]^{1/3} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$N = Ank_{\Delta} \left[1 - \frac{p}{100} \right] \left[\frac{\gamma_r}{w} \right] \dots\dots\dots (2.20)$$

Dengan:

- t : tebal lapis lindung (m)
- n : jumlah lapis batu dalam lapis lindung
- k Δ : koefisien lapis yang diberikan dalam tabel 2.9.
- A : luas permukaan
- P : porositas rerata dari lapis pelindung (%) yang diberikan dalam tabel 2.2
- N : jumlah butir batu untuk satuan lus permukaan (A)
- γ_r : berat jenis batu

Batu Lindung	n	Penempatan	Koefisien Lapis (k_{Δ})	Porositas P (%)
Batu alam (halus)	2	Random (acak)	1,02	38
Batu alam (kasar)	2	Random (acak)	1,15	37
Batu alam (kasar)	>3	Random (acak)	1,10	40
Kubus	2	Random (acak)	1,10	47
Tetrapot	2	Random (acak)	1,04	50
Quadripot	2	Random (acak)	0,95	49
Hexapot	2	Random (acak)	1,15	47
Tribard	2	Random (acak)	1,02	54
Dolos	2	Random (acak)	1,00	63
Tribar	1	seragam	1,13	47
Batu alam		Random (acak)		37

Tabel 2.2. Koefisien lapis

