

BAB IV

IDENTIFIKASI MASALAH DAN ANALISA DATA

4.1. Identifikasi Masalah

Secara Administratif Pantai Tambak Mulyo terletak di Kelurahan Tanjung Mas Kecamatan Semarang Utara Propinsi Jawa Tengah. Batas wilayah Kelurahan Tambak Mulyo adalah sebagai berikut:

- Utara : berbatasan dengan Laut Jawa.
- Timur : berbatasan dengan Pelabuhan Tanjung Mas.
- Selatan : berbatasan dengan Kelurahan Terboyo Kulon Kecamatan Genuk.
- Barat : berbatasan dengan Kelurahan Terboyo Kulon Kecamatan Genuk.

Permasalahan yang timbul di daerah pantai biasanya berkembang tergantung pada pertumbuhan manusia dan aktivitasnya di daerah yang bersangkutan. Semakin ramai aktivitas suatu daerah tentunya sekecil apapun permasalahan yang timbul akan dirasakan lebih banyak orang. Permasalahan kerusakan pantai yang timbul di daerah pantai Tambak Mulyo terutama disebabkan oleh rob (luapan air laut) dan abrasi pantai.



Gambar 4.1. *Sea wall* rusak akibat abrasi.

Abrasi pantai umumnya terjadi karena adanya faktor alam, dalam hal ini adalah gelombang angin. Gelombang angin adalah gelombang yang timbul akibat tiupan angin di permukaan laut. Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transpor sedimen dalam arah tegak lurus dan sepanjang pantai.

Angin yang bertiup dengan kecepatan dan arah tertentu di permukaan laut, akan menimbulkan riakan (gerakan) air yang semula kecil menjadi besar dan kemudian menjadi gelombang. Energi gelombang yang datang tegak lurus dari arah utara pantai Tambak Mulyo mengikis kawasan tersebut sehingga menimbulkan abrasi. Abrasi yang terjadi secara terus menerus dapat mengakibatkan perubahan garis pantai di kawasan Tambak Mulyo.



Gambar 4.2. Tambak rusak dan tercemar air laut akibat terjadi abrasi.



Gambar 4.3. Bentuk tepi pantai akibat terjadi abrasi.

4.2. Angin

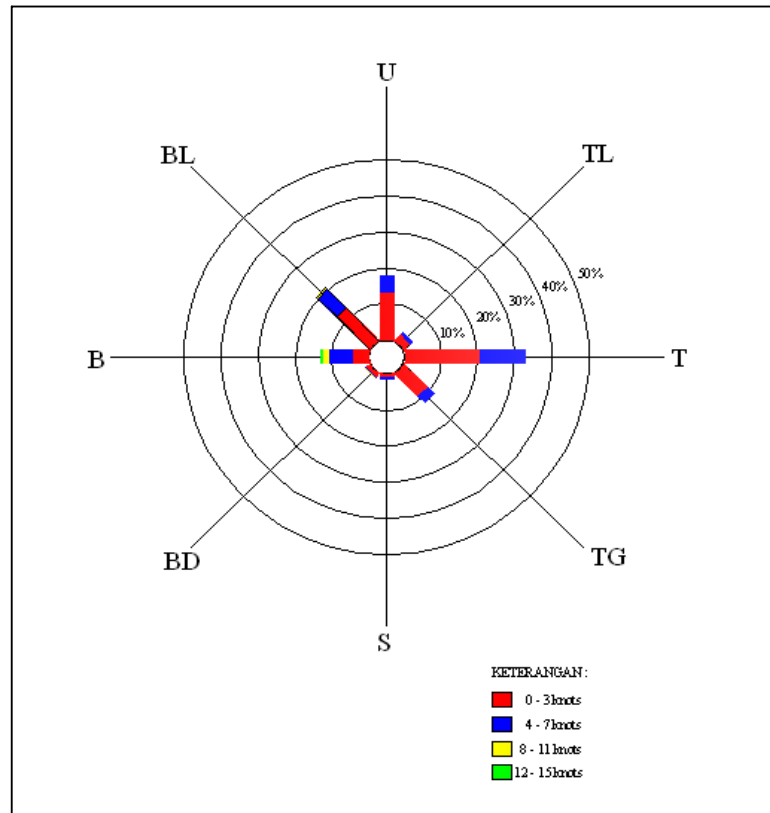
Data angin diperoleh dari Stasiun Badan Meteorologi dan Geofisika Maritim Semarang dengan koordinat 6 - 56' - 33" LS dan 110 - 25' - 20" BT. Data angin yang diperoleh adalah data angin kecepatan rata-rata harian selama 5 tahun yaitu tahun 2003 hingga tahun 2007. Dari data angin tersebut kemudian diolah menjadi *windrose* yang berguna untuk menentukan arah angin dominan. *Windrose* disajikan dalam lima tahunan. Untuk lebih jelasnya disajikan pada tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1. Prosentase Kejadian Angin
Tahun 2003 – 2007

Kec. Angin (knots)	Arah Angin								Total
	U	TL	T	TG	S	BD	B	BL	
0 -- 3	239	37	369	160	13	20	82	227	1147
%	13,12	2,03	20,26	8,79	0,71	1,10	4,50	12,47	62,99
4 -- 7	81	14	224	46	7	6	117	134	629
%	4,45	0,77	12,30	2,56	0,38	0,33	6,43	7,36	35,54
8 -- 11	-	-	-	-	-	2	31	9	42
%	-	-	-	-	-	0,11	1,70	0,49	2,31
12 - 15	-	-	-	-	-	-	3	-	3
%	-	-	-	-	-	-	0,16	-	0,16
Jumlah	320	51	593	206	20	28	233	370	1821
Prosen (%)	17,57	2,80	32,56	11,31	1,10	1,54	12,80	20,32	100,00

Sumber: BMG Maritim Semarang dan hasil olahan

Dari data di atas dapat dilihat prosentase kejadian angin yang berpengaruh berasal dari arah Barat (12,80%), Utara (17,57%), Timur Laut (2,80%), dan yang terbesar dari arah Barat Laut (20,32%), jadi arah angin dominan dari arah Barat Laut. Sehingga, dalam analisa peramalan gelombang dipengaruhi oleh angin yang berasal dari arah Barat Laut, Utara, dan Timur Laut.



Gambar 4.4. *Windrose* tahun 2003-2007

4.3. *Fetch* Efektif

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

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha}$$

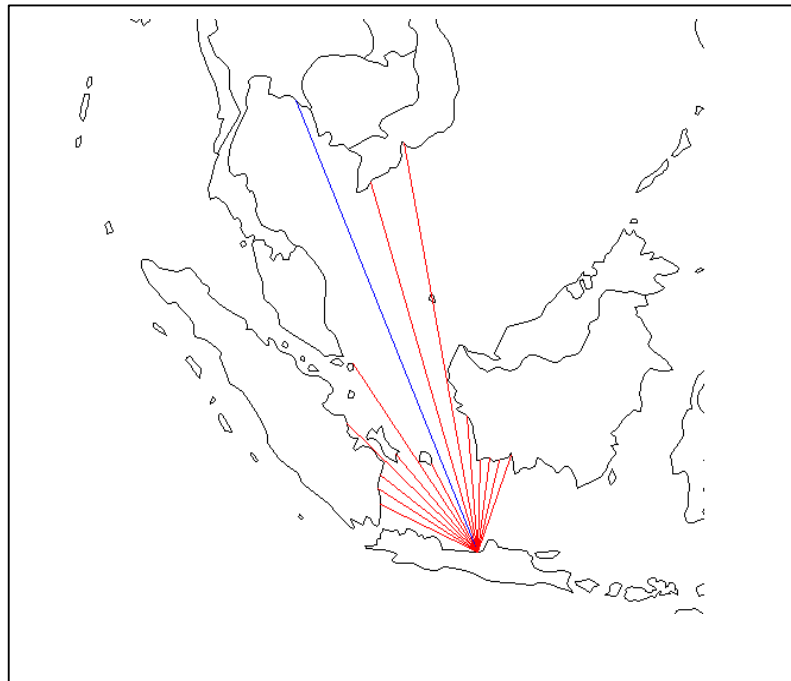
Dimana :

F_{eff} : *fetch* rerata 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 penambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin.

Cara mendapatkan *fetch* efektif ditunjukkan oleh Gambar 4.5 di bawah ini:



Gambar 4.5. Fetch efektif dari arah barat laut.

Dari peta tersebut dapat dihitung panjang *fetch* dari arah angin yang berpengaruh terhadap pembangkitan tinggi gelombang di pantai Tambak Mulyo yaitu dari arah barat laut, utara, timur laut, dan timur. Perhitungan *fetch* efektif dapat dilihat pada tabel-tabel berikut ini:

Tabel 4.2. Fetch Arah Barat Laut

Arah Barat Laut				
Titik	Sudut (α°)	Cos (α)	X (km)	X Cos (α)
7 ki	42	0,743	740,34	550,07
6 ki	36	0,809	800,46	647,57
5 ki	30	0,866	841,58	728,81
4 ki	24	0,914	1.231,33	1.125,43
3 ki	18	0,951	855,85	813,92
2 ki	12	0,978	1.511,43	1.478,18
1 ki	6	0,995	3.240,82	3.224,62
0	0	1	2.557,58	2.557,58
1 ka	6	0,995	2.751,47	2.737,72
2 ka	12	0,978	900,51	880,69
3 ka	18	0,951	610,93	580,99
4 ka	24	0,914	625,26	571,49
5 ka	30	0,866	625,20	541,42
6 ka	36	0,809	679,45	549,68
7 ka	42	0,743	679,45	504,83
	Jumlah	13,512		17.493,00
			Fetch	1.294,63

Tabel 4.3. Fetch Arah Utara

Arah Utara				
Titik	Sudut (α°)	Cos (α)	X (km)	X Cos (α)
7 ki	42	0,743	836,40	621,45
6 ki	36	0,809	1.481,81	1.198,78
5 ki	30	0,866	665,75	576,54
4 ki	24	0,914	3.302,21	3.018,22
3 ki	18	0,951	2.519,87	2.396,40
2 ki	12	0,978	2.625,03	2.567,28
1 ki	6	0,995	921,98	917,37
0	0	1	608,65	608,65
1 ka	6	0,995	625,58	622,45
2 ka	12	0,978	615,85	602,30
3 ka	18	0,951	662,84	630,36
4 ka	24	0,914	599,56	548,00
5 ka	30	0,866	645,54	559,03
6 ka	36	0,809	748,80	605,78
7 ka	42	0,743	765,98	569,12
	Jumlah	13,512		16.041,74
			Fetch	1.187,22

Tabel 4.4. Fetch Arah Timur Laut

Arah Timur Laut				
Titik	Sudut (α°)	Cos (α)	X (km)	X Cos (α)
7 ki	42	0,743	2.524,36	1.875,60
6 ki	36	0,809	2.613,54	2.114,35
5 ki	30	0,866	933,16	808,11
4 ki	24	0,914	707,94	647,05
3 ki	18	0,951	624,63	594,02
2 ki	12	0,978	607,14	593,78
1 ki	6	0,995	650,02	646,77
0	0	1,000	635,31	635,31
1 ka	6	0,995	634,11	630,93
2 ka	12	0,978	751,14	734,61
3 ka	18	0,951	756,82	719,74
4 ka	24	0,914	70,67	64,60
5 ka	30	0,866	59,68	51,69
6 ka	36	0,809	52,17	42,20
7 ka	42	0,743	46,80	34,77
	Jumlah	13,512		10.193,54
			Fetch	754,41

Untuk perhitungan selanjutnya digunakan fetch efektif sebesar 1.294,63 km

4.4. Pasang Surut

Pasang surut merupakan naik turunnya elevasi muka air yang disebabkan oleh pengaruh gaya gravitasi bulan, matahari, serta benda-benda astronomi lainnya. Pasang surut juga dapat disebabkan oleh gaya sentrifugal dari pergerakan benda-benda tersebut. Karena pergerakan itu mempunyai siklus tertentu, maka elevasi pasang surut mempunyai bentuk periodik

Dari hasil perkiraan elevasi pasang surut inilah datum-datum ini dapat dicari. Beberapa datum yang biasa digunakan adalah:

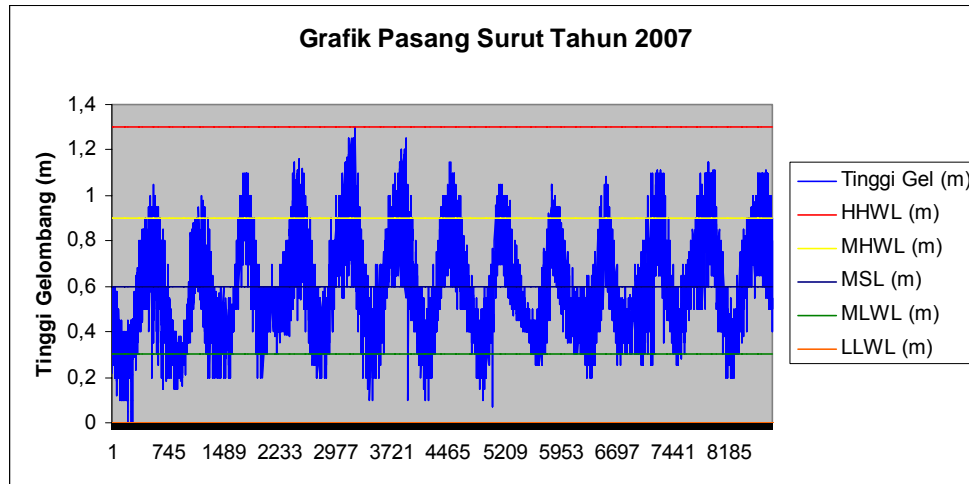
- HHWL : *Highest high water level*, yaitu elevasi tertinggi muka air selama periode tertentu.
- MHWL : *Mean high water level*, yaitu rata-rata elevasi pasang (tinggi) muka air selama periode tertentu.
- MSL : *Mean sea level*, yaitu elevasi tinggi muka air rata-rata.
- MLWL : *Mean low water level*, yaitu rata-rata elevasi surut (rendah) muka air pada periode tertentu.
- LLWL : *Lowest low water level*, yaitu elevasi muka air terendah selama periode tertentu.

Dari data pasang surut yang diperoleh dari BMG Maritim Semarang, tahun 2007, didapat data sebagai berikut:

Tabel 4.5. Hasil Perhitungan Pasang Surut Tahun 2007

No	Bulan	HHWL (m)	MHWL (m)	MSL (m)	MLWL (m)	LLWL (m)
1	Januari	1,1	0,8	0,5	0,2	0,0
2	Februari	1,0	0,8	0,5	0,2	0,2
3	Maret	1,1	0,9	0,6	0,3	0,2
4	April	1,2	0,9	0,6	0,3	0,2
5	Mei	1,3	1,0	0,7	0,3	0,1
6	Juni	1,3	1,0	0,6	0,3	0,1
7	Juli	1,2	1,0	0,6	0,3	0,1
8	Agustus	1,1	0,9	0,6	0,3	0,3
9	September	1,1	0,9	0,6	0,4	0,2
10	Oktober	1,1	0,9	0,6	0,4	0,3
11	Nopember	1,2	1,0	0,7	0,4	0,3
12	Desember	1,1	1,0	0,6	0,3	0,2

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam grafik pasang surut sebagai berikut:



Gambar 4.6. Grafik pasang surut tahun 2007

$$MHWL = \frac{\sum MHWL \text{ tiap bulan}}{12} = 0,9 \text{ m}$$

$$MLWL = \frac{\sum MLWL \text{ tiap bulan}}{12} = 0,3 \text{ m}$$

$$MSL = \frac{\sum MSL \text{ tiap bulan}}{12} = 0,6 \text{ m}$$

$$HHWL = 1,3 \text{ m}$$

$$LLWL = 0 \text{ m}$$

4.5. Peramalan Gelombang

4.5.1 Peramalan gelombang cara analitis

Dalam menetapkan data gelombang berhubung data gelombang untuk jangka panjang sulit atau terlalu mahal untuk dilaksanakan, maka digunakan data angin. Disini akan dilaksanakan peramalan gelombang (*hindcasting*) dengan metode SMB. Metode SMB dikemukakan oleh Svedrup, Munk dan Bretchsneider pada tahun 1958. Hasil peramalan

gelombang ini berupa tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang.

Formulasi metode SMB adalah sebagai berikut:

- Untuk kondisi *fetch limited*

$$\frac{gH_{m0}}{U^2_A} = 1,6 \times 10^{-3} \left(\frac{gF}{U^2_A} \right)^{1/2}$$

$$\frac{gT_m}{U_A} = 2,857 \times 10^{-1} \left(\frac{gF}{U^2_A} \right)^{1/3}$$

$$\frac{gt}{U^2_A} = 68,8 \times \left(\frac{gF}{U^2_A} \right)^{1/3}$$

- Untuk kondisi *fully developed*

$$\frac{gH_{m0}}{U^2_A} = 2,433 \times 10^{-1}$$

$$\frac{gT_m}{U_A} = 8,134$$

$$\frac{gt}{U^2_A} = 7,15 \times 10^4$$

- Untuk kondisi *shallow water wave*

$$H = 0,283 \times \tanh \left[0,53 \left(\frac{gd}{U^2_A} \right) \right]^{3/4} \times \tanh \left[\frac{0,00565 \left(\frac{gF}{U^2_A} \right)}{\tanh \left[0,53 \left(\frac{gd}{U^2_A} \right) \right]^{3/4}} \right]^{1/2} \times \frac{U^2_A}{g}$$

$$T = 7,54 \times \tanh \left[0,833 \left(\frac{gd}{U^2_A} \right) \right]^{3/8} \times \tanh \left[\frac{0,00379 \left(\frac{gF}{U^2_A} \right)^{1/3}}{\tanh \left[0,833 \left(\frac{gd}{U^2_A} \right) \right]^{3/8}} \right] \times \frac{U^2_A}{g}$$

Dimana:

F : panjang *fetch* efektif

g : percepatan gravitasi ($g = 9,81 \text{ m/dt}^2$)

H_{m0} : tinggi gelombang hasil peramalan

- T_m : periode gelombang puncak
 U_A : kecepatan angin yang sudah dikoreksi
 t : lama angin berhembus

⊕ Estimasi Angin Permukaan

Beberapa koreksi terhadap data angin yang harus dilakukan sebelum melakukan peramalan gelombang antara lain:

- Elevasi

Elevasi pencatat angin untuk perhitungan adalah elevasi 10 m dpl. Untuk elevasi yang tidak pada ketinggian 10 m dikoreksi dengan formula sebagai berikut :

$$U_{(10)} = U_{(z)} \left(\frac{10}{Z} \right)^{1/7}$$

Dimana :

$U_{(10)}$: kecepatan pada ketinggian 10 dpl.

$U_{(z)}$: kecepatan pada ketinggian Z m dpl.

Dalam data yang diperoleh elevasi pencatat angin pada 3 m, maka data tersebut harus dikonversi ke elevasi 10 m dengan menggunakan rumus diatas.

- Konversi Kecepatan Angin

Biasanya pengukuran angin dilakukan di daratan, padahal di dalam rumus-rumus pembangkitan gelombang data angin yang digunakan adalah yang ada di atas permukaan air laut. Oleh karena itu diperlukan transformasi dari data angin di atas daratan yang terdekat dengan lokasi studi ke data angin di atas permukaan air laut. Hubungan antara angin di atas laut dan angin di atas daratan terdekat diberikan oleh $R_L = U_W / U_L$ pada Gambar 2.12.

- Tegangan Angin

Rumus dan grafik pembangkitan gelombang mengandung faktor tegangan angin (*wind stress factor*) yang dapat dihitung dari kecepatan angin setelah dilakukan berbagai konversi di atas.

Kemudian kecepatan angin tersebut dikonversi lagi dalam tegangan angin menggunakan rumus:

$$U_A = 0,71xU_W^{1,23}$$

Dimana:

U_A : Tegangan angin

U_W : Kecepatan angin di laut (m/d)

Tabel 4.6 merupakan contoh perhitungan peramalan gelombang secara analitis pada bulan Januari 2007 dengan nilai $U_{(z)} = 10$ knot arah Barat Daya maka :

1. Konversi elevasi pencatatan angin pada 3 m ke elevasi 10 m di atas permukaan laut

$$U_{(10)} = U_{(z)} \left(\frac{10}{z} \right)^{1/7}$$

$$U_{(10)} = 10 \left(\frac{10}{3} \right)^{1/7} = 11,88 \text{ knot} = 6,10 \text{ m/d}$$

2. Transformasi data angin di atas daratan ke angin di atas permukaan air laut, dengan $U_L = 6,10$ m/d dan R_L dicari pada Gambar 2.8 didapat sebesar 1,13 maka kecepatan angin di atas permukaan laut adalah:

$$\begin{aligned} U_W &= U_L \times R_L && (R_L = 1,33) \\ &= 6,10 \times 1,33 \\ &= 8,10 \text{ m/d} \end{aligned}$$

3. Menghitung tegangan angin (U_A)

$$U_A = 0,71xU_W^{1,23}$$

$$U_A = 0,71x8,10^{1,23} = 9,30 \text{ m/d}$$

4. Dari analisa topografi, Pantai Tambak Mulyo termasuk dalam kondisi *limited fetch*. Dalam perhitungan peramalan gelombang dapat digunakan rumus sebagai berikut:

- Tinggi gelombang

$$H = 1,6 \times 10^{-3} \left(\frac{gF}{U^2_A} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{U^2_A}{g}$$

$$= 1,6 \times 10^{-3} \left(\frac{9,81 \times 1294,63}{9,30^2} \right)^{\frac{1}{2}} \frac{9,30^2}{9,81}$$

$$H = 0,17 \text{ m}$$

- Periode gelombang

$$T = 2,875 \times 10^{-1} \left(\frac{gF}{U^2_A} \right)^{\frac{1}{3}} \frac{U_A}{g}$$

$$= 2,875 \times 10^{-1} \left(\frac{9,81 \times 1294,63}{9,30^2} \right)^{\frac{1}{3}} \frac{9,30}{9,81}$$

$$T = 1,44 \text{ detik}$$

Perhitungan tinggi dan periode gelombang selanjutnya diberikan oleh Tabel 4.6 berikut ini:

Tabel 4.6. Peramalan tinggi dan periode gelombang secara analitis berdasarkan kecepatan angin rata-rata Bulan Januari 2007

Tanggal	U Knot	Arah (°)	Arah Angin	U (10) Knot	UL (10) (m/s)	RL	UW (m/s)	UA (m/s)	Fetch (km)	Ho (m)	To (detik)
1	10	240	BD	11,88	6,10	1,33	8,10	9,30	1294,63	0,17	1,44
2	11	280	B	13,06	6,72	1,29	8,70	10,15	1294,63	0,19	1,48
3	4	250	B	4,75	2,44	1,63	3,99	3,89	1294,63	0,07	1,08
4	9	320	BL	10,69	5,49	1,36	7,48	8,44	1294,63	0,16	1,39
5	5	120	TG	5,94	3,05	1,56	4,76	4,83	1294,63	0,09	1,16
6	3	100	T	3,56	1,83	1,73	3,17	2,93	1294,63	0,05	0,98
7	4	280	B	4,75	2,44	1,63	3,99	3,89	1294,63	0,07	1,08
8	3	360	U	3,56	1,83	1,73	3,17	2,93	1294,63	0,05	0,98
9	4	290	B	4,75	2,44	1,63	3,99	3,89	1294,63	0,07	1,08
10	5	340	U	5,94	3,05	1,56	4,76	4,83	1294,63	0,09	1,16
11	3	320	BL	3,56	1,83	1,73	3,17	2,93	1294,63	0,05	0,98
12	4	340	U	4,75	2,44	1,63	3,99	3,89	1294,63	0,07	1,08
13	5	110	T	5,94	3,05	1,56	4,76	4,83	1294,63	0,09	1,16
14	3	290	B	3,56	1,83	1,73	3,17	2,93	1294,63	0,05	0,98
15	5	290	B	5,94	3,05	1,56	4,76	4,83	1294,63	0,09	1,16
16	3	270	B	3,56	1,83	1,73	3,17	2,93	1294,63	0,05	0,98

17	4	110	T	4,75	2,44	1,63	3,99	3,89	1294,63	0,07	1,08
18	4	290	B	4,75	2,44	1,63	3,99	3,89	1294,63	0,07	1,08
19	3	120	TG	3,56	1,83	1,73	3,17	2,93	1294,63	0,05	0,98
20	3	90	T	3,56	1,83	1,73	3,17	2,93	1294,63	0,05	0,98
21	4	310	BL	4,75	2,44	1,63	3,99	3,89	1294,63	0,07	1,08
22	6	320	BL	7,13	3,66	1,50	5,48	5,76	1294,63	0,11	1,23
23	6	270	B	7,13	3,66	1,50	5,48	5,76	1294,63	0,11	1,23
24	3	270	B	3,56	1,83	1,73	3,17	2,93	1294,63	0,05	0,98
25	4	250	B	4,75	2,44	1,63	3,99	3,89	1294,63	0,07	1,08
26	3	340	U	3,56	1,83	1,73	3,17	2,93	1294,63	0,05	0,98
27	5	270	B	5,94	3,05	1,56	4,76	4,83	1294,63	0,09	1,16
28	5	270	B	5,94	3,05	1,56	4,76	4,83	1294,63	0,09	1,16
29	5	260	B	5,94	3,05	1,56	4,76	4,83	1294,63	0,09	1,16
30	8	270	B	9,50	4,88	1,40	6,84	7,56	1294,63	0,14	1,34
31	8	260	B	9,50	4,88	1,40	6,84	7,56	1294,63	0,14	1,34

Perhitungan peramalan gelombang secara analitis dari data angin tahun 2003 – 2007 selengkapnya disajikan dalam lampiran.

4.5.2 Peramalan gelombang cara grafis

Berdasarkan pada faktor tegangan angin (U_A), panjang fetch dan durasi maka dilakukan peramalan gelombang dengan menggunakan Gambar 2.13. Dari peramalan gelombang tersebut akan didapat tinggi dan periode gelombang signifikan.

Tabel 4.7 merupakan contoh perhitungan peramalan gelombang secara grafis pada bulan Januari 2007 dengan nilai $U_A = 9,3$ m/s, panjang fetch efektif = 1294,63 km dan durasi yang diperoleh dari Gambar 2.13 berdasarkan U_A dan tinggi gelombang.

Tabel 4.7. Peramalan tinggi dan periode gelombang secara grafis berdasarkan kecepatan angin rata-rata Bulan Januari 2007

Tanggal	U Knot	Arah (°)	Arah Angin	U (10) Knot	UL (10) (m/s)	RL	UW (m/s)	U _A (m/s)	Fetch (km)	H _o (m)	T _o (detik)
1	10	240	BD	11,88	6,10	1,33	8,10	9,30	1294,63	0,70	3,69
2	11	280	B	13,06	6,72	1,29	8,70	10,15	1294,63	0,80	3,91
3	4	250	B	4,75	2,44	1,63	3,99	3,89	1294,63	0,18	1,64
4	9	320	BL	10,69	5,49	1,36	7,48	8,44	1294,63	0,60	3,42
5	5	120	TG	5,94	3,05	1,56	4,76	4,83	1294,63	0,25	2,04
6	3	100	T	3,56	1,83	1,73	3,17	2,93	1294,63	0,11	1,24
7	4	280	B	4,75	2,44	1,63	3,99	3,89	1294,63	0,18	1,64
8	3	360	U	3,56	1,83	1,73	3,17	2,93	1294,63	0,11	1,24

9	4	290	B	4,75	2,44	1,63	3,99	3,89	1294,63	0,18	1,64
10	5	340	U	5,94	3,05	1,56	4,76	4,83	1294,63	0,25	2,04
11	3	320	BL	3,56	1,83	1,73	3,17	2,93	1294,63	0,11	1,24
12	4	340	U	4,75	2,44	1,63	3,99	3,89	1294,63	0,18	1,64
13	5	110	T	5,94	3,05	1,56	4,76	4,83	1294,63	0,25	2,04
14	3	290	B	3,56	1,83	1,73	3,17	2,93	1294,63	0,11	1,24
15	5	290	B	5,94	3,05	1,56	4,76	4,83	1294,63	0,25	2,04
16	3	270	B	3,56	1,83	1,73	3,17	2,93	1294,63	0,11	1,24
17	4	110	T	4,75	2,44	1,63	3,99	3,89	1294,63	0,18	1,64
18	4	290	B	4,75	2,44	1,63	3,99	3,89	1294,63	0,18	1,64
19	3	120	TG	3,56	1,83	1,73	3,17	2,93	1294,63	0,11	1,24
20	3	90	T	3,56	1,83	1,73	3,17	2,93	1294,63	0,11	1,24
21	4	310	BL	4,75	2,44	1,63	3,99	3,89	1294,63	0,18	1,64
22	6	320	BL	7,13	3,66	1,50	5,48	5,76	1294,63	0,30	2,43
23	6	270	B	7,13	3,66	1,50	5,48	5,76	1294,63	0,30	2,43
24	3	270	B	3,56	1,83	1,73	3,17	2,93	1294,63	0,11	1,24
25	4	250	B	4,75	2,44	1,63	3,99	3,89	1294,63	0,18	1,64
26	3	340	U	3,56	1,83	1,73	3,17	2,93	1294,63	0,11	1,24
27	5	270	B	5,94	3,05	1,56	4,76	4,83	1294,63	0,25	2,04
28	5	270	B	5,94	3,05	1,56	4,76	4,83	1294,63	0,25	2,04
29	5	260	B	5,94	3,05	1,56	4,76	4,83	1294,63	0,25	2,04
30	8	270	B	9,50	4,88	1,40	6,84	7,56	1294,63	0,50	3,11
31	8	260	B	9,50	4,88	1,40	6,84	7,56	1294,63	0,50	3,11

Perhitungan peramalan gelombang secara grafis dari data angin tahun 2003 – 2007 selengkapnya disajikan dalam lampiran.

Dari hasil perhitungan peramalan gelombang secara analitis dan grafis didapatkan nilai tinggi gelombang dan periodenya sebagaimana disajikan dalam Tabel 4.8 berikut ini:

Tabel 4.8. Perbandingan perhitungan peramalan gelombang secara grafis dan analitis berdasarkan kecepatan angin rata-rata

Bulan Januari 2007

Tanggal	Analitis		Grafis	
	Ho (m)	To (detik)	Ho (m)	To (detik)
1	0,17	1,44	0,70	3,69
2	0,19	1,48	0,80	3,91
3	0,07	1,08	0,18	1,64
4	0,16	1,39	0,60	3,42
5	0,09	1,16	0,25	2,04

6	0,05	0,98	0,11	1,24
7	0,07	1,08	0,18	1,64
8	0,05	0,98	0,11	1,24
9	0,07	1,08	0,18	1,64
10	0,09	1,16	0,25	2,04
11	0,05	0,98	0,11	1,24
12	0,07	1,08	0,18	1,64
13	0,09	1,16	0,25	2,04
14	0,05	0,98	0,11	1,24
15	0,09	1,16	0,25	2,04
16	0,05	0,98	0,11	1,24
17	0,07	1,08	0,18	1,64
18	0,07	1,08	0,18	1,64
19	0,05	0,98	0,11	1,24
20	0,05	0,98	0,11	1,24
21	0,07	1,08	0,18	1,64
22	0,11	1,23	0,30	2,43
23	0,11	1,23	0,30	2,43
24	0,05	0,98	0,11	1,24
25	0,07	1,08	0,18	1,64
26	0,05	0,98	0,11	1,24
27	0,09	1,16	0,25	2,04
28	0,09	1,16	0,25	2,04
29	0,09	1,16	0,25	2,04
30	0,14	1,34	0,50	3,11
31	0,14	1,34	0,50	3,11

Dari hasil perbandingan perhitungan gelombang pada Tabel 4.8 di atas dapat diketahui bahwa hasil antara cara analitis dan cara grafis berbeda. Pada perhitungan transpor sedimen dan *input* GENESIS digunakan nilai H_o dan T_o dari hasil cara grafis karena nilai H_o dan T_o dari cara grafis lebih besar dari nilai H_o dan T_o cara analitis.

Tabel 4.9. Peramalan tinggi dan periode gelombang secara grafis berdasarkan kecepatan angin maksimum

Tahun	Bulan	U Knot	Arah (°)	Arah Angin	U (10) Knot	UL (10) (m/s)	RL	UW (m/s)	UA (m/s)	Fetch (km)	Ho (m)	To (detik)
2003	Jan.	20	340	U	23,75	12,21	1,10	13,37	17,24	1294,63	1,38	4,75
	Feb.	19	320	BL	22,57	11,60	1,11	12,90	16,50	1294,63	1,22	4,50
	Mar.	20	320	BL	23,75	12,21	1,10	13,37	17,24	1294,63	1,38	4,75
	April	15	140	TG	17,82	9,16	1,19	10,91	13,42	1294,63	1,10	4,25
	Mei	15	140	TG	17,82	9,16	1,19	10,91	13,42	1294,63	1,10	4,25
	Juni	15	140	TG	17,82	9,16	1,19	10,91	13,42	1294,63	1,10	4,25

	Juli	16	140	TG	19,00	9,77	1,17	11,43	14,21	1294,63	1,15	4,30
	Agust.	17	330	BL	20,19	10,38	1,15	11,93	14,98	1294,63	1,20	4,40
	Sept.	18	90	T	21,38	10,99	1,13	12,42	15,74	1294,63	1,23	4,50
	Okt.	35	320	BL	41,57	21,37	0,91	19,41	27,26	1294,63	2,50	6,00
	Nov.	16	340	U	19,00	9,77	1,17	11,43	14,21	1294,63	1,15	4,40
	Des.	25	360	U	29,69	15,26	1,02	15,58	20,80	1294,63	1,80	5,20
2004	Jan.	15	300	BL	17,82	9,16	1,19	10,91	13,42	1294,63	1,10	4,25
	Feb.	35	270	B	41,57	21,37	0,91	19,41	27,26	1294,63	2,50	6,00
	Mar.	25	340	U	29,69	15,26	1,02	15,58	20,80	1294,63	1,80	5,20
	April	15	90	T	17,82	9,16	1,19	10,91	13,42	1294,63	1,10	4,25
	Mei	10	90	T	11,88	6,10	1,33	8,10	9,30	1294,63	0,66	3,50
	Juni	12	90	T	14,25	7,33	1,27	9,27	10,99	1294,63	0,80	3,75
	Juli	16	90	T	19,00	9,77	1,17	11,43	14,21	1294,63	1,15	4,40
	Agust.	15	100	T	17,82	9,16	1,19	10,91	13,42	1294,63	1,10	4,25
	Sept.	18	90	T	21,38	10,99	1,13	12,42	15,74	1294,63	1,23	4,50
	Okt.	16	320	BL	19,00	9,77	1,17	11,43	14,21	1294,63	1,15	4,40
	Nov.	30	100	T	35,63	18,31	0,96	17,58	24,13	1294,63	2,20	5,60
	Des.	17	360	U	20,19	10,38	1,15	11,93	14,98	1294,63	1,20	4,40
2005	Jan.	25	270	B	29,69	15,26	1,02	15,58	20,80	1294,63	1,80	5,20
	Feb.	20	300	BL	23,75	12,21	1,10	13,37	17,24	1294,63	1,38	4,75
	Mar.	30	300	BL	35,63	18,31	0,96	17,58	24,13	1294,63	2,20	5,60
	April	12	90	T	14,25	7,33	1,27	9,27	10,99	1294,63	0,80	3,75
	Mei	12	90	T	14,25	7,33	1,27	9,27	10,99	1294,63	0,80	3,75
	Juni	20	90	T	23,75	12,21	1,10	13,37	17,24	1294,63	1,38	4,75
	Juli	12	90	T	14,25	7,33	1,27	9,27	10,99	1294,63	0,80	3,75
	Agust.	15	90	T	17,82	9,16	1,19	10,91	13,42	1294,63	1,10	4,25
	Sept.	20	90	T	23,75	12,21	1,10	13,37	17,24	1294,63	1,38	4,75
	Okt.	25	360	U	29,69	15,26	1,02	15,58	20,80	1294,63	1,80	5,20
	Nov.	14	320	BL	16,63	8,55	1,21	10,38	12,62	1294,63	0,94	4,00
	Des.	22	360	U	26,13	13,43	1,06	14,28	18,69	1294,63	1,60	4,83
2006	Jan.	20	270	B	23,75	12,21	1,10	13,37	17,24	1294,63	1,38	4,75
	Feb.	18	270	B	21,38	10,99	1,13	12,42	15,74	1294,63	1,23	4,50
	Mar.	22	270	B	26,13	13,43	1,06	14,28	18,69	1294,63	1,60	4,83
	April	10	360	U	11,88	6,10	1,33	8,10	9,30	1294,63	0,66	3,50
	Mei	12	90	T	14,25	7,33	1,27	9,27	10,99	1294,63	0,80	3,75
	Juni	10	100	T	11,88	6,10	1,33	8,10	9,30	1294,63	0,66	3,50
	Juli	15	90	T	17,82	9,16	1,19	10,91	13,42	1294,63	1,10	4,25
	Agust.	15	90	T	17,82	9,16	1,19	10,91	13,42	1294,63	1,10	4,25
	Sept.	17	90	T	20,19	10,38	1,15	11,93	14,98	1294,63	1,20	4,40
	Okt.	18	90	T	21,38	10,99	1,13	12,42	15,74	1294,63	1,23	4,50
	Nov.	18	100	T	21,38	10,99	1,13	12,42	15,74	1294,63	1,23	4,50
	Des.	19	320	BL	22,57	11,60	1,11	12,90	16,50	1294,63	1,22	4,50
2007	Jan.	18	270	B	21,38	10,99	1,13	12,42	15,74	1294,63	1,23	4,50
	Feb.	19	300	BL	22,57	11,60	1,11	12,90	16,50	1294,63	1,22	4,50
	Mar.	22	280	B	26,13	13,43	1,06	14,28	18,69	1294,63	1,60	4,83
	April	16	340	U	19,00	9,77	1,17	11,43	14,21	1294,63	1,15	4,40
	Mei	15	100	T	17,82	9,16	1,19	10,91	13,42	1294,63	1,10	4,25
	Juni	19	100	T	22,57	11,60	1,11	12,90	16,50	1294,63	1,22	4,50

Juli	14	100	T	16,63	8,55	1,21	10,38	12,62	1294,63	0,94	4,00
Agust.	18	100	T	21,38	10,99	1,13	12,42	15,74	1294,63	1,23	4,50
Sept.	17	90	T	20,19	10,38	1,15	11,93	14,98	1294,63	1,20	4,40
Okt.	16	90	T	19,00	9,77	1,17	11,43	14,21	1294,63	1,15	4,40
Nov.	23	100	T	27,32	14,04	1,05	14,72	19,41	1294,63	1,63	5,06
Des.	40	300	BL	47,51	24,42	0,86	21,09	30,20	1294,63	2,80	6,30

Pada perhitungan gelombang pecah digunakan perhitungan nilai H_o dan T_o dari cara grafis berdasarkan kecepatan angin maksimum di atas.

4.5.3 Gelombang Representatif

Untuk keperluan perencanaan bangunan-bangunan pantai perlu dipilih tinggi dan periode gelombang individu (*individual wave*) yang dapat mewakili suatu spektrum gelombang. Gelombang tersebut dikenal dengan gelombang representatif. Apabila tinggi gelombang dari suatu pencatatan diurutkan dari nilai tertinggi ke terendah atau sebaliknya, maka akan dapat ditentukan tinggi H_n yang merupakan rerata dari n persen gelombang tertinggi. Dengan bentuk seperti itu akan dapat dinyatakan karakteristik gelombang alam dalam bentuk gelombang tunggal. Misalnya, H_{10} adalah tinggi rerata dari 10% gelombang tertinggi dari pencatatan gelombang. Bentuk yang paling banyak digunakan dalam perencanaan adalah H_{33} atau tinggi rerata dari 33% nilai tertinggi dari pencatatan gelombang yang juga disebut sebagai tinggi gelombang signifikan H_s . Cara yang sama juga dapat digunakan untuk periode gelombang.

Tabel 4.10. Tinggi dan periode gelombang

No.	H_o (m)	T_o (detik)
1	2,80	6,30
2	2,50	6,00
3	2,50	6,00
4	2,20	5,60
5	2,20	5,60
6	1,80	5,20
7	1,80	5,20
8	1,80	5,20
9	1,80	5,20
10	1,63	5,06

No.	H_o (m)	T_o (detik)
31	1,20	4,40
32	1,20	4,40
33	1,20	4,40
34	1,20	4,40
35	1,15	4,30
36	1,15	4,40
37	1,15	4,40
38	1,15	4,40
39	1,15	4,40
40	1,15	4,40

11	1,60	4,83
12	1,60	4,83
13	1,60	4,83
14	1,38	4,75
15	1,38	4,75
16	1,38	4,75
17	1,38	4,75
18	1,38	4,75
19	1,38	4,75
20	1,23	4,50
21	1,23	4,50
22	1,23	4,50
23	1,23	4,50
24	1,23	4,50
25	1,23	4,50
26	1,23	4,50
27	1,22	4,50
28	1,22	4,50
29	1,22	4,50
30	1,22	4,50
41	1,10	4,25
42	1,10	4,25
43	1,10	4,25
44	1,10	4,25
45	1,10	4,25
46	1,10	4,25
47	1,10	4,25
48	1,10	4,25
49	1,10	4,25
50	1,10	4,25
51	0,94	4,00
52	0,94	4,00
53	0,80	3,75
54	0,80	3,75
55	0,80	3,75
56	0,80	3,75
57	0,80	3,75
58	0,66	3,50
59	0,66	3,50
60	0,66	3,50

Dari Tabel 4.10 di atas dapat ditentukan H_n gelombang maksimum dan periodenya :

Gelombang 100% (Gelombang Rerata) adalah:

$$n = 100 \% \times 60 = 60 \text{ data}$$

$$H_{rata2} = \sum_{n=60}^{n=1} Hn = \frac{\sum H}{60} = 1,3 \text{ m}$$

$$T_{rata2} = \sum_{n=60}^{n=1} Tn = \frac{\sum T}{60} = 4,53 \text{ detik}$$

Gelombang 10 % (H_{10}) adalah

$$n = 10 \% \times 60 = 6 \text{ data}$$

$$H_{10} = \sum_{n=6}^{n=1} Hn = \frac{H_1 + \dots + H_6}{6} = 2,33 \text{ m}$$

$$T_{10} = \sum_{n=6}^{n=1} Tn = \frac{T_1 + \dots + T_6}{6} = 5,78 \text{ detik}$$

Gelombang 33,3 % (gelombang signifikan, H_s) adalah:

$$n = 33,3 \% \times 60 = 20 \text{ data}$$

$$H_{33} = \sum_{n=20}^{n=1} H_n = \frac{H_1 + \dots + H_{20}}{20} = 1,77 \text{ m}$$

$$T_{33} = \sum_{n=20}^{n=1} T_n = \frac{T_1 + \dots + T_{20}}{20} = 5,14 \text{ detik}$$

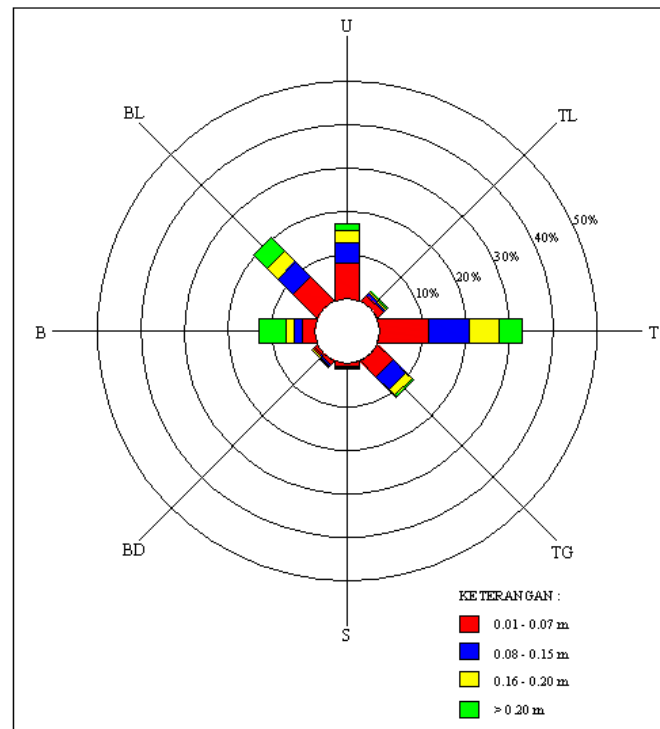
4.5.4 *Waverose* (Mawar Gelombang)

Waverose (mawar gelombang) adalah suatu diagram untuk menunjukkan persentasi kejadian tinggi gelombang dari berbagai arah dalam periode waktu pencatatan. *Waverose* dicari dari data angin kecepatan rata-rata harian tahun 2002 hingga 2006. Dengan menggunakan data tinggi gelombang dan arahnya yang didapat dari Stasiun Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Maritim Semarang dibuat persentasi kejadian gelombang. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut ini :

Tabel 4.11. Prosentase arah dan tinggi gelombang tahun 2003 - 2007

Frekuensi Kejadian Tinggi Gelombang Dalam Persen						
Arah	Ketinggian Gelombang (m)					Jumlah
	Calm	0,01-0,07	0,08-0,15	0,16-0,20	>0,20	
-	0,93	-	-	-	-	0,93
Utara	-	7,95	4,93	2,80	1,59	17,27
Timur Laut	-	1,43	0,60	0,49	0,22	2,74
Timur	-	11,13	9,27	6,91	5,32	32,62
Tenggara	-	4,50	4,11	1,97	0,55	11,13
Selatan	-	0,44	0,27	0,22	0,16	1,10
Barat Daya	-	0,60	0,38	0,33	0,11	1,43
Barat	-	2,69	1,92	1,92	6,20	12,72
Barat Laut	-	7,40	4,82	3,45	4,39	20,07
Total	0,93	36,13	26,32	18,09	18,53	100,00
Kumulatif	0,93	37,06	63,38	81,47	100,00	-

Selanjutnya dari tabel di atas dapat disajikan dalam bentuk mawar gelombang (*waverose*), seperti terlihat pada gambar berikut ini :



Gambar 4.7 *Waverose* (Mawar Gelombang) tahun 2003 - 2007

4.5.5. Penentuan Periode Ulang Gelombang Rencana

Penentuan kala ulang gelombang rencana biasanya didasarkan pada nilai daerah yang akan dilindungi dan jenis konstruksi yang akan dibangun. Makin tinggi nilai ekonomis daerah yang dilindungi, makin besar pula kala ulang gelombang rencana yang dipilih. Makin besar kemungkinan korban jiwa apabila terjadi kegagalan konstruksi, makin besar pula kala ulang gelombang rencana yang dipilih. Untuk menentukan kala ulang gelombang dilakukan studi kelayakan (*feasibility study*) untuk memilih kala ulang yang memberikan kelayakan terbaik (dapat dilihat dari *Net benefit* terbaik *Benefit Cost Ratio* terbaik, *Total cost* terendah, pertimbangan korban jiwa yang mungkin terjadi. Penentuan kala ulang gelombang rencana dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Penentuan periode ulang gelombang rencana untuk pelindung Pantai Tambak Mulyo, ditentukan berdasarkan pertimbangan sebagai berikut:

- Nilai ekonomis daerah yang dilindungi, dan kemungkinan kerugian harta, benda dan jiwa bila terjadi kegagalan. Kegagalan bangunan pelindung Pantai Tambak Mulyo tidak menimbulkan kerugian material yang tinggi dan tidak menimbulkan korban jiwa yang besar. Oleh sebab itu, periode ulang gelombang rencana bangunan pelindung Pantai Tambak Mulyo dapat dikategorikan berisiko rendah atau sedang.
- Bahan bangunan pelindung pantai diusahakan mudah didapatkan dan mudah dalam pelaksanaannya. Bahan batu dipilih karena kedua alasan tersebut. Bila bangunan pelindung pantai terbuat dari tumpukan batu, disarankan periode ulang gelombang yang dipakai adalah 5-25 tahun saja.
- Apabila perbaikan dan perawatan sulit dilakukan pada lapis lindung maka kala ulang gelombang diambil agak tinggi, misalnya 20 tahun. Pantai Tambak Mulyo relatif landai dan dekat dengan jalur transportasi, sehingga perawatan bangunan pelindung pantai relatif lebih mudah dilakukan sehingga periode ulang gelombang rencana dapat menjadi lebih rendah.

Dari pertimbangan-pertimbangan tersebut maka dalam perencanaan bangunan pelindung pantai untuk Pantai Tambak Mulyo ditentukan periode ulang gelombang rencana yaitu 10 tahun.

4.5.6 Perkiraan Gelombang Dengan Periode Ulang

Frekuensi gelombang-gelombang besar merupakan faktor yang mempengaruhi perencanaan bangunan pantai. Untuk menetapkan gelombang dengan periode ulang tertentu dibutuhkan data gelombang dalam jangka waktu pengukuran cukup panjang (beberapa tahun). Data tersebut bisa berupa data pengukuran gelombang atau data gelombang hasil peramalan berdasar data angin. Keandalan dari gelombang ekstrem yang diprediksi tergantung pada kebenaran data yang tersedia dan jumlah tahun pencatatan.

Berdasar data representatif untuk beberapa tahun pengamatan dapat diperkirakan gelombang yang diharapkan disamai atau dilampaui satu kali dalam T tahun, dan gelombang tersebut dikenal dengan gelombang periode ulang T tahun atau gelombang T tahunan.

Di dalam laporan ini data gelombang yang dipakai adalah hasil peramalan berdasar data angin, kemudian perkiraan gelombang dengan periode ulang menggunakan hasil tinggi gelombang yang terbesar tiap tahunnya beserta periode gelombangnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam perhitungan periode ulang gelombang dalam jangka waktu 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun berikut ini dengan Metode yang dipergunakan adalah dengan Metode Fisher-Tippet Type I serta Metode Weibull.

1. Metode Fisher-Tippet Type I

Data probabilitas ditetapkan untuk setiap tinggi gelombang sebagai berikut :

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,44}{N_T + 0,12}$$

Dimana:

$P(H_s \leq H_{sm})$: probabilitas dari tinggi gelombang representatif ke m yang tidak dilampaui

H_{sm} : tinggi gelombang urutan ke m

m : nomor urut tinggi gelombang signifikan = $1, 2, \dots, N$

N_T : jumlah kejadian gelombang selama pencatatan.

Hitungan data selanjutnya dilakukan dengan analisis regresi linear dari hubungan berikut ini;

$$H_m = A^{\wedge} y_m + B^{\wedge}$$

dimana nilai y_m diberikan oleh bentuk berikut ini :

$$y_m = -\ln \{ -\ln P (H_s \leq H_{sm}) \}$$

Dengan A^{\wedge} dan B^{\wedge} adalah perkiraan dari parameter skala dan lokal yang diperoleh dari analisis regresi linear.

Tinggi gelombang signifikan untuk berbagai periode ulang dihitung dari fungsi distribusi probabilitas dengan rumus sebagai berikut :

$$H_{sr} = A \hat{y}_r + B \hat{}$$

dimana y_r diberikan oleh bentuk berikut ini :

$$y_r = -\ln \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{L T_r} \right) \right\}$$

Dimana :

H_{sr} : tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_r

T_r : periode ulang (tahun)

K : panjang data (tahun)

L : rerata jumlah kejadian per tahun $= N_T / K$

Interval keyakinan

Perkiraan interval keyakinan adalah sangat penting dalam analisis gelombang ekstrim. Hal ini mengingat bahwa biasanya periode pencatatan gelombang adalah pendek, dan tingkat ketidak-pastian yang tinggi dalam perkiraan gelombang ekstrim. Batas keyakinan sangat dipengaruhi oleh peyebaran data, sehingga nilainya tergantung pada deviasi standar. Dalam perhitungan ini digunakan pendekatan yang dilakukan oleh Gumbel (1958) dan Goda (1988) untuk perkiraan deviasi standar dari nilai ulang. Deviasi standart yang dinormalkan dihitung dengan persamaan berikut :

$$\sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[1 + \alpha (y_r - c + \varepsilon \ln v)^2 \right]^{1/2}$$

Dimana :

σ_{nr} : standar deviasi yang dinormalkan dari tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_r .

N : jumlah data tinggi gelombang signifikan

$$\alpha = \alpha_1 e^{\alpha_2 N^{-1.3+k\sqrt{-\ln v}}}$$

$\alpha_1, \alpha_2, c, \varepsilon, k$: koefisien empiris yang diberikan Tabel 4.9.

$$v = \frac{N}{N_T}$$

Tabel 4.12 Koefisien untuk menghitung deviasi standar

Distribusi	α_1	α_2	k	c	ϵ
Fisher-Tippett <i>Type I</i>	0,64	9	0,93	0	1,33
Weibull (k=0,75)	1,65	11,4	-0,63	0	1,15
Weibull (k=1,0)	1,92	11,4	0	0,3	0,9
Weibull (k=1,4)	2,05	11,4	0,69	0,4	0,72
Weibull (k=2,0)	2,24	11,4	1,34	0,5	0,54

Berdasarkan absolut dari deviasi standar dari tinggi gelombang signifikan dihitung dengan rumus berikut :

$$\sigma_r = \sigma_{nr} \times \sigma_{H_s}$$

dimana :

σ_r : kesalahan standar dari gelombang signifikan dengan periode ulang T_r

σ_{H_s} : deviasi standar dari data tinggi gelombang signifikan

$$\sigma_{H_s} = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (H_{sm} - \bar{H}_{sm})^2 \right]^{1/2}$$

Langkah-langkah dalam hitungan periode ulang gelombang adalah sebagai berikut :

1. Membuat nomor urut tinggi gelombang (m).
2. Mengurutkan tinggi gelombang dari besar ke kecil.
3. Menentukan probabilitas bahwa H (m) tidak dilampaui.

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,44}{N_T + 0,12}$$

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{1 - 0,44}{60 + 0,12} = 0,99$$

4. Menentukan distribusi *Fisher-Tippett type I*.

$$y_m = -\ln \{ -\ln P(H_s \leq H_{sm}) \} = -\ln \{ -\ln 0,99 \} = 4,67$$

5. Menentukan nilai-nilai untuk analisis regresi linier.

$$H_{sm} \times Y_m = 2,80 \times 4,67 = 13,08$$

$$Y^2_m = 4,67^2 = 21,82$$

$$(H_{sm} - \bar{H}_{sm})^2 = (2,80 - 1,30)^2 = 2,24$$

Selanjutnya hitungan gelombang disajikan dalam Tabel 4.13 sebagai berikut :

Tabel 4. 13. Perhitungan Gelombang dengan Periode Ulang
(Metode Fisher Tippett Type-I)

No.	Hsm	P	Ym	Hsm x Ym	Y2m	(Hsm-Ĥsm)2
1	2	3	4	5	6	7
1	2,80	0,99	4,67	13,08	21,82	2,24
2	2,50	0,97	3,64	9,10	13,24	1,43
3	2,50	0,96	3,13	7,84	9,83	1,43
4	2,20	0,94	2,80	6,15	7,82	0,81
5	2,20	0,92	2,54	5,59	6,45	0,81
6	1,80	0,91	2,33	4,20	5,44	0,25
7	1,80	0,89	2,16	3,88	4,66	0,25
8	1,80	0,87	2,01	3,61	4,03	0,25
9	1,80	0,86	1,87	3,37	3,51	0,25
10	1,63	0,84	1,75	2,86	3,07	0,11
11	1,60	0,82	1,64	2,63	2,70	0,09
12	1,60	0,81	1,54	2,47	2,38	0,09
13	1,60	0,79	1,45	2,32	2,11	0,09
14	1,38	0,77	1,36	1,88	1,86	0,01
15	1,38	0,76	1,28	1,77	1,65	0,01
16	1,38	0,74	1,21	1,66	1,45	0,01
17	1,38	0,72	1,13	1,56	1,28	0,01
18	1,38	0,71	1,06	1,47	1,13	0,01
19	1,38	0,69	1,00	1,38	0,99	0,01
20	1,23	0,67	0,93	1,15	0,87	0,01
21	1,23	0,66	0,87	1,07	0,76	0,01
22	1,23	0,64	0,81	1,00	0,66	0,01
23	1,23	0,62	0,75	0,93	0,57	0,01
24	1,23	0,61	0,70	0,86	0,49	0,01
25	1,23	0,59	0,64	0,79	0,41	0,01
26	1,23	0,57	0,59	0,73	0,35	0,01
27	1,22	0,56	0,54	0,66	0,29	0,01
28	1,22	0,54	0,49	0,60	0,24	0,01
29	1,22	0,52	0,44	0,54	0,19	0,01
30	1,22	0,51	0,39	0,48	0,15	0,01
31	1,20	0,49	0,34	0,41	0,12	0,01
32	1,20	0,48	0,30	0,35	0,09	0,01
33	1,20	0,46	0,25	0,30	0,06	0,01
34	1,20	0,44	0,20	0,24	0,04	0,01
35	1,15	0,43	0,16	0,18	0,02	0,02
36	1,15	0,41	0,11	0,13	0,01	0,02
37	1,15	0,39	0,07	0,08	0,00	0,02
38	1,15	0,38	0,02	0,02	0,00	0,02
39	1,15	0,36	-0,03	-0,03	0,00	0,02
40	1,15	0,34	-0,07	-0,08	0,00	0,02

41	1,10	0,33	-0,12	-0,13	0,01	0,04
42	1,10	0,31	-0,16	-0,18	0,03	0,04
43	1,10	0,29	-0,21	-0,23	0,04	0,04
44	1,10	0,28	-0,25	-0,28	0,06	0,04
45	1,10	0,26	-0,30	-0,33	0,09	0,04
46	1,10	0,24	-0,35	-0,38	0,12	0,04
47	1,10	0,23	-0,40	-0,44	0,16	0,04
48	1,10	0,21	-0,45	-0,49	0,20	0,04
49	1,10	0,19	-0,50	-0,55	0,25	0,04
50	1,10	0,18	-0,55	-0,61	0,31	0,04
51	0,94	0,16	-0,61	-0,57	0,37	0,13
52	0,94	0,14	-0,67	-0,63	0,45	0,13
53	0,80	0,13	-0,73	-0,58	0,53	0,25
54	0,80	0,11	-0,80	-0,64	0,63	0,25
55	0,80	0,09	-0,87	-0,69	0,75	0,25
56	0,80	0,08	-0,95	-0,76	0,90	0,25
57	0,80	0,06	-1,04	-0,83	1,08	0,25
58	0,66	0,04	-1,15	-0,76	1,32	0,41
59	0,66	0,03	-1,30	-0,85	1,68	0,41
60	0,66	0,01	-1,54	-1,02	2,38	0,41
Jumlah	78,16	30,00	34,16	76,26	112,13	11,54
Rata2	1,30		0,57			

Dari tabel di atas, didapat beberapa parameter, yaitu :

$$N = 60$$

$$K = 60$$

$$N_T = 60$$

$$\lambda = 1$$

$$v = 60 / 60 = 1$$

$$\bar{H}_{sm} = 1,30$$

$$\bar{y}_m = 0,57$$

Dari beberapa nilai di atas selanjutnya dihitung parameter A^{\wedge} dan B^{\wedge} berdasar data H_{sm} dan y_m di atas, dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$H_{sm} = A^{\wedge} y_m + B^{\wedge}$$

Dengan :

$$A^{\wedge} = \frac{n \sum H_{sm} y_m - \sum H_{sm} \sum y_m}{n \sum y_m^2 - (\sum y_m)^2} = \frac{60(76,26) - 78,16 \times 34,16}{60(112,13) - (34,16)^2} = 0,34$$

$$B^{\wedge} = \bar{H}_{sm} - A^{\wedge} \bar{y}_m = 1,30 - 0,34 \times 0,57 = 1,10$$

Persamaan regresi yang diperoleh adalah :

$$H_{sr} = 0,34 y_r + 1,10$$

$$y_r = -\ln \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{L.T_r} \right) \right\} \quad \text{dimana } L = N_T / K = 60 / 60 = 1$$

$$= -\ln \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{1 \times 2} \right) \right\} = 0,37$$

$$H_{sr} = 0,34 \times 0,37 + 1,10 = 1,22 \text{ m}$$

$\alpha_1, \alpha_2, c, \varepsilon, k$: koefisien empiris yang diberikan Tabel 4.12.

$$\alpha = \alpha_1 e^{\alpha_2 N^{-1,3+k\sqrt{-\ln v}}} = 0,64 x e^{0,9 \times 60^{-1,3+0,93\sqrt{-\ln 1}} = 0,64$$

$$\sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[1 + \alpha (y_r - c + \varepsilon \ln v)^2 \right]^{1/2}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{60}} \left[1 + 0,64 (0,37 - 0 + 1,33 \times \ln 1)^2 \right]^{1/2} = 0,13$$

$$\sigma_{H_s} = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (H_{sm} - \bar{H}_{sm})^2 \right]^{1/2} = \left[\frac{1}{60-1} \times 11,54 \right]^{1/2} = 0,44$$

$$\sigma_r = \sigma_{nr} \times \sigma_{H_s} = 0,134 \times 0,44 = 0,06$$

Selanjutnya perhitungan tinggi gelombang dengan beberapa periode ulang dilakukan dengan Tabel 4.14.

Tabel 4. 14. Gelombang dengan Periode Ulang Tertentu

(Metode Fisher Tippett Type-I)

Periode Ulang (tahun)	Yr (tahun)	Hsr (m)	σ_{nr}	σ_r	Hs-1,28 σ_r (m)	Hs+1,28 σ_r (m)
1	2	3	4	5	6	7
2	0,37	1,22	0,13	0,06	1,15	1,30
5	1,50	1,61	0,20	0,09	1,50	1,72
10	2,25	1,87	0,27	0,12	1,72	2,01
25	3,20	2,19	0,35	0,16	1,99	2,39
50	3,90	2,43	0,42	0,19	2,19	2,66
100	4,60	2,66	0,49	0,22	2,39	2,94

2. Metode Weibull

Hitungan perkiraan tinggi gelombang ekstrim dilakukan dengan cara yang sama seperti Metode Fisher-Tippet Type I, hanya persamaan dan koefisien yang digunakan disesuaikan untuk Metode Weibull.

Rumus-rumus probabilitas yang digunakan untuk Metode Weibull adalah sebagai berikut :

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,2 - \frac{0,27}{\sqrt{k}}}{N_T + 0,2 + \frac{0,23}{\sqrt{k}}}$$

Hitungan didasarkan pada analisis regresi linear dengan nilai y_m ditentukan dari persamaan sebagai berikut :

$$y_m = [-\ln \{1 - P(H_s \leq H_{sm})\}]^{1/k}$$

Tinggi gelombang signifikan ditentukan oleh persamaan di atas dengan nilai y_r didapatkan dari persamaan :

$$y_r = \{\ln(LT_r)\}^{1/k}$$

Langkah-langkah dalam hitungan periode ulang gelombang adalah sebagai berikut :

1. Membuat nomor urut tinggi gelombang m .
2. Mengurutkan tinggi gelombang dari besar ke kecil.
3. Menentukan probabilitas bahwa H (m) tidak dilampaui dengan koefisien 0,75.

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,2 - \frac{0,27}{\sqrt{k}}}{N_T + 0,2 + \frac{0,23}{\sqrt{k}}}$$

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{1 - 0,2 - \frac{0,27}{\sqrt{0,75}}}{60 + 0,2 + \frac{0,23}{\sqrt{0,75}}} = 0,99$$

4. Menentukan distribusi *Weibull*.

$$y_m = [-\ln \{1 - P(H_s \leq H_{sm})\}]^{1/k} = [-\ln \{1 - 0,99\}]^{1/0,75} = 8,14$$

5. Menentukan nilai-nilai untuk analisis regresi linier.

$$H_{sm} \times Y_m = 2,80 \times 8,14 = 22,79$$

$$Y^2_m = 8,14^2 = 66,26$$

$$(H_{sm} - \bar{H}_{sm})^2 = (2,80 - 1,30)^2 = 2,24$$

Selanjutnya hitungan gelombang disajikan dalam Tabel 4.15 sebagai berikut :

Tabel 4. 15. Perhitungan Gelombang dengan Periode Ulang
(Metode *Weibull*)

No.	Hsm	P	Ym	Hsm x Ym	Y2m	(Hsm-Ĥsm)2
1	2	3	4	5	6	7
1	2,80	0,99	8,14	22,79	66,26	2,24
2	2,50	0,98	5,73	14,33	32,86	1,43
3	2,50	0,96	4,70	11,74	22,06	1,43
4	2,20	0,94	4,05	8,90	16,37	0,81
5	2,20	0,93	3,58	7,87	12,79	0,81
6	1,80	0,91	3,21	5,78	10,32	0,25
7	1,80	0,89	2,92	5,25	8,51	0,25
8	1,80	0,88	2,67	4,81	7,13	0,25
9	1,80	0,86	2,46	4,43	6,04	0,25
10	1,63	0,84	2,27	3,71	5,17	0,11
11	1,60	0,83	2,11	3,38	4,46	0,09
12	1,60	0,81	1,97	3,15	3,87	0,09
13	1,60	0,79	1,84	2,94	3,37	0,09
14	1,38	0,78	1,72	2,37	2,95	0,01
15	1,38	0,76	1,61	2,22	2,59	0,01
16	1,38	0,74	1,51	2,08	2,28	0,01
17	1,38	0,73	1,42	1,96	2,01	0,01
18	1,38	0,71	1,33	1,84	1,78	0,01
19	1,38	0,69	1,25	1,73	1,57	0,01
20	1,23	0,68	1,18	1,45	1,39	0,01
21	1,23	0,66	1,11	1,37	1,23	0,01
22	1,23	0,64	1,05	1,29	1,09	0,01
23	1,23	0,63	0,99	1,21	0,97	0,01
24	1,23	0,61	0,93	1,14	0,86	0,01
25	1,23	0,60	0,87	1,07	0,76	0,01
26	1,23	0,58	0,82	1,01	0,68	0,01
27	1,22	0,56	0,77	0,94	0,60	0,01
28	1,22	0,55	0,73	0,89	0,53	0,01
29	1,22	0,53	0,68	0,84	0,47	0,01
30	1,22	0,51	0,64	0,78	0,41	0,01
31	1,20	0,50	0,60	0,72	0,36	0,01
32	1,20	0,48	0,57	0,68	0,32	0,01
33	1,20	0,46	0,53	0,64	0,28	0,01
34	1,20	0,45	0,50	0,59	0,25	0,01
35	1,15	0,43	0,46	0,53	0,21	0,02
36	1,15	0,41	0,43	0,50	0,19	0,02
37	1,15	0,40	0,40	0,46	0,16	0,02
38	1,15	0,38	0,37	0,43	0,14	0,02
39	1,15	0,36	0,35	0,40	0,12	0,02
40	1,15	0,35	0,32	0,37	0,10	0,02
41	1,10	0,33	0,30	0,33	0,09	0,04
42	1,10	0,31	0,27	0,30	0,07	0,04
43	1,10	0,30	0,25	0,27	0,06	0,04

44	1,10	0,28	0,23	0,25	0,05	0,04
45	1,10	0,26	0,21	0,23	0,04	0,04
46	1,10	0,25	0,19	0,21	0,04	0,04
47	1,10	0,23	0,17	0,19	0,03	0,04
48	1,10	0,21	0,15	0,17	0,02	0,04
49	1,10	0,20	0,13	0,15	0,02	0,04
50	1,10	0,18	0,12	0,13	0,01	0,04
51	0,94	0,17	0,10	0,10	0,01	0,13
52	0,94	0,15	0,09	0,08	0,01	0,13
53	0,80	0,13	0,07	0,06	0,01	0,25
54	0,80	0,12	0,06	0,05	0,00	0,25
55	0,80	0,10	0,05	0,04	0,00	0,25
56	0,80	0,08	0,04	0,03	0,00	0,25
57	0,80	0,07	0,03	0,02	0,00	0,25
58	0,66	0,05	0,02	0,01	0,00	0,41
59	0,66	0,03	0,01	0,01	0,00	0,41
60	0,66	0,02	0,00	0,00	0,00	0,41
Jumlah	78,16	30,24	71,27	131,20	223,99	11,54
Rata2	1,30		1,19			

Dari tabel di atas, didapat beberapa parameter, yaitu :

$$N = 60$$

$$K = 60$$

$$N_T = 60$$

$$\lambda = 1$$

$$v = 60 / 60 = 1$$

$$\bar{H}_{sm} = 1,30$$

$$\bar{y}_m = 1,19$$

Dari beberapa nilai di atas selanjutnya dihitung parameter A^{\wedge} dan B^{\wedge} berdasar data H_{sm} dan y_m dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$H_{sm} = A^{\wedge} y_m + B^{\wedge}$$

Dengan :

$$A^{\wedge} = \frac{n \sum H_{sm} y_m - \sum H_{sm} \sum y_m}{n \sum y_m^2 - (\sum y_m)^2} = \frac{60(131,20) - 78,16 \times 71,27}{60(223,99) - (71,27)^2} = 0,28$$

$$B^{\wedge} = H_{sm} - A^{\wedge} y_m = 2,80 - 0,28 \times 1,19 = 2,48$$

Persamaan regresi yang didapatkan adalah :

$$H_{sr} = 0,28 y_r + 2,48$$

$$y_r = \{\ln(LT_r)\}^{1/k} = \{\ln(1 \times 2)\}^{1/0,75} = 0,61$$

$$H_{sr} = 0,28 \times 0,61 + 2,48 = 2,68 \text{ m}$$

$\alpha_1, \alpha_2, c, \varepsilon, k$: koefisien empiris yang diberikan Tabel 4.12.

$$\alpha = \alpha_1 e^{\alpha_2 N^{-1,3+k\sqrt{-\ln v}}} = 1,65 x e^{11,4 x 60^{-1,3-0,63\sqrt{-\ln 1}} = 1,72$$

$$\begin{aligned} \sigma_{nr} &= \frac{1}{\sqrt{N}} \left[1 + \alpha (yr - c + \varepsilon \ln v)^2 \right]^{1/2} \\ &= \frac{1}{\sqrt{60}} \left[1 + 1,72 (0,61 - 0 + 1,15 x \ln 1)^2 \right]^{1/2} = 0,17 \end{aligned}$$

$$\sigma_{H_s} = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (H_{sm} - \bar{H}_{sm})^2 \right]^{1/2} = \left[\frac{1}{60-1} x 11,54 \right]^{1/2} = 0,44$$

$$\sigma_r = \sigma_{nr} x \sigma_{H_s} = 0,17 x 0,44 = 0,07$$

Selanjutnya perhitungan tinggi gelombang dengan beberapa periode ulang dilakukan dengan Tabel 4.16.

Tabel 4.16. Gelombang dengan periode ulang tertentu

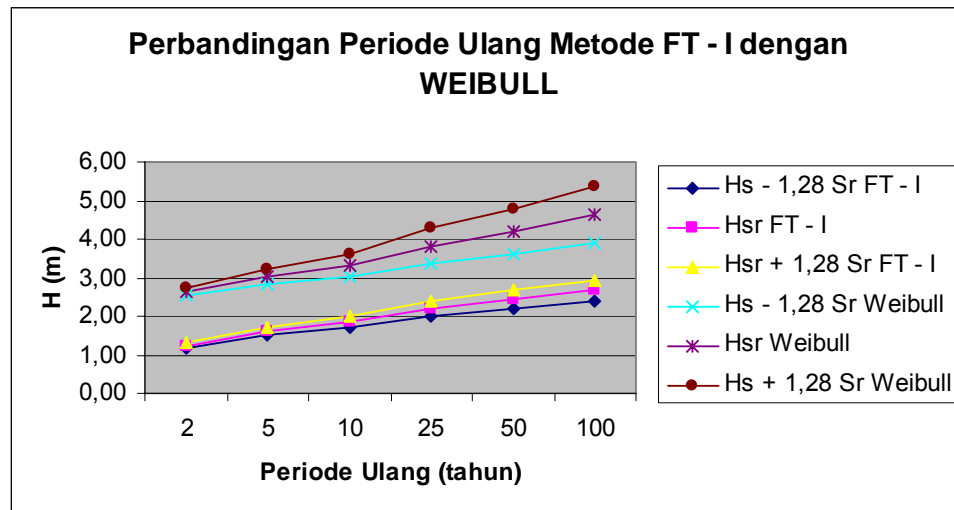
(Metode Weibull)

Periode Ulang (tahun)	Yr (tahun)	Hsr (m)	σ_{nr}	σ_r	Hs-1,28 σ_r (m)	Hs+1,28 σ_r (m)
1	2	3	4	5	6	7
2	0,61	2,65	0,17	0,07	2,56	2,75
5	1,89	3,01	0,34	0,15	2,81	3,20
10	3,04	3,33	0,53	0,23	3,03	3,63
25	4,75	3,81	0,81	0,36	3,35	4,27
50	6,16	4,21	1,05	0,46	3,61	4,80
100	7,66	4,63	1,30	0,57	3,89	5,36

Tabel 4.17 Perbandingan gelombang dengan periode ulang tertentu

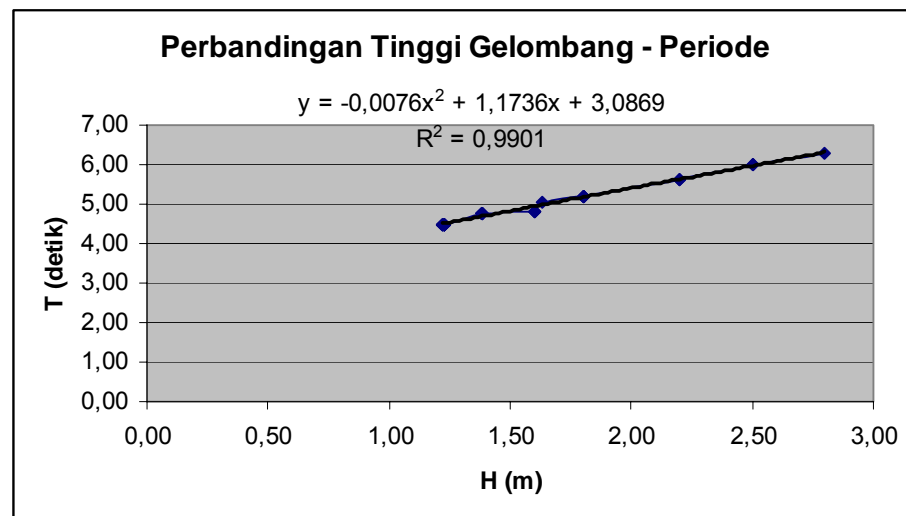
(Metode Fisher-Tippet Tipe I & Metode Weibull)

Periode Ulang (tahun)	Metode Fisher Tippet Type I			Metode Weibull		
	Hs-1,28sr (m)	Hsr (m)	Hs+1,28sr (m)	Hs-1,28sr (m)	Hsr (m)	Hs+1,28sr (m)
1	2	3	4	5	6	7
2	1,15	1,22	1,30	2,56	2,65	2,75
5	1,50	1,61	1,72	2,81	3,01	3,20
10	1,72	1,87	2,01	3,03	3,33	3,63
25	1,99	2,19	2,39	3,35	3,81	4,27
50	2,19	2,43	2,66	3,61	4,21	4,80
100	2,39	2,66	2,94	3,89	4,63	5,36



Gambar 4.8 Grafik perbandingan periode ulang metode FT I dengan Weibull

Dari hasil perbandingan perhitungan gelombang pada Tabel 4.17 di atas dapat diketahui bahwa hasil antara Metode Fisher-Tippet Tipe I dan Metode Weibull berbeda. Pada perhitungan gelombang selanjutnya digunakan nilai Hsr dari hasil Metode Fisher-Tippet Tipe I karena nilai Hsr dari Metode Fisher-Tippet Tipe I lebih kecil dari nilai Hsr Metode Weibull.



Gambar 4.9 Grafik perbandingan tinggi gelombang – periode

Dari grafik di atas didapat persamaan yang paling mewakili perbandingan antara tinggi gelombang (H) dan periode (T).

$$y = -0,0076 x^2 + 1,1736 x + 3,0869$$

sehingga T untuk $H_s = 0,10$ m bisa dihitung

$$T_s = -0,0076 (1,87)^2 + 1,1736 (1,87) + 3,0869 = 5,25 \text{ detik}$$

4.5.7. Gelombang Pecah

Gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Gelombang pecah dipengaruhi kemiringannya, yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Berikut ini langkah-langkah perhitungan tinggi dan kedalaman gelombang pecah :

$$\text{Tinggi gelombang rencana (H}_o) = 1,87 \text{ m}$$

$$\text{Periode gelombang (T)} = 5,25 \text{ detik}$$

$$\text{Arah datang gelombang } (\alpha_o) = 30^\circ$$

Arah datang gelombang pada kedalaman -2,0 MSL

- Perhitungan koefisien shoaling (K_s)

$$L_o = 1,56 T^2 = 1,56 \times 5,25^2 = 42,99 \text{ m}$$

$$C_o = \frac{L_o}{T} = \frac{42,99}{5,25} = 8,19 \text{ m/detik}$$

$$\frac{d}{L_o} = \frac{2}{42,99} = 0,0465$$

Dari tabel pada Lampiran 1 didapat :

$$\frac{d}{L} = 0,08994 \quad \text{dan} \quad K_s = 1,036$$

- Perhitungan koefisien refraksi (K_r)

$$L = \frac{2}{0,08994} = 22,24 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{22,24}{5,25} = 4,24 \text{ m/detik}$$

$$\sin \alpha_1 = \left(\frac{C_1}{C_o} \right) \sin \alpha_o = \left(\frac{4,24}{8,19} \right) \times \sin 30 = 0,26$$

$$\alpha_1 = 15^\circ$$

$$K_R = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_1}} = \sqrt{\frac{\cos 30^\circ}{\cos 15^\circ}} = 0,95$$

- Perhitungan tinggi gelombang ekuivalen

$$\begin{aligned} H_o' &= K_S \times K_R \times H_o \\ &= 1,036 \times 0,95 \times 1,87 = 1,84 \text{ m} \end{aligned}$$

- Perhitungan tinggi gelombang pecah

$$\frac{Hb}{H_o'} = \frac{1}{3,3x \left(\frac{H_o'}{L_o} \right)^{1/3}}$$

$$\frac{Hb}{1,84} = \frac{1}{3,3x \left(\frac{1,84}{42,99} \right)^{1/3}}$$

$$Hb = 1,6 \text{ meter}$$

- Perhitungan kedalaman gelombang pecah

$$\text{Nilai } m = 0,0024$$

$$a = 43,75(1 - e^{-19m}) = 43,75(1 - e^{-19 \times 0,0024}) = 0,195$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})} = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5 \times 0,0024})} = 0,798$$

$$\frac{db}{Hb} = \frac{1}{b - (aHb/gT^2)} = \frac{1}{0,798 - (0,195 \times 1,6 / 9,81 \times 5,25^2)}$$

$$\frac{db}{Hb} = 1,26$$

$$db = 1,26 \times 1,6 = 2,02 \text{ m}$$

4.5.8. Transpor Sedimen

- Barat Laut

Dari hasil perhitungan gelombang rata-rata yang bisa dilihat pada lampiran untuk arah utara diperoleh :

Jumlah data gelombang dari arah utara 368 data

$$\text{Jumlah } H = 21,44 \text{ m} \quad \longrightarrow \quad \text{Hrata-rata } (H_{100}) = 0,06 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah } T = 360,69 \text{ detik} \quad \longrightarrow \quad \text{Trata-rata } (T_{100}) = 0,98 \text{ detik}$$

Arah datang gelombang pada kedalaman -2,0 MSL

- Perhitungan koefisien shoaling (K_S)

$$L_o = 1,56 T^2 = 1,56 \times 0,98^2 = 1,49 \text{ m}$$

$$C_o = \frac{L_o}{T} = \frac{1,49}{0,98} = 1,52 \text{ m/detik}$$

$$d/L_o = \frac{2}{1,49} = 1,34$$

Dari tabel pada Lampiran 1 didapat :

$$d/L = 1,000 \quad \text{dan} \quad K_S = 1,000$$

- Perhitungan koefisien refraksi (K_R)

$$L = \frac{2}{1,000} = 2 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{2}{0,98} = 2,04 \text{ detik}$$

$$\sin \alpha_1 = \left(\frac{C_1}{C_o} \right) \sin \alpha_o = \left(\frac{2,04}{1,52} \right) \times \sin 30 = 0,226$$

$$\alpha_1 = 13,04^\circ$$

$$K_R = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_1}} = \sqrt{\frac{\cos 30^\circ}{\cos 13,04^\circ}} = 0,943$$

- Perhitungan tinggi gelombang ekivalen

$$H_o' = K_S \times K_R \times H_o$$

$$= 1,000 \times 0,943 \times 0,06 = 0,057 \text{ m}$$

- Perhitungan tinggi gelombang pecah

$$\frac{H_b}{H_o'} = \frac{1}{3,3x\left(\frac{H_o'}{L_o}\right)^{1/3}}$$

$$\frac{H_b}{0,057} = \frac{1}{3,3x\left(\frac{0,057}{1,49}\right)^{1/3}}$$

$$H_b = 0,136 \text{ meter}$$

- Perhitungan kedalaman gelombang pecah

$$\text{Nilai } m = 0,0024$$

$$a = 43,75(1 - e^{-19m}) = 43,75(1 - e^{-19 \times 0,0024}) = 0,195$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})} = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5 \times 0,0024})} = 0,798$$

$$\frac{db}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b/gT^2)} = \frac{1}{0,798 - (0,195 \times 0,136 / 9,81 \times 0,98^2)}$$

$$\frac{db}{H_b} = 1,258$$

$$db = 1,258 \times 0,136 = 0,17 \text{ m}$$

$$C_b = \sqrt{gd_b} = \sqrt{9,81 \times 0,17} = 1,29$$

$$\sin \alpha_b = \frac{c_b}{c_o} \sin \alpha_o = \frac{1,29}{1,52} \sin 30^\circ = 0,42$$

$$\alpha_b = 25,11^\circ$$

$$P_l = \frac{\rho g}{8} H_b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

$$= \frac{1,03 \times 9,81}{8} \times 0,136^2 \times 1,29 \times \sin 25,11^\circ \times \cos 25,11^\circ$$

$$= 0,012 \text{ tm/dt/m} = 1000,496 \text{ ton m/hari/m}$$

$$Q_s = 0,401 \times P_l = 0,401 \times 1000,496 = 401,199 \text{ m}^3/\text{hari}$$

- Utara

Dari hasil perhitungan gelombang rata-rata yang bisa dilihat pada lampiran untuk arah utara diperoleh :

Jumlah data gelombang dari arah utara 316 data

$$\text{Jumlah } H = 15,40 \text{ m} \quad \longrightarrow \quad \text{Hrata-rata } (H_{100}) = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah } T = 292,30 \text{ detik} \quad \longrightarrow \quad \text{Trata-rata } (T_{100}) = 0,93 \text{ detik}$$

Arah datang gelombang pada kedalaman -2,0 MSL

- Perhitungan koefisien shoaling (K_s)

$$L_o = 1,56 \times T^2 = 1,56 \times 0,93^2 = 1,35 \text{ m}$$

$$C_o = \frac{L_o}{T} = \frac{1,35}{0,93} = 1,45 \text{ m/d}$$

$$\frac{d}{L_o} = \frac{2}{1,35} = 1,48$$

Dari tabel pada Lampiran 1 didapat :

$$d/L = 1,000 \quad \text{dan} \quad K_s = 1,000$$

- Perhitungan koefisien refraksi (K_r)

$$L = \frac{2}{1,000} = 2 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{2}{0,93} = 2,15 \text{ detik}$$

$$\sin \alpha_1 = \left(\frac{C_1}{C_o} \right) \sin \alpha_o = \left(\frac{2,15}{1,45} \right) \times \sin 0 = 0$$

$$\alpha_1 = 0^\circ$$

$$K_R = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_1}} = \sqrt{\frac{\cos 0^\circ}{\cos 0^\circ}} = 1$$

- Perhitungan tinggi gelombang ekuivalen

$$H_o' = K_s \times K_R \times H_o$$

$$= 1,000 \times 1,000 \times 0,05 = 0,05 \text{ m}$$

- Perhitungan tinggi gelombang pecah

$$\frac{H_b}{H_o'} = \frac{1}{3,3x\left(\frac{H_o'}{L_o}\right)^{1/3}}$$

$$\frac{H_b}{0,05} = \frac{1}{3,3x\left(\frac{0,05}{1,35}\right)^{1/3}}$$

$$H_b = 0,55 \text{ meter}$$

- Perhitungan kedalaman gelombang pecah

Nilai $m = 0,0024$

$$a = 43,75(1 - e^{-19m}) = 43,75(1 - e^{-19 \times 0,0024}) = 0,195$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})} = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5 \times 0,0024})} = 0,798$$

$$\frac{db}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b/gT^2)} = \frac{1}{0,781 - (0,199 \times 0,55 / 9,81 \times 0,93^2)}$$

$$\frac{db}{H_b} = 1,302$$

$$db = 1,302 \times 0,55 = 0,716 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} C_b &= \sqrt{gd_b} \\ &= \sqrt{9,81 \times 0,716} \\ &= 2,65 \end{aligned}$$

$$\sin \alpha_b = \frac{c_b}{c_o} \sin \alpha_o = \frac{2,65}{1,45} \sin 0^\circ = 0$$

$$\alpha_b = 0^\circ$$

$$\begin{aligned} P_l &= \frac{\rho g}{8} H_b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \\ &= \frac{1,03 \times 9,81}{8} \times 2,43^2 \times 5,47 \times \sin 0^\circ \times \cos 0^\circ \end{aligned}$$

$$= 0 \text{ ton m/hari/m}$$

$$Q_s = 0,401 \times P_l = 0,401 \times 0 = 0 \text{ m}^3/\text{hari}$$

- Timur Laut

Dari hasil perhitungan gelombang rata-rata yang bisa dilihat pada lampiran untuk arah utara diperoleh :

Jumlah data gelombang dari arah utara 51 data

$$\text{Jumlah } H = 2,43 \text{ m} \quad \longrightarrow \quad \text{Hrata-rata } (H_{100}) = 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah } T = 46,63 \text{ detik} \quad \longrightarrow \quad \text{Trata-rata } (T_{100}) = 0,91 \text{ detik}$$

Arah datang gelombang pada kedalaman -2,0 MSL

- Perhitungan koefisien shoaling (K_s)

$$L_o = 1,56 T^2 = 1,56 \times 0,91^2 = 1,29 \text{ m}$$

$$C_o = \frac{L_o}{T} = \frac{1,29}{0,91} = 1,42 \text{ m/detik}$$

$$d/L_o = \frac{2}{1,29} = 1,55$$

Dari tabel pada Lampiran 1 didapat :

$$d/L = 1,000 \quad \text{dan} \quad K_s = 1,000$$

- Perhitungan koefisien refraksi (K_r)

$$L = \frac{2}{1,000} = 2 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{2}{0,91} = 2,198 \text{ detik}$$

$$\sin \alpha_1 = \left(\frac{C_1}{C_o} \right) \sin \alpha_o = \left(\frac{2,198}{1,42} \right) \times \sin 30 = 0,77$$

$$\alpha_1 = 50,71^\circ$$

$$K_R = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_1}} = \sqrt{\frac{\cos 30^\circ}{\cos 50,71^\circ}} = 1,37$$

- Perhitungan tinggi gelombang ekivalen

$$H_o' = K_s \times K_R \times H_o$$

$$= 1,000 \times 1,37 \times 0,05 = 0,0185 \text{ m}$$

- Perhitungan tinggi gelombang pecah

$$\frac{H_b}{H_o'} = \frac{1}{3,3x\left(\frac{H_o'}{L_o}\right)^{1/3}}$$

$$\frac{H_b}{0,0185} = \frac{1}{3,3x\left(\frac{0,0185}{1,29}\right)^{1/3}}$$

$$H_b = 0,0148 \text{ meter}$$

- Perhitungan kedalaman gelombang pecah

$$\text{Nilai } m = 0,0024$$

$$a = 43,75(1 - e^{-19m}) = 43,75(1 - e^{-19 \times 0,0024}) = 0,195$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})} = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5 \times 0,0024})} = 0,798$$

$$\frac{db}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b/gT^2)} = \frac{1}{0,781 - (0,199 \times 0,0148 / 9,81 \times 0,91^2)}$$

$$\frac{db}{H_b} = 1,28$$

$$db = 1,28 \times 0,0148 = 0,0189 \text{ m}$$

$$C_b = \sqrt{gd_b} = \sqrt{9,81 \times 0,0189} = 0,43$$

$$\sin \alpha_b = \frac{c_b}{c_o} \sin \alpha_o = \frac{0,43}{1,42} \sin 30^\circ = 0,151$$

$$\alpha_b = 8,71^\circ$$

$$P_l = \frac{\rho g}{8} H_b^2 C_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

$$= \frac{1,03 \times 9,81}{8} \times 0,0148^2 \times 0,43 \times \sin 8,71^\circ \times \cos 8,71^\circ$$

$$= 0,0000178 \text{ tm/dt/m} = 1,539 \text{ ton m/hari/m}$$

$$Q_s = 0,401 \times P_l = 0,401 \times 1,539 = 0,617 \text{ m}^3/\text{hari}$$

4.6. Analisa Data Tanah

Dari hasil penelitian dan laboratorium mekanika tanah Universitas Diponegoro didapatkan bahwa kondisi tanah di lokasi, mempunyai karakteristik sebagai berikut:

Tabel 4.18. Hasil Uji Tanah

Bor No	Kedalaman (m)	GS t/m ³	γ_m t/m ³	γ_d t/m ³	W %	Void Ratio (e)	Porosity (n)	Direct Shear	
								C kg/cm ²	Φ Degree
BH.II	10.00 s/d 10.50	2,5827	1,581	1,171	31,85	2,4870	0,7132	0,027	3,37
BH.III	10.00 s/d 10.50	2,6152	1,649	1,221	34,16	2,5319	0,7169	-	3,38
Rata-rata		2,599	1,615	1,196	33,005	2,509	0,715	0,027	3,375

Dari tabel data diatas diambil beberapa kesimpulan data yang akan digunakan dalam perhitungan, antara lain :

$$G_s = 2,599 \text{ t/m}^3$$

$$C = 0,027 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma_d = 1,196 \text{ t/m}^3$$

$$\Phi = 3,375^\circ$$

Dalam kondisi ini daya dukung tanah dapat diketahui dengan menghitung daya dukung batas (Q_{ult}) asalkan diketahui jenis material dan gradasi butiran materialnya.

Rumus Terzaghi yang digunakan untuk mengetahui daya dukung tanah sekali lagi disajikan sebagai berikut :

$$Q_{ult} = C \cdot N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0,5B \cdot \gamma \cdot N_\gamma$$

- Dimana :
- Q_{ult} : Kuat dukung batas (t/m²)
 - N_c, N_γ, N_q : konstanta tanah tergantung ϕ
 - D_f : kedalaman pondasi (m)
 - B : lebar pondasi (m)
 - C : kohesi tanah
 - γ : berat jenis/unit tanah (t/m³)

Tabel 4.19. Nilai-nilai Faktor Daya Dukung Tanah Menurut Terzaghi

ϕ (°)	Keruntuhan Geser Umum		
	N_c	N_q	N_γ
0	5.7	1.0	0.0
5	7.3	1.6	0.5
10	9.6	2.7	1.2
15	12.9	4.4	2.5
20	17.7	7.4	5.0
25	25.1	12.7	9.7
30	37.2	22.5	19.7
34	52.6	36.5	35.0
35	57.8	41.4	42.4
40	95.7	81.3	100.4
45	172.3	173.3	297.5
48	258.3	287.9	780.1
50	347.6	415.1	1153.2

Berdasarkan persamaan di atas, maka sebagai simulasi digunakan hitungan berikut ini. Misal kedalaman pondasi 10 m :

Untuk kedalaman pondasi 10 m, $\gamma = 1,171 \text{ t/m}^3$, $\phi = 3,375^\circ$, dan lebar = 1m, dari hasil interpolasi faktor-faktor Terzaghi didapatkan nilai-nilai untuk $\phi = 3,375^\circ$ adalah $N_c = 4,94$; $N_q = 1,08$; dan $N_\gamma = 0,34$. Dengan demikian, maka diperoleh :

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= C \cdot N_c + D_f \cdot \gamma \cdot N_q + 0,5B \cdot \gamma \cdot N_\gamma \\
 &= 0,027 \cdot 4,94 + 10 \cdot 1,196 \cdot 1,08 + 0,5 \cdot 1 \cdot 1,196 \cdot 0,34 \\
 &= 13,25 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Dari gambaran tersebut dengan mengambil angka keamanan 2, maka $Q_s = 6,63 \text{ t/m}^2$, artinya tanah pasir tersebut masih aman sampai beban di atasnya sebesar 6,63 ton tiap m^2 .