

BAB IV

IDENTIFIKASI MASALAH DAN ANALISA DATA

4.1. Identifikasi Masalah

Secara Administratif Pantai Muarareja terletak di utara kota Tegal, Jawa Tengah tepatnya di Kelurahan Muarareja, Kecamatan Tegal Barat. Batas wilayah Kelurahan Muarareja adalah sebagai berikut:

- Utara : berbatasan dengan Laut Jawa.
- Timur : berbatasan dengan Kelurahan Tegalsari dan Kelurahan Kraton, Kecamatan Tegal Barat.
- Selatan : berbatasan dengan Kelurahan Pesurungan Lor, Kecamatan Margadana.
- Barat : berbatasan dengan Kelurahan Margadana, Kecamatan Margadana.

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 Muarareja terutama disebabkan oleh rob (luapan air laut) dan abrasi pantai.

Abrasi pantai Muarareja ini disebabkan karena ulah campur tangan manusia yang merusak sarana dan prasarana umum di sekitar kawasan tersebut dengan menebang pohon bakau yang berfungsi sebagai penangkal arus air laut. Disamping itu 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 Muarareja mengikis kawasan tersebut sehingga menimbulkan abrasi. Abrasi yang terjadi secara terus menerus dapat mengakibatkan perubahan garis pantai di kawasan Muarareja.

Abrasi yang terjadi di Pantai Muarareja, kota Tegal menyebabkan ratusan kepala keluarga kehilangan tempat tinggal setelah dusun mereka tenggelam akibat abrasi. Kondisi tersebut diperparah dengan tingginya gelombang pada musim penghujan tahun ini. Dalam beberapa bulan terakhir, garis pantai ke arah laut sepanjang 7,5 kilometer terkikis 20 meter dari bibir pantai. Lebar daratan pantai yang dulu mencapai 200 meter, saat ini hanya tersisa 20 meter. Bahkan, sebagian daratan berupa tambak penduduk sudah berbatasan dengan air laut (www.metronews.com. Senin, 9 Juli 2007).

Abrasi dipantai Muarareja sudah terjadi selama puluhan tahun. Abrasi telah mengikis daratan di pinggir pantai sepanjang sekitar 50 meter dan menghancurkan sekitar 300 hektar lahan tambak milik nelayan disana. Hal itu terjadi karena pohon bakau yang berfungsi sebagai penangkal arus air laut, hilang ditebang (www.kompas.com. Senin, 9 Juli 2007).

Selain itu di kawasan Muarareja juga terjadi rob atau limpahan air laut. Rob tersebut menggenangi ratusan rumah warga dan jalan. Biasanya, air mulai menggenangi rumah warga sekitar pukul 16.00 dan surut sekitar pukul 20.00 WIB. Ketinggian air di dalam rumah bisa mencapai sekitar 20 cm, sedangkan ketinggian air di jalan bisa mencapai 50 cm. Meskipun tidak menimbulkan korban, rob sangat mengganggu aktivitas warga. (www.kompas.com. Senin, 14 Mei 2007).

Menurut hasil inventarisasi sementara dampak kerusakan yang ditimbulkan gelombang pasang tanggal 25 Mei 2007 oleh perhimpunan Pusdatin Departemen Kelautan dan Perikanan tercatat di wilayah Muarareja dan Panggung Kecamatan Tegal Barat didapat 3 rumah penduduk rusak dan 8 hektar tambak rusak. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat gambaran kondisi pantai Muarareja hasil pengamatan langsung di lapangan pada hari Selasa tanggal 24 Juli 2007 pukul 09.00 – 11.00 WIB sebagai berikut:



Gambar 4.1. Pondasi rusak akibat abrasi.



Gambar 4.2. Bentuk tepi pantai vertikal akibat terjadi abrasi.



Gambar 4.3. Tambak rusak dan tercemar air laut akibat terjadi abrasi.

4.2. Angin

Data angin diperoleh dari Stasiun Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Kota Tegal dengan koordinat 109°09' BT dan 6°51' LS. Data angin yang diperoleh adalah data angin kecepatan rata-rata harian selama 5 tahun yaitu tahun 2002 hingga tahun 2006. 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:

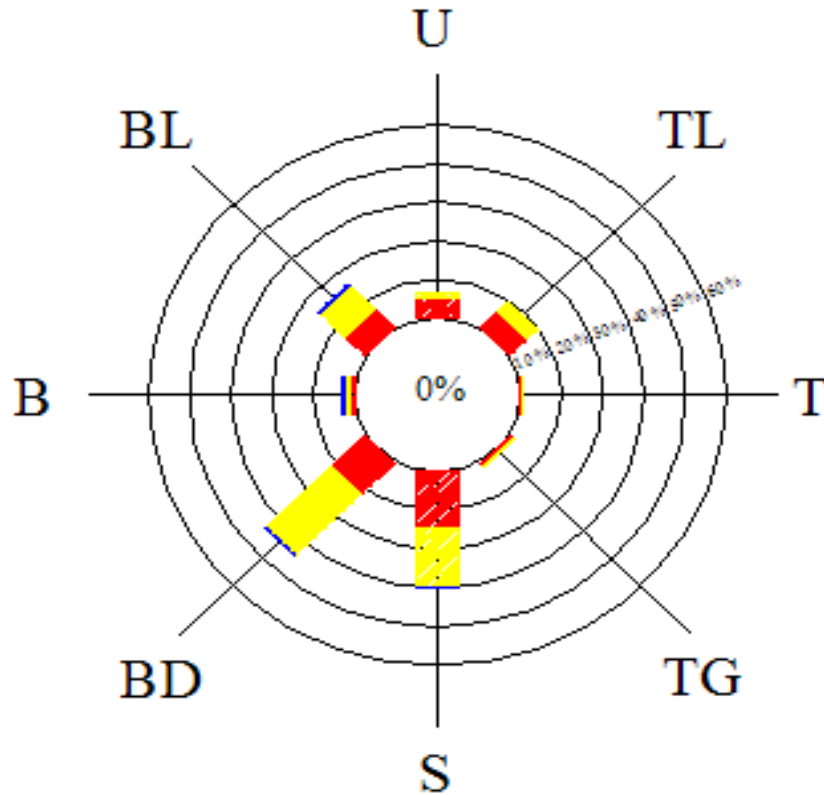
Tabel 4.1. Prosentase Kejadian Angin

Tahun 2002 - 2006

Kec. Angin (knots)	Arah Angin								Total
	U	TL	T	TG	S	BD	B	BL	
0 -- 3	100,00	107,00	7,00	18,00	262,00	210,00	23,00	120,00	847,00
%	5,48	5,86	0,38	0,99	14,35	11,50	1,26	6,57	46,39
4 -- 7	20,00	63,00	4,00	2,00	282,00	407,00	27,00	160,00	965,00
%	1,10	3,45	0,22	0,11	15,44	22,29	1,48	8,76	52,85
8 -- 11	0,00	0,00	0,00	0,00	4,00	1,00	1,00	8,00	14,00
%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,05	0,05	0,44	0,77
Jumlah	120,00	170,00	11,00	20,00	548,00	618,00	51,00	288,00	1826,00
Prosen (%)	6,57	9,31	0,60	1,10	30,01	33,84	2,79	15,77	100,00

(Sumber: BMG Tegal dan hasil olahan)

Dari data tersebut terlihat bahwa kejadian angin bertiup dari Utara (6,57%), dari Timur Laut (9,31%), dari Barat Laut (15,77%), Selatan (30,01%), dan yang terbesar dari arah Barat Daya (33,84%), sehingga arah angin dominan dari arah Barat Daya. Namun, dalam analisa dan peramalan gelombang angin yang berpengaruh dari arah Barat Laut, Utara, Timur Laut dan Timur.



keterangan :

- kecepatan 0 - 3 knots
- kecepatan 4 - 7 knots
- kecepatan 8 - 11 knots

Gambar 4.4. *Windrose* tahun 2002-2006

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:

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

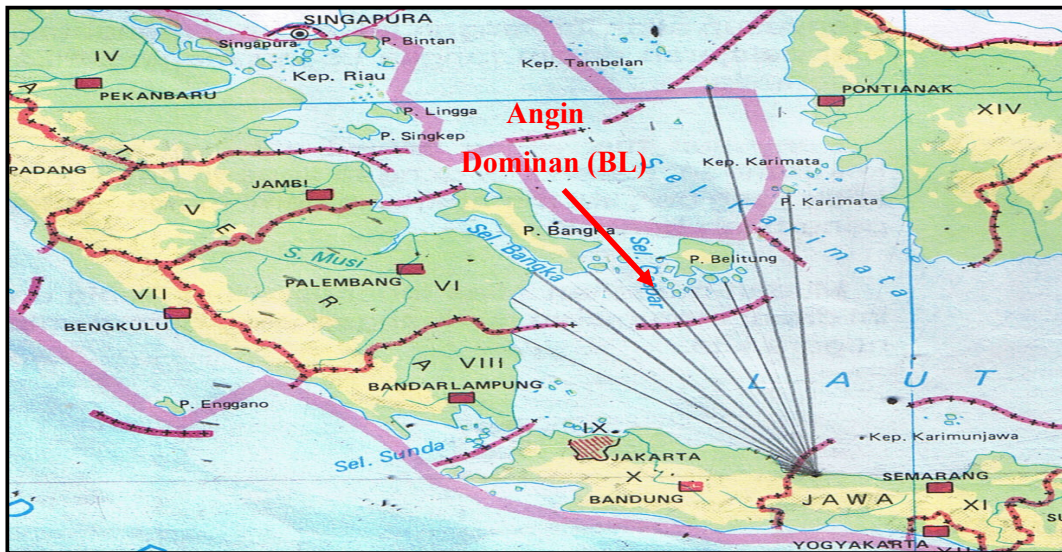
Dengan :

F_{eff} : *fetch* rerata efektif

X_i : panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang keujung akhir *fetch*.

α : deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 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 Muarareja yaitu dari arah timur, timur laut, utara, barat laut dan barat. Perhitungan *fetch* efektif dapat dilihat pada tabel-tabel berikut ini:

Tabel 4.2. Fetch Arah Timur Laut

Arah Timur Laut				
Titik	Sudut (α°)	Cos (α)	X (km)	X Cos (α)
7 ki	42	0,743	648	481,464
6 ki	36	0,809	552	446,568
5 ki	30	0,866	456	394,896
4 ki	24	0,914	462	422,268
3 ki	18	0,951	468	445,068
2 ki	12	0,978	516	504,648
1 ki	6	0,995	486	483,570
0	0	1,000	540	540,000
1 ka	6	0,995	624	620,880
2 ka	12	0,978	180	176,040
3 ka	18	0,951	636	604,836
4 ka	24	0,914	840	767,760
5 ka	30	0,866	408	353,328
6 ka	36	0,809	186	150,474
7 ka	42	0,743	180	133,740
	Jumlah	13,512		6525,540
			Fetch	482,944

Tabel 4.3. Fetch Arah Utara

Arah Utara				
Titik	Sudut (α°)	Cos (α)	X (km)	X Cos (α)
7 ki	42	0,743	504	374,472
6 ki	36	0,809	498	402,882
5 ki	30	0,866	480	415,680
4 ki	24	0,914	396	361,944
3 ki	18	0,951	408	388,008
2 ki	12	0,978	402	393,156
1 ki	6	0,995	1158	1152,210
0	0	1,000	600	600,000
1 ka	6	0,995	630	626,850
2 ka	12	0,978	516	504,648
3 ka	18	0,951	444	422,244
4 ka	24	0,914	456	416,784
5 ka	30	0,866	492	426,072
6 ka	36	0,809	510	412,590
7 ka	42	0,743	492	365,556
	Jumlah	13,512		7263,096
			Fetch	537,5293

Tabel 4.4. Fetch Arah Barat Laut

Arah Barat Laut				
Titik	Sudut (α°)	Cos (α)	X (km)	X Cos (α)
7 ki	42	0,743	24	17,832
6 ki	36	0,809	36	29,124
5 ki	30	0,866	42	36,372
4 ki	24	0,914	48	43,872
3 ki	18	0,951	54	51,354
2 ki	12	0,978	60	58,680
1 ki	6	0,995	462	459,690
0	0	1,000	504	504,000
1 ka	6	0,995	528	525,360
2 ka	12	0,978	492	481,176
3 ka	18	0,951	480	456,480
4 ka	24	0,914	402	367,428
5 ka	30	0,866	396	342,936
6 ka	36	0,809	780	631,020
7 ka	42	0,743	564	419,052
	Jumlah	13,512		4424,376
			Fetch	327,4405

Tabel 4.5. Fetch Arah Timur

Arah Timur				
Titik	Sudut (α°)	Cos (α)	X (km)	X Cos (α)
0	0	1,000	180	180,000
1 ki	6	0,995	186	185,070
2 ki	12	0,978	192	187,776
3 ki	18	0,951	408	388,008
4 ki	24	0,914	840	767,760
5 ki	30	0,866	708	613,128
6 ki	36	0,809	180	145,620
7 ki	42	0,743	174	129,282
	Jumlah	7,256		2596,644
			Fetch	357,8616

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.

Hasil perhitungan pasang surut ini digunakan untuk menentukan dimensi dari bangunan pengaman pantai.

Tabel 4.6. Perhitungan Data Pasang Surut

Mei 2007

T/J	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Max	Min	
1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,9	0,4	
2	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,9	0,4
3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,4
4	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,8	0,4
5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	0,8	0,4
6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,4
7	0,6	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,5	0,9	0,4	
8	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,9	0,4
9	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	0,9	0,7	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3	1	0,3	
10	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	1	0,2	
11	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0	1,1	1,0	0,9	0,7	0,5	0,3	0,2	0,2	1,1	0,2	
12	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9	1,0	1,1	1,1	1,0	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	1,1	0,2	
13	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,1	1,1	1,0	0,9	0,7	0,5	0,3	0,2	1,1	0,2	
14	0,2	0,2	0,3	0,4	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,6	0,5	0,3	1	0,2	
15	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,7	0,6	0,4	1	0,2	
16	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,9	0,3	
17	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,8	0,3	
18	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,8	0,3
19	0,7	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,3
20	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,9	0,3	
21	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,0	0,9	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	1	0,3	
22	0,6	0,7	0,7	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0	0,8	0,7	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	1	0,3	
23	0,5	0,6	0,7	0,8	0,8	0,7	0,6	0,4	0,4	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	1	0,2	
24	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0	1,1	1,0	0,8	0,7	0,5	0,3	0,2	0,2	1,1	0,2	
25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	0,7	0,5	0,4	0,2	0,2	1	0,2	
26	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	1,0	1,0	0,9	0,8	0,6	0,5	0,3	0,2	1	0,2	
27	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4	0,3	1	0,2	
28	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,9	0,2
29	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,9	0,3
30	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,9	0,3
31	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,8	0,4
																									jumlah	28,9	9

(sumber : TNI AL Tegal dan hasil olahan)

$$HHWL = 1,10 \text{ meter}$$

$$LLWL = 0,20 \text{ meter}$$

$$MSL = \frac{\sum \text{nilai} - \text{nilai_maksimum} + \sum \text{nilai} - \text{nilai_minimum}}{nx2}$$

$$= \frac{28,9 + 9}{31 \times 2} = 0,61 \text{ meter}$$

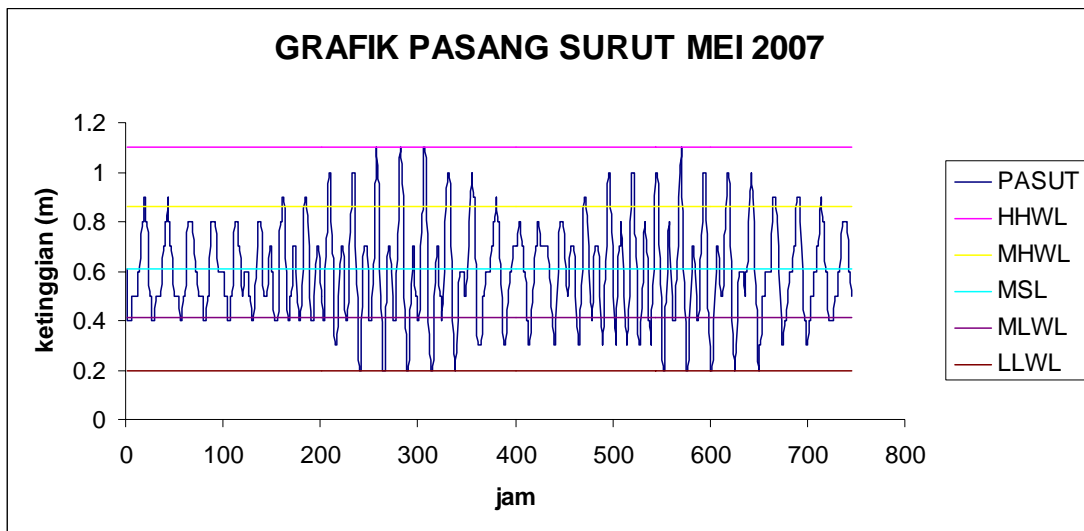
$$MHWL = \frac{HHWL + MSL}{2}$$

$$= \frac{1,1 + 0,61}{2} = 0,86 \text{ meter}$$

$$MLWL = \frac{LLWL + MSL}{2}$$

$$= \frac{0,2 + 0,61}{2} = 0,41 \text{ meter}$$

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



Gambar 4.6. Grafik pasang surut bulan Mei 2007

Tabel 4.7. Hasil Perhitungan Pasang Surut Tahun 2007

No	Bulan	HHWL (m)	MHWL (m)	MSL (m)	MLWL (m)	LLWL (m)
1	Januari	1,00	0,80	0,60	0,35	0,10
2	Februari	1,00	0,80	0,60	0,40	0,20
3	Maret	1,00	0,80	0,59	0,40	0,20
4	April	1,00	0,80	0,60	0,40	0,20
5	Mei	1,00	0,80	0,61	0,41	0,20
6	Juni	1,10	0,85	0,60	0,40	0,20
7	Juli	1,00	0,79	0,60	0,39	0,20
8	Agustus	1,00	0,80	0,60	0,30	0,10
9	September	1,00	0,80	0,60	0,40	0,20
10	Oktober	1,10	0,85	0,60	0,40	0,20
11	Nopember	1,10	0,86	0,62	0,41	0,20
12	Desember	1,10	0,86	0,62	0,41	0,20

4.5. Peramalan Gelombang

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 *limited fetch*

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

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

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

- Untuk kondisi *open sea*

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

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

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

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

4.5.1 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.

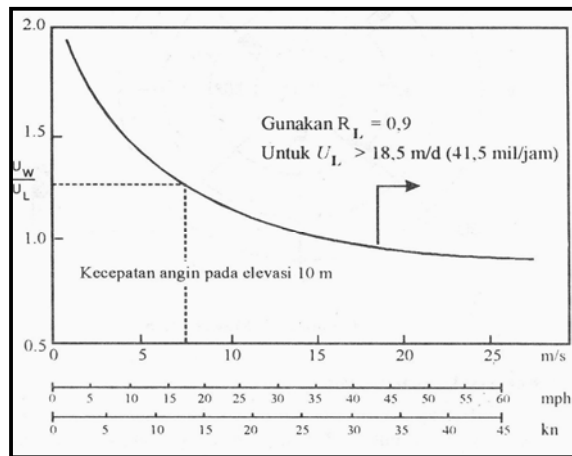
$U_{(z)}$: kecepatan pada ketinggian Z m dpl.

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 $R_L = U_W / U_L$ seperti dalam Gambar 4.7. berikut ini:



Gambar 4.7. Hubungan antara kecepatan angin di laut dan di darat

- 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)

4.5.2 Peramalan Gelombang Perairan Dalam

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

- Tinggi gelombang

$$H = 1,6x10^{-3} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2} \frac{U_A^2}{g}$$

- Periode gelombang

$$T = 2,875 \times 10^{-1} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3} \frac{U_A}{g} \quad (\text{SPM, 1984})$$

Rumus diatas merupakan rumus umum tanpa satuan, apabila dalam satuan *Standart International* dimana U_A (m/dtk), F (km), H (m), T (dtk) maka rumusnya menjadi sebagai berikut:

- Tinggi gelombang

$$H = 1,616 \times 10^{-2} U_A F^{1/2}$$

- Periode gelombang

$$T = 6,238 \times 10^{-1} (U_A F)^{1/3} \quad (\text{SPM, 1984})$$

Cara perhitungan peramalan gelombang dari data angin maksimum bulanan pada Tabel 4.2 adalah sebagai berikut:

Pada bulan Januari 2002 dengan nilai $U_{(z)} = 7$ knot arah Barat Laut maka:

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

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

$$U_{(10)} = 7 \times \left(\frac{10}{3} \right)^{1/7} = 8,315 \text{ knot} = 4,274 \text{ m/d}$$

2. Transformasi data angin diatas daratan ke angin diatas permukaan air laut, dengan $U_L = 4,274$ m/d dan R_L dicari pada grafik sebesar 1,48 maka kecepatan angin diatas permukaan laut adalah:

$$\begin{aligned} U_W &= R_L \times U_L \quad (R_L = 1,48) \\ &= 1,48 \times 4,274 \\ &= 6,325 \text{ m/d} \end{aligned}$$

3. Menghitung tegangan angin (U_A)

$$U_A = 0,71 \times U_W^{1,23}$$

$$U_A = 0,71 \times 6,325^{1,23} = 6,864 \text{ m/d}$$

4. Menghitung tinggi gelombang (H), dengan $g = 9,81 \text{ m/d}^2$; $Fetch = 538 \text{ km}$;

$U_A = 6,864 \text{ m/d}$ adalah:

$$H = 1,616 \times 10^{-2} U_A F^{1/2}$$

$$= 1,616 \times 10^{-2} \times 6,864 \times 327^{1/2}$$

$$= 2,006 \text{ m}$$

5. Menghitung periode gelombang (T)

$$T = 6,238 \times 10^{-1} (U_A F)^{1/3}$$

$$= 6,238 \times 10^{-1} (6,864 \times 327)^{1/3}$$

$$= 8,168 \text{ detik}$$

Perhitungan tinggi dan periode gelombang untuk tiap bulan dari tahun 2002-2006 selanjutnya diberikan oleh Tabel 4.8 berikut ini:

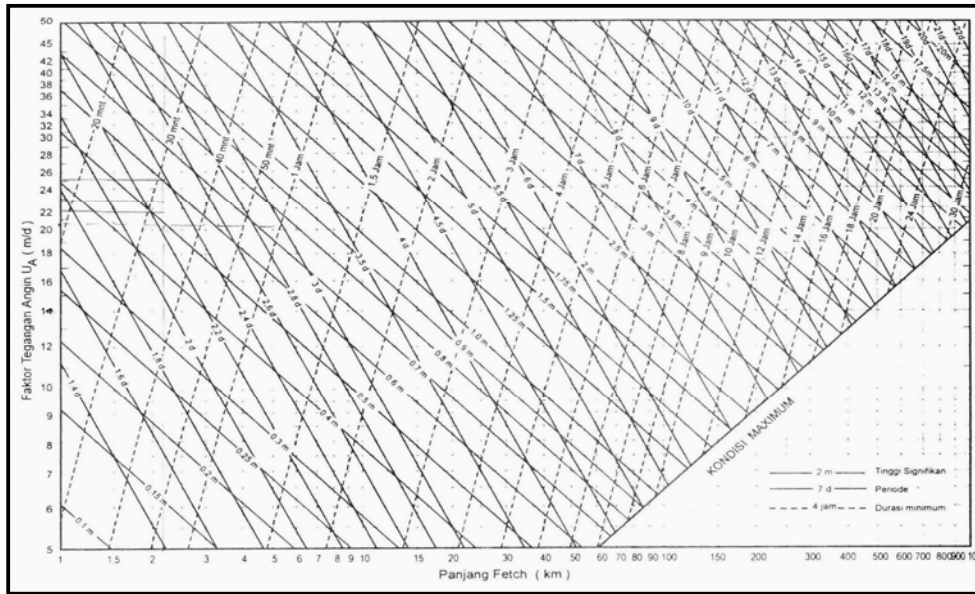
Tabel 4.8. Tinggi dan Periode Gelombang Akibat Angin Dominan

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)
2002	Jan	7	320	BL	8,315	4,274	1,48	6,325	6,864	327	2,006	8,168
	Feb	9	320	BL	10,691	5,495	1,38	7,583	8,580	327	2,507	8,798
	Maret	5	320	BL	5,939	3,053	1,59	4,854	4,956	327	1,448	7,327
	April	4	320	BL	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	327	1,178	6,839
	Mei	5	40	TL	5,939	3,053	1,59	4,854	4,956	483	1,760	8,345
	Juni	4	40	TL	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	483	1,431	7,789
	Juli	5	40	TL	5,939	3,053	1,59	4,854	4,956	483	1,760	8,345
	Agust	5	320	BL	5,939	3,053	1,59	4,854	4,956	327	1,448	7,327
	Sept	4	40	TL	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	483	1,431	7,789
	Okt	4	40	TL	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	483	1,431	7,789
	Nop	4	40	TL	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	483	1,431	7,789
	Des	4	320	BL	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	327	1,178	6,839
2003	Jan	5	320	BL	5,939	3,053	1,59	4,854	4,956	327	1,448	7,327
	Feb	9	320	BL	10,691	5,495	1,38	7,583	8,580	327	2,507	8,798
	Maret	5	320	BL	5,939	3,053	1,59	4,854	4,956	327	1,448	7,327
	April	4	40	TL	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	483	1,431	7,789
	Mei	4	40	TL	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	483	1,431	7,789
	Juni	5	40	TL	5,939	3,053	1,59	4,854	4,956	483	1,760	8,345
	Juli	6	180	S	7,127	3,663	1,52	5,568	5,868	538	2,200	9,151
	Agust	4	40	TL	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	483	1,431	7,789
	Sept	4	40	TL	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	483	1,431	7,789
	Okt	4	40	TL	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	483	1,431	7,900

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)
	Nop	3	40	TL	3,564	1,832	1,75	3,205	2,975	483	1,057	7,039
	Des	6	320	BL	7,127	3,663	1,52	5,568	5,868	327	1,715	7,752
2004	Jan	7	320	BL	8,315	4,274	1,48	6,325	6,864	327	2,006	8,168
	Feb	7	300	BL	8,315	4,274	1,48	6,325	6,864	327	2,006	8,168
	Maret	5	320	BL	5,939	3,053	1,59	4,854	4,956	327	1,448	7,327
	April	4	40	TL	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	483	1,431	7,789
	Mei	4	360	U	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	538	1,511	8,074
	Juni	5	40	TL	5,939	3,053	1,59	4,854	4,956	483	1,760	8,345
	Juli	4	70	T	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	358	1,232	7,049
	Agust	6	180	S	7,127	3,663	1,52	5,568	5,868	538	2,200	9,151
	Sept	6	40	TL	7,127	3,663	1,52	5,568	5,868	483	2,084	8,828
	Okt	4	360	U	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	538	1,511	8,074
	Nop	4	360	U	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	538	1,511	8,074
	Des	6	320	BL	7,127	3,663	1,52	5,568	5,868	327	1,715	7,752
	2005	Jan	6	320	BL	7,127	3,663	1,52	5,568	5,868	327	1,715
Feb		5	320	BL	5,939	3,053	1,59	4,854	4,956	327	1,448	7,327
Maret		5	90	T	5,939	3,053	1,59	4,854	4,956	358	1,515	7,552
April		4	360	U	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	538	1,511	8,074
Mei		4	50	TL	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	483	1,431	7,789
Juni		4	40	TL	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	483	1,431	7,789
Juli		4	60	TL	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	483	1,431	7,789
Agust		5	90	T	5,939	3,053	1,59	4,854	4,956	358	1,515	7,552
Sept		5	360	U	5,939	3,053	1,59	4,854	4,956	538	1,858	8,650
Okt		4	360	U	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	538	1,511	8,074
Nop		2	30	TL	2,376	1,221	1,82	2,222	1,896	483	0,673	6,058
Des		4	300	BL	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	327	1,178	6,839
2006		Jan	9	320	BL	10,691	5,495	1,38	7,583	8,580	327	2,507
	Feb	9	320	BL	10,691	5,495	1,38	7,583	8,580	327	2,507	8,798
	Maret	5	320	BL	5,939	3,053	1,59	4,854	4,956	327	1,448	7,327
	April	3	350	U	3,564	1,832	1,75	3,205	2,975	538	1,115	7,297
	Mei	3	40	TL	3,564	1,832	1,75	3,205	2,975	483	1,057	7,039
	Juni	4	50	TL	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	483	1,431	7,789
	Juli	6	220	BD	7,127	3,663	1,52	5,568	5,868	538	2,200	9,151
	Agust	5	220	BD	5,939	3,053	1,59	4,854	4,956	538	1,858	8,650
	Sept	5	360	U	5,939	3,053	1,59	4,854	4,956	538	1,858	8,650
	Okt	6	360	U	7,127	3,663	1,52	5,568	5,868	538	2,200	9,151
	Nop	4	350	U	4,752	2,442	1,68	4,103	4,031	538	1,511	8,074
	Des	7	300	BL	8,315	4,274	1,48	6,325	6,864	327	2,006	8,168

4.5.3 Perhitungan Tinggi dan Periode Gelombang secara Grafis

Berdasarkan pada kecepatan angin dan *fetch*, maka dapat dilakukan perhitungan gelombang dengan menggunakan grafik. Apabila panjang *fetch* (F), dan faktor tegangan angin (U_A) diketahui maka tinggi dan periode gelombang dapat dicari. Grafik yang digunakan adalah dari Buku Teknik Pantai karangan Bambang Triatmodjo tahun 1994.



Gambar 4.8. Grafik Peramalan Gelombang

Dari hasil perhitungan gelombang secara grafis dan analitis didapatkan nilai tinggi gelombang dan periodenya sebagaimana disajikan dalam Tabel 4.9 berikut ini:

Tabel 4.9. Perhitungan Tinggi Gelombang

Tahun	Bulan	Analitis		Grafis	
		Ho (m)	To (detik)	Ho (m)	To (detik)
2020	Jan	2,006	8,168	1,200	5,750
	Feb	2,507	8,798	1,750	7,000
	Maret	1,448	7,327	0,650	4,250
	April	1,178	6,839	0,650	4,250
	Mei	1,760	8,345	0,650	4,250
	Juni	1,431	7,789	0,650	4,250
	Juli	1,760	8,345	0,650	4,250
	Agust	1,448	7,327	0,650	4,250
	Sept	1,431	7,789	0,650	4,250

	Okt	1,431	7,789	0,650	4,250
	Nop	1,431	7,789	0,650	4,250
	Des	1,178	6,839	0,650	4,250
2 0 0 3	Jan	1,448	7,327	0,650	4,250
	Feb	2,507	8,798	1,750	7,000
	Maret	1,448	7,327	0,650	4,250
	April	1,431	7,789	0,650	4,250
	Mei	1,431	7,789	0,650	4,250
	Juni	1,760	8,345	0,650	4,250
	Juli	2,200	9,151	0,880	4,900
	Agust	1,431	7,789	0,650	4,250
	Sept	1,431	7,789	0,650	4,250
	Okt	1,431	7,789	0,650	4,250
	Nop	1,057	7,039	0,650	4,250
	Des	1,715	7,752	0,880	4,900
	2 0 0 4	Jan	2,006	8,168	1,200
Feb		2,006	8,168	1,200	5,750
Maret		1,448	7,327	0,650	4,250
April		1,431	7,789	0,650	4,250
Mei		1,511	8,074	0,650	4,250
Juni		1,760	8,345	0,650	4,250
Juli		1,232	7,049	0,650	4,250
Agust		2,200	9,151	0,880	4,900
Sept		2,084	8,828	0,880	4,900
Okt		1,511	8,074	0,650	4,250
Nop		1,511	8,074	0,650	4,250
Des		1,715	7,752	0,880	4,900
Jan		1,715	7,752	0,880	4,900
2 0 0 5	Feb	1,448	7,327	0,650	4,250
	Maret	1,515	7,552	0,650	4,250
	April	1,511	8,074	0,650	4,250
	Mei	1,431	7,789	0,650	4,250
	Juni	1,431	7,789	0,650	4,250
	Juli	1,431	7,789	0,650	4,250
	Agust	1,515	7,552	0,650	4,250
	Sept	1,858	8,650	0,650	4,250
	Okt	1,511	8,074	0,650	4,250
	Nop	0,673	6,058	0,650	4,250
	Des	1,178	6,839	0,650	4,250
	Jan	2,507	8,798	1,750	7,000
	2 0 0 6	Feb	2,507	8,798	1,750
Maret		1,448	7,327	0,650	4,250
April		1,115	7,297	0,650	4,250
Mei		1,057	7,039	0,650	4,250
Juni		1,431	7,789	0,650	4,250
Juli		2,200	9,151	0,880	4,900
Agust	1,858	8,650	0,650	4,250	

	Sept	1,858	8,650	0,650	4,250
	Okt	2,200	9,151	0,880	4,900
	Nop	1,511	8,074	0,650	4,250
	Des	2,006	8,168	1,200	5,750

Dari hasil perhitungan gelombang pada tabel 4.9 diatas dapat diketahui bahwa hasil antara cara analitis dan cara grafis berbeda. Hal ini dikarenakan karena *fetch* efektif yang diperoleh dari perhitungan sebelumnya sangat panjang, sehingga pada saat diplotkan pada grafik berada pada daerah maksimum. Namun, pada perhitungan gelombang selanjutnya digunakan hasil dari cara analitis.

4.5.4 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. Untuk memberikan kejelasan mengenai gelombang representatif, berikut ini adalah rekapitulasi hasil perhitungan tinggi dan periode gelombang dari tabel 4.10 yang telah diurutkan dari terbesar hingga terkecil tiap tahunnya.

Tabel 4.10. Tinggi dan Periode Gelombang yang Telah Diurutkan

Tahun 2002 – 2006

No Urut	Ho (m)	To (detik)	No Urut	Ho (m)	To (detik)
1	2,507	9,151	31	1,511	7,789
2	2,507	9,151	32	1,448	7,789
3	2,507	9,151	33	1,448	7,789
4	2,507	9,151	34	1,448	7,789
5	2,200	8,828	35	1,448	7,789
6	2,200	8,798	36	1,448	7,789

7	2,200	8,798
8	2,200	8,798
9	2,084	8,798
10	2,006	8,650
11	2,006	8,650
12	2,006	8,650
13	2,006	8,650
14	1,858	8,345
15	1,858	8,345
16	1,858	8,345
17	1,858	8,345
18	1,760	8,168
19	1,760	8,168
20	1,760	8,168
21	1,760	8,168
22	1,715	8,074
23	1,715	8,074
24	1,715	8,074
25	1,515	8,074
26	1,511	8,074
27	1,511	8,074
28	1,511	7,789
29	1,511	7,789
30	1,511	7,789
Jumlah	57,621	253,088

37	1,448	7,789
38	1,448	7,789
39	1,431	7,789
40	1,431	7,789
41	1,431	7,789
42	1,431	7,752
43	1,431	7,752
44	1,431	7,752
45	1,431	7,552
46	1,431	7,327
47	1,431	7,327
48	1,431	7,327
49	1,431	7,327
50	1,431	7,327
51	1,431	7,327
52	1,431	7,327
53	1,232	7,297
54	1,178	7,049
55	1,178	7,039
56	1,178	7,039
57	1,115	6,839
58	1,057	6,839
59	1,057	6,839
60	0,673	6,058
Jumlah	40,358	222,780

Dari Tabel 4.10 dapat ditentukan H_n . Gelombang maksimum dan periodenya adalah $H_{max} = 2,507$ m dan $T_{max} = 9,151$ detik.

Gelombang 100% (Gelombang Rerata) adalah:

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

$$H_{100} = \sum_{n=60}^{n=1} H_n = \frac{57,621 + 40,358}{60} = 1,633 \text{ m}$$

$$T_{100} = \sum_{n=60}^{n=1} T_n = \frac{253,088 + 222,780}{60} = 7,931 \text{ detik}$$

Gelombang 10 % (H_{10}) adalah

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

$$H_{10} = \sum_{n=6}^{n=1} H_n = \frac{2,507 + 2,507 + 2,507 + 2,507 + 2,200 + 2,200}{6} = 2,405 \text{ m}$$

$$T_{10} = \sum_{n=6}^{n=1} T_n = \frac{9,151 + 9,151 + 9,151 + 9,151 + 8,828 + 8,828}{6} = 9,038 \text{ detik}$$

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

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

$$H_{33} = \sum_{n=20}^{n=1} H_n = \frac{2,507 + 2,507 + \dots + 1,760 + 1,760}{20} = 2,082 \text{ m}$$

$$T_{33} = \sum_{n=20}^{n=1} T_n = \frac{9,151 + 9,151 + \dots + 8,168 + 8,168}{20} = 8,655 \text{ detik}$$

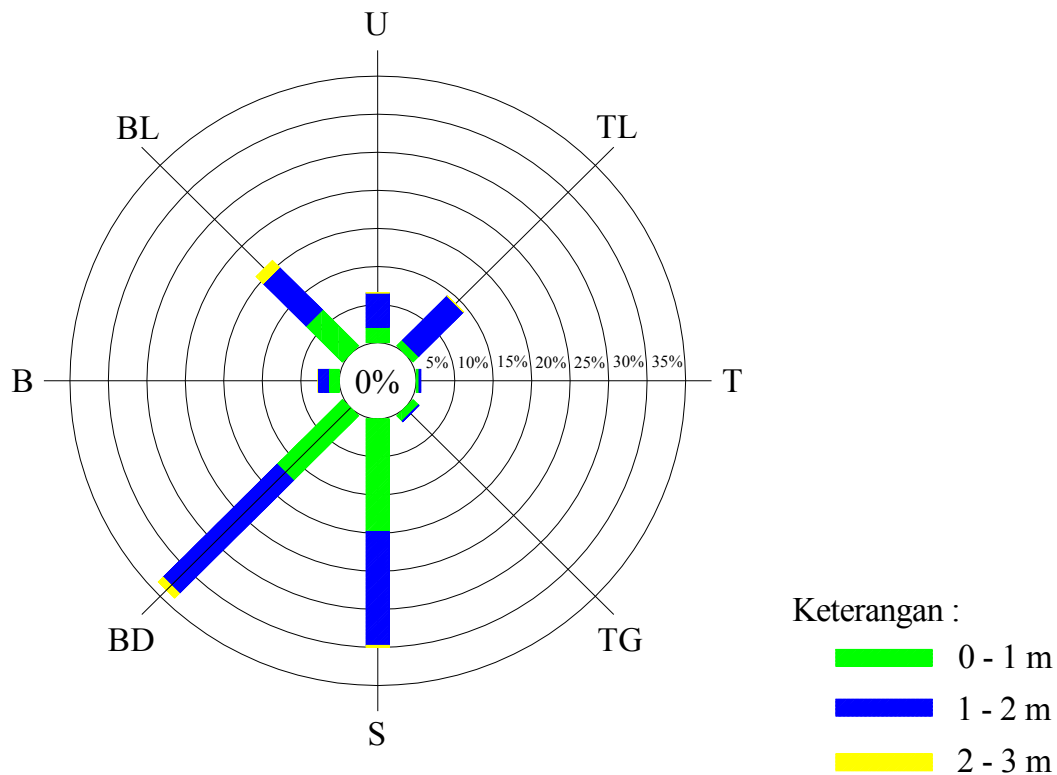
4.5.5 *Waverose* (Mawar Gelombang)

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 rumus peramalan tinggi gelombang di laut dalam diatas maka dapat diketahui besar tinggi gelombang yang terjadi. Dari hasil perhitungan tinggi gelombang dan arahnya dibuat persentasi kejadian gelombang. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada tabel 4.11 berikut ini :

Tabel 4.11. Prosentase Arah dan Tinggi Gelombang

Tinggi Gelombang H (m)	Arah Angin								Total
	U	TL	T	TG	S	BD	B	BL	
0 m - 1 m	37	19	7	18	270	219	23	122	715
%	2,03	1,04	0,38	0,99	14,79	11,99	1,26	6,68	39,16
1 m - 2 m	82	150	4	2	273	383	26	144	1064
%	4,49	8,21	0,22	0,11	14,95	20,97	1,42	7,89	58,27
2 m - 3 m	1	1	0	0	5	16	2	22	47
%	0,05	0,05	0,00	0,00	0,27	0,88	0,11	1,20	2,57
Jumlah	120	170	11	20	548	618	51	288	1826
Prosen (%)	6,57	9,31	0,60	1,10	30,01	33,84	2,79	15,77	100,00

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



Gambar 4.9 Waverose (Mawar Gelombang)

4.5.6 Perkiraan Gelombang Dengan Periode Ulang

Frekwensi 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 :

$$H_{sr} = A^{\wedge} y_r + B^{\wedge}$$

dimana y_r diberikan oleh bentuk berikut ini :

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

dengan :

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 $=N_T/K$

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

1. Membuat nomor urut tinggi gelombang m (kolom 1 tabel 4.12).
2. Mengurutkan tinggi gelombang dari besar ke kecil (kolom 2 tabel 4.12).
3. Menentukan probabilitas bahwa H (m) tidak dilampaui (kolom 3 tabel 4.12)

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

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{1 - 0,44}{60 + 0,12} = 0,9907$$

4. Menentukan distribusi *Fisher-Tippett type I* (kolom 4 tabel 4.12).

$$\begin{aligned} y_m &= -\ln \{ -\ln P(H_s \leq H_{sm}) \} \\ &= -\ln \{ -\ln 0,9907 \} \\ &= 4,671 \end{aligned}$$

5. Menentukan nilai-nilai untuk analisis regresi linier (kolom 5 dan 6 tabel 4.12).

$$H_{sm} \times Y_m = 2,507 \times 4,671 = 11,713$$

$$Y^2_m = 4,671^2 = 21,823$$

Selanjutnya hitungan gelombang disajikan dalam tabel 4.12 sebagai berikut :

Tabel 4.12. Perhitungan Gelombang dengan Periode Ulang (*Metode FT-I*)

No	H _{sm}	P	Y _m	H _{sm} .Y _m	Y ² _m
1	2,507	0,9907	4,671	11,713	21,823
2	2,507	0,9741	3,639	9,123	13,239
3	2,507	0,9574	3,135	7,859	9,826
4	2,507	0,9408	2,796	7,011	7,819
5	2,200	0,9242	2,540	5,587	6,451
6	2,200	0,9075	2,333	5,131	5,441
7	2,200	0,8909	2,158	4,747	4,658
8	2,200	0,8743	2,007	4,415	4,028
9	2,084	0,8576	1,873	3,904	3,510
10	2,006	0,8410	1,753	3,517	3,074
11	2,006	0,8244	1,644	3,298	2,704
12	2,006	0,8077	1,544	3,097	2,384
13	2,006	0,7911	1,451	2,911	2,105
14	1,858	0,7745	1,364	2,534	1,861
15	1,858	0,7578	1,283	2,383	1,645
16	1,858	0,7412	1,206	2,240	1,454

17	1,858	0,7246	1,133	2,104	1,283
18	1,760	0,7079	1,063	1,871	1,130
19	1,760	0,6913	0,996	1,754	0,993
20	1,760	0,6747	0,933	1,641	0,870
21	1,760	0,6580	0,871	1,533	0,759
22	1,715	0,6414	0,812	1,392	0,659
23	1,715	0,6248	0,754	1,293	0,569
24	1,715	0,6081	0,698	1,198	0,488
25	1,515	0,5915	0,644	0,976	0,415
26	1,511	0,5749	0,591	0,893	0,350
27	1,511	0,5582	0,540	0,815	0,291
28	1,511	0,5416	0,489	0,739	0,239
29	1,511	0,5250	0,439	0,664	0,193
30	1,511	0,5083	0,391	0,590	0,153
31	1,511	0,4917	0,343	0,518	0,117
32	1,448	0,4750	0,295	0,428	0,087
33	1,448	0,4584	0,248	0,360	0,062
34	1,448	0,4418	0,202	0,293	0,041
35	1,448	0,4251	0,156	0,226	0,024
36	1,448	0,4085	0,111	0,160	0,012
37	1,448	0,3919	0,065	0,095	0,004
38	1,448	0,3752	0,020	0,029	0,000
39	1,431	0,3586	-0,025	-0,036	0,001
40	1,431	0,3420	-0,070	-0,101	0,005
41	1,431	0,3253	-0,116	-0,166	0,013
42	1,431	0,3087	-0,162	-0,231	0,026
43	1,431	0,2921	-0,208	-0,297	0,043
44	1,431	0,2754	-0,254	-0,364	0,065
45	1,431	0,2588	-0,301	-0,431	0,091
46	1,431	0,2422	-0,349	-0,500	0,122
47	1,431	0,2255	-0,398	-0,570	0,159
48	1,431	0,2089	-0,448	-0,642	0,201
49	1,431	0,1923	-0,500	-0,716	0,250
50	1,431	0,1756	-0,553	-0,792	0,306
51	1,431	0,1590	-0,609	-0,872	0,371
52	1,431	0,1424	-0,667	-0,955	0,445
53	1,232	0,1257	-0,729	-0,899	0,532
54	1,178	0,1091	-0,795	-0,937	0,633
55	1,178	0,0925	-0,867	-1,022	0,752
56	1,178	0,0758	-0,947	-1,116	0,898
57	1,115	0,0592	-1,039	-1,159	1,080
58	1,057	0,0426	-1,149	-1,215	1,321
59	1,057	0,0259	-1,295	-1,369	1,677
60	0,673	0,0093	-1,542	-1,039	2,379
Jumlah	97,980	30,000	34,163	83,613	112,128

Dari tabel diatas, didapat beberapa parameter, yaitu :

$$\begin{aligned}
 N &= 60 & K &= 60 \\
 N_T &= 60 & \lambda &= 1 \\
 \nu &= 60 / 60 = 1 \\
 H_{sm} &= 97,980 / 60 = 1,633 & y_m &= 34,163 / 60 = 0,569
 \end{aligned}$$

Dari beberapa nilai diatas selanjutnya dihitung parameter A^{\wedge} dan B^{\wedge} berdasar data H_{sm} dan y_m seperti terlihat pada kolom 2 dan 4 Tabel 4.12 dengan menggunakan persamaan berikut ini :

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

Dengan :

$$\begin{aligned}
 A^{\wedge} &= \frac{n \sum H_{sm} y_m - \sum H_{sm} \sum y_m}{n \sum y_m^2 - (\sum y_m)^2} \\
 &= \frac{60(83,613) - 97,980 \times 34,163}{60(112,128) - (34,163)^2} \\
 &= 0,300
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B^{\wedge} &= H_{sm} - A^{\wedge} y_m \\
 &= 1,633 - 0,300 \times 0,569 \\
 &= 1,462
 \end{aligned}$$

Persamaan regresi yang diperoleh adalah :

$$H_{sr} = 0,300 y_r + 1,462$$

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

$$\begin{aligned}
 &= -\ln \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{1 \times 2} \right) \right\} \\
 &= 0,367
 \end{aligned}$$

$$H_{sr} = 0,300 \times 0,367 + 1,462 = 1,572 \text{ m}$$

Selanjutnya perhitungan tinggi gelombang dengan beberapa periode ulang dilakukan dengan Tabel 4.13 sebagai berikut :

Tabel 4.13. Gelombang dengan Periode Ulang Tertentu (*Metode FT-1*)

Periode Ulang (tahun)	Yr (tahun)	Hsr (m)	σ_{nr}	σ_r	Hs-1.28 σ_r (m)	Hs+1.28 σ_r (m)
2	0.367	1.572	0.135	1.204	0.031	3.113
5	1.500	1.912	0.204	1.825	-0.423	4.248
10	2.250	2.137	0.270	2.415	-0.953	5.228
25	3.199	2.422	0.361	3.228	-1.710	6.554
50	3.902	2.633	0.431	3.855	-2.301	7.567
100	4.600	2.842	0.502	4.487	-2.901	8.586

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 :

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,22 - \frac{0,27}{\sqrt{k}}}{N_T + 0,2 + \frac{0,23}{\sqrt{k}}}$$

Hitungan didasarkan pada analisis regresi linear dari hubungan Persamaan (4.17) 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 diatas dengan nilai y_r didapatkan dari persamaan :

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

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan Tabel 4.14. Langkah-langkah dalam hitungan periode ulang gelombang adalah sebagai berikut :

1. Membuat nomor urut tinggi gelombang m (kolom 1 tabel 4.14).
2. Mengurutkan tinggi gelombang dari besar ke kecil (kolom 2 tabel 4.14).
3. Menentukan probabilitas bahwa H (m) tidak dilampaui dengan koefisien 1 (kolom 3 tabel 4.14).

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,22 - \frac{0,27}{\sqrt{k}}}{N_T + 0,2 + \frac{0,23}{\sqrt{k}}}$$

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{1 - 0,22 - \frac{0,27}{\sqrt{1}}}{60 + 0,2 + \frac{0,23}{\sqrt{1}}} = 0,991$$

4. Menentukan distribusi *Weibull* (kolom 4 tabel 4.14).

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

$$= [-\ln \{1 - 0,991\}]^{1/1}$$

$$= 4,736$$

5. Menentukan nilai-nilai untuk analisis regresi linier (kolom 5 dan 6 tabel 4.14).

$$H_{sm} \times Y_m = 2,507 \times 4,736 = 11,875$$

$$Y^2_m = 4,736^2 = 22,433$$

Selanjutnya hitungan gelombang disajikan dalam tabel 4.14 sebagai berikut :

Tabel 4.14. Perhitungan Gelombang dengan Periode Ulang (*Metode Weibull*)

No	Hsm	P	Ym	Hsm.Ym	Y ² m
1	2,507	0,991	4,736	11,875	22,433
2	2,507	0,975	3,676	9,217	13,515
3	2,507	0,958	3,173	7,956	10,070
4	2,507	0,942	2,840	7,121	8,067
5	2,200	0,925	2,591	5,699	6,712
6	2,200	0,908	2,391	5,260	5,718
7	2,200	0,892	2,225	4,894	4,951
8	2,200	0,875	2,083	4,581	4,337
9	2,084	0,859	1,958	4,080	3,833
10	2,006	0,842	1,847	3,705	3,412
11	2,006	0,826	1,747	3,505	3,053
12	2,006	0,809	1,657	3,323	2,744
13	2,006	0,793	1,573	3,156	2,475
14	1,858	0,776	1,497	2,780	2,240
15	1,858	0,760	1,425	2,648	2,031
16	1,858	0,743	1,359	2,524	1,846
17	1,858	0,726	1,296	2,408	1,680
18	1,760	0,710	1,238	2,178	1,532
19	1,760	0,693	1,182	2,081	1,397
20	1,760	0,677	1,130	1,988	1,276

21	1,760	0,660	1,080	1,900	1,166
22	1,715	0,644	1,032	1,770	1,065
23	1,715	0,627	0,987	1,692	0,973
24	1,715	0,611	0,943	1,617	0,890
25	1,515	0,594	0,902	1,366	0,813
26	1,511	0,578	0,862	1,302	0,742
27	1,511	0,561	0,823	1,244	0,678
28	1,511	0,544	0,786	1,188	0,618
29	1,511	0,528	0,751	1,134	0,563
30	1,511	0,511	0,716	1,082	0,513
31	1,511	0,495	0,683	1,032	0,466
32	1,448	0,478	0,651	0,942	0,423
33	1,448	0,462	0,619	0,897	0,384
34	1,448	0,445	0,589	0,853	0,347
35	1,448	0,429	0,560	0,811	0,313
36	1,448	0,412	0,531	0,769	0,282
37	1,448	0,395	0,503	0,729	0,253
38	1,448	0,379	0,476	0,690	0,227
39	1,431	0,362	0,450	0,644	0,203
40	1,431	0,346	0,424	0,608	0,180
41	1,431	0,329	0,399	0,572	0,160
42	1,431	0,313	0,375	0,537	0,141
43	1,431	0,296	0,351	0,503	0,123
44	1,431	0,280	0,328	0,470	0,108
45	1,431	0,263	0,305	0,437	0,093
46	1,431	0,247	0,283	0,405	0,080
47	1,431	0,230	0,261	0,374	0,068
48	1,431	0,213	0,240	0,344	0,058
49	1,431	0,197	0,219	0,314	0,048
50	1,431	0,180	0,199	0,285	0,040
51	1,431	0,164	0,179	0,256	0,032
52	1,431	0,147	0,159	0,228	0,025
53	1,232	0,131	0,140	0,173	0,020
54	1,178	0,114	0,121	0,143	0,015
55	1,178	0,098	0,103	0,121	0,011
56	1,178	0,081	0,085	0,100	0,007
57	1,115	0,065	0,067	0,074	0,004
58	1,057	0,048	0,049	0,052	0,002
59	1,057	0,031	0,032	0,034	0,001
60	0,673	0,015	0,015	0,010	0,000
Jumlah	97,980	30,184	59,903	118,681	115,457

Dari tabel diatas, didapat beberapa parameter, yaitu :

$$\begin{aligned}
 N &= 60 & K &= 60 \\
 N_T &= 60 & \lambda &= 1 \\
 \nu &= 60 / 60 = 1 \\
 H_{sm} &= 97,980 / 60 = 1,633 & y_m &= 59,903 / 60 = 0,998
 \end{aligned}$$

Dari beberapa nilai diatas selanjutnya dihitung parameter A^{\wedge} dan B^{\wedge} berdasar data H_{sm} dan y_m seperti terlihat pada kolom 2 dan 4 Tabel 4.14 dengan menggunakan persamaan berikut ini :

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

Dengan :

$$\begin{aligned}
 A^{\wedge} &= \frac{n \sum H_{sm} y_m - \sum H_{sm} \sum y_m}{n \sum y_m^2 - (\sum y_m)^2} \\
 &= \frac{60(118,681) - 97,980 \times 59,903}{60(115,457) - (59,903)^2}
 \end{aligned}$$

$$= 0,375$$

$$\begin{aligned}
 B^{\wedge} &= H_{sm} - A^{\wedge} y_m \\
 &= 1,633 - 0,375 \times 0,998 \\
 &= 1,259
 \end{aligned}$$

Persamaan regresi yang didapatkan adalah :

$$H_{sr} = 0,375 y_r + 1,259$$

$$\begin{aligned}
 y_r &= \{\ln(LT_r)\}^{1/k} \\
 &= \{\ln(1 \times 2)\}^{1/1} = 0,693
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_{sr} &= 0,375 \times 0,693 + 1,259 \\
 &= 1,519 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya perhitungan tinggi gelombang dengan beberapa periode ulang dilakukan dengan Tabel 4.15 berikut ini :

Tabel 4.15. 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)
2	0,693	1,519	0,148	1,322	-0,173	3,211
5	1,609	1,862	0,273	2,441	-1,262	4,987
10	2,303	2,122	0,390	3,486	-2,340	6,585
25	3,219	2,466	0,552	4,932	-3,847	8,779
50	3,912	2,726	0,677	6,045	-5,012	10,464
100	4,605	2,986	0,802	7,166	-6,187	12,159

4.5.7, 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 memeberikan 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 4.16. (Yuwono,1996).

Tabel 4.16. Pedoman Pemilihan Gelombang Rencana (Yuwono.1996).

No	Jenis struktur	Gelombang rencana	
		Jenis Gelombang	Kala Ulang(tahun)
1	Struktur fleksibel	H _{so} (H ₃₃)	
	a. Resiko rendah		5-10
	b. Resiko sedang		10-100
	c. Resiko tinggi		100-1000
2	Struktur semi kaku	H ₁₀ – H ₁	
	a. Resiko rendah		5-10
	b. Resiko sedang		10-100
	c. Resiko tinggi		100-1000

3	Struktur kaku	$H_1 - H_{maks}$	
	a. Resiko rendah		5-10
	b. Resiko sedang		10-100
	c. Resiko tinggi		100-1000

Penentuan periode ulang gelombang rencana untuk pelindung Pantai Muarareja. ditentukan berdasarkan pertimbangan sebagai berikut:

- Nilai ekonomis daerah yang dilindungi. dan kemungkinan kerugian harta. benda dan jiwa bila terjadi kegagalan. Kegagalan bangunan pelindung Pantai Muarareja tidak menimbulkan kerugian material yang tinggi dan tidak menimbulkan korban jiwa yang besar. Oleh sebab itu. periode ulang gelombang rencana bangunan pelindung Pantai Muarareja dapat dikategorikan berisiko rendah atau sedang.
- Bahan bangunan pelindung pantai diusahakan mudah didapatkan dan mudah dalam pelaksanaannya. Bahan batu dipilih karena kedua alasan tersebut. Menurut Yuwono.1996. bila bangunan pelindung pantai terbuat dari tumpukan batu. disarankan periode ulang gelombang yang dipakai adalah 5-25 tahun saja.
- Menurut Yuwono.1996. apabila perbaikan dan perawatan sulit dilakukan pada lapis lindung maka kala ulang gelombang (H_{33}) diambil agak tinggi. misalnya 20 tahun. Pantai Muarareja 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 Muarareja ditentukan periode ulang gelombang rencana yaitu 10 tahun.

4.5.8. 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 :

a. Arah Barat Laut

$$\text{Tinggi gelombang rencana (H}_o\text{)} = 2,507 \text{ m}$$

$$\text{Periode gelombang (T)} = 8,798 \text{ detik}$$

$$\text{Arah datang gelombang } (\alpha_o) = 25^\circ$$

Arah datang gelombang pada kedalaman -2,0 MSL

- Perhitungan koefisien shoaling (K_S)

$$L_o = 1,56 T^2 = 1,56 \times 8,798^2 = 120,751 \text{ m}$$

$$C_o = \frac{L_o}{T} = \frac{120,751}{8,798} = 13,725 \text{ m/detik}$$

$$\frac{d}{L_o} = \frac{2}{120,751} = 0,017$$

Dari tabel pada Lampiran 1 didapat :

$$\frac{d}{L} = 0,05296 \quad \text{dan} \quad K_S = \frac{H}{H_o} = 1,271$$

- Perhitungan koefisien refraksi (K_R)

$$L = \frac{2}{0,05296} = 37,764 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{37,764}{8,798} = 4,292 \text{ detik}$$

$$\sin \alpha_1 = \left(\frac{C_1}{C_o} \right) \sin \alpha_o = \left(\frac{4,292}{13,725} \right) \times 0,423 = 0,1323$$

$$\alpha_1 = 7,6^\circ$$

$$K_R = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_1}} = \sqrt{\frac{\cos 25^\circ}{\cos 7,6^\circ}} = 0,956$$

- Perhitungan tinggi gelombang ekuivalen

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

$$= 1,271 \times 0,956 \times 2,507 = 3,047 \text{ m}$$

- Perhitungan tinggi gelombang pecah

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

$$\frac{Hb}{3,047} = \frac{1}{3,3x\left(\frac{3,047}{120,751}\right)^{1/3}}$$

$$Hb = 1,021 \times 3,047 = 3,110 \text{ meter}$$

- Perhitungan kedalaman gelombang pecah

$$\text{Nilai } m = 0,0378$$

$$a = 43,75(1 - e^{-19m}) = 43,75(1 - e^{-19 \times 0,0378}) = 22,416$$

$$b = \frac{1}{(1 + e^{-19,5m})} = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5 \times 0,0378})} = 1,055$$

$$\frac{db}{Hb} = \frac{1}{b - (aHb/gT^2)}$$

$$\frac{db}{Hb} = \frac{1}{1,055 - (22,416 \times 3,110 / 9,81 \times 8,798^2)}$$

$$\frac{db}{Hb} = 1,038$$

$$db = 1,038 \times 3,110 = 3,228 \text{ m}$$

- b. Arah Utara

$$\text{Tinggi gelombang rencana (Ho)} = 2,200 \text{ m}$$

$$\text{Periode gelombang (T)} = 9,151 \text{ detik}$$

$$\text{Arah datang gelombang } (\alpha_o) = 64^\circ$$

$$\text{Arah datang gelombang pada kedalaman } -2,0 \text{ MSL}$$

- Perhitungan koefisien shoaling (K_S)

$$L_o = 1,56 \times T^2 = 1,56 \times 9,151^2 = 130,636 \text{ m}$$

$$C_o = \frac{L_o}{T} = \frac{130,636}{9,151} = 14,276 \text{ m/dtk}$$

$$d/L_o = \frac{2}{130,636} = 0,015$$

Dari tabel pada Lampiran 1 didapat :

$$d/L = 0,04964 \quad \text{dan} \quad K_S = \frac{H}{H_o'} = 1,307$$

- Perhitungan koefisien refraksi (K_R)

$$L = \frac{2}{0,04964} = 40,290 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{40,290}{9,151} = 4,403 \text{ detik}$$

$$\sin \alpha_1 = \left(\frac{C_1}{C_o} \right) \sin \alpha_o = \left(\frac{4,403}{14,276} \right) \times 0,899 = 0,277$$

$$\alpha_1 = 16,1^\circ$$

$$K_R = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_1}} = \sqrt{\frac{\cos 64^\circ}{\cos 16,1^\circ}} = 0,675$$

- Perhitungan tinggi gelombang ekuivalen

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

$$= 1,307 \times 0,675 \times 2,200 = 1,941 \text{ m}$$

- Perhitungan tinggi gelombang pecah

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

$$\frac{Hb}{1,941} = \frac{1}{3,3x\left(\frac{1,941}{130,636}\right)^{1/3}}$$

$$Hb = 1,215 \times 1,941 = 2,359 \text{ meter}$$

- Perhitungan kedalaman gelombang pecah

$$\frac{db}{Hb} = \frac{1}{b - (aHb/gT^2)}$$

$$\frac{db}{Hb} = \frac{1}{1,055 - (22,416x2,359/9,81x9,151^2)}$$

$$\frac{db}{Hb} = 1,009$$

$$db = 1,009 \times 2,359 = 2,382 \text{ m}$$

c. Arah Timur Laut

$$\text{Tinggi gelombang rencana (Ho)} = 2,084 \text{ m}$$

$$\text{Periode gelombang (T)} = 8,828 \text{ detik}$$

$$\text{Arah datang gelombang } (\alpha_o) = 66^\circ$$

Arah datang gelombang pada kedalaman -2,0 MSL

- Perhitungan koefisien shoaling (Ks)

$$L_o = 1,56 \times T^2 = 1,56 \times 8,828^2 = 121,576 \text{ m}$$

$$C_o = \frac{L_o}{T} = \frac{121,576}{8,828} = 13,772 \text{ m/dtk}$$

$$d/L_o = \frac{2}{121,576} = 0,016$$

Dari tabel pada Lampiran 1 didapat :

$$d/L = 0,05132 \quad \text{dan} \quad K_s = \frac{H}{H_o} = 1,288$$

- Perhitungan koefisien refraksi (K_R) dapat dihitung sebagai berikut :

$$L = \frac{2}{0,05132} = 38,971 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{38,971}{8,828} = 4,414 \text{ detik}$$

$$\sin \alpha_1 = \left(\frac{C_1}{C_o} \right) \sin \alpha_o = \left(\frac{4,414}{13,772} \right) \times 0,914 = 0,293$$

$$\alpha_1 = 17,04^\circ$$

$$K_R = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_1}} = \sqrt{\frac{\cos 66^\circ}{\cos 17,04^\circ}} = 0,652$$

- Perhitungan tinggi gelombang ekuivalen

$$\begin{aligned} H_o' &= K_S \times K_R \times H_o \\ &= 1,288 \times 0,652 \times 2,084 = 1,751 \text{ m} \end{aligned}$$

- Perhitungan tinggi gelombang pecah

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

$$\frac{Hb}{1,751} = \frac{1}{3,3x \left(\frac{1,751}{121,576} \right)^{1/3}}$$

$$Hb = 1,228 \times 1,751 = 2,151 \text{ meter}$$

- Perhitungan kedalaman gelombang pecah

$$\frac{db}{Hb} = \frac{1}{b - (aHb/gT^2)}$$

$$\frac{db}{Hb} = \frac{1}{1,055 - (22,416x2,151/9,81x8,828^2)} = 1,008$$

$$db = 1,008 \times 2,151 = 2,168 \text{ m}$$

d. Arah Timur

$$\text{Tinggi gelombang rencana (H}_o) = 1,515 \text{ m}$$

$$\text{Periode gelombang (T)} = 7,552 \text{ detik}$$

$$\text{Arah datang gelombang } (\alpha_o) = 21^\circ$$

Arah datang gelombang pada kedalaman -2,0 MSL

- Perhitungan koefisien shoaling (K_S)

$$L_o = 1,56 \times T^2 = 1,56 \times 7,552^2 = 88,971 \text{ m}$$

$$C_o = \frac{L_o}{T} = \frac{88,971}{7,552} = 11,781 \text{ m/dtk}$$

$$d/L_o = \frac{2}{88,971} = 0,022$$

Dari tabel pada Lampiran 1 didapat :

$$d/L = 0,06057 \quad \text{dan} \quad K_S = \frac{H}{H_o'} = 1,201$$

- Perhitungan koefisien refraksi (K_R)

$$L = \frac{2}{0,06057} = 33,020 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{33,020}{7,552} = 4,372 \text{ detik}$$

$$\sin \alpha_1 = \left(\frac{C_1}{C_o} \right) \sin \alpha_o = \left(\frac{4,372}{11,781} \right) \times 0,358 = 0,1329$$

$$\alpha_1 = 7,64^\circ$$

$$K_R = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha_1}} = \sqrt{\frac{\cos 21^\circ}{\cos 7,64^\circ}} = 0,971$$

- Perhitungan tinggi gelombang ekuivalen

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

$$= 1,201 \times 0,971 \times 1,515 = 1,766 \text{ m}$$

- Perhitungan tinggi gelombang pecah

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

$$\frac{H_b}{1,766} = \frac{1}{3,3x\left(\frac{1,766}{88,971}\right)^{1/3}}$$

$$H_b = 1,105 \times 1,766 = 1,951 \text{ meter}$$

- Perhitungan kedalaman gelombang pecah

$$\frac{db}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b/gT^2)}$$

$$\frac{db}{H_b} = \frac{1}{1,055 - (22,416 \times 1,951 / 9,81 \times 7,552^2)}$$

$$\frac{db}{H_b} = 1,024$$

$$db = 1,024 \times 1,951 = 1,997 \text{ m}$$

4.5.9. Transpor Sedimen

Dari data tinggi dan kedalaman gelombang pecah yang telah dihitung diatas maka dapat diprediksikan besarnya transpor sedimen yang terjadi di Pantai Muarareja adalah sebagai berikut :

- Gelombang dari arah Barat Laut

Tinggi gelombang pecah (H_b) : 3,110 m

Kedalaman (d_b) : 3,228 m

Sudut datang gelombang (α) : 25°

Rapat massa air laut (ρ) : $1030 \text{ kg/m}^3 = 1,03 \text{ ton/m}^3$

Sehingga didapat nilai P_1 dan Q_s menurut rumus CERC adalah sebagai berikut :

$$C_b = \sqrt{gxd_b} = \sqrt{9,81 \times 3,228} = 5,627 \text{ m/detik}$$

$$\sin \alpha_b = \frac{C_b}{C_o} \sin \alpha = \frac{5,627}{13,725} \sin 25^\circ = 0,173$$

$$\alpha_b = 9,962^\circ$$

$$P_1 = \frac{1,03}{16} \times (3,110)^2 \times 5,627 \times \sin(2 \times 9,962^\circ)$$

$$= 1,1948 \text{ tm/dt/m} = 103230,352 \text{ tm/hari/m}$$

$$Q_s = 0,401 \times P_1 = 0,401 \times 103230,352 = 41395,371 \text{ m}^3/\text{hari}$$

b. Gelombang dari arah Utara

Tinggi gelombang pecah (H_b) : 2,359 m

Kedalaman (d_b) : 2,382 m

Sudut datang gelombang (α) : 64°

$$C_b = \sqrt{g \cdot d_b} = \sqrt{9,81 \times 2,382} = 4,834 \text{ m/dtk}$$

$$\sin \alpha_b = \frac{C_b}{C_o} \sin \alpha = \frac{4,834}{14,276} \sin 64^\circ = 0,304$$

$$\alpha = 17,698^\circ$$

$$P_1 = \frac{1,03}{16} \times (2,359)^2 \times 4,834 \times \sin(2 \times 17,698^\circ)$$

$$= 1,0027 \text{ tm/dt/m} = 86630,498 \text{ tm/hari/m}$$

$$Q_s = 0,401 \times P_1 = 0,401 \times 86630,498 = 34738,830 \text{ m}^3/\text{hari}$$

c. Gelombang dari arah Timur Laut

Tinggi gelombang pecah (H_b) : 2,151 m

Kedalaman (d_b) : 2,168 m

Sudut datang gelombang (α) : 66°

$$C_b = \sqrt{g \cdot d_b} = \sqrt{9,81 \times 2,168} = 4,612 \text{ m/dtk}$$

$$\sin \alpha_b = \frac{C_b}{C_o} \sin \alpha = \frac{4,612}{13,772} \sin 66^\circ = 0,306$$

$$\alpha = 17,818^\circ$$

$$P_1 = \frac{1,03}{16} \times (2,151)^2 \times 4,612 \times \sin(2 \times 17,818^\circ)$$

$$= 0,801 \text{ tm/dt/m} = 69162,472 \text{ tm/hari/m}$$

$$Q_s = 0,401 \times P_1 = 0,401 \times 69162,472 = 27734,151 \text{ m}^3/\text{hari}$$

d. Gelombang dari arah Timur

$$\text{Tinggi gelombang pecah (H}_b\text{)} : 1,951\text{m}$$

$$\text{Kedalaman (d}_b\text{)} : 1,997\text{m}$$

$$\text{Sudut datang gelombang } (\alpha) : 21^\circ$$

$$C_b = \sqrt{g \cdot d_b} = \sqrt{9,81 \times 1,997} = 4,427 \text{ m/dtk}$$

$$\sin \alpha_b = \frac{C_b}{C_o} \sin \alpha = \frac{4,427}{11,781} \sin 21^\circ = 0,135$$

$$\alpha = 7,759^\circ$$

$$P_1 = \frac{1,03}{16} \times (1,951)^2 \times 4,427 \times \sin(2 \times 7,759^\circ)$$

$$= 0,2907 \text{ tm/dt/m} = 25119,797 \text{ tm/hari/m}$$

$$Q_s = 0,401 \times P_1 = 0,401 \times 25119,797 = 10073,038 \text{ m}^3/\text{hari}$$

Dari hasil perhitungan diatas, kemudian didapat jumlah angkutan sedimen sepanjang pantai yaitu :

$$\Delta Q = (Q_{BL} + Q_U) - (Q_{TL} + Q_T)$$

$$= (41395,371 + 34738,830) - (27734,151 + 10073,038)$$

$$= 38327,012 \text{ m}^3/\text{hari}$$

4,6, Analisa Data Tanah

Dari hasil penelitian dan laboratorium mekanika tanah Universitas Diponegoro didapatkan bahwa kondisi tanah di lokasi Site Kedungjati yang berjarak ± 100 dari pantai Kota Tegal, mempunyai karakteristik sebagai berikut:

Tabel 4.17. Hasil Uji Tanah

Depth (m)	Kadar Air w (%)	Specific Gravity Gs	Berat Jenis γ (gr/cm ³)	Porositas n (%)	Void Ratio e	Kohesi C (kg/cm ²)	Sudut Geser ϕ (°)
-1,00	43,82	2,6389	1,6867	55,56	1,2501	0,12	10
-2,00	45,14	2,6535	1,6718	56,59	1,3036	0,13	11
-3,00	41,45	2,6751	1,6659	55,97	1,2714	0,13	13
-4,00	43,02	2,6722	1,6655	56,42	1,2948	0,14	15
-5,00	41,46	2,6696	1,6723	55,72	1,2582	0,18	14

(Laboratorium Mekanika Tanah UNDIP)

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 :

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

dengan :

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 4,18, 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 diatas, maka sebagai simulasi digunakan hitungan berikut ini, Misal kedalaman pondasi 1 m, 2 m dan 3 m :

Untuk kedalaman pondasi 1 m, $\gamma = 1,6867 \text{ t/m}^3$, $\phi = 10^\circ$, dan lebar = 1m, dari hasil interpolasi faktor-faktor Terzaghi didapatkan nilai-nilai untuk $\phi = 10^\circ$ adalah $N_c = 9,6$; $N_q = 2,7$; dan $N_\gamma = 1,2$, Dengan demikian, maka diperoleh :

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= C + N_c + D_f \cdot \gamma + N_q + 0,5B \cdot \gamma + N_\gamma \\
 &= 1,2 \cdot 9,6 + 1 \cdot 1,6867 \cdot 2,7 + 0,5 \cdot 1 \cdot 1,6867 \cdot 1,2 \\
 &= 17,086 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Dari gambaran tersebut dengan mengambil angka keamanan 2, maka $Q_s = 8,54 \text{ t/m}^2$, artinya tanah pasir tersebut masih aman sampai beban diatasnya sebesar 8,54 ton tiap m^2 .

Untuk kedalaman pondasi 2 m, diperoleh :

$$\begin{aligned}
 Q_{ult} &= C + N_c + D_f \cdot \gamma + N_q + 0,5B \cdot \gamma + N_\gamma \\
 &= 1,3 \cdot 10,26 + 2 \cdot 1,6712 \cdot 3,04 + 0,5 \cdot 1 \cdot 1,6712 \cdot 1,46 \\
 &= 24,719 \text{ t/m}^2.
 \end{aligned}$$

Untuk angka aman 2, sehingga $Q_s = 12,360 \text{ t/m}^2$, sehingga beban yang dapat didukung adalah 12,360 ton tiap m^2 .

Sedangkan untuk kedalaman pondasi 3 m, diperoleh :

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= C , N_c + D_f , \gamma , N_q + 0,5B , \gamma , N_\gamma \\ &= 1,3*11,58 + 3*1,6659*3,72 + 0,5*1*1,6659*1,98 \\ &= 35,295 \text{ t/m}^2. \end{aligned}$$

Untuk angka aman 2, sehingga $Q_s = 17,647 \text{ t/m}^2$, sehingga beban yang dapat didukung adalah 17,647 ton tiap m^2 .

