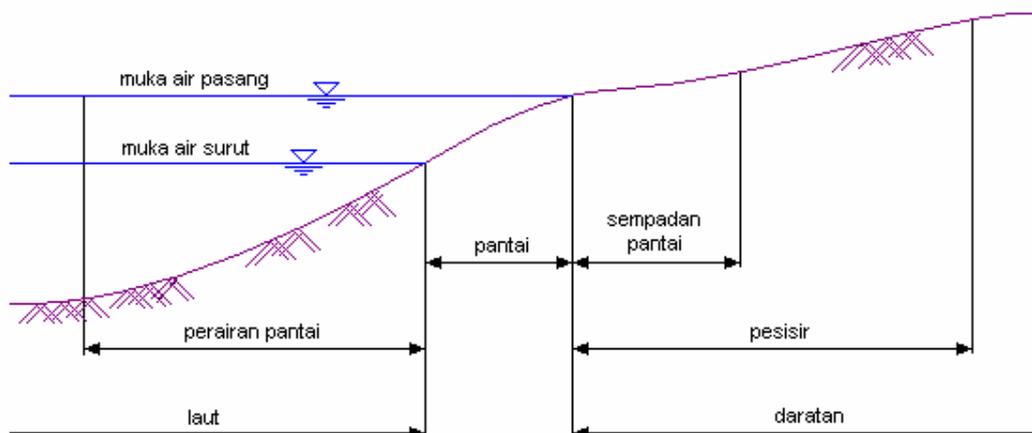


## BAB II STUDI PUSTAKA

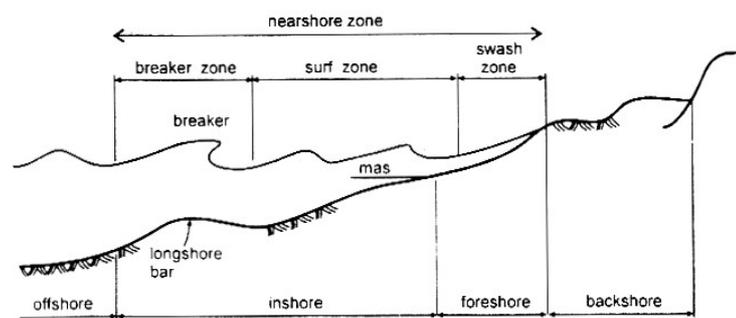
### 2.1 Definisi Pantai

Istilah pantai sering rancu dalam pemakaiannya yaitu antara *coast* (pesisir) dan *shore* (pantai). Definisi *coast* (pesisir) adalah daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut seperti pasang surut, angin laut dan perembesan air laut. Sedangkan *shore* (pantai) adalah daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh air pasang tertinggi dan air surut terendah. Daerah daratan adalah daerah yang terletak di atas dan di bawah permukaan daratan dimulai dari batas garis pasang tertinggi. Daerah lautan adalah daerah yang terletak di atas dan di bawah permukaan laut dimulai dari sisi laut pada garis surut terendah, termasuk dasar laut dan bagian bumi di bawahnya. Garis pantai adalah garis batas pertemuan antara daratan dan air laut dimana posisinya tidak tetap dan dapat berpindah sesuai dengan pasang surut air laut dan erosi pantai yang terjadi. Sempadan pantai adalah kawasan tertentu sepanjang pantai yang mempunyai manfaat penting untuk mempertahankan kelestarian fungsi pantai. Kriteria sempadan pantai adalah daratan sepanjang tepian yang lebarnya sesuai dengan bentuk dan kondisi fisik pantai, minimal 100 m dari titik pasang tertinggi ke arah daratan.



**Gambar 2.1** Definisi dan batasan pantai. (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo).

Ditinjau dari profil pantai, daerah ke arah pantai dari garis gelombang pecah dibagi menjadi tiga daerah yaitu *inshore*, *foreshore* dan *backshore*. Perbatasan antara *inshore* dan *foreshore* adalah batas antara air laut pada saat muka air rendah dan permukaan pantai. Proses gelombang pecah di daerah *inshore* sering menyebabkan *longshore bar* yaitu gumpalan pasir yang memanjang dan kira-kira sejajar dengan garis pantai. *Foreshore* adalah daerah yang terbentang dari garis pantai pada saat muka air rendah sampai batas atas dari *uprush* pada saat air pasang tinggi. Profil pantai di daerah ini mempunyai kemiringan yang lebih curam daripada profil di daerah *inshore* dan *backshore*. *Backshore* adalah daerah yang dibatasi oleh *foreshore* dan garis pantai yang terbentuk pada saat terjadi gelombang badai bersamaan dengan muka air tinggi.



**Gambar 2.2** Definisi dan karakteristik gelombang di daerah pantai. (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo).

## 2.2 Gelombang Laut Dalam

Gelombang di laut dalam dapat dibedakan menjadi beberapa macam tergantung pada gaya pembangkitnya. Jenis-jenis gelombang tersebut adalah sebagai berikut:

1. Gelombang angin yaitu gelombang yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut
2. Gelombang pasang surut yaitu gelombang yang dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi.
3. Gelombang tsunami yaitu gelombang yang terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa di laut.

Gelombang yang dibahas dalam laporan ini yaitu gelombang angin.

Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transpor sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai serta menyebabkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai. Pasang surut juga merupakan faktor penting karena bisa menimbulkan arus yang cukup kuat terutama di daerah yang sempit, misalnya di teluk, estuari dan muara sungai. Selain itu elevasi muka air pasang dan air surut juga sangat penting untuk merencanakan bangunan-bangunan pantai.

Gambar 2.3 menunjukkan suatu gelombang yang berada pada sistem koordinat x-y dimana gelombang menjalar pada arah sumbu x.

Beberapa notasi yang digunakan 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.

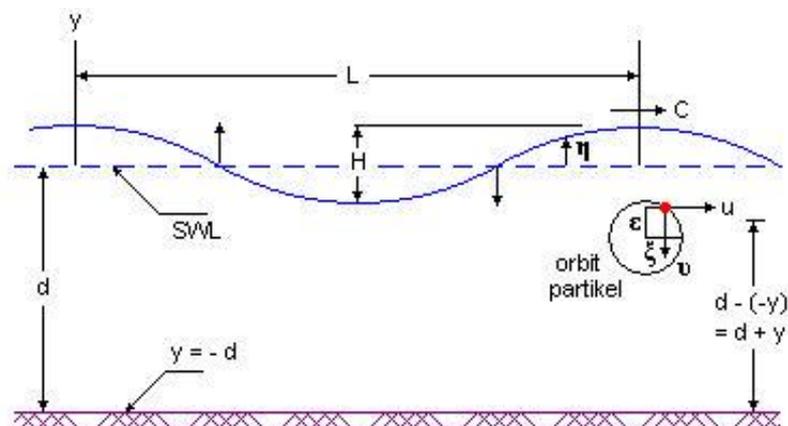
$L$  : panjang gelombang yaitu jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan.

$T$  : periode gelombang yaitu interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya.

$C$  : kecepatan rambat gelombang =  $L/T$ .

$k$  : angka gelombang =  $2\pi/L$ .

$\sigma$  : frekuensi gelombang =  $2\pi/T$ .



**Gambar 2.3** Sket definisi gelombang. (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo).

### 2.3 Gelombang Laut Dangkal

Apabila suatu deretan gelombang bergerak menuju pantai (laut dangkal), maka gelombang tersebut akan mengalami deformasi atau perubahan bentuk gelombang yang disebabkan oleh proses refraksi, difraksi, refleksi, dan gelombang pecah.

#### 2.3.1 Refraksi dan Wave Shoaling

##### 1. Koefisien Refraksi

Refraksi terjadi dikarenakan gelombang datang membentuk sudut terhadap garis pantai. Refraksi mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah datang gelombang serta distribusi energi gelombang sepanjang pantai. (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo). Refraksi dapat menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang.

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \quad (\text{Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo})$$

Dimana pada hukum Snell berlaku apabila ditinjau gelombang di laut dalam dan di suatu titik yang ditinjau yaitu:

$$\sin \alpha = \left[ \frac{C}{C_0} \right] \sin \alpha_0 \quad (\text{Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo})$$

Dengan,

$K_r$  = koefisien refraksi.

$\alpha$  = sudut antara garis puncak gelombang dan garis kontur dasar laut di titik yang ditinjau.

$\alpha_0$  = sudut antara garis puncak gelombang di laut dalam dan garis pantai.

$C$  = kecepatan rambat gelombang.

$C_0$  = kecepatan rambat gelombang di laut dalam.

## 2. *Wave Shoaling* (Pendangkalan Gelombang)

*Wave shoaling* terjadi dikarenakan adanya pengaruh perubahan kedalaman dasar laut. *Wave shoaling* mempunyai fungsi yang sama dengan refraksi gelombang yaitu untuk menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang.

$$K_s = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{nL}} \quad (\text{Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo})$$

Dengan,

$K_s$  = koefisien *shoaling* (pendangkalan).

$L$  = panjang gelombang.

$L_0$  = panjang gelombang di laut dalam.

## 3. Tinggi Gelombang Laut Dangkal

Tinggi gelombang di laut dangkal terjadi akibat pengaruh refraksi gelombang dan *wave shoaling* (pendangkalan gelombang), diberikan oleh rumus berikut:

$$H_1 = K_s K_r H_0 \quad (\text{Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo})$$

Dengan,

$H_1$  = tinggi gelombang laut dangkal.

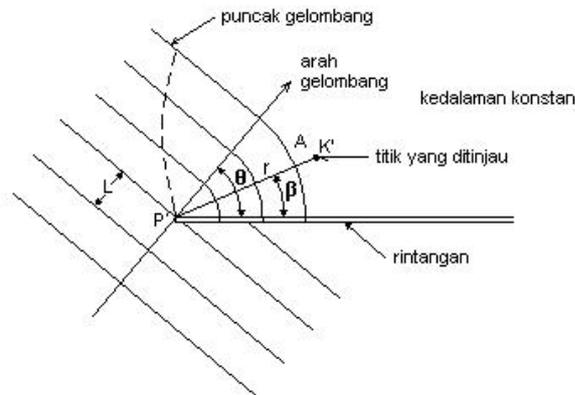
$K_s$  = koefisien *shoaling* (pendangkalan).

$K_r$  = koefisien Refraksi.

$H_0$  = tinggi gelombang laut dalam.

### 2.3.2 Difraksi Gelombang

Difraksi gelombang terjadi bila 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. Difraksi terjadi apabila tinggi gelombang di suatu titik pada garis puncak gelombang lebih besar daripada titik di dekatnya, yang menyebabkan perpindahan energi sepanjang puncak gelombang ke arah tinggi gelombang yang lebih kecil. Difraksi terjadi apabila suatu deret gelombang terhalang oleh rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau.



**Gambar 2.4** Difraksi gelombang di belakang rintangan. (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo).

Pada rintangan (pemecah gelombang) tunggal, tinggi gelombang di suatu 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  $\beta$  dan sudut antara arah penjalaran gelombang dan rintangan  $\theta$ . Perbandingan antara tinggi gelombang di titik yang terletak di daerah terlindung dan tinggi gelombang datang disebut koefisien difraksi  $K'$ .

$$H_A = K' H_p \quad \text{(Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo)}$$

$$K' = f(\theta, \beta, r/L) \quad \text{(Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo)}$$

Dengan,  $A$  adalah titik yang ditinjau di belakang rintangan dan  $P$  adalah ujung pemecah gelombang. Nilai  $K'$  untuk  $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $r/L$  tertentu diberikan dalam tabel koefisien difraksi gelombang  $K'$ , dari gelombang datang dengan sudut  $\theta$ , sebagai fungsi  $r/L$  dan  $\beta$  (*Basic Coastal Engineering*, R.M. Sorensen). Tabel tersebut dapat dilihat selengkapnya pada Lampiran 7 Tabel Koefisien Difraksi.

### 2.3.3 Refleksi Gelombang

Gelombang datang yang mengenai/membentur suatu rintangan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Tinjauan refleksi gelombang penting di dalam perencanaan bangunan pantai. Suatu bangunan yang mempunyai sisi miring dan terbuat dari tumpukan batu akan bisa menyerap energi gelombang

lebih banyak dibandingkan dengan bangunan tegak dan *massif*. Pada bangunan vertikal, halus dan dinding tidak *permeable*, gelombang akan dipantulkan seluruhnya.

Besar kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi  $H_r$  dan tinggi gelombang datang  $H_i$ .

$$X = \frac{H_r}{H_i} \quad (\text{Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo})$$

Koefisien refleksi berbagai tipe bangunan diberikan dalam Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Koefisien refleksi.

| Tipe Bangunan   | X          |
|---|------------|
| Dinding vertikal dengan puncak di atas air              | 0,7 – 1,0  |
| Dinding vertikal dengan puncak terendam                 | 0,5 – 0,7  |
| Tumpukan batu sisi miring                               | 0,3 – 0,6  |
| Tumpukan blok beton                                     | 0,3 – 0,5  |
| Bangunan vertikal dengan peredam energi (diberi lobang) | 0,05 – 0,2 |

(Sumber: Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo)

### 2.3.4 Gelombang Pecah

Gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Pengaruh kedalaman laut mulai terasa pada kedalaman lebih kecil dari setengah kali panjang gelombang. Profil gelombang di laut dalam adalah sinusoidal. Semakin menuju ke perairan yang lebih dangkal puncak gelombang semakin tajam dan lembah gelombang semakin datar. Selain itu, kecepatan dan panjang gelombang berkurang secara berangsur-angsur sementara tinggi gelombang bertambah.

Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringannya yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Gelombang maksimum di laut dalam dimana gelombang mulai tidak stabil diberikan oleh persamaan berikut:

$$\frac{H_o}{L_o} = \frac{1}{7} \quad (\text{Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo})$$

Kedalaman gelombang pecah ( $d_b$ ) dan tinggi gelombang pecah diberi notasi  $H_b$ . Munk (1949, dalam CERC) memberikan persamaan untuk menentukan tinggi dan kedalaman gelombang pecah sebagai berikut:

$$\frac{H}{H'o} = \frac{1}{3,3 \left( \frac{H'o}{L_o} \right)^{1/3}} \quad (\text{Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo})$$

Parameter  $H_b/H_o'$  disebut dengan indeks tinggi gelombang pecah. Gambar 2.5 menunjukkan hubungan antara  $H_b/H_o'$  dan  $H_o/L_o'$  untuk berbagai kemiringan dasar laut. Gambar 2.6 menunjukkan hubungan antara  $d_b/H_b$  dan  $H_b/gT^2$  untuk berbagai kemiringan dasar. Grafik yang diberikan pada Gambar 2.6 dapat dituliskan dalam rumus sebagai berikut:

$$\frac{d_b}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b / gT^2)} \quad (\text{Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo})$$

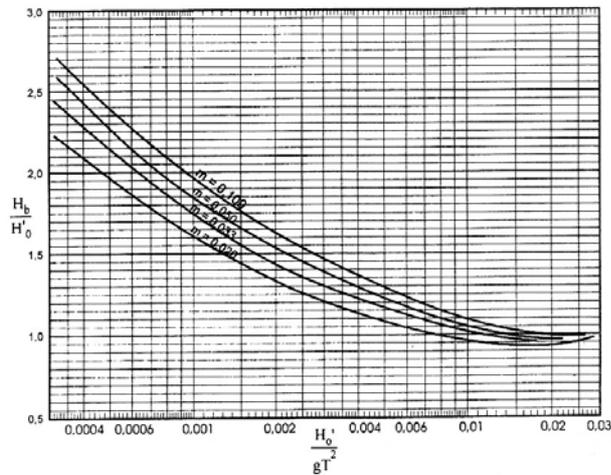
Dimana  $a$  dan  $b$  merupakan fungsi kemiringan pantai  $m$  dan diberikan oleh persamaan berikut:

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

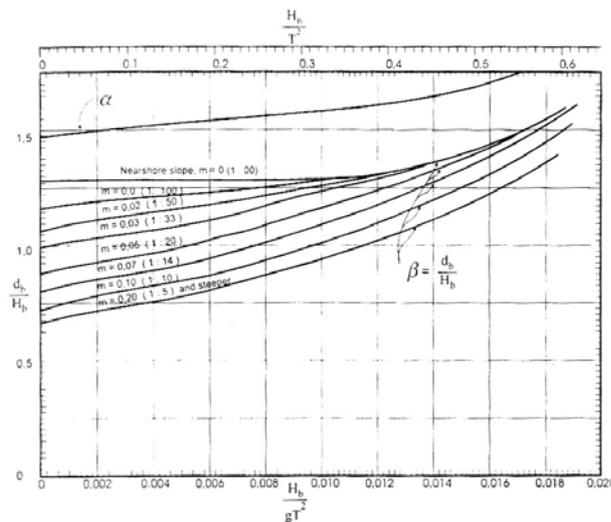
$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})} \quad (\text{Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo})$$

Gelombang pecah dapat dibedakan menjadi:

1. *Spilling* terjadi apabila gelombang dengan kemiringan yang kecil menuju ke pantai yang datar, gelombang mulai pecah pada jarak yang cukup jauh dari pantai dan pecahnya berangsur-angsur.
2. *Plunging* terjadi apabila kemiringan gelombang dan dasar laut bertambah, gelombang akan pecah dan puncak gelombang akan memutar dengan masa air pada puncak gelombang akan terjun ke depan.
3. *Surging* terjadi pada pantai dengan kemiringan yang cukup besar seperti yang terjadi pada pantai berkarang, daerah gelombang pecah sangat sempit dan energi dipantulkan kembali ke laut dalam.



**Gambar 2.5** Penentuan tinggi gelombang pecah. (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo).



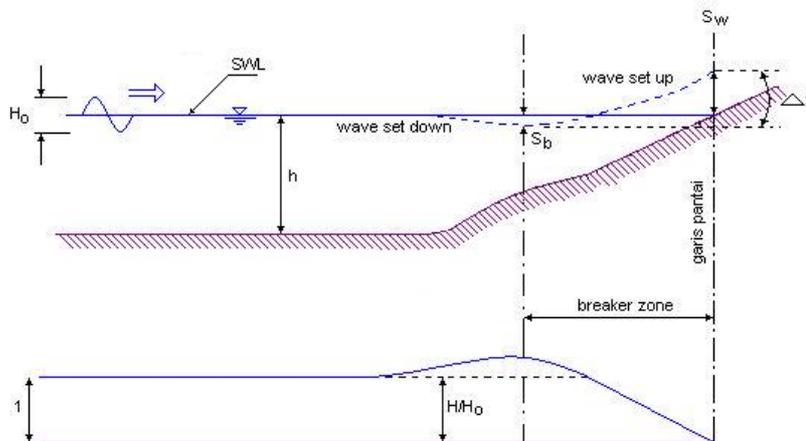
**Gambar 2.6** Penentuan kedalaman gelombang pecah. (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo).

## 2.4 Fluktuasi Muka Air Laut

Elevasi muka air laut merupakan parameter yang sangat penting di dalam perencanaan bangunan pantai. Muka air laut berfluktuasi dengan periode yang lebih besar dari periode gelombang angin. Fluktuasi muka air laut dapat disebabkan oleh *wave set-up* (kenaikan muka air karena gelombang), *wind set-up* (kenaikan muka air karena angin), tsunami, *storm surge* (gelombang badai), pemanasan global dan pasang surut.

### 2.4.1 Wave Set-Up (Kenaikan Muka Air Karena Gelombang)

Gelombang yang datang dari laut menuju pantai menyebabkan fluktuasi muka air di daerah pantai terhadap muka air diam. Pada waktu gelombang pecah akan terjadi penurunan elevasi muka air rerata terhadap elevasi muka air diam di sekitar gelombang pecah. Kemudian dari titik dimana gelombang pecah permukaan air rerata miring ke atas ke arah pantai, turunnya muka air disebut *wave set-down*, sedangkan naiknya muka air disebut *wave set-up*, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** *Wave set-up* dan *wave set-down*. (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo).

*Wave set-up* dapat dihitung dengan menggunakan teori *Longuer-Higgins* dan *Stewart*. Besarnya *wave set-down* di daerah gelombang pecah diberikan melalui persamaan berikut:

$$S_b = -\frac{0,536H_b^{2/3}}{g^{1/2}T} \quad (\text{Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo})$$

Dengan,

- $S_b$  = *set-down* di daerah gelombang.
- $T$  = periode gelombang.
- $H_0$  = tinggi gelombang laut dalam ekivalen.
- $db$  = kedalaman gelombang pecah.
- $g$  = percepatan gravitasi.

*Wave set-up* di pantai diberikan oleh bentuk persamaan berikut:

$$S_w = \Delta S - S_b \quad (\text{Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo})$$

#### 2.4.2 Pasang Surut

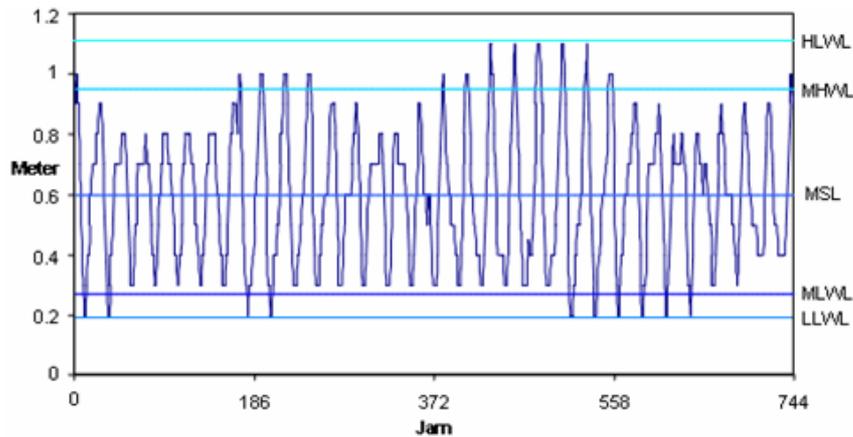
Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Elevasi muka air tertinggi (pasang) dan muka air terendah (surut) sangat penting untuk perencanaan bangunan pantai.

Data pasang surut didapatkan dari pengukuran selama minimal 15 hari. Dari data tersebut dibuat grafik pasang surut sehingga didapatkan HHWL, MHWL, MSL, MLWL, LLWL. Dalam pengamatan selama 15 hari tersebut, telah tercakup satu siklus pasang surut yang meliputi pasang surut purnama dan perbani. Saat terjadi pasang surut purnama akan terjadi tinggi pasang surut paling besar dibandingkan hari lainnya. Sedangkan saat pasang surut perbani akan terjadi tinggi pasang surut paling kecil dibandingkan hari lainnya.

Beberapa definisi elevasi muka air laut yaitu:

1. *Mean High Water Level* (muka air tinggi rerata) adalah rerata dari muka air tinggi.
2. *Mean Low Water Level* (muka air rendah rerata) adalah rerata dari muka air rendah.
3. *Mean Sea Level* (muka air laut rerata) adalah muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata.
4. *Highest High Water Level* (muka air tinggi tertinggi) adalah air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
5. *Lowest Low Water Level* (muka air rendah terendah) adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.

Untuk lebih jelasnya tentang elevasi muka air laut dapat dilihat pada Gambar 2.8



**Gambar 2.8** Elevasi muka air laut.

### 2.4.3 *Design Water Level (DWL)*

Elevasi muka air laut rencana merupakan parameter yang sangat penting di dalam perencanaan bangunan pantai. Elevasi tersebut merupakan penjumlahan dari beberapa parameter yaitu pasang surut, *wave setup* ( $S_w$ ), tsunami dan pemanasan global. Untuk tsunami tidak digunakan karena kemungkinan terjadinya sangat kecil.

$$DWL = MHWL + S_w + \text{kenaikan muka air karena perubahan suhu global}$$

### 2.5 Angin

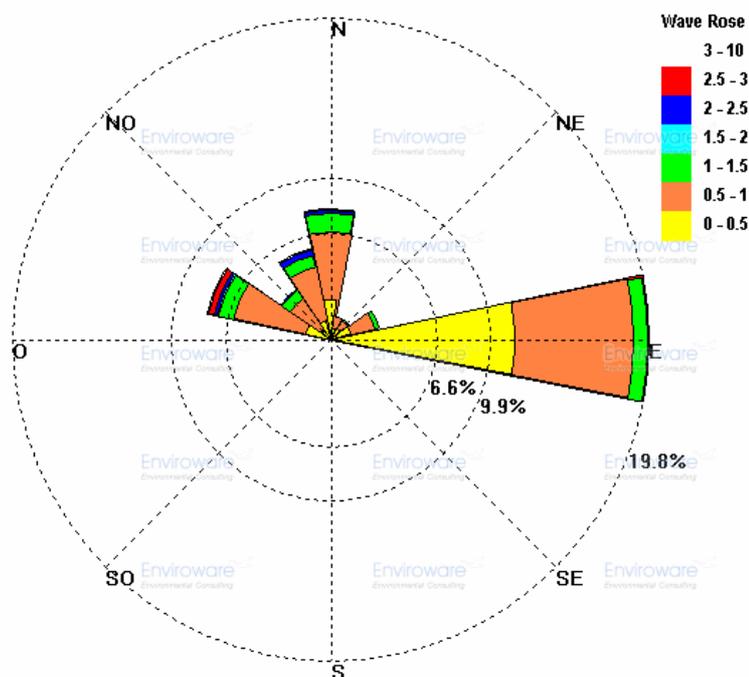
Angin yang berhembus di atas permukaan air laut akan memindahkan energinya ke air. Kecepatan angin menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga permukaan air yang semula tenang akan terganggu dan timbul riak gelombang kecil di atas permukaan air. Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut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

Tinggi dan periode gelombang yang dibangkitkan dipengaruhi oleh kecepatan angin ( $U$ ), lama hembus angin ( $D$ ), arah angin dan *fetch* ( $F$ ). *Fetch* adalah daerah dimana kecepatan angin adalah konstan. Arah angin masih bisa dianggap konstan apabila perubahan-perubahannya tidak lebih dari  $15^\circ$ . Sedangkan kecepatan angin masih dianggap konstan jika perubahannya tidak lebih dari 5 knot (2,5 m/dt) terhadap kecepatan rerata.

2.5.1 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 jam, atau  $1 \text{ knot} = 1,852 \text{ km/jam} = 0,514 \text{ m/dt}$ . Data angin dicatat tiap jam dan biasanya disajikan dalam bentuk tabel. Dengan pencatatan angin jam-jaman tersebut dapat diketahui angin dengan kecepatan tertentu dan durasinya, kecepatan angin maksimum, arah angin dan dapat pula dihitung kecepatan angin rerata harian.

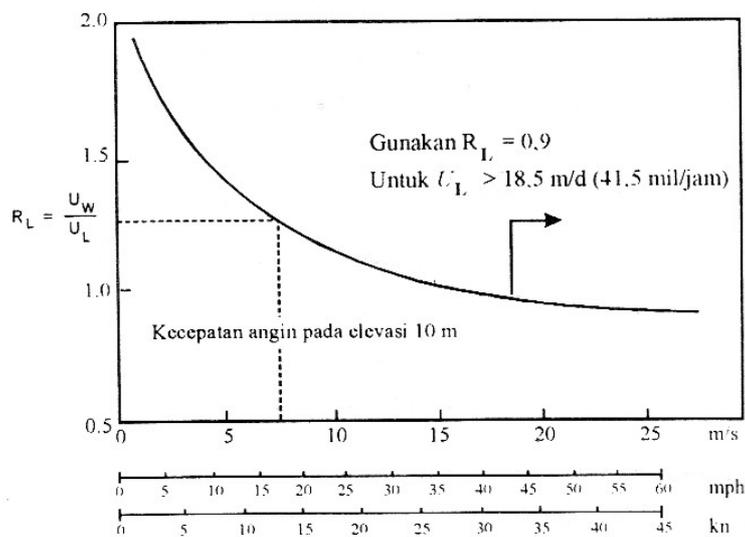
Data angin yang diperlukan merupakan hasil pengamatan beberapa tahun yang disajikan dalam bentuk tabel dengan jumlah data yang sangat besar kemudian diolah dan disajikan dalam bentuk tabel (ringkasan) atau diagram yang disebut *windrose* (mawar-angin).



Gambar 2.9 Windrose (mawar-angin).

**2.5.2 Konversi Kecepatan Angin**

Biasanya pengukuran angin dilakukan di daratan, padahal rumus-rumus pembangkitan gelombang data angin yang digunakan adalah yang ada di atas permukaan laut. 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 diperlihatkan pada Gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Hubungan antara kecepatan angin di laut dan darat. (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo).

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

$$U_A = 0,71 (U)^{1,23} \quad \text{(Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo)}$$

Dimana, U = kecepatan angin dalam m/dt.

**2.5.3 Fetch**

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* rerata efektif diberikan oleh persamaan berikut:

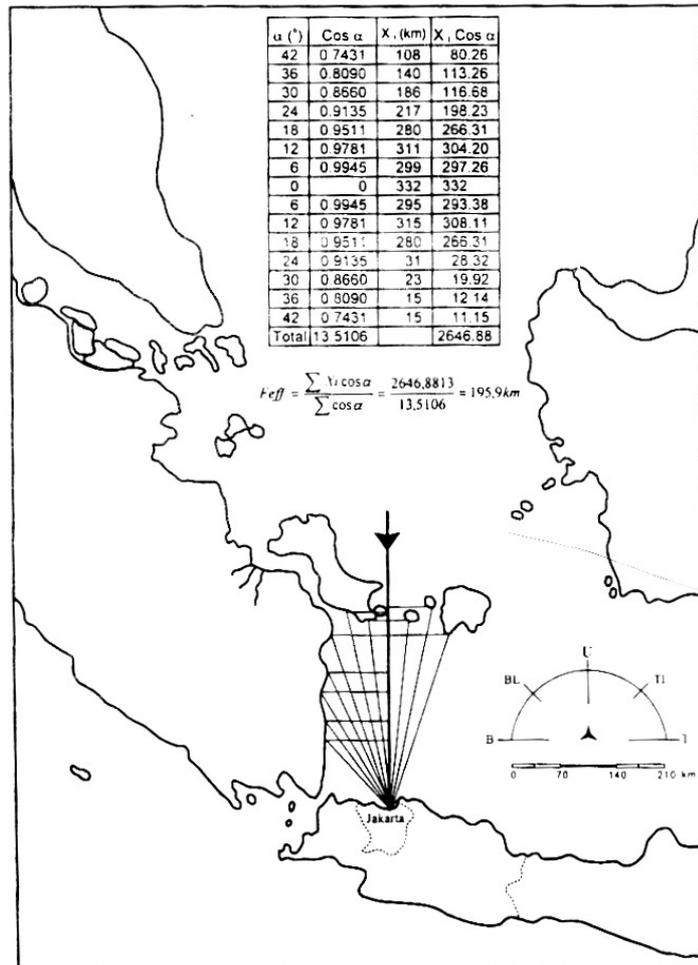
$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad (\text{Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo})$$

Dengan,

$F_{eff}$  = *fetch* rerata efektif.

$X_i$  = panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*.

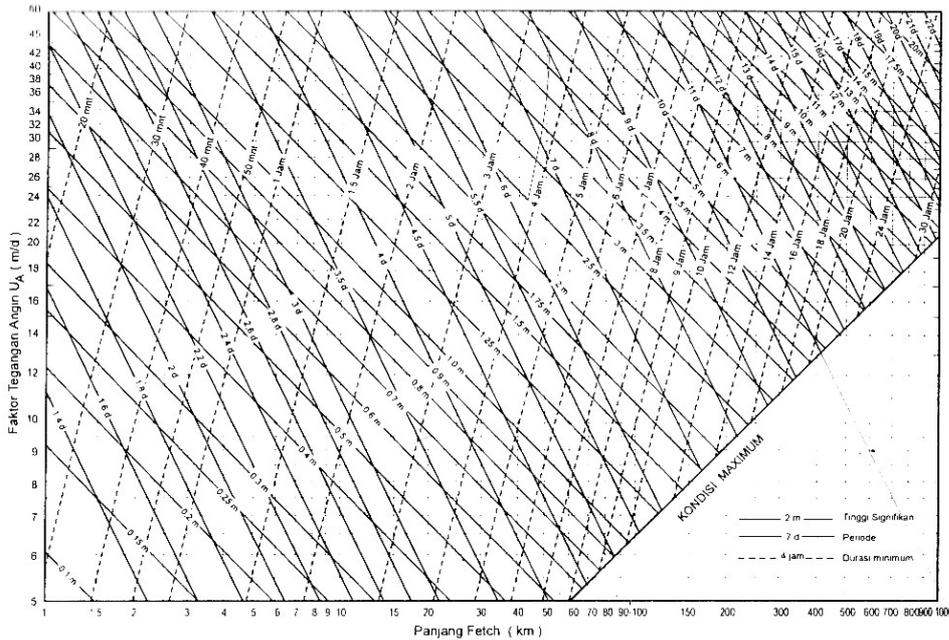
$\alpha$  = deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan sudut 6° sampai 42° pada kedua sisi dari arah angin.



Gambar 2.11 *Fetch*. (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo).

**2.5.4 Peramalan Gelombang Laut Dalam**

Peramalan gelombang laut dalam dengan menggunakan grafik peramalan gelombang berdasarkan *wind-stress factor* dan panjang *fetch*. Dari grafik peramalan gelombang tinggi, durasi dan periode gelombang dapat diketahui. Gambar 2.12 menunjukkan grafik peramalan gelombang:



**Gambar 2.12** Grafik peramalan gelombang. (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo).

**2.6 Sedimen Pantai**

Sedimen pantai bisa berasal dari erosi garis pantai itu sendiri, dari daratan yang dibawa oleh sungai dan dari laut dalam yang terbawa arus ke daerah pantai. Transpor sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dibangkitkannya. Transpor sedimen sepanjang pantai banyak menyebabkan permasalahan seperti pendangkalan di pelabuhan, erosi pantai dan sebagainya.

Angkutan sedimen sepanjang pantai dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Q_s = 0,401 P_1 \quad \text{(Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo)}$$

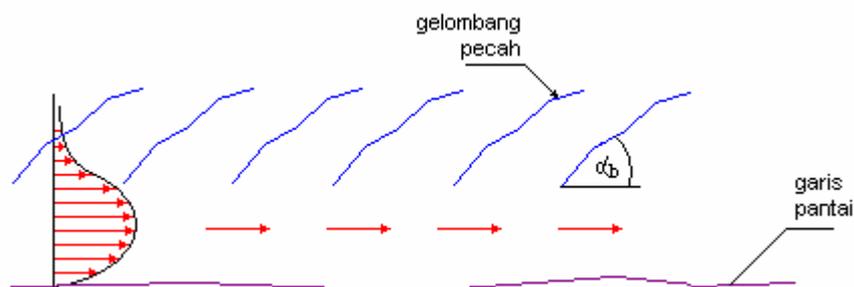
$$P_1 = \frac{\rho g}{8} H_b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad \text{(Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo)}$$

Dengan,

- $Q_s$  = angkutan sedimen sepanjang pantai ( $m^3/hari$ ).
- $P_1$  = komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah ( $Nm/dt/m$ ).
- $\rho$  = rapat massa air laut ( $kg/m^3$ ).
- $H_b$  = tinggi gelombang pecah (m).
- $C_b$  = cepat rambat gelombang pecah ( $m/d$ ) =  $\sqrt{gd_b}$
- $\alpha_b$  = sudut datang gelombang pecah.
- $K, n$  = konstanta.

### 2.6.1 Arus di Dekat Pantai

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



**Gambar 2.13** Arus dekat pantai.

Arus sepanjang pantai yang ditimbulkan oleh gelombang pecah dengan membentuk sudut terhadap garis pantai seperti yang terlihat pada Gambar 2.13, dibangkitkan oleh momentum yang dibawa oleh gelombang Longuet-Higgins (*Handbook of Coastal Processes and Erosion*, P.D. Komar) menurunkan rumus untuk menghitung arus sepanjang pantai berikut ini:

$$V = 1,17 (g H_b)^{1/2} \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (\text{Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo})$$

Dengan,

$V$  = kecepatan arus sepanjang pantai.

$g$  = percepatan gravitasi.

$H_b$  = tinggi gelombang pecah.

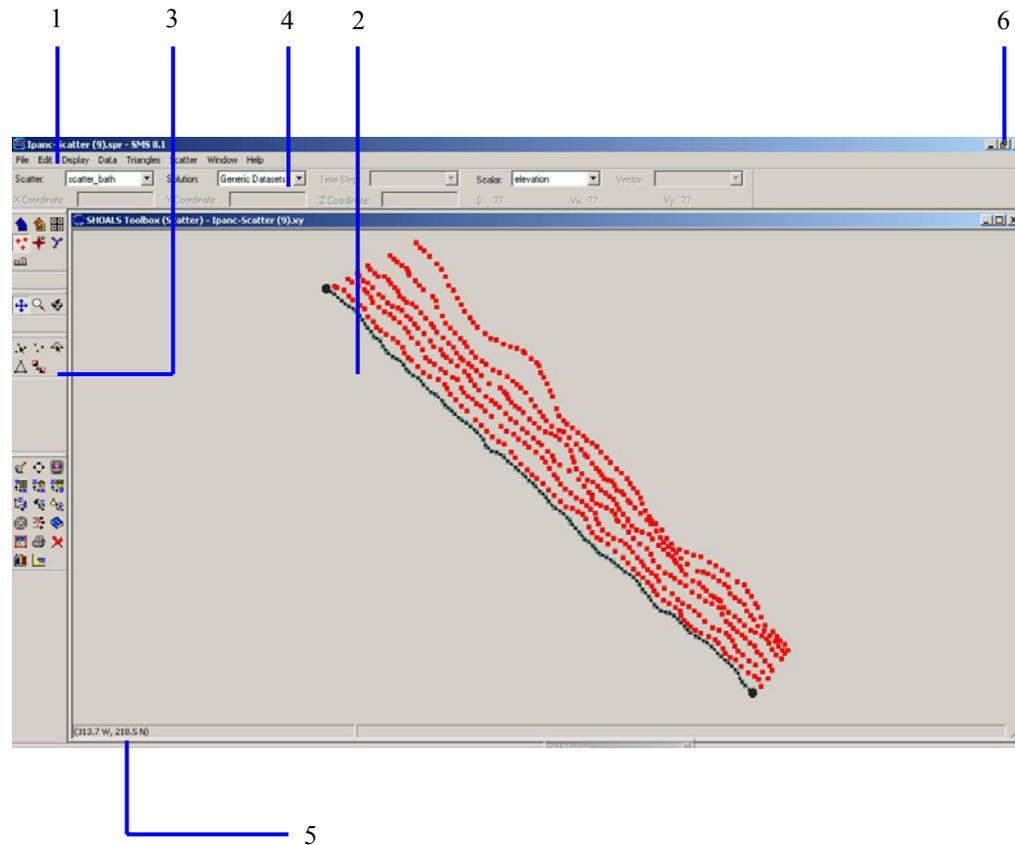
$\alpha_b$  = sudut datang gelombang pecah.

Distribusi kecepatan arus sepanjang pantai mempunyai bentuk seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.13. Di garis pantai kecepatan adalah nol, kemudian bertambah dengan jarak dari garis pantai, mencapai maksimum di sekitar titik tengah *surf zone* dan berkurang dengan cepat di luar daerah gelombang pecah.

Pemodelan arus laut disekitar pantai disimulasikan dengan menggunakan program *Surface water Modeling System* (SMS). SMS merupakan *software* yang dirancang untuk mensimulasikan kondisi oseanografi yang terjadi di alam ke dalam sebuah model 2 dimensi dengan *finite element methode* (metode elemen hingga). Pemakaian program SMS berdasar grafik untuk memudahkan penggunaannya.

Tampilan layar program SMS mempunyai beberapa bagian yaitu sebagai berikut:

1. Baris menu di bagian atas layar untuk mengakses perintah program SMS.
2. Jendela grafis utama di bagian tengah layar untuk menampilkan jaringan yang sedang digunakan dan bagian atas jendela ini ditunjukkan oleh jaringan yang sedang diedit.
3. Palet piranti terletak di bagian kiri layar, terdiri dari piranti *Modules*, *Static Tools*, *Dynamic Tools* dan *Macros*.
4. Jendela informasi jaringan terletak di bagian atas layar menunjukkan identitas dan titik atau elemen serta posisi koordinat XYZ kursor bila berada di atas jendela utama. Jendela XYZ dapat pula digunakan untuk mengedit titik yang dipilih.
5. Jendela penjelasan *online* terletak di bawah jendela informasi jaringan dan menayangkan pesan singkat dan peringatan-peringatan tertentu.
6. Tombol kendali digunakan untuk menghidupkan dan mematikan jendela-jendela pelengkap.



**Gambar 2.14** Tampilan utama program SMS.

Pemodelan dalam program SMS ada beberapa macam, salah satunya adalah pemodelan yang digunakan untuk menampilkan simulasi pergerakan arus yang terjadi yaitu dengan menggunakan model ADCIRC. Data yang dibutuhkan untuk menjalankan model ADCIRC berupa peta bathimetri dan pasang surut.

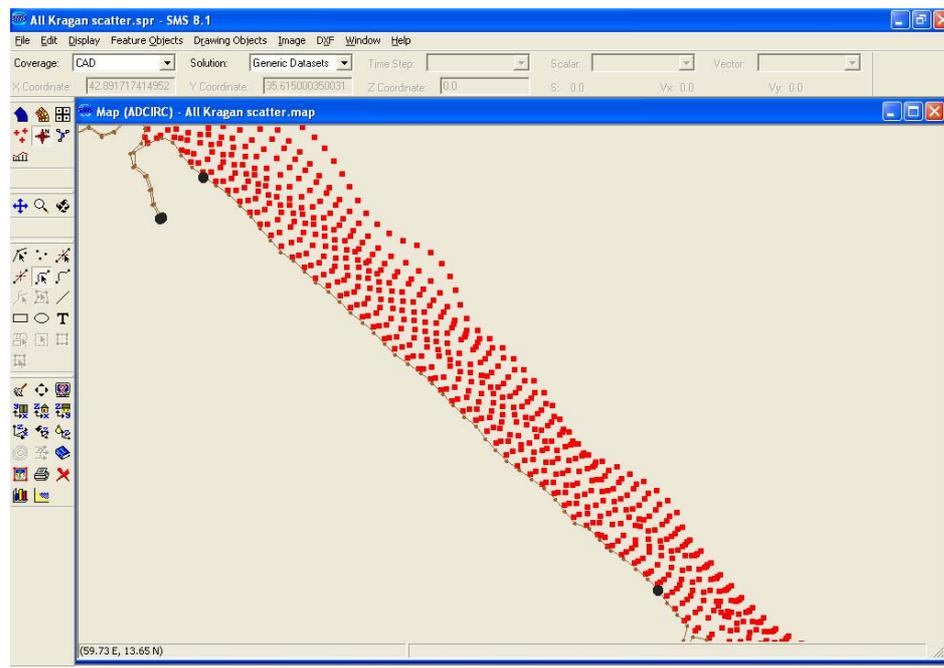
Peta bathimetri yang digunakan sebagai input pada program SMS ini adalah peta bathimetri tahun 2005 yang sudah dilakukan proses digitasi melalui program AutoCAD. Kegunaan peta bathimetri ini adalah untuk mendapatkan posisi garis pantai dan kedalaman dasar laut di sekitar pantai yang ditinjau.

Data pasang surut yang digunakan berupa komponen-komponen pasang surut yang sudah disediakan di dalam program SMS itu sendiri. Data komponen-komponen pasang surut tersebut merupakan data pasang surut ramalan yang akan diinputkan sendiri secara otomatis setelah memasukkan waktu awal simulasi pada proses pengerjaan pengecekan pola arus melalui program SMS tersebut.

Langkah-langkah dalam menggunakan program SMS untuk mendapatkan simulasi arus di daerah sekitar pantai yang ditinjau selama adalah sebagai berikut:

1. Jalankan *shortcut SMS.EXE*
2. Mengimpor peta bathimetri untuk proses digitasi garis pantai dan bathimetri.
  - a. Klik *Map Module*.
  - b. Pilih menu *Image*, kemudian pilih submenu *Manage Images*.
  - c. Setelah muncul kotak dialog *Manage Images*, klik tombol *Import*.
  - d. Setelah muncul kotak dialog *Open*, pilih dan masukkan gambar peta bathimetri dengan menekan tombol *OK*.
  - e. Setelah kembali ke kotak dialog *Manage Images*, beri tanda cek pada *Display Image*, kemudian klik tombol *OK*.
  - f. Agar peta sesuai dengan posisi sebenarnya klik menu *Edit*, kemudian pilih submenu *Current Coordinates...*, maka akan keluar kotak dialog *Current Coordinates*. Pada *Horizontal System* ganti *Local* menjadi *Geographic*, pada *Ellipsoid* pilih *Indonesian National 1974*, pada *Units* untuk *Horizontal System* dan *Vertical System* ganti *U.S Survey Feet* menjadi *Meters*, langkah terakhir klik tombol *OK*.
3. Tampilan awal setelah peta bathimetri diregister ke dalam *software* SMS.
4. Proses digitasi garis pantai dan bathimetri.
  - a. Pilih *Map Module* pada piranti *Module*.
  - b. Klik *Creature Feature Arch* pada piranti *Dynamic Tools*.
  - c. Proses digitasi disesuaikan dengan keadaan garis pantai dari peta bathimetri.
  - d. Gunakan *Select Feature Vertex* untuk memilih dan menggeser posisi titik yang ingin dipindahkan. Gunakan *Create Feature Vertex* untuk membuat titik *vertex* tambahan.
5. Menggunakan *Select Feature Points* untuk mengkonversi *nodes* menjadi *vertex* atau sebaliknya.
  - a. Klik *Map Module*.
  - b. Klik *nodes-nodes* yang akan disambungkan dengan *Select Feature Points*.
  - c. Pilih *Map Module*, menu *Feature Object* klik *Nodes↔Vertex*.

6. Mendefinisikan *Feature Arc*.
  - a. Klik *Map Module*.
  - b. Klik *Select Arc* dengan memasukkan nilai Z (elevasi/kedalaman) sesuai dengan kedalaman bathimetri pada peta.
  - c. Demikian seterusnya untuk setiap *polyline* yang kita sorot dengan menekan *Select Feature Arc* pada *Map Module*.



**Gambar 2.15** Scatter yang dibuat dari garis kontur.

7. Mengkonversi bathimetri menjadi bentuk *scatter*.
  - a. Pada menu *Map Module*, klik *Map↔Scatter* dalam bentuk *polyline* menjadi bentuk *scatter* dengan nilai kedalaman tertentu sesuai yang telah terdefinisi.
  - b. Klik *Map-Scatter* hingga muncul kotak dialog, beri nama *scatter* dengan *scatter bath*.
8. Memberikan nilai jarak antar titik pada *vertex polyline bathymetri*.
  - a. Pada menu *Map Module*, klik *Feature Object*.
  - b. *Select Feature Points or Nodes*, sorot pada *Redistribute vertices, Arch Redistribution* diisi dengan *Specified Spacing*, kemudian nilainya diisi dengan 2 agar jarak antar titik menjadi sama.

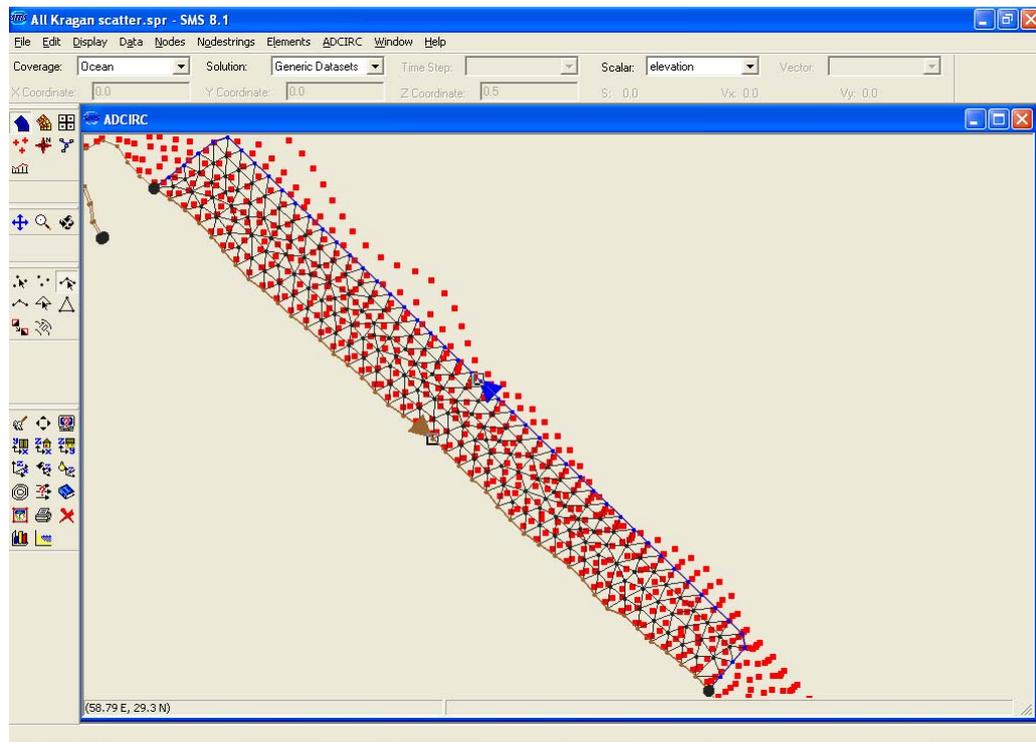
9. Menggabungkan *scatter* bathimetri dengan *scatter* garis pantai.
  - a. Pada ***Scatter Modules***, pilih ***Merge Set***.
  - b. Gabungkan semua *scatter* yang terletak di kotak sebelah kiri ke sebelah kanan, dengan menekan tombol ***All*** dan ketik nama baru, misalnya ***merge***.
10. Menghapus *nodes* garis pantai pada ***Map Module***.

Ini dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan *arch* bathimetri dalam bentuk *polyline* dan yang tersisa hanyalah *scatter*.

  - a. Pada ***Map Module***.
  - b. Kemudian pilih *node*, ***delete*** dengan memilih semua *node*, sehingga yang tertinggal hanya *scatter* bathimetri.
  - c. Apabila kita mengklik ***Scatter Module***, kemudian pilih ***scatter point***, maka pada elevasi akan menampilkan kedalaman bathimetri yang telah kita masukkan tadi.
11. Mendefinisikan batas terluar dari daerah *mesh*.
  - a. Klik ***Feature Object*** pilih ***Coverages*** kemudian mengganti variabelnya dengan ***ADCIRC***.
  - b. Definisikan lingkungan terluar dari daerah batas *mesh* dengan nama ***Ocean, Mainland*** ataupun ***Island***.
12. Membuat fungsi *Celerity* dan *Wavelength*.

Klik ***modul Scatter*** pilih ***Data, Create Data Set*** kemudian matikan semua fungsi kecuali ***Shallow Wavelength/Celerity***, pada fungsi ***Period*** diisi ***8.95***.
13. Membuat daerah *mesh* dalam bentuk poligon.
  - a. Klik ***Map Module***.
  - b. Kemudian klik ***Feature Object***, pilih pada submenu ***Build Polygon***.
  - c. Setelah proses berjalan maka pada daerah yang telah kita tentukan luasannya akan terbentuk warna hitam (***black area***).
14. Mendefinisikan kembali kondisi batas daerah mesh.
  - a. Klik ***Select Feature Polygon***, hingga ***boundary*** yang kita inginkan menampilkan warna hitam.
  - b. Klik 2 kali pada daerah poligon sehingga muncul kotak dialog.

- c. Pada dialog box, *Mesh Type* kita isikan *Paving*, *Bathymetri Type* kita isikan *Scatter Set*, *Polygon Type/Material* kita isikan *Ocean*.
  - d. Klik **OK**.
15. Mendefinisikan daerah lingkungan *mesh*.
- a. Pilih *Map Module*.
  - b. Definisikan *boundary* yang telah kita buat dengan mengklik *Select Feature Arch*, menu *Feature Object*, *Attribute*, sehingga muncul kotak dialog.
  - c. Masing-masing kita definisikan sebagai *Mainland* dan *Ocean*.



**Gambar 2.16** Mesh yang terbentuk dari gabungan segitiga.

16. Membuat poligon menjadi suatu *mesh*.

Setelah kita definisikan kemudian kita pilih menu *Feature Object*, *Map*→*2D mesh*, kemudian komputer akan mengolah data yang telah kita input menjadi suatu jaring elemen hingga (*mesh*) dengan bentuk segitiga.

17. Pengaturan *nodestring*.
  - a. Pilih **Mesh Module**.
  - b. Pekerjaan kita lanjutkan dengan mengatur dan memberi nama suatu *nodestring*. Klik **Select Nodestring**, maka akan muncul kotak warna hitam pada wilayah *boundary ocean* dan *mainland*, dengan panah yang berlawanan dengan arah jarum jam.
  - c. Kemudian klik pada daerah *boundary ocean*, klik menu **Nodestring** dan muncul dialog box, isinya kita klik pada **Bandwith** kemudian klik **OK**.
18. Proses *Running*.
  - a. Klik **ADCIRC**, **Model Control** pilih **Tidal Forces**, klik **New** kemudian muncul window **New Contituent**, ubah **Day**, **Month**, **Year** sesuai yang kita inginkan. Pilih **Contituent** yaitu K2, L2, M2, N2, O1, P1, Q1, S2 kemudian klik **Copy Potential Constituent** cari *file legi*, klik **OK**.
  - b. Klik **Time Control** pilih **Global Elevation** dan **Global Velocity** kemudian isikan dengan nilai sebagai berikut:
    - **Time steps** : 6 *sec*
    - **Run time** : 1
    - **Out put every** : 10 *minutes*
    - **End day** : 1
  - c. Pada bagian **Terms**.
    - Ceklis pada **Finite amplitudo terms on**.
    - Ceklis pada **Advective terms on**.
    - Ceklis pada **Time derivative terms on**.
  - d. Pilih menu **ADCIRC** kemudian klik **Run ADCIRC**.
19. Membuka *file-file \*fort 64* untuk menampilkan *vector* arus.
  - a. Meng-*upload* data *file fort 64* untuk menampilkan grafik arus.
  - b. Klik **Mesh Module**, klik menu **Data**, **Data Browser**.
  - c. **Open** pada *file \*fort 64*, klik **OK**.
  - d. Setelah dibuka, pada kotak dialog, kotak **Time Step** akan menampilkan semua data, klik **Done**.

20. Menampilkan *vector* arus.
  - a. Pilih **Mesh Module**.
  - b. Untuk menampilkan pola arus pada lingkungan *boundary mesh*, klik **Display Option**, beri tanda centang pada submenu **Vectors**.
  - c. Sesuaikan juga untuk sub menu lainnya, apakah ingin ditampilkan ataukah tidak, misalkan submenu **Scatter**, **2D mesh**, **Map**, **Contour Option**. Beri tanda *check* atau *uncheck* pada kotak yang bersangkutan.
21. Tampilan pada *window* SMS setelah fort 63 dan 64 dibuka.
  - a. Untuk mengubah pola arus sesuai dengan kondisi *timestep*.
  - b. Klik **Mesh Module**, **Solution** pilih **fort 64** (ADCIRC) dan *timestep* sesuaikan dengan kondisi yang kita pilih.

### 2.6.2 Distribusi Angkutan Sedimen



**Gambar 2.17** Distribusi angkutan sedimen dekat pantai.

Distribusi angkutan sedimen berhubungan dengan kecepatan arus. Jika kecepatan arus besar maka angkutan sedimen besar sedangkan jika kecepatan arus kecil maka angkutan sedimen juga kecil. Model distribusi angkutan sedimen dapat dilihat pada Gambar 2.17. Distribusi angkutan sedimen di garis pantai adalah nol kemudian bertambah dengan jarak dari garis pantai, mencapai maksimum di tengah *surf zone* dan berkurang dengan cepat di luar daerah gelombang pecah.

Distribusi angkutan sedimen juga berhubungan dengan konsentrasi sedimen pantai. Pantai yang ukuran butiran sedimennya kecil berpotensi mengalami distribusi sedimen yang besar. Berbeda dengan pantai yang berkarang distribusi sedimennya kecil.

## 2.7 Perubahan Garis Pantai

Garis pantai (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo) merupakan garis batasan pertemuan antara daratan dan air laut dimana posisinya tidak tetap dan dapat berpindah-pindah sesuai dengan kondisi pasang air laut dan abrasi/akresi pantai yang terjadi.

Pada umumnya perubahan garis pantai yang terjadi adalah perubahan maju (akresi) dan perubahan mundur (abrasi). Garis pantai dikatakan mengalami akresi bila ada petunjuk mengenai adanya pengendapan atau deposisi secara kontinyu. Sedangkan garis pantai dikatakan mundur jika proses abrasi masih berlangsung.

### 2.7.1 Perubahan Garis Pantai Dengan Data Peta

Untuk mengetahui perubahan garis pantai yang terjadi dalam beberapa kurun waktu (*time series*), maka dilakukan *overlay* (tumpang-susun) peta multitemporal. Dalam laporan ini, digunakan peta topografi 1958, peta rupabumi 2000 dan peta bathimetri 2006.

### 2.7.2 Prediksi Perubahan Garis Pantai Menggunakan Program GENESIS

Prediksi perubahan garis pantai tanpa dan dengan bangunan pantai dimaksudkan untuk mengetahui/memprediksi perubahan garis pantai selama beberapa tahun ke depan dengan perlakuan tanpa dan dengan bangunan pelindung pantai serta mengetahui jenis bangunan pelindung pantai yang efektif dalam penanganan masalah abrasi. Prediksi ini dilakukan dengan menggunakan program GENESIS (*Generalized Model For Simulating Shoreline Change*) dari *US Army Corps of Engineers (ASCE)*.

Program GENESIS merupakan program perubahan garis pantai *one line shoreline change model* (model perubahan garis pantai satu garis). Garis pantai yang digunakan yaitu garis pantai pada kontur 0 kondisi *Mean Sea Level (MSL)*. GENESIS tidak mensimulasi perubahan profil pantai karena hanya menganggap bentuk profil pantai tetap dan perubahan garis pantai bergerak maju mundur tergantung pada sedimen yang masuk atau keluar.

GENESIS mengasumsikan pantai sebagai *equilibrium beach profile shape* (bentuk profil pantai seimbang). Bentuk kontur pantai dianggap sama dengan kontur garis pantai. Parameter yang digunakan dalam pengasumsian bentuk profil pantai yaitu ukuran butir sedimen rata-rata ( $d_{50}$ ), periode dan tinggi gelombang signifikan. Dalam menentukan kemiringan profil pantai digunakan rumus:

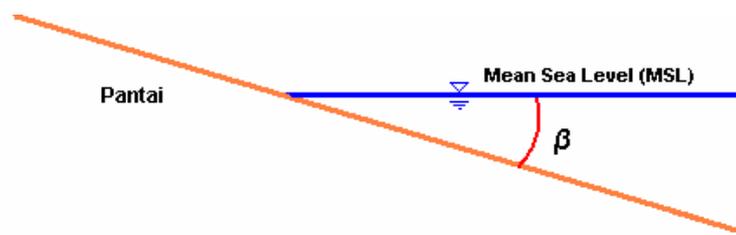
$$\tan \beta = \left[ \frac{A^3}{D_{LTO}} \right]^{1/2} \quad (\text{GENESIS: } \textit{Technical Reference}, \text{ Hanson Hans})$$

Dengan,

$\beta$  = kemiringan profil pantai

A = parameter skala empiris

$D_{LTO}$  = kedalaman maksimum terjadinya *longshore transport*



**Gambar 2.18** Profil pantai yang diasumsikan pada program GENESIS.

Parameter yang digunakan untuk mendapatkan nilai A tergantung dari ukuran butir sediment rata-rata ( $d_{50}$ ), rumusnya sebagai berikut:

$$A = 0,41(d_{50})^{0,94}, \quad d_{50} < 0,4$$

$$A = 0,23(d_{50})^{0,32}, \quad 0,4 \leq d_{50} < 10,0 \quad (\text{GENESIS: } \textit{Technical Reference},$$

$$A = 0,23(d_{50})^{0,28}, \quad 10,0 \leq d_{50} < 40,0 \quad \text{Hanson Hans})$$

$$A = 0,46(d_{50})^{0,11}, \quad 40,0 \leq d_{50}$$

Sedangkan nilai  $D_{LTO}$  tergantung dari tinggi dan periode gelombang signifikan, rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$D_{LTO} = (2,3 - 10,9H_{33}) \left[ \frac{H_{33}}{L_{33}} \right] \quad (\text{GENESIS: } \textit{Technical Reference},$$

Hanson Hans)

Dengan,

$H_{33}$  = tinggi gelombang signifikan

$L_{33}$  = panjang gelombang

Panjang gelombang ( $L_{33}$ ) dicari dengan menggunakan rumus:

$$L_{33} = \frac{gT_{33}^2}{2\pi} \quad (\text{GENESIS: } \textit{Technical Reference}, \text{ Hanson Hans})$$

Dengan,

$g$  = percepatan gravitasi =  $9,81 \text{ m/s}^2$

$T_{33}$  = periode gelombang signifikan

Asumsi lain yang digunakan dalam perhitungan program GENESIS yaitu menganggap bahwa:

1. Profil pantai memiliki bentuk yang konstan.
2. Diasumsikan perubahan garis pantai terjadi pada DC (*offshore closure depth*) dan DB (*berm crest elevation*).
3. Area antara DC dan DB dianggap area terjadinya perubahan garis pantai.
4. Transpor sedimen sepanjang pantai disebabkan oleh gelombang pecah.
5. Ada *long term trend* dalam evolusi garis pantai.

Sebelum memulai simulasi dengan program GENESIS perlu dijelaskan kelebihan dan kelemahan program GENESIS itu sendiri. Kelebihan program GENESIS yaitu:

1. Dapat meramalkan *long term trend* garis pantai akibat proses alami maupun yang diakibatkan oleh manusia.
2. Panjang garis pantai yang disimulasi antara 2 – 35 km dengan resolusi grid antara 15 – 90 m.
3. Periode simulasi antara 6 bulan – 20 tahun.
4. Interval data gelombang yang digunakan antara 30 menit – 6 jam.

Selain kelebihannya, program GENESIS juga mempunyai kelemahan yaitu:

1. Hanya dapat digunakan untuk meramalkan perubahan garis pantai yang diakibatkan oleh *coastal structure* dan perubahan akibat gelombang.
2. Tidak memperhitungkan adanya refleksi gelombang.
3. Tidak dapat menghitung perubahan akibat terjadinya badai.
4. Tidak dapat mensimulasikan adanya *salient (cuspite)* dan *tombolo* pada *breakwater*.
5. Efek pasang surut pada perubahan garis pantai tidak dapat diperhitungkan.

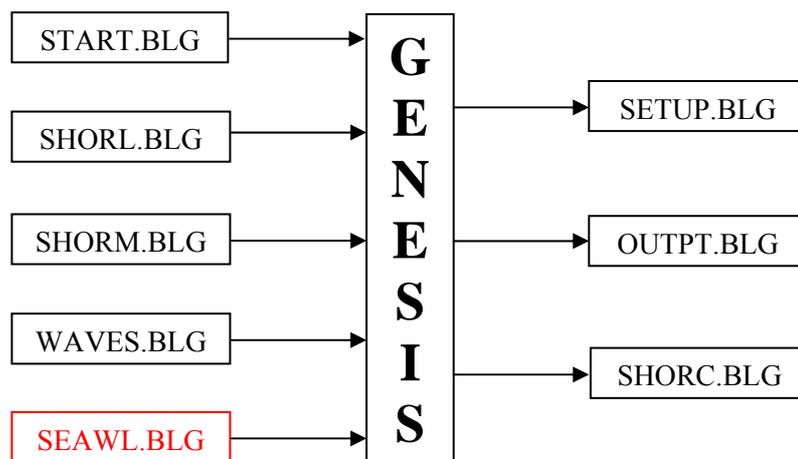
Proses kalkulasi pada program GENESIS dilakukan dengan memprediksi nilai *longshore transport* berdasarkan pada bentuk awal pantai. Sedangkan untuk peramalan garis pantai akan dilakukan kalkulasi dengan mempertimbangkan aspek-aspek *longshore transport* yang terjadi.

*Longshore transport rate* (Q) atau tingkat angkutan sedimen sejajar pantai lazim mempunyai satuan m<sup>3</sup>/tahun (dalam SI). Ada dua alternatif pergerakan sedimen sejajar pantai yang terjadi yaitu ke arah kanan dan ke arah kiri relatif terhadap seorang pengamat yang berdiri di pantai menghadap ke laut. Pergerakan dari kanan ke kiri diberi notasi Q<sub>lt</sub> dan pergerakan ke arah kanan diberi notasi Q<sub>rt</sub>, sehingga didapatkan tingkat *gross sediment transport* (angkutan sedimen kotor) Q<sub>g</sub> = Q<sub>lt</sub> + Q<sub>rt</sub> dan tingkat *net sediment transport* (angkutan sedimen bersih) Q<sub>n</sub> = Q<sub>lt</sub> - Q<sub>rt</sub>. Nilai Q<sub>g</sub> digunakan untuk meramalkan tingkat pendangkalan pada suatu alur pada perairan terbuka. Q<sub>n</sub> digunakan untuk desain alur yang dilindungi dari perkiraan erosi pantai. Dan Q<sub>lt</sub> serta Q<sub>rt</sub> untuk penumpukan sedimen di belakang sebuah struktur pantai yang menahan pergerakan sedimen. Dalam perhitungan program GENESIS, perhitungan *longshore transport* dilakukan dengan menggunakan persamaan hasil modifikasi dari persamaan berikut:

$$Q_{(+)} = \frac{1}{2} (Q_g + Q_n) \quad (\text{GENESIS: Technical Reference, Hanson Hans})$$

$$Q_{(-)} = \frac{1}{2} (Q_g - Q_n) \quad (\text{GENESIS: Technical Reference, Hanson Hans})$$

Skema *file input* dan *output* program GENESIS dapat dilihat pada Gambar 2.19.

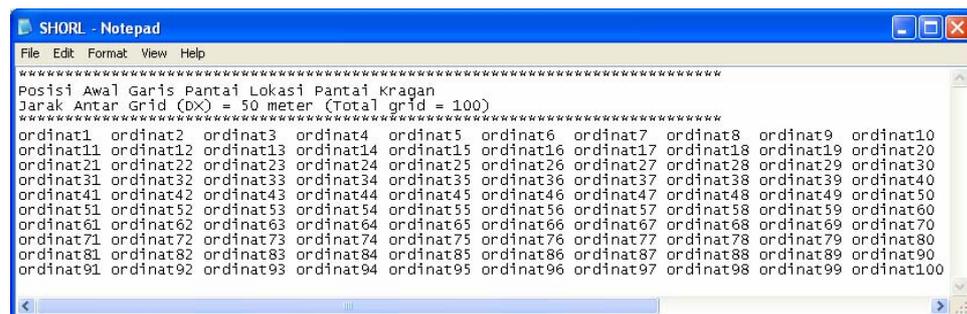


**Gambar 2.19** Skema *file input* dan *output* program GENESIS. (GENESIS: *Technical Reference*, Hanson Hans).

Untuk menjalankan program GENESIS, ada 4 jenis file input yang harus ada dalam bentuk dan jumlah data yang tepat seperti yang ditunjukkan pada gambar dengan bolder hitam (START.blg, SHORL.blg, SHORM.blg, WAVES.blg) di atas. Untuk file-file dengan bolder merah (SEAWL.blg) hanya dibutuhkan apabila ada bangunan pantai eksisting.

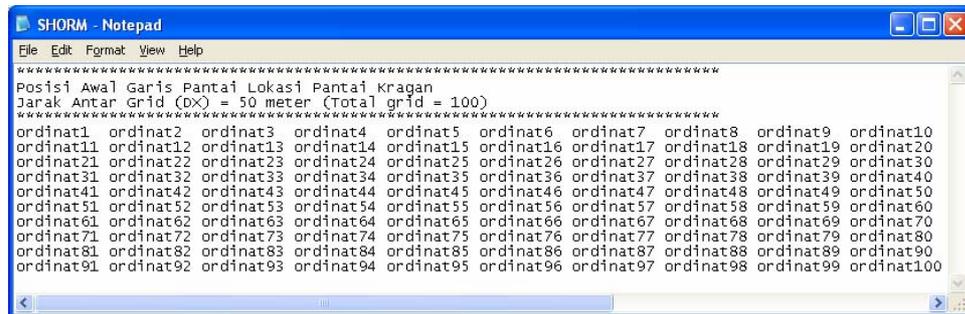
Penjelasan secara rinci isi file input dan output program GENESIS adalah sebagai berikut:

1. *File* START.blg berisi perintah-perintah yang mengontrol simulasi perubahan garis pantai pada program GENESIS. Beberapa data penting dalam *file* ini antara lain adalah data tanggal awal simulasi dilaksanakan, data tanggal simulasi akhir, nilai K1 dan K2 (koefisien kalibrasi *transport sediment*), diameter *grain size* efektif (D50) dan posisi bangunan pelindung pantai eksisting dan rencana.
2. *File* SHORL.blg berisi ordinat dari grid garis pantai awal. Cara mendapatkan ordinat ini adalah dengan melakukan proses digitasi garis pantai dengan bantuan program AutoCAD, kemudian membuat grid dengan jarak tertentu pada daerah yang ditinjau. Cara penulisannya yaitu diurut dari kiri ke kanan dan setiap baris berisi 10 ordinat.



**Gambar 2.20** Format input data pada file SHORL.blg.

3. *File* SHORM.blg berisi ordinat grid posisi garis pantai. File ini digunakan sebagai pembandingan ordinat garis pantai hasil simulasi yang terdapat pada file SHORC.blg. Cara penulisannya yaitu dari kiri ke kanan dan setiap baris berisi 10 ordinat.



```

SHORM - Notepad
File Edit Format View Help
*****
Posisi Awal Garis Pantai Lokasi Pantai Kragan
Jarak Antar Grid (Dx) = 50 meter (Total grid = 100)
*****
ordinat1 ordinat2 ordinat3 ordinat4 ordinat5 ordinat6 ordinat7 ordinat8 ordinat9 ordinat10
ordinat11 ordinat12 ordinat13 ordinat14 ordinat15 ordinat16 ordinat17 ordinat18 ordinat19 ordinat20
ordinat21 ordinat22 ordinat23 ordinat24 ordinat25 ordinat26 ordinat27 ordinat28 ordinat29 ordinat30
ordinat31 ordinat32 ordinat33 ordinat34 ordinat35 ordinat36 ordinat37 ordinat38 ordinat39 ordinat40
ordinat41 ordinat42 ordinat43 ordinat44 ordinat45 ordinat46 ordinat47 ordinat48 ordinat49 ordinat50
ordinat51 ordinat52 ordinat53 ordinat54 ordinat55 ordinat56 ordinat57 ordinat58 ordinat59 ordinat60
ordinat61 ordinat62 ordinat63 ordinat64 ordinat65 ordinat66 ordinat67 ordinat68 ordinat69 ordinat70
ordinat71 ordinat72 ordinat73 ordinat74 ordinat75 ordinat76 ordinat77 ordinat78 ordinat79 ordinat80
ordinat81 ordinat82 ordinat83 ordinat84 ordinat85 ordinat86 ordinat87 ordinat88 ordinat89 ordinat90
ordinat91 ordinat92 ordinat93 ordinat94 ordinat95 ordinat96 ordinat97 ordinat98 ordinat99 ordinat100

```

**Gambar 2.21** Format input data pada file SHORM.blg.

4. *File WAVES.blg* terdiri dari data gelombang tiap jam selama satu tahun. Data gelombang yang dimasukkan berupa tinggi gelombang, periode dan arah rambat gelombang.
5. *File SEAWL.blg* terdiri dari lokasi *seawall* yang dimodelkan. Jika tidak ada *seawall* pada *file START*, maka SEAWL tidak dibaca. Jadi, file SEAWL ini digunakan bila ada bangunan pantai eksisting yang akan dianalisa.
6. *File SETUP.blg* merupakan *output* yang berisi koordinat perubahan garis pantai dan jumlah angkutan sedimen yang terjadi, yang dalam proses *running* akan memberikan peringatan (*warning message*) jika ada kesalahan selama simulasi.
7. *File OUTPT.blg* terdiri dari hasil umum simulasi, diantaranya grafik *Net Transport Rate*, *Shoreline Change* dan *Shoreline Positions*.
8. *File SHORC.blg* merupakan *output* berupa koordinat posisi garis pantai dalam jangka waktu tertentu yang telah ditetapkan sebelumnya.

## 2.8 Bangunan Pelindung Pantai

Bangunan pantai digunakan untuk melindungi pantai terhadap kerusakan karena serangan gelombang dan arus. Bangunan pantai dapat diklasifikasikan dalam tiga kelompok sesuai dengan fungsinya yaitu:

1. Konstruksi yang dibangun di pantai dan sejajar dengan garis pantai. Yang termasuk dalam kelompok ini adalah dinding pantai dan *revetment*.
2. Konstruksi yang dibangun kira-kira tegak lurus pantai dan sambung ke pantai. Yang termasuk dalam kelompok ini adalah *groin*.

3. Konstruksi yang dibangun di lepas pantai dan kira-kira sejajar dengan garis pantai. Yang termasuk kelompok adalah *offshore breakwater* (pemecah gelombang lepas pantai dan sejajar pantai).

Dalam laporan ini digunakan 2 alternatif penanggulangan abrasi yaitu membangun struktur *groin* dan kombinasi struktur *groin* dan *revetment*. Alasan pemilihan struktur ini dikarenakan struktur *groin* dapat mengatasi terjadinya *longshore transport* sedangkan struktur *revetment* berfungsi untuk mengatasi terjadinya *onshore/offshore transport*. Selain itu dalam proses pembangunan struktur ini bisa lebih cepat karena struktur menyatu dengan garis pantai. Dari 2 alternatif struktur di atas, dibuat satu rekomendasi terpilih yang diharapkan mampu mengurangi terjadinya abrasi di Pantai Kragan.

### 2.8.1 *Groin*

Dalam perencanaan atau perhitungan struktur *groin* sebagai bangunan pelindung pantai ini dibagi menjadi dua bagian yaitu:

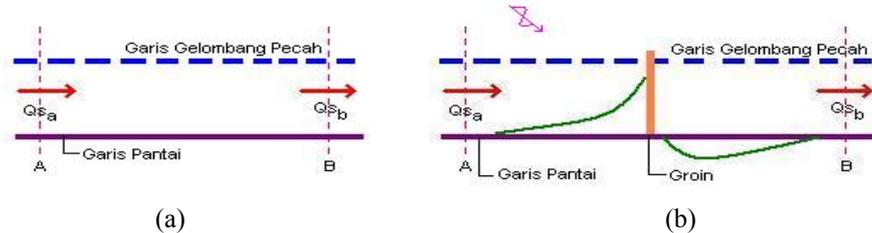
1. Penentuan Panjang *Groin* dan Jarak Antar *Groin*

*Groin* adalah bangunan pelindung pantai yang biasanya dibuat tegak lurus pantai dan berfungsi untuk menahan transpor sedimen sepanjang pantai, sehingga bisa mengurangi atau menghentikan erosi yang terjadi.

Pantai dikatakan stabil apabila suplai sedimen yang masuk sama dengan suplai sedimen yang keluar. Pada Gambar 2.22.a, stabilitas pantai ditinjau terhadap suplai sedimen yang terjadi di titik A ( $Q_{sa}$ ) dan B ( $Q_{sb}$ ). Apabila  $Q_{sb}$  lebih kecil dari  $Q_{sa}$  ( $Q_{sb} < Q_{sa}$ ), maka pada pantai tersebut akan terjadi sedimentasi. Apabila  $Q_{sb}$  lebih besar dari  $Q_{sa}$  ( $Q_{sb} > Q_{sa}$ ), maka akan terjadi erosi pada pantai. Sedangkan apabila  $Q_{sa} = Q_{sb}$ , maka transpor sediment pada pantai tersebut stabil.

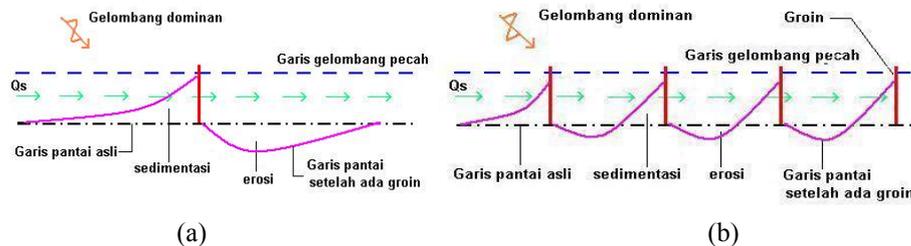
Pada Gambar 2.22.b, *groin* ditempatkan pada pantai yang terjadi erosi. *Groin* yang ditempatkan di pantai akan menahan gerak sedimen tersebut, sehingga sedimen mengendap di sebelah hulu (terhadap arah transpor sedimen sepanjang pantai). Di sebelah hilir *groin*, angkutan sedimen masih tetap terjadi, sementara suplai dari sebelah hulu terhalang oleh

bangunan, akibatnya daerah di hilir *groyne* mengalami defisit sedimen sehingga pantai mengalami erosi. Akibat dibangunnya *groyne*, maka  $Q_{sb}$  sama dengan  $Q_{sa}$  ( $Q_{sb} = Q_{sa}$ ), sehingga pantai akan stabil.



Gambar 2.22 Suplai Sedimen

*Groyne* yang ditempatkan pada pantai dapat berupa *groyne* tunggal. Perlindungan pantai dengan menggunakan satu buah *groyne* tidak efektif. Biasanya perlindungan pantai dilakukan dengan membuat suatu seri bangunan yang terdiri dari beberapa *groyne* yang ditempatkan pada jarak tertentu (Gambar 2.23.b). Dengan menggunakan satu sistem *groyne* perubahan garis pantai yang terjadi tidak terlalu besar. Untuk dapat memberikan suplai sedimen ke daerah hilir dapat juga dilakukan dengan membuat *groyne permeable*.



Gambar 2.23 (a) *Groyne* tunggal; (b) Seri *groyne*. (Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo).

*Groyne* dapat dibedakan menjadi beberapa tipe yaitu tipe lurus, tipe T dan tipe L. Menurut konstruksinya, *groyne* dapat berupa tumpukan batu, *caisson* beton, turap, tiang yang dipancang sejajar atau tumpukan buis beton yang di dalamnya diisi beton. Pada umumnya, panjang *groyne* adalah 40 sampai 60 persen dari lebar rerata *surf zone* dan jarak antar *groyne* adalah antara satu sampai tiga kali panjang *groyne*.

## 2. Perencanaan Struktur *Groin*

Dalam perencanaan *groin* ditentukan berat butir batu pelindung yang dapat dihitung dengan rumus *Hudson*.

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \text{Cot} \theta} \quad (\text{Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo})$$

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} \quad (\text{Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo})$$

Dengan,

W = berat butir batu pelindung.

$\gamma_r$  = berat jenis batu.

$\gamma_a$  = berat jenis air laut.

H = tinggi gelombang rencana.

$\theta$  = sudut kemiringan sisi pemecah gelombang.

$K_D$  = koefisien stabilitas yang tergantung pada bentuk batu pelindung (batu alam atau buatan), kekasaran permukaan batu, ketajaman sisi-sisinya, ikatan antar butir dan keadaan pecahnya gelombang. Koefisien stabilitas  $K_D$  untuk berbagai jenis butir dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Lebar puncak *groin* dapat dihitung dengan rumus:

$$B = nk_{\Delta} \left( \frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3} \quad (\text{Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo})$$

Dengan,

B = lebar puncak.

n = jumlah butir batu ( $n_{\text{minimum}} = 3$ ).

$k_{\Delta}$  = koefisien lapis.

W = berat butir batu pelindung.

$\gamma_r$  = berat jenis batu pelindung.

Untuk tebal lapis pelindung dan jumlah butir tiap satu luasan diberikan oleh rumus berikut ini:

$$t = nk_{\Delta} \left( \frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3} \quad \text{(Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo)}$$

$$N = Ank_{\Delta} \left[ 1 - \frac{P}{100} \right] \left[ \frac{\gamma_r}{W} \right]^{2/3} \quad \text{(Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo)}$$

Dengan,

t = tebal lapis pelindung.

n = jumlah lapis batu dalam lapis pelindung.

k $\Delta$  = koefisien lapis.

A = luas permukaan.

P = porositas rerata dari lapis pelindung (%).

N = jumlah butir batu untuk satu satuan luas permukaan A.

$\gamma_r$  = berat jenis batu pelindung.

**Tabel 2.2** Koefisien stabilitas  $K_D$  untuk berbagai jenis butir.

|                    | n   | Penempatan     | Lengan Bangunan |                       | Ujung (Kepala) Bangunan |                       | Kemiringan   |
|--------------------|-----|----------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|--------------|
|                    |     |                | $K_D$           |                       | $K_D$                   |                       |              |
|                    |     |                | Gelombang Pecah | Gelombang Tidak Pecah | Gelombang Pecah         | Gelombang Tidak Pecah | Cos $\theta$ |
| 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                   | $\pi^2$      |
| Bersudut Kasar     | 1   | Acak           | $\pi^1$         | 2.9                   | $\pi^1$                 | 2.3                   | $\pi^2$      |
| Bersudut Kasar     | 2   | Acak           | 2               | 4                     | 1.9                     | 3.2                   | 1.5          |
| Bersudut Kasar     | > 3 | Acak           | 2.2             | 4.5                   | 1.6                     | 2.8                   | 2            |
| Bersudut Kasar     | 2   | Khusus $\pi^3$ | 5.8             | 7                     | 1.3                     | 2.3                   | 3            |
| Paratelepedum      | 2   | Khusus         | 7 - 20.         | 8.5 - 24              | 2.1                     | 4.2                   | $\pi^2$      |
| Tetrapod           |     |                |                 |                       | 5.3                     | 6.4                   | $\pi^2$      |
| dan                | 2   | Acak           | 7               | 8                     | -                       | -                     |              |
| Quadripod          |     |                |                 |                       | 5                       | 6                     | 1.5          |
| Tribar             | 2   | Acak           | 9               | 10                    | 4.5                     | 5.5                   | 2            |
| Dolos              | 2   | Acak           | 15.8            | 31.8                  | 3.5                     | 4                     | 3            |
| Kubus Dimodifikasi | 2   | Acak           | 6.5             | 7.5                   | 8.3                     | 9                     | 1.5          |
| Hexapod            | 2   | Acak           | 8               | 9.5                   | 7.8                     | 8.5                   | 2            |
| Tribar             | 1   | Seragam        | 12              | 15                    | 6                       | 6.5                   | 3            |
| Batu Pecah (KRR)   | -   | Acak           | 2.2             | 2.5                   | 8                       | 16                    | 2            |
| (Graded Angular)   |     |                |                 |                       | 7                       | 14                    | 3            |

(Sumber: Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo)

Catatan :

- n : jumlah susunan butir batu dalam lapis pelindung
- $\alpha^1$  : penggunaan  $n=1$  tidak disarankan untuk kondisi gelombang pecah
- $\alpha^2$  : sampai ada ketentuan lebih lanjut tentang nilai  $K_D$ , penggunaan  $K_D$  dibatasi pada kemiringan 1:1,5 sampai 1:3
- $\alpha^3$  : batu ditempatkan dengan sumbu panjangnya tegak lurus permukaan bangunan

**Tabel 2.3** Koefisien lapis.

| Batu Pelindung    | n   | Penempatan    | Koefisien Lapis ( $k\Delta$ ) | 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) | 1.1                           | 40             |
| Kubus             | 2   | random (acak) | 1.1                           | 47             |
| Tetrapod          | 2   | random (acak) | 1.04                          | 50             |
| Quadripod         | 2   | random (acak) | 0.95                          | 49             |
| Hexapod           | 2   | random (acak) | 1.15                          | 47             |
| Tribard           | 2   | random (acak) | 1.02                          | 54             |
| Dolos             | 2   | random (acak) | 1                             | 63             |
| Tribar            | 1   | seragam       | 1.13                          | 47             |
| Batu alam         |     | random (acak) |                               | 37             |

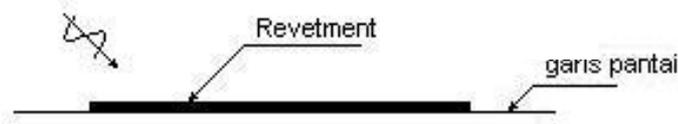
(Sumber: Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo).

### 2.8.2 *Revetment*

*Revetment* merupakan bangunan yang memisahkan daratan dan perairan pantai yang terutama berfungsi sebagai pelindung pantai terhadap erosi dan *overtopping* (limpasan gelombang) ke darat. Daerah yang dilindungi adalah daratan tepat di belakang bangunan. Permukaan bangunan yang menghadap arah datangnya gelombang dapat berupa sisi vertikal atau miring. Dinding pantai biasanya berbentuk dinding vertikal, sedang *revetment* mempunyai sisi miring. Bangunan ini ditempatkan sejajar atau hampir sejajar dengan garis pantai dan bisa terbuat dari pasangan batu, beton, tumpukan pipa (buis) beton, turap, kayu atau tumpukan batu.

Dalam perencanaan dinding pantai atau *revetment*, perlu ditinjau fungsi dan bentuk bangunan, lokasi, panjang, tinggi, stabilitas bangunan dan tanah fondasi, elevasi muka air baik di depan maupun di belakang bangunan, ketersediaan bahan

bangunan dan sebagainya. Selain itu, perlu diperhatikan juga kemungkinan terjadinya erosi di kaki bangunan. Untuk melindungi erosi tersebut maka pada kaki bangunan ditempatkan batu pelindung.



**Gambar 2.24** Penempatan *Revetment*.

Secara garis besar, perhitungan struktur *revetment* sebagai salah satu bangunan pengaman pantai adalah sebagai berikut:

1. Berat Lapis Lindung

$$W = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K_D \cdot (Sr - 1)^3 \cdot \cot \theta} \quad (\text{Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo})$$

Dengan,

W = berat minimum batu.

$\gamma_b$  = berat jenis batu.

$\gamma_a$  = berat jenis air laut.

H = tinggi gelombang rencana.

$\theta$  = sudut kemiringan sisi pemecah gelombang.

$K_D$  = koefisien stabilitas batu.

2. Tebal Lapis Lindung

$$t = 2x d_e = 2x \left[ \frac{W}{\gamma_b} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Teknik Pantai, Nur Yuwono})$$

Dengan,

t = tebal lapis lindung

$d_e$  = diameter equivalen

W = berat butir batu lapis lindung

$\gamma_b$  = berat jenis batu.

3. Lebar Mercu

$$B = nk_{\Delta} \left( \frac{W}{\gamma_r} \right)^{1/3} \quad (\text{Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo})$$

Dengan,

B = lebar puncak.

n = jumlah butir batu ( $n_{\text{minimum}} = 3$ ).

$k_{\Delta}$  = koefisien lapis.

W = berat butir batu pelindung.

$\gamma_b$  = berat jenis batu.

4. Berat *Toe Protection*

$$W_t = \frac{\gamma_b \cdot H^3}{Ns^3 (Sr - 1)} \quad (\text{Teknik Pantai, Bambang Triatmodjo})$$

Dengan,

Wt = berat rerata butir batu

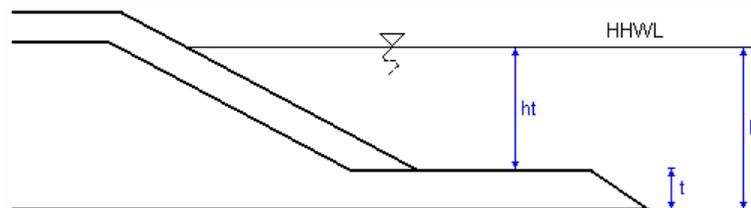
$\gamma_b$  = berat jenis batu.

$\gamma_a$  = berat jenis air laut.

Sr = perbandingan berat jenis batu dan berat jenis air laut.

Ns = angka stabilitas rencana untuk pondasi dan *toe protection*.

5. Tinggi *Toe Protection*



Gambar 2.25 *Revetment* rencana.

$$t = h - ht \quad (\text{Teknik Pantai, Nur Yuwono})$$

Dengan,

t = tinggi *toe protection*.

h = kedalaman dasar laut terhadap HHWL.

ht = kedalaman *toe protection* terhadap HHWL.

6. Lebar *toe protection*

$$B = 2 \times h \quad (\text{Teknik Pantai, Nur Yuwono})$$

Dengan,

B = lebar *toe protection*.

h = kedalaman dasar laut terhadap HHWL.