

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Gelombang Laut

Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa jenis tergantung dari gaya pembangkitnya. Gelombang tersebut adalah gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin, gelombang pasang surut yang dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama bulan dan matahari, dan sebagainya. Diantara beberapa bentuk gelombang yang paling penting dalam perencanaan bangunan pantai adalah gelombang angin dan gelombang pasang surut (Triatmodjo, 1999).

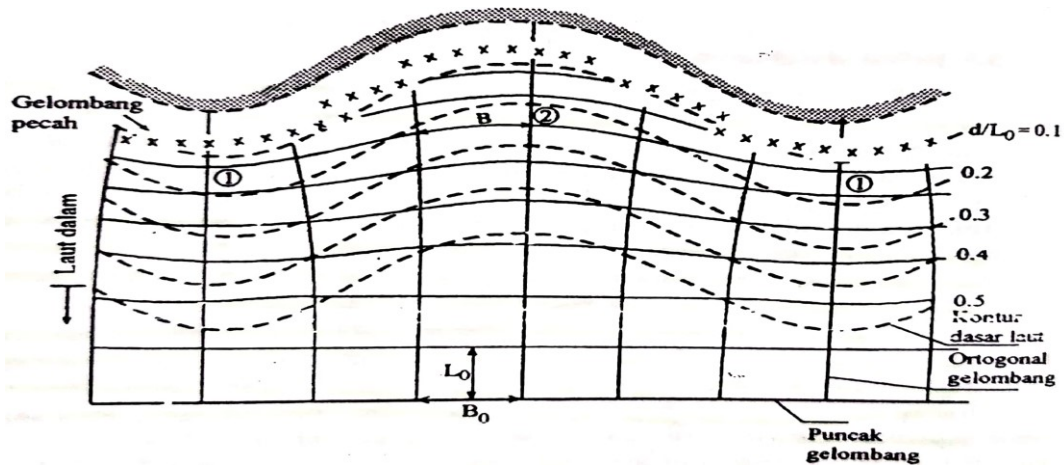
Gelombang mengalami perubahan bentuk ketika suatu deretan gelombang bergerak menuju pantai yang disebabkan oleh refraksi dan pendangkalan gelombang, difraksi, refleksi, dan gelombang pecah (Triatmodjo, 1999).

2.1.1 Gelombang Laut Dalam

Analisis transformasi gelombang sering dilakukan dengan konsep gelombang laut dalam ekuivalen, yaitu tinggi gelombang di laut dalam apabila gelombang tidak mengalami refraksi. Pemakaian gelombang ini bertujuan untuk menetapkan tinggi gelombang yang mengalami refraksi, difraksi, dan transformasi lainnya, sehingga perkiraan transformasi dan deformasi gelombang dapat dilakukan dengan lebih mudah (Triatmodjo, 1999).

2.1.2 Refraksi Gelombang

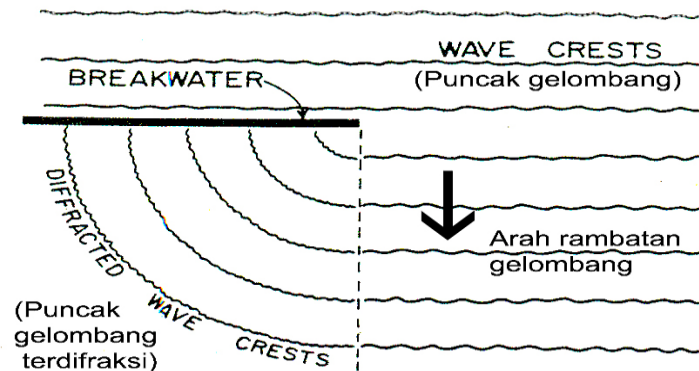
Refraksi adalah Bergeraknya gelombang menuju pantai yang mengalami proses perubahan garis puncak gelombang dan berusaha sejajar dengan kontur garis pantai. Garis ortogonal gelombang membelok dalam arah menuju tegak lurus garis kontur seperti Gambar 2.1 Refraksi Gelombang (Triatmodjo, 1999).



Gambar 2.1 Refraksi Gelombang
(Triatmodjo, 1999)

2.1.3 Difraksi Gelombang

Apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok disekitar ujung rintangan tersebut dan masuk di daerah terlindung dibelakangnya. Transfer energi ke daerah terlindung menyebabkan terbentuknya gelombang di daerah tersebut, meskipun tidak sebesar gelombang di luar daerah terlindung, hal tersebut dapat dilihat seperti pada Gambar 2.2 sering dianggap kedalaman air adalah konstan, apabila tidak maka selain difraksi terjadi juga refraksi gelombang (Triatmodjo, 1999).



Gambar 2.2 Difraksi Gelombang di Daerah Bayangan Suatu Penghalang Gelombang
(Sumber: Komar, 1976)

2.1.4 Refleksi Gelombang

Gelombang datang yang mengenai/menabrak suatu rintangan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Fluktuasi muka air ini dapat menimbulkan gerakan pada kapal yang ada disekitarnya atau pada kolam pelabuhan. Untuk mendapat ketenangan dalam kolam pelabuhan maka bangunan yang ada pada pelabuhan harus mampu menyerap/menghancurkan energi gelombang (Triatmodjo, 1999).

2.1.5 Gelombang Pecah

Penjalaran gelombang laut menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena terjadi perubahan kedalaman laut. Pengaruh perubahan kedalaman laut mulai terasa pada kedalaman lebih kecil dari setengah kali panjang gelombang. Di laut dalam profil gelombang adalah sinusoidal, semakin menuju ke perairan yang lebih dangkal, puncak gelombang semakin tajam dan lembah gelombang lebih datar (Triatmodjo, 1999).

Gelombang pecah dibedakan menjadi beberapa tipe yaitu, *spilling*, *plunging*, dan *surging* (Triatmodjo, 1999).

1. *Spilling*

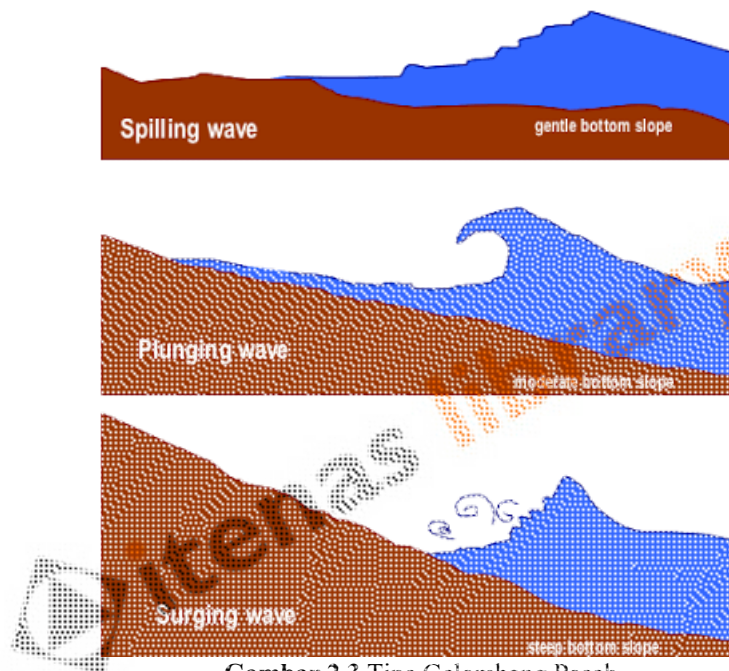
Jika gelombang dengan kemiringan kecil menuju pantai yang landai biasanya terjadi *spilling*. Gelombang mulai pecah pada jarak yang cukup jauh dan berangsur angsur. Buih terjadi pada puncak gelombang pecah dan meninggalkan suatu lapis tipis buih pada jarak yang cukup panjang.

2. *Plunging*

Jika kemiringan gelombang dan dasar bertambah, gelombang akan pecah dan gelombang akan memutar dengan massa air pada puncak gelombang akan terjun kedepan.

3. *Surging*

Terjadi pada pantai dengan kemiringan curam seperti pada pantai berkarang. Daerah gelombang pecah sangat sempit, dan sebagian besar energy dipantulkan kembali ke laut dalam. Jenis ini mirip seperti *plunging*, tetapi sebelum puncaknya terjun, dasar gelombang sudah pecah.



Gambar 2.3 Tipe Gelombang Pecah
(Sumber: vyraswana.blogspot.com)

2.1.6 Gelombang Representif

Gelombang representif diperlukan dalam perencanaan bangunan-bangunan pantai untuk memilih tinggi gelombang dan perioda gelombang yang dapat mewakili suatu spektrum gelombang.

2.2 Pembangkit Gelombang

Tinggi gelombang dan perioda gelombang dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu kecepatan angin, lama hembusan angin, arah angin, dan fetch.

2.2.1 Angin

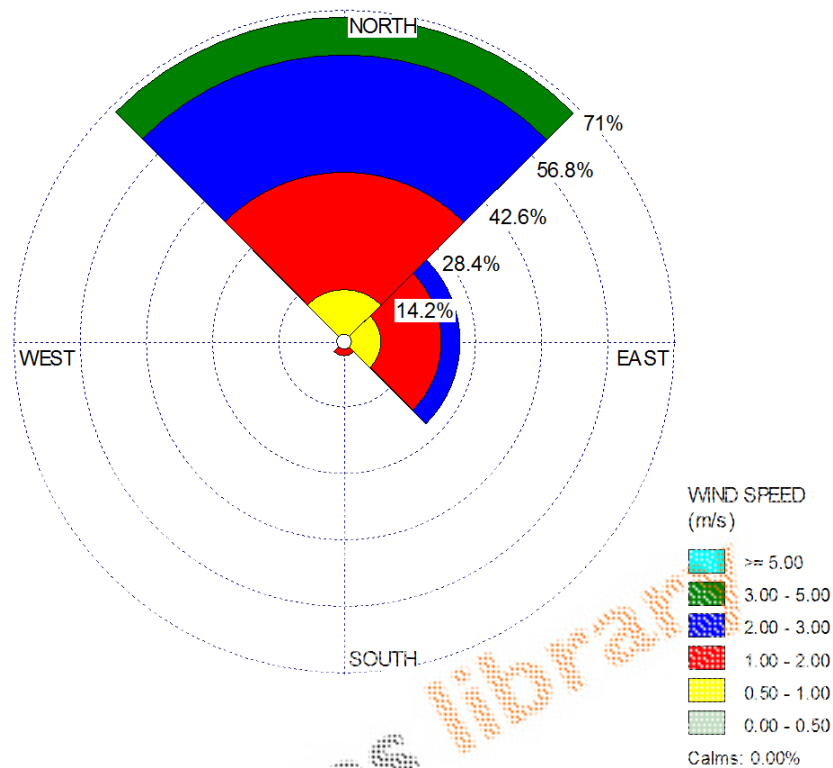
Arah angin dapat dikatakan konstan apabila perubahannya tidak melebihi 15°. Sedangkan kecepatan angin dapat dikatakan konstan apabila perubahannya tidak lebih dari 5 knot (2,5 m/s) terhadap kecepatan rata-rata (Triatmodjo, 1999).

Kecepatan angin terdistribusi ke dalam tiga bagian berdasarkan elevasinya. Kecepatan angin di daerah geostropik yang berada di atas 1000 meter adalah konstan. Dibawah elevasi tersebut ada daerah Ekma yang berada di elevasi 100 meter sampai 1000 meter dan daerah dimana tegangan konstan yang berada di elevasi 10 meter sampai 100 meter. karena adanya gesekan dengan permukaan air laut dan perbedaan temperatur air laut dan udara, arah angin dan kecepatan angin berubah sesuai elevasinya (Triatmodjo, 1999).

Data angin yang digunakan untuk peramalan gelombang adalah data di permukaan laut sesuai lokasi pembangkitnya. Data angin disajikan dalam bentuk tabel (ringkasan) atau diagram yang disebut *wind rose* (mawar angin). Penyajian data dapat diberikan dalam bentuk bulanan, tahunan, dan beberapa tahun pencatatan. Tabel dan diagram *wind rose* dapat dilihat di bawah ini.

Tabel 2.1 Contoh Data Persentase Kejadian Angin

No	Directions	Wind Classes (m/s)						Total (%)
		0.00 - 0.50	0.50 - 1.00	1.00 - 2.00	2.00 - 3.00	3.00 - 5.00	>= 5.00	
1	N	1	13	31	31	10	0	86
2	E	1	9	16	5	0	0	31
3	S	1	0	3	0	0	0	4
4	W	1	1	0	0	0	0	2
	Sub-Total	4	23	50	36	10	0	123
	Calms							0
	Missing/Incomplete							1
	Total							124



Gambar 2.4 Contoh Wind Rose

Data angin yang telah diperoleh dari hasil pengukuran harus dilakukan koreksi sebelum digunakan untuk peramalan gelombang. Koreksi tersebut ada beberapa, yaitu koreksi elevasi, koreksi kecepatan rata-rata, koreksi lokasi pengamatan, dan koreksi koefisien seret.

2.2.2 Fetch

Dalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, fetch dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembangkitan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin (Triatmodjo, 1999).

2.2.3 Peramalan Gelombang Laut

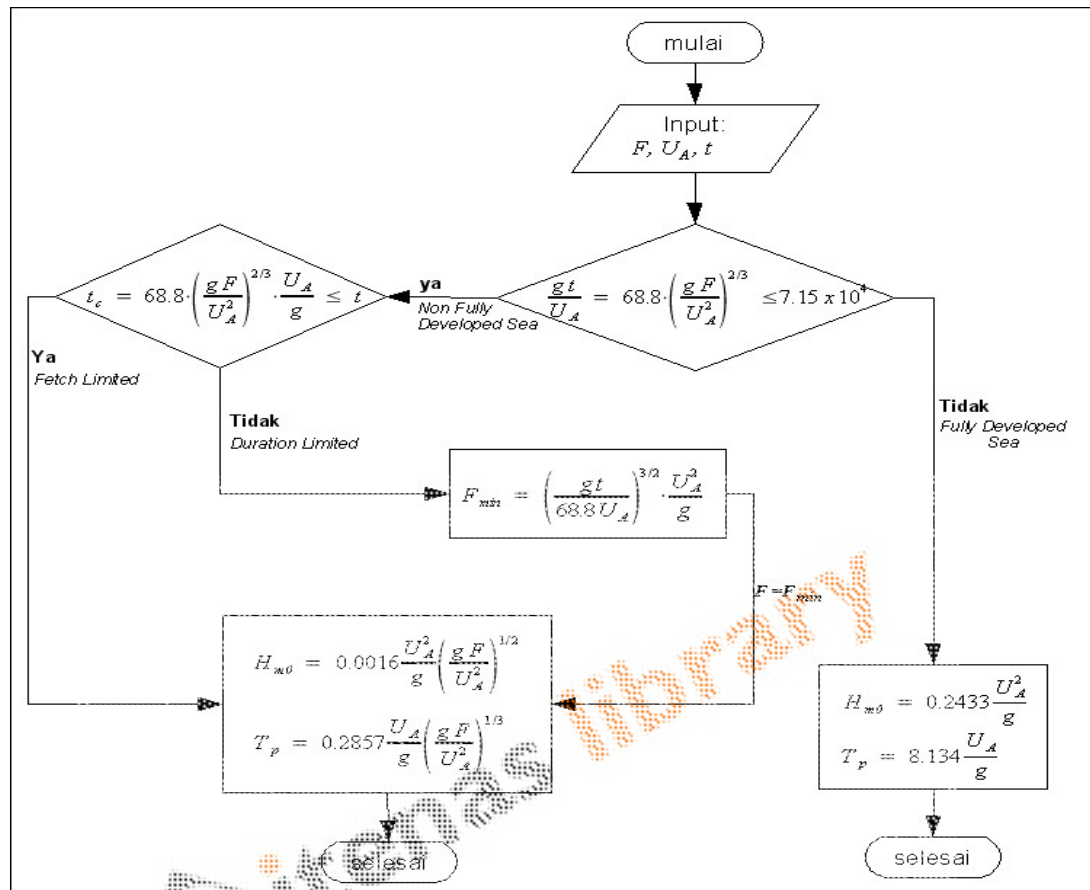
Berdasarkan kecepatan angin, lama hembusan angin dan fetch, peramalan gelombang bisa ditentukan dengan metode grafik dan analisis berdasarkan *Shore Protection Manual* (SPM) (Muliati, 2020). Hasil peramalan tinggi gelombang dari data angin dibedakan menjadi tinggi gelombang spektrum (*spectral wave height*) H_{m0} dan tinggi gelombang signifikan (*significant wave height*) H_s . Hasil dari analisis spektrum diperoleh H_{m0} , sedangkan dari hasil analisis statik diperoleh H_s .

Dengan formula-formula empiris yang diturunkan dari model parametrik berdasarkan *Shore Protection Manual* (SPM) pembentukan gelombang dapat dianalisis di kondisi perairan dalam dan dangkal. Rumus pertumbuhan gelombang dapat dilihat sebagai berikut:

$$\frac{g \cdot t}{U_A} = 68,8 \left(\frac{g \cdot F}{U_A^2} \right)^{2/3} \quad \text{.....(2.1)}$$

Keterangan;

- g : Percepatan gravitasi (m/s^2);
- t : Durasi angin bertiup (s);
- U_A : Faktor tegangan angin (m/s);
- F : Panjang *fetch* efektif (m).



Gambar 2.5 Alur Perhitungan Metode SPM
(Sumber: Muliati, 2020)

Keterangan;

- g = Percepatan gravitasi (m/s^2);
- H_{m0} = H_s = tinggi gelombang signifikan;
- T_p = Periode gelombang puncak;
- F = Panjang *fetch* efektif (m);
- U_A = Faktor tegangan angin (m/s);
- T = Durasi angin bertiup (s).

2.3 Pasang Surut Air Laut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik menarik benda-benda langit. Gaya-gaya pembangkit pasang surut ditimbulkan oleh gaya tarik

menarik antara bumi, bulan, dan matahari. Rotasi bumi menyebabkan elevasi muka air laut di khatulistiwa lebih tinggi daripada di garis lintang yang lebih tinggi. Dengan adanya perputaran bumi maka setiap titik di bumi bekerja gaya sentrifugal (F_c), arah gaya tersebut berlawanan dengan posisi bulan. Selain itu karena adanya pengaruh gravitasi bulan, setiap titik di bumi mengalami gaya tarik (F_g) dengan arah menuju pusat massa bulan. Gaya pembangkit pasang surut adalah resultan dari kedua gaya tersebut (Triatmodjo, 1999).

2.3.1 Tipe Pasang Surut

Di setiap daerah bentuk pasang surut tidaklah sama. Secara umum pasang surut dapat dibedakan dalam empat tipe, yaitu Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*), pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), dan dua jenis campuran (Triatmodjo, 1999).

(a) Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*)

Terjadi dua kali pasang surut dengan tinggi yang hampir sama dan terjadi berurutan secara teratur. Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit. Pasang surut jenis ini terdapat di selat malaka.

(b) Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*)

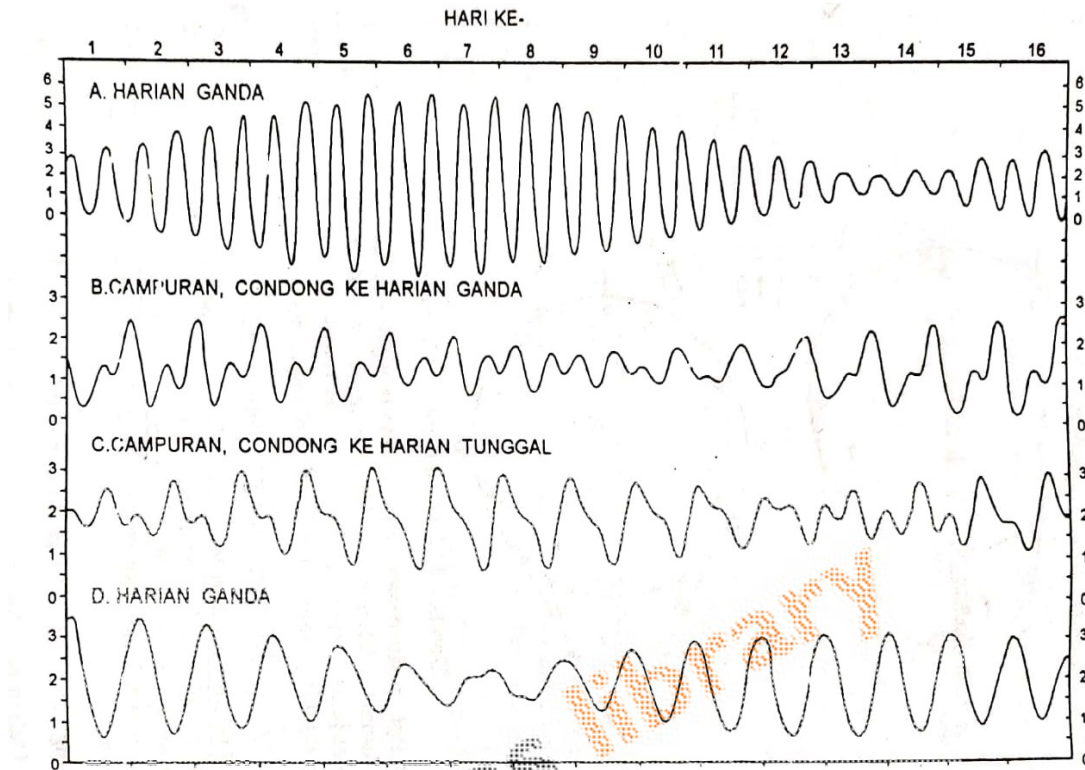
Terjadi satu kali pasang surut dalam satu hari. Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit. Pasang surut tipe ini terdapat di selat karimata.

(c) Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*)

Terjadi dua kali pasang surut, tetapi tinggi dan periodanya berbeda. Pasang surut jenis ini banyak terdapat di perairan Indonesia Timur.

(d) Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*)

Terjadi satu kali pasang surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang surut dengan tinggi periode yang sangat berbeda. Pasang surut jenis ini terdapat di Selat Kalimantan dan utara Jawa Barat.



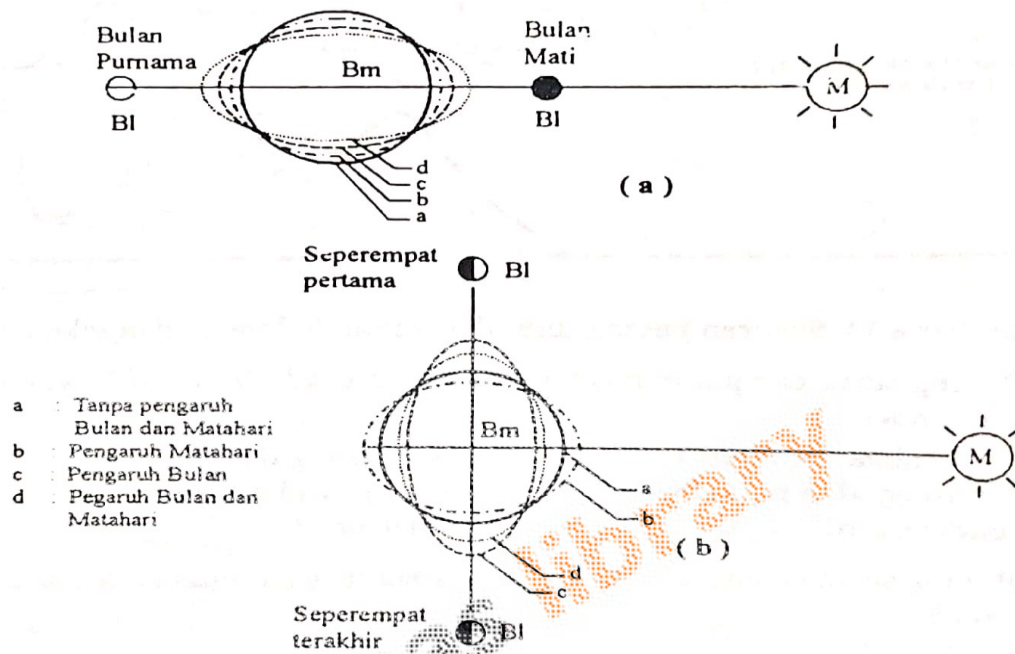
Gambar 2.6 Tipe Pasang Surut
(Sumber: Triatmodjo, 1999)

2.3.2 Variasi Pasang Surut

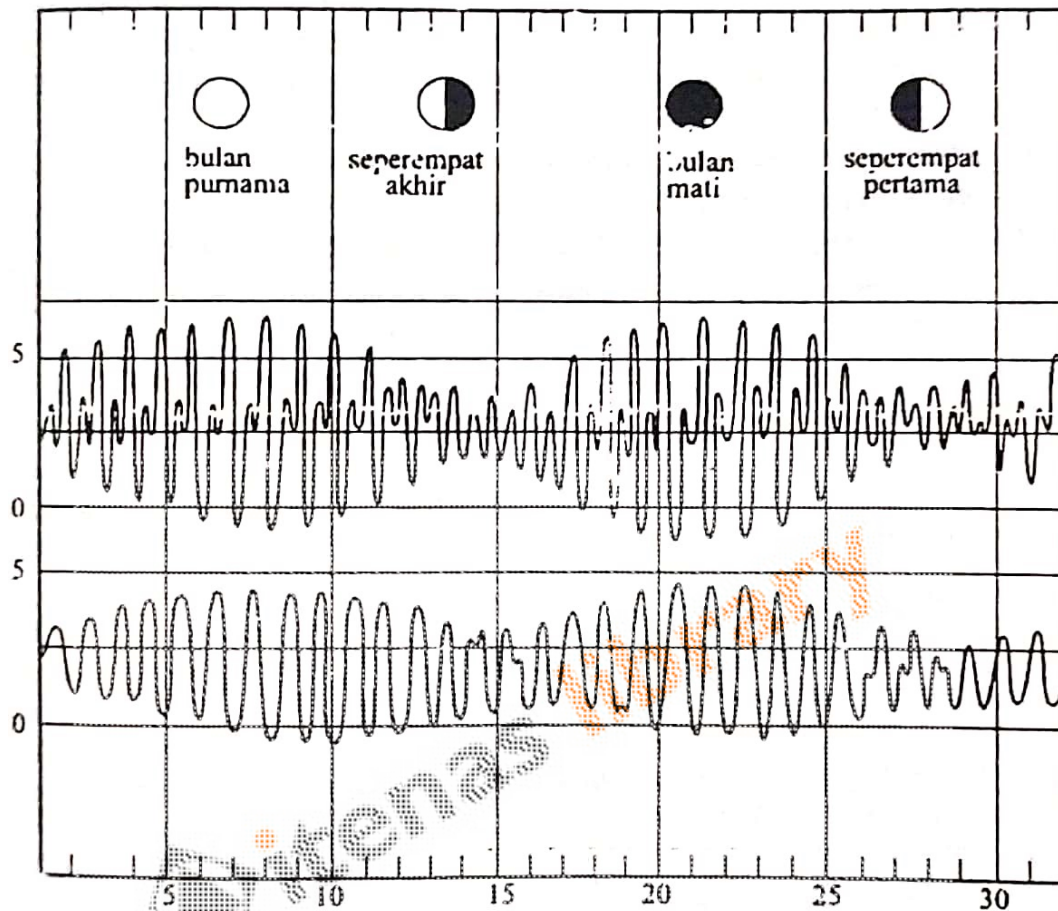
Dengan adanya gaya tarik bulan dan matahari maka lapisan air yang semula berbentuk bola menjadi elips. Posisi bumi-bulan-matahari selalu berubah setiap saat karena adanya peredaran bumi dan bulan pada orbitnya (Triatmodjo, 1999).

Revolusi bulan terhadap bumi ditempuh dalam 29,5 hari (jumlah hari dalam satu bulan berdasarkan kalender tahun kamariah, yaitu tahun yang didasarkan peredaran bulan). Sekitar tanggal 1 dan 15, posisi bumi-bulan-matahari diperkirakan sejajar (Gambar 2.7.a) sehingga gaya tarik bulan dan matahari saling memperkuat terhadap bumi dimana keadaan ini terjadi pasang surut purnama (pasang besar). Sedangkan pada tanggal 7 dan 21 (sepermpat dan tiga perempat revolusi bulan terhadap bumi) kondisi bulan dan matahari membentuk siku terhadap bumi, maka gaya tarik bulan terhadap bumi lebih kecil (Gambar 2.7.b). Dalam keadaan ini terjadi

pasang surut perbani (pasang kecil). Variasi pasang surut purnama dan perbani dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.7 Kedudukan Saat Pasang Purnama (a) dan Pasang Perbani (b)
(Sumber: Triatmodjo, 1999)



Gambar 2.8 Variasi Pasang Surut

(Sumber: Triatmodjo, 1999)

2.4 Bangunan Pengaman Pantai

Untuk melindungi pantai dari kerusakan akibat adanya serangan dan arus laut dapat menggunakan bangunan pantai. Beberapa cara yang bisa dilakukan dalam melindungi pantai, yaitu:

- Melindungi pantai dari serangan gelombang
- Mengurangi energi gelombang yang menuju pantai.
- Mengubah laju sedimen.
- Mereklamasi dengan menambah suplai sedimen di pantai atau dengan cara lainnya.

2.4.1 Tipe Bangunan Pantai

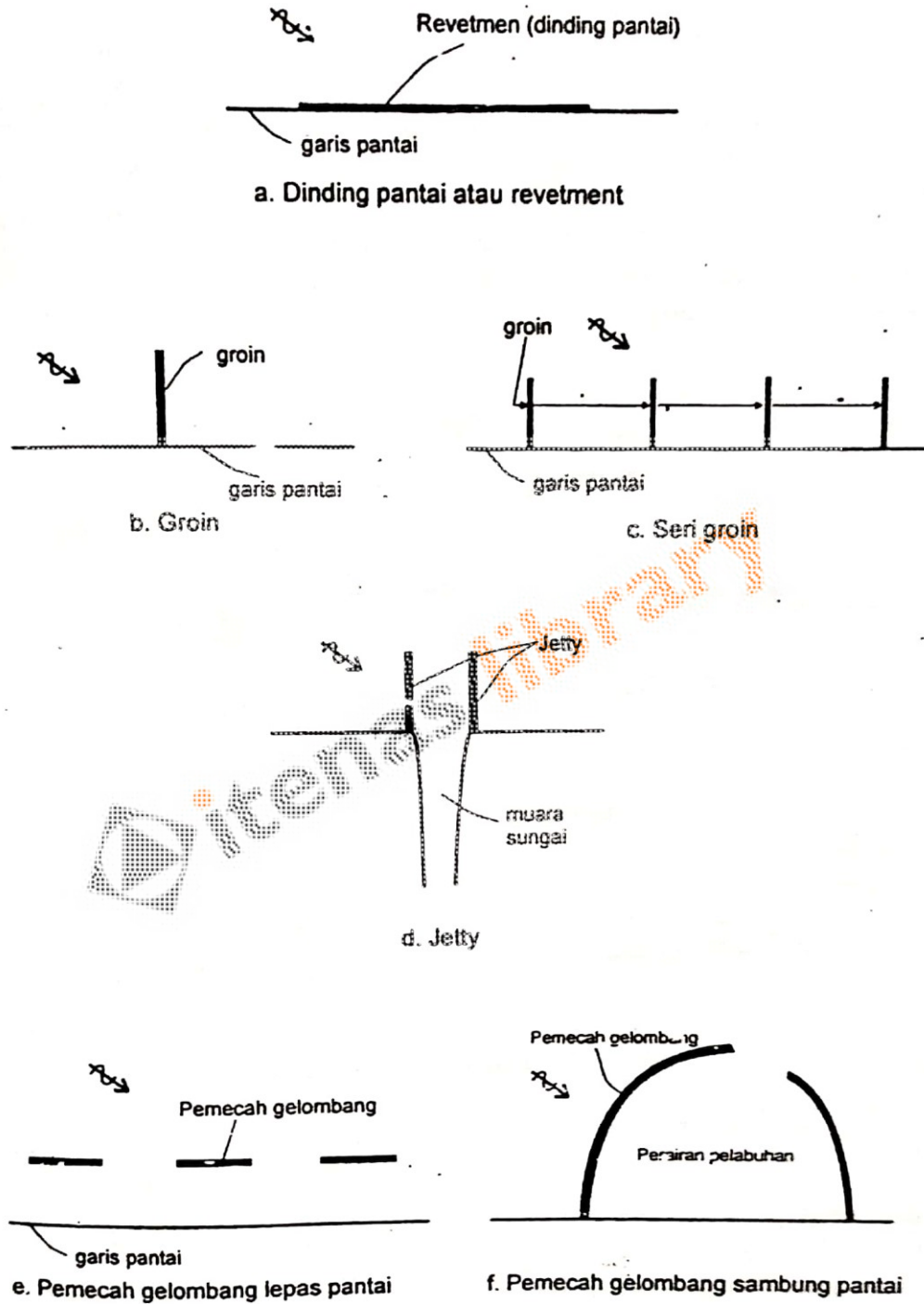
Sesuai dengan fungsinya, bangunan pantai dapat diklasifikasikan dalam beberapa kelompok, yaitu:

- a. konstruksi yang dibangun dipantai dan sejajar dengan garis pantai.
- b. konstruksi yang dibangun kira-kira tegak lurus pantai dan menyambung ke pantai.
- c. konstruksi yang dibangun lepas pantai dengan kira-kira sejajar garis pantai (Triatmodjo, 1999).

Bangunan pengaman tipe pertama adalah dinding pantai atau *revetment* yang dibangun pada garis pantai atau tepat di daratan pantai seperti pada Gambar 2.8.a yang digunakan untuk melindungi pantai dari serangan gelombang (Triatmodjo, 1999).

Tipe kedua meliputi *groin* dan *jetty groin*. *Groin* adalah bangunan yang menjorok dari pantai ke arah laut dengan fungsi untuk menangkap sedimen di sepanjang pantai seperti Gambar 2.9.b, biasanya groin dibuat secara seri dengan jarak tertentu di sepanjang pantai yang dilindungi seperti Gambar 2.9.c. Sedangkan *jetty* ditempatkan di kedua sisi muara sungai untuk menahan sedimen yang bergerak sepanjang pantai mengendap di muara sungai seperti Gambar 2.9.d.

Tipe ketiga adalah pemecah gelombang (*breakwater*) yang dibedakan dalam dua macam yaitu, pemecah gelombang lepas pantai yang digunakan untuk memecah gelombang sebelum mencapai pantai seperti pada Gambar 2.9.e dan pemecah gelombang tipe sambungan yang biasanya digunakan di perairan pelabuhan seperti pada gambar 2.9.f sehingga kapal dapat belah di dermaga (Triatmodjo, 1999).



Gambar 2.9 Tipe Bangunan Pelindung Pantai
 (Sumber: Triatmodjo, 1999)

2.4.2 Pemilihan Gelombang Rencana untuk Bangunan Pemecah Gelombang

Penentuan gelombang rencana dipertimbangkan berdasarkan tipe bangunan, nilai daerah yang dilindungi, dan biaya pelaksanaan pekerjaan. Semakin penting bangunan maka semakin besar periode ulang gelombang rencana. Periode ulang biasanya ditetapkan dari 5 sampai 100 tahun (Triatmodjo, 1999).

Kondisi gelombang pada bangunan pada setiap saat tergantung dari elevasi muka air laut yang selalu berubah karena adanya pasang surut. Oleh karena itu perlu ditentukan kondisi gelombang di lokasi bangunan untuk berbagai elevasi muka air laut, apakah gelombang pecah atau gelombang tidak pecah. Hal ini mengingat bahwa gaya gelombang yang ditimbulkan oleh gelombang pecah dan gelombang tidak pecah adalah berbeda (Triatmodjo, 1999).

2.5 Kajian Penelitian Sebelumnya

Kajian penelitian sebelumnya dari Rafandi, dkk. (2013), Aqil, dkk. (2018), dan Chrysanti, dkk. (2019), merupakan penelitian yang bersangkutan dengan Pelabuhan Tanjung Adikarto. Berikut ini akan dijelaskan hasil penelitian yang telah dilakukan.

2.5.1 Kondisi Gelombang pada Mulut Pelabuhan Tanjung Adikarto

Hasil penelitian Rafandi, dkk. yaitu, hasil pemodelan gelombang menggunakan SMS (*Surface Water Modelling System*) didapatkan tinggi gelombang di mulut pelabuhan 1,71 m, terjadi refraksi ketika arah penjalaran gelombang menuju pantai, dan terjadi pendangkalan di kedalaman 5 – 2 meter saat menuju pantai.

2.5.2 Berat Lapis Lindung Pemecah Gelombang

Hasil penelitian Aqil, dkk., yaitu dengan tinggi gelombang 1,77 meter pada bulan maret 2017 yang diperoleh dari BMKG, berat lapis pelindung yang digunakan adalah 0,539 ton, dan dengan tinggi gelombang 1,87 meter berat lapis pelindung seberat 0,635 ton.

2.5.3 Perubahan Garis Pantai

Hasil penelitian Chrysanti, dkk., memperlihatkan perubahan garis pantai yang terjadi di pantai Glagah Kabupaten Kulon Progo yang di analisis dari tahun 2002 hingga 2018 abrasi pantai mencapai 60 meter. Berdasarkan pemodelan numerik hasil yang didapat cukup besar yaitu kemudaran garis pantai mencapai 2 meter hingga 190 meter.

2.6 Delft3D

Pemodelan gelombang pada bangunan pemecah gelombang Pelabuhan Tanjung Adikarto menggunakan *software* Delft3D. *Software* ini dapat menampilkan hasil simulasi gelombang, arus, analisis ekologi pada daerah pantai, dan kualitas air. Simulasi Delft3D menggunakan grid yang merupakan garis bantu dari koordinat sebagai batasan daerah yang di analisis. Delft3D memiliki beberapa modul di antara lain, Delft3D-FLOW, Delft3D-WAVE, Delft3D-WAQ, Delft3D-PART, Delft3D-ECO, dan Delft3D-SED. Pada Pemodelan gelombang pada bangunan pemecah gelombang Pelabuhan Tanjung Adikarto yang digunakan adalah modul Delft3D-FLOW dan Delft3D-WAVE.

2.6.1 Delft3D-FLOW

Delft3D-FLOW adalah sistem pada bagian Delft3D yang digunakan untuk menghitung SWE (*Shallow Water Equation*) atau persamaan pada kondisi air dangkal dalam variabel kecepatan dan tinggi ke dalam bentuk dua atau tiga dimensi pada sebuah grid atau garis bantu (Arizal, 2011 dalam Hidayah, 2017).

Seperti yang dijelaskan dalam Lesser et al (2004), Delft3D-FLOW memakai beberapa persamaan pembangunan yaitu, persamaan momentum dan persamaan kontinuitas (Hidayah, 2017).

a. Persamaan momentum dalam arah horizontal

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{u}{\sqrt{G\zeta\zeta}} \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{v}{\partial \eta \sqrt{G\eta}} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{V^2 \sqrt{G\eta\eta}}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta}} + \frac{uv \sqrt{G\zeta\zeta}}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta}} - Fv \\ = \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G\zeta\zeta}} P\zeta + F\zeta + \frac{1}{(d + \zeta)^2} v \frac{\partial u}{\partial \sigma} + M\zeta \end{aligned} \quad \text{.....(2.2)}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{u}{\sqrt{G\zeta\zeta}} \frac{\partial u}{\partial \zeta} + \frac{v}{\partial \eta \sqrt{G\eta}} + \frac{\omega}{d + \zeta} \frac{\partial u}{\partial \sigma} - \frac{uv \sqrt{G\eta\eta}}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta}} + \frac{V^2 \sqrt{G\zeta\zeta}}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta}} - Fv \\ = \frac{1}{\rho_0 \sqrt{G\zeta\zeta}} P\zeta + F\zeta + \frac{1}{(d + \zeta)^2} v \frac{\partial u}{\partial \sigma} + M\zeta \end{aligned} \quad \text{.....(2.3)}$$

b. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial \zeta}{\partial r} + \frac{1}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta}} \frac{\partial [(d + \zeta)U \sqrt{G\eta\eta}]}{\partial \zeta} + \frac{1}{\sqrt{G\zeta\zeta} \sqrt{G\eta\eta}} \frac{\partial [(d + \zeta)V \sqrt{G\zeta\zeta}]}{\partial \eta} = (d + \zeta)Q \quad \text{.....(2.4)}$$

Dengan U dan V dirata – ratakan terhadap kedalaman:

$$U = \frac{1}{d + \zeta} \int_{-1}^6 u dz = \int_{-1}^0 u d\sigma \quad \text{.....(2.5)}$$

$$V = \frac{1}{d + \zeta} \int_{-1}^6 v dz = \int_{-1}^0 v d\sigma \quad \text{.....(2.6)}$$

Dimana Q menunjukkan faktor per unit area:

$$Q = H \int_{-1}^0 (q_{in} - q_{out}) d\sigma + P - E \quad \text{.....(2.7)}$$

Keterangan:

$\sqrt{G\zeta\zeta}$ = koefisien transformasi kurvalimier menjadi koordinat persegi (m).

$\sqrt{G\eta\eta}$ = koefisien transformasi kurvalimier menjadi koordinat persegi (m).

G = percepatan gravitasi (m/s²)

$M\zeta$ = sumber/keluaran momentum dalam arah X/ ζ (kg m/s)

- $M\eta$ = sumber/keluaran momentum dalam arah Y/η (kg m/s)
 U = kecepatan rata-rata terhadap kedalaman pada arah X/ζ (m/s)
 u = kecepatan aliran dalam tanah X/ζ (m/s)
 V = kecepatan rata-rata terhadap kedalaman pada arah Y/η (m/s)
 ω = frekuensi sudut pasang surut dan atau komponen Fourier
 ζ = elevasi muka air (m)

2.6.2 Delft3D-WAVE

Delft3D-WAVE merupakan sistem dalam Delft3D untuk mensimulasikan perambatan gelombang. Delft3D-WAVE juga bisa di terapkan dalam pemodelan gelombang di perairan dalam, menengah dan dangkal (anonim, 2007 dalam fahmi,2019). WAVE-GUI (*Graphical User Interface*) adalah sistem untuk memberikan nilai pada semua parameter yang digunakan untuk mengimpor nama atribut file ke MDW-file. MDW-file adalah input file untuk simulasi gelombang. MDW-file ini berisi semua data yang diperlukan untuk pemodelan gelombang dan menjalankan perhitungan gelombang (fahmi, 2019).