

**ANALISA PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN PANTAI
DI KELURAHAN BEJI, KECAMATAN JENU, KABUPATEN TUBAN**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



DISUSUN OLEH :
LULUK SRIBAKTIANI
NIM. 0210640049-64

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN PENGAIRAN
MALANG**

2007

**ANALISA PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN PANTAI
DI KELURAHAN BEJI, KECMATAN JENU, KABUPATEN TUBAN**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



DISUSUN OLEH :
LULUK SRIBAKTIANI
NIM. 0210640049-64

PEMBIMBING I

PEMBIMBING II

Ir. HARI PRASTIJO, MT
NIP. 131 574 845

Ir. SUWANTO MARSUDI, MS
NIP. 131 629 863

**ANALISA PERENCANAAN BANGUNAN PENGAMAN PANTAI
DI KELURAHAN BEJI, KECAMATAN JENU, KABUPATEN TUBAN**

DISUSUN OLEH :
LULUK SRIBAKTIANI
NIM. 0210640049-64

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
Tanggal 5 Januari 2007

DOSEN PENGUJI

Ir. HARI PRASTIJO, MT
NIP. 132 258 192

Ir. SUWANTO MARSUDI, MS
NIP. 131 629 863

VERY DERMAWAN, ST.MT
NIP. 132 232 480

SUMIADI, ST. MT.
NIP. 132 258 192

Mengetahui,
Ketua Jurusan Pengairan

Ir. SUWANTO MARSUDI, MS
NIP. 131 629 863



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah S. W. T, yang telah memberikan rahmat serta hidayahnya sehingga penyusun mampu menyelesaikan dengan baik skripsi yang berjudul **Analisa Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai di Kelurahan Beji, Kecamatan Jenu, Kabupaten Tuban.**

Skripsi ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik, serta upaya pengamanan daerah pantai sehingga kelangsungan hidup penduduk dan budidaya tambak tidak terganggu erosi gelombang laut.

Penyusun tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi bantuan, terutama kepada:

1. Bapak dan Ibu, Mas Doni dan Lilik yang telah memberi semangat dan doa bagi penyusun.
2. Bapak Ir. Hari Prastijo, MT. selaku dosen pembimbing yang dengan sabar memberi bimbingan dan pengarahan.
3. Bapak Ir. Suwanto Marsudi, Ms. selaku dosen pembimbing yang dengan sabar membimbing, memberikan masukan dan pengetahuan baru bagi penyusun.
4. Bapak Very Dermawan, ST. MT. selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan masukan dan saran kepada penyusun.
5. Bapak Sumiadi, ST. MT. selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan masukan dan saran kepada penyusun.
6. Teman-teman angkatan 2002 yang telah banyak memberikan masukan dari awal sampai akhir skripsi ini diacc, dan semua pihak yang tidak mungkin disebut satu persatu.

Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, hal ini disebabkan oleh keterbatasan pengetahuan, pengalaman, serta kemampuan untuk menganalisa suatu masalah. Untuk itu penyusun sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun guna menyempurnakan skripsi ini dan semoga skripsi ini bermanfaat dan dapat menambah wawasan keilmuan bagi para pembaca, Amin.

Malang, Januari 2007

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xvi
ABSTRAKSI	xx
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Rumusan Masalah	3
1.5. Tujuan dan Manfaat	3
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1. Pengertian Pantai	4
2.2. Transpor Sedimen Pantai	6
2.2.1. Transpor sedimen menuju-meninggalkan pantai (<i>Onshore offshore transport</i>)	6
2.2.2. Transpor sedimen sepanjang pantai (<i>Longshore transport</i>)	6
2.3. Budget Sedimen	8
2.4. Analisa Kerusakan Pantai dan Upaya Penanggulangan	9
2.5. Teori Gelombang	15
2.6. Pembangkitan Gelombang	20
2.6.1. Kecepatan angin ..	20
2.6.2. Fetch	23
2.6.3. Gelombang signifikan	25
2.6.4. Analisa distribusi arah gelombang	28
2.7. Gelombang Rencana	29
2.7.1. Penentuan tinggi gelombang dan kala ulang rencana	29
2.7.2. Analisa frekuensi gelombang	31
2.7.3. Uji kesesuaian distribusi	31
2.8. Parameter Gelombang	32

2.9. Deformasi Gelombang	33
2.9.1. Refraksi gelombang	33
2.9.2. Difraksi gelombang	34
2.9.3. Refleksi gelombang	35
2.10. Gelombang Pecah	36
2.10.1. Gelombang pecah di laut dalam	37
2.10.2. Gelombang pecah di laut dangkal	38
2.11. Fluktuasi Muka Air Laut	38
2.11.1. Gelombang <i>tsunami</i>	38
2.11.2. Kenaikan muka air karena gelombang (<i>wave set-up</i>)	39
2.11.3. Kenaikan muka air karena angin (<i>wind set-up</i>)	40
2.11.4. Pemanasan global	40
2.11.5. Pasang surut air laut	40
2.11.6. <i>Run up</i> gelombang	41
2.12. Elevasi Muka Air Laut Rencana	42
2.13. Bangunan Pengaman Pantai	43
2.13.1. Dinding pantai dan <i>revetment</i>	46
2.13.2. Groin	47
2.13.3. Jetty	48
2.13.4. Bangunan pemecah gelombang sejajar pantai (<i>offshore Breakwater</i>)	49
2.14. Stabilitas Bangunan	49
2.14.1. Analisa stabilitas bangunan	50
2.14.2. Gaya-gaya yang bekerja pada bangunan	51
2.15. Analisa Biaya Konstruksi dan Kesesuaian bangunan	53

BAB III METODOLOGI KAJIAN

3.1. Umum	54
3.2. Kondisi Masyarakat Kabupaten Tuban	55
3.3. Pengumpulan Data.....	55
3.4. Pengolahan Data	56
3.5. Bagan Alir Pengerjaan Skripsi	57

BAB IV ANALISA DATA

4.1. Analisa Angkutan Sedimen Sepanjang Pantai	60
4.2. Analisa Kerusakan Pantai dan Upaya Penanggulangan	64

4.3. Analisa Gelombang	69
4.3.1. Mengolah data angin	69
4.3.2. Pembangkitan gelombang oleh angin	74
4.3.3. Distribusi arah gelombang signifikan	91
4.3.4. Analisa gelombang rencana	95
4.3.5. Uji kesesuaian distribusi	116
4.4. Analisa Parameter Gelombang	126
4.5. Analisa Gelombang Pecah	131
4.6. Penentuan Gelombang Desain	140
4.7. Analisa <i>Run Up</i> Gelombang	140
4.8. Elevasi	142
4.9. Perencanaan <i>Revetment</i>	170
4.9.a. Alternatif 1	170
4.9.a.1. Kondisi muka air laut surut (LLWL)	170
4.9.a.1.1. Perhitungan tekanan dinamis dan momen	171
4.9.a.1.2. Perhitungan tekanan <i>up lift</i>	173
4.9.a.1.3. Tekanan tanah aktif dan pasif	174
4.9.a.1.4. Stabilitas terhadap guling	175
4.9.a.1.5. Stabilitas terhadap geser	176
4.9.a.1.6. Stabilitas terhadap daya dukung tanah	176
4.9.a.2. Kondisi muka air rata-rata (MSL)	179
4.9.a.2.1. Perhitungan tekanan dinamis dan momen	180
4.9.a.2.2. Perhitungan tekanan <i>up-lift</i>	181
4.9.a.2.3. Tekanan tanah aktif dan pasif	182
4.9.a.2.4. Stabilitas terhadap guling	183
4.9.a.2.5. Stabilitas terhadap geser	183
4.9.a.2.6. Stabilitas terhadap daya dukung tanah	184
4.9.a.3. Kondisi muka air pasang (HHWL)	186
4.9.a.3.1. Perhitungan tekanan dinamis dan momen	188
4.9.a.3.2. Perhitungan tekanan <i>up-lift</i>	189
4.9.a.3.3. Tekanan tanah aktif dan pasif	190
4.9.a.3.4. Stabilitas terhadap guling	190
4.9.a.3.5. Stabilitas terhadap geser	191
4.9.a.3.6. Stabilitas terhadap daya dukung tanah	191

4.9.a.4. Kondisi muka air gelombang pecah	193
4.9.a.4.1. Perhitungan tekanan dinamis dan momen	195
4.9.a.4.2. Perhitungan tekanan <i>up-lift</i>	196
4.9.a.4.3. Tekanan tanah aktif dan pasif	197
4.9.a.4.4. Stabilitas terhadap guling	198
4.9.a.4.5. Stabilitas terhadap geser	198
4.9.a.4.6. Stabilitas terhadap daya dukung tanah	199
4.9.b. Alternatif 2	201
4.9.b.1. Kondisi muka air surut (LLWL)	201
4.9.b.1.1. Perhitungan tekanan dinamis dan momen	203
4.9.b.1.2. Perhitungan tekanan <i>up-lift</i>	204
4.9.b.1.3. Tekanan tanah aktif dan pasif	205
4.9.b.1.4. Stabilitas terhadap guling	207
4.9.b.1.5. Stabilitas terhadap geser	207
4.9.b.1.6. Stabilitas terhadap daya dukung	208
4.9.b.2. Kondisi muka air rata-rata (MSL)	210
4.9.b.2.1. Perhitungan tekanan dinamis dan momen	212
4.9.b.2.2. Perhitungan tekanan <i>up-lift</i>	213
4.9.b.2.3. Tekanan tanah aktif dan pasif	214
4.9.b.2.4. Stabilitas terhadap guling	214
4.9.b.2.5. Stabilitas terhadap geser	215
4.9.b.2.6. Stabilitas terhadap daya dukung tanah	215
4.9.b.3. Kondisi muka air pasang (HHWL)	217
4.9.b.3.1. Perhitungan tekanan dinamis dan momen	219
4.9.b.3.2. Perhitungan tekanan <i>up-lift</i>	220
4.9.b.3.3. Tekanan tanah aktif dan pasif	221
4.9.b.3.4. Stabilitas terhadap guling	222
4.9.b.3.5. Stabilitas terhadap geser	222
4.9.b.3.6. Stabilitas terhadap daya dukung tanah	222
4.9.b.4. Kondisi muka air gelombang pecah	225
4.9.b.4.1. Perhitungan tekanan dinamis dan momen	226
4.9.b.4.2. Perhitungan tekanan <i>up-lift</i>	228
4.9.b.4.3. Tekanan tanah aktif dan pasif	229
4.9.b.4.4. Stabilitas terhadap guling	229

4.9.b.4.5. Stabilitas terhadap geser	229
4.9.b.4.6. Stabilitas terhadap daya dukung tanah	230
4.9.c. Alternatif 3	232
4.9.c.1. Kondisi muka air surut (LLWL)	232
4.9.c.1.1. Perhitungan tekanan dinamis dan momen	234
4.9.c.1.2. Perhitungan tekanan <i>up-lift</i>	235
4.9.c.1.3. Tekanan tanah aktif dan pasif	237
4.9.c.1.4. Stabilitas terhadap guling	238
4.9.c.1.5. Stabilitas terhadap geser	239
4.9.c.1.6. Stabilitas terhadap daya dukung tanah	239
4.9.c.2. Kondisi muka air rerata (MSL)	242
4.9.c.2.1. Perhitungan tekanan dinamis dan momen	244
4.9.c.2.2. Perhitungan tekanan <i>up-lift</i>	245
4.9.c.2.3. Tekanan tanah aktif dan pasif	246
4.9.c.2.4. Stabilitas terhadap guling	246
4.9.c.2.5. Stabilitas terhadap geser	247
4.9.c.2.6. Stabilitas terhadap daya dukung tanah	247
4.9.c.3. Kondisi muka air pasang (HHWL)	249
4.9.c.3.1. Perhitungan tekanan dinamis dan momen	251
4.9.c.3.2. Perhitungan <i>up-lift</i>	253
4.9.c.3.3. Tekanan tanah aktif dan pasif	254
4.9.c.3.4. Stabilitas terhadap guling	254
4.9.c.3.5. Stabilitas terhadap geser	254
4.9.c.3.6. Stabilitas terhadap daya dukung tanah	255
4.9.c.4. Kondisi muka air gelombang pecah	257
4.9.c.4.1. Perhitungan tekanan dinamis dan momen	259
4.9.c.4.2. Perhitungan tekanan <i>up-lift</i>	260
4.9.c.4.3. Tekanan tanah aktif dan pasif	262
4.9.c.4.4. Stabilitas terhadap guling	262
4.9.c.4.5. Stabilitas terhadap geser	262
4.9.c.4.6. Stabilitas terhadap daya dukung tanah	263
4.10. Analisa Biaya Konstruksi dan Kesesuaian Bangunan	266
4.10.1. Analisa biaya konstruksi	266
4.10.2. Analisa kesesuaian bangunan	267

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	269
5.2. Saran	273

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Beberapa rumus transpor sedimen sepanjang pantai	7
Tabel 2.2. Rumus-rumus pendekatan faktor fluks energi untuk pada transpor sedimen sejajar pantai (Pls) untuk setiap keterbatasan data	8
Tabel 2.3. Kriteria kerusakan pantai	10
Tabel 2.4. Alternatif pemecahan masalah pantai	13
Tabel 2.5. Deskripsi bangunan pengaman pantai	14
Tabel 2.6. Perbandingan berbagai alternatif konstruksi pengaman pantai	15
Tabel 2.7. Tabel klasifikasi gelombang	19
Tabel 2.8. Tabel distribusi gelombang	26
Tabel 2.9. Koefisien refleksi	36
Tabel 3.1. Luas wilayah pesisir di kabupaten tuban	54
Tabel 3.2. Penyebaran penduduk dan tingkat kepadatan wilayah pesisir kabupaten Tuban tahun 2002	55
Tabel 4.1. Analisa transpor sedimen dari berbagai arah	61
Tabel 4.2.a. Jumlah kejadian angin keseluruhan tahun 1996-2005 (Maksimum) ...	70
Tabel 4.2.b. Jumlah kejadian angin keseluruhan tahun 1996-2005 (Rerata)	71
Tabel 4.3.a. Prosentase kejadian angin keseluruhan tahun 1996-2005 (Maksimum)	71
Tabel 4.3.b. Prosentase kejadian angin keseluruhan tahun 1996-2005 (Rerata)	71
Tabel 4.4. Perhitungan fetch efektif	79
Tabel 4.5.a. Kecepatan angin terkoreksi tahun 1996 (Maksimum)	83
Tabel 4.5.b. Kecepatan angin terkoreksi tahun 1996 (Rerata)	84
Tabel 4.6.a. Perhitungan gelombang dengan fetch terbatas (Maksimum).....	87
Tabel 4.6.b. Perhitungan gelombang dengan fetch terbatas (Rerata)	88
Tabel 4.7.a. Perhitungan gelombang FDS dengan metode signifikan (Maksimum)	89
Tabel 4.7.b. Perhitungan gelombang FDS dengan metode signifikan (Rerata)	90
Tabel 4.8.a. Distribusi tinggi dan arah gelombang (Maksimum)	92
Tabel 4.8.b. Distribusi tinggi dan arah gelombang (Rerata)	92
Tabel 4.9.a. Prosentase distribusi tinggi dan arah gelombang (Maksimum)	92
Tabel 4.9.b. Prosentase distribusi tinggi dan arah gelombang (Rerata)	92
Tabel 4.10.a. Rekapitulasi tinggi gelombang tahunan (Maksimum)	96
Tabel 4.10.b. Rekapitulasi tinggi gelombang tahunan (Rerata)	96
Tabel 4.11.a. Rekapitulasi Hs tahunan (Utara)	96

Tabel 4.11.b. Rekapitulasi Hs tahunan (Utara)	97
Tabel 4.12.a. Rekapitulasi Hs tahunan (Timur Laut)	96
Tabel 4.12.b. Rekapitulasi Hs tahunan (Timur Laut)	97
Tabel 4.13.a. Rekapitulasi Hs tahunan (Timur)	97
Tabel 4.13.b. Rekapitulasi Hs tahunan (Timur)	97
Tabel 4.14.a. Rekapitulasi Hs tahunan (Tenggara)	97
Tabel 4.14.b. Rekapitulasi Hs tahunan (Tenggara)	97
Tabel 4.15.a. Analisa log pearson tipe III untuk Hs (Utara)	98
Tabel 4.15.b. Analisa log pearson tipe III untuk Hs (Utara)	102
Tabel 4.16.a. Analisa log pearson tipe III untuk Hs (Timur laut)	98
Tabel 4.16.b. Analisa log pearson tipe III untuk Hs (Timur laut)	102
Tabel 4.17.a. Analisa log pearson tipe III untuk Hs (Timur)	99
Tabel 4.17.b. Analisa log pearson tipe III untuk Hs (Timur)	103
Tabel 4.18.a. Analisa log pearson tipe III untuk Hs (Tenggara)	99
Tabel 4.18.b. Analisa log pearson tipe III untuk Hs (Tenggara)	103
Tabel 4.19.a. Analisa log pearson tipe III untuk H_{10} (Utara)	100
Tabel 4.19.b. Analisa log pearson tipe III untuk H_{10} (Utara)	104
Tabel 4.20.a. Analisa log pearson tipe III untuk H_{10} (Timur laut)	100
Tabel 4.20.b. Analisa log pearson tipe III untuk H_{10} (Timur laut)	104
Tabel 4.21.a. Analisa log pearson tipe III untuk H_{10} (Timur)	101
Tabel 4.21.b. Analisa log pearson tipe III untuk H_{10} (Timur)	105
Tabel 4.22.a. Analisa log pearson tipe III untuk H_{10} (Tenggara)	101
Tabel 4.22.b. Analisa log pearson tipe III untuk H_{10} (Tenggara)	105
Tabel 4.23.a. Analisa gelombang rencana untuk Hs (Utara)	106
Tabel 4.23.b. Analisa gelombang rencana untuk Hs (Utara)	108
Tabel 4.24.a. Analisa gelombang rencana untuk Hs (Timur laut)	106
Tabel 4.24.b. Analisa gelombang rencana untuk Hs (Timur laut)	108
Tabel 4.25.a. Analisa gelombang rencana untuk Hs (Timur)	106
Tabel 4.25.b. Analisa gelombang rencana untuk Hs (Timur)	108
Tabel 4.26.a. Analisa gelombang rencana untuk Hs (Tenggara)	107
Tabel 4.26.b. Analisa gelombang rencana untuk Hs (Tenggara)	109
Tabel 4.27.a. Analisa gelombang rencana untuk H_{10} (Utara)	107
Tabel 4.27.b. Analisa gelombang rencana untuk H_{10} (Utara)	109
Tabel 4.28.a. Analisa gelombang rencana untuk H_{10} (Timur laut)	107

Tabel 4.28.b. Analisa gelombang rencana untuk H_{10} (Timur laut)	109
Tabel 4.29.a. Analisa gelombang rencana untuk H_{10} (Timur)	107
Tabel 4.29.b. Analisa gelombang rencana untuk H_{10} (Timur)	109
Tabel 4.30.a. Analisa gelombang rencana untuk H_{10} (Tenggara)	108
Tabel 4.30.b. Analisa gelombang rencana untuk H_{10} (Tenggara)	110
Tabel 4.31.a. Perhitungan uji smirnov-kolmogorov untuk H_s (Utara)	116
Tabel 4.31.b. Perhitungan uji smirnov-kolmogorov untuk H_s (Utara)	119
Tabel 4.32.a. Perhitungan uji smirnov-kolmogorov untuk H_s (Timur laut)	116
Tabel 4.32.b. Perhitungan uji smirnov-kolmogorov untuk H_s (Timur laut)	119
Tabel 4.33.a. Perhitungan uji smirnov-kolmogorov untuk H_s (Timur)	117
Tabel 4.33.b. Perhitungan uji smirnov-kolmogorov untuk H_s (Timur)	119
Tabel 4.34.a. Perhitungan uji smirnov-kolmogorov untuk H_s (Tenggara)	117
Tabel 4.34.b. Perhitungan uji smirnov-kolmogorov untuk H_s (Tenggara)	120
Tabel 4.35.a. Perhitungan uji smirnov-kolmogorov untuk H_{10} (Utara)	117
Tabel 4.35.b. Perhitungan uji smirnov-kolmogorov untuk H_{10} (Utara)	120
Tabel 4.36.a. Perhitungan uji smirnov-kolmogorov untuk H_{10} (Timur laut)	118
Tabel 4.36.b. Perhitungan uji smirnov-kolmogorov untuk H_{10} (Timur laut)	120
Tabel 4.37.a. Perhitungan uji smirnov-kolmogorov untuk H_{10} (Timur)	118
Tabel 4.37.b. Perhitungan uji smirnov-kolmogorov untuk H_{10} (Timur)	121
Tabel 4.38.a. Perhitungan uji smirnov-kolmogorov untuk H_{10} (Tenggara)	118
Tabel 4.38.b. Perhitungan uji smirnov-kolmogorov untuk H_{10} (Tenggara)	121
Tabel 4.39.a. Perhitungan uji chi-square untuk H_s (Utara)	122
Tabel 4.39.b. Perhitungan uji chi-square untuk H_s (Utara)	124
Tabel 4.40.a. Perhitungan uji chi-square untuk H_s (Timur laut)	122
Tabel 4.40.b. Perhitungan uji chi-square untuk H_s (Timur laut)	124
Tabel 4.41.a. Perhitungan uji chi-square untuk H_s (Timur)	122
Tabel 4.41.b. Perhitungan uji chi-square untuk H_s (Timur)	124
Tabel 4.42.a. Perhitungan uji chi-square untuk H_s (Tenggara)	122
Tabel 4.42.b. Perhitungan uji chi-square untuk H_s (Tenggara)	124
Tabel 4.43.a. Perhitungan uji chi-square untuk H_{10} (Utara)	123
Tabel 4.43.b. Perhitungan uji chi-square untuk H_{10} (Utara)	125
Tabel 4.44.a. Perhitungan uji chi-square untuk H_{10} (Timur laut)	123
Tabel 4.44.b. Perhitungan uji chi-square untuk H_{10} (Timur laut)	125
Tabel 4.45.a. Perhitungan uji chi-square untuk H_{10} (Timur)	123

Tabel 4.45.b. Perhitungan uji chi-square untuk H_{10} (Timur)	125
Tabel 4.46.a. Perhitungan uji chi-square untuk H_{10} (Tenggara)	123
Tabel 4.46.b. Perhitungan uji chi-square untuk H_{10} (Tenggara)	125
Tabel 4.47.a. Analisa parameter gelombang untuk H_s (Utara)	127
Tabel 4.47.b. Analisa parameter gelombang untuk H_s (Utara)	129
Tabel 4.48.a. Analisa parameter gelombang untuk H_s (Timur laut)	127
Tabel 4.48.b. Analisa parameter gelombang untuk H_s (Timur laut)	129
Tabel 4.49.a. Analisa parameter gelombang untuk H_s (Timur)	127
Tabel 4.49.b. Analisa parameter gelombang untuk H_s (Timur)	129
Tabel 4.50.a. Analisa parameter gelombang untuk H_s (Tenggara)	128
Tabel 4.50.b. Analisa parameter gelombang untuk H_s (Tenggara)	130
Tabel 4.51.a. Analisa parameter gelombang untuk H_{10} (Utara)	128
Tabel 4.51.b. Analisa parameter gelombang untuk H_{10} (Utara)	130
Tabel 4.52.a. Analisa parameter gelombang untuk H_{10} (Timur laut)	128
Tabel 4.52.b. Analisa parameter gelombang untuk H_{10} (Timur laut)	130
Tabel 4.53.a. Analisa parameter gelombang untuk H_{10} (Timur)	128
Tabel 4.53.b. Analisa parameter gelombang untuk H_{10} (Timur)	130
Tabel 4.54.a. Analisa parameter gelombang untuk H_{10} (Tenggara)	129
Tabel 4.54.b. Analisa parameter gelombang untuk H_{10} (Tenggara)	131
Tabel 4.55. Sudut datang puncak gelombang	132
Tabel 4.56.a. Analisa gelombang pecah untuk H_s (Utara)	134
Tabel 4.56.b. Analisa gelombang pecah untuk H_s (Utara)	137
Tabel 4.57.a. Analisa gelombang pecah untuk H_s (Timur laut)	134
Tabel 4.57.b. Analisa gelombang pecah untuk H_s (Timur laut)	137
Tabel 4.58.a. Analisa gelombang pecah untuk H_s (Timur)	135
Tabel 4.58.b. Analisa gelombang pecah untuk H_s (Timur)	137
Tabel 4.59.a. Analisa gelombang pecah untuk H_s (Tenggara)	135
Tabel 4.59.b. Analisa gelombang pecah untuk H_s (Tenggara)	137
Tabel 4.60.a. Analisa gelombang pecah untuk H_{10} (Utara)	135
Tabel 4.60.b. Analisa gelombang pecah untuk H_{10} (Utara)	138
Tabel 4.61.a. Analisa gelombang pecah untuk H_{10} (Timur laut)	136
Tabel 4.61.b. Analisa gelombang pecah untuk H_{10} (Timur laut)	138
Tabel 4.62.a. Analisa gelombang pecah untuk H_{10} (Timur)	136
Tabel 4.62.b. Analisa gelombang pecah untuk H_{10} (Timur)	138

Tabel 4.63.a. Analisa gelombang pecah untuk H_{10} (Tenggara)	136
Tabel 4.63.b. Analisa gelombang pecah untuk H_{10} (Tenggara)	139
Tabel 4.64.a. Tinggi jagaan H_s (Maksimum)	144
Tabel 4.64.b. Tinggi jagaan H_s (Rerata)	144
Tabel 4.65.a. Tinggi jagaan H_{10} (Maksimum)	144
Tabel 4.65.b. Tinggi jagaan H_{10} (Rerata)	145
Tabel 4.66.a. Parameter desain bangunan H_s (Maksimum)	153
Tabel 4.66.b. Parameter desain bangunan H_s (Rerata)	153
Tabel 4.67.a. Parameter desain bangunan H_{10} (Maksimum)	153
Tabel 4.67.b. Parameter desain bangunan H_{10} (Rerata)	154
Tabel 4.68.a. Perhitungan gaya vertikal (Momen penahan)	171
Tabel 4.68.b. Perhitungan gaya vertikal (Momen penahan)	202
Tabel 4.68.c. Perhitungan gaya vertikal (Momen penahan)	234
Tabel 4.69.a. Perhitungan gaya vertikal (Momen penahan)	180
Tabel 4.69.b. Perhitungan gaya vertikal (Momen penahan)	211
Tabel 4.69.c. Perhitungan gaya vertikal (Momen penahan)	243
Tabel 4.70.a. Perhitungan gaya vertikal (Momen penahan)	187
Tabel 4.70.b. Perhitungan gaya vertikal (Momen penahan)	219
Tabel 4.70.c. Perhitungan gaya vertikal (Momen penahan)	251
Tabel 4.71.a. Perhitungan gaya vertikal (Momen penahan)	195
Tabel 4.71.b. Perhitungan gaya vertikal (Momen penahan)	226
Tabel 4.71.c. Perhitungan gaya vertikal (Momen penahan)	259
Tabel 4.72. Analisa biaya material	266
Tabel 4.73. Rekapitulasi biaya material	267
Tabel 4.74. Analisa pemilihan bahan bangunan <i>revetment</i>	267
Tabel 5.1. Parameter desain bangunan	269
Tabel 5.2. Jenis gelombang datang dan elevasi muka air laut	270
Tabel 5.3. Analisa stabilitas bangunan terhadap bahaya guling dan geser	270
Tabel 5.4. Analisa stabilitas bangunan terhadap daya dukung tanah	271

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Definisi dan batasan pantai	4
Gambar 2.2. Definisi dan karakteristik gelombang di daerah pantai	5
Gambar 2.3. Sketsa definisi gelombang	17
Gambar 2.4. Parameter fungsi kedalaman relatif	18
Gambar 2.5. Koreksi stabilitas akibat perbedaan temperatur udara	21
Gambar 2.6. Hubungan antara kecepatan angin di laut dan darat	23
Gambar. 2.7. Contoh penentuan panjang fetch efektif	24
Gambar 2.8. Refleksi gelombang pantai	34
Gambar 2.9. Skema difraksi gelombang	35
Gambar 2.10. Refraksi gelombang pada pantai	36
Gambar 2.11. Run up gelombang	42
Gambar 2.12. Elevasi muka air laut rencana tanpa <i>tsunami</i>	42
Gambar 2.13. <i>Revetment</i>	47
Gambar 2.14. Groin tunggal	48
Gambar 2.15. Groin seri	38
Gambar 2.16. Tipe jetty	49
Gambar 3.1. Bagan alir pengerjaan skripsi	58
Gambar 3.2. Peta lokasi studi	59
Gambar 4.1. Dokumentasi kerusakan pantai	67
Gambar 4.2. Peta analisa perubahan garis pantai	68
Gambar 4.3.a. <i>Windrose</i> 1996-2005 (Maksimum)	72
Gambar 4.3.b. <i>Windrose</i> 1996-2005 (Rerata)	73
Gambar 4.4. Fetch efektif arah utara	75
Gambar 4.5. Fetch efektif arah timur laut	76
Gambar 4.6. Fetch efektif arah timur	77
Gambar 4.7. Fetch efektif arah tenggara	78
Gambar 4.8. a. <i>Wave rose</i> tahun 1996-2005 (Maksimum)	93
Gambar 4.8.b. <i>Wave rose</i> tahun 1996-2005 (Rerata)	94
Gambar 4.9.a. Plotting distribusi log pearson tipe III Hs (Utara)	110
Gambar 4.9.b. Plotting distribusi log pearson tipe III Hs (Utara)	113
Gambar 4.10.a. Plotting distribusi log pearson tipe III Hs (Timur laut)	111
Gambar 4.10.b. Plotting distribusi log pearson tipe III Hs (Timur laut)	113

Gambar 4.11.a. Plotting distribusi log pearson tipe III Hs (Timur).....	111
Gambar 4.11.b. Plotting distribusi log pearson tipe III Hs (Timur)	114
Gambar 4.12.a. Plotting distribusi log pearson tipe III Hs (Tenggara)	111
Gambar 4.12.b. Plotting distribusi log pearson tipe III Hs (Tenggara)	114
Gambar 4.13.a. Plotting distribusi log pearson tipe III H ₁₀ (Utara)	112
Gambar 4.13.b. Plotting distribusi log pearson tipe III H ₁₀ (Utara)	114
Gambar 4.14.a. Plotting distribusi log pearson tipe III H ₁₀ (Timur laut)	112
Gambar 4.14.b. Plotting distribusi log pearson tipe III H ₁₀ (Timur laut)	115
Gambar 4.15.a. Plotting distribusi log pearson tipe III H ₁₀ (Timur)	112
Gambar 4.15.b. Plotting distribusi log pearson tipe III H ₁₀ (Timur)	115
Gambar 4.16.a. Plotting distribusi log pearson tipe III H ₁₀ (Tenggara)	113
Gambar 4.16.b. Plotting distribusi log pearson tipe III H ₁₀ (Tenggara)	115
Gambar 4.17. Sudut datang puncak bangunan	132
Gambar 4.18.a. Elevasi muka air rencana dan elevasi mercu bangunan Hs (Utara)	145
Gambar 4.18.b. Elevasi muka air rencana dan elevasi mercu bangunan Hs (Utara)	149
Gambar 4.19.a. Elevasi muka air rencana dan elevasi mercu bangunan Hs (Timur laut)	146
Gambar 4.19.b. Elevasi muka air rencana dan elevasi mercu bangunan Hs (Timur laut)	150
Gambar 4.20.a. Elevasi muka air rencana dan elevasi mercu bangunan Hs (Timur)	146
Gambar 4.20.b. Elevasi muka air rencana dan elevasi mercu bangunan Hs (Timur)	150
Gambar 4.21.a. Elevasi muka air rencana dan elevasi mercu bangunan Hs (Tenggara)	147
Gambar 4.21.b. Elevasi muka air rencana dan elevasi mercu bangunan Hs (Tenggara)	151
Gambar 4.22.a. Elevasi muka air rencana dan elevasi mercu bangunan H ₁₀ (Utara)	147
Gambar 4.22.b. Elevasi muka air rencana dan elevasi mercu bangunan H ₁₀ (Utara)	151
Gambar 4.23.a. Elevasi muka air rencana dan elevasi mercu	

bangunan H_{10} (Timur laut)	148
Gambar 4.23.b. Elevasi muka air rencana dan elevasi mercu	
bangunan H_{10} (Timur laut)	152
Gambar 4.24.a. Elevasi muka air rencana dan elevasi mercu	
bangunan H_{10} (Timur)	148
Gambar 4.24.b. Elevasi muka air rencana dan elevasi mercu	
bangunan H_{10} (Timur)	152
Gambar 4.25.a. Elevasi muka air rencana dan elevasi mercu	
bangunan H_{10} (Tenggara)	149
Gambar 4.25.b. Elevasi muka air rencana dan elevasi mercu	
bangunan H_{10} (Tenggara)	152
Gambar 4.26.a. Perencanaan konstruksi revetment alternatif 1	155
Gambar 4.26.b. Perencanaan konstruksi revetment alternatif 2	160
Gambar 4.26.c. Perencanaan konstruksi revetment alternatif 31	165
Gambar 4.27.a. Distribusi gaya pada bangunan kondisi	
muka air surut (LLWL) alternatif 1	156
Gambar 4.27.b. Distribusi gaya pada bangunan kondisi	
muka air surut (LLWL) alternatif 2	161
Gambar 4.27.c. Distribusi gaya pada bangunan kondisi	
muka air surut (LLWL) alternatif 3	166
Gambar 4.28.a. Distribusi gaya pada bangunan kondisi	
muka air laut rata-rata (MSL) alternatif 1	157
Gambar 4.28.b. Distribusi gaya pada bangunan kondisi	
muka air laut rata-rata (MSL) alternatif 2	162
Gambar 4.28.c. Distribusi gaya pada bangunan kondisi	
muka air laut rata-rata (MSL) alternatif 3	167
Gambar 4.29.a. Distribusi gaya pada bangunan kondisi	
muka air laut pasang (HHWL) alternatif 1	158
Gambar 4.29.b. Distribusi gaya pada bangunan kondisi	
muka air laut pasang (HHWL) alternatif 2	153
Gambar 4.29.c. Distribusi gaya pada bangunan kondisi	
muka air laut pasang (HHWL) alternatif 3	168
Gambar 4.30.a. Distribusi gaya pada bangunan kondisi	
saat gelombang pecah di bangunan alternatif 1	159

Gambar 4.30.b. Distribusi gaya pada bangunan kondisi saat gelombang pecah di bangunan alternatif 2	164
Gambar 4.30.c. Distribusi gaya pada bangunan kondisi saat gelombang pecah di bangunan alternatif 3	169



ABSTRAKSI

LULUK SRIBAKTIANI, NIM. 0210640049, Jurusan Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Januari 2007, **Anlisa Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai di Kelurahan Beji, Kecamatan Jenu, Kabupaten Tuban**, Dosen pembimbing : Ir. Hari Prasetyo, MT., dan Ir. Suwanto Marsudi, Ms.

Pantai di kelurahan Beji, kecamatan Jenu, kabupaten Tuban, termasuk kawasan pantai Utara Jawa. Kawasan pantai ini dimanfaatkan sebagai pemukiman dan tambak, saat ini kondisi pantai telah mengalami kerusakan akibat erosi. Pada saat air pasang tinggi air laut sampai masuk ke rumah penduduk dan banyak tambak yang rusak, bahkan kawasan yang dulunya dimanfaatkan sebagai kawasan tambak sekarang tergenang air laut.

Kajian ini bertujuan untuk merencanakan bangunan pengaman pantai guna mengamankan daerah studi dari bahaya erosi. Bangunan yang direncanakan adalah *revetment* dengan tiga alternatif bahan konstruksi, yaitu : pasangan batu, pasangan beton, dan tumpukan batu.

Dari hasil akhir proses analisa data diperoleh gelombang dominan dari arah timur, sebesar 3,331 m untuk data angin maksimum dan 1,664 untuk data angin rerata. Tinggi bangunan untuk data angin maksimum sebesar 9,517 m (alternatif 1 dan 2), dan 5,520 m (alternatif 3). Sedangkan untuk data angin rerata sebesar 5,268 m (alternatif 1 dan 2), dan 4,522 m (alternatif 3). Karena tinggi bangunan dari analisa data angin maksimum terlalu tinggi dan tidak sesuai dengan daerah studi maka dalam perencanaan bangunan digunakan data angin rerata. Adapun perencanaan bangunannya yaitu tinggi bangunan 5,00 m untuk alternatif 1 dan 2, dan 4,50 m untuk alterntif 3. Selanjutnya dari ketiga alternatif tersebut dipilih salah satu alternatif bangunan yang sesuai baik dari segi teknis maupun ekonomi. Dalam studi ini dipilih alternatif 3 yaitu *revetment* dari bahan dasar tumpukan batu, dikarenakan dari hasil analisa stabilitas terhadap bahaya guling dan geser maupun daya dukung tanah aman, dan dari segi kemudahan mendapatkan bahan bangunan bahan bangunan ini mudah didapat, disamping itu dari analisa biaya konstruksi alternatif 3 biaya yang diperlukan paling murah sebesar Rp 3.525.737.886,00.

Dari perencanaan bangunan ini diharapkan kawasan studi dapat terlindungi dari bahaya erosi dan hasil dari tambak dapat meningkat sehingga perekonomian masyarakat setempat juga meningkat.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Wilayah Indonesia terbagi atas daratan dan lautan yang mempunyai kekayaan alam yang tidak ternilai harganya. Indonesia sebagai negara kepulauan terdiri dari beberapa pulau dan daerah pantai. Wilayah pantai mempunyai peranan yang sangat penting dalam menunjang perekonomian negara. Adapun kegiatan yang dapat dilakukan di daerah pantai antara lain sebagai kawasan pusat pemerintahan, pemukiman, industri, pelabuhan, pertambangan, pertanian, perikanan, pariwisata, dan sebagainya. Semua kegiatan tersebut disamping mendatangkan manfaat atau keuntungan juga dapat menimbulkan kerugian atau kerusakan apabila pelaksanaannya kurang tepat.

Semua kegiatan dalam rangka pemanfaatan potensi wilayah pantai harus memperhatikan fungsi pantai yang akan datang. Dengan kata lain kita harus memperhatikan kelestarian pantai agar dapat bermanfaat untuk masa sekarang maupun masa yang akan datang.

Banyak masalah yang timbul di daerah pantai baik akibat pengaruh alam maupun kegiatan manusia yang dapat merusak daerah pantai dan mengganggu stabilitas ekosistem pantai yang bersangkutan. Salah satu masalah yang sering kita jumpai adalah erosi dan sedimentasi pantai. Erosi dan sedimentasi pantai merupakan suatu proses yang berkesinambungan. Hempasan gelombang menyebabkan erosi di suatu lokasi tertentu, selanjutnya material yang tererosi tersebut hanyut terbawa arus ke tempat lain dan mengendap di daerah yang lebih tenang.

Proses erosi dan sedimentasi pantai dapat menyebabkan perubahan garis pantai yang akhirnya dapat merubah luasan daripada daerah pantai tersebut. Hal ini dapat berpengaruh dalam upaya pengembangan daerah pantai tersebut. Karena itu diperlukan kondisi pantai yang stabil yaitu adanya keseimbangan antara sedimen yang masuk (*suplai*) dan yang meninggalkan pantai. Untuk menciptakan kondisi tersebut maka diperlukan adanya bangunan pengaman di sekitar pantai.

Daerah pantai utara tuban mengalami erosi akibat hempasan gelombang laut, yang mengakibatkan mundurnya garis pantai di daerah tersebut. Hal ini menyebabkan rumah-rumah penduduk dan tambak-tambak disekitar pantai terhempas air laut. Untuk menjaga kestabilan garis pantai perlu adanya suatu bangunan pengaman pantai. Di dalam pemilihan jenis bangunan pengaman pantai harus memperhatikan kondisi alam

pantai yang bersangkutan. Sehingga tidak terjadi kesalahan dalam pemilihan, karena salah dalam pemilihan akan memperbesar kerusakan pantai yang terjadi.

1.2. Identifikasi Masalah

Pantai Utara Tuban sepanjang ± 50 km yang terletak di propinsi Jawa Timur merupakan kawasan pantai yang potensial. Di kawasan pantai ini banyak berdiri rumah-rumah penduduk dan tambak-tambak. Sekarang ini kondisi pantai telah mengalami kerusakan akibat erosi pantai oleh hempasan gelombang laut ke daerah pantai. Pada saat pasang, air laut sampai masuk ke rumah-rumah penduduk dan banyak tambak-tambak yang rusak dan terendam air laut. Hal ini akan membahayakan kelangsungan hidup penduduk setempat dan menurunkan produktifitas dari tambak-tambak tersebut apabila tidak segera ditangani.

Energi gelombang laut yang menuju ke daerah pantai merupakan penyebab utama terjadinya erosi dan sedimentasi pantai. Hal ini akan merubah garis pantai terhadap kedudukan semula yang akhirnya dapat merubah luasan daripada daerah pantai tersebut.

Karena sebagian besar wilayah Pantai Utara Tuban khususnya daerah Beji dimanfaatkan untuk daerah pemukiman dan kawasan tambak. Untuk menjaga agar tidak terjadi kerusakan yang lebih parah yang dapat mengancam jiwa penduduk setempat, maka perlu adanya pengamanan daerah setempat dari kerusakan. Bangunan pengaman pantai perlu dibangun untuk mengamankan daerah pantai tersebut dari hempasan gelombang laut. Banyak jenis bangunan pengaman pantai yang dapat dipakai untuk mengamankan daerah pantai, diantaranya krib, revetmen, pemecah gelombang, groin, jetti dan lain sebagainya. Setiap bangunan mempunyai fungsi yang berbeda-beda serta kelebihan dan kekurangan masing-masing.

Karena masing-masing bangunan pengaman pantai mempunyai fungsi serta kelebihan dan kekurangan yang berbeda-beda maka dalam pemilihannya perlu memperhatikan kondisi alam daerah yang dikaji sehingga diperoleh perencanaan yang optimal.

1.3. Batasan Masalah

Agar pembahasan studi ini tidak meluas, maka perlu ditetapkan batasan masalah sebagai berikut :

1. Daerah studi adalah Pantai Utara Tuban khususnya daerah Kelurahan Beji, Kecamatan Jenu, Kabupaten Tuban, Propinsi Jawa Timur .
2. Merencanakan dimensi bangunan pengaman pantai dan menganalisa stabilitas bangunan.
3. Menghitung biaya konstruksi bangunan pengaman pantai.
4. Menganalisa keseimbangan sedimen pantai dengan memperhitungkan transport sedimen sepanjang pantai.
5. Tidak menghitung pengaruh sedimen sungai karena di sekitar pantai tidak terdapat muara sungai.
6. Memperhitungkan kondisi gempa dan badai gelombang (*tsunami*).
7. Tidak membahas tentang analisa sosial ekonomi dan dampak terhadap lingkungan.

1.4. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam menyusun studi ini adalah :

1. Apa penyebab kerusakan pantai di daerah studi ?
2. Bangunan apakah yang dipakai untuk mengamankan daerah pantai tersebut ?
3. Bagaimanakah dimensi bangunan pengaman Pantai Utara Tuban ?
4. Bagaimana stabilitas bangunan pengaman Pantai Utara Tuban ?
5. Berapa biaya konstruksi bangunan pengaman pantai ?

1.5. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari studi ini adalah merencanakan bangunan pengaman pantai untuk mengamankan daerah Pantai Utara Tuban khususnya Kelurahan Beji, Kecamatan Jenu, Kabupaten Tuban yang merupakan kawasan pemukiman penduduk dan tambak dari bahaya erosi.

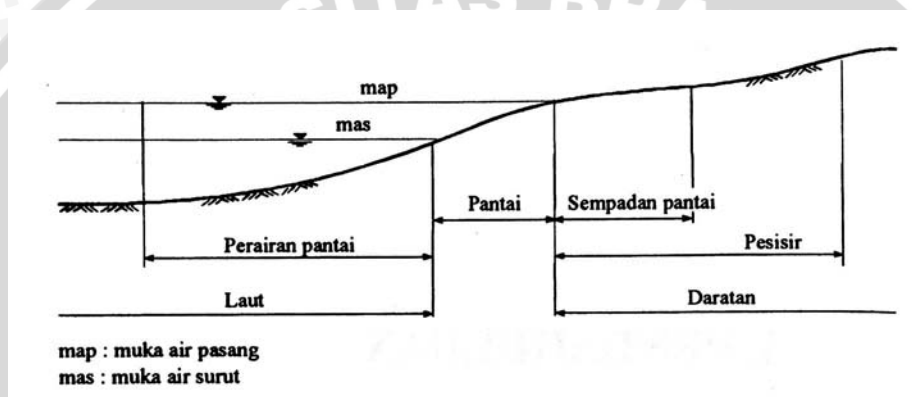
Sedangkan manfaat dari studi ini adalah sebagai bahan pertimbangan bagi instansi yang terkait untuk merencanakan bangunan pengaman pantai yang sesuai dan aman.

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Pengertian Pantai

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

Daerah perairan (laut) mulai dari daratan sampai lautan dapat dibagi dalam beberapa daerah. Definisi dan batasan dari daerah-daerah tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1.



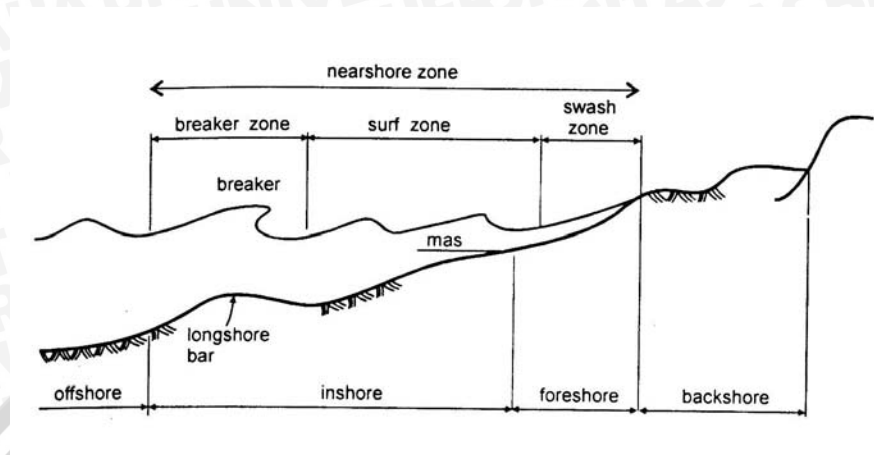
Gambar 2.1. Definisi dan batasan pantai

Sumber : Triatmodjo, 1999 : 2

Keterangan :

1. Daratan adalah daerah yang terletak di atas dan di bawah permukaan daratan dimulai dari garis pasang tertinggi.
2. Pesisir adalah daerah darat di tepi laut yang masih mendapat pengaruh laut seperti pasang surut, angin laut, dan perembesan air laut.
3. Sempadan pantai adalah kawasan tertentu sepanjang pantai yang lebarnya sesuai dengan bentuk dan kondisi fisik pantai minimal 100 meter dari titik pasang tertinggi ke arah daratan.
4. Pantai adalah daerah di tepi perairan yang dipengaruhi oleh garis pasang tertinggi dan air surut terendah.
5. Laut adalah daerah yang terletak di atas dan di bawah permukaan laut dimulai dari sisi laut pada garis surut terendah, termasuk dasar laut dan bagian bumi di bawahnya.

Sedangkan ditinjau dari karakteristik gelombang di daerah sekitar pantai, daerah pantai dapat dibagi dalam beberapa bagian seperti yang ditunjukkan dalam gambar 2.2. sebagai berikut.



Gambar 2.2. Definisi dan karakteristik gelombang di daerah pantai

Sumber : Triatmodjo, 1999 : 3

Keterangan :

1. *Nearshore* adalah daerah yang terbentang ke arah pantai dari garis gelombang pecah
2. *Backshore* adalah daerah yang dibatasi oleh *foreshore* dan garis pantai yang terbentuk pada saat terjadi gelombang badai bersamaan dengan muka air tertinggi.
3. *Foreshore* adalah daerah yang terbentang dari garis pantai pada saat muka air rendah sampai batas atas dari uprush pada saat air pasang tinggi.
4. *Inshore* adalah daerah dari profil pantai yang membentang ke arah laut dari *foreshore* sampai tepat di luar daerah gelombang pecah.
5. *Offshore* adalah daerah yang membentang dari garis gelombang pecah ke arah laut.
6. *Breaker zone* adalah daerah dimana gelombang yang datang dari laut (lepas pantai) mencapai ketidak stabilan dan akhirnya pecah.
7. *Surf zone* adalah daerah yang terbentang antara bagian dalam dari gelombang pecah dan batas naik turunnya gelombang di pantai.
8. *Swash zone* adalah daerah yang dibatasi oleh garis batas tertinggi naiknya gelombang dan batas terendah turunnya gelombang di pantai.
9. *Longshore bar* adalah gembuk pasir yang memanjang dan kira-kira sejajar dengan garis pantai yang terjadi karena proses gelombang pecah di daerah *inshore*.

2.2. Transpor Sedimen Pantai

Transpor sedimen pantai adalah gerakan sedimen di daerah pantai yang disebabkan oleh gelombang dan arus yang dibangkitkannya. Transpor sedimen pantai dapat diklasifikasikan menjadi transpor menuju dan meninggalkan pantai (*onshore-offshore transport*) dan transpor sepanjang pantai (*longshore transport*). Transpor sedimen menuju dan meninggalkan pantai mempunyai arah rata-rata tegak lurus garis pantai, sedang transpor sepanjang pantai mempunyai arah rata-rata sejajar pantai (Triatmodjo, 1999 : 180).

Angkutan sedimen di pantai merupakan interaksi dari gelombang, arus, dan bahan sedimen itu sendiri. Karakteristik gelombang dan arus menunjukkan besarnya tenaga yang tersedia untuk terjadinya angkutan sedimen. Disamping itu karakteristik bahan sedimen, bentuk, ukuran, rapat massa, dan sebagainya akan berpengaruh terhadap terjadinya transpor sedimen.

2.2.1. Transpor sedimen menuju-meninggalkan pantai (*Onshore-offshore transport*)

Transpor sedimen menuju dan meninggalkan pantai mempunyai arah rata-rata tegak lurus garis pantai. Di dalam model perubahan garis pantai hanya diperhitungkan transpor sedimen sepanjang pantai. Karena transpor sedimen menuju-meninggalkan pantai dapat menyebabkan perubahan profil pantai tetapi akan cepat kembali ke bentuk semula. Gelombang badai yang terjadi dalam waktu singkat dapat menyebabkan erosi pantai, selanjutnya gelombang biasa yang terjadi sehari-hari akan membentuk kembali pantai yang sebelumnya tererosi sehingga dalam siklus yang tidak terlalu lama profil pantai kembali pada bentuk semula. Sedangkan pada transpor sedimen sepanjang pantai, sedimen dapat terangkut sampai tempat yang jauh dan dapat menyebabkan perubahan profil pantai. Untuk kembali ke bentuk semula diperlukan waktu yang cukup lama apalagi kalau gelombang dari satu arah lebih dominan sulit untuk mengembalikan pantai pada profil semula.

2.2.2. Transpor sedimen sepanjang pantai (*Longshore transport*)

Transpor sedimen sepanjang pantai mempunyai arah rata-rata sejajar pantai. Transpor ini banyak menyebabkan permasalahan seperti pendangkalan di pelabuhan, erosi pantai, dan sebagainya, oleh karena itu sangat diperlukan analisa transpor sedimen. Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk memprediksi transpor sedimen sepanjang pantai adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 1999 : 185) :

1. Cara terbaik untuk memperkirakan transpor sedimen sejajar pantai pada suatu tempat adalah dengan mengukur debit sedimen di lokasi yang ditinjau.
2. Peta atau pengukuran yang menunjukkan perubahan elevasi dasar dalam suatu periode tertentu dapat memberikan petunjuk tentang angkutan sedimen.
3. Rumus empiris yang didasarkan pada kondisi gelombang di daerah yang ditinjau.

Rumus yang digunakan untuk menghitung transpor sedimen sepanjang pantai dikembangkan berdasarkan data pengukuran model dan prototip pada pantai berpasir. Sebagian rumus-rumus tersebut merupakan hubungan yang sederhana antara transpor sedimen dan komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai atau sering disebut metode fluks energi gelombang. Metode ini didasarkan pada anggapan bahwa pengangkutan sedimen sepanjang pantai sebanding dengan fluks energi pada saat gelombang pecah (Triatmodjo, 1999 : 186).

$$Q_s = K P_1^n \quad (2.1)$$

$$P_1 = \frac{\rho g}{8} H_b^2 c_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b \quad (2.2)$$

Dimana :

Q_s = angkutan sedimen sepanjang pantai ($m^3/hari$)

P_1 = komponen fluks energi gelombang sepanjang pantai pada saat pecah ($Nm/d/m$)

ρ = rapat massa air laut (kg/m^3)

H_b = tinggi gelombang pecah (m)

c_b = cepat rambat gelombang pecah (m/d) = $\sqrt{g \cdot d_b}$

α_b = sudut datang gelombang pecah

K, n = konstanta

Beberapa peneliti mengusulkan rumus untuk menghitung transpor sedimen sepanjang pantai seperti pada tabel 2.1. Dalam rumus-rumus tersebut satuan Q_s dalam $m^3/hari$, sedangkan satuan P_1 dalam $ton.m/hari/m$ (Triatmodjo, 1999 : 187).

Tabel 2.1. Beberapa rumus transpor sedimen sepanjang pantai

No	Nama	Rumus
1	Caldwell	$Q_s = 1,200 P_1^{0,8}$
2	Sawage	$Q_s = 0,219 P_1$

3	Ijima, Sato, Aono, Ishii	$Q_s = 0,130P_1^{0,54}$
4	Ichikawa, Achiai, Tomita, Murobuse	$Q_s = 0,130P_1^{0,8}$
5	Manohar	$Q_s = 55,7D^{0,59} \left(\frac{\rho s - \rho}{\rho} \right)^{-0,41} P_1^{0,91}$
6	Ijima, Sato	$Q_s = 0,060P_1$
7	Tanaka	$Q_s = 0,120P_1$
8	Komar, Inman	$Q_s = 0,778P_1$
9	Komar, Inman	$Q_s = 0,283 \frac{VP_1}{U_{\infty} \sin \alpha b}$
10	Das	$Q_s = 0,325P_1$
11	CERC	$Q_s = 0,401P_1$

Sumber : Triatmodjo, 1999 : 188

Beberapa rumus untuk menghitung besarnya fluks energi untuk mendapatkan debit transpor sedimen sejajar pantai dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2. Rumus-rumus pendekatan faktor fluks energi pada transpor sedimen sejajar pantai (Pls) untuk setiap keterbatasan data.

No	Faktor fluks energi memanjang pantai (Pis)	Data yang diperlukan (satuan matrik)
1	$0,0884 \cdot \rho \cdot g^{3/2} \cdot H_b^{5/2} \cdot \sin 2\alpha b$	Hb, αb
2	$0,05 \cdot \rho \cdot g^{3/2} \cdot H_o^{5/2} \cdot (\cos \alpha o)^{1/4} \cdot \sin 2\alpha o$	Ho, αo
3	$0,00996 \cdot \rho \cdot g^2 \cdot T_o \cdot H_o^2 \cdot \sin \alpha b \cdot \cos \alpha o$	To, Ho, αo , αb
4	$1,572 \cdot \rho \cdot g \cdot (H_b^3 / T_o) \cdot \sin \alpha o$	To, Hb, αo

Sumber : SPM, 1984 : 4-94

2.3. Budget Sedimen

Budget sedimen adalah keseimbangan volume transpor sedimen dalam satu penggal pantai, berdasar atas jumlah transpor sedimen, erosi dan deposisi. Adapun tujuan dari analisa budget sedimen adalah membantu para ahli teknik pantai dalam (SPM, 1984 : 4-113) :

- Mengidentifikasi proses-proses pantai yang terjadi.
- Memperkirakan laju volume untuk keperluan perencanaan.
- Menentukan proses yang paling berpengaruh untuk keperluan tertentu.

- d. Melakukan cek terhadap ketetapan dan kesempurnaan anggaran desain melalui analisa keseimbangan hubungan antara diameter pasir dan kehilangan yang terjadi.

Adapun elemen-elemen budget sedimen adalah :

- a. *Source*, yaitu proses yang menambah jumlah sedimen pada bidang kontrol volume.
- b. *Sink*, yaitu setiap proses yang mengurangi jumlah sedimen pada bidang kontrol volume.
- c. *Point source* (Q_j^+ dalam satuan volume per tahun), yaitu suatu proses yang secara aktual menambah jumlah sedimen sepanjang bagian yang relatif pendek pada bidang kontrol volume.
- d. *Point sink* (Q_j^- dalam satuan volume per tahun), yaitu suatu proses yang secara aktual mengurangi jumlah sedimen sepanjang bagian yang relatif pendek pada bidang kontrol volume.
- e. *Line source* (q_j^+ dalam satuan volume per tahun per satuan panjang), yaitu suatu proses yang secara aktual menambah jumlah sedimen sepanjang bagian yang relatif panjang dari bidang kontrol volume.
- f. *Line sink* (q_j^- dalam satuan volume per tahun per satuan panjang), yaitu proses yang secara aktual mengurangi jumlah sedimen sepanjang bagian yang relatif panjang dari bidang kontrol volume.

Proses yang paling berpengaruh dalam perhitungan harga-harga budget sedimen adalah transpor sedimen sepanjang pantai. Penentuan dari tiap arah transpor sedimen sebagai *source* ataupun *sink* didasarkan atas arah yang ditentukan. Untuk daerah muara (*estuary*) proses sedimentasi sungai memberikan andil penting sebagai *source*.

Prinsip keseimbangan dalam budget sedimen sempurna akan memberikan hasil *point source* memiliki harga sama besar dengan *point sink*. Apabila nilai *point source* lebih besar dari *point sink* akan memberikan nilai selisih yang berarti terjadi pengendapan / deposisi dan sebaliknya.

2.4. Analisa Kerusakan Pantai dan Upaya Penanggulangan

Secara umum kerusakan yang terjadi di wilayah pantai disebabkan oleh 4 faktor penyebab utama, yaitu :

1. Erosi pantai
2. Abrasi pantai

3. Sedimentasi
4. Pencemaran lingkungan

Karena setiap jenis kerusakan memerlukan penanggulangan yang berbeda, maka sebelum menentukan pola pengamanan pantai terlebih dahulu dilakukan analisa kerusakan daerah pantai sehingga didapat pola pengamanan yang efektif dan efisien sesuai dengan jenis kerusakan yang terjadi. Berikut akan dijelaskan dalam tabel tentang jenis bangunan pengaman pantai beserta kriteria pemilihan bangunan yang akan digunakan dalam upaya penanggulangan kerusakan daerah pantai.

Analisa kerusakan daerah pantai dapat dilakukan dengan melakukan survey di lokasi studi atau melakukan pengamatan secara visual. Pengamatan visual dapat dilakukan dengan membuat dokumentasi berupa foto-foto dan interview dengan penduduk setempat, serta data-data sekunder yang mungkin didapat.

Tabel 2.3. Kriteria Kerusakan Pantai

No	Masalah	Jenis Kerusakan	Kriteria	Tingkat Perubahan
A	Erosi	Perubahan garis pantai	Ringan	< 0.5 m/th
			Sedang	0.5-2.0 m/th
			Berat	2.0-5.0 m/th
			Amat Berat	5.0-10.0 m/th
			Amat Sangat Berat	> 10.0 m/th
		Gerusan di kaki Bangunan	Ringan	Tidak membahayakan konstruksi
			Sedang	Tidak begitu berbahaya terhadap konstruksi
			Berat	Agak membahayakan stabilitas konstruksi
			Amat Berat	Membahayakan stabilitas konstruksi
			Amat Sangat Berat	Membahayakan stabilitas bangunan tersebut dan bangunan lain di sekitarnya
		Daerah yang kena erosi/gerusan dan pengaruhnya terhadap daerah lain	Ringan	Lokal (5-10 m)
			Sedang	Lokal dan sekitarnya (10-100 m)
			Berat	Daerah yang agak luas (100-500 m)
			Amat Berat	Daerah yang cukup luas (500-2000 m)
			Amat Sangat Berat	Daerah yang luas sekali (> 2000 m)
B	Abrasi	Abrasi di batuan	Ringan	Tidak membahayakan lingkungan
			Sedang	Tidak begitu berbahaya
				Terhadap lingkungan

			Berat	Agak membahayakan stabilitas lingkungan
			Amat Berat	Membahayakan stabilitas lingkungan
			Amat Sangat Berat	Membahayakan stabilitas lingkungan dan bangunan lain yang ada di sekitarnya
		Abrasi di tembok laut/pelindung pantai	Ringan	Tidak membahayakan konstruksi
			Sedang	Tidak begitu berbahaya terhadap konstruksi
			Berat	Agak membahayakan stabilitas konstruksi
			Amat Berat	Membahayakan stabilitas konstruksi
			Amat Sangat Berat	Membahayakan stabilitas bangunan tersebut dan bangunan lain sekitarnya
		Daerah yang terkena abrasi dan pengaruhnya terhadap sekitar	Ringan	Lokal
			Sedang	Lokal dan sekitarnya
			Berat	Daerah yang agak luas
			Amat Berat	Daerah yang cukup luas
			Amat Sangat Berat	Daerah yang luas sekali
	C	Pendangkalan muara dan sedimentasi	Ringan	0-1 bulan
			Sedang	1-2 bulan
			Berat	2-3 bulan
			Amat Berat	3-6 bulan
			Amat Sangat Berat	> 6 bulan
		Prosentase pembukaan muara	Ringan	> 90%
			Sedang	70% - 90%
			Berat	50% - 70%
			Amat Berat	30% - 50%
			Amat Sangat Berat	< 30%
		Daerah sedimentasi dan pengaruh sedimentasi tersebut	Ringan	Lokal
			Sedang	Lokal dan sekitarnya (1-2 km ²)
			Berat	Daerah agak luas (2-3 km ²)
			Amat Berat	Daerah cukup luas (3-5 km ²)
			Amat Sangat Berat	Daerah luas sekali (>5 km ²)
D	Kerusakan lingkungan	Permukiman	Ringan	1-5 rumah pada sempadan pantai dan tidak terjangkau oleh gempuran gelombang
			Sedang	5-10 rumah pada sempadan pantai dan tidak terjangkau oleh gempuran gelombang
			Berat	5-10 rumah berada pada sempadan pantai dan terjangkau oleh gempuran gelombang
			Amat Berat	10-15 rumah berada pada sempadan pantai dan terjangkau gempuran gelombang
			Amat Sangat Berat	Pemukiman pada (> 15 rumah) di sempadan pantai dan terjangkau gempuran gelombang
		Kualitas air laut	Ringan	Pencemaran di bawah ambang batas

			Sedang	Pencemaran di sekitar ambang batas, daerah yang tercemar seluas 1-2 km ²
			Berat	Pencemaran 50% - 100% di atas ambang batas di daerah seluas 1-2 km ² atau pencemaran sekitar ambang batas di daerah cukup luas (>2 km ²)
			Amat Berat	Pencemaran 100% - 200% di atas ambang batas di daerah seluas 1-2 km ² atau pencemaran lebih rendah di daerah sangat luas
			Amat Sangat Berat	Pencemaran lebih dari 200% di atas ambang batas di daerah yang cukup luas (> 2 km ²)
		Terumbu karang	Ringan	Kerusakan bersifat lokal
			Sedang	Kerusakan ringan seluas 1-2 km ²
			Berat	Kerusakan sedang seluas 1-2 km ²
			Amat Berat	Kerusakan sedang seluas 2-3 km ²
			Amat Sangat Berat	Kerusakan sedang sampai berat pada daerah yang cukup luas (> 2 km ²)
		Hutan mangrove	Ringan	Kerusakan ringan dan sifatnya lokal
			Sedang	Kerusakan ringan pada daerah seluas 1-2 km ²
			Berat	Kerusakan sedang pada daerah seluas 1-2 km ² kombinasi dengan erosi
			Amat Berat	Kerusakan sedang pada daerah seluas 2-3 km ² atau kerusakan berat pada daerah seluas 1-2 km ² , kombinasi dengan erosi
			Amat Sangat Berat	Kerusakan sedang sampai berat pada daerah yang cukup luas (> 2 km ²) dan kombinasi dengan erosi
E	Bangunan bermasalah		Ringan	Berada pada sempadan pantai, tapi tidak menimbulkan kerusakan lingkungan
			Sedang	Bangunan berada pada sempadan pantai dan mengganggu keterbukaan pantai untuk umum
			Berat	Bangunan berada pada sempadan pantai dan menyebabkan pantai tertutup untuk umum
			Amat Berat	Bangunan berada pada sempadan pantai atau perairan dan menyebabkan kerusakan lingkungan (erosi, tebing longsor, dll)
			Amat Sangat Berat	Bangunan berada pada sempadan pantai atau perairan pantai dan menyebabkan kerusakan lingkungan yang cukup serius

Sumber : Yuwono, 1998 : 31

Tabel 2.4. Alternatif Pemecahan Masalah Pantai

No	Permasalahan	Alternatif Penyelesaian
1	Pemukiman nelayan terlalu dekat dengan garis pantai dan terancam gempuran gelombang	-Penyuluhan -Penataan pemukiman -Pembangunan tembok laut -Desa nelayan percontohan
2	Fasilitas umum terlalu dekat dengan garis pantai dan terancam gempuran gelombang	-Penyuluhan -Penataan fasilitas umum -Pembangunan tembok laut
3	Jalan terlalu dekat dengan garis pantai dan terancam erosi	-Pembangunan tembok laut / dinding jalan pantai -Pembangunan groin untuk mencegah mundurnya garis pantai -Relokasi jalan yang ada
4	Erosi, abrasi pantai	-Pembangunan tembok laut, pemecah gelombang, groin -Reboisasi -Sand Nourishment
5	Kerusakan bangunan pantai	-Perawatan bangunan -Perbaikan bangunan yang rusak
6	Tata letak bangunan yang tidak sesuai (bermasalah)	-Penyuluhan -Penatan ulang bangunan -Pemulihan fungsi pantai -Renovasi bangunan bermasalah
7	Muara sungai tertutup, terjadi pendangkalan atau selalu berpindah tempat	-Pengerukan -Pembangunan jetty -Penataan kawasan muara sungai
8	Kerusakan lingkungan, penebangan hutan bakau, penambangan pasir dan terumbu karang	-Penyuluhan -Reboisasi -Penyediaan lokasi penambangan bahan bangunan (pasir, batu) -Law inforcement, hukuman, denda
9	Pencemaran perairan lingkungan pantai	-Penyuluhan -Instrument Amdal, UKL-UPL -Program kali bersih -Pantai lestari -Sistem pembuangan limbah perkotaan (padat dan cair)
10	Intrusi air laut	-Penyuluhan -Ijin pemompaan air tanah pantai

		-Penyediaan air bersih
11	Perkebunan, pertanian terlalu dekat dengan garis pantai, terancam erosi	-Penyuluhan -Buffer-zone, green-belt -Sempadan pantai
12	Perawatan fasilitas pelindung yang kurang memadai	-Penyuluhan -Peran serta masyarakat pantai

Sumber : Yuwono,1998 : 50

Tabel 2.5. Deskripsi Bangunan Pengaman Pantai

No	Jenis Bangunan	Deskripsi
1	<i>Revetment</i>	- Sebagai pelindung pantai terhadap erosi dan limpasan gelombang (<i>overtopping</i>) ke darat - Merupakan konstruksi yang dibangun di pantai dan sejajar dengan garis pantai - Dibangun pada daerah yang bertebing atau daerah yang mempunyai beda elevasi dengan garis pantai
2	Sea Wall	- Sebagai pelindung pantai terhadap erosi dan limpasan gelombang (<i>overtopping</i>) ke darat - Merupakan konstruksi yang dibangun di pantai dan sejajar dengan garis pantai - Dibangun pada daerah yang tidak bertebing (landai) atau daerah yang mempunyai beda elevasi yang kecil dengan garis pantai
3	Groin	- Menahan transport sedimen di sepanjang pantai, sehingga dapat mengurangi atau menghentikan erosi yang terjadi - Merupakan konstruksi yang dibangun kira-kira tegak lurus pantai
4	Jetty	- Sebagai pengaman daerah muara sungai untuk mengurangi pendangkalan alur oleh sedimen pantai. - Merupakan konstruksi yang dibangun kira-kira tegak lurus pantai dan sambung ke pantai

- 5 Bangunan pemecah gelombang
- Mengurangi tenaga gelombang yang datang menghantam pantai
 - Merupakan konstruksi yang dibangun di lepas pantai dan kira-kira sejajar dengan garis pantai

Tabel 2.6. Perbandingan Berbagai Alternatif Konstruksi Pengaman Pantai

No	Hal yang ditinjau	Tumpukan Batu Pecah	Tumpukan Buis Beton	Bronjong	Tumpukan Pipa Beton	Revetment Blok Beton
1	Berat batu struktur	**	**	**	***	***
2	Ketahanan terhadap cuaca / gaya kejut	***	***	*	**	***
3	Kemampuan penyesuaian terhadap penurunan konstruksi	***	***	***	**	***
4	Tinggi run up	***	***	***	**	**
5	Penampilan	**	**	**	***	***
6	Kemudahan mendapatkan material	***	***	***	***	***
7	Harga bahan	***	**	**	*	**
8	Pelaksanaan	***	***	**	**	**
9	Kebutuhan tenaga pengaman	***	***	**	**	**
10	Macam kerusakan	***	***	*	**	**

Sumber : Yuwono,1992 : IX-34

Keterangan : *** = bagus/tidak parah/tidak sulit/ringan
 ** = sedang/cukup
 * = kurang/parah/sulit/berat

2.5.Teori Gelombang

Berdasarkan gaya pembangkitnya gelombang yang terdapat di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam, yaitu :

1. Gelombang Angin

Adalah gelombang yang terbentuk karena dibangkitkan oleh tiupan angin yang di permukaan laut.

2. Gelombang Pasang Surut

Adalah gelombang yang terbentuk karena dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi.

3. Gelombang *Tsunami*

Adalah gelombang yang terbentuk karena letusan gunung berapi atau gempa di laut.

4. Gelombang yang dibangkitkan oleh kapal

Adalah gelombang laut yang terbentuk karena adanya gerakan kapal laut.

Gelombang yang penting dan perlu diperhatikan dalam teknik pantai adalah gelombang angin dan gelombang pasang surut. Gelombang merupakan faktor yang penting dalam perencanaan bangunan pantai, penentuan tata letak palabuhan, dan alur pelayaran terutama tentang karakteristik dan perilaku gelombang. Pasang surut air laut juga merupakan faktor yang penting disamping gelombang yang dibangkitkan oleh angin, karena bisa menimbulkan arus yang cukup kuat terutama di daerah sempit (teluk, estuari, dan muara sungai).

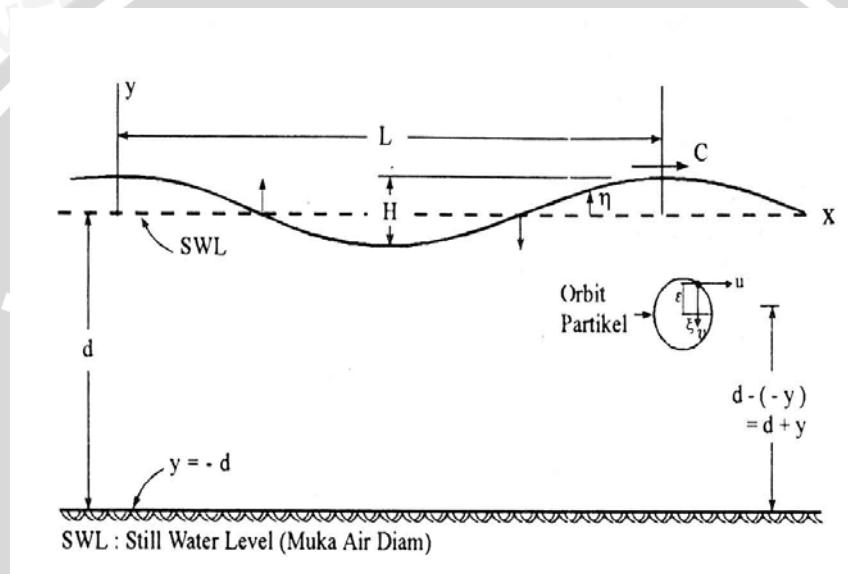
Gelombang di alam bentuknya sangat kompleks sehingga sulit digambarkan secara matematis. Ada banyak teori yang telah dikemukakan oleh para ahli diantaranya teori Airy, Stokes, Gerstner, Mich, Knoidal, dan tunggal. Teori yang paling sederhana adalah teori yang dikemukakan oleh Airy pada tahun 1845. Teori gelombang amplitudo kecil diturunkan dengan melinierkan persamaan Bernoulli untuk persamaan tidak permanen guna mendapatkan kondisi batas air. Dengan kondisi batas tersebut dan kondisi batas di dasar laut, dicari potensial kecepatan periodik yang memenuhi pengaliran tidak berputar (*irrotasional*) yang bergerak di air dengan dasar yang horisontal untuk tiap kedalaman. Potensial kecepatan ini kemudian untuk menurunkan persamaan dari berbagai karakteristik gelombang seperti fluktuasi air, kecepatan dan percepatan partikel, tekanan, kecepatan rambat gelombang dan sebagainya. (Triatmodjo, 1999 : 12).

Anggapan-anggapan yang digunakan untuk menurunkan persamaan gelombang adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 1999 : 13) :

1. Zat cair adalah homogen dan tidak termampatkan, sehingga rapat massa adalah konstan.
2. Tegangan permukaan diabaikan.
3. Gaya Coriolis (gaya penyebab pusaran air) diabaikan.

4. Tekanan pada permukaan air adalah seragam dan konstan.
5. Zat cair adalah ideal, sehingga berlaku aliran irrotasional.
6. Dasar laut adalah horisontal tetap dan impermeable sehingga kecepatan vertikal didasar adalah nol.
7. Amplitudo gelombang kecil.
8. Gerak gelombang berbentuk silinder yang tegak lurus arah penjaralan gelombang adalah dua dimensi.

Gambar 2.3 Menunjukkan suatu gelombang yang berada pada sistem koordinat (x,y). Gelombang menjalar ke arah sumbu x (Triatmodjo, 1999 : 13).



Gambar 2.3. Sketsa definisi gelombang

Sumber : Triatmodjo, 1999 : 14

Beberapa notasi yang dipergunakan dalam gambar adalah sebagai berikut :

d = jarak antara muka air rata-rata dan dasar laut

$\eta(x,y)$ = fluktuasi muka air terhadap muka air rata-rata

a = amplitudo gelombang

H = tinggi gelombang = $2a$

L = panjang gelombang (m)

T = periode gelombang (dt)

C = cepat rambat gelombang = L/T (m.dt⁻¹)

K = angka gelombang = $(2\pi/L)$

σ = frekwensi gelombang = $(2\pi/T)$

Dengan asumsi-asumsi tersebut maka dapat diturunkan persamaan gelombang sebagai berikut (Triatmodjo,1999 : 17) :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \left(\frac{2\pi d}{L} \right) \quad (2.3)$$

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh \left(\frac{2\pi d}{L} \right) \quad (2.4)$$

dengan :

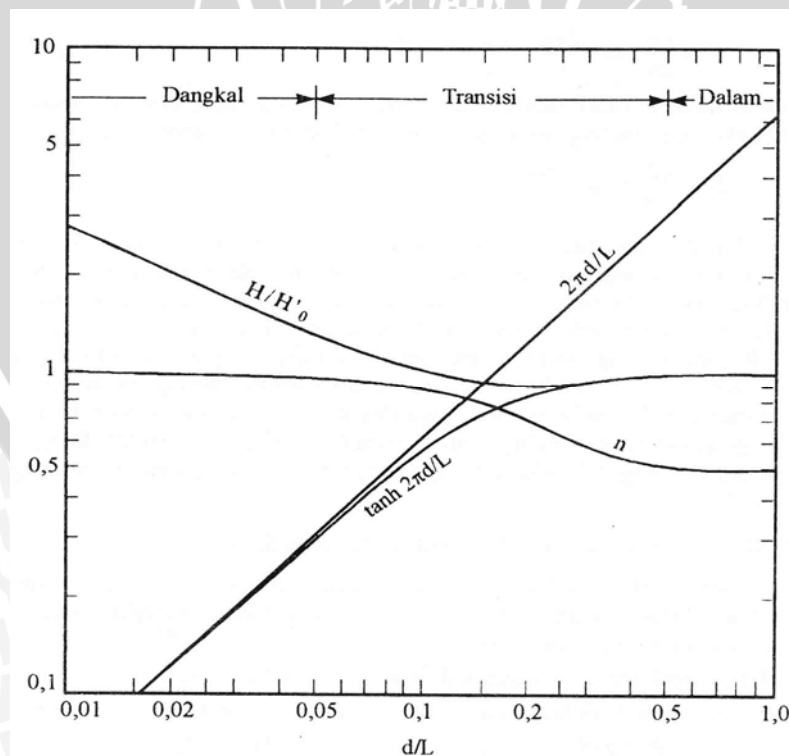
g = percepatan gravitasi (m.dt⁻¹)

d = kedalaman perairan (m)

Gelombang berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air (d) dan panjang gelombang (L). (d/L) dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu :

1. Gelombang di laut dangkal jika $d/L \leq 1/20$
2. Gelombang di laut transisi jika $1/20 < d/L < 1/2$
3. Gelombang di laut dalam jika $d/L \geq 1/2$

Tujuan dari pengelompokan ini untuk menyederhanakan rumus-rumus gelombang. Lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.4. yang menunjukkan berbagai parameter sebagai fungsi dari kedalaman relatif.



Gambar 2.4. Parameter fungsi kedalaman relatif

Sumber : Triatmodjo,1999 : 18

Disamping gelombang tunggal ada kelompok gelombang dimana kecepatan rambat kelompok gelombang biasanya tidak sama dengan kecepatan gelombang tunggal. Gelombang dikatakan sebagai kelompok gelombang jika terdapat dua deret gelombang monokromatik (yaitu suatu deret gelombang dengan satu macam tinggi, panjang, dan cepat rambat gelombang). Kecepatan kelompok gelombang dapat dirumuskan sebagai berikut (Triatmodjo,1999 : 36) :

$$C_g = n \cdot C$$

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \quad (2.5)$$

dengan :

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

n = 1/2 untuk di laut dalam

n = 1 untuk di laut dangkal

Energi persatuan panjang dirumuskan sebagai berikut :

$$P = \bar{E} \cdot n \cdot C_g \quad (2.6)$$

$$\bar{E} = \frac{\rho \cdot g \cdot H^2}{g} \quad (2.7)$$

dengan :

P = pemindahan energi per satuan panjang ($Nm \cdot dt^{-1} \cdot m^{-1}$)

E = energi rata-rata per satuan luas ($Nm \cdot m^{-2}$)

C_g = kecepatan kelompok gelombang ($m \cdot dt^{-1}$)

ρ = massa jenis air ($kg \cdot m^{-3}$)

H = tinggi gelombang (m)

Gelombang dapat diklasifikasikan menurut kedalaman relatif (d/L) dan nilai batas yang diberikan fungsi tanh ($2\pi d/L$) (Anonim,2004 : 9) sebagai berikut :

Tabel 2.7. Klasifikasi Gelombang

No	Klasifikasi	d/L	$2\pi d/L$	$\tanh(2\pi d/L)$
1	Perairan dalam	$>0,5$	$>\pi$	≈ 1
2	Transisi	$0,04 - 0,5$	$0,25 - \pi$	$\tanh(2\pi d/L)$
3	Perairan dangkal	$<0,04$	$<0,25$	$\approx 2\pi d/L$

2.6. Pembangkitan Gelombang

Salah satu jenis gelombang di laut adalah gelombang angin yaitu gelombang yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut. Angin yang berhembus di atas permukaan laut akan memindahkan energi ke air dan menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga terbentuklah riak gelombang di atas permukaan laut. Semakin kencang angin berhembus semakin besar riak yang terjadi dan apabila angin yang berhembus kuat dan lama maka akan terbentuklah gelombang yang besar (Triatmodjo, 1999 : 149).

Angin sangat berpengaruh terhadap tinggi dan periode gelombang yaitu meliputi kecepatan angin (u), lama hembus angin (D), arah angin dan fetch. Panjang fetch mempengaruhi waktu yang diperlukan gelombang untuk terbentuk karena pengaruh angin, sehingga mempengaruhi waktu untuk mentransfer energi angin ke air. Fetch besar akan membentuk gelombang dengan periode yang panjang (Triatmodjo, 1999 : 149).

Pada suatu daerah dengan panjang fetch yang tidak terbatas misalnya laut akan mendapat hembusan angin dengan kecepatan tertentu dan lama hembus yang tidak terbatas akan menghasilkan gelombang dengan periode dan tinggi rata-rata tertentu. Keadaan ini disebut FDS (*Fully Developed Sea*), jika gelombang meninggalkan daerah pembangkit maka profil gelombang akan makin halus dan tinggi gelombang rata-rata akan berkurang karena gesekan udara (Yuwono, 1986 : 39)

2.6.1 Kecepatan angin

Distribusi kecepatan angin di atas laut memberikan pengaruh yang berbeda terhadap pembangkitan gelombang tergantung pada letaknya terhadap permukaan (elevasinya di atas permukaan laut).

Untuk mengetahui pengaruh kecepatan angin terhadap pembangkitan gelombang didasarkan pada kecepatan angin yang diukur pada ketinggian tertentu. Apabila data kecepatan angin tidak diukur pada ketinggian yang telah ditentukan maka data tersebut harus dikonversi pada ketinggian tersebut. Data angin yang digunakan untuk membangkitkan gelombang adalah data yang diukur di permukaan laut pada lokasi pembangkitan. Dalam memperoleh data dapat dilakukan pengukuran secara langsung di atas permukaan laut atau pengukuran di darat dekat lokasi peramalan yang kemudian dikonversi menjadi data angin di laut. Untuk data yang tidak diukur pada tempat dan ketinggian yang telah ditentukan yaitu di atas permukaan laut, maka perlu dilakukan koreksi terhadap data tersebut.

a. Koreksi Elevasi

Dalam pembangkitan gelombang laut pada umumnya digunakan data kecepatan angin yang diukur pada ketinggian 10 m. Apabila data tidak diukur pada ketinggian tersebut, maka data tersebut perlu dikoreksi dengan rumus (Triatmodjo, 1999 : 151)

$$U_{10} = U_z \left(\frac{10}{z} \right)^{1/7} \text{ untuk } z < 20 \text{ m} \quad (2.8)$$

Dimana :

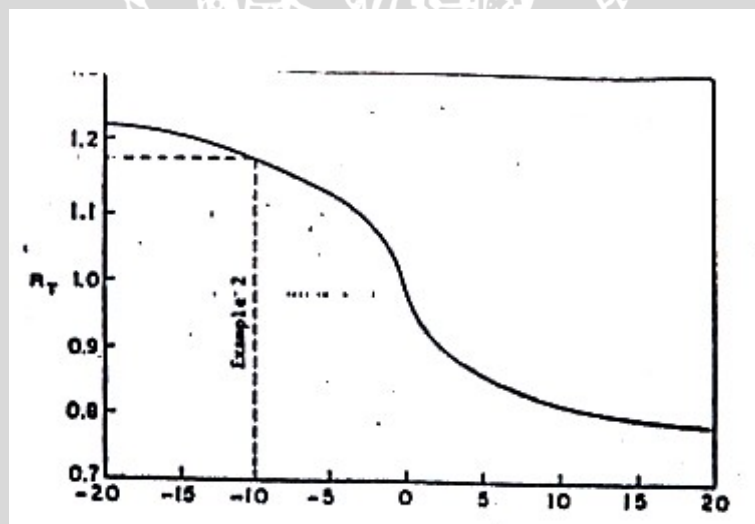
U_{10} = kecepatan angin pada elevasi 10 m (m/dt)

U_z = kecepatan angin yang diukur pada z meter (m/dt)

Z = elevasi pengukuran (m)

b. Koreksi Stabilitas

Perbedaan temperatur antara udara dan laut berpengaruh dalam pembangkitan gelombang ($\Delta T_s = T_a - T_s$) dimana T_a adalah temperatur udara dan T_s adalah temperatur air laut. Maka perlu dilakukan koreksi stabilitas dengan faktor koreksi R_T . Koreksi stabilitas akibat perbedaan temperatur udara dan air laut dapat dilihat pada gambar 2.5. sebagai berikut.



Gambar 2.5. Koreksi Stabilitas Akibat Perbedaan Temperatur Udara

Sumber : Yuwono, 1992 : I-9

c. Koreksi Lokasi

Data yang digunakan untuk pembangkitan gelombang laut adalah data yang diukur di atas permukaan laut. Sedangkan pengukuran di atas permukaan laut sulit

sekali dilakukan maka biasanya digunakan data yang diukur dari stasiun pencatat angin yang paling dekat dengan laut dengan harapan data yang tercatat adalah data dari angin yang disebabkan oleh tekanan atmosfer yang sama.

Apabila anemometer yang dipasang agak jauh dari laut maka data yang dicatat perlu dikoreksi dengan nilai faktor koreksi R_L dan jika anemometer dipasang dekat dengan pantai, maka data yang dicatat tidak perlu dikoreksi sehingga dipakai nilai faktor $R_L = 1$. Nilai faktor koreksi R_L dapat dilihat pada gambar 2.6. kecepatan angin yang digunakan untuk peramalan adalah kecepatan angin terkoreksi yaitu (Yuwono, 1992 : 1-7) :

$$U = R_T \cdot R_L \cdot (U_{10}) \quad (2.9)$$

Dimana :

R_T = koreksi akibat adanya perbedaan temperatur antara udara dan air

R_L = koreksi terhadap pencatatan angin yang dilakukan di darat

(U_{10}) = kecepatan angin pada elevasi 10 m

d. Koreksi Faktor Durasi

Untuk menghitung faktor koreksi durasi dipakai persamaan sebagai berikut :

$$t = \frac{1609}{U} \quad (2.10)$$

mencari nilai $\frac{U_t}{U_{3600}}$ dengan rumus sebagai berikut :

$$\frac{U_t}{U_{3600}} = 1.277 + 0.296 \tanh \left(0.9 \log_{10} \frac{45}{t} \right) \quad \text{untuk } 1 < t < 3600 \text{ detik} \quad (2.11)$$

$$\frac{U_t}{U_{3600}} = -0.15 \log_{10} t + 1.5334 \quad \text{untuk } 3600 < t < 36000 \text{ detik} \quad (2.12)$$

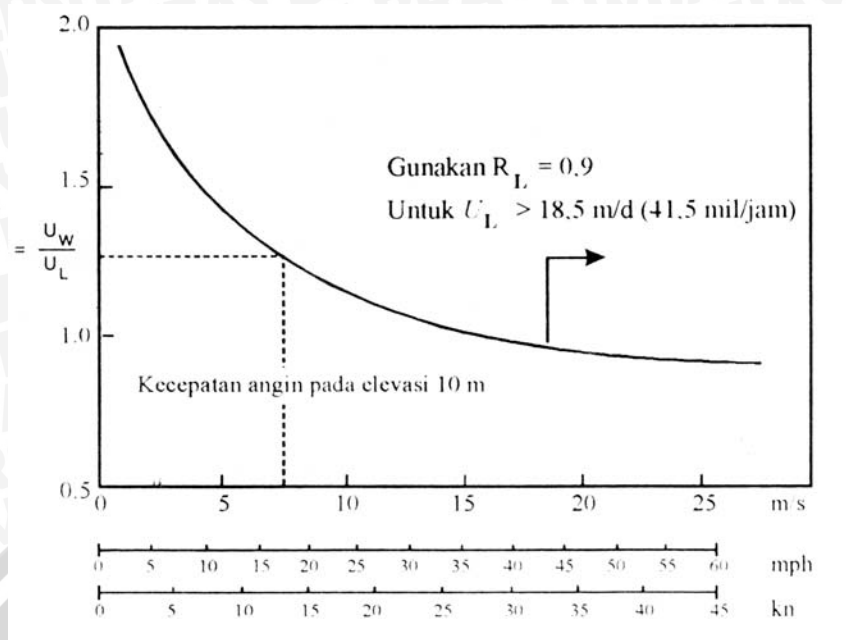
mencari kecepatan angin rata-rata dalam 1 jam

$$U_{t=3600} = \frac{U_t}{\frac{t}{U_{3600}}} \quad (2.13)$$

Sebelum digunakan untuk membangkitkan gelombang data angin perlu dikoreksi terhadap faktor tegangan angin (wind-stress factor) yang dihitung dari kecepatan angin yaitu dengan rumus sebagai berikut (Triatmodjo, 1999 : 155) :

$$U_A = 0.71 U^{1.23} \quad (2.14)$$

Dimana U adalah kecepatan angin dalam m/dt



Gambar 2.6. Hubungan antara kecepatan angin di laut dan darat

Sumber : Triatmodjo, 1999 :154

2.6.2. Fetch

Fetch dapat didefinisikan sebagai panjang pembangkitan daerah gelombang pada arah datangnya angin. Fetch biasanya dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi daerah pembangkitan gelombang. Di dalam pembangkitan gelombang angin fetch berpengaruh terhadap waktu yang diperlukan untuk terbentuknya suatu gelombang. Gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin karena itu perlu ditentukan fetch efektif (F_{eff}) dengan rumus sebagai berikut (Triatmodjo, 1999 : 155) :

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum X_i \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i} \quad (2.15)$$

Dengan :

F_{eff} = fetch efektif

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

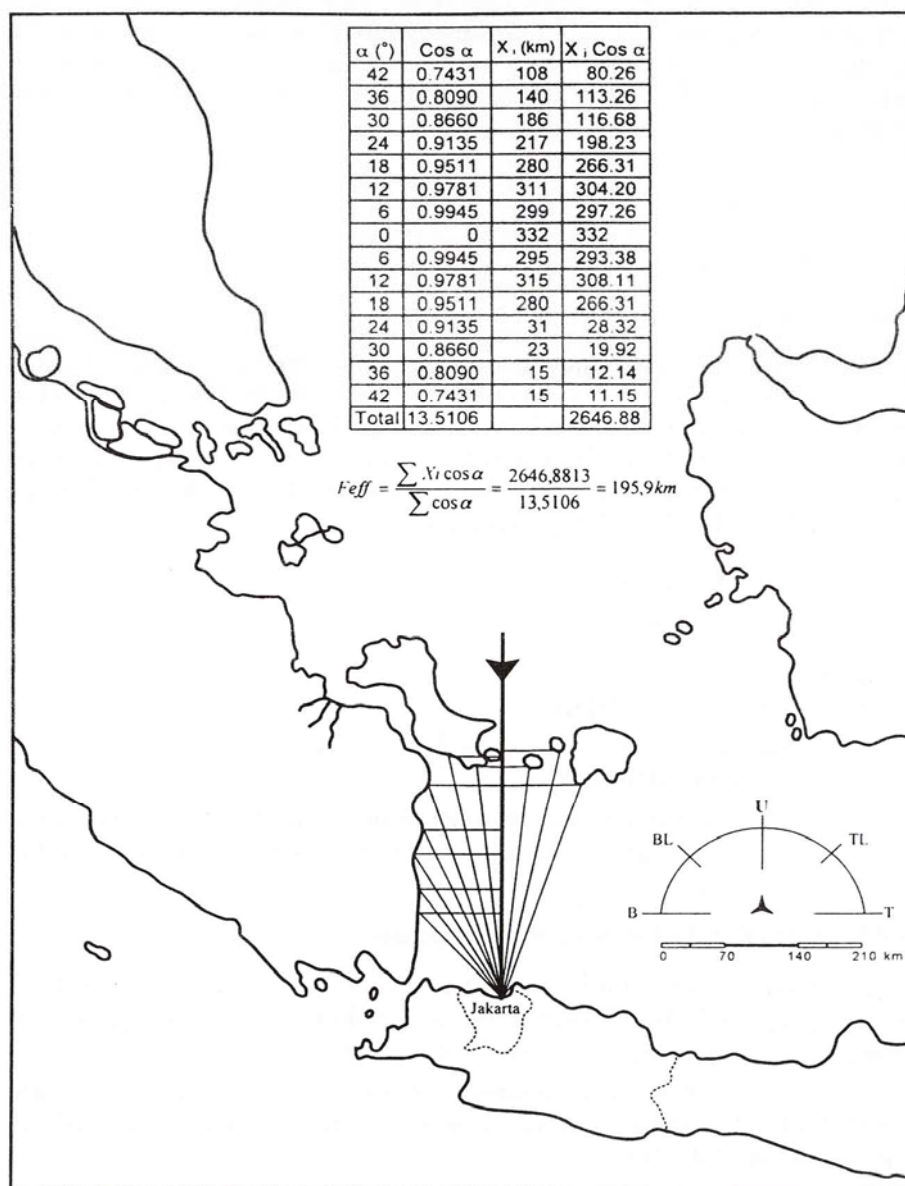
α_1 = deviasi pada kedua sisi dari arah angin dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin.

Setelah perhitungan fetch efektif perlu dilakukan kontrol apakah benar gelombang tersebut terjadi di dalam daerah pembentukan gelombang ataukah terbentuk

di luar daerah pembentukan gelombang, ada dua jenis gelombang yang merupakan spektrum gelombang yaitu :

Sea : adalah gelombang yang terbentuk di daerah pembangkitan gelombang, kondisi gelombang adalah curam (*steep*) yaitu panjang gelombang berkisar antara 10-20 kali tinggi gelombang.

Swell : adalah gelombang yang sudah terbentuk di daerah pembangkitan, kondisi gelombang di sini adalah landai yaitu panjang gelombang berkisar antara 30 sampai 500 kali tinggi gelombang.



Gambar 2.7 Contoh Penentuan Panjang Fetch Efektif

Sumber : Triatmodjo, 1999 : 156

2.6.3. Gelombang signifikan

Pemakaian metode sederhana untuk meramalkan gelombang dapat dilakukan apabila geometri laut relatif sederhana dan kondisi gelombang adalah fetch terbatas atau lama hembus terbatas.

Untuk kondisi fetch terbatas, parameter yang diperlukan adalah panjang fetch (F) dan kecepatan angin yang konstan sepanjang fetch. Tinggi gelombang signifikansi H_s dapat dihitung dengan rumus berikut (Anonim, 1984 : 3-44):

$$\frac{gH_s}{U_A^2} = 1.6 \times 10^{-3} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2} \quad (2.16)$$

$$\frac{gT_s}{U_A} = 2.857 \times 10^{-1} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3} \quad (2.17)$$

$$\frac{gt}{U_A} = 6.88 \times 10^1 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{2/3} \quad (2.18)$$

Dengan :

H_s	= tinggi gelombang signifikan	(m)
T_s	= periode gelombang signifikan	(detik)
t	= lama hembus angin	(detik)
F	= panjang fetch efektif	(m)
g	= percepatan gravitasi	(m.dt ⁻²)
U_A	= faktor tegangan angin	(m.dt ⁻¹)

Namun gelombang yang paling penting dalam spektrum gelombang di laut adalah gelombang yang dibangkitkan oleh angin. Untuk keperluan peramalan gelombang perlu dipilih tinggi dan periode gelombang tunggal yang dapat mewakili suatu spektrum energi gelombang.

Gelombang di alam adalah sangat kompleks yang terdiri dari suatu kelompok gelombang dimana masing-masing gelombang dalam kelompok mempunyai tinggi dan periode berbeda, maka untuk mengetahui karakteristik gelombang dapat dilakukan pendekatan dengan metode statistik. Analitis gelombang yang perlu adalah (Yuwono, 1982 : 42) :

- 1) Evaluasi distribusi probabilitas dari tinggi gelombang untuk mendapatkan H_{33} , H_{10} dan sebagainya.

2) Penentuan spektrum energi gelombang.

Probabilitas kejadian $P(H_1)$ dari tinggi suatu gelombang h_1 pada suatu hasil pencatatan yang terdiri dari N gelombang akan mengikuti distribusi Rayleigh.

$$P(H_1) = \frac{2H_1}{(H_{rms})^2} e^{-\left(\frac{H_1}{H_{rms}}\right)^2} \quad (2.19)$$

$$H_{rms} = \sqrt{\left[\frac{1}{N} \sum H_1^2 \right]} \quad (2.20)$$

Tinggi gelombang rata-rata :

$$H_{100} = \frac{\int_0^\infty H_1 P(H_1) d(H_1)}{\int_0^\infty P(H_1) d(H_1)} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} H_{rms} \quad (2.21)$$

Perhitungan komulatif $P(\leq H_1)$ yaitu kemungkinan terjadinya gelombang kurang dari dan sama dengan H_1 dapat ditentukan dengan rumus :

$$P(\leq H_1) = \int_0^{H_1} P(H_1) d(H_1) = 1 - e^{-\left(\frac{H_1}{H_{rms}}\right)^2} \quad (2.22)$$

Berdasarkan persamaan diatas, dapat dibuat tabel distribusi gelombang seperti yang disajikan pada tabel berikut :

Tabel 2.8. Tabel Distribusi Gelombang

n%	H_n/H_{33}	H_n/H_{100}
1	1,68	2,68
10	1,28	2,03
33	1	1,6
50	0,89	1,42
100	0,63	1

Sumber : Yuwono, 1986:42

Longuet-Hingins juga menunjukkan hubungan antara tinggi gelombang maksimum (H_{maks}) dengan H_{33} sebagai berikut :

$$H_{maks} = 0.707 H_{33} \sqrt{(LnN)} \quad (2.23)$$

Dengan :

H_{33} = tinggi gelombang signifikan (m)

N = banyaknya gelombang

Dari persamaan diatas :

$$\frac{H_{rms}}{H_{100}} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} = 1,13 \quad (2.24)$$

Dari Tabel 2-2:

$$\frac{H_{33}}{H_{100}} = 1,60 \quad (2.25)$$

$$\frac{H_{33}}{H_{rms}} = \frac{1,60}{1,13} \approx 1,42 \quad (2.26)$$

Beberapa ahli berpendapat bahwa penggunaan komputer dinilai terlalu mahal untuk penggunaan di suatu tempat, mereka mengusulkan memakai model spektrum energi gelombang (wave energy spektrum model) yang didasarkan pada teori dan data empirik (Yuwono, 1986:43):

$$S_H^2(T) = f(T, g, U, F, Td)$$

Dengan $S_H^2(T)$ = penyajian H^2 sebagai fungsi T

Pierson dan Moskowitz (1964) mengadakan analisa hasil pencatatan gelombang oleh British Wheater Ships di Atlantik Utara. Hasil yang didapatkan dari analisa diatas didapatkan spektrum (Yuwono, 1982:44) sebagai berikut :

$$S_H^2(T) = \frac{8,1 \times 10^{-3} \cdot g^2 \cdot T^3 \cdot e^{-0,74(gT / 2\pi U)^4}}{(2\pi)^4} \quad (2.27)$$

dengan :

U = Kecepatan angin pada elevasi 19,5 m diatas muka air laut ($m \cdot dt^{-1}$)

T = Periode gelombang (detik)

g = Percepatan gravitasi ($m \cdot dt^{-2}$)

Spektrum PM dipakai secara luas sebagai spektrum desain, tetapi perlu diingat bahwa spektrum ini dapat dipakai pada kondisi FDS (*Fully Developed Sea*) yang artinya

pada kecepatan angin tertentu, gelombang yang terjadi merupakan gelombang maksimum tanpa mendapat batasan dari lama hembus dan panjang fetch. Dari analisa data-data di lapangan didapatkan (Yuwono, 1982:44):

$$H_{33} = 0,00566 U^2 \quad (2.28)$$

$$T_{33} = 0,33 U \quad (2.29)$$

dengan :

H_{33} = Tinggi gelombang signifikan (m)

T_{33} = Periode gelombang signifikan (detik)

U = Kecepatan angin pada ketinggian 19,5 m di atas muka air laut (knot)

Kecepatan angin yang digunakan oleh moskowitz adalah pencatatan dari ketinggian 19.5 meter di atas permukaan laut. Oleh karena itu kecepatan angin rerata hasil pencatatan harus dirubah pada elevasi 19.5 agar dapat diaplikasikan dengan menggunakan spektrum gelombang Pierson-moskowitz. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut (Silvester I, 1974 : 80) :

$$\frac{U_y}{U_{10}} = 1 + \frac{\left(\frac{C_{10}^{0.5} \ln y}{10} \right)}{K} \quad (2.30)$$

Dengan :

U_y = kecepatan angin pada ketinggian y meter (knot)

U_{10} = kecepatan angin pada ketinggian 10 meter di atas permukaan laut (knot)

C_{10} = *drag coefisien*, koefisien yang sesuai dengan U_{10}

K = konstanta Von Karman = 0.4

Nilai C_{10} adalah *drag coefisien* yang diberikan oleh Wu (1969) adalah (Silvester II, 1974 : 179) :

$$C_{10} = 2,6 \cdot 10^{-3} \quad \text{untuk } U_{10} \geq 15 \text{ m/dt} \quad (2.31)$$

$$C_{10} = 0,65 \cdot 10^{-3} \cdot U_{10}^{0.5} \quad \text{untuk } U_{10} \leq 15 \text{ m/dt} \quad (2.32)$$

Dengan :

C_{10} = *drag coefisien*

U_{10} = kecepatan angin pada ketinggian 10 meter di atas permukaan laut (m/dt)

2.6.4. Analisa distribusi arah gelombang

Analisa distribusi arah gelombang dilakukan dengan cara meninjau gelombang yang terjadi pada suatu tempat dari berbagai arah. Arah yang ditinjau biasanya hanya beberapa arah saja dengan interval 45° . Arah gelombang disesuaikan dengan arah

urutan mata angin yaitu Utara, Timur Laut, Timur, Tenggara, Selatan, Barat Daya, Barat, Barat Laut.

Prosentase kejadian gelombang pada arah yang ditinjau dihitung dan ditabelkan lalu digambar sebagai mawar gelombang (*wave rose*).

2.7. Gelombang Rencana

2.7.1. Penentuan tinggi gelombang dan kala ulang rencana

Saat gelombang merambat ke daerah pantai selama perjalanan gelombang tersebut akan mengalami perubahan tinggi. Perubahan tinggi ini terjadi karena adanya deformasi gelombang dan gelombang pecah. Tinggi gelombang yang akan digunakan dalam perencanaan bangunan pantai adalah tinggi gelombang maksimum yang terjadi.

Bangunan pantai direncanakan untuk mampu menahan gya-gaya yang bekerja padanya. Dalam menghitung stabilitas bangunan biasanya didasarkan pada kondisi ekstrim agar bangunan tersebut aman. Biasanya kondisi yang diperhitungkan adalah termasuk gelombang dengan kejadian tertentu / periode ulang tertentu.

Untuk keperluan perencanaan bangunan pengaman pantai diperlukan tinggi gelombang yang memadai untuk tujuan tertentu yang telah ditetapkan. Penentuan kala ulang gelombang rencana di dasarkan pada jenis konstruksi yang akan dibangun. Gelombang rencana ditetapkan dengan langkah sebagai berikut :

1. Dari hasil peramalan gelombang oleh angin, diambil tinggi gelombang yang terbesar dengan periodenya.
2. Dilakukan analisa harga ekstrim berdasarkan data gelombang terbesar tahunan yang diperoleh dari langkah sebelumnya. Metode yang digunakan adalah metode Log Pearson.

Dalam menentukan tinggi gelombang rencana didasarkan pada fungsi dan tipe bangunan, kepentingan dan juga biaya pelaksanaan konstruksi yang akan dibangun. Beberapa pedoman untuk menentukan tinggi gelombang rencana untuk beberapa keperluan (Yuwono,1986 : 44) :

- a. Konstruksi kaku (*fixed rigid structure*)

Misal : menara bor lepas pantai, tinggi gelombang rencana dipakai H_{maks} dengan kala ulang 100 tahun.

- b. Konstruksi fleksibel (*flexsibel structur*)

Misal : Rubble Mound Breakwater, tinggi gelombang rencana yang dipakai H_s dengan kala ulang 10-50 tahun.

c. Konstruksi semi kaku (*semi rigid structure*)

Misal : seawall, tinggi gelombang rencana yang dipakai adalah H_{10} .

d. Proses yang terjadi di pantai

Misal : peramalan angkutan sedimen, tinggi gelombang rencana yang dipakai adalah H_s atau H_{rms} tahunan.

Untuk menentukan kala ulang diperlukan harga ekstrim tinggi gelombang, biasanya diambil satu data gelombang tertinggi setiap tahunnya. Adapun cara yang dapat dilakukan untuk menentukan analisa data tersebut adalah metode Log Pearson Type III sebagai berikut (Soewarno, 1995 : 152) :

1. Mengubah data tinggi gelombang tahunan sebanyak n buah $H_{s1}, H_{s2}, \dots, H_{sn}$ menjadi $\log H_{s1}, \log H_{s2}, \dots, \log H_{sn}$

2. Menghitung harga rerata

$$\overline{\log H_s} = \frac{\sum \log H_{s1}}{n} \quad (2.33)$$

3. Menghitung harga simpangan baku

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum (\log H_{s1} - \overline{\log H_s})^2}{n-1}} \quad (2.34)$$

4. Menghitung harga koefisien kepercengan

$$Cs = n \frac{\sum (\log H_{s1} - \overline{\log H_s})^3}{(n-1)(n-2)(S_1)^2} \quad (2.35)$$

5. Menghitung logaritma tinggi gelombang signifikan dengan waktu balik yang dikehendaki

$$\log H_s = \overline{\log H_s} + G.S_1 \quad (2.36)$$

6. Menghitung anti log H_s untuk mendapatkan harga tinggi gelombang signifikan dengan waktu balik yang dikehendaki

Keterangan :

n = jumlah data

S_1 = simpangan baku

Cs = koefisien kepercengan

G = ditentukan berdasarkan harga Cs

2.7.2. Analisa frekuensi gelombang

Frekuensi gelombang-gelombang besar merupakan faktor yang mempengaruhi perencanaan bangunan pantai. Dalam menentukan gelombang dengan periode ulang tertentu diperlukan data gelombang beberapa tahun. Data yang dimaksud bisa berupa data pengukuran gelombang atau data gelombang hasil prediksi (peramalan) berdasarkan data angin. Di Indonesia data pengukuran gelombang dalam jangka panjang belum banyak dilakukan, ini dikarenakan sulitnya dalam pelaksanaannya dan membutuhkan biaya yang mahal sedangkan data pengukuran angin sudah banyak dilakukan.

2.7.3. Uji kesesuaian distribusi

Analisa Log Pearson Type III yang telah dilakukan untuk mendapatkan harga ekstrim tinggi gelombang masih perlu dilakukan uji kesesuaian. Uji ini dilakukan untuk mengetahui apakah data tersebut benar sesuai dengan agihan teoritis yang dipakai untuk mengetahui apakah hipotesa tersebut dapat digunakan untuk perhitungan selanjutnya.

Dalam studi ini digunakan dua macam uji agihan yaitu uji Smirnov Kolmogorov dan Chi-Square. Kedua uji tersebut dijelaskan sebagai berikut :

a. Uji Smirnov Kolmogorov

Uji kesesuaian Smirnov Kolmogorov digunakan untuk menguji simpangan secara mendatar. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam uji agihan ini adalah sebagai berikut :

1. Data tinggi gelombang signifikan diurutkan dari kecil ke besar
2. Menghitung besarnya harga probabilitas dengan persamaan Weibull dan Gumbel (Harto, 1983 : 179)

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (2.37)$$

3. Dari grafik plotting data tinggi gelombang signifikan pada kertas probabilitas didapat perbedaan yang maksimum antara distribusi teoritis dan empiris yang disebut Δ_{maks} . Kemudian dibandingkan dengan Δ_{cr} yang didapat dari tabel untuk derajat tertentu.
4. Bila harga $\Delta_{maks} < \Delta_{cr}$ maka disimpulkan bahwa penyimpangan yang terjadi masih dalam batas-batas yang diijinkan.

b. Uji Chi-Square

Uji Chi-Square adalah suatu ukuran mengenai perbedaan yang terdapat antara frekuensi yang diamati dan yang diharapkan. Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara tegak lurus, yang ditentukan dengan rumus (Harto, 1983 : 186) :

$$X^2_{hit} = \frac{\sum (Ef - Of)^2}{Ef} \quad (2.38)$$

dengan :

X^2_{hit} = uji statistik

Ef = frekwensi yang diharapkan

Of = frekwensi pengamatan

Adapun tahapan yang dilakukan dalam uji agihan ini adalah sebagai berikut :

1. Memplot data tinggi gelombang signifikan dengan persamaan probabilitas.
2. Tarik garis lurus dengan bantuan titik gelombang signifikan yang mempunyai periode ulang tertentu.
3. Harga X_{cr} dicari dari tabel, dengan menentukan taraf signifikan α dan derajat bebasnya. Derajat bebasnya dapat dicari dengan rumus (Harto, 1983: 180):

$$DK = K - (P + 1) \quad (2.39)$$

Dengan :

DK = harga derajat bebas

K = $1 + 3,22 \log n$ (n = jumlah data)

P = jumlah parameter untuk $X^2_{test} = 2$

4. Bila harga $X^2_{test} < X_{cr}$, maka dapat disimpulkan bahwa penyimpangan yang terjadi masih dalam batas-batas yang diijinkan.

2.8. Parameter Gelombang

Parameter-parameter gelombang yang dinalisa adalah parameter tinggi gelombang, periode gelombang, cepat rambat gelombang, dan panjang gelombang tiap tinggi gelombang rencana.

Dari nilai tinggi gelombang di laut dalam untuk tiap gelombang rencana dengan kala ulang tertentu dihitung parameter T , C , dan L . Sesuai dengan klasifikasi gelombang laut menurut kedalaman relatif, maka untuk laut dalam nilai dari $\tanh \frac{2\pi d}{L} \approx 1$, maka persamaannya sebagai berikut :

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} \quad (2.40)$$

$$C_o = \frac{gT}{2\pi} \quad (2.41)$$

dengan :

C_o = kecepatan rambat gelombang di laut dalam ($m \, dt^{-1}$)

L_o = panjang gelombang di laut dalam (m)

T = periode gelombang (dt)

g = percepatan gravitasi ($m \, dt^{-2}$)

2.9. Deformasi Gelombang

Suatu deretan gelombang yang bergerak menuju pantai akan mengalami perubahan (*deformasi*) yang disebabkan oleh proses refraksi dan pendangkalan dasar, difraksi, refleksi, dan gelombang pecah. Proses deformasi tersebut akan mempengaruhi beberapa karakteristik dari gelombang yang terjadi.

2.9.1. Refraksi gelombang

Refraksi gelombang adalah proses berubahnya arah perambatan gelombang dan tinggi gelombang akibat perubahan kedalaman daerah yang dilalui gelombang (variasi dasar laut). Proses ini terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Di laut dalam dimana kedalaman air lebih besar dari setengah panjang gelombang yang menjalar, tidak dipengaruhi oleh dasar laut karena jarak vertikal yang jauh antara permukaan laut tempat gelombang beraksi dan dasar laut. Karena itu di laut dalam proses refraksi tidak mempengaruhi gelombang, sedangkan di laut transisi dan laut dangkal pengaruh refraksi semakin besar (Triatmodjo, 1999 : 65).

Untuk analisa refraksi digunakan metode ortogonal yang dikemukakan oleh arthur (1952) yang dikenal sebagai “Snell’s Law”. Bila pantai mempunyai garis kedalaman paralel, maka persamaannya dirumuskan sebagai berikut (Yuwono, 1986 : 22) :

$$\frac{L_o}{\sin \alpha_0} = \frac{L_1}{\sin \alpha_1} = \frac{B_o}{\cos \alpha_0} = \frac{B_1}{\cos \alpha_1} \quad (2.42)$$

Koefisien Refraksi adalah:

$$K_R = \sqrt{\frac{B_o}{B_1}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha_1}} \quad (2.43)$$

Koefisien pendangkalan dicari berdasar nilai n_1 (d/L_0) menggunakan tabel C-1 yang dapat dilihat pada tabel lampiran. Untuk laut dalam $n_0 = 0,5$:

$$K_S = \frac{Hd}{H_0} = \sqrt{\frac{n_0 \cdot C_0}{n_1 \cdot C_1}} \quad (2.44)$$

dengan :

α_1, α_0 = sudut antara garis kedalaman dan puncak gelombang ($^\circ$)

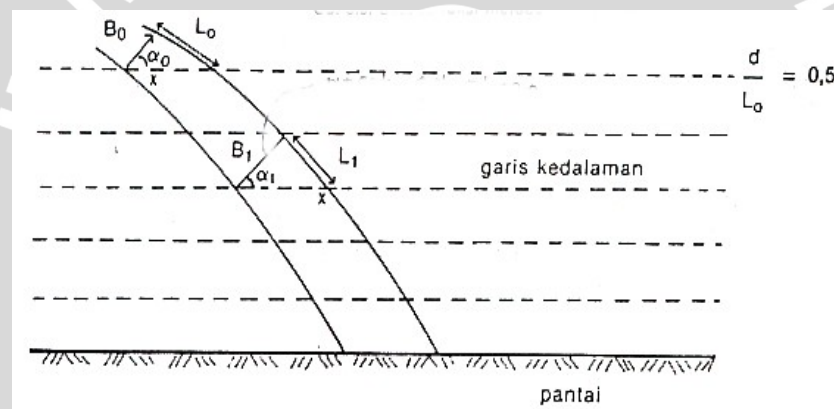
C_0, C_1 = kecepatan jalur gelombang pada tempat yang ditinjau ($m \cdot dt^{-2}$)

L_0, L_1 = panjang gelombang (m)

K_R = koefisien refraksi

K_S = koefisien pendangkalan

Skema refraksi disajikan pada gambar 2.8 berikut :



Gambar. 2.8. Refleksi gelombang pantai

Sumber : Triatmodjo, 1999 : 69

2.9.2. Difraksi gelombang

Apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung di belakangnya yang menyebabkan perpindahan energi sepanjang puncak gelombang ke arah tinggi gelombang yang lebih kecil. Dengan kata lain difraksi gelombang terjadi karena suatu deretan gelombang terhalang oleh rintangan seperti pemecah gelombang atau suatu pulau (Triatmodjo, 1999 : 79).

Pada rintangan (pemecah gelombang) tunggal, tinggi gelombang di suatu tempat di daerah terlindung tergantung pada jarak titik tersebut terhadap ujung rintangan (r), sudut antara rintangan dan garis yang menghubungkan titik tersebut dengan ujung

rintangan (β), dan sudut antara arah penjalaran gelombang dan rintangan (θ). Koefisien difraksi K adalah perbandingan antara tinggi gelombang di titik yang terletak di daerah terlindung dan tinggi gelombang datang. Tinggi gelombang akibat difraksi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Triatmodjo, 1999 : 80) :

$$H_A = K' H_p \quad (2.45)$$

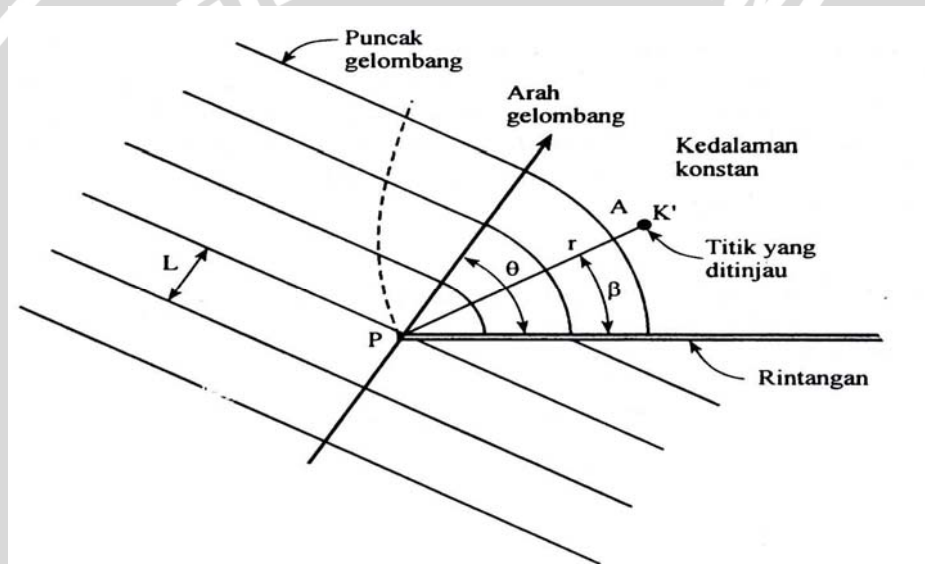
$$K' = f(\theta, \beta, r/L) \quad (2.46)$$

Dengan :

$H_{(A)}$ = tinggi gelombang di titik A yang dicari (m)

$H_{(P)}$ = tinggi gelombang titik P ujung bangunan (m)

K' = koefisien difraksi



Gambar 2.9. Skema Difraksi Gelombang

Sumber : Triatmodjo, 1999:79

2.9.3. Refleksi gelombang

Gelombang yang menjalar menuju suatu rintangan (pantai atau bangunan pantai) sebagian atau seluruh gelombang tersebut akan dipantulkan kembali. Besar kecilnya gelombang yang dipantulkan tergantung pada bentuk dan jenis rintangan. Suatu bangunan tegak dan impermeabel akan memantulkan gelombang lebih besar daripada bangunan miring dan permeabel. Hal ini dikarenakan bangunan yang mempunyai sisi miring dan permeabel akan bisa menyerap energi gelombang lebih banyak dibandingkan dengan bangunan yang tegak dan impermeabel. Besarnya kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang dinyatakan sebagai koefisien refleksi, yaitu

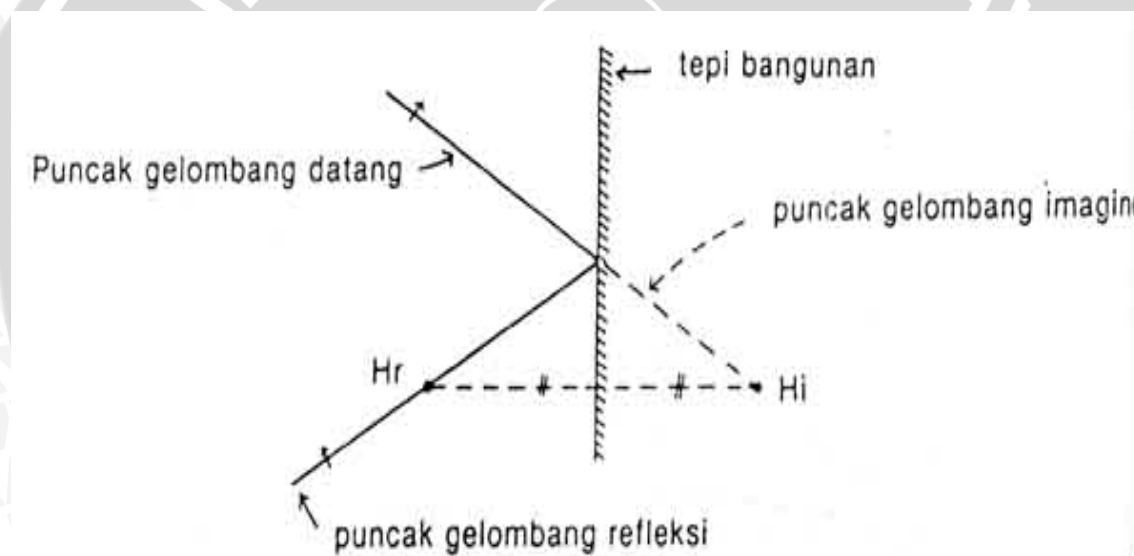
perbandingan antara tinggi gelombang refleksi (H_r) dan tinggi gelombang datang (H_i) (Triatmodjo, 1999 : 91).

$$X = \frac{H_r}{H_i} \quad (2.47)$$

Tabel 2.9 Koefisien refleksi

Tipe Bangunan	X
Dinding vertikal dengan puncak di atas air	0.7-1
Dinding vertikal dengan puncak terendam	0.5-0.7
Tumpukan batu sisi miring	0.3-0.6
Tumpukan blok beton	0.3-0.5
Bangunan vertikal dengan peredam energi (diberi lobang)	0.05-0.2

Sumber : Triatmodjo, 1999 : 91



Gambar 2.10. Refraksi Gelombang pada Pantai

Sumber : Yuwono, 1986 : 22

2.10. Gelombang Pecah

Gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk dengan puncak gelombang semakin tajam sampai akhirnya pecah pada kedalaman tertentu. Kondisi gelombang pecah tergantung pada kemiringan dasar dan kecuraman gelombang.

Kemiringan gelombang yaitu perbandingan antara tinggi gelombang dan panjang gelombang. Di laut dalam kemiringan gelombang maksimum dimana pada kemiringan tersebut kecepatan partikel di puncak gelombang akan sama dengan kecepatan rambat gelombang. Apabila kemiringan gelombang semakin tajam dari kemiringan gelombang maksimum, hal ini akan menyebabkan kecepatan partikel di puncak gelombang semakin besar dibanding kecepatan rambat gelombang sehingga terjadi ketidak stabilan dan akhirnya pecah.

Gelombang pecah dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu :

1. *Spilling*

Spilling biasanya terjadi apabila gelombang dengan kemiringan kecil menuju ke pantai yang datar (kemiringan kecil). Gelombang mulai pecah pada jarak yang cukup jauh dari pantai dan pecahnya terjadi berangsur-angsur. Buih terjadi pada puncak gelombang selama mengalami pecah dan meninggalkan suatu lapis tipis buih pada jarak yang cukup panjang.

2. *Plunging*

Apabila kemiringan gelombang dan dasar bertambah, gelombang akan pecah dan puncak gelombang memutar dengan massa air pada puncak gelombang akan terjun ke depan. Energi gelombang pecah dihancurkan dalam turbulensi, sebagian kecil akan dipantulkan pantai ke laut, dan tidak banyak gelombang baru terjadi pada air yang lebih dangkal.

3. *Surging*

Surging terjadi pada pantai dengan kemiringan yang sangat besar seperti yang terjadi pada pantai berkarang. Daerah gelombang pecah sangat sempit, dan sebagian besar energi dipantulkan kembali ke laut dalam. Gelombang pecah tipe *surging* ini mirip dengan *plunging*, tetapi sebelum puncaknya terjun, dasar gelombang sudah pecah.

2.10.1. Gelombang pecah di laut dalam

Di laut dalam tinggi gelombang yang menjalar dibatasi oleh kemiringan gelombang maksimum untuk membentuk gelombang tetap stabil. Dengan kata lain gelombang dikatakan stabil apabila tinggi gelombang yang menjalar di laut kurang dari kemiringan gelombang maksimum. Apabila gelombang mencapai kemiringan batas tersebut maka gelombang akan mulai pecah. Kemiringan batas terjadi jika kecepatan partikel air di puncak gelombang sama dengan kecepatan rambat gelombang. Adapun persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung kemiringan batas maksimum adalah sebagai berikut (Triatmodjo, 1999 : 94) :

$$\frac{H_o}{L_o} = \frac{1}{7} \approx 0.142 \quad (2.48)$$

2.10.2. Gelombang pecah di laut dangkal

Gelombang yang bergerak menuju laut dangkal kemiringan batasnya tergantung pada kedalaman relatif (d/L) dan kemiringan dasar laut (m). Perubahan kemiringan gelombang menyebabkan ketidakstabilan gelombang dan yang akhirnya pecah pada kedalaman tertentu (kedalaman gelombang pecah db). Munk (1949, dalam CERC, 1984) menurunkan suatu rumus untuk menentukan tinggi dan kedalaman gelombang pecah sebagai berikut (Triatmodjo, 1999 : 94):

$$\frac{db}{H_b} = \frac{1}{b - (aH_b / gT^2)} \quad (2.49)$$

$$a = 43.75 (1 - e^{-19m}) \quad (2.50)$$

$$b = \frac{1.56}{(1 + e^{-19.5m})} \quad (2.51)$$

2.11. Fluktuasi Muka Air Laut

Elevasi muka air merupakan parameter yang sangat penting dalam perencanaan bangunan pantai. Beberapa proses alam yang terjadi secara bersamaan membentuk variasi muka air laut dengan periode panjang. Proses alam tersebut meliputi tsunami, gelombang badai (*storm surge*), kenaikan air karena gelombang (*wave set-up*), kenaikan air karena perubahan suhu global dan pasang surut.

2.11.1. Gelombang Tsunami

Tsunami adalah gelombang yang terjadi karena gempa bumi atau letusan gunung berapi di laut. Gelombang yang terjadi bervariasi dari 0.5 m sampai 30 m dengan periode dari beberapa menit sampai satu jam. Cepat rambat gelombang tsunami tergantung pada kedalaman laut, yaitu semakin besar kedalaman semakin besar kecepatan rambatnya. Perubahan kedalaman laut menyebabkan perubahan tinggi gelombang, semakin menuju ke pantai gelombang semakin besar dan setelah sampai di pantai gelombang akan naik (*run-up*) ke daratan dengan kecepatan tinggi yang bisa menghancurkan kehidupan di daerah pantai (Triatmodjo, 1999 : 100-101).

Belum banyak perencanaan bangunan pantai yang memperhitungkan kondisi tsunami. Hal ini disebabkan belum banyak dilakukannya pencatatan gelombang tsunami di Indonesia. Di Jepang yang merupakan negara yang sering terjadi gelombang tsunami

telah banyak melakukan penelitian dan pencatatan gelombang tsunami , maka dalam perencanaan bangunan pantai didasarkan pada observasi tsunami di Jepang.

2.11.2. Kenaikan muka air karena gelombang (*wave set-up*)

Gelombang yang datang dari laut dalam menuju pantai menyebabkan fluktuasi muka air di daerah pantai terhadap muka air diam. Pada waktu gelombang pecah, akan terjadi penurunan elevasi muka air rerata terhadap elevasi muka air diam di sekitar lokasi gelombang pecah. Kemudian dari titik dimana gelombang pecah permukaan air rerata miring ke atas ke arah pantai. Turunnya muka air tersebut dikenal dengan *wave set-down*, sedang naiknya muka air disebut *wave set-up*.

Kedalaman air minimum di lokasi gelombang pecah pada saat *wave set-down* adalah d_b . Perbedaan elevasi muka air rerata dan muka air diam di titik tersebut adalah S_b . Setelah itu muka air naik dan memotong garis pantai. Perbedaan elevasi muka air antara kedua titik adalah *wave set-up* antara daerah gelombang pecah dan pantai yang diberi notasi Δs . *Wave set-up* terhadap muka air diam S_w , adalah perbedaan antara Δs dan S_b .

Wave set-up di pantai dapat dihitung dengan menggunakan teori Longuet-Higgins dan Stewart (1963, dalam CERC, 1984). Besarnya *wave set-down* di daerah gelombang pecah dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$S_b = \frac{0.536 H_b^{2/3}}{g^{1/2} T} \quad (2.52)$$

Dengan :

S_b = set-down di daerah gelombang pecah

T = periode gelombang

H'_o = tinggi gelombang laut ekivalen

d_b = kedalaman gelombang pecah

g = percepatan gravitasi

Wave set-up di pantai diberikan dalam bentuk berikut :

$$S_w = \Delta s - S_b \quad (2.53)$$

Longuet Higgins dan Stewart melakukan analisa data hasil percobaan yang dilakukan oleh Saville (1961, dalam SPM) dan hasilnya adalah $\Delta s = 0.15 d_b$. Dengan menganggap $d_b = 1.28 H_b$ maka

$$\Delta s = 0.15 d_b \quad (2.54)$$

Substitusi persamaan (2.52) ke dalam persamaan (2.52) didapat :

$$S_w = 0.19 \left[1 - 2.82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b \quad (2.55)$$

2.11.3. Kenaikan muka air karena angin (*wind set-up*)

Angin dengan kecepatan besar (badai) yang terjadi di atas permukaan laut bisa membangkitkan fluktuasi muka air laut yang besar di sepanjang pantai jika badai tersebut cukup kuat dan daerah pantai dangkal dan luas. Gelombang badai biasanya terjadi dalam waktu yang bersamaan dengan proses alam lainnya seperti pasang surut. Besarnya kenaikan muka air karena badai dapat diketahui dengan memisahkan hasil pengukuran muka air laut selama terjadi badai dengan fluktuasi muka air laut karena pasang surut.

Kenaikan muka air laut karena badai dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\Delta h = \frac{Fi}{2}$$

$$\Delta h = F.c. \frac{V^2}{2gd} \quad (2.56)$$

Dengan :

Δh = kenaikan elevasi muka air karena badai (m)

F = panjang fetch (m)

i = kemiringan muka air

c = konstanta = 3.5×10^{-6}

V = kecepatan angin (m/dt)

d = kedalaman air (m)

g = percepatan gravitasi (m/dt²)

2.11.4. Pemanasan global

Peningkatan konsentrasi gas-gas rumah kaca di atmosfer menyebabkan kenaikan suhu bumi sehingga mengakibatkan kenaikan muka air laut. Di dalam perencanaan bangunan pantai kenaikan muka air laut karena pemanasan global ini harus diperhitungkan.

2.11.5. Pasang surut air laut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Bentuk pasang surut di beberapa daerah tidak sama. Secara umum pasang surut diberbagai daerah dapat dibedakan dalam empat tipe sebagai berikut :

1. Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*)

Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hampir sama dan terjadi secara berurutan secara teratur. Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit. Pasang surut jenis ini terdapat di selat Malaka sampai laut Andaman.

2. Pasang surut harian tunggal (*diurnal*)

Dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut. Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit. Pasang surut tipe ini terjadi di perairan selat Karimata.

3. Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semi diurnal*)

Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda. Pasang surut tipe ini banyak terdapat di perairan Indonesia Timur.

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

Pada tipe ini dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda. Pasang surut jenis ini terdapat di selat Kalimantan dan pantai utara Jawa Barat.

2.11.6. *Run Up Gelombang*

Run up gelombang adalah naiknya gelombang laut yang terjadi karena pada saat bergerak dari laut dalam menuju pantai menghantam suatu bangunan. *Run up* juga merupakan faktor yang penting dalam perencanaan suatu bangunan pantai, yaitu elevasi (tinggi) bangunan. Besarnya *run up* yang terjadi sulit sekali ditentukan karena banyaknya variabel-variabel yang mempengaruhinya. Diantaranya bentuk dan kekasaran bangunan, kemiringan dasar laut di depan bangunan, dan karakteristik gelombang. Tinggi *run up* dapat diformulasikan sebagai berikut (Yuwono, 1992 : V-3)

$$R = f(H_1, T, d_s, \alpha, \beta, r, n) \quad (2.57)$$

Dengan :

R = run up gelombang (m)

H_1 = tinggi gelombang (m)

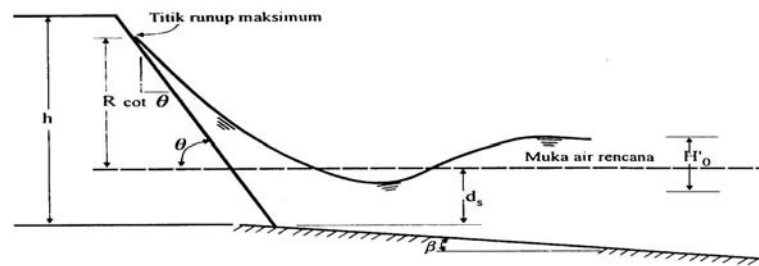
d_s = kedalaman air pada kaki bangunan (m)

n = porositas (%)

T = periode gelombang (detik)

α = kemiringan bangunan ($^{\circ}$)

β = kemiringan pantai di depan bangunan ($^{\circ}$)



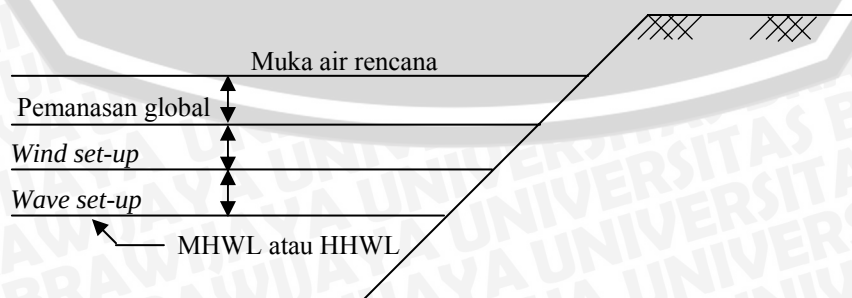
Gambar 2.11. *Run up* gelombang

Sumber : Triatmodjo,1999 : 267

Battjes (1970) menyajikan suatu hasil penelitian tentang pengaruh *surface condition* terhadap *wave run up*. Dari penelitian yang telah dilakukan didapat suatu faktor (r) yaitu perbandingan antara *wave run up* yang terjadi pada suatu bangunan dengan permukaan licin dan impermeabel dengan *wave run up* yang terjadi pada suatu bangunan dengan kondisi permukaan tertentu.

2.12. Elevasi Muka Air Laut Rencana

Elevasi muka air laut rencana merupakan penjumlahan dari beberapa parameter yang telah dijelaskan di depan yaitu tsunami, pasang surut, *wave set-up*, *wind set-up*, dan kenaikan muka air karena perubahan suhu global. Semua parameter tersebut mempunyai kemungkinan yang sangat kecil untuk terjadi secara bersamaan. Sebagai contoh, kejadian tsunami belum tentu bersamaan dengan gelombang badai. Karena penyebab terjadinya kedua peristiwa tersebut berbeda. Gempa yang menyebabkan tsunami terjadi saat cuaca cerah (tidak ada badai). Sehingga penggabungan tsunami, gelombang besar (*wave set-up* dan *wind set-up*) dan air pasang adalah kecil kemungkinan terjadinya.



Gambar 2.12 . Elevasi Muka Air Laut Rencana Tanpa Tsunami

(Sumber : Triatmodjo,1999 : 127)

2.13. Bangunan Pengaman Pantai

Bangunan pengaman pantai dibangun di sekitar pantai dengan maksud melindungi pantai dari kerusakan karena serangan gelombang dan arus. Pada dasarnya alam telah menyediakan mekanisme perlindungan pantai secara alamiah (Yuwono, 1992 : IV-2) yaitu :

a. Pantai pasir

Hampan pasir dapat berfungsi sebagai penghancur energi gelombang yang efektif dan bukit pasir (*sand dunes*) yang merupakan cadangan pasir dapat berfungsi sebagai tembok laut.

b. Pantai lumpur

Tumbuhan pantai seperti pohon kakau, pohon nipah, dan sebagainya dapat melindungi pantai dari terjangan gelombang. Tumbuhan ini dapat memecahkan energi gelombang dan memacu pertumbuhan pantai.

Disamping perlindungan secara alamiah tersebut ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk melindungi pantai (Triatmodjo, 1999 : 201-202) :

1. Memperkuat atau melindungi pantai agar mampu menahan serangan gelombang
2. Mengubah laju transpor sedimen sepanjang pantai
3. Mengurangi energi gelombang yang sampai ke pantai
4. Reklamasi dengan menambah suplai sedimen ke pantai atau dengan cara lain.

Berdasarkan fungsinya bangunan pantai dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok yaitu :

1. Konstruksi yang dibangun di pantai dan sejajar dengan garis pantai

Bangunan ini dibangun untuk melindungi pantai dari serangan gelombang secara langsung. Yang termasuk dalam bangunan ini adalah dinding pantai atau revetment.

2. Konstruksi yang dibangun kira-kira tegak lurus pantai dan sambung ke pantai

Bangunan pantai yang termasuk dalam kelompok ini misalnya groin dan jetty.

3. Konstruksi yang dibangun di lepas pantai dan kira-kira sejajar dengan garis pantai

Bangunan pantai yang termasuk dalam kelompok misalnya pemecah gelombang (*breakwater*).

Dalam pemilihan tipe bangunan pantai ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan yaitu ketersediaan material di atau di dekat lokasi pekerjaan, kondisi dasar laut, kedalam air, dan ketersediaan peralatan untuk pelaksanaan pekerjaan.

Berdasarkan fleksibilitas bahan konstruksi bangunan pengaman pantai dapat diklasifikasikan menjadi 3 kelompok yaitu :

1. Konstruksi kaku (*Fixed Rigid Structure*)
Misal : menara bor lepas pantai
2. Konstruksi semi kaku (*Semi Rigid Structure*)
Misal : sea wall
3. Konstruksi fleksibel (*Fleksible Structure*)
Misal : Rubble mound breakwater



Gambar Anjungan Lepas Pantai Berbadan Silinder



Gambar Jenis Sevan Stabilized Platform (SSP) Sebagai Unit Pengeboran



Gambar Struktur Sea Wall



Gambar Struktur Sea Wall



Gambar Tembok Laut Rembang



Gambar Revetment Bronjong



Gambar Struktur Rubber Mound Revetment



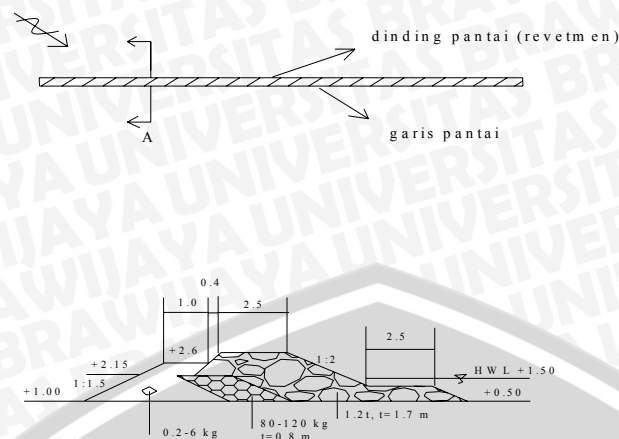
Gambar Struktur Revetment dari Cerucuk Bambu

2.13.1. Dinding pantai dan revetment

Bangunan ini digunakan untuk menahan serangan pantai secara langsung dan melindungi pantai dari erosi dan limpasan gelombang (*overtopping*) ke daratan yang dibangun pada garis pantai atau di daratan. Di dalam perencanaan bangunan ini perlu diperhatikan beberapa faktor yaitu fungsi dan bentuk bangunan, lokasi, panjang, tinggi, stabilitas bangunan dan tanah pondasi, elevasi muka air baik di depan maupun di belakang bangunan, dan ketersediaan bahan bangunan.

Dinding pantai dibangun dengan permukaan bangunan yang menghadap ke arah datangnya gelombang berupa sisi tegak. Disamping berfungsi untuk melindungi pantai dari limpasan gelombang ada hal yang perlu diperhatikan di dalam perencanaan bangunan ini atau dengan kata lain perlu memperhatikan kekurangan /kelemahan dari bangunan ini, misal erosi di kaki bangunan. Bentuk permukaan yang berupa sisi tegak mempunyai kemampuan yang kecil dalam meredam energi menyebabkan terjadinya erosi di kaki bangunan. Gelombang datang yang mengenai sisi tegak akan membelokkan energi gelombang ke arah atas dan bagian bawah kaki pondasi. Energi gelombang yang membelok ke arah bagian kaki pondasi dapat mengerosi material dasar pondasi. Berdasarkan kondisi tanah dasar dan jenis material dinding pantai dapat dibedakan dalam beberapa bentuk yang mempunyai fungsi masing-masing. Bentuk-bentuk dari dinding pantai dapat dilihat dalam gambar 2.13 (Triatmodjo,1999 : 207-211).

Revetment pada umumnya dibangun dengan sisi miring di bagian permukaan yang mengarah ke datangnya gelombang laut. Sisi miring mempunyai kelebihan dibanding dengan sisi tegak yaitu dapat menghancurkan dan menyerap energi gelombang yang datang serta dapat mengurangi terjadinya kenaikan gelombang (*wave run up*) limpasan gelombang dan erosi dasar. Di samping itu bangunan sisi miring membutuhkan banyak material dalam pembangunannya dibanding sisi tegak.



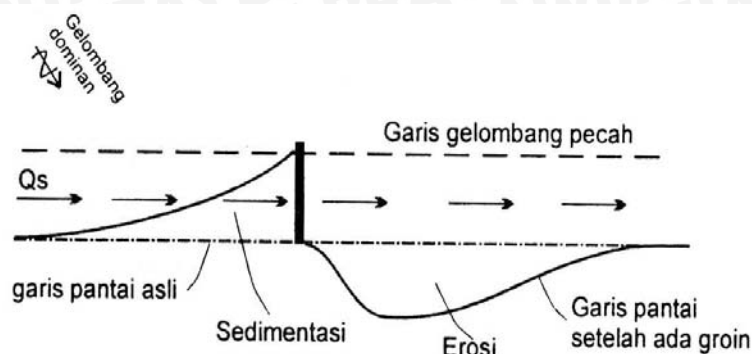
Gambar 2.13. Revetmen

Sumber : Triatmodjo,1999 : 206

2.13.2. Groin

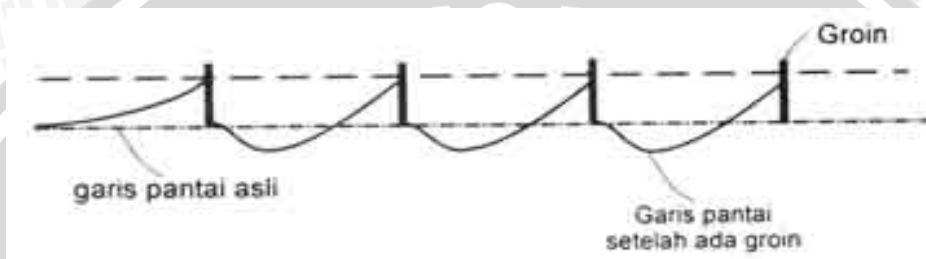
Groin adalah bangunan pengaman pantai yang dibuat tegak lurus garis pantai dan berfungsi untuk menahan transpor sedimen sepanjang pantai, sehingga dapat mengurangi atau menghentikan erosi yang terjadi. Bangunan ini juga dapat digunakan untuk menahan masuknya transpor sedimen sepanjang pantai ke pelabuhan atau muara sungai (Triatmodjo,1999 : 213).

Didalam perencanaan bangunan ini perlu diperhatikan dampak yang mungkin timbul akibat pembangunannya. Groin dapat menahan gerak sedimen sepanjang pantai, sehingga sedimen mengendap di bagian hulu groin sedang di sebelah hilir angkutan sedimen tetap terjadi sedangkan suplai sedimen dari hulu berkurang karena terhalang oleh bangunan. Hal ini dapat menyebabkan daerah hilir kekurangan (*defisit*) sedimen sehingga lambat laut pantai akan tererosi. Pada umumnya groin dipasang dalam suatu sistem seri groin yang terdiri dari beberapa groin dengan jarak tertentu. Dalam perencanaan groin panjang groin direncanakan sedemikian rupa sehingga suplai sedimen ke bagian hilir bangunan masih dimungkinkan terjadi untuk mencegah terjadinya erosi pantai di bagian ini.



Gambar 2.14. Groyne Tunggal

Sumber : Triatmodjo,1999 : 213



Gambar 2.15. Groyne Seri

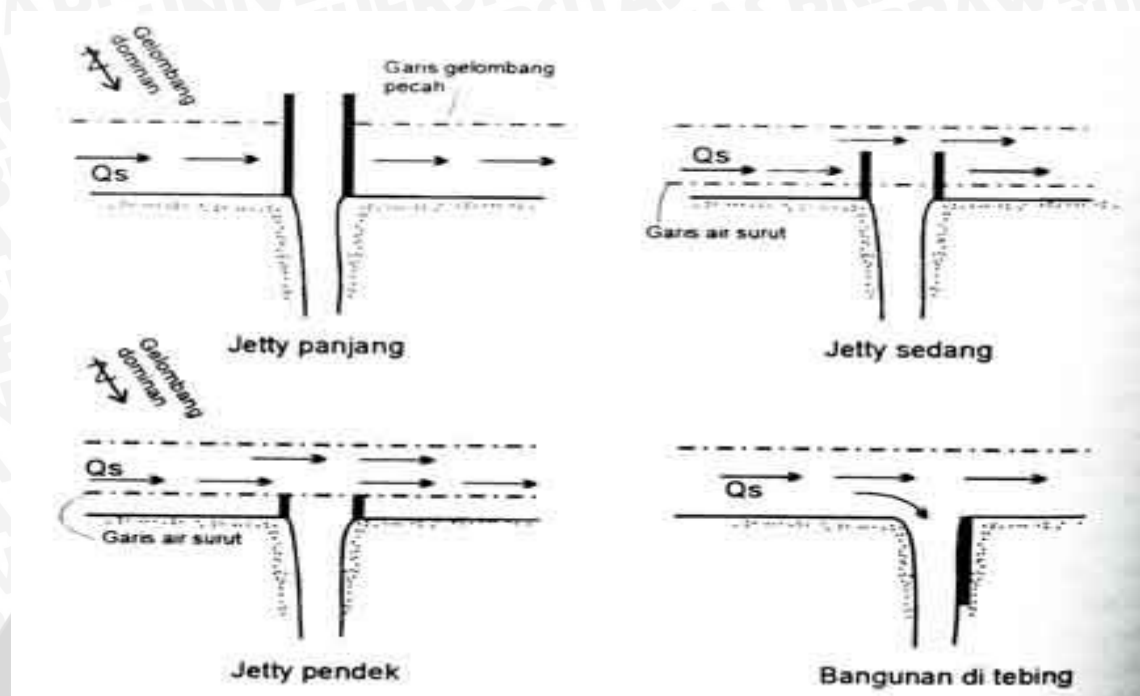
Sumber: Triatmodjo,1999 : 214

2.13.3. Jetty

Jetty adalah bangunan pengaman daerah muara sungai yang dibangun tegak lurus di kedua sisi muara sungai untuk mengurangi pendangkalan alur oleh sedimen pantai. Bangunan ini dapat digunakan untuk melindungi alur pelayaran kapal yang akan berlabuh disamping itu juga dapat digunakan mencegah terjadinya banjir (pengendalian banjir) (Triatmodjo,1999 : 220-221).

Biasanya jetty terbuat dari tumpukan batu, beton, tumpukan buis beton, turap, dan sebagainya. Berdasarkan fungsinya bangunan jetty dapat dibagi dalam beberapa tipe, yaitu jetty panjang, jetty sedang, jetty pendek dan bangunan di tebing. Jetty panjang ujungnya memanjang ke arah laut sampai di daerah luar gelombang pecah dan biasanya digunakan untuk melindungi alur pelayaran. Sedangkan jetty sedang ujungnya berada antara muka air surut dan lokasi gelombang pecah yang berfungsi untuk mencegah terjadinya banjir di daerah hilir. Pada jetty pendek kaki ujung bangunan berada pada muka air surut, tipe ini digunakan untuk mengkonsentrasikan aliran pada alur sungai yang telah ada atau mencegah terjadinya pembelokan muara sungai. Bangunan di tebing adalah bangunan yang dibangun di salah satu atau di kedua sisi muara sungai yang berfungsi sama dengan jetty pendek yaitu untuk mencegah

berbeloknya muara sungai dan mengkonsentrasikan aliran untuk tetap pada alur yang telah ada sehingga dapat mengerosi endapan.



Gambar 2.16. Tipe Jetty
Sumber : Triatmodjo,1999 : 22

2.13.4. Bangunan pemecah gelombang sejajar pantai (*Offshore Breakwater*)

Pengurangan tenaga gelombang yang menghantam pantai dapat dilakukan dengan membuat bangunan pemecah gelombang sejajar pantai (*offshore breakwater*). Dengan adanya bangunan ini diharapkan gelombang yang datang menghantam pantai sudah pecah pada suatu tempat yang agak jauh dari pantai, sehingga energi gelombang yang sampai di pantai kecil. Bangunan pemecah gelombang ini dapat berupa bangunan yang menjorok kelaut atau bangunan terapung ("*floating breakwater*"). Apabila bangunan pemecah gelombang berupa konstruksi bawah air, maka perlu diperhatikan besarnya gelombang yang masih diteruskan apakah masih cukup besar sehingga masih mampu menimbulkan kerusakan di pantai.

2.14. Stabilitas Bangunan

Di dalam perencanaan suatu bangunan perlu diperhitungkan stabilitas bangunan sehingga dapat diketahui apakah bangunan mampu menahan gaya-gaya yang bekerja padanya. Analisa stabilitas dilakukan dengan membandingkan momen tahan akibat gaya berat terhadap momen guling akibat gaya vertikal dan horizontal. Suatu bangunan

dinyatakan stabil jika momen tahan lebih besar dari momen guling, atau dengan kata lain gaya berat bangunan mampu menahan gaya vertikal dan horizontal.

2.14.1. Analisa stabilitas bangunan

Analisa kestabilan bangunan dilakukan terhadap guling, pergeseran datar, dan daya dukung tanah.

- Stabilitas terhadap guling

Bangunan dinyatakan stabil terhadap guling jika :

$$Sf = \frac{\sum M_T}{\sum M_G} > 1,5 \quad \text{Untuk kondisi normal} \quad (2.58)$$

$$Sf = \frac{\sum M_T}{\sum M_G} > 1,1 \quad \text{Untuk kondisi gempa} \quad (2.59)$$

Dimana :

Sf : Angka keamanan (*Safe factor*)

M_T : Momen tahan (ton.m)

M_G : Momen guling (ton.m)

- Stabilitas terhadap pergeseran datar

Bangunan dinyatakan stabil terhadap pergeseran datar jika :

$$Sf = \frac{f \sum V}{\sum H} > 1,5 \quad \text{Untuk kondisi normal} \quad (2.60)$$

$$Sf = \frac{f \sum V}{\sum H} > 1,1 \quad \text{Untuk kondisi gempa} \quad (2.61)$$

Dimana :

Sf : Angka keamana (*Safe factor*)

$\sum V$: Total gaya vertikal (ton)

$\sum H$: Total gaya horizontal (ton)

- Stabilitas terhadap daya dukung tanah

Bangunan dinyatakan stabil terhadap daya dukung tanah jika :

$$e = \left| \frac{\sum M}{\sum V} - \frac{L}{2} \right| \quad (2.62)$$

$$\sigma_{maks / min} = \left(\frac{\sum V}{L} \right) \left(1 \pm \frac{6e}{L} \right) < \sigma_{ijin} \quad \text{Jika } e < \frac{L}{6} \quad (2.63)$$

$$\sigma_{maks / min} = 2 \left[\frac{\sum V}{3 \left(\frac{L}{2} \pm e \right) B} \right] < \sigma_{ijin} \quad \text{Jika } e > \frac{L}{6} \quad (2.64)$$

Dimana :

Sf : Angka keamanan (*Safe factor*)

M : Momen yang bekerja pada bangunan ($M_T - M_G$) (ton.m)

$\sum V$: Total gaya vertikal (ton)

L : Panjang bangunan (m)

e : Eksentrisitas

σ : Daya dukung tanah (t/m^2)

2.14.2. Gaya-gaya yang bekerja pada bangunan

Apabila gelombang datang dari laut menghantam suatu bangunan akan menimbulkan gaya-gaya yang besarnya tergantung pada karakteristik gelombang tersebut.

➤ Gaya akibat gelombang tidak pecah

Dinding vertikal akan memantulkan gelombang datang sehingga terbentuk gelombang berdiri di depan bangunan. Tinggi gelombang di lokasi apabila tidak ada bangunan adalah sebesar H, sedangkan jika ada bangunan gelombang akan dipantulkan secara sempurna dan tinggi gelombang berdiri di depan bangunan sebesar 2H. Gelombang dikatakan tidak pecah jika kedalaman air di kaki bangunan lebih besar dari kedalaman gelombang pecah ($d_s > d_b$). Besarnya gaya yang ditimbulkan oleh gelombang tidak pecah dapat dirumuskan sebagai berikut (Triatmodjo, 1999 : 239) :

$$\Delta h = \frac{\pi \cdot H^2}{L} \left[1 + \frac{3}{4 \cdot \sinh^2(2\pi \cdot d / L)} - \frac{1}{4 \cdot \cosh^2(2\pi \cdot d / L)} \right] \coth \frac{2\pi d}{L} \quad (2.65)$$

$$Rc = \rho g \left\{ \frac{1}{2} (d + \Delta h + H) \left[d + \frac{H}{\cosh(2\pi \cdot d / L)} \right] - \frac{d^2}{2} \right\} \quad (2.66)$$

$$Mc = \rho g \left\{ \frac{1}{6} (d + \Delta h + H)^2 \left[d + \frac{H}{\cosh(2\pi \cdot d / L)} \right] - \frac{d^3}{6} \right\} \quad (2.67)$$

$$Ic = \frac{Mc}{Rc} \quad (2.68)$$

Dimana :

Δh : Tinggi muka air rerata akibat gelombang maksimum dan minimum (m)

R_c : Gaya tekan akibat gelombang klapotis (kN)

M_c : Momen akibat gelombang klapotis (kN.m)

I_c : Lengan momen (m)

➤ Gaya akibat gelombang pecah

Gelombang pecah yang menghantam dinding bangunan akan menimbulkan tekanan yang besar dengan durasi singkat. Gelombang dikatakan pecah jika kedalaman air di kaki bangunan sama dengan kedalaman gelombang pecah ($d_s = d_b$). Besarnya gaya yang ditimbulkan oleh gelombang tidak pecah dapat dirumuskan sebagai berikut (Triatmodjo, 1999 : 243) :

$$R_m = \frac{\rho_m \cdot H_b}{3} \quad (2.69)$$

$$M_m = R_m \cdot d_s = \frac{\rho_m \cdot H_b \cdot d_s}{3} \quad (2.70)$$

Dimana :

P_m : Tekanan dinamis maksimum (kN)

M_m : Momen akibat tekanan dinamis maksimum (kN.m)

H_b : Tinggi gelombang pecah (m)

d_s : Kedalaman muka air laut di kaki bangunan (m)

D : Kedalaman pada jarak satu panjang gelombang di depan dinding (m)

L_D : Panjang gelombang pada kedalaman D (m)

➤ Gaya akibat gelombang telah pecah

Kadang-kadang gelombang yang datang ke pantai telah pecah sebelum menghantam bangunan. Gelombang dikatakan telah pecah jika kedalaman air di kaki bangunan lebih kecil dari kedalaman gelombang pecah ($d_s < d_b$). Besarnya gaya yang ditimbulkan oleh gelombang tidak pecah dapat dirumuskan sebagai berikut (Triatmodjo, 1999 : 250) :

$$R_m = \frac{1}{2} \gamma \cdot d_b \cdot h_c \quad (2.71)$$

$$M_m = R_m \left(d_s + \frac{h_c}{2} \right) \quad (2.72)$$

$$R_s = \frac{\gamma (d_s + h_c)^2}{2} \quad (2.73)$$

$$M_s = R_s \frac{(d_s + h_c)}{3} = \frac{1}{6} \gamma (d_s + h_c)^3 \quad (2.74)$$

$$R_T = R_m + R_s \quad (2.75)$$

$$M_T = M_m + M_s \quad (2.76)$$

Dimana :

R_m : Gaya gelombang dinamis (kN)

M_m : Momen dinamis (kN.m)

R_s : Gaya hidrostatik (kN)

M_s : Momen hidrostatik (kN.m)

R_T : Gaya gelombang total (kN)

M_T : Momen total (kN.m)

- Gaya lateral yang bekerja pada tanah

Adapun tekanan yang terjadi pada tanah adalah tekanan aktif dan tekanan pasif. Tekanan aktif terjadi saat massa tanah mendorong dinding bangunan untuk maju dan bergeser ke arah horizontal, sedangkan tekanan pasif adalah tekanan yang berusaha mengimbangi atau menahan tekanan aktif. Besarnya tekanan aktif dan pasif dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$K_a = \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \quad (2.77)$$

$$K_p = \frac{1}{K_a} \quad (2.78)$$

$$P_a = 0,5 \cdot D_f^2 \cdot K_a \cdot \gamma \quad (2.79)$$

Dimana :

P_a : Tekanan aktif (ton)

H : Tinggi bangunan (m)

γ : Berat jenis (t/m³)

2.15. Analisa Biaya Konstruksi dan Kesesuaian Bangunan

Analisa biaya konstruksi ini dilakukan untuk memperhitungkan seberapa besar biaya yang akan dikeluarkan dalam membangun konstruksi yang direncanakan. Selanjutnya dilakukan analisa kesesuaian bangunan yang merupakan tahap akhir dari studi. Analisa ini bertujuan untuk menentukan pemilihan bangunan yang sesuai digunakan di daerah studi.

BAB III METODOLOGI KAJIAN

3.1. Umum

Obyek studi adalah Pantai Utara Tuban yaitu daerah pantai sepanjang 1 km yang berada di kelurahan Beji, kecamatan Jenu, kabupaten Tuban, propinsi Jawa Timur. Adapun batas-batas administrasi wilayah Kabupaten Tuban adalah sebagai berikut :

Sebelah Utara : Laut Jawa

Sebelah Timur : Kabupaten Lamongan

Sebelah Selatan : Kabupaten Bojonegoro

Sebelah Barat : Kabupaten Rembang Propinsi Jawa Tengah.

Secara geografis wilayah ini terletak pada 111⁰30' sampai 112⁰35' BT dan 6⁰40' sampai 7⁰18' LS.

Kabupaten Daerah Tingkat II Tuban merupakan salah satu kota yang berada di jalur pantai pantura yang mempunyai luas wilayah 183.994,562 ha (BPS Kabupaten Tuban, 2001) yang merupakan 3.84 % dari luas wilayah Jawa Timur. Daerah ini terdiri dari 19 kecamatan dan 328 desa. Sedangkan luas wilayah kawasan pesisir Kabupaten Tuban ± 36.156,76 ha yang terbagi atas lima kecamatan dengan panjang pantai 75 km yang membentang mulai dari Barat di Kecamatan Bancar sampai Timur di Kecamatan Palang. Dari 95 desa yang berada di lima kecamatan wilayah pesisir ada 44 desa berlokasi di pesisir. Sedangkan luas desa di pesisir Kabupaten Tuban sebesar 16.950 ha atau 47 % dari seluruh total luas wilayah pesisir (Tabel 3.1)

Tabel 3.1 Luas Wilayah Pesisir di Kabupaten Tuban

No.	Kecamatan Pesisir dan Pantai	Luas Kecamatan (ha)	Panjang pantai (km)	Luas Desa pesisir dan pantai (ha)	Proporsi wilayah Pesisir/Total
1.	Palang	7.270,17	12	4.209	58%
2.	Tuban	2.192,75	4.67	876.9	40%
3.	Jenu	8.161,33	34.09	5.280,80	65%
4.	Tambak boyo	7.296,91	9.07	2.837,70	39%
5.	Bancar	11.235,60	15.3	3.745,20	33%
	Jumlah	36.156,76	75.13	16.950	47%

Sumber: Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Tuban, 2002

3.2. Kondisi Masyarakat Kabupaten Tuban

Berdasarkan hasil sensus penduduk tahun 2000, penduduk Kabupaten Tuban berjumlah 1.021.920 jiwa, terdiri dari 497.600 jiwa laki-laki dan 524.320 jiwa perempuan. Untuk wilayah pesisir yang terdiri dari lima kecamatan jumlah penduduknya sebesar 280.578 jiwa, sedangkan yang tinggal di desa pesisir sebanyak 134.024 jiwa. Tingkat kepadatan penduduk wilayah pesisir mencapai 776 jiwa/km². Sebaran jumlah penduduk untuk wilayah pesisir di Kabupaten Tuban disajikan dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Penyebaran Penduduk dan tingkat kepadatan wilayah pesisir Kabupaten Tuban tahun 2002

No.	Kecamatan Pesisir dan pantai	Jumlah penduduk	Kepadatan Kecamatan (jiwa/km ²)	Jumlah penduduk pesisir&pantai	Kepadatan desa (jiwa/km ²)
1.	Palang	68.772	945,95	42.093	1000,07
2.	Tuban	77.833	3549,56	28.466	3246,21
3.	Jenu	44.489	545,12	29.905	566,30
4.	Tambak Boyo	36.540	500,76	14.322	504,70
5.	Bancar	52.944	471,22	19.238	513,67
	Jumlah	280.578	776,00	134.024	790,72

Sumber: Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Tuban, 2000

Berdasarkan data statistik tahun 2000, diketahui bahwa jumlah penduduk Kabupaten Tuban yang berprofesi di sektor perikanan sebanyak 21.310 jiwa atau 2,1 % dari total penduduk. Jumlah nelayan sebanyak 17.301 jiwa atau 81% dari total penduduk yang berprofesi di sektor perikanan.

3.3. Pengumpulan Data

Data-data yang diperlukan dalam menyelesaikan studi ini adalah :

1. Peta Kepulauan Daerah Studi

Peta ini digunakan untuk analisa panjang daerah pembangkitan gelombang (*fetch*).

2. Peta Bathimetri

Peta ini digunakan untuk analisa deformasi gelombang yang diperoleh dari Bappeda kabupaten Tuban yaitu berupa data kontur dasar laut.

3. Data Kecepatan dan Arah Angin

Data angin diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) untuk stasiun Pengamatan Meteorologi II Perak I Surabaya selama kurun waktu 10 tahun dari tahun 1996 sampai tahun 2005. Data ini dipergunakan untuk analisa pembangkitan gelombang.

4. Peta Proses Pantai

Peta ini menggambarkan pergerakan sedimen sehingga dapat diketahui jenis kerusakan yang terjadi .

5. Kondisi *Exsisting* Daerah studi

Data ini diperoleh dengan cara melakukan survey lapangan dan informasi dari penduduk setempat yang selanjutnya digunakan untuk analisa kerusakan daerah pantai.

6. Data Pasang Surut

Data pasang surut digunakan untuk perencanaan dimensi bangunan pengaman pantai (menentukan elevasi puncak konstruksi) yang diperoleh dari Teknik Kelautan ITS.

7. Peta Analisis Perubahan Garis Pantai

Menunjukkan perubahan garis pantai antara garis pantai tahun 1993/1994 dengan garis pantai tahun 2003/2004. Peta ini dapat digunakan untuk mengevaluasi jenis kerusakan pantai.

3.4. Pengolahan Data

Adapun sistematika pekerjaan studi ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisa panjang fetch berdasarkan peta lokasi studi.
2. Mengolah data angin.

Mengubah data arah dan kecepatan angin menjadi data gelombang (pembangkitan gelombang). Sehingga diperoleh tinggi gelombang signifikan, periode gelombang signifikan, dan arah gelombang datang.

3. Menggambar mawar gelombang (*Wave rose*).

Dengan cara mengelompokkan tinggi gelombang berdasarkan arah angin yang ditinjau dan mengelompokkannya dalam kelas-kelas yang berupa interval tinggi

gelombang. Yaitu dengan membuat tabel (matrik) yang barisnya berupa arah penjuru angin dan kolomnya berupa interval tinggi gelombang. Jumlah kejadian tinggi gelombang yang telah dikelompokkan dalam kelas-kelas dikonversikan dalam prosentase, selanjutnya digambar sebagai mawar gelombang.

4. Menghitung tinggi gelombang rencana.

Menentukan tinggi gelombang dengan periodenya dan menganalisa harga ekstrim dengan Metode Log Pearson Type III dengan kala ulang. Selanjutnya dilakukan uji kesesuaian distribusi yaitu uji Smirnov Kolmogorov dan uji Chi-Square.

5. Menganalisa parameter gelombang dan gelombang pecah, sehingga dapat ditentukan gelombang desain (H_d).

6. Menghitung run up, wave setup, pemanasan global, *tsunami*, dan tinggi jagaan.

7. Dari hasil perhitungan run up, wave setup, pemanasan global, *tsunami*, dan tinggi jagaan dapat ditentukan elevasi puncak konstruksi bangunan pengaman pantai.

8. Menghitung transpor sedimen sepanjang pantai dengan metode CERC.

9. Menganalisa budget sedimen pantai.

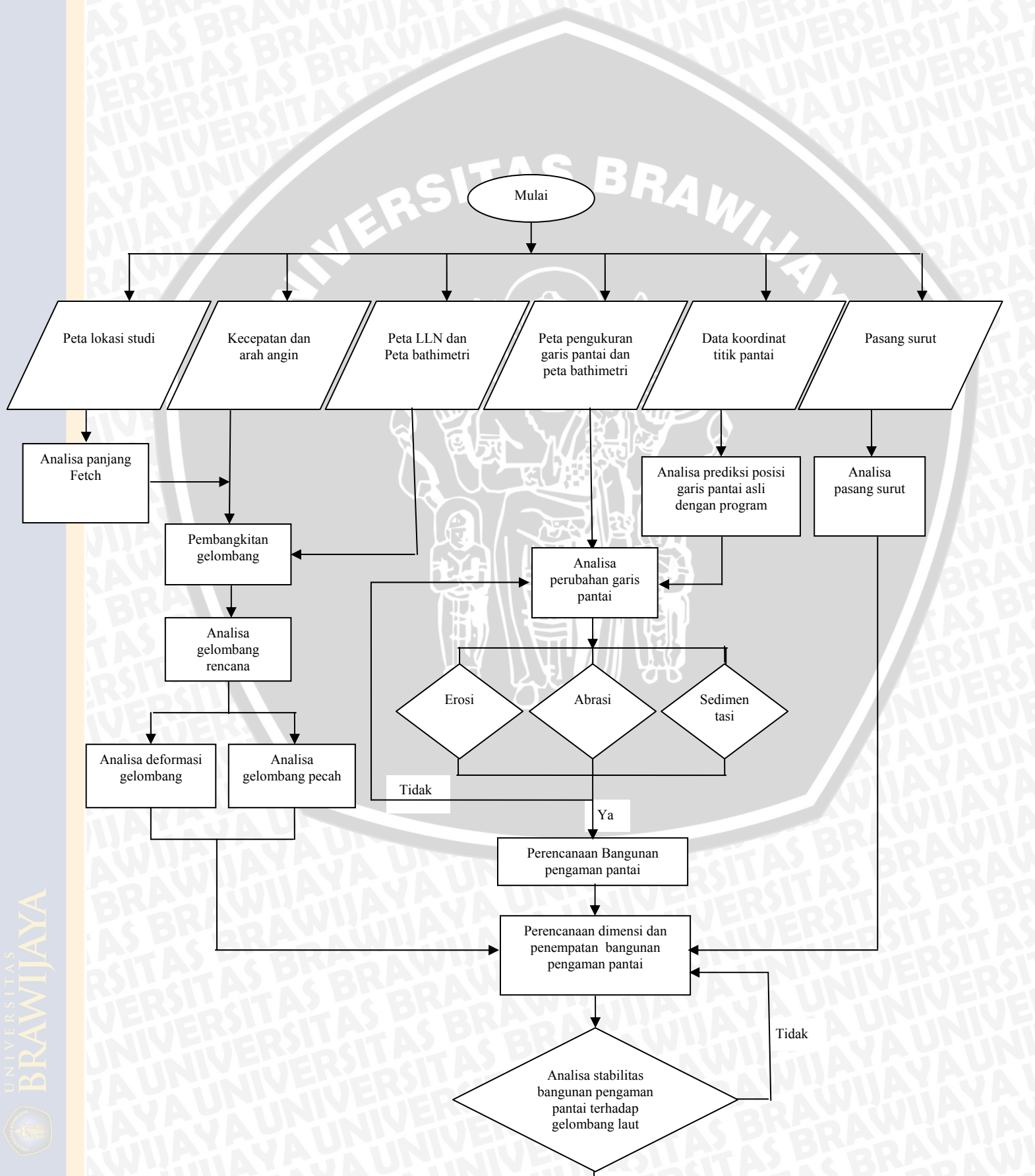
10. Menganalisa kerusakan daerah pantai dengan menganalisa peta proses pantai dan kondisi *existing* daerah studi, peta analisa perubahan garis pantai, serta dari hasil budget sedimen.

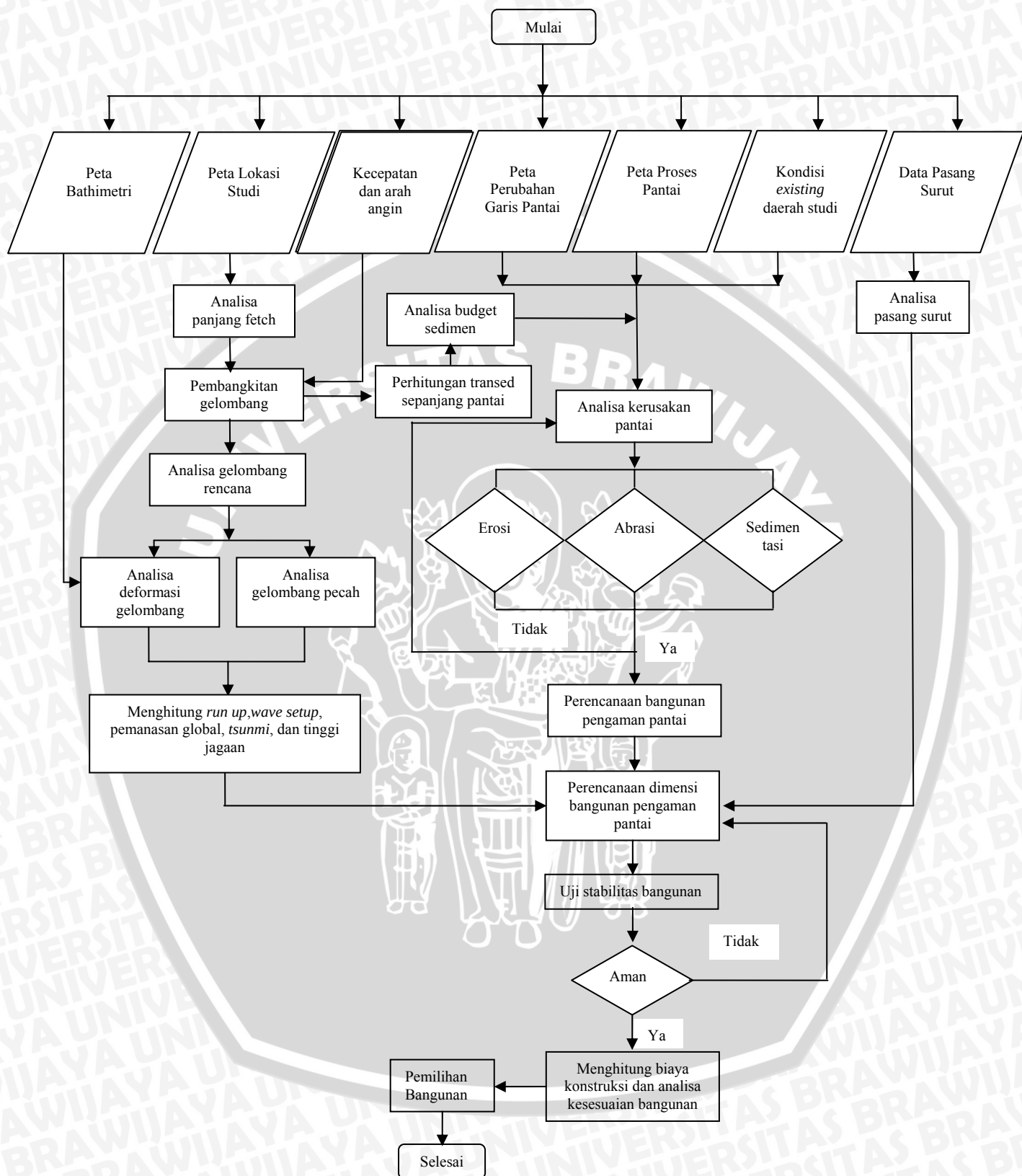
11. Setelah diketahui jenis kerusakan yang terjadi selanjutnya merencanakan bangunan pengaman pantai yang sesuai.

12. Merencanakan dimensi bangunan pengaman pantai dan menganalisa stabilitas bangunan.

3.5. Bagan Alir Pengerjaan Skripsi

Untuk memudahkan dalam pemrosesan pengerjaan dalam skripsi ini maka diperlukan adanya suatu gambaran secara sistematis dan menyeluruh berupa alir secara lengkap yang disajikan dalam gambar 3.1 berikut.

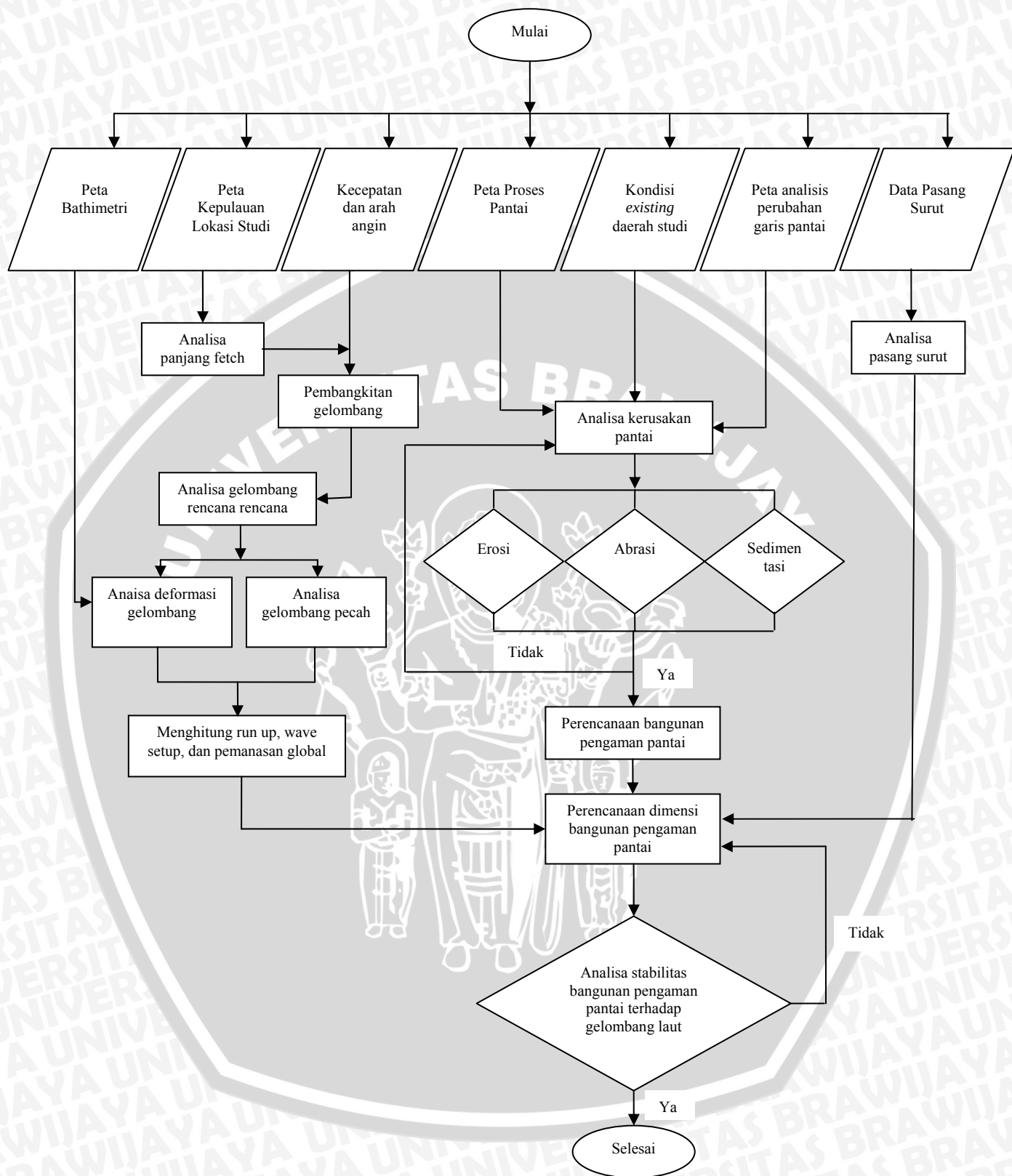




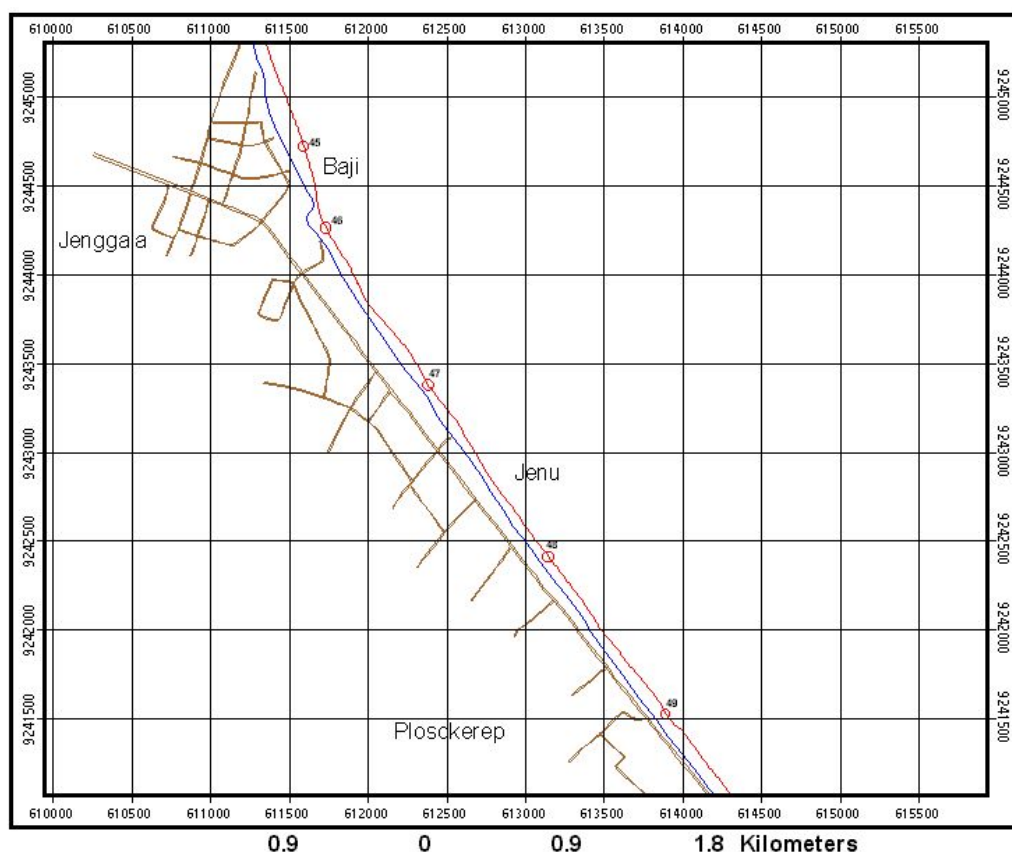
Gambar 3.1. Bagan Alir Pengerjaan Skripsi



Gambar 3.2. Peta Lokasi Studi



PETA ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI TUBAN (Segmen 6)



LEGENDA

- Jalan raya
- Dermaga
- Garis Pantai 2003
- Garis Pantai 1993/1994



Koordinat Pengamatan Titik 45 (611.482 m; 9.244.882 m)	garis pantai mundur 120 m
Koordinat Pengamatan Titik 46 (611.674 m; 9.244.360 m)	garis pantai mundur 70 m
Koordinat Pengamatan Titik 47 (612.342 m; 9.243.368 m)	garis pantai mundur 50 m
Koordinat Pengamatan Titik 48 (613.095 m; 9.242.268 m)	garis pantai mundur 60 m
Koordinat Pengamatan Titik 49 (613.838 m; 9.241.259 m)	garis pantai mundur 70 m

Gambar 3.3. Peta Analisa Perubahan Garis Pantai



BAB IV ANALISA DATA

4.1. Analisa Angkutan Sedimen Sepanjang Pantai

Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa proses yang paling berpengaruh dalam analisa keseimbangan sediment pantai adalah transport sediment sepanjang pantai. Perhitungan transport sediment sepanjang pantai dilakukan dengan menggunakan metode CERC. Berikut akan disajikan perhitungan untuk titik 0 dengan arah gelombang datang dari utara.

Diketahui data :

$$H_o = 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Prosentase kejadian gelombang dari arah U} = 4,616 \%$$

$$\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_w = 1025 \text{ kg/m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m/dt}^2$$

$$a' = 0,6$$

Sudut datang gelombang pecah terhadap garis pantai (α_b) dapat dihitung secara analitis sebagai berikut.

$$\Delta x = \text{jarak antar pias pada arah sejajar garis pantai} = 142 \text{ m}$$

$$\Delta y = \text{selisih jarak antar pias pada arah lepas pantai (of shore)} = 2,749 \text{ m}$$

$$\alpha_o = 24^\circ$$

$$\text{tg } \alpha_1 = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{2,749}{142} = 0,019359$$

$$\alpha_1 = \text{ATAN}(\text{tg } \alpha_1) = \text{ATAN}(0,019359) = 1,109^\circ$$

$$\text{tg } \alpha_b = \frac{\text{tg } \alpha_o + \text{tg } \alpha_1}{1 + (\text{tg } \alpha_o \cdot \text{tg } \alpha_1)} = \frac{\text{tg}(24) + \text{tg}(1,109)}{1 + (\text{tg}(24) \cdot \text{tg}(1,109))} = 0,461$$

$$\alpha_b = \text{ATAN}(\text{tg } \alpha_b) = \text{ATAN}(0,461) = 24,732^\circ$$

Perhitungan angkutan sediment (Q_s) adalah sebagai berikut :

$$f = 4,616/100 = 0,046$$

$$K = 0,39$$

$$K/((\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot a') = 0,39/((2650 - 1025) \cdot 9,81 \cdot 0,6) = 4,07747\text{E-}0,5$$

$$F(\alpha_b) = \cos(\alpha_b)^{(1/4)} \times \sin(2 \alpha_b) = 0,742$$

$$\text{Pls} = 0,05 \cdot \rho_w \cdot g^{(3/2)} \cdot H_o^{(5/2)} \cdot F(\alpha_b) = 0,05 \cdot 1025 \cdot 9,81^{(3/2)} \cdot 0,3^{(5/2)} \cdot 0,742 = 57,592 \text{ Nm/dt/m}$$

$$Q_i = (K/((\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot a')) \times \text{Pls} = 4,07747\text{E-}0,5 \cdot 57,592 = 0,002 \text{ m}^3/\text{dt}$$

$$Q = Q_i \cdot f \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 = 0,002 \cdot 0,046 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 = 3418,627 \text{ m}^3/\text{th}$$

Sudut datang gelombang pecah dari berbagai arah dapat dilihat pada lampiran, sedangkan besarnya transport sediment dari berbagai arah dapat dilihat pada table 4.1 sebagai berikut.

Tabel 4.1. Analisa Transpor Sedimen Dari Berbagai Arah

Titik	Arah	Ho (m)	f	α (°)	$K/((ps-pw)(g.a'))$	F(α)	Pls	Qi (m ³ /dt)	Q (m ³ /th)	Q tiap arah (m ³ /th)	Qrt & Qlt (m ³ /th)	Qn (m ³ /th)	Proses yang terjadi
0	U	0,3	0,046	24,732	4,07747E-05	0,742	57,592	0,002	3418,6268				
		0,6	0,007	24,732	4,07747E-05	0,742	325,790	0,013	3021,66775				
		0,9	0,002	24,732	4,07747E-05	0,742	897,772	0,037	2331,48641				
		1,2	0,001	24,732	4,07747E-05	0,742	1842,946	0,075	1367,45072	10139,2317			
	TL	0,3	0,020	69,170	4,07747E-05	0,513	39,845	0,002	1005,20011			13542,6631	
		0,6	0,003	69,170	4,07747E-05	0,513	225,398	0,009	1003,45951				
		0,9	0,001	69,170	4,07747E-05	0,513	621,123	0,025	921,736413				
		1,2	0,000	69,170	4,07747E-05	0,513	1275,042	0,052	473,035348	3403,43138			
	T	0,3	0,340	65,276	4,07747E-05	0,611	47,431	0,002	20728,968				-121605,2
		0,6	0,158	65,276	4,07747E-05	0,611	268,311	0,011	54350,0593				
		0,9	0,035	65,276	4,07747E-05	0,611	739,378	0,030	33191,0428				
		1,2	0,009	65,276	4,07747E-05	0,611	1517,796	0,062	16892,8771	125162,947			
	TG	0,3	0,025	21,805	4,07747E-05	0,677	52,557	0,002	1715,85415			135147,86	
		0,6	0,011	21,805	4,07747E-05	0,677	297,306	0,012	4301,67201				
		0,9	0,003	21,805	4,07747E-05	0,677	819,279	0,033	3343,43988				
		1,2	0,000	21,805	4,07747E-05	0,677	1681,817	0,069	623,946963	9984,913			
1	U	0,3	0,046	24,026	4,07747E-05	0,727	56,441	0,002	3350,28655				akresi
		0,6	0,007	24,026	4,07747E-05	0,727	319,277	0,013	2961,26292				
		0,9	0,002	24,026	4,07747E-05	0,727	879,825	0,036	2284,8787				
		1,2	0,001	24,026	4,07747E-05	0,727	1806,105	0,074	1340,11462	9936,54279			
	TL	0,3	0,020	69,970	4,07747E-05	0,492	38,219	0,002	964,181689			13201,093	
		0,6	0,003	69,970	4,07747E-05	0,492	216,200	0,009	962,512109				
		0,9	0,001	69,970	4,07747E-05	0,492	595,777	0,024	884,123827				
		1,2	0,000	69,970	4,07747E-05	0,492	1223,013	0,050	453,732559	3264,55018			
	T	0,3	0,340	65,974	4,07747E-05	0,594	46,118	0,002	20155,1996				-118207,75
		0,6	0,158	65,974	4,07747E-05	0,594	260,884	0,011	52845,6744				
		0,9	0,035	65,974	4,07747E-05	0,594	718,912	0,029	32272,3298				
		1,2	0,009	65,974	4,07747E-05	0,594	1475,784	0,060	16425,29	121698,494			
	TG	0,3	0,025	21,029	4,07747E-05	0,658	51,112	0,002	1668,67224			131408,845	
		0,6	0,011	21,029	4,07747E-05	0,658	289,131	0,012	4183,38625				
		0,9	0,003	21,029	4,07747E-05	0,658	796,751	0,032	3251,50324				
		1,2	0,000	21,029	4,07747E-05	0,658	1635,571	0,067	606,789905	9710,35164			
2	U	0,3	0,046	24,007	4,07747E-05	0,727	56,409	0,002	3348,40613				akresi
		0,6	0,007	24,007	4,07747E-05	0,727	319,098	0,013	2959,60085				
		0,9	0,002	24,007	4,07747E-05	0,727	879,331	0,036	2283,59626				
		1,2	0,001	24,007	4,07747E-05	0,727	1805,091	0,074	1339,36245	9930,96568			
	TL	0,3	0,020	69,992	4,07747E-05	0,492	38,175	0,002	963,055988			13191,7044	
		0,6	0,003	69,992	4,07747E-05	0,492	215,948	0,009	961,388357				
		0,9	0,001	69,992	4,07747E-05	0,492	595,082	0,024	883,091595				
		1,2	0,000	69,992	4,07747E-05	0,492	1221,585	0,050	453,202818	3260,73876			
	T	0,3	0,340	65,993	4,07747E-05	0,594	46,082	0,002	20139,3802				-118114,01
		0,6	0,158	65,993	4,07747E-05	0,594	260,679	0,011	52804,197				
		0,9	0,035	65,993	4,07747E-05	0,594	718,348	0,029	32247				
		1,2	0,009	65,993	4,07747E-05	0,594	1474,626	0,060	16412,3981	121602,975			

	TG	0,3	0,025	21,008	4,07747E-05	0,658	51,072	0,002	1667,36397		131305,714				
		0,6	0,011	21,008	4,07747E-05	0,658	288,904	0,012	4180,10641						
		0,9	0,003	21,008	4,07747E-05	0,658	796,126	0,032	3248,95401						
		1,2	0,000	21,008	4,07747E-05	0,658	1634,288	0,067	606,314173	9702,73857					
3	U	0,3	0,046	24,017	4,07747E-05	0,727	56,426	0,002	3349,39406		13196,6366	-118163,25	erosi		
		0,6	0,007	24,017	4,07747E-05	0,727	319,192	0,013	2960,47406						
		0,9	0,002	24,017	4,07747E-05	0,727	879,590	0,036	2284,27002						
		1,2	0,001	24,017	4,07747E-05	0,727	1805,624	0,074	1339,75762	9933,89576					
	TL	0,3	0,020	69,980	4,07747E-05	0,492	38,198	0,002	963,647301						
		0,6	0,003	69,980	4,07747E-05	0,492	216,080	0,009	961,978646						
		0,9	0,001	69,980	4,07747E-05	0,492	595,447	0,024	883,63381						
		1,2	0,000	69,980	4,07747E-05	0,492	1222,335	0,050	453,481083	3262,74084					
	T	0,3	0,340	65,983	4,07747E-05	0,594	46,101	0,002	20147,6904						
		0,6	0,158	65,983	4,07747E-05	0,594	260,787	0,011	52825,9857						
		0,9	0,035	65,983	4,07747E-05	0,594	718,644	0,029	32260,3062						
		1,2	0,009	65,983	4,07747E-05	0,594	1475,234	0,060	16419,1704	121653,153					
	TG	0,3	0,025	21,019	4,07747E-05	0,658	51,093	0,002	1668,05128		131359,891				
		0,6	0,011	21,019	4,07747E-05	0,658	289,023	0,012	4181,82949						
		0,9	0,003	21,019	4,07747E-05	0,658	796,454	0,032	3250,29325						
		1,2	0,000	21,019	4,07747E-05	0,658	1634,962	0,067	606,5641	9706,73811					
4	U	0,3	0,046	24,000	4,07747E-05	0,727	56,398	0,002	3347,73434		13188,351	-118080,53	akresi		
		0,6	0,007	24,000	4,07747E-05	0,727	319,034	0,013	2959,00706						
		0,9	0,002	24,000	4,07747E-05	0,727	879,154	0,036	2283,1381						
		1,2	0,001	24,000	4,07747E-05	0,727	1804,729	0,074	1339,09373	9928,97323					
	TL	0,3	0,020	70,000	4,07747E-05	0,492	38,159	0,002	962,654023						
		0,6	0,003	70,000	4,07747E-05	0,492	215,858	0,009	960,987089						
		0,9	0,001	70,000	4,07747E-05	0,492	594,834	0,024	882,723006						
		1,2	0,000	70,000	4,07747E-05	0,492	1221,075	0,050	453,013658	3259,37778					
	T	0,3	0,340	66,000	4,07747E-05	0,593	46,069	0,002	20133,7305		131268,881				
		0,6	0,158	66,000	4,07747E-05	0,593	260,606	0,011	52789,3838						
		0,9	0,035	66,000	4,07747E-05	0,593	718,147	0,029	32237,9537						
		1,2	0,009	66,000	4,07747E-05	0,593	1474,212	0,060	16407,794	121568,862					
	TG	0,3	0,025	21,000	4,07747E-05	0,658	51,057	0,002	1666,89665		9700,01909				
		0,6	0,011	21,000	4,07747E-05	0,658	288,823	0,012	4178,93482						
		0,9	0,003	21,000	4,07747E-05	0,658	795,903	0,032	3248,04339						
		1,2	0,000	21,000	4,07747E-05	0,658	1633,830	0,067	606,144235	9700,01909					
5	U	0,3	0,046	24,221	4,07747E-05	0,731	56,763	0,002	3369,42836		13296,8223	-119164,54	erosi		
		0,6	0,007	24,221	4,07747E-05	0,731	321,101	0,013	2978,18205						
		0,9	0,002	24,221	4,07747E-05	0,731	884,851	0,036	2297,93331						
		1,2	0,001	24,221	4,07747E-05	0,731	1816,424	0,074	1347,77134	9993,31506					
	TL	0,3	0,020	69,746	4,07747E-05	0,498	38,675	0,002	975,68762		132461,362				
		0,6	0,003	69,746	4,07747E-05	0,498	218,780	0,009	973,998116						
		0,9	0,001	69,746	4,07747E-05	0,498	602,887	0,025	894,674398						
		1,2	0,000	69,746	4,07747E-05	0,498	1237,607	0,050	459,147115	3303,50725					
	T	0,3	0,340	65,779	4,07747E-05	0,599	46,488	0,002	20316,6654		9787,92669				
		0,6	0,158	65,779	4,07747E-05	0,599	262,974	0,011	53269,0277						
		0,9	0,035	65,779	4,07747E-05	0,599	724,672	0,030	32530,8675						
		1,2	0,009	65,779	4,07747E-05	0,599	1487,607	0,061	16556,875	122673,436					
	TG	0,3	0,025	21,246	4,07747E-05	0,664	51,520	0,002	1682,0031		9787,92669				
		0,6	0,011	21,246	4,07747E-05	0,664	291,441	0,012	4216,80692						
		0,9	0,003	21,246	4,07747E-05	0,664	803,116	0,033	3277,47918						
		1,2	0,000	21,246	4,07747E-05	0,664	1648,637	0,067	611,63749	9787,92669					
6	U	0,3	0,046	24,006	4,07747E-05	0,727	56,406	0,002	3348,24263				akresi		
		0,6	0,007	24,006	4,07747E-05	0,727	319,082	0,013	2959,45634						

		TL	0,9	0,002	24,006	4,07747E-05	0,727	879,288	0,036	2283,48475	9930,48078	13190,8883			
			1,2	0,001	24,006	4,07747E-05	0,727	1805,003	0,074	1339,29705					
			0,3	0,020	69,994	4,07747E-05	0,492	38,171	0,002	962,958152					
			0,6	0,003	69,994	4,07747E-05	0,492	215,926	0,009	961,29069					
		0,9	0,001	69,994	4,07747E-05	0,492	595,021	0,024	883,001882						
		1,2	0,000	69,994	4,07747E-05	0,492	1221,461	0,050	453,156777	3260,4075					
		T	0,3	0,340	65,994	4,07747E-05	0,594	46,079	0,002	20138,0052	121594,673				
			0,6	0,158	65,994	4,07747E-05	0,594	260,662	0,011	52800,5917					
	0,9		0,035	65,994	4,07747E-05	0,594	718,299	0,029	32244,7983						
	1,2		0,009	65,994	4,07747E-05	0,594	1474,525	0,060	16411,2775						
	TG	0,3	0,025	21,006	4,07747E-05	0,658	51,068	0,002	1667,25024	9702,07671					
		0,6	0,011	21,006	4,07747E-05	0,658	288,884	0,012	4179,82127						
		0,9	0,003	21,006	4,07747E-05	0,658	796,072	0,032	3248,73239						
		1,2	0,000	21,006	4,07747E-05	0,658	1634,177	0,067	606,272814						
	7	U	0,3	0,046	24,205	4,07747E-05	0,731	56,736	0,002	3367,81943	9988,54319	13288,7648		-119083,94	erosi
			0,6	0,007	24,205	4,07747E-05	0,731	320,948	0,013	2976,75995					
0,9			0,002	24,205	4,07747E-05	0,731	884,429	0,036	2296,83603						
1,2			0,001	24,205	4,07747E-05	0,731	1815,556	0,074	1347,12777						
TL			0,3	0,020	69,765	4,07747E-05	0,498	38,637	0,002	974,717209			3300,22161		
			0,6	0,003	69,765	4,07747E-05	0,498	218,563	0,009	973,029386					
			0,9	0,001	69,765	4,07747E-05	0,498	602,287	0,025	893,784562					
			1,2	0,000	69,765	4,07747E-05	0,498	1236,376	0,050	458,690451					
T		0,3	0,340	65,795	4,07747E-05	0,598	46,457	0,002	20303,0632	122591,305					
		0,6	0,158	65,795	4,07747E-05	0,598	262,798	0,011	53233,3636						
		0,9	0,035	65,795	4,07747E-05	0,598	724,186	0,030	32509,0878						
		1,2	0,009	65,795	4,07747E-05	0,598	1486,611	0,061	16545,79						
TG		0,3	0,025	21,228	4,07747E-05	0,663	51,486	0,002	1680,88166	9781,40082					
		0,6	0,011	21,228	4,07747E-05	0,663	291,246	0,012	4213,99546						
		0,9	0,003	21,228	4,07747E-05	0,663	802,580	0,033	3275,294						
		1,2	0,000	21,228	4,07747E-05	0,663	1647,538	0,067	611,229696						
8	U	0,3	0,046	24,080	4,07747E-05	0,728	56,530	0,002	3355,56919	9952,21046	13227,4829	-118471,34	akresi		
		0,6	0,007	24,080	4,07747E-05	0,728	319,781	0,013	2965,93216						
		0,9	0,002	24,080	4,07747E-05	0,728	881,212	0,036	2288,48143						
		1,2	0,001	24,080	4,07747E-05	0,728	1808,952	0,074	1342,22768						
		TL	0,3	0,020	69,908	4,07747E-05	0,494	38,345	0,002					967,348483	3275,27239
			0,6	0,003	69,908	4,07747E-05	0,494	216,910	0,009					965,673419	
			0,9	0,001	69,908	4,07747E-05	0,494	597,734	0,024					887,027676	
			1,2	0,000	69,908	4,07747E-05	0,494	1227,029	0,050					455,222815	
	T	0,3	0,340	65,920	4,07747E-05	0,595	46,220	0,002	20199,681	121967,076					
		0,6	0,158	65,920	4,07747E-05	0,595	261,460	0,011	52962,3019						
		0,9	0,035	65,920	4,07747E-05	0,595	720,499	0,029	32343,5531						
		1,2	0,009	65,920	4,07747E-05	0,595	1479,041	0,060	16461,5397						
	TG	0,3	0,025	21,089	4,07747E-05	0,660	51,224	0,002	1672,34878	9731,74617					
		0,6	0,011	21,089	4,07747E-05	0,660	289,768	0,012	4192,60339						
		0,9	0,003	21,089	4,07747E-05	0,660	798,506	0,033	3258,66718						
		1,2	0,000	21,089	4,07747E-05	0,660	1639,174	0,067	608,126828						
9	U	0,3	0,046	24,079	4,07747E-05	0,728	56,529	0,002	3355,51252	9952,04239	13227,1996	akresi			
		0,6	0,007	24,079	4,07747E-05	0,728	319,775	0,013	2965,88207						
		0,9	0,002	24,079	4,07747E-05	0,728	881,197	0,036	2288,44278						
		1,2	0,001	24,079	4,07747E-05	0,728	1808,922	0,074	1342,20501						
	TL	0,3	0,020	69,909	4,07747E-05	0,494	38,343	0,002	967,314477	3275,15726					
		0,6	0,003	69,909	4,07747E-05	0,494	216,903	0,009	965,639473						
		0,9	0,001	69,909	4,07747E-05	0,494	597,713	0,024	886,996494						
		1,2	0,000	69,909	4,07747E-05	0,494	1226,986	0,050	455,206813						

	T	0,3	0,340	65,921	4,07747E-05	0,595	46,219	0,002	20199,2035			-118468,51	
		0,6	0,158	65,921	4,07747E-05	0,595	261,454	0,011	52961,05				
		0,9	0,035	65,921	4,07747E-05	0,595	720,482	0,029	32342,7886				
		1,2	0,009	65,921	4,07747E-05	0,595	1479,006	0,060	16461,1506	121964,193			
	TG	0,3	0,025	21,088	4,07747E-05	0,660	51,223	0,002	1672,30933		131695,709		
		0,6	0,011	21,088	4,07747E-05	0,660	289,761	0,012	4192,50449				
		0,9	0,003	21,088	4,07747E-05	0,660	798,487	0,033	3258,59031				
		1,2	0,000	21,088	4,07747E-05	0,660	1639,136	0,067	608,112483	9731,51661			
	U	0,3	0,046	24,066	4,07747E-05	0,728	56,506	0,002	3354,15045				
		0,6	0,007	24,066	4,07747E-05	0,728	319,645	0,013	2964,67816				
		0,9	0,002	24,066	4,07747E-05	0,728	880,839	0,036	2287,51385				
		1,2	0,001	24,066	4,07747E-05	0,728	1808,188	0,074	1341,66018	9948,00264			
	TL	0,3	0,020	69,925	4,07747E-05	0,494	38,311	0,002	966,49735		13220,3932		
		0,6	0,003	69,925	4,07747E-05	0,494	216,719	0,009	964,82376				
		0,9	0,001	69,925	4,07747E-05	0,494	597,208	0,024	886,247214				
		1,2	0,000	69,925	4,07747E-05	0,494	1225,950	0,050	454,822282	3272,39061			
10	T	0,3	0,340	65,934	4,07747E-05	0,595	46,193	0,002	20187,7289			-118400,51	akresi
		0,6	0,158	65,934	4,07747E-05	0,595	261,305	0,011	52930,9642				
		0,9	0,035	65,934	4,07747E-05	0,595	720,073	0,029	32324,4155				
		1,2	0,009	65,934	4,07747E-05	0,595	1478,166	0,060	16451,7994	121894,908			
	TG	0,3	0,025	21,073	4,07747E-05	0,660	51,194	0,002	1671,3612		131620,907		
		0,6	0,011	21,073	4,07747E-05	0,660	289,597	0,012	4190,12751				
		0,9	0,003	21,073	4,07747E-05	0,660	798,035	0,033	3256,74283				
		1,2	0,000	21,073	4,07747E-05	0,660	1638,206	0,067	607,767708	9725,99925			
	U	0,3	0,046	24,034	4,07747E-05	0,727	56,453	0,002	3351,02139				
		0,6	0,007	24,034	4,07747E-05	0,727	319,347	0,013	2961,91244				
		0,9	0,002	24,034	4,07747E-05	0,727	880,018	0,036	2285,37985				
		1,2	0,001	24,034	4,07747E-05	0,727	1806,501	0,074	1340,40856	9938,72224			
	TL	0,3	0,020	69,961	4,07747E-05	0,493	38,237	0,002	964,621818		13204,7626		
		0,6	0,003	69,961	4,07747E-05	0,493	216,299	0,009	962,951476				
		0,9	0,001	69,961	4,07747E-05	0,493	596,049	0,024	884,527411				
		1,2	0,000	69,961	4,07747E-05	0,493	1223,571	0,050	453,939679	3266,04038			
11	T	0,3	0,340	65,966	4,07747E-05	0,594	46,132	0,002	20161,3836			-118244,4	akresi
		0,6	0,158	65,966	4,07747E-05	0,594	260,964	0,011	52861,8885				
		0,9	0,035	65,966	4,07747E-05	0,594	719,133	0,029	32282,2316				
		1,2	0,009	65,966	4,07747E-05	0,594	1476,237	0,060	16430,3296	121735,833			
	TG	0,3	0,025	21,037	4,07747E-05	0,659	51,127	0,002	1669,18355		131449,16		
		0,6	0,011	21,037	4,07747E-05	0,659	289,219	0,012	4184,66813				
		0,9	0,003	21,037	4,07747E-05	0,659	796,995	0,032	3252,49956				
		1,2	0,000	21,037	4,07747E-05	0,659	1636,072	0,067	606,975838	9713,32708			
	U	0,3	0,046	24,034	4,07747E-05	0,727	56,453	0,002	3351,02139				
		0,6	0,007	24,034	4,07747E-05	0,727	319,347	0,013	2961,91244				
		0,9	0,002	24,034	4,07747E-05	0,727	880,018	0,036	2285,37985				
		1,2	0,001	24,034	4,07747E-05	0,727	1806,501	0,074	1340,40856	9938,72224			

Sumber : Hasil Perhitungan

4.2. Analisa Kerusakan Pantai dan Upaya Penanggulangan

Seperti yang telah dijelaskan pada bab dua, bahwa sebelum menentukan pola pengamanan pantai terlebih dahulu dilakukan analisa kerusakan daerah pantai sehingga diperoleh pola yang sesuai.

Salah satu cara untuk menganalisa kerusakan pantai adalah dengan melakukan pengamatan visual (*visual report*) di lokasi studi. Dalam studi ini dilakukan interview langsung dengan masyarakat setempat dan membuat dokumentasi daerah studi yang

mengalami kerusakan, melakukan analisa transport sediment, serta mengumpulkan data sekunder yang mungkin ada.

Dari hasil interview dengan masyarakat setempat diperoleh informasi bahwa air laut pada saat pasang tinggi pernah sampai masuk rumah penduduk dan daerah yang dulunya merupakan kawasan tambak sekarang menjadi lautan. Seorang petani tambak berupaya membuat plengsengan untuk mengamankan tambaknya dari terjangan gelombang laut. Dari analisa transport sedimen dapat diketahui bahwa daerah studi mengalami erosi. Disamping itu dari data sekunder yang berupa peta proses pantai dan peta analisa perubahan garis pantai dapat diketahui kerusakan yang terjadi di pantai. Dari peta proses pantai dapat diketahui bahwa daerah studi mengalami kerusakan akibat erosi. Sedangkan dari peta analisa perubahan garis pantai daerah studi dari tahun 1993/1994 sampai tahun 2003 mengalami kemunduran garis pantai sebesar 120 m. Jadi dalam kurun waktu satu tahun terjadi kemunduran garis pantai sebesar 12 m/tahun. Dengan melihat table 2.1 kerusakan yang terjadi termasuk dalam kriteria amat sangat berat.

Setelah melakukan beberapa usaha untuk mengidentifikasi kerusakan pantai seperti yang telah diuraikan di atas dapat disimpulkan bahwa daerah studi mengalami kerusakan akibat erosi. Melihat dari kondisi dan penyebab kerusakan pantai, serta dari tabel 2.1; 2.2; 2.3; dan 2.4, maka usaha pengamanan yang dilakukan adalah merencanakan bangunan pengaman pantai yang berupa revetment. Dalam studi ini akan direncanakan revetment dengan 3 alternatif bangunan, yaitu :

1. Revetment pasangan beton
2. Revetment pasangan batu
3. Revetment tumpukan batu

Berikut akan disajikan dokumentasi berupa foto-foto selama melaksanakan pengamatan lapangan di kelurahan Beji, kecamatan Jenu, kabupaten Tuban, peta analisa perubahan garis pantai, sedangkan untuk peta proses pantai dapat dilihat di lampiran.



Usaha petani tambak untuk menyelamatkan tambaknya dari terjangan gelombang laut dengan membangun plengsengan.



Pembuatan plengsengan setinggi 4,5 m



Reruntuhan tambak yang telah hancur diterpa gelombang laut



Air laut telah mencapai area yang dulunya merupakan kawasan tambak



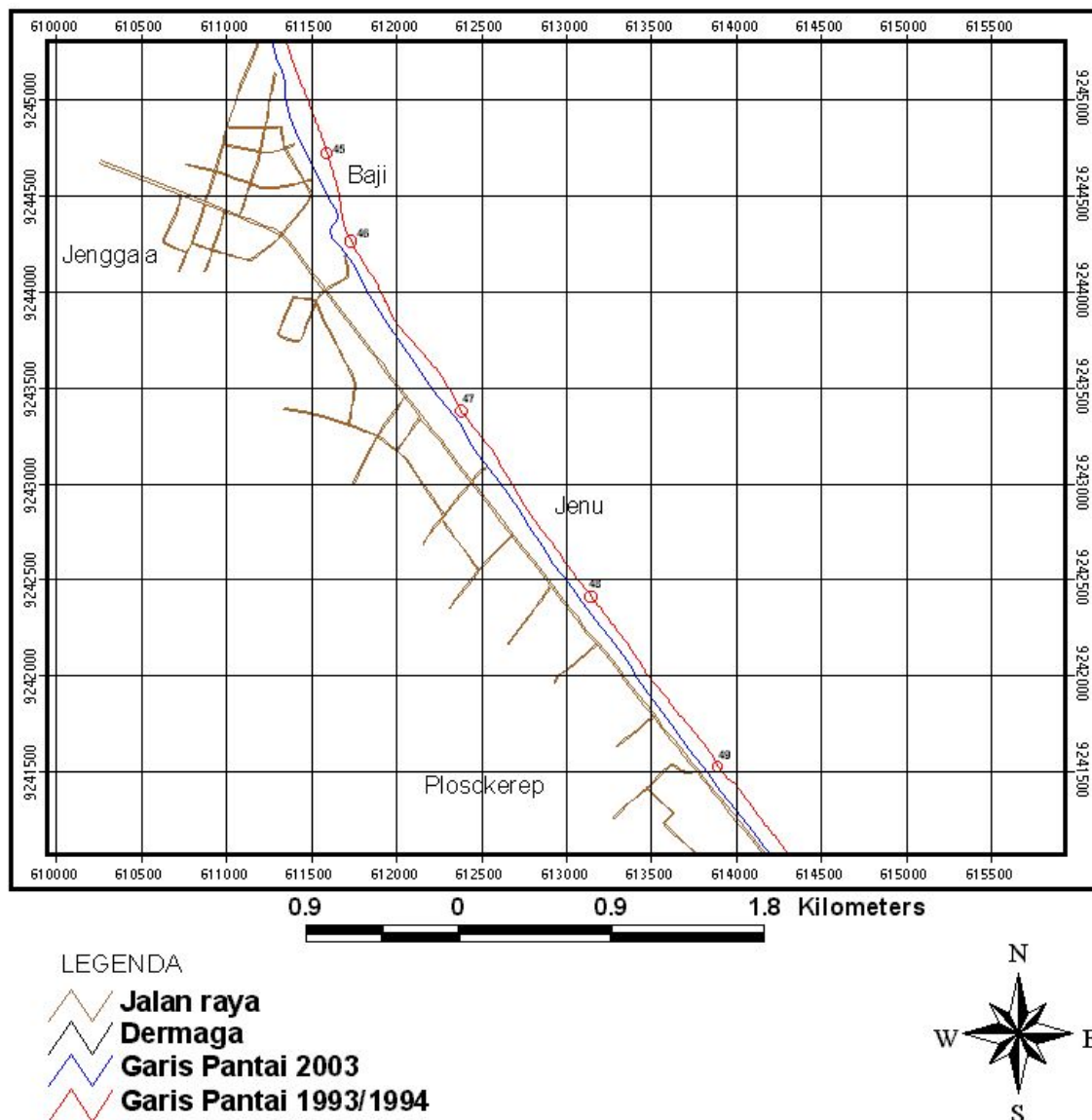
Garis pantai dari waktu ke waktu menunjukkan terjadinya kemunduran dari posisi semula



Tambak yang ada di lokasi studi

Gambar 4.1. Dokumentasi Kerusakan Pantai

PETA ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI TUBAN (Segmen 6)



Gambar 4.2. Peta Analisa Perubahan Garis Pantai

Analisa Gelombang

Pada bab sebelumnya telah dijelaskan mengenai data yang digunakan dan cara memperolehnya, setelah data diperoleh langkah selanjutnya adalah analisa data. Untuk mendapatkan data gelombang dilakukan analisa gelombang ,yaitu dengan membangkitkan gelombang dari data angin. Pada studi ini akan dilakukan analisa gelombang dengan data angin maksimum dan data angin rerata. Variabel a menunjukkan data maksimum sedang variabel b menunjukkan data rerata.

Salah satu gelombang penting di laut adalah gelombang angin. Dalam membangkitkan gelombang (peramalan gelombang) data yang digunakan adalah data angin. Karena kurangnya data gelombang di Indonesia, sedang pencatatan angin lebih mudah dan murah dan sudah banyak dilakukan di Indonesia. Adapun analisa yang dilakukan untuk mendapatkan data gelombang adalah sebagai berikut :

1. Mengolah data angin yaitu data angin yang telah diperoleh disajikan dalam bentuk tabel statistik data angin yang barisnya berupa interval kecepatan angin dan kolomnya berupa arah penjuru mata angin. Data yang disajikan dalam tabel adalah data angin dalam kurun waktu tahunan dan kurun waktu total dari tahun 1996 – 2005. Selanjutnya data angin yang telah ditabelkan dalam kurun waktu total di gambarkan dalam bentuk *windrose*.
2. Peramalan gelombang dengan data angin sebagai data masukan yang digambarkan secara visual dalam bentuk *waverose*.

4.3.1. Mengolah data angin

Arah angin dinyatakan dalam delapan penjuru arah mata angin, yaitu Utara, Timur Laut, Timur, Tenggara, Selatan, Barat Daya, Barat, dan Barat Laut. Sedangkan kecepatan angin disajikan dalam satuan knot, dimana :

$$1 \text{ knot} = 1 \text{ mil laut per jam} = 0,515 \text{ meter per detik}$$

$$1 \text{ mil laut} = 6080 \text{ kaki (feet)} = 1853 \text{ meter}$$

Telah dijelaskan di atas bahwa data masukan yang digunakan dalam peramalan gelombang adalah data angin. Data yang diperlukan dalam analisa gelombang dari hasil pengukuran angin antara lain kecepatan rata-rata, kecepatan maksimum, dan arah angin.

Data angin yang tersedia sebanyak 3619 untuk data angin maksimum dan 3466 untuk data rerata, selanjutnya dilakukan pemilihan data menurut besar dan arahnya untuk kemudian disajikan dalam bentuk *windrose*. Adapun urutan pengerjaannya adalah sebagai berikut :

- Menentukan batas – batas kelas. Setelah menentukan jumlah kelas (k) dan besar interval (i), langkah berikutnya adalah membuat kelas-kelas yang merupakan tempat dimana variabel-variabel mengelompok. Setiap kelas memiliki batas-batas yang disebut batas bawah (*lower limit*) dan batas atas (*upper limit*). Nilai batas atas dan batas bawah ditentukan oleh besarnya nilai interval kelas. Dengan nilai $k = 5$ dan nilai $i = 5$, maka variabel-variabel di atas dapat dikelompokkan menjadi 5 kelas dengan batas-batas kelas sebagai berikut : 0-5; 5-10; 10-15; 15-20; >20 untuk data maksimum. Sedangkan untuk data rerata nilai $k = 5$ dan nilai $i = 2,5$ dengan batas-batas kelas sebagai berikut : 0-2,5; 2,5-5,0; 5,0-7,5; 7,5-10; >10.
- Memasukkan data dalam kelas-kelas yang telah ditentukan. Setelah kelas-kelas dibentuk maka langkah selanjutnya adalah memasukkan data angin ke dalam kelas-kelas yang sesuai.
- Menyajikan data angin dalam bentuk *windrose*. Jumlah kejadian dalam matrik di atas selanjutnya dikonversi ke prosentase, tabel yang telah dikonversi dalam prosentase disebut tabel *windrose*. Sedangkan *windrose* sendiri merupakan visualisasi dari tabel *windrose*.

Dalam tabel 4.2 disajikan jumlah kejadian angin keseluruhan dari tahun 1996-2005 dan dalam tabel 4.3 disajikan prosentase kejadian angin keseluruhan dari tahun 1996-2005 atau bisa disebut tabel *windrose*. Yang selanjutnya dapat disajikan dalam bentuk *windrose* sebagaimana disajikan dalam gambar 4.3.

Tabel 4.2.a Jumlah Kejadian Angin Keseluruhan Tahun 1996-2005 (Maksimum)

Kecepatan (m/det)	Arah Angin								Total (kejadian)
	U	TL	T	TG	S	BD	B	BL	
0-5	6	1	10	6	1	1	25	27	77
5-10	96	50	604	44	21	13	289	174	1291
10-15	86	33	1012	87	24	12	243	138	1635
15-20	18	10	324	34	15	4	115	45	565
>20	1	0	2	0	4	3	29	12	51
Total	207	94	1952	171	65	33	701	396	3619

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.2.b. Jumlah Kejadian Angin Keseluruhan Tahun 1996-2005 (Rerata)

Kecepatan (m/det)	Arah Angin								Total (kejadian)
	U	TL	T	TG	S	BD	B	BL	
0-2.5	38	18	145	8	12	5	72	38	336
2.5-5.0	123	52	1048	80	40	20	403	238	2004
5.0-7.5	26	11	548	39	9	4	139	61	837
7.5-10	8	5	143	11	1	0	70	29	267
>10	0	0	13	1	0	1	7	0	22
Total	195	86	1897	139	62	30	691	366	3466

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.3.a Prosentase Kejadian Angin Keseluruhan Tahun 1996-2005 (Maksimum)

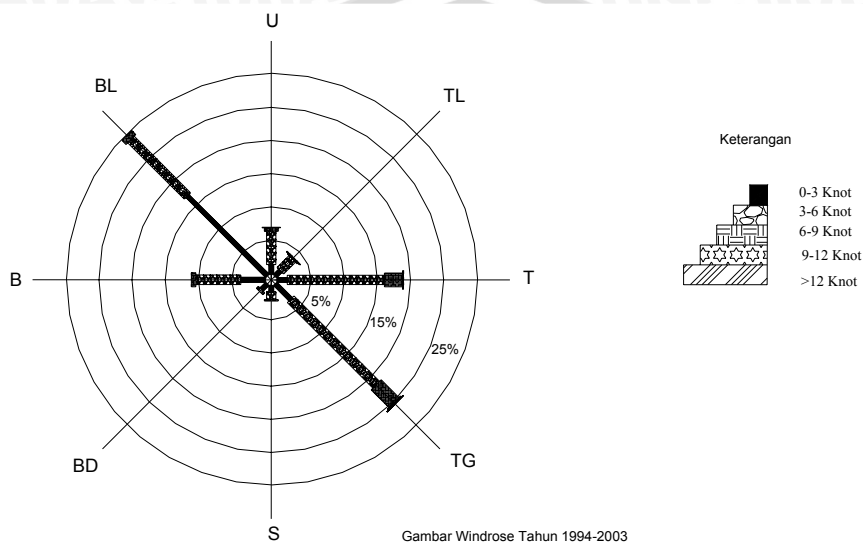
Kecepatan (m/det)	Arah Angin								Total (%)
	U	TL	T	TG	S	BD	B	BL	
0-5	0.166	0.028	0.276	0.166	0.028	0.028	0.691	0.746	2.128
5-10	2.653	1.382	16.690	1.216	0.580	0.359	7.986	4.808	35.673
10-15	2.376	0.912	27.964	2.404	0.663	0.332	6.715	3.813	45.178
15-20	0.497	0.276	8.953	0.939	0.414	0.111	3.178	1.243	15.612
>20	0.028	0.000	0.055	0.000	0.111	0.083	0.801	0.332	1.409
Total	5.720	2.597	53.938	4.725	1.796	0.912	19.370	10.942	100.000

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.3.b. Prosentase Kejadian Angin Keseluruhan Tahun 1996-2005 (Rerata)

Kecepatan (m/det)	Arah Angin								Total (%)
	U	TL	T	TG	S	BD	B	BL	
0-2.5	1.10	0.52	4.18	0.23	0.35	0.14	2.08	1.10	9.69
2.5-5.0	3.55	1.50	30.24	2.31	1.15	0.58	11.63	6.87	57.82
5.0-7.5	0.75	0.32	15.81	1.13	0.26	0.12	4.01	1.76	24.15
7.5-10	0.23	0.14	4.13	0.32	0.03	0.00	2.02	0.84	7.70
>10	0.00	0.00	0.38	0.03	0.00	0.03	0.20	0.00	0.63
Total	5.63	2.48	54.73	4.01	1.79	0.87	19.94	10.56	100.00

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar Windrose Tahun 1994-2003



4.3.2. Pembangkitan gelombang oleh angin

Angin yang berhembus di permukaan air laut merupakan pembangkit utama gelombang. Angin akan memindahkan energi ke air sehingga permukaan air yang semula tenang menjadi terganggu dan timbul riak gelombang kecil yang akhirnya terbentuk gelombang. Di dalam peramalan gelombang antara laut dangkal dan laut dalam ada perbedaan, yaitu faktor gesekan dengan dasar laut, dimana faktor ini dapat mengurangi tinggi gelombang. Laut dangkal memperhitungkan faktor gesekan dasar sedang laut dalam tidak memperhitungkan karena jarak vertikal dari dasar ke permukaan laut yang jauh.

Gelombang yang dibangkitkan oleh angin dipengaruhi oleh beberapa faktor yang meliputi kecepatan angin (U), lama hembus angin (D), arah angin, dan fetch (f). Fetch merupakan panjang daerah pembangkitan gelombang pada arah datangnya angin. Panjang fetch dihitung berdasarkan data peta kepulauan lokasi studi. Panjang fetch yang diperhitungkan adalah panjang fetch efektif (F_{eff}) karena gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam beberapa sudut terhadap arah angin. Fetch efektif digunakan untuk mengetahui apakah gelombang terbentuk pada daerah pembangkitan gelombang atau tidak. Perhitungan panjang fetch efektif dapat dilihat pada gambar 4.4, gambar 4.5, gambar 4.6, gambar 4.7. Adapun langkah-langkah dalam menghitung fetch efektif adalah sebagai berikut :

- Pertama ditarik garis-garis fetch setiap interval sudut menggunakan penambahan 6° sampai sudut 42° pada kedua sisi dari arah penjurusan dari titik lokasi studi sampai ke ujung daratan yang lainnya.
- Panjang garis fetch dihitung dari lokasi studi sampai ke daratan di ujung yang lainnya.
- Panjang fetch efektif diperoleh dengan membagi jumlah panjang garis fetch dengan jumlah kosinus sudutnya sesuai persamaan 2.15.

Perhitungan panjang fetch efektif dapat ditabelkan seperti yang terlihat pada tabel 4.4 sebagai berikut.

Dari tabel 4.4 dapat diketahui panjang fetch efektif untuk beberapa arah penjuruan sebesar :

- ❖ Fetch efektif Utara = 353,126 km
- ❖ Fetch efektif Timur Laut = 487,018 km
- ❖ Fetch efektif Timur = 273,005 km
- ❖ Fetch efektif Tenggara = 30,463 km

Karena data angin yang dipakai adalah data angin yang tidak diukur langsung di atas permukaan air laut yaitu yang diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) untuk stasiun Pengamatan Meteorologi II Perak I Surabaya selama kurun waktu 10 tahun dari tahun 1996 sampai tahun 2005. Maka perlu dilakukan koreksi lokasi, disamping itu kecepatan angin rata-rata dalam knot terlebih dahulu dikoreksi terhadap pengaruh suhu di darat dan di laut, serta koreksi terhadap faktor elevasi karena pengukuran dilakukan pada elevasi 11,5 m. Kemudian satuan knot dikonversikan dalam satuan matrik (m/detik) dilanjutkan dengan koreksi terhadap faktor durasi. Sebelum digunakan untuk membangkitkan gelombang data angin perlu dikoreksi terhadap faktor tegangan angin (U_A).

Langkah selanjutnya adalah menghitung tinggi gelombang signifikan dengan 2 kondisi yaitu kondisi fetch terbatas dan kondisi laut terbuka atau *fully develop sea*. Sebagai contoh akan dilakukan perhitungan data pada tanggal 2 Januari 1996 untuk data maksimum sebagai berikut :

Diketahui data angin tanggal 2 Januari 1996 :

- ✓ Arah angin = Utara (U)
- ✓ Kecepatan (U) = 8 knot
- ✓ Ketinggian pengukuran (z) = 11,5 m
- ✓ Perbedaan suhu di darat dan di laut ($T_a - T_s$) = 5° C

Adapun langkah-langkah dalam melakukan koreksi terhadap data angin adalah sebagai berikut :

1. Koreksi elevasi

Karena data angin yang diperoleh diukur pada ketinggian 11.5 m, maka perlu dilakukan koreksi elevasi agar data angin yang digunakan adalah data yang diukur pada elevasi 10 m dengan menggunakan persamaan 2.8.

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

$$U_{10} = 8 \times \left(\frac{10}{11.5} \right)^{1/7} = 9,802 \text{ knot}$$

2. Koreksi stabilitas dan koreksi lokasi

Pengukuran angin dilakukan di darat sehingga untuk mendapatkan data yang diukur diatas permukaan laut perlu dilakukan koreksi lokasi dengan faktor koreksi R_L (dapat dilihat pada gambar 2.6). Karena adanya perbedaan temperatur antara udara dan air laut yaitu ΔT_s ($\Delta T_s = T_a - T_s$) dimana T_a adalah temperatur udara dan T_s adalah temperatur air laut perlu juga dilakukan koreksi stabilitas dengan faktor koreksi R_T (dapat dilihat pada gambar 2.5).

Perhitungannya sebagai berikut :

$$\Delta T_s = -5^\circ \text{ C}$$

$$R_T = 1,13 \text{ (Gambar 2.5)}$$

$$\begin{aligned} R_L &= 1,9746 U_{10}^{-0,2442} \\ &= 1,9746 (9,802)^{-0,2442} \\ &= 1,12 \end{aligned}$$

Maka kecepatan angin terkoreksi dengan persamaan 2.9 adalah:

$$\begin{aligned} U_f &= R_T \times R_L \times U_{10} \\ &= 1,13 \times 1,12 \times 9,802 \\ &= 12,354 \text{ knot} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_f &= 12,354 \times 0,515 \\ &= 6,360 \text{ m/dt} \end{aligned}$$

3. Koreksi faktor durasi

Untuk menghitung faktor koreksi durasi digunakan persamaan 2.10 sampai persamaan 2.14. Adapun contoh dan langkah perhitungannya sebagai berikut :

a. Mencari waktu yang diperlukan untuk melintasi

$$t = \frac{1609}{U_f}$$

$$\begin{aligned} t &= \frac{1609}{6,360} \\ &= 253 \text{ detik} \end{aligned}$$

b. Mencari nilai $\frac{U_t}{U_{3600}}$ dengan persamaan 2.11 dan 2.12 sebagai berikut :

$$\frac{U_t}{U_{3600}} = 1,277 + 0,296 \tanh \left(0,9 \log_{10} \frac{45}{t} \right) \text{ untuk } 1 < t < 3600 \text{ detik}$$

$$\frac{U_t}{U_{3600}} = -0,15 \log_{10} t + 1,5334 \quad \text{untuk } 3600 < t < 36000 \text{ detik}$$

Maka :

$$\frac{U_t}{U_{3600}} = 1,277 + 0,296 \tanh \left(0,9 \log_{10} \frac{45}{253} \right) = 1,103 \text{ m/dt}$$

c. Mencari kecepatan angin rata-rata dalam 1 jam dengan persamaan 2.13:

$$U_{t=3600} = \frac{U_t}{\frac{U_t}{U_{3600}}}$$

$$U_{t=3600} = \frac{6,360}{1,103}$$

$$= 5,767 \text{ m/dt}$$

4. Koreksi faktor tegangan angin

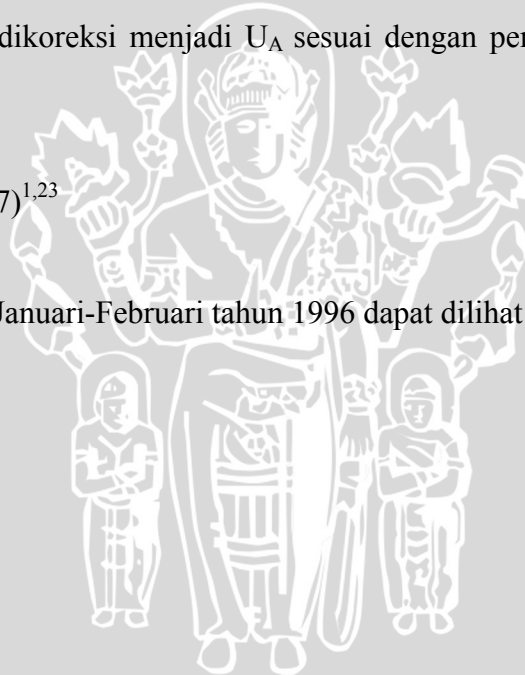
Kecepatan angin dikoreksi menjadi U_A sesuai dengan persamaan 2.14 sebagai berikut :

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

$$= 0,71 \times (5,767)^{1,23}$$

$$= 6,126 \text{ m/dt}$$

Perhitungan untuk bulan Januari-Februari tahun 1996 dapat dilihat pada tabel 4.5.



Setelah kecepatan angin terkoreksi (U_A) dan fetch efektif (F_{eff}) diperoleh, maka langkah selanjutnya adalah menghitung gelombang signifikan. Dalam analisa ini tinggi gelombang signifikan dihitung pada 2 kondisi yaitu kondisi fetch terbatas dengan menggunakan persamaan 2.16-2.18 dan kondisi laut terbuka (*fuuly develop sea*). Sebagai contoh akan dilakukan perhitungan pada data tanggal 2 Januari 1996 dengan data-data sebagai berikut :

Arah mata angin = Utara

F_{eff} Utara = 353,126 km

U_A = 6,126 m/dt

❖ Kondisi Fetch Terbatas

$$\frac{gH_s}{U_A^2} = 1,6 \times 10^{-3} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2}$$

$$H_s = 1,6 \times 10^{-3} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2} \left[\frac{U_A}{g} \right]$$

$$H_s = 1,6 \times 10^{-3} \left(\frac{9,81 \times 353126}{6,126^2} \right)^{1/2} \left[\frac{6,126}{9,81} \right]$$

$$= 1,860 \text{ m}$$

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

$$T_s = 2,857 \times 10^{-1} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3} \left[\frac{U_A}{g} \right]$$

$$T_s = 2,857 \times 10^{-1} \left(\frac{9,81 \times 353126}{6,126^2} \right)^{1/3} \left[\frac{6,126}{9,81} \right]$$

$$= 8,063 \text{ detik}$$

$$\frac{gt}{U_A} = 6,88 \times 10^1 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{2/3}$$

$$t = 6,88 \times 10^1 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{2/3} \left[\frac{U_A}{g} \right]$$

$$t = 6,88 \times 10^1 \left(\frac{9,81 \times 353126}{6,126^2} \right)^{2/3} \left[\frac{6,126}{9,81} \right]$$

$$= 877,504 \text{ detik}$$

$$L_o = \frac{gT_s^2}{2\pi} = \frac{9,81 \times 8,063^2}{2\pi} = 101,561 \text{ m}$$

Maka

$$\frac{L_o}{H_s} = \frac{101,561}{1,860} = 54,610 \rightarrow \text{Swell}$$

❖ Kondisi *Fully Develop Sea*

$$\frac{gH_s}{U_A^2} = 2,433.10^{-1}$$

$$H_s = 2,433.10^{-1} \cdot \frac{U_A^2}{g} = 2,433.10^{-1} \cdot \frac{6,126}{9,81} = 0,931 \text{ m}$$

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

$$T_s = 8,134 \cdot \frac{U_A}{g} = 8,134 \cdot \frac{6,126}{9,81} = 5,080 \text{ m}$$

$$\frac{g \cdot t}{U_A} = 7,5.10^4$$

$$t = 7,5.10^4 \cdot \frac{U_A}{g} = 7,5.10^4 \cdot \frac{6,126}{9,81} = 46838,126 \text{ detik} = 13,011 \text{ jam}$$

$$L_o = \frac{gT_s^2}{2\pi} = \frac{9,81 \times 5,080^2}{2\pi} = 40,308 \text{ m}$$

$$\frac{L_o}{H_s} = \frac{40,308}{0,931} = 43,302 \rightarrow \text{Swell}$$

Perhitungan untuk kondisi fetch terbatas pada bulan Januari-Februari 1996 dapat dilihat pada tabel 4.6, sedangkan untuk perhitungan kondisi FDS pada bulan Januari-Februari tahun 1996 dapat dilihat pada tabel 4.7.

Dari hasil perhitungan diperoleh panjang gelombang 43,302 kali tinggi gelombang signifikan berarti $L_0/H_s > 20$ maka jenis gelombang yang terbentuk adalah *swell* (Yuwono, 1996 : 40). Gelombang *swell* adalah gelombang yang terbentuk di luar daerah pembangkitan gelombang dengan kondisi gelombang landai yaitu panjang gelombang berkisar antara 30 sampai 500 kali tinggi gelombang. Karena jenis gelombang yang terbentuk adalah *swell* dimana gelombang ini merupakan gelombang laut dalam yang tidak dibatasi panjang fetch dan pantai di daerah studi dipengaruhi oleh laut bebas. Maka untuk perhitungan selanjutnya digunakan gelombang signifikan dengan kondisi gelombang terbentuk sempurna (FDS).

4.3.3. Distribusi arah gelombang signifikan

Dari analisa pembangkitan gelombang didapat tinggi gelombang signifikan, yang selanjutnya tinggi gelombang ini disajikan dalam bentuk mawar gelombang (*wave rose*). Adapun urutan pengerjaannya adalah sebagai berikut :

- Menentukan batas – batas kelas. Setelah jumlah kelas (k) dan besar interval (i) ditentukan, langkah berikutnya adalah membuat kelas-kelas yang merupakan tempat dimana variabel-variabel mengelompok. Setiap kelas memiliki batas-batas yang disebut batas bawah (*lower limit*) dan batas atas (*upper limit*). Nilai batas atas dan batas bawah ditentukan oleh besarnya nilai interval kelas. Dengan nilai $k = 5$ dan nilai $i = 0,5$ maka variabel-variabel di atas dapat dikelompokkan menjadi 5 kelas dengan batas-batas kelas sebagai berikut : 0-0,5; 0,5-1,0; 1,0-1,5; 1,5-2,0; $>2,0$ untuk data maksimum, sedang untuk data rerata nilai $k = 5$ dan nilai $i = 0,3$ dengan batas-batas kelas sebagai berikut : 0-0,3; 0,3-0,6; 0,6-0,9; 0,9-1,2; $>1,2$.
- Memasukkan data dalam kelas-kelas yang telah ditentukan. Setelah kelas-kelas dibentuk maka langkah selanjutnya adalah memasukkan data tinggi gelombang ke dalam kelas-kelas yang sesuai.
- Menyajikan data tinggi gelombang dalam bentuk *waverose*. Jumlah kejadian dalam matrik di atas selanjutnya dikonversi ke prosentase, tabel yang telah dikonversi dalam prosentase disebut tabel *waverose*. Sedangkan *waverose* sendiri merupakan visualisasi dari tabel *waverose*.

Dalam tabel 4.8 disajikan distribusi tinggi dan arah gelombang dan dalam tabel 4.9 disajikan prosentase distribusi tinggi dan arah gelombang atau bisa disebut tabel *waverose*. Yang selanjutnya dapat disajikan dalam bentuk *waverose* sebagaimana disajikan dalam gambar 4.8.

Tabel 4.8.a. Distribusi Tinggi dan Arah Gelombang (Maksimum)

Tinggi (m)	Arah				Unclear direction	Total (kejadian)
	Utara (U)	Timur Laut (TL)	Timur (T)	Tenggara (TG)		
0-0.5	11	2	46	4		
0.5-1.0	87	49	530	38		
1.0-1.5	68	24	637	51		
1.5-2.0	18	7	386	40		
>2.0	22	11	337	38		
Total	206	93	1936	171	1213	3619

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.8.b. Distribusi Tinggi dan Arah Gelombang (Rerata)

Tinggi (m)	Arah				Unclear direction	Total (kejadian)
	Utara (U)	Timur Laut (TL)	Timur (T)	Tenggara (TG)		
0-0.3	160	68	1178	88		
0.3-0.6	25	12	546	39		
0.6-0.9	7	4	121	11		
0.9-1.2	2	1	30	1		
>1.2	0	0	6	0		
Total	194	85	1881	139	1167	3466

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.9.a. Prosentase Distribusi Tinggi dan Arah Gelombang (Maksimum)

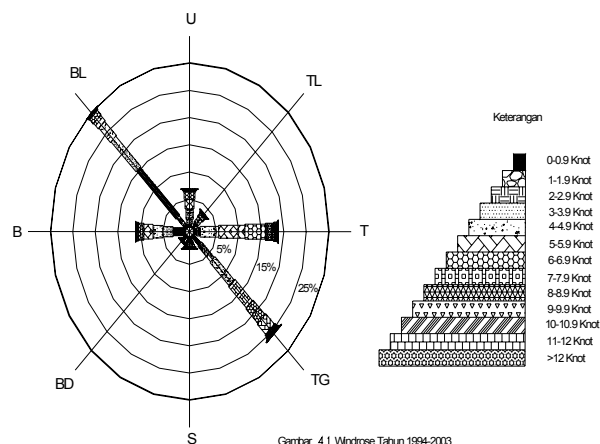
Tinggi (m)	Arah				Unclear direction	Total (%)
	Utara (U)	Timur Laut (TL)	Timur (T)	Tenggara (TG)		
0-0.5	0.304	0.055	1.271	0.111		
0.5-1.0	2.404	1.354	14.645	1.050		
1.0-1.5	1.879	0.663	17.602	1.409		
1.5-2.0	0.497	0.193	10.666	1.105		
>2.0	0.608	0.304	9.312	1.050		
Total	5.692	2.570	53.495	4.725	33.518	100.000

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.9.b. Prosentase Distribusi Tinggi dan Arah Gelombang (Rerata)

Tinggi (m)	Arah (%)				Unclear direction	Total (%)
	Utara (U)	Timur Laut (TL)	Timur (T)	Tenggara (TG)		
0-0.3	4.616	1.962	33.987	2.539		
0.3-0.6	0.721	0.346	15.753	1.125		
0.6-0.9	0.202	0.115	3.491	0.317		
0.9-1.2	0.058	0.029	0.866	0.029		
>1.2	0.000	0.000	0.173	0.000		
Total	5.597	2.452	54.270	4.010	33.670	100.000

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.1 Windrose Tahun 1994-2003
Sumber : Hasil Perhitungan

4.3.4. Analisa gelombang rencana

Bangunan pantai direncanakan untuk mampu menahan gaya-gaya yang bekerja padanya. Karena itu bangunan harus stabil meskipun dalam kondisi kritis sehingga bangunan tetap aman. Tinggi dan kala ulang gelombang rencana ditentukan berdasarkan jenis bahan konstruksi yang digunakan. Dalam studi ini direncanakan menggunakan tiga alternatif bahan konstruksi yaitu pasangan batu, pasangan beton dan tumpukan batu. Pasangan batu dan pasangan beton merupakan konstruksi semi kaku (*semi rigid structure*) dengan gelombang rencana yang dipakai adalah H_{10} . Sedangkan tumpukan batu merupakan konstruksi fleksibel (*flexible structure*) dengan gelombang rencana yang dipakai adalah H_s dan kala ulang 10 – 50 tahun.

Untuk mendapatkan tinggi gelombang rencana dengan kala ulang tertentu menggunakan metode Log Pearson Type III. Analisa ini dilakukan pada masing-masing arah *fetch*. Adapun tahapan perhitungannya adalah sebagai berikut :

1. Gelombang dari hasil analisa pembangkitan gelombang dipilih nilai tertinggi setiap tahunnya, kemudian tinggi gelombang tersebut diurutkan dari nilai terkecil ke nilai terbesar.
2. Tinggi gelombang diubah dalam bentuk logaritma.
3. Menghitung harga rerata dengan persamaan 2.33
4. Menghitung harga simpangan baku dengan persamaan 2.34
5. Menghitung harga koefisien kepercengan dengan persamaan 2.35
6. Menghitung logaritma tinggi gelombang signifikan dengan kala ulang tertentu dengan persamaan 2.36
7. Menghitung anti log dari logaritma tinggi gelombang rencana untuk mendapatkan harga tinggi gelombang signifikan dengan kala ulang yang dikehendaki.

Tabel 4.10.a. Rekapitulasi Tinggi Gelombang Tahunan (Maksimum)

Tahun	Utara		Timur Laut		Timur		Tenggara	
	Hs (m)	H ₁₀ (m)	Hs (m)	H ₁₀ (m)	Hs (m)	H ₁₀ (m)	Hs (m)	H ₁₀ (m)
1994	2.092	2.678	2.092	2.678	2.560	3.277	1.873	2.397
1995	2.709	3.467	2.808	3.594	3.065	3.923	1.276	1.633
1996	1.276	1.633	2.560	3.277	2.709	3.467	3.065	3.923
1997	2.092	2.678	1.276	1.633	2.808	3.594	2.092	2.678
1998	2.092	2.678	1.276	1.633	3.065	3.923	3.065	3.923
1999	3.065	3.923	3.065	3.923	2.560	3.277	3.065	3.923
2000	3.065	3.923	3.065	3.923	3.065	3.923	2.808	3.594
2001	3.606	4.616	1.276	1.633	3.331	4.264	3.065	3.923
2002	2.092	2.678	3.065	3.923	3.331	4.264	2.560	3.277
2003	3.065	3.923	2.560	3.277	3.065	3.923	2.560	3.277

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.10.b. Rekapitulasi Tinggi Gelombang Tahunan (Rerata)

Tahun	Utara		Timur Laut		Timur		Tenggara	
	Hs (m)	H ₁₀ (m)	Hs (m)	H ₁₀ (m)	Hs (m)	H ₁₀ (m)	Hs (m)	H ₁₀ (m)
1996	0.632	0.809	0.931	1.192	1.276	1.633	0.501	0.641
1997	0.726	0.929	0.477	0.610	1.464	1.874	0.382	0.489
1998	0.278	0.355	0.187	0.240	0.931	1.192	0.632	0.809
1999	0.382	0.489	0.382	0.489	0.931	1.192	0.382	0.489
2000	0.632	0.809	0.278	0.355	0.931	1.192	0.775	0.993
2001	0.382	0.489	0.278	0.355	1.664	2.129	1.098	1.405
2002	0.632	0.809	0.501	0.641	1.276	1.633	0.775	0.993
2003	0.501	0.641	0.382	0.489	1.098	1.405	0.632	0.809
2004	0.931	1.192	0.775	0.993	1.276	1.633	0.632	0.809
2005	0.632	0.809	0.501	0.641	1.098	1.405	0.501	0.641

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.11.a. Rekapitulasi Hs Tahunan (Utara)

Tahun	Hs (m)	H ₁₀ (m)
1998	1.276	1.633
1996	2.092	2.678
1997	2.092	2.678
1999	2.092	2.678
2000	2.092	2.678
2004	2.709	3.467
2001	3.065	3.923
2002	3.065	3.923
2005	3.065	3.923
2003	3.606	4.616

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.12.a. Rekapitulasi Hs Tahunan (Timur Laut)

Tahun	Hs (m)	H ₁₀ (m)
1999	1.276	1.633
2000	1.276	1.633
2003	1.276	1.633
1996	2.092	2.678
1998	2.560	3.277
2005	2.560	3.277
1997	2.808	3.594
2001	3.065	3.923
2002	3.065	3.923
2004	3.065	3.923

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.13.a. Rekapitulasi Hs Tahunan (Timur)

Tahun	Hs (m)	H ₁₀ (m)
1996	2.560	2.594
2001	2.560	3.277
1998	2.709	3.277
1999	2.808	3.467
1997	3.065	3.923
2000	3.065	3.923
2002	3.065	3.923
2005	3.065	3.923
2003	3.331	4.264
2004	3.331	4.264

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.14.a. Rekapitulasi Hs Tahunan (Tenggara)

Tahun	Hs (m)	H ₁₀ (m)
1997	1.276	1.633
1996	1.873	2.397
1999	2.092	2.678
2004	2.560	3.277
2005	2.560	3.277
2002	2.808	3.594
1998	3.065	3.923
2000	3.065	3.923
2001	3.065	3.923
2003	3.065	3.923

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.11.b. Rekapitulasi Hs Tahunan (Utara)

Tahun	Hs	H ₁₀
2002	0.060	0.076
2003	0.113	0.144
2001	0.133	0.171
2005	0.187	0.240
2004	0.340	0.435
1998	0.501	0.641
1999	0.632	0.809
1997	0.775	0.993
1996	0.931	1.192
2000	0.980	1.254

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.12.b. Rekapitulasi Hs Tahunan (Timur Laut)

Tahun	Hs	H ₁₀
1998	0.187	0.240
2000	0.278	0.355
2001	0.278	0.355
1999	0.382	0.489
2003	0.382	0.489
1997	0.477	0.610
2002	0.501	0.641
2005	0.501	0.641
2004	0.775	0.993
1996	0.931	1.192

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.13.b. Rekapitulasi Hs Tahunan (Timur)

Tahun	Hs	H ₁₀
1998	0.931	1.192
1999	0.931	1.192
2000	0.931	1.192
2003	1.098	1.405
2005	1.098	1.405
1996	1.276	1.633
2002	1.276	1.633
2004	1.276	1.633
1997	1.464	1.874
2001	1.664	2.129

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.14.b. Rekapitulasi Hs Tahunan (Tenggara)

Tahun	Hs	H ₁₀
1997	0.382	0.489
1999	0.382	0.489
1996	0.501	0.641
2005	0.501	0.641
1998	0.632	0.809
2003	0.632	0.809
2004	0.632	0.809
2000	0.775	0.993
2002	0.775	0.993
2001	1.098	1.405

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.15.a. Analisa Log Pearson Tipe III Untuk Hs (Utara)

No	Tahun	Hs (m)	Peluang (%)	Log Hs _i
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	1998	1.276	9.091	0.106
2	1996	2.092	18.182	0.321
3	1997	2.092	27.273	0.321
4	1999	2.092	36.364	0.321
5	2000	2.092	45.455	0.321
6	2004	2.709	54.545	0.433
7	2001	3.065	63.636	0.486
8	2002	3.065	72.727	0.486
9	2005	3.065	81.818	0.486
10	2003	3.606	90.909	0.557

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil analisa didapat:

$$\overline{\text{Log}H_s} = 0,384$$

$$S_i = 0,132$$

$$C_s = -0,011$$

Tabel 4.16.a. Analisa Log Pearson Tipe III Untuk Hs (Timur Laut)

No	Tahun	Hs (m)	Peluang (%)	Log Hs _i
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	1999	1.276	9.091	0.106
2	2000	1.276	18.182	0.106
3	2003	1.276	27.273	0.106
4	1996	2.092	36.364	0.321
5	1998	2.560	45.455	0.408
6	2005	2.560	54.545	0.408
7	1997	2.808	63.636	0.448
8	2001	3.065	72.727	0.486
9	2002	3.065	81.818	0.486
10	2004	3.065	90.909	0.486

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil analisa didapat:

$$\overline{\text{Log}H_s} = 0,336$$

$$S_i = 0,167$$

$$C_s = -0,012$$

Tabel 4.17.a. Analisa Log Pearson Tipe III Untuk Hs (Timur)

No	Tahun	Hs (m)	Peluang (%)	Log Hs _i
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	1996	2.560	9.091	0.408
2	2001	2.560	18.182	0.408
3	1998	2.709	27.273	0.433
4	1999	2.808	36.364	0.448
5	1997	3.065	45.455	0.486
6	2000	3.065	54.545	0.486
7	2002	3.065	63.636	0.486
8	2005	3.065	72.727	0.486
9	2003	3.331	81.818	0.523
10	2004	3.331	90.909	0.523

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil analisa didapat:

$$\overline{\text{Log}H_s} = 0,469$$

$$S_i = 0,042$$

$$C_s = -0,001$$

Tabel 4.18.a. Analisa Log Pearson Tipe III Untuk Hs (Tenggara)

No	Tahun	Hs (m)	Peluang (%)	Log Hs _i
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	1997	1.276	9.091	0.106
2	1996	1.873	18.182	0.273
3	1999	2.092	27.273	0.321
4	2004	2.56	36.364	0.408
5	2005	2.56	45.455	0.408
6	2002	2.808	54.545	0.448
7	1998	3.065	63.636	0.486
8	2000	3.065	72.727	0.486
9	2001	3.065	81.818	0.486
10	2003	3.065	90.909	0.486

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil analisa didapat:

$$\overline{\text{Log}H_s} = 0,391$$

$$S_i = 0,125$$

$$C_s = -0,019$$

Tabel 4.19.a. Analisa Log Pearson Tipe III Untuk H_{10} (Utara)

No	Tahun	H_{10} (m)	Peluang (%)	Log H_{s_i}
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	1998	1.633	9.091	0.213
2	1996	2.678	18.182	0.428
3	1997	2.678	27.273	0.428
4	1999	2.678	36.364	0.428
5	2000	2.678	45.455	0.428
6	2004	3.467	54.545	0.540
7	2001	3.923	63.636	0.594
8	2002	3.923	72.727	0.594
9	2005	3.923	81.818	0.594
10	2003	4.616	90.909	0.664

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil analisa didapat:

$$\overline{\text{Log}H_s} = 0,491$$

$$S_i = 0,132$$

$$C_s = -0,011$$

Tabel 4.20.a. Analisa Log Pearson Tipe III Untuk H_{10} (Timur Laut)

No	Tahun	H_{10} (m)	Peluang (%)	Log H_{s_i}
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	1999	1.633	9.091	0.213
2	2000	1.633	18.182	0.213
3	2003	1.633	27.273	0.213
4	1996	2.678	36.364	0.428
5	1998	3.277	45.455	0.515
6	2005	3.277	54.545	0.515
7	1997	3.594	63.636	0.556
8	2001	3.923	72.727	0.594
9	2002	3.923	81.818	0.594
10	2004	3.923	90.909	0.594

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil analisa didapat:

$$\overline{\text{Log}H_s} = 0,443$$

$$S_i = 0,167$$

$$C_s = -0,012$$

Tabel 4.21.a. Analisa Log Pearson Tipe III Untuk H_{10} (Timur)

No	Tahun	H_{10} (m)	Peluang (%)	Log H_{s_i}
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	1996	2.594	9.091	0.414
2	2001	3.277	18.182	0.515
3	1998	3.277	27.273	0.515
4	1999	3.467	36.364	0.540
5	1997	3.923	45.455	0.594
6	2000	3.923	54.545	0.594
7	2002	3.923	63.636	0.594
8	2005	3.923	72.727	0.594
9	2003	4.264	81.818	0.630
10	2004	4.264	90.909	0.630

Sumber : Hasil Perhitungan

$$\overline{\text{Log}H_s} = 0,562$$

$$S_i = 0,067$$

$$C_s = -0,008$$

Tabel 4.22.a. Analisa Log Pearson Tipe III Untuk H_{10} (Tenggara)

No	Tahun	H_{10} (m)	Peluang (%)	Log H_{s_i}
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	1997	1.633	9.091	0.213
2	1996	2.397	18.182	0.380
3	1999	2.678	27.273	0.428
4	2004	3.277	36.364	0.515
5	2005	3.277	45.455	0.515
6	2002	3.594	54.545	0.556
7	1998	3.923	63.636	0.594
8	2000	3.923	72.727	0.594
9	2001	3.923	81.818	0.594
10	2003	3.923	90.909	0.594

Sumber : Hasil Perhitungan

$$\overline{\text{Log}H_s} = 0,498$$

$$S_i = 0,125$$

$$C_s = -0,019$$

Tabel 4.15.b. Analisa Log Pearson Tipe III Untuk Hs (Utara)

No	Tahun	Hs	Peluang (%)	Log Hs _i
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	1998	0.278	9.091	-0.556
2	1999	0.382	18.182	-0.418
3	2001	0.382	27.273	-0.418
4	2003	0.501	36.364	-0.300
5	1996	0.632	45.455	-0.199
6	2000	0.632	54.545	-0.199
7	2001	0.632	63.636	-0.199
8	2005	0.632	72.727	-0.199
9	1997	0.726	81.818	-0.139
10	2004	0.931	90.909	-0.031

Sumber : Hasil Perhitungan

$$\overline{\text{Log}H_s} = -0,266$$

$$S_i = 0,157$$

$$C_s = -0,009$$

Tabel 4.16.b. Analisa Log Pearson Tipe III Untuk Hs (Timur Laut)

No	Tahun	Hs	Peluang (%)	Log Hs _i
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	1998	0.187	9.091	-0.728
2	2000	0.278	18.182	-0.556
3	2001	0.278	27.273	-0.556
4	1999	0.382	36.364	-0.418
5	2003	0.382	45.455	-0.418
6	1997	0.477	54.545	-0.321
7	2002	0.501	63.636	-0.300
8	2005	0.501	72.727	-0.300
9	2004	0.775	81.818	-0.111
10	1996	0.931	90.909	-0.031

Sumber : Hasil Perhitungan

$$\overline{\text{Log}H_s} = -0,374$$

$$S_i = 0,210$$

$$C_s = 0,001$$

Tabel 4.17.b. Analisa Log Pearson Tipe III Untuk Hs (Timur)

No	Tahun	Hs	Peluang (%)	Log Hs _i
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	1998	0.931	9.091	-0.031
2	1999	0.931	18.182	-0.031
3	2000	0.931	27.273	-0.031
4	2003	1.098	36.364	0.041
5	2005	1.098	45.455	0.041
6	1996	1.276	54.545	0.106
7	2002	1.276	63.636	0.106
8	2004	1.276	72.727	0.106
9	1997	1.464	81.818	0.166
10	2001	1.664	90.909	0.221

Sumber : Hasil Perhitungan

$$\overline{\text{Log}H_s} = 0,069$$

$$S_i = 0,087$$

$$C_s = 0,003$$

Tabel 4.18.b. Analisa Log Pearson Tipe III Untuk Hs (Tenggara)

No	Tahun	Hs	Peluang (%)	Log Hs _i
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	1997	0.382	9.091	-0.418
2	1999	0.382	18.182	-0.418
3	1996	0.501	27.273	-0.300
4	2005	0.501	36.364	-0.300
5	1998	0.632	45.455	-0.199
6	2003	0.632	54.545	-0.199
7	2004	0.632	63.636	-0.199
8	2000	0.775	72.727	-0.111
9	2002	0.775	81.818	-0.111
10	2001	1.098	90.909	0.041

Sumber : Hasil Perhitungan

$$\overline{\text{Log}H_s} = -0,221$$

$$S_i = 0,143$$

$$C_s = 0,003$$

Tabel 4.19.b. Analisa Log Pearson Tipe III Untuk H_{10} (Utara)

No	Tahun	H_{10}	Peluang (%)	Log H_{s_i}
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	1998	0.355	9.091	-0.450
2	1999	0.489	18.182	-0.311
3	2001	0.489	27.273	-0.311
4	2003	0.641	36.364	-0.193
5	1996	0.809	45.455	-0.092
6	2000	0.809	54.545	-0.092
7	2001	0.809	63.636	-0.092
8	2005	0.809	72.727	-0.092
9	1997	0.929	81.818	-0.032
10	2004	1.192	90.909	0.076

Sumber : Hasil Perhitungan

$$\overline{\text{Log}H_s} = -0,159$$

$$S_i = 0,157$$

$$C_s = -0,009$$

Tabel 4.20.b. Analisa Log Pearson Tipe III Untuk H_{10} (Timur Laut)

No	Tahun	H_{10}	Peluang (%)	Log H_{s_i}
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	1998	0.240	9.091	-0.620
2	2000	0.355	18.182	-0.450
3	2001	0.355	27.273	-0.450
4	1999	0.489	36.364	-0.311
5	2003	0.489	45.455	-0.311
6	1997	0.610	54.545	-0.215
7	2002	0.641	63.636	-0.193
8	2005	0.641	72.727	-0.193
9	2004	0.993	81.818	-0.003
10	1996	1.192	90.909	0.076

Sumber : Hasil Perhitungan

$$\overline{\text{Log}H_s} = -0,267$$

$$S_i = 0,210$$

$$C_s = 0,001$$

Tabel 4.21.b. Analisa Log Pearson Tipe III Untuk H_{10} (Timur)

No	Tahun	H_{10}	Peluang (%)	Log H_{s_i}
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	1998	1.192	9.091	0.076
2	1999	1.192	18.182	0.076
3	2000	1.192	27.273	0.076
4	2003	1.405	36.364	0.148
5	2005	1.405	45.455	0.148
6	1996	1.633	54.545	0.213
7	2002	1.633	63.636	0.213
8	2004	1.633	72.727	0.213
9	1997	1.874	81.818	0.273
10	2001	2.129	90.909	0.328

Sumber : Hasil Perhitungan

$$\overline{\text{Log}H_s} = 0,176$$

$$S_i = 0,087$$

$$C_s = 0,003$$

Tabel 4.22.b. Analisa Log Pearson Tipe III Untuk H_{10} (Tenggara)

No	Tahun	H_{10}	Peluang (%)	Log H_{s_i}
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
1	1997	0.489	9.091	-0.311
2	1999	0.489	18.182	-0.311
3	1996	0.641	27.273	-0.193
4	2005	0.641	36.364	-0.193
5	1998	0.809	45.455	-0.092
6	2003	0.809	54.545	-0.092
7	2004	0.809	63.636	-0.092
8	2000	0.993	72.727	-0.003
9	2002	0.993	81.818	-0.003
10	2001	1.405	90.909	0.148

Sumber : Hasil Perhitungan

$$\overline{\text{Log}H_s} = -0,114$$

$$S_i = 0,143$$

$$C_s = 0,003$$

Keterangan :

[1] = Nomor

[2] = Tahun

$$[3] = H_s$$

$$[4] = \text{Peluang} = \frac{n}{(m+1)}, \text{ dimana } n = \text{nomor} \text{ dan } m = \text{jumlah data} = 10$$

$$P = \frac{n}{11}$$

$$[5] = \text{Log } H_s = \text{Log } [3]$$

Tinggi gelombang rencana dengan kala ulang tertentu untuk masing-masing arah fetch dapat dilihat pada tabel 4.23 sampai 4.30 sebagai berikut :

Tabel 4.23.a. Analisa Gelombang Rencana Untuk Hs (Utara)

No	Tr (tahun)	G	G.Si	Log Hs	Ho (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.840	0.111	0.495	3.124
2	10	1.280	0.169	0.553	3.572
3	20	1.600	0.212	0.595	3.938
4	25	1.760	0.233	0.616	4.134
5	50	2.048	0.271	0.654	4.512
6	100	2.318	0.306	0.690	4.899

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.24.a. Analisa Gelombang Rencana Untuk Hs (Timur Laut)

No	Tr (tahun)	G	G.Si	Log Hs	Ho (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.840	0.140	0.476	2.994
2	10	1.280	0.213	0.550	3.545
3	20	1.600	0.267	0.603	4.008
4	25	1.760	0.293	0.630	4.262
5	50	2.047	0.341	0.677	4.758
6	100	2.317	0.386	0.722	5.278

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.25.a. Analisa Gelombang Rencana Untuk Hs (Timur)

No	Tr (tahun)	G	G.Si	Log Hs	Ho (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.838	0.035	0.504	3.194
2	10	1.281	0.054	0.523	3.334
3	20	1.607	0.068	0.537	3.442
4	25	1.770	0.075	0.544	3.497
5	50	2.053	0.087	0.556	3.594
6	100	2.325	0.098	0.567	3.691

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.26.a. Analisa Gelombang Rencana Untuk Hs (Tenggara)

No	Tr (tahun)	G	G.Si	Log Hs	Ho (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.838	0.105	0.496	3.131
2	10	1.279	0.160	0.551	3.555
3	20	1.605	0.201	0.592	3.905
4	25	1.768	0.221	0.612	4.092
5	50	2.043	0.255	0.646	4.430
6	100	2.312	0.289	0.680	4.786

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.27.a. Analisa Gelombang Rencana Untuk H₁₀ (Utara)

No	Tr (tahun)	G	G.Si	Log Hs	Ho (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.838	0.111	0.602	3.997
2	10	1.280	0.169	0.660	4.572
3	20	1.606	0.212	0.703	5.049
4	25	1.769	0.234	0.725	5.306
5	50	2.048	0.271	0.762	5.776
6	100	2.318	0.306	0.797	6.271

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.28.a. Analisa Gelombang Rencana Untuk H₁₀ (Timur Laut)

No	Tr (tahun)	G	G.Si	Log Hs	Ho (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.838	0.140	0.583	3.829
2	10	1.280	0.213	0.657	4.538
3	20	1.606	0.268	0.711	5.142
4	25	1.769	0.295	0.738	5.474
5	50	2.047	0.341	0.785	6.092
6	100	2.317	0.386	0.830	6.757

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.29.a. Analisa Gelombang Rencana Untuk H₁₀ (Timur)

No	Tr (tahun)	G	G.Si	Log Hs	Ho (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.838	0.056	0.618	4.147
2	10	1.280	0.085	0.647	4.438
3	20	1.606	0.107	0.669	4.665
4	25	1.769	0.118	0.680	4.783
5	50	2.049	0.136	0.698	4.993
6	100	2.320	0.155	0.716	5.205

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.30.a. Analisa Gelombang Rencana Untuk H_{10} (Tenggara)

No	Tr (tahun)	G	G.Si	Log Hs	Ho (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.838	0.105	0.603	4.008
2	10	1.279	0.160	0.658	4.551
3	20	1.605	0.201	0.699	4.998
4	25	1.768	0.221	0.719	5.238
5	50	2.043	0.255	0.754	5.670
6	100	2.312	0.289	0.787	6.126

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.23.b. Analisa Gelombang Rencana Untuk Hs (Utara)

No	Tr (tahun)	G	G.Si	Log Hs	Ho (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.840	0.131	-0.135	0.734
2	10	1.280	0.200	-0.066	0.860
3	20	1.601	0.251	-0.015	0.965
4	25	1.761	0.276	0.010	1.023
5	50	2.049	0.321	0.055	1.134
6	100	2.320	0.363	0.097	1.251

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.24.b. Analisa Gelombang Rencana Untuk Hs (Timur Laut)

No	Tr (tahun)	G	G.Si	Log Hs	Ho (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.839	0.176	-0.198	0.634
2	10	1.281	0.269	-0.105	0.785
3	20	1.603	0.336	-0.038	0.917
4	25	1.764	0.370	-0.004	0.991
5	50	2.054	0.431	0.057	1.140
6	100	2.327	0.488	0.114	1.301

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.25.b. Analisa Gelombang Rencana Untuk Hs (Timur)

No	Tr (tahun)	G	G.Si	Log Hs	Ho (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.838	0.073	0.142	1.387
2	10	1.282	0.112	0.181	1.516
3	20	1.608	0.140	0.209	1.619
4	25	1.771	0.154	0.223	1.672
5	50	2.055	0.179	0.248	1.771
6	100	2.328	0.203	0.272	1.870

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.26.b. Analisa Gelombang Rencana Untuk Hs (Tenggara)

No	Tr (tahun)	G	G.Si	Log Hs	Ho (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.838	0.120	-0.102	0.791
2	10	1.282	0.183	-0.038	0.916
3	20	1.608	0.230	0.009	1.020
4	25	1.771	0.253	0.032	1.076
5	50	2.055	0.294	0.073	1.182
6	100	2.328	0.333	0.112	1.293

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.27.b. Analisa Gelombang Rencana Untuk H₁₀ (Utara)

No	Tr (tahun)	G	G.Si	Log Hs	Ho (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.838	0.131	-0.027	0.939
2	10	1.280	0.201	0.042	1.101
3	20	1.606	0.252	0.093	1.239
4	25	1.769	0.277	0.119	1.314
5	50	2.049	0.321	0.162	1.453
6	100	2.320	0.364	0.205	1.602

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.28.b. Analisa Gelombang Rencana Untuk H₁₀ (Timur Laut)

No	Tr (tahun)	G	G.Si	Log Hs	Ho (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.838	0.176	-0.091	0.811
2	10	1.281	0.269	0.002	1.005
3	20	1.607	0.337	0.070	1.176
4	25	1.770	0.371	0.105	1.272
5	50	2.054	0.431	0.164	1.459
6	100	2.327	0.488	0.221	1.665

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.29.b. Analisa Gelombang Rencana Untuk H₁₀ (Timur)

No	Tr (tahun)	G	G.Si	Log Hs	Ho (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.838	0.073	0.249	1.775
2	10	1.282	0.111	0.288	1.940
3	20	1.608	0.140	0.316	2.071
4	25	1.771	0.154	0.330	2.140
5	50	2.055	0.179	0.355	2.265
6	100	2.328	0.202	0.379	2.393

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.30.b. Analisa Gelombang Rencana Untuk H_{10} (Tenggara)

No	Tr (tahun)	G	G.Si	Log Hs	Ho (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.838	0.120	0.006	1.013
2	10	1.282	0.183	0.069	1.173
3	20	1.608	0.230	0.116	1.306
4	25	1.771	0.253	0.139	1.378
5	50	2.055	0.294	0.180	1.514
6	100	2.328	0.333	0.219	1.656

Sumber : Hasil Perhitungan

Keterangan :

[1] = Nomor

[2] = Kala ulang

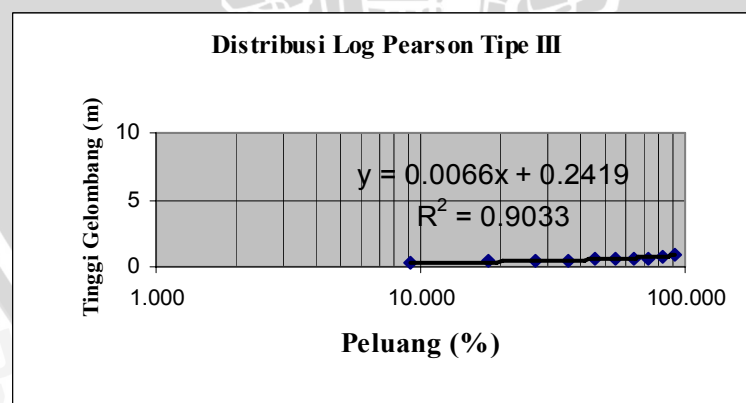
[3] = Tabel distribusi Log Pearson Tipe III hubungan antara Cs dan kala ulang

[4] = $G \times Si \rightarrow [4] = [3] \times Si$

[5] = $\text{Log } H_s = \overline{\text{Log } H_s} + G.Si \rightarrow [5] = \overline{\text{Log } H_s} + [4]$

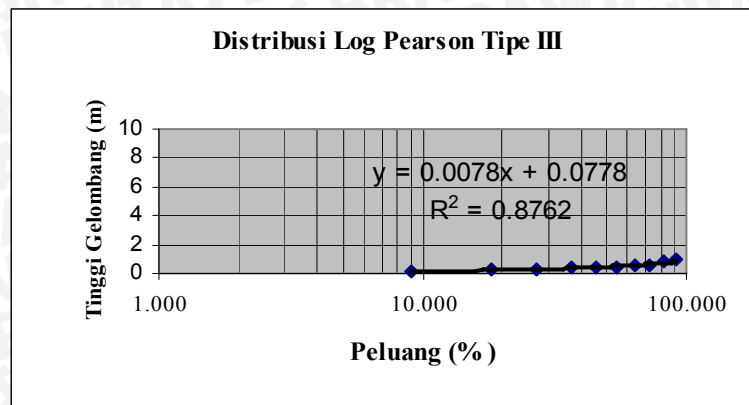
[6] = $H_s = 10^{\text{Log } H_s} \rightarrow [6] = 10^{[5]}$

Selanjutnya harga tinggi gelombang dan peluang dari hasil analisa gelombang rencana diplot pada grafik distribusi Log Pearson Tipe III untuk keperluan uji kesesuaian distribusi seperti ditunjukkan pada gambar 4.9 sampai gambar 4.16 berikut:



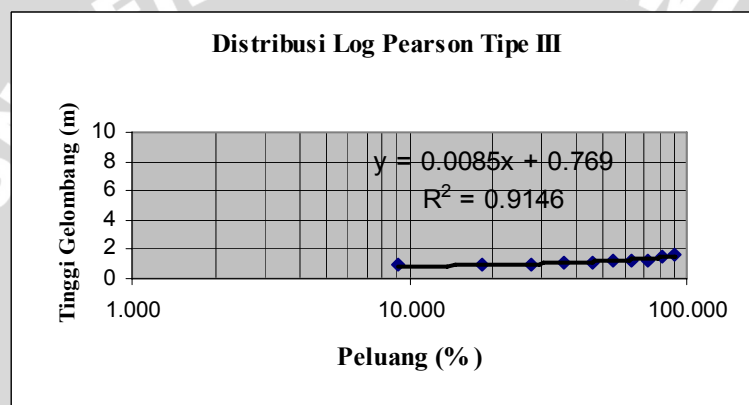
Gambar 4.9.a. Plotting Distribusi Log Pearson Tipe III Hs (Utara)

Sumber : Hasil Perhitungan



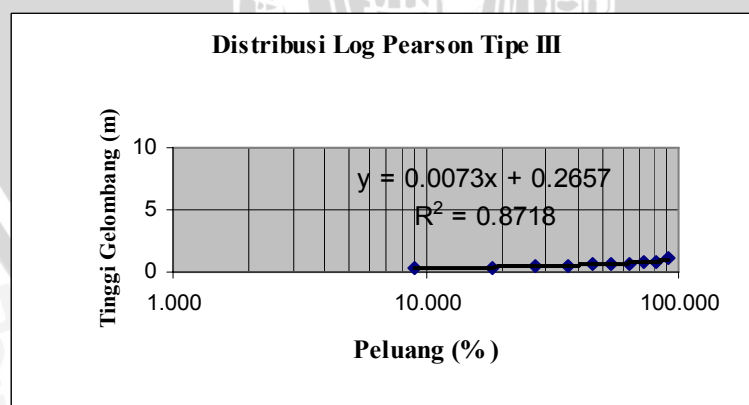
Gambar 4.10.a. Plotting Distribusi Log Pearson Tipe III Hs (Timur Laut)

Sumber : Hasil Perhitungan



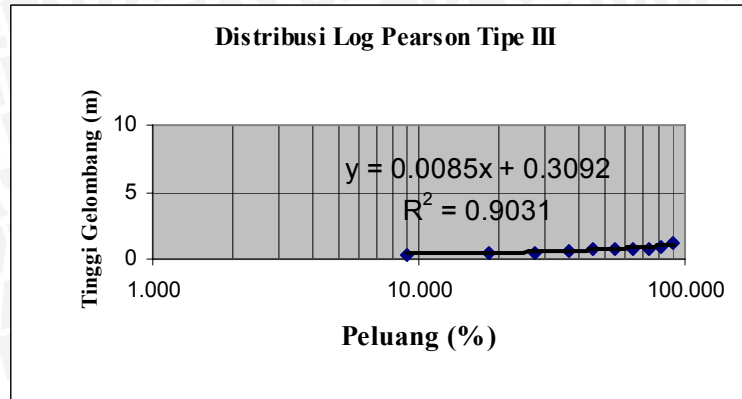
Gambar 4.11.a. Plotting Distribusi Log Pearson Tipe III Hs (Timur)

Sumber : Hasil Perhitungan



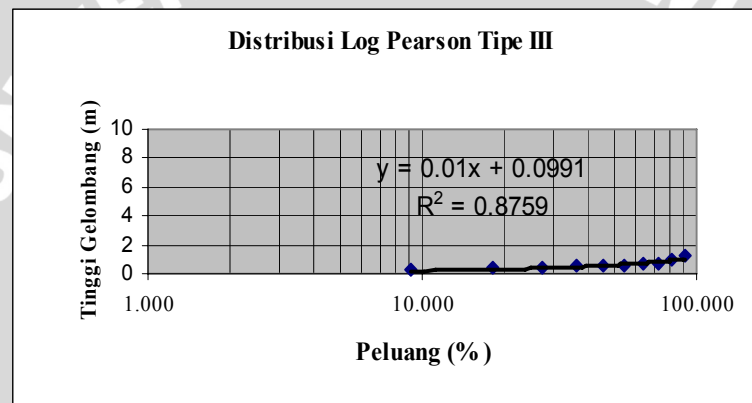
Gambar 4.12.a. Plotting Distribusi Log Pearson Tipe III Hs (Tenggara)

Sumber : Hasil Perhitungan



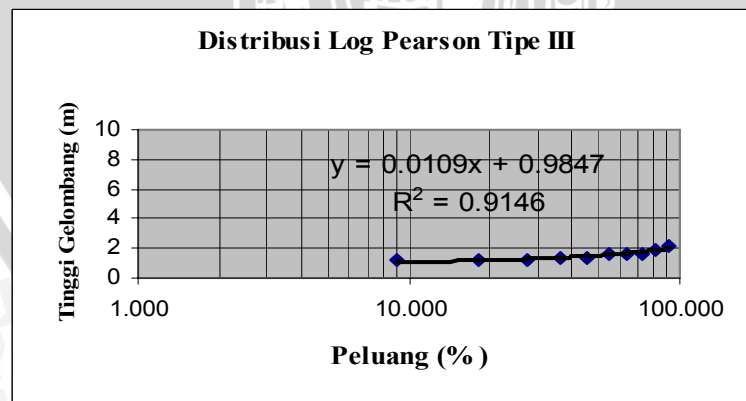
Gambar 4.13.a. Plotting Distribusi Log Pearson Tipe III H_{10} (Utara)

Sumber : Hasil Perhitungan



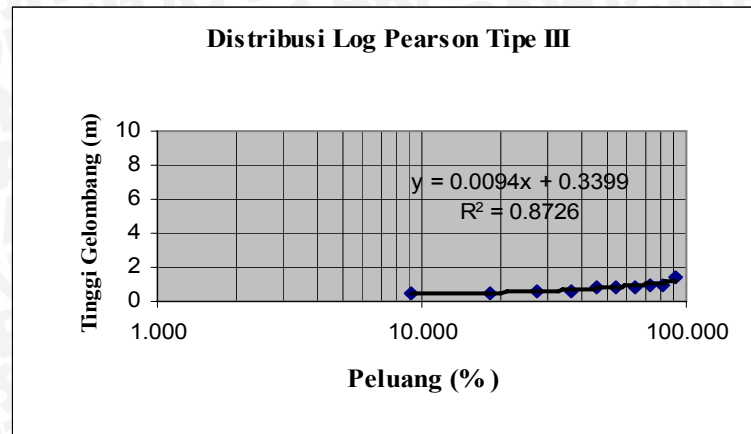
Gambar 4.14.a. Plotting Distribusi Log Pearson Tipe III H_{10} (Timur Laut)

Sumber : Hasil Perhitungan



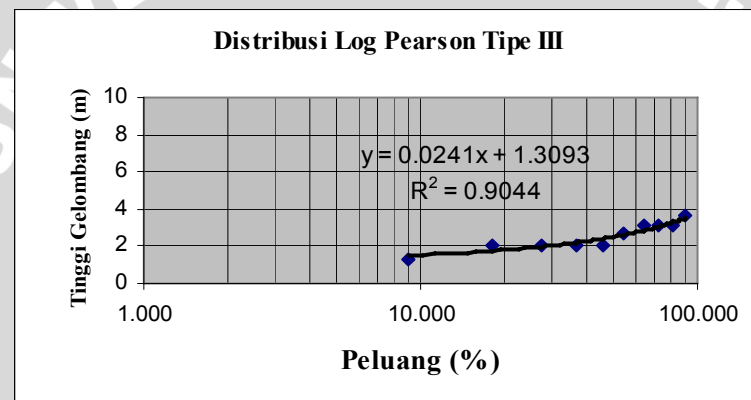
Gambar 4.15.a. Plotting Distribusi Log Pearson Tipe III H_{10} (Timur)

Sumber : Hasil Perhitungan



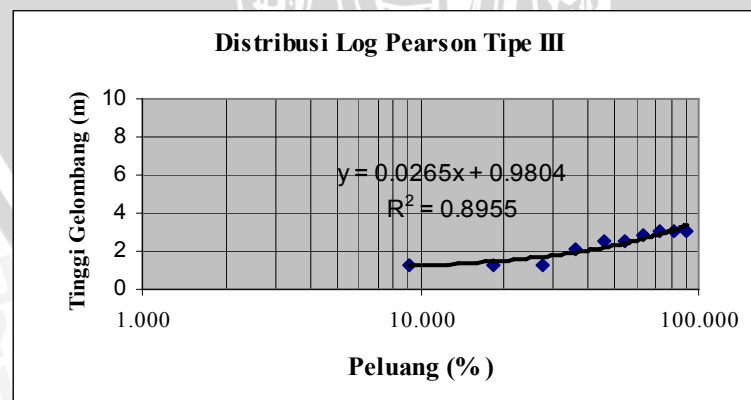
Gambar 4.16.a. Plotting Distribusi Log Pearson Tipe III H_{10} (Tenggara)

Sumber : Hasil Perhitungan



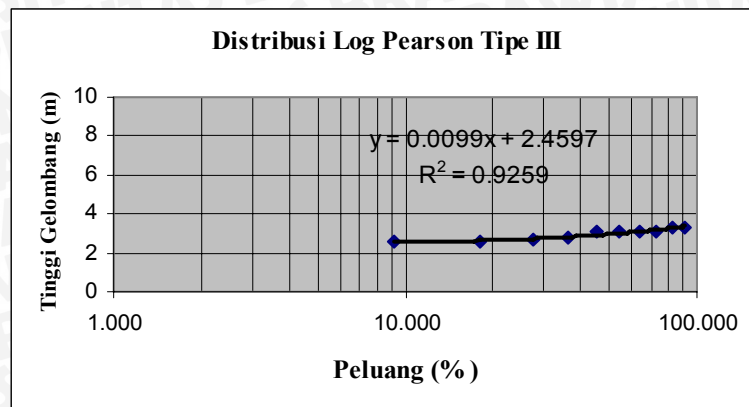
Gambar 4.9.b. Plotting Distribusi Log Pearson Tipe III H_s (Utara)

Sumber : Hasil Perhitungan



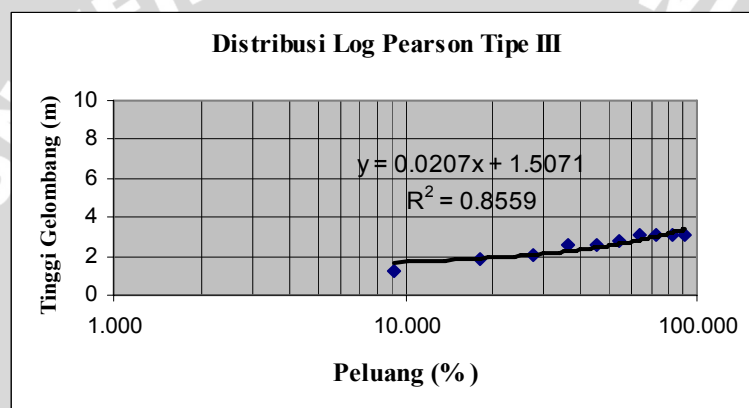
Gambar 4.10.b. Plotting Distribusi Log Pearson Tipe III H_s (Timur Laut)

Sumber : Hasil Perhitungan



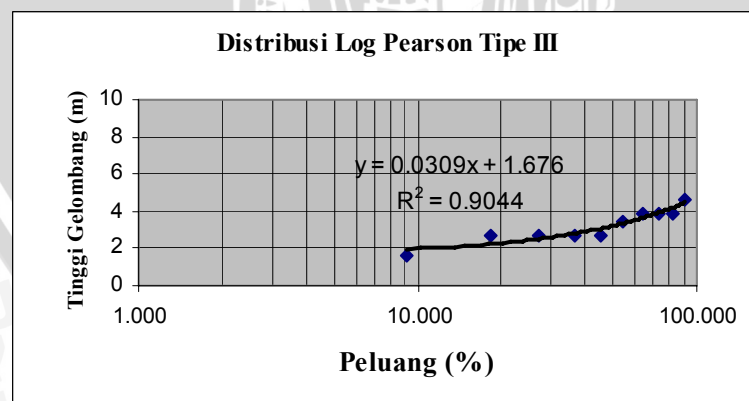
Gambar 4.11.b. Plotting Distribusi Log Pearson Tipe III Hs (Timur)

Sumber : Hasil Perhitungan



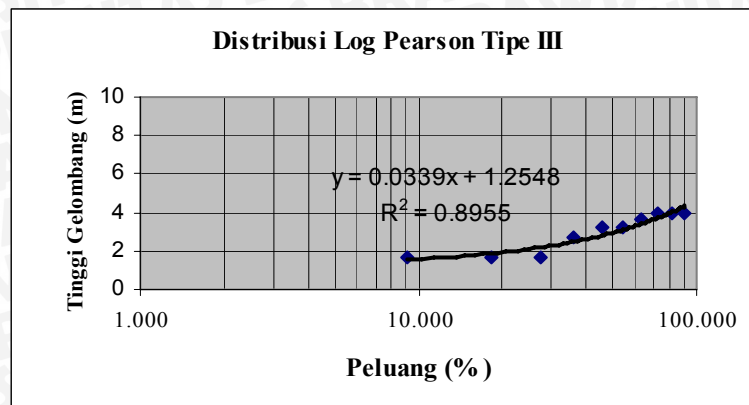
Gambar 4.12.b. Plotting Distribusi Log Pearson Tipe III Hs (Tenggara)

Sumber : Hasil Perhitungan



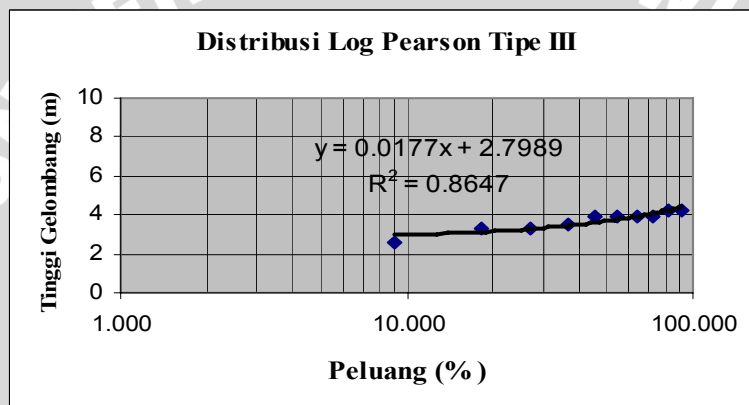
Gambar 4.13.b. Plotting Distribusi Log Pearson Tipe III H₁₀ (Utara)

Sumber : Hasil Perhitungan



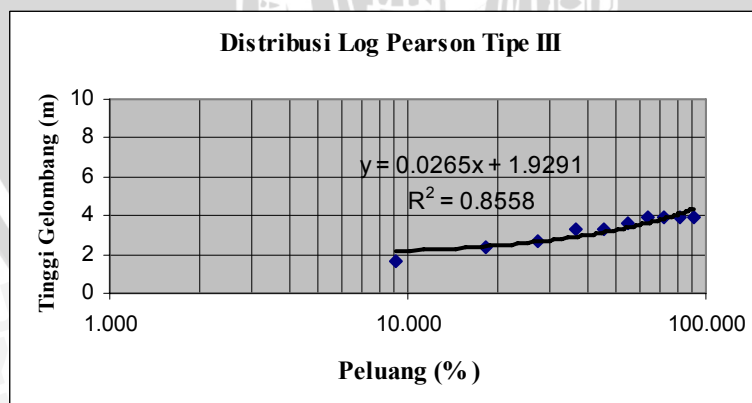
Gambar 4.14.b. Plotting Distribusi Log Pearson Tipe III H_{10} (Timur Laut)

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.15.b. Plotting Distribusi Log Pearson Tipe III H_{10} (Timur)

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.16.b. Plotting Distribusi Log Pearson Tipe III H_{10} (Tenggara)

Sumber : Hasil Perhitungan

4.3.5. Uji kesesuaian distribusi

Tinggi gelombang rencana yang diperoleh dari analisa dengan metode Log Pearson Tipe III perlu diuji sebelum digunakan dalam perhitungan selanjutnya. Uji ini dilakukan untuk mengetahui apakah data tersebut benar sesuai dengan agihan teoritis. Dalam studi ini pengujian dilakukan dengan dua uji agihan yaitu uji Smirnov Kolmogorov dan uji Chi-Square. Kedua uji agihan tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.31.a. Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov Untuk Hs (Utara)

No	Tahun	H _s	Log H _s	S _n (x) %	G	Pr	P _x (x) %	S _n (x) - P _x (x) %
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	1998	1.276	0.106	9.091	-0.031	52.616	47.384	38.293
2	1996	2.092	0.321	18.182	-0.003	50.431	49.569	31.387
3	1997	2.092	0.321	27.273	-0.002	50.338	49.662	22.389
4	1999	2.092	0.321	36.364	-0.002	50.291	49.709	13.345
5	2000	2.092	0.321	45.455	-0.001	50.117	49.883	4.428
6	2004	2.709	0.433	54.545	0.001	50.035	49.965	4.581
7	2001	3.065	0.486	63.636	0.002	50.009	49.991	13.646
8	2002	3.065	0.486	72.727	0.001	50.017	49.983	22.744
9	2005	3.065	0.486	81.818	0.001	50.022	49.978	31.840
10	2003	3.606	0.557	90.909	0.002	49.999	50.001	40.908

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.32.a. Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov Untuk Hs (Timur Laut)

No	Tahun	H _s	Log H _s	S _n (x) %	G	Pr	P _x (x) %	S _n (x) - P _x (x) %
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	1999	1.276	0.106	9.091	-0.025	52.154	47.846	38.755
2	2000	1.276	0.106	18.182	-0.013	51.158	48.842	30.660
3	2003	1.276	0.106	27.273	-0.008	50.826	49.174	21.901
4	1996	2.092	0.321	36.364	0.000	50.196	49.804	13.440
5	1998	2.56	0.408	45.455	0.002	50.038	49.962	4.507
6	2005	2.56	0.408	54.545	0.001	50.027	49.973	4.572
7	1997	2.808	0.448	63.636	0.002	50.011	49.989	13.647
8	2001	3.065	0.486	72.727	0.002	50.000	50.000	22.727
9	2002	3.065	0.486	81.818	0.002	50.008	49.992	31.827
10	2004	3.065	0.486	90.909	0.002	50.015	49.985	40.924

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.33.a. Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov Untuk Hs (Timur)

No	Tahun	H _s	Log H _s	S _n (x) %	G	Pr	P _x (x) %	S _n (x) - P _x (x) %
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	1996	2.560	0.408	9.091	-0.007	50.716	49.284	40.1928
2	2001	2.560	0.408	18.182	-0.003	50.370	49.630	31.4484
3	1998	2.709	0.433	27.273	-0.001	50.161	49.839	22.5667
4	1999	2.808	0.448	36.364	-0.001	50.082	49.918	13.5546
5	1997	3.065	0.486	45.455	0.000	49.983	50.017	4.5624
6	2000	3.065	0.486	54.545	0.000	49.990	50.010	4.5352
7	2002	3.065	0.486	63.636	0.000	49.998	50.002	13.6345
8	2005	3.065	0.486	72.727	0.000	49.999	50.001	22.7266
9	2003	3.331	0.523	81.818	0.001	49.984	50.016	31.8027
10	2004	3.331	0.523	90.909	0.001	49.987	50.013	40.8959

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.34.a. Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov Untuk Hs (Tenggara)

No	Tahun	H _s	Log H _s	S _n (x) %	G	Pr	P _x (x) %	S _n (x) - P _x (x) %
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	1997	1.276	0.106	9.091	-0.031	52.353	47.647	38.556
2	1996	1.873	0.273	18.182	-0.007	50.664	49.336	31.155
3	1999	2.092	0.321	27.273	-0.003	50.396	49.604	22.331
4	2004	2.560	0.408	36.364	0.000	50.189	49.811	13.448
5	2005	2.560	0.408	45.455	0.000	50.195	49.805	4.350
6	2002	2.808	0.448	54.545	0.001	50.079	49.921	4.624
7	1998	3.065	0.486	63.636	0.002	50.063	49.937	13.699
8	2000	3.065	0.486	72.727	0.001	50.070	49.930	22.797
9	2001	3.065	0.486	81.818	0.001	50.075	49.925	31.893
10	2003	3.065	0.486	90.909	0.001	50.079	49.921	40.988

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.35.a. Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov Untuk H₁₀ (Utara)

No	Tahun	H _s	Log H _s	S _n (x) %	G	Pr	P _x (x) %	S _n (x) - P _x (x) %
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	1998	1.633	0.213	9.091	-0.031	52.617	47.383	38.293
2	1996	2.678	0.428	18.182	-0.003	50.431	49.569	31.387
3	1997	2.678	0.428	27.273	-0.002	50.338	49.662	22.389
4	1999	2.678	0.428	36.364	-0.002	50.291	49.709	13.345
5	2000	2.678	0.428	45.455	-0.001	50.263	49.737	4.282
6	2004	3.467	0.540	54.545	0.001	50.079	49.921	4.624
7	2001	3.923	0.594	63.636	0.002	50.009	49.991	13.646
8	2002	3.923	0.594	72.727	0.001	50.017	49.983	22.744
9	2005	3.923	0.594	81.818	0.001	50.022	49.978	31.840
10	2003	4.616	0.664	90.909	0.002	49.999	50.001	40.908

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.36.a. Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov Untuk H_{10} (Timur Laut)

No	Tahun	H_s	Log H_s	$S_n(x)$ %	G	Pr	$P_x(x)$ %	$ S_n(x) - P_x(x) $ %
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	1999	1.633	0.213	9.091	-0.025	52.154	47.846	38.755
2	2000	1.633	0.213	18.182	-0.013	51.158	48.842	30.660
3	2003	1.633	0.213	27.273	-0.008	50.827	49.173	21.901
4	1996	2.678	0.428	36.364	0.000	50.196	49.804	13.440
5	1998	3.277	0.515	45.455	0.002	50.017	49.983	4.528
6	2005	3.277	0.515	54.545	0.001	50.027	49.973	4.572
7	1997	3.594	0.556	63.636	0.002	50.011	49.989	13.647
8	2001	3.923	0.594	72.727	0.002	50.000	50.000	22.727
9	2002	3.923	0.594	81.818	0.002	50.008	49.992	31.827
10	2004	3.923	0.594	90.909	0.002	50.015	49.985	40.924

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.37.a. Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov Untuk H_{10} (Timur)

No	Tahun	H_s	Log H_s	$S_n(x)$ %	G	Pr	$P_x(x)$ %	$ S_n(x) - P_x(x) $ %
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	1996	2.594	0.414	9.091	-0.016	51.715	48.285	39.1945
2	2001	3.277	0.515	18.182	-0.003	50.289	49.711	31.5296
3	1998	3.277	0.515	27.273	-0.002	50.200	49.800	22.5271
4	1999	3.467	0.540	36.364	-0.001	50.086	49.914	13.5504
5	1997	3.923	0.594	45.455	0.001	49.951	50.049	4.5948
6	2000	3.923	0.594	54.545	0.001	49.963	50.037	4.5082
7	2002	3.923	0.594	63.636	0.000	49.971	50.029	13.6078
8	2005	3.923	0.594	72.727	0.000	49.978	50.022	22.7052
9	2003	4.264	0.630	81.818	0.001	49.937	50.063	31.7551
10	2004	4.264	0.630	90.909	0.001	49.946	50.054	40.8547

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.38.a. Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov Untuk H_{10} (Tenggara)

No	Tahun	H_s	Log H_s	$S_n(x)$ %	G	Pr	$P_x(x)$ %	$ S_n(x) - P_x(x) $ %
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	1997	1.633	0.213	9.091	-0.031	52.353	47.647	38.556
2	1996	2.397	0.380	18.182	-0.007	50.664	49.336	31.154
3	1999	2.678	0.428	27.273	-0.003	50.396	49.604	22.331
4	2004	3.277	0.515	36.364	0.000	50.188	49.812	13.448
5	2005	3.277	0.515	45.455	0.000	50.195	49.805	4.350
6	2002	3.594	0.556	54.545	0.001	50.149	49.851	4.695
7	1998	3.923	0.594	63.636	0.002	50.063	49.937	13.699
8	2000	3.923	0.594	72.727	0.001	50.070	49.930	22.797
9	2001	3.923	0.594	81.818	0.001	50.075	49.925	31.893
10	2003	3.923	0.594	90.909	0.001	50.079	49.921	40.988

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.31.b. Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov Untuk Hs (Utara)

No	Tahun	H _s	Log H _s	S _n (x) %	G	Pr	P _x (x) %	S _n (x) - P _x (x) %
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	1998	0.278	-0.556	9.091	-0.032	52.847	47.153	38.062
2	1999	0.382	-0.418	18.182	-0.008	50.839	49.161	30.979
3	2001	0.382	-0.418	27.273	-0.006	50.601	49.399	22.126
4	2003	0.501	-0.300	36.364	-0.001	50.206	49.794	13.430
5	1996	0.632	-0.199	45.455	0.001	50.000	50.000	4.545
6	2000	0.632	-0.199	54.545	0.001	50.009	49.991	4.554
7	2001	0.632	-0.199	63.636	0.001	50.015	49.985	13.652
8	2005	0.632	-0.199	72.727	0.001	50.020	49.980	22.747
9	1997	0.726	-0.139	81.818	0.002	49.997	50.003	31.815
10	2004	0.931	-0.031	90.909	0.003	49.960	50.040	40.869

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.32.b. Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov Untuk Hs (Timur Laut)

No	Tahun	H _s	Log H _s	S _n (x) %	G	Pr	P _x (x) %	S _n (x) - P _x (x) %
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	1998	0.187	-0.728	9.091	-0.039	54.318	45.682	36.591
2	2000	0.278	-0.556	18.182	-0.010	51.097	48.903	30.721
3	2001	0.278	-0.556	27.273	-0.007	50.726	49.274	22.002
4	1999	0.382	-0.418	36.364	-0.001	50.118	49.882	13.519
5	2003	0.382	-0.418	45.455	-0.001	50.091	49.909	4.455
6	1997	0.477	-0.321	54.545	0.001	49.960	50.040	4.506
7	2002	0.501	-0.300	63.636	0.001	49.953	50.047	13.589
8	2005	0.501	-0.300	72.727	0.001	49.958	50.042	22.686
9	2004	0.775	-0.111	81.818	0.003	49.879	50.121	31.698
10	1996	0.931	-0.031	90.909	0.004	49.860	50.140	40.769

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.33.b. Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov Untuk Hs (Timur)

No	Tahun	H _s	Log H _s	S _n (x) %	G	Pr	P _x (x) %	S _n (x) - P _x (x) %
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	1998	0.931	-0.031	9.091	-0.011	51.248	48.752	39.6612
2	1999	0.931	-0.031	18.182	-0.006	50.597	49.403	31.2214
3	2000	0.931	-0.031	27.273	-0.004	50.380	49.620	22.3475
4	2003	1.098	0.041	36.364	-0.001	50.039	49.961	13.5977
5	2005	1.098	0.041	45.455	-0.001	50.020	49.980	4.5254
6	1996	1.276	0.106	54.545	0.001	49.866	50.134	4.4119
7	2002	1.276	0.106	63.636	0.001	49.963	50.037	13.5993
8	2004	1.276	0.106	72.727	0.001	49.966	50.034	22.6928
9	1997	1.464	0.166	81.818	0.001	49.941	50.059	31.7596
10	2001	1.664	0.221	90.909	0.002	49.924	50.076	40.8329

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.34.b. Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov Untuk Hs (Tenggara)

No	Tahun	H _s	Log H _s	S _n (x) %	G	Pr	P _x (x) %	S _n (x) - P _x (x) %
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	1997	0.382	-0.418	9.091	-0.022	52.525	47.475	38.384
2	1999	0.382	-0.418	18.182	-0.011	51.230	48.770	30.588
3	1996	0.501	-0.300	27.273	-0.003	50.282	49.718	22.445
4	2005	0.501	-0.300	36.364	-0.002	50.195	49.805	13.441
5	1998	0.632	-0.199	45.455	0.000	49.878	50.122	4.668
6	2003	0.632	-0.199	54.545	0.000	49.966	50.034	4.512
7	2004	0.632	-0.199	63.636	0.000	49.968	50.032	13.605
8	2000	0.775	-0.111	72.727	0.002	49.926	50.074	22.654
9	2002	0.775	-0.111	81.818	0.001	49.933	50.067	31.751
10	2001	1.098	0.041	90.909	0.003	49.878	50.122	40.787

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.35.b. Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov Untuk H₁₀ (Utara)

No	Tahun	H _s	Log H _s	S _n (x) %	G	Pr	P _x (x) %	S _n (x) - P _x (x) %
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	1998	0.355	-0.450	9.091	-0.032	52.856	47.144	38.053
2	1999	0.489	-0.311	18.182	-0.008	50.838	49.162	30.980
3	2001	0.489	-0.311	27.273	-0.006	50.601	49.399	22.127
4	2003	0.641	-0.193	36.364	-0.001	50.206	49.794	13.430
5	1996	0.809	-0.092	45.455	0.001	50.000	50.000	4.545
6	2000	0.809	-0.092	54.545	0.001	50.021	49.979	4.567
7	2001	0.809	-0.092	63.636	0.001	50.015	49.985	13.652
8	2005	0.809	-0.092	72.727	0.001	50.020	49.980	22.747
9	1997	0.929	-0.032	81.818	0.002	49.997	50.003	31.815
10	2004	1.192	0.076	90.909	0.003	49.960	50.040	40.869

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.36.b. Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov Untuk H₁₀ (Timur Laut)

No	Tahun	H _s	Log H _s	S _n (x) %	G	Pr	P _x (x) %	S _n (x) - P _x (x) %
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	1998	0.240	-0.620	9.091	-0.039	54.303	45.697	36.607
2	2000	0.355	-0.450	18.182	-0.010	51.102	48.898	30.716
3	2001	0.355	-0.450	27.273	-0.007	50.729	49.271	21.998
4	1999	0.489	-0.311	36.364	-0.001	50.117	49.883	13.519
5	2003	0.489	-0.311	45.455	-0.001	50.029	49.971	4.516
6	1997	0.610	-0.215	54.545	0.001	49.960	50.040	4.506
7	2002	0.641	-0.193	63.636	0.001	49.953	50.047	13.589
8	2005	0.641	-0.193	72.727	0.001	49.958	50.042	22.686
9	2004	0.993	-0.003	81.818	0.003	49.879	50.121	31.697
10	1996	1.192	0.076	90.909	0.004	49.859	50.141	40.769

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.37.b. Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov Untuk H_{10} (Timur)

No	Tahun	H_s	$\text{Log } H_s$	$S_n(x) \%$	G	Pr	$P_x(x) \%$	$ S_n(x) - P_x(x) \%$
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	1998	1.192	0.076	9.091	-0.011	51.246	48.754	39.6631
2	1999	1.192	0.076	18.182	-0.006	50.596	49.404	31.2223
3	2000	1.192	0.076	27.273	-0.004	50.379	49.621	22.3481
4	2003	1.405	0.148	36.364	-0.001	50.039	49.961	13.5974
5	2005	1.405	0.148	45.455	-0.001	50.020	49.980	4.5251
6	1996	1.633	0.213	54.545	0.001	49.867	50.133	4.4120
7	2002	1.633	0.213	63.636	0.001	49.878	50.122	13.5142
8	2004	1.633	0.213	72.727	0.001	49.886	50.114	22.6136
9	1997	1.874	0.273	81.818	0.001	49.807	50.193	31.6249
10	2001	2.129	0.328	90.909	0.002	49.749	50.251	40.6578

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.38.b. Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov Untuk H_{10} (Tenggara)

No	Tahun	H_s	$\text{Log } H_s$	$S_n(x) \%$	G	Pr	$P_x(x) \%$	$ S_n(x) - P_x(x) \%$
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	1997	0.489	-0.311	9.091	-0.022	52.525	47.475	38.384
2	1999	0.489	-0.311	18.182	-0.011	51.231	48.769	30.588
3	1996	0.641	-0.193	27.273	-0.003	50.283	49.717	22.444
4	2005	0.641	-0.193	36.364	-0.002	50.196	49.804	13.440
5	1998	0.809	-0.092	45.455	0.000	49.878	50.122	4.668
6	2003	0.809	-0.092	54.545	0.000	49.888	50.112	4.433
7	2004	0.809	-0.092	63.636	0.000	49.968	50.032	13.605
8	2000	0.993	-0.003	72.727	0.002	49.926	50.074	22.654
9	2002	0.993	-0.003	81.818	0.001	49.932	50.068	31.751
10	2001	1.405	0.148	90.909	0.003	49.878	50.122	40.787

Sumber : Hasil Perhitungan

Keterangan :

[1] = Nomor

[2] = Tahun

[3] = H_{10} tahunan (data diurutkan dari nilai terkecil sampai nilai terbesar)

[4] = $\text{Log } H_s$ → [4] = $\text{Log } [3]$

[5] = $S_n(x) = \frac{n}{m+1} \times 100\%$ → [5] = $\frac{[1]}{m+1} \times 100\%$, dimana $m = 10$

→ [5] = $[1]/11 \times 100\%$

[6] = $G = \frac{\text{Log } H_s - \overline{\text{Log } H_s}}{S_i}$ → [6] = $\frac{[3] - \overline{\text{Log } H_s}}{S_i}$

[7] = Pr (diperoleh dari Tabel Log Pearson Tipe III, hubungan antara Cs dan G)

[8] = $P_x(x) = 100 - \text{Pr}$ → [8] = $100 - [7]$

[9] = [5] - [8]

Dengan $m = 10$, $\alpha = 5\%$ diperoleh nilai $\Delta_{\text{kritis}} = 0.41$, $\Delta_{\text{hitung}} < \Delta_{\text{kritis}}$ sehingga dapat disimpulkan bahwa penyimpangan yang terjadi masih dalam batas yang diijinkan dan distribusi dengan metode Log Pearson Tipe III dapat diterima

Tabel 4.39.a. Perhitungan Uji Chi-Square Untuk Hs (Utara)

Batas Kelas	Ef	Of	$(Of - Ef)^2 / Ef$
[1]	[2]	[3]	[4]
0 - 2.408	2.5	1	0.9
2.408-2.889	2.5	4	0.9
2.889-4.236	2.5	1	0.9
> 4.236	2.5	4	0.9
Jumlah	10	10	3.6

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.40.a. Perhitungan Uji Chi-Square Untuk Hs (Timur Laut)

Batas Kelas	Ef	Of	$(Of - Ef)^2 / Ef$
[1]	[2]	[3]	[4]
0 - 1.510	2.5	3	0.1
1.510-1.996	2.5	1	0.9
1.996-2.844	2.5	3	0.1
> 2.844	2.5	3	0.1
Jumlah	10	10	1.2

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.41.a. Perhitungan Uji Chi-Square Untuk Hs (Timur)

Batas Kelas	Ef	Of	$(Of - Ef)^2 / Ef$
[1]	[2]	[3]	[4]
0 - 4.077	2.5	3	0.1
4.077-4.722	2.5	1	0.9
4.722-5.590	2.5	4	0.9
> 5.590	2.5	2	0.1
Jumlah	10	10	2.0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.42.a. Perhitungan Uji Chi-Square Untuk Hs (Tenggara)

Batas Kelas	Ef	Of	$(Of - Ef)^2 / Ef$
[1]	[2]	[3]	[4]
0 - 2.067	2.5	2	0.1
2.067-2.966	2.5	1	0.9
2.966-4.256	2.5	3	0.1
> 4.256	2.5	4	0.9
Jumlah	10	10	2.0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.43.a. Perhitungan Uji Chi-Square Untuk H_{10} (Utara)

Batas Kelas	Ef	Of	$(Of - Ef)^2 / Ef$
[1]	[2]	[3]	[4]
0 - 0.207	2.5	1	0.9
0.207 - 0.416	2.5	4	0.9
0.416 - 0.832	2.5	1	0.9
> 0.832	2.5	4	0.9
Jumlah	10	10	3.6

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.44.a. Perhitungan Uji Chi-Square Untuk H_{10} (Timur Laut)

Batas Kelas	Ef	Of	$(Of - Ef)^2 / Ef$
[1]	[2]	[3]	[4]
0 - 0.252	2.5	3	0.1
0.252 - 0.412	2.5	1	0.9
0.412 - 0.672	2.5	3	0.1
> 0.672	2.5	3	0.1
Jumlah	10	10	1.2

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.45.a. Perhitungan Uji Chi-Square Untuk H_{10} (Timur)

Batas Kelas	Ef	Of	$(Of - Ef)^2 / Ef$
[1]	[2]	[3]	[4]
0 - 0.227	2.5	1	0.9
0.227 - 0.473	2.5	3	0.1
0.473 - 0.978	2.5	4	0.9
> 0.978	2.5	2	0.1
Jumlah	10	10	2.0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.46.a. Perhitungan Uji Chi-Square Untuk H_{10} (Tenggara)

Batas Kelas	Ef	Of	$(Of - Ef)^2 / Ef$
[1]	[2]	[3]	[4]
0 - 0.769	2.5	1	0.9
0.769 - 0.985	2.5	2	0.1
0.985 - 1.291	2.5	3	0.1
> 1.291	2.5	4	0.9
Jumlah	10	10	2.0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.39.b. Perhitungan Uji Chi-Square Untuk Hs (Utara)

Batas Kelas	Ef	Of	$(Of - Ef)^2 / Ef$
[1]	[2]	[3]	[4]
0 - 1.403	2.5	3	0.1
1.403-1.572	2.5	1	0.9
1.572-1.762	2.5	4	0.9
> 1.762	2.5	2	0.1
Jumlah	10	10	2.0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.40.b. Perhitungan Uji Chi-Square Untuk Hs (Timur Laut)

Batas Kelas	Ef	Of	$(Of - Ef)^2 / Ef$
[1]	[2]	[3]	[4]
0 - 1.066	2.5	3	0.1
1.066-1.227	2.5	2	0.1
1.227-1.411	2.5	3	0.1
> 1.411	2.5	2	0.1
Jumlah	10	10	0.4

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.41.b. Perhitungan Uji Chi-Square Untuk Hs (Timur)

Batas Kelas	Ef	Of	$(Of - Ef)^2 / Ef$
[1]	[2]	[3]	[4]
0 - 1.230	2.5	3	0.1
1.230-1.393	2.5	3	0.1
1.393-1.577	2.5	2	0.1
> 1.577	2.5	2	0.1
Jumlah	10	10	0.4

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.42.b. Perhitungan Uji Chi-Square Untuk Hs (Tenggara)

Batas Kelas	Ef	Of	$(Of - Ef)^2 / Ef$
[1]	[2]	[3]	[4]
0 - 1.231	2.5	3	0.1
1.231-1.395	2.5	2	0.1
1.395-1.582	2.5	2	0.1
> 1.582	2.5	3	0.1
Jumlah	10	10	0.4

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.43.b. Perhitungan Uji Chi-Square Untuk H_{10} (Utara)

Batas Kelas	Ef	Of	$(Of - Ef)^2 / Ef$
[1]	[2]	[3]	[4]
0 - 1.795	2.5	4	0.9
1.795-2.012	2.5	3	0.1
2.012-2.254	2.5	1	0.9
> 2.254	2.5	2	0.1
Jumlah	10	10	2.0

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.44.b. Perhitungan Uji Chi-Square Untuk H_{10} (Timur Laut)

Batas Kelas	Ef	Of	$(Of - Ef)^2 / Ef$
[1]	[2]	[3]	[4]
0 - 1.365	2.5	3	0.1
1.365-1.570	2.5	2	0.1
1.570-1.806	2.5	3	0.1
> 1.806	2.5	2	0.1
Jumlah	10	10	0.4

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.45.b. Perhitungan Uji Chi-Square Untuk H_{10} (Timur)

Batas Kelas	Ef	Of	$(Of - Ef)^2 / Ef$
[1]	[2]	[3]	[4]
0 - 1.575	2.5	3	0.1
1.575-1.783	2.5	2	0.1
1.783-2.018	2.5	3	0.1
> 2.018	2.5	2	0.1
Jumlah	10	10	0.4

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.46.b. Perhitungan Uji Chi-Square Untuk H_{10} (Tenggara)

Batas Kelas	Ef	Of	$(Of - Ef)^2 / Ef$
[1]	[2]	[3]	[4]
0 - 1.576	2.5	2	0.1
1.576-1.786	2.5	2	0.1
1.786-2.024	2.5	3	0.1
> 2.024	2.5	3	0.1
Jumlah	10	10	0.4

Sumber : Hasil Perhitungan

Keterangan :

[1] = Interval pembagian dalam 4 kelas

$$[2] = Ef = \frac{n}{JumlahKelas} \rightarrow [2] = 10 / 4 = 2,5$$

[3] = Jumlah data yang nilainya berada dalam interval kelas yang sesuai

$$[4] = \frac{([4] - [2])^2}{[2]}$$

Harga derajat bebas (DK) dihitung dengan persamaan 2.37 sebaga berikut :

$$DK = K - (P + 1)$$

dengan K = 4, P (parameter untuk Chi-Square = 2), maka harga derajat bebasnya :

$$DK = 4 - (2+1) = 1$$

Dengan $\alpha = 0,05$ (derajat kepercayaan) dan DK = 1, didapat $X_{cr} = 3,94$. Karena harga X^2 hitung < X_{cr} , maka dapat disimpulkan bahwa penyimpangan yang terjadi masih dalam batas-batas yang diijinkan sehingga distribusi frekuensi dapat diterima.

4.4. Analisa Parameter Gelombang

Gelombang rencana dengan kala ulang tertentu yang telah dianalisa dari perhitungan sebelumnya selanjutnya dihitung parameter gelombang. Adapun parameter gelombang yang dianalisa adalah periode gelombang, cepat rambat gelombang, dan panjang gelombang. Persamaan yang dipakai antara lain :

$$H_s = 2,433 \cdot 10^{-1} \cdot \left(\frac{U_A^2}{g} \right)$$

$$U_A = \left(\frac{H_s \cdot g}{2,433 \cdot 10^{-1}} \right)^{0.5}$$

$$T_s = 8,134 \cdot U_A / g$$

$$T_s = 8,134 \cdot \left(\frac{\sqrt{\frac{g \cdot H_s}{2,433 \cdot 10^{-1}}}}{g} \right)$$

Untuk perairan dalam ($d/L > 1/2$), parameter gelombang diberi notasi “o”, sehingga H_s menjadi H_o , C menjadi C_o , L menjadi L_o , dan T menjadi T_o . Berikut disajikan contoh perhitungan gelombang rencana di laut dalam dengan kala ulang 5 tahun untuk arah utara data maksimum sebagai berikut :

$$T_o = 8,134 \cdot \left(\frac{\sqrt{\frac{g \cdot H_o}{2,433 \cdot 10^{-1}}}}{g} \right) = 8,134 \cdot \left(\frac{\sqrt{\frac{9,81 \cdot 3,997}{2,433 \cdot 10^{-1}}}}{9,81} \right) = 10,526 \text{ detik}$$

$$C_o = \frac{gT}{2\pi} = \frac{9,81 \times 10,526}{2 \times 3,14} = 16,442 \text{ m/det}$$

$$L_o = \frac{gT^2}{2\pi} = \frac{9,81 \times 10,526^2}{2 \times 3,14} = 173,067 \text{ m}$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.47 sampai tabel 4.54 berikut :

Tabel 4.47.a. Analisa Parameter Gelombang Untuk Hs (Utara)

No	Kala Ulang (tahun)	Ho (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	3.124	9.306	14.537	135.273
2	10	3.572	9.951	15.544	154.675
3	20	3.938	10.448	16.320	170.504
4	25	4.134	10.705	16.723	179.020
5	50	4.512	11.184	17.470	195.383
6	100	4.899	11.653	18.204	212.137

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.48.a. Analisa Parameter Gelombang Untuk Hs (Timur Laut)

No	Kala Ulang (tahun)	Ho (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	2.994	9.110	14.230	129.629
2	10	3.545	9.913	15.484	153.490
3	20	4.008	10.540	16.465	173.547
4	25	4.262	10.869	16.979	184.543
5	50	4.758	11.485	17.940	206.043
6	100	5.278	12.096	18.895	228.549

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.49.a. Analisa Parameter Gelombang Untuk Hs (Timur)

No	Kala Ulang (tahun)	Ho (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	3.194	9.409	14.697	138.285
2	10	3.334	9.614	15.018	144.380
3	20	3.442	9.768	15.258	149.033
4	25	3.497	9.845	15.379	151.416
5	50	3.594	9.982	15.592	155.640
6	100	3.691	10.115	15.800	159.815

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.50.a. Analisa Parameter Gelombang Untuk Hs (Tenggara)

No	Kala Ulang (tahun)	Ho (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	3.131	9.316	14.553	135.585
2	10	3.555	9.927	15.507	153.944
3	20	3.905	10.404	16.252	169.082
4	25	4.092	10.651	16.637	177.200
5	50	4.430	11.081	17.310	191.818
6	100	4.786	11.518	17.992	207.224

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.51.a. Analisa Parameter Gelombang Untuk H₁₀ (Utara)

No	Kala Ulang (tahun)	Ho (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	3.997	10.526	16.442	173.067
2	10	4.572	11.258	17.587	197.997
3	20	5.049	11.831	18.481	218.647
4	25	5.306	12.128	18.945	229.766
5	50	5.776	12.654	19.766	250.111
6	100	6.271	13.184	20.595	271.540

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.52.a. Analisa Parameter Gelombang Untuk H₁₀ (Timur Laut)

No	Kala Ulang (tahun)	Ho (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	3.829	10.303	16.094	165.821
2	10	4.538	11.215	17.519	196.487
3	20	5.142	11.939	18.651	222.676
4	25	5.474	12.319	19.243	237.052
5	50	6.092	12.995	20.299	263.779
6	100	6.757	13.685	21.378	292.570

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.53.a. Analisa Parameter Gelombang Untuk H₁₀ (Timur)

No	Kala Ulang (tahun)	Ho (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	4.147	10.721	16.748	179.564
2	10	4.438	11.091	17.326	192.170
3	20	4.665	11.372	17.764	202.020
4	25	4.783	11.515	17.988	207.133
5	50	4.993	11.765	18.378	216.216
6	100	5.205	12.012	18.763	225.377

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.54.a. Analisa Parameter Gelombang Untuk H_{10} (Tenggara)

No	Kala Ulang (tahun)	H_o (m)	T_o (detik)	C_o (m/det)	L_o (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	4.008	10.540	16.465	173.547
2	10	4.551	11.231	17.545	197.050
3	20	4.998	11.771	18.387	216.429
4	25	5.238	12.050	18.823	226.822
5	50	5.670	12.537	19.584	245.535
6	100	6.126	13.031	20.356	265.259

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.47.b. Analisa Parameter Gelombang Untuk H_s (Utara)

No	Kala Ulang (tahun)	H_o (m)	T_o (detik)	C_o (m/det)	L_o (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.734	4.510	7.045	31.768
2	10	0.860	4.882	7.627	37.238
3	20	0.965	5.173	8.080	41.797
4	25	1.023	5.324	8.317	44.282
5	50	1.134	5.608	8.760	49.124
6	100	1.251	5.888	9.198	54.160

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.48.b. Analisa Parameter Gelombang Untuk H_s (Timur Laut)

No	Kala Ulang (tahun)	H_o (m)	T_o (detik)	C_o (m/det)	L_o (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.634	4.192	6.549	27.454
2	10	0.785	4.665	7.287	33.991
3	20	0.917	5.042	7.876	39.707
4	25	0.991	5.242	8.188	42.917
5	50	1.140	5.622	8.782	49.370
6	100	1.301	6.005	9.380	56.321

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.49.b. Analisa Parameter Gelombang Untuk H_s (Timur)

No	Kala Ulang (tahun)	H_o (m)	T_o (detik)	C_o (m/det)	L_o (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	1.387	6.201	9.687	60.073
2	10	1.516	6.483	10.127	65.659
3	20	1.619	6.699	10.464	70.092
4	25	1.672	6.809	10.636	72.420
5	50	1.771	7.006	10.944	76.669
6	100	1.870	7.200	11.247	80.979

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.50.b. Analisa Parameter Gelombang Untuk Hs (Tenggara)

No	Kala Ulang (tahun)	Ho (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.791	4.684	7.317	34.272
2	10	0.916	5.039	7.872	39.666
3	20	1.020	5.317	8.306	44.165
4	25	1.076	5.462	8.532	46.602
5	50	1.182	5.724	8.942	51.183
6	100	1.293	5.987	9.353	56.000

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.51.b. Analisa Parameter Gelombang Untuk H₁₀ (Utara)

No	Kala Ulang (tahun)	Ho (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.939	5.101	7.969	40.649
2	10	1.101	5.525	8.631	47.686
3	20	1.239	5.860	9.154	53.639
4	25	1.314	6.035	9.427	56.889
5	50	1.453	6.347	9.915	62.933
6	100	1.602	6.665	10.411	69.388

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.52.b. Analisa Parameter Gelombang Untuk H₁₀ (Timur Laut)

No	Kala Ulang (tahun)	Ho (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	0.811	4.741	7.406	35.115
2	10	1.005	5.277	8.244	43.506
3	20	1.176	5.710	8.919	50.927
4	25	1.272	5.939	9.277	55.100
5	50	1.459	6.361	9.936	63.197
6	100	1.665	6.793	10.612	72.091

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.53.b. Analisa Parameter Gelombang Untuk H₁₀ (Timur)

No	Kala Ulang (tahun)	Ho (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	1.775	7.015	10.958	76.876
2	10	1.940	7.334	11.456	84.017
3	20	2.071	7.577	11.836	89.685
4	25	2.140	7.702	12.031	92.661
5	50	2.265	7.924	12.379	98.092
6	100	2.393	8.144	12.721	103.601

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.54.b. Analisa Parameter Gelombang Untuk H_{10} (Tenggara)

No	Kala Ulang (tahun)	Ho (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
1	5	1.013	5.300	8.279	43.878
2	10	1.173	5.702	8.907	50.788
3	20	1.306	6.017	9.399	56.550
4	25	1.378	6.181	9.655	59.672
5	50	1.514	6.477	10.118	65.541
6	100	1.656	6.775	10.584	71.712

Sumber : Hasil Perhitungan

Keterangan :

[1] = Nomor

[2] = Kala ulang tertentu

[3] = Tinggi gelombang laut dalam rencana (m)

$$[4] = T_o = 8,134 \left(\frac{\sqrt{\frac{g \cdot H_o}{2,433 \cdot 10^{-1}}}}{g} \right) \rightarrow [4] = 8,134 \left(\frac{\sqrt{\frac{g \cdot [3]}{2,433 \cdot 10^{-1}}}}{g} \right)$$

$$[5] = C_o = \frac{gT}{2\pi} \rightarrow [5] = \frac{g[4]}{2\pi}$$

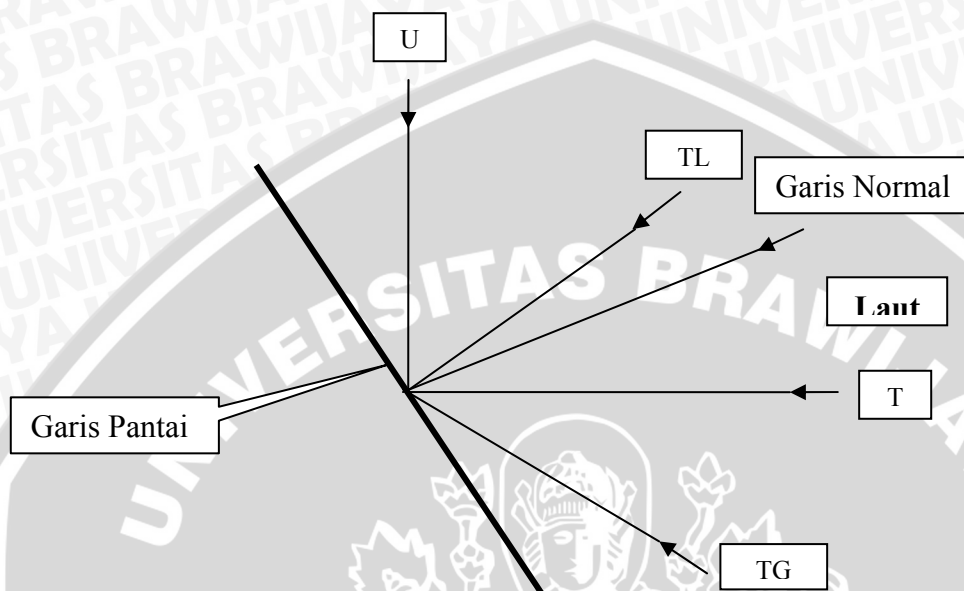
$$[6] = L_o = \frac{gT^2}{2\pi} \rightarrow \frac{g[4]^2}{2\pi}$$

4.5. Analisa Gelombang Pecah

Karakteristik gelombang akan mengalami perubahan selama perjalanannya dari laut dalam menuju pantai, hal ini disebabkan karena deformasi gelombang dan gelombang pecah yang terjadi. Deformasi gelombang dan gelombang pecah dapat mempengaruhi perubahan elevasi muka air laut, karena itu analisa ini perlu dilakukan dalam merencanakan elevasi puncak bangunan pengaman pantai.

Analisa ini dilakukan terhadap tinggi gelombang rencana dengan kala ulang tertentu dengan persamaan yang dikemukakan oleh Munk (1949). Sebelum menganalisa gelombang pecah terlebih dahulu menghitung gelombang laut dalam ekivalen (H_o). Batas gelombang laut dalam adalah jika $d/L \geq 0,5$, maka ketika kurang dari itu gelombang mulai mengalami refraksi dan shoaling akibat adanya perubahan kedalaman laut. Dalam analisa refraksi gelombang digunakan metode orthogonal yang dikemukakan oleh Arthur (*Snell's Law*). .

Hasil dari analisa ini digunakan untuk menentukan besarnya gaya gelombang yang terjadi pada bangunan yang direncanakan dan kala ulang yang dipakai adalah 25 tahun . Karena bangunan pantai sangat rentan sekali terhadap hempasan gelombang. Berikut disajikan contoh perhitungan gelombang laut dalam ekivalen dan gelombang pecah untuk arah utara data maksimum.



Gambar 4.17. Sudut Datang Puncak Bangunan
Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.55. Sudut Datang puncak Gelombang

Sudut Yang Terbentuk	Arah			
	U	TL	T	TG
Garis Pantai	24°	70°	66°	21°
Garis Normal	65°	20°	24°	69°

Sumber : Data Perencanaan

❖ Contoh perhitungan gelombang laut dalam ekivlen :

Diketahui :

$$\alpha_0 = 65^\circ$$

$$H_{025} = 4,134 \text{ m}$$

$$L_{025} = 179,020 \text{ m}$$

$$T_{025} = 10,705 \text{ m}$$

Gelombang akan mulai mengalami refraksi dan shoaling apabila $d/L < 0.5$ (di bawah batas gelombang laut dalam).

$$d/L_0 = 0,5$$

$$d = d/L_0 * L_0 = 0,5 * 179,020 = 89,510 \text{ m}$$

$$d/L = 0,502 \text{ (Triatmodjo, 1999 : Tabel L1)}$$

$$K_s = 0,990 \text{ (Triatmodjo, 1999 : Tabel L1)}$$

$$L = d / (d/L) = 89,510 / 0,502 = 178,307\text{m}$$

Menghitung sudut antara garis kedalaman dan puncak gelombang :

$$\begin{aligned}\alpha &= \text{Arc sin} (\sin \alpha_o \times (L/L_o)) \\ &= \text{Arc sin} (\sin 65^\circ \times (178,307/179,020)) = 64,515^\circ\end{aligned}$$

Menghitung koefisien refraksi (Kr) :

$$\begin{aligned}K_r &= (\cos \alpha_o / \cos \alpha)^{0.5} \\ &= (\cos 65 / \cos 64,515)^{0.5} \\ &= 0,991\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H_o' &= K_s \cdot K_r \cdot H_o \\ &= 0,990 \cdot 0,991 \cdot 4,134 \\ &= 4,056 \text{ m}\end{aligned}$$

Nilai H_o' untuk arah TL, T, dan TG (kala ulang 25 tahun) adalah sebagai berikut :

Data maksimum (H_s) :

$$\text{Utara} \rightarrow H_o' = 4,056 \text{ m}$$

$$\text{Timur Laut} \rightarrow H_o' = 4,218 \text{ m}$$

$$\text{Timur} \rightarrow H_o' = 3,460 \text{ m}$$

$$\text{Tenggara} \rightarrow H_o' = 3,998 \text{ m}$$

Data maksimum (H_{10}) :

$$\text{Utara} \rightarrow H_o' = 5,206 \text{ m}$$

$$\text{Timur Laut} \rightarrow H_o' = 5,418 \text{ m}$$

$$\text{Timur} \rightarrow H_o' = 4,734 \text{ m}$$

$$\text{Tenggara} \rightarrow H_o' = 5,118 \text{ m}$$

Data rerata (H_s) :

$$\text{Utara} \rightarrow H_o' = 1,003 \text{ m}$$

$$\text{Timur Laut} \rightarrow H_o' = 0,981 \text{ m}$$

$$\text{Timur} \rightarrow H_o' = 1,655 \text{ m}$$

$$\text{Tenggara} \rightarrow H_o' = 1,052 \text{ m}$$

Data rerata (H_{10}) :

$$\text{Utara} \rightarrow H_o' = 1,298 \text{ m}$$

$$\text{Timur Laut} \rightarrow H_o' = 1,260 \text{ m}$$

$$\text{Timur} \rightarrow H_o' = 2,115 \text{ m}$$

$$\text{Tenggara} \rightarrow H_o' = 0,824 \text{ m}$$

❖ Contoh perhitungan gelombang pecah

$$H_o = 3,065 \text{ m}$$

$$T_o = 9,306 \text{ detik}$$

$$L_o = 135,273 \text{ m}$$

$$\text{Kemiringan pantai (m)} = 0,002$$

$$a = 43,75(1 - e^{-19m}) = 43,75(1 - e^{-19 \times 0,002}) = 1,621$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})} = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5 \times 0,002})} = 0,795$$

$$H_b = \frac{H_o}{\left\{ 3,3 \left(\frac{H_o}{L_o} \right)^{1/3} \right\}} = \frac{3,065}{\left\{ 3,3 \left(\frac{3,065}{135,273} \right)^{1/3} \right\}} = 3,282 \text{ m}$$

$$d_b = \frac{H_b}{\left\{ b - \left(\frac{aH_b}{gT^2} \right) \right\}} = \frac{3,282}{\left\{ 0,795 - \left(\frac{1,621 \times 3,282}{9,81 \times 9,306^2} \right) \right\}} = 4,161 \text{ m}$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.56 sampai tabel 4.63 sebagai berikut :

Tabel 4.56.a. Analisa Gelombang Pecah Untuk Hs (Utara)

No	Kala Ulang (tahun)	H'o (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)	m (m)	Hb (m)	a	b	db (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
1	5	3.065	9.306	14.537	135.273	0.002	3.282	1.621	0.795	4.161
2	10	3.505	9.951	15.544	154.675	0.002	3.753	1.621	0.795	4.758
3	20	3.863	10.448	16.320	170.504	0.002	4.137	1.621	0.795	5.245
4	25	4.056	10.705	16.723	179.020	0.002	4.344	1.621	0.795	5.507
5	50	4.427	11.184	17.470	195.383	0.002	4.741	1.621	0.795	6.010
6	100	4.807	11.653	18.204	212.137	0.002	5.147	1.621	0.795	6.525

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.57.a. Analisa Gelombang Pecah Untuk Hs (Timur Laut)

No	Kala Ulang (tahun)	H'o (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)	m (m)	Hb (m)	a	b	db (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
1	5	2.963	9.110	14.230	129.629	0.002	3.164	1.621	0.795	4.011
2	10	3.508	9.913	15.484	153.490	0.002	3.746	1.621	0.795	4.749
3	20	3.967	10.540	16.465	173.547	0.002	4.236	1.621	0.795	5.370
4	25	4.218	10.869	16.979	184.543	0.002	4.504	1.621	0.795	5.710
5	50	4.709	11.485	17.940	206.043	0.002	5.029	1.621	0.795	6.375
6	100	5.224	12.096	18.895	228.549	0.002	5.578	1.621	0.795	7.071

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.58.a. Analisa Gelombang Pecah Untuk Hs (Timur)

No	Kala Ulang (tahun)	H'o (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)	m (m)	Hb (m)	a	b	db (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
1	5	3.160	9.409	14.697	138.285	0.001	3.375	0.818	0.788	4.302
2	10	3.300	9.614	15.018	144.380	0.001	3.523	0.818	0.788	4.492
3	20	3.406	9.768	15.258	149.033	0.001	3.637	0.818	0.788	4.637
4	25	3.460	9.845	15.379	151.416	0.001	3.695	0.818	0.788	4.711
5	50	3.557	9.982	15.592	155.640	0.001	3.798	0.818	0.788	4.842
6	100	3.652	10.115	15.800	159.815	0.001	3.900	0.818	0.788	4.972

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.59.a. Analisa Gelombang Pecah Untuk Hs (Tenggara)

No	Kala Ulang (tahun)	H'o (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)	m (m)	Hb (m)	a	b	db (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
1	5	3.059	9.316	14.553	135.585	0.001	3.281	0.818	0.788	4.183
2	10	3.474	9.927	15.507	153.944	0.001	3.725	0.818	0.788	4.749
3	20	3.815	10.404	16.252	169.082	0.001	4.091	0.818	0.788	5.216
4	25	3.998	10.651	16.637	177.200	0.001	4.288	0.818	0.788	5.466
5	50	4.328	11.081	17.310	191.818	0.001	4.641	0.818	0.788	5.917
6	100	4.676	11.518	17.992	207.224	0.001	5.014	0.818	0.788	6.392

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.60.a. Analisa Gelombang Pecah Untuk H₁₀ (Utara)

No	Kala Ulang (tahun)	H'o (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)	m (m)	Hb (m)	a	b	db (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
1	5	3.921	10.526	16.442	173.067	0.002	4.199	1.621	0.795	5.323
2	10	4.486	11.258	17.587	197.997	0.002	4.804	1.621	0.795	6.090
3	20	4.954	11.831	18.481	218.647	0.002	5.305	1.621	0.795	6.725
4	25	5.206	12.128	18.945	229.766	0.002	5.575	1.621	0.795	7.068
5	50	5.667	12.654	19.766	250.111	0.002	6.069	1.621	0.795	7.693
6	100	6.153	13.184	20.595	271.540	0.002	6.589	1.621	0.795	8.352

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.61.a. Analisa Gelombang Pecah Untuk H_{10} (Timur Laut)

No	Kala Ulang (tahun)	H'o (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)	m (m)	Hb (m)	a	b	db (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
1	5	3.790	10.303	16.094	165.821	0.002	4.047	1.621	0.795	5.131
2	10	4.491	11.215	17.519	196.487	0.002	4.795	1.621	0.795	6.079
3	20	5.090	11.939	18.651	222.676	0.002	5.435	1.621	0.795	6.890
4	25	5.418	12.319	19.243	237.052	0.002	5.785	1.621	0.795	7.334
5	50	6.029	12.995	20.299	263.779	0.002	6.438	1.621	0.795	8.161
6	100	6.687	13.685	21.378	292.570	0.002	7.140	1.621	0.795	9.052

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.62.a. Analisa Gelombang Pecah Untuk H_{10} (Timur)

No	Kala Ulang (tahun)	H'o (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)	m (m)	Hb (m)	a	b	db (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
1	5	4.104	10.721	16.748	179.564	0.001	4.382	0.818	0.788	5.587
2	10	4.392	11.091	17.326	192.170	0.001	4.690	0.818	0.788	5.979
3	20	4.617	11.372	17.764	202.020	0.001	4.930	0.818	0.788	6.285
4	25	4.734	11.515	17.988	207.133	0.001	5.055	0.818	0.788	6.444
5	50	4.941	11.765	18.378	216.216	0.001	5.276	0.818	0.788	6.727
6	100	5.151	12.012	18.763	225.377	0.001	5.500	0.818	0.788	7.012

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.63.a. Analisa Gelombang Pecah Untuk H_{10} (Tenggara)

No	Kala Ulang (tahun)	H'o (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)	m (m)	Hb (m)	a	b	db (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
1	5	3.916	10.540	16.465	173.547	0.001	4.199	0.818	0.788	5.354
2	10	4.446	11.231	17.545	197.050	0.001	4.768	0.818	0.788	6.079
3	20	4.884	11.771	18.387	216.429	0.001	5.237	0.818	0.788	6.676
4	25	5.118	12.050	18.823	226.822	0.001	5.488	0.818	0.788	6.997
5	50	5.540	12.537	19.584	245.535	0.001	5.941	0.818	0.788	7.574
6	100	5.985	13.031	20.356	265.259	0.001	6.419	0.818	0.788	8.183

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.56.b. Analisa Gelombang Pecah Untuk Hs (Utara)

No	Kala Ulang (tahun)	H'o (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)	m (m)	Hb (m)	a	b	db (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
1	5	0.720	4.510	7.045	31.768	0.002	0.771	1.621	0.795	0.977
2	10	0.844	4.882	7.627	37.238	0.002	0.904	1.621	0.795	1.145
3	20	0.947	5.173	8.080	41.797	0.002	1.014	1.621	0.795	1.286
4	25	1.003	5.324	8.317	44.282	0.002	1.074	1.621	0.795	1.362
5	50	1.113	5.608	8.760	49.124	0.002	1.192	1.621	0.795	1.511
6	100	1.227	5.888	9.198	54.160	0.002	1.314	1.621	0.795	1.666

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.57.b. Analisa Gelombang Pecah Untuk Hs (Timur Laut)

No	Kala Ulang (tahun)	H'o (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)	m (m)	Hb (m)	a	b	db (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
1	5	0.628	4.192	6.549	27.454	0.002	0.670	1.621	0.795	0.849
2	10	0.777	4.665	7.287	33.991	0.002	0.830	1.621	0.795	1.052
3	20	0.908	5.042	7.876	39.707	0.002	0.969	1.621	0.795	1.229
4	25	0.981	5.242	8.188	42.917	0.002	1.047	1.621	0.795	1.328
5	50	1.128	5.622	8.782	49.370	0.002	1.205	1.621	0.795	1.528
6	100	1.287	6.005	9.380	56.321	0.002	1.375	1.621	0.795	1.743

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.58.b. Analisa Gelombang Pecah Untuk Hs (Timur)

No	Kala Ulang (tahun)	H'o (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)	m (m)	Hb (m)	a	b	db (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
1	5	1.373	6.201	9.687	60.073	0.001	1.466	0.818	0.788	1.869
2	10	1.501	6.483	10.127	65.659	0.001	1.602	0.818	0.788	2.043
3	20	1.602	6.699	10.464	70.092	0.001	1.711	0.818	0.788	2.181
4	25	1.655	6.809	10.636	72.420	0.001	1.767	0.818	0.788	2.253
5	50	1.752	7.006	10.944	76.669	0.001	1.871	0.818	0.788	2.385
6	100	1.851	7.200	11.247	80.979	0.001	1.976	0.818	0.788	2.519

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.59.b. Analisa Gelombang Pecah Untuk Hs (Tenggara)

No	Kala Ulang (tahun)	H'o (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)	m (m)	Hb (m)	a	b	db (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
1	5	0.773	4.684	7.317	34.272	0.001	0.829	0.818	0.788	1.057
2	10	0.895	5.039	7.872	39.666	0.001	0.960	0.818	0.788	1.224
3	20	0.997	5.317	8.306	44.165	0.001	1.069	0.818	0.788	1.362
4	25	1.052	5.462	8.532	46.602	0.001	1.128	0.818	0.788	1.438
5	50	1.155	5.724	8.942	51.183	0.001	1.239	0.818	0.788	1.579
6	100	1.264	5.987	9.353	56.000	0.001	1.355	0.818	0.788	1.728

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.60.b. Analisa Gelombang Pecah Untuk H_{10} (Utara)

No	Kala Ulang (tahun)	H'o (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)	m (m)	Hb (m)	a	b	db (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
1	5	0.927	5.101	7.969	40.649	0.002	0.991	1.621	0.795	1.256
2	10	1.088	5.525	8.631	47.686	0.002	1.162	1.621	0.795	1.473
3	20	1.224	5.860	9.154	53.639	0.002	1.307	1.621	0.795	1.657
4	25	1.298	6.035	9.427	56.889	0.002	1.387	1.621	0.795	1.758
5	50	1.436	6.347	9.915	62.933	0.002	1.534	1.621	0.795	1.945
6	100	1.583	6.665	10.411	69.388	0.002	1.691	1.621	0.795	2.144

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.61.b. Analisa Gelombang Pecah Untuk H_{10} (Timur Laut)

No	Kala Ulang (tahun)	H'o (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)	m (m)	Hb (m)	a	b	db (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
1	5	0.803	4.741	7.406	35.115	0.002	0.857	1.621	0.795	1.087
2	10	0.995	5.277	8.244	43.506	0.002	1.062	1.621	0.795	1.346
3	20	1.164	5.710	8.919	50.927	0.002	1.243	1.621	0.795	1.576
4	25	1.260	5.939	9.277	55.100	0.002	1.345	1.621	0.795	1.705
5	50	1.445	6.361	9.936	63.197	0.002	1.543	1.621	0.795	1.956
6	100	1.648	6.793	10.612	72.091	0.002	1.760	1.621	0.795	2.231

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.62.b. Analisa Gelombang Pecah Untuk H_{10} (Timur)

No	Kala Ulang (tahun)	H'o (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)	m (m)	Hb (m)	a	b	db (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
1	5	1.755	7.015	10.958	76.876	0.001	1.875	0.818	0.788	2.390
2	10	1.918	7.334	11.456	84.017	0.001	2.049	0.818	0.788	2.612
3	20	2.047	7.577	11.836	89.685	0.001	2.187	0.818	0.788	2.788
4	25	2.115	7.702	12.031	92.661	0.001	2.259	0.818	0.788	2.881
5	50	2.239	7.924	12.379	98.092	0.001	2.392	0.818	0.788	3.049
6	100	2.365	8.144	12.721	103.601	0.001	2.526	0.818	0.788	3.221

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.63.b. Analisa Gelombang Pecah Untuk H₁₀ (Tenggara)

No	Kala Ulang (tahun)	H'o (m)	To (detik)	Co (m/det)	Lo (m)	m (m)	Hb (m)	a	b	db (m)
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]
1	5	0.606	5.300	8.279	43.878	0.001	0.765	0.818	0.788	0.974
2	10	0.701	5.702	8.907	50.788	0.001	0.886	0.818	0.788	1.128
3	20	0.781	6.017	9.399	56.550	0.001	0.986	0.818	0.788	1.256
4	25	0.824	6.181	9.655	59.672	0.001	1.041	0.818	0.788	1.325
5	50	0.905	6.477	10.118	65.541	0.001	1.143	0.818	0.788	1.456
6	100	0.990	6.775	10.584	71.712	0.001	1.251	0.818	0.788	1.593

Sumber : Hasil Perhitungan

Keterangan :

[1] = Nomor

[2] = Kala ulang tertentu

[3] = Tinggi gelombang laut dalam rencana

$$[4] = T_o = 8,134 \left(\frac{\sqrt{\frac{g \cdot H_o}{2,433 \cdot 10^{-1}}}}{g} \right) \rightarrow [4] = 8,134 \left(\frac{\sqrt{\frac{g \cdot [3]}{2,433 \cdot 10^{-1}}}}{g} \right)$$

$$[5] = C_o = \frac{gT}{2\pi} \rightarrow [5] = \frac{g[4]}{2\pi}$$

$$[6] = L_o = \frac{gT^2}{2\pi} \rightarrow [6] = \frac{g[4]^2}{2\pi}$$

[7] = m = Kemiringan pantai

$$[8] = H_b = \frac{H_o}{\left\{ 3,3 \left(\frac{H_o}{L_o} \right)^{1/3} \right\}} \rightarrow \frac{[3]}{\left\{ 3,3 \left(\frac{[3]}{[6]} \right)^{1/3} \right\}}$$

$$[9] = a = 43,75(1 - e^{-19m}) \rightarrow a = 43,75(1 - e^{-19[7]})$$

$$[10] = b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})} \rightarrow b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5[7]})}$$

$$[11] = db = \frac{H_b}{\left\{ b - \left(\frac{aH_b}{gT^2} \right) \right\}} \rightarrow db = \frac{[8]}{\left\{ [10] \left(\frac{[9] \cdot [8]}{9,81[4]^2} \right) \right\}}$$

4.6. Penentuan Gelombang Desain (Hd)

Analisa ini dilakukan untuk menentukan gelombang apa yang digunakan dalam perhitungan elevasi mercu bangunan. Berdasarkan kondisi pecah atau tidak gelombang yang datang ke bangunan gelombang desain dapat dibagi dua yaitu gelombang pecah atau gelombang tidak pecah. Penentuan jenis gelombang ini dipengaruhi oleh kedalaman gelombang pecah (db), gelombang laut dalam ekivalen (Ho'), gelombang laut dalam (Ho) dan Ho penyebab gelombang pecah. Untuk memilih Hd yang akan digunakan dalam analisa selanjutnya, dilakukan perhitungan (untuk arah utara dengan kala ulang 25 tahun data maksimum) sebagai berikut :

Diketahui :

$$Ho_{25} = 4,134 \text{ m} \quad g = 9,81$$

$$Ho'_{25} = 4,056 \text{ m} \quad To = 10,705 \text{ det}$$

$$ds = 0,263 \text{ m} \quad m = 0,002$$

$$\begin{aligned} ds / gT^2 &= 0,263 / (9,81 \cdot 10,705^2) \\ &= 0,003 \end{aligned}$$

dari grafik hubungan antara ds/gT^2 dan Hb/ds (Triatmodjo, 1999 : 236) didapatkan :

$$Hb/ds = 0,9 \rightarrow Hb = 0,9 \cdot ds = 0,9 \cdot 0,263 = 0,237 \text{ m}$$

Selanjutnya dihitung Ho penyebab gelombang pecah sebagai berikut :

$$Hb/Ho' = 0,237/4,056 = 0,058$$

$$Ho' = Kr. Ks. Ho$$

$$\begin{aligned} Ho &= Hb / Kr. Ks (Hb/Ho') \\ &= 0,237 / (0,991 \cdot 0,990 \cdot 0,058) \\ &= 4,165 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari analisa di atas diketahui Ho (gelombang laut dalam) = 4,134 m < Ho (penyebab gelombang pecah) = 4,165 m, maka gelombang yang datang akan pecah di depan bangunan atau gelombang yang datang adalah gelombang tidak pecah. Sehingga untuk analisa selanjutnya gelombang desain (Hd) yang dipakai adalah gelombang laut dalam ekivalen (Ho').

4.7. Analisa Run Up Gelombang

Gelombang yang menjalar menuju pantai akan naik (*run up*) apabila menghantam suatu bangunan. Hal ini akan berpengaruh pada perencanaan puncak bangunan pengaman pantai, sehingga analisa ini perlu dilakukan.

- ❖ Perhitungan run up gelombang dengan kala ulang 25 tahun (Utara) maksimum :

Data yang diperlukan :

$$d_b = 5,507 \text{ m}$$

$$H_o' = 4,056 \text{ m}$$

$$\theta = 26,6^\circ$$

$$L_{025} = 179,020 \text{ m}$$

Kemudian menghitung tinggi run up :

$$I_r = \frac{\tan \theta}{(H_o' / L_o)^{0.5}} = \frac{\tan 26,6}{(4,056 / 179,020)^{0.5}} = 3,327$$

Dengan grafik 7.33 (Triatmodjo, 1999 : 269) diperoleh $\frac{Ru}{H} = 1,1$ maka

$$\frac{Ru}{H} = 1,1 \rightarrow Ru = 1,1 * H_o' = 1,1 * 4,056 = 4,462 \text{ m}$$

- ❖ Perhitungan run up gelombang dengan kala ulang 25 tahun untuk arah TL, T, dan TG diperoleh nilai sebagai berikut :

Data maksimum (H_s) :

$$\text{Utara} \rightarrow Ru = 4,462 \text{ m}$$

$$\text{Timur Laut} \rightarrow Ru = 4,460 \text{ m}$$

$$\text{Timur} \rightarrow Ru = 3,806 \text{ m}$$

$$\text{Tenggara} \rightarrow Ru = 4,398 \text{ m}$$

Data maksimum (H_{10}) :

$$\text{Utara} \rightarrow Ru = 5,727 \text{ m}$$

$$\text{Timur Laut} \rightarrow Ru = 5,960 \text{ m}$$

$$\text{Timur} \rightarrow Ru = 5,207 \text{ m}$$

$$\text{Tenggara} \rightarrow Ru = 5,630 \text{ m}$$

Data rerata (H_s) :

$$\text{Utara} \rightarrow Ru = 1,104 \text{ m}$$

$$\text{Timur Laut} \rightarrow Ru = 1,079 \text{ m}$$

$$\text{Timur} \rightarrow Ru = 1,821 \text{ m}$$

$$\text{Tenggara} \rightarrow Ru = 1,157 \text{ m}$$

Data rerata (H_{10}) :

$$\text{Utara} \rightarrow Ru = 1,427 \text{ m}$$

$$\text{Timur Laut} \rightarrow Ru = 1,386 \text{ m}$$

Timur → $R_u = 2,327 \text{ m}$

Tenggara → $R_u = 0,906 \text{ m}$

4.8. Elevasi

Dalam studi ini elevasi yang dianalisa adalah elevasi muka air laut rencana dan elevasi puncak bangunan. Elevasi muka air laut rencana merupakan penjumlahan dari beberapa parameter seperti, pasang surut, *tsunami* / gelombang badai, *wave setup*, dan kenaikan muka air laut karena perubahan suhu global. Berikut akan dianalisa masing-masing parameter tersebut.

➤ Wave Setup

Wave setup merupakan kenaikan muka air akibat gelombang yang datang menuju pantai mengalami gelombang pecah. Dalam perhitungan ini digunakan data masukan dari hasil analisa gelombang pecah.

- Perhitungan *Wave Setup* untuk arah utara :

Data :

$$m = 0,002$$

$$H_o'_{25} = 4,056 \text{ m}$$

$$db_{25} = 5,507 \text{ m}$$

$$T = 10,705 \text{ detik}$$

Maka *wave setup* dihitung dengan persamaan 2.53 berikut :

$$S_w = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_o'}{gT^2}} \right] H_o'$$

$$S_w = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{4,056}{9,81 \times 10,705^2}} \right] 4,056 = 0,767 \text{ m}$$

- Perhitungan *Wave Setup* untuk arah TL, T, dan TG, diperoleh sebesar :

Data maksimum (H_s) :

$$\text{Utara} \rightarrow S_w = 0,767 \text{ m}$$

$$\text{Timur Laut} \rightarrow S_w = 0,797 \text{ m}$$

$$\text{Timur} \rightarrow S_w = 0,654 \text{ m}$$

$$\text{Tenggara} \rightarrow S_w = 0,756 \text{ m}$$

Data maksimum (H_{10}) :

$$\text{Utara} \rightarrow S_w = 0,984 \text{ m}$$

$$\text{Timur Laut} \rightarrow S_w = 1,024 \text{ m}$$

Timur → $S_w = 0,895 \text{ m}$

Tenggara → $S_w = 0,968 \text{ m}$

Data rerata (H_s) :

Utara → $S_w = 0,190 \text{ m}$

Timur Laut → $S_w = 0,185 \text{ m}$

Timur → $S_w = 0,313 \text{ m}$

Tenggara → $S_w = 0,199 \text{ m}$

Data rerata (H_{10}) :

Utara → $S_w = 0,245 \text{ m}$

Timur Laut → $S_w = 0,238 \text{ m}$

Timur → $S_w = 0,400 \text{ m}$

Tenggara → $S_w = 0,156 \text{ m}$

➤ **Pemanasan Global**

Pemanasan global dari tahun ke tahun mengalami kenaikan karena peningkatan konsentrasi gas rumah kaca di atmosfer yang dapat menyebabkan perubahan muka air laut. Besarnya kenaikan muka air laut karena pemanasan global dapat dilihat pada grafik di lampiran untuk 2006 diperkirakan kenaikan muka air laut akibat pemanasan global sebesar 0,95 m.

➤ **Pasang Surut**

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik menarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap masa air laut. Dalam perencanaan bangunan pantai data pasang surut yang terpenting adalah elevasi muka air laut tertinggi dan elevasi permukaan air laut terendah. Adapun data pasang surut yang diperoleh dari teknik kelautan ITS tersebut sebagai berikut :

HHWL = + 124,24 cm = + 1,242 m

MSL = 0,000

LLWL = - 118,25 cm = - 1,183 m

➤ **Tsunami**

Menurut Najoan, T.F. (1995) Indonesia dibagi dalam empat daerah (zona) rawan tsunami (Triatmodjo, 1999: 104), pantai di daerah Tuban yang merupakan deretan pantai utara Jawa termasuk dalam zona 0. Dimana zona ini menunjukkan bahwa daya hancur *tsunami* tidak ada sampai kecil dengan tinggi rayapan 0.5 – 1.0 m, maka diambil tinggi gelombang akibat *tsunami* sebesar 0,5 m.

➤ Tinggi Jagaan

Dalam menentukan elevasi puncak bangunan perlu memperhitungkan tinggi jagaan sebagai pengaman jika terjadi kenaikan muka air diluar perencanaan.

Tabel 4.64.a. Tinggi Jagaan H_s (Maksimum)

Arah	$H_o'_{25}$ (m)	Tinggi Jagaan (m)
Utara	4,056	1,352
Timur Laut	4,218	1,406
Timur	3,460	1,153
Tenggara	3,998	1,333

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.65.a. Tinggi Jagaan H_{10} (Maksimum)

Arah	$H_o'_{25}$ (m)	Tinggi Jagaan (m)
Utara	5,206	1,735
Timur Laut	5,418	1,806
Timur	4,734	1,578
Tenggara	5,118	1,706

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.64.b. Tinggi Jagaan H_s (Rerata)

Arah	$H_o'_{25}$ (m)	Tinggi Jagaan (m)
Utara	1,003	0,334
Timur Laut	0,981	0,327
Timur	1,655	0,552
Tenggara	1,052	0,351

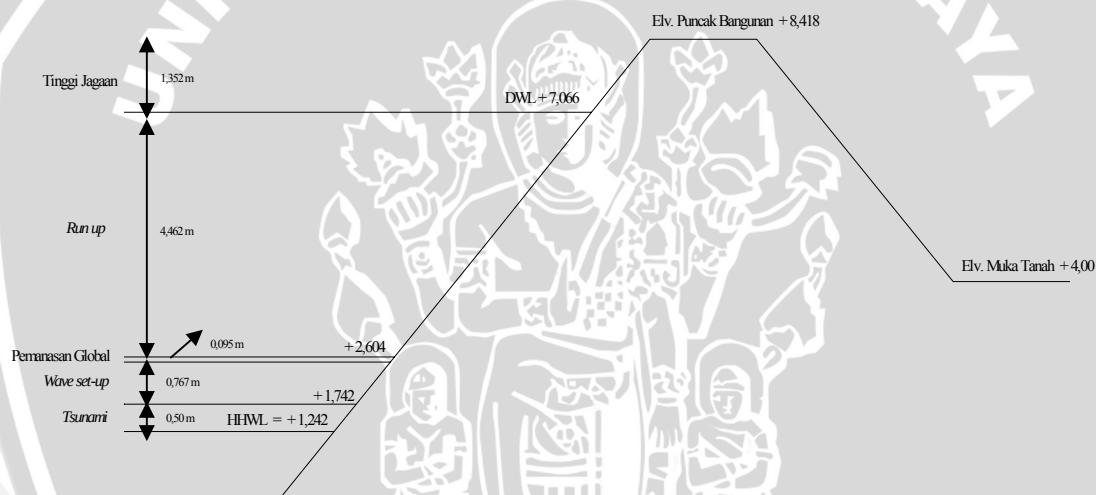
Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.65.b. Tinggi Jagaan H_{10} (Rerata)

Arah	Hbo' ₂₅ (m)	Tinggi Jagaan (m)
Utara	1,298	0,433
Timur Laut	1,260	0,420
Timur	2,115	0,705
Tenggara	0,824	0,275

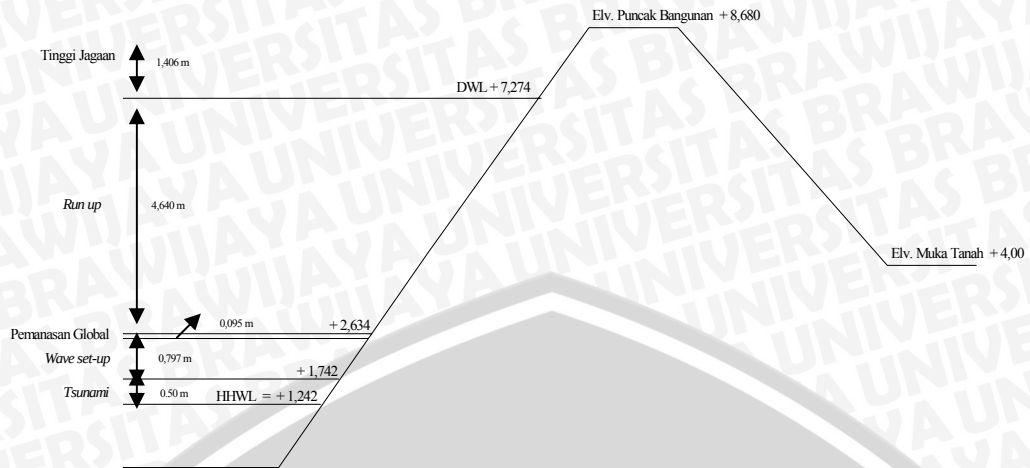
Sumber : Hasil Perhitungan

Setelah semua parameter-parameter tersebut dihitung, maka elevasi muka air laut rencana dan elevasi puncak bangunan dapat digambarkan dan ditabelkan sebagai berikut :



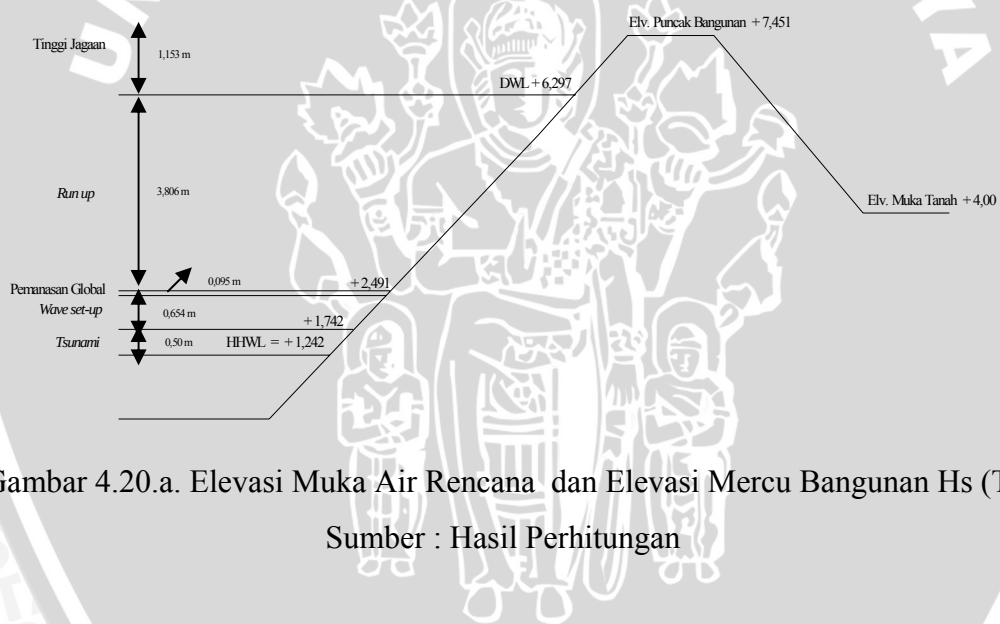
Gambar 4.18.a. Elevasi Muka Air Rencana dan Elevasi Mercu Bangunan H_s (U)

Sumber : Hasil Perhitungan



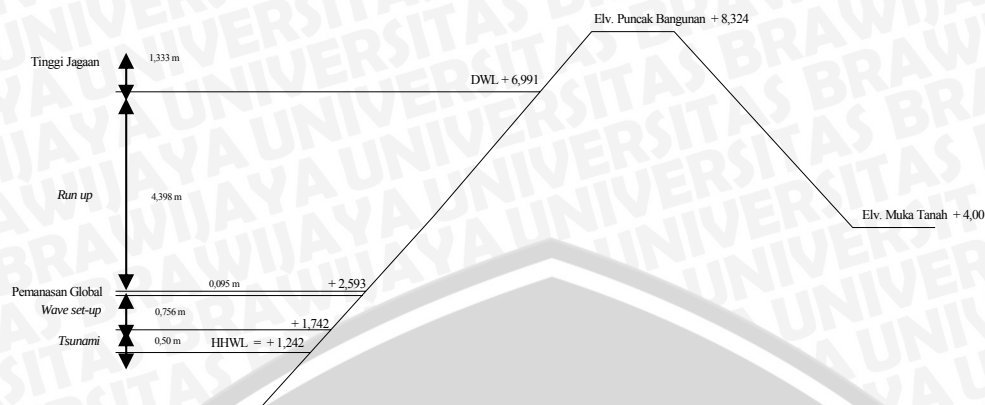
Gambar 4.19.a. Elevasi Muka Air Rencana dan Elevasi Mercu Bangunan Hs (TL)

Sumber : Hasil Perhitungan



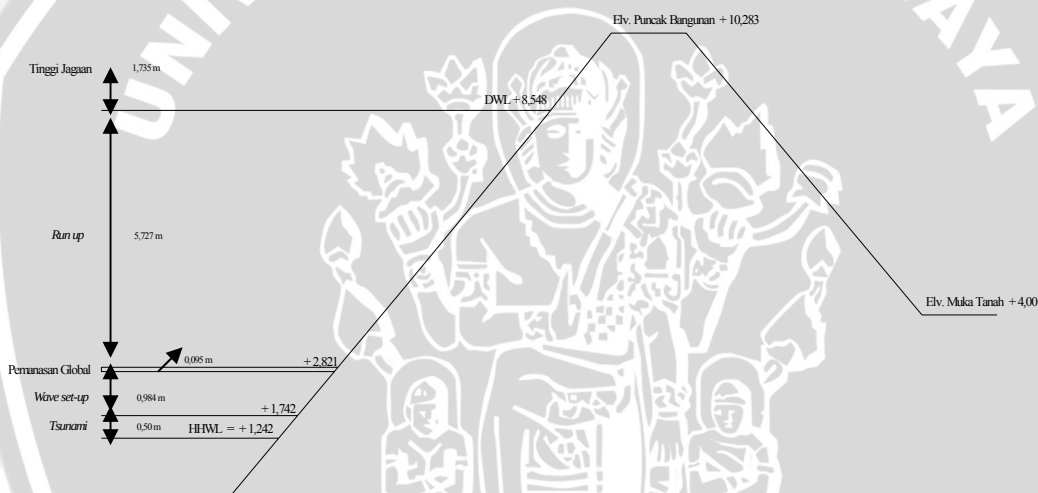
Gambar 4.20.a. Elevasi Muka Air Rencana dan Elevasi Mercu Bangunan Hs (T)

Sumber : Hasil Perhitungan



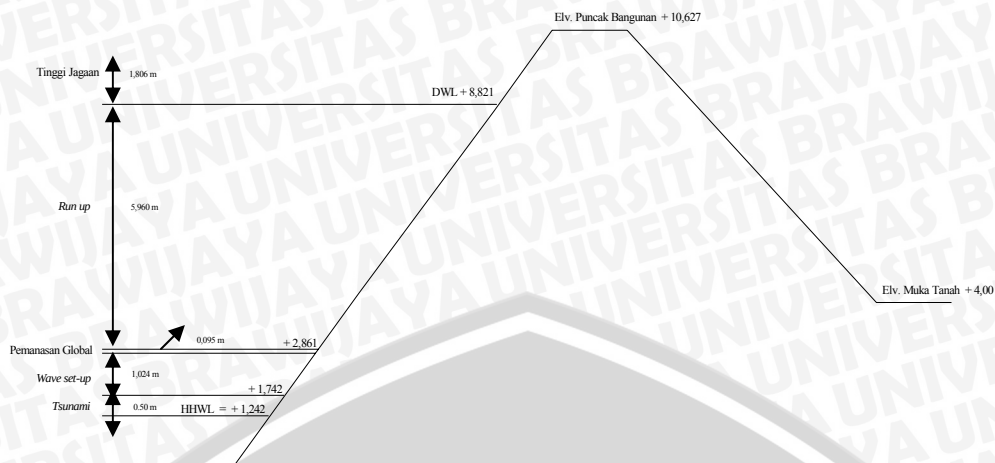
Gambar 4.21.a. Elevasi Muka Air Rencana dan Elevasi Mercu Bangunan H_s (TG)

Sumber : Hasil Perhitungan



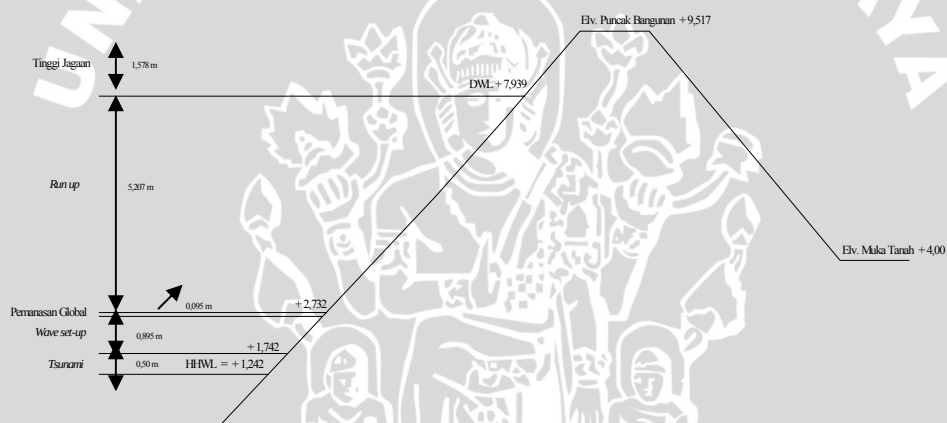
Gambar 4.22.a. Elevasi Muka Air Rencana dan Elevasi Mercu Bangunan H₁₀ (U)

Sumber : Hasil Perhitungan



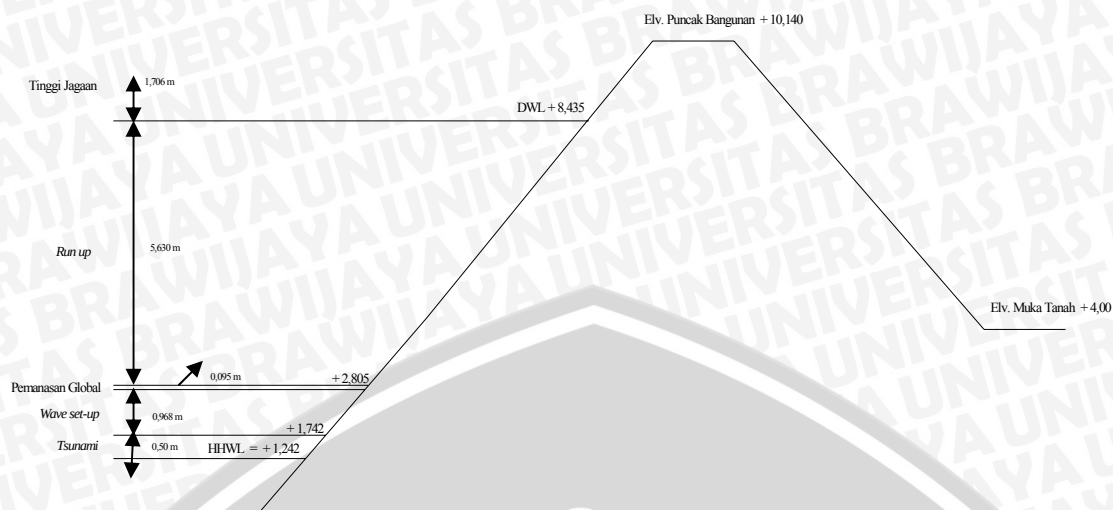
Gambar 4.23.a. Elevasi Muka Air Rencana dan Elevasi Mercu Bangunan H_{10} (TL)

Sumber : Hasil Perhitungan



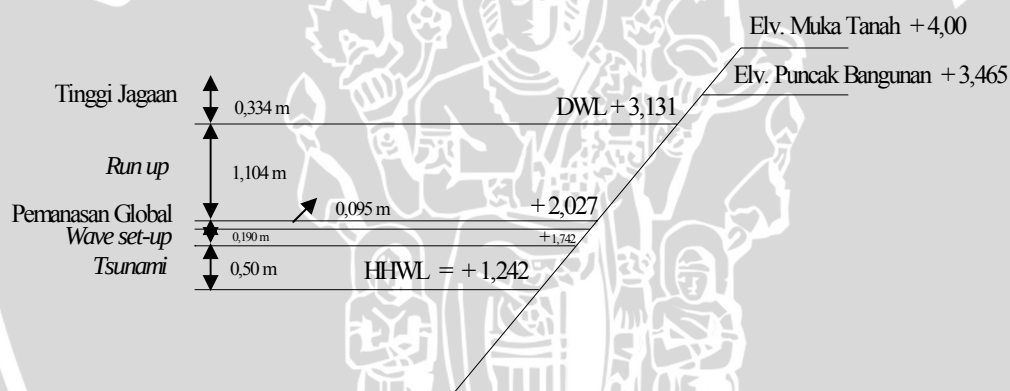
Gambar 4.24.a. Elevasi Muka Air Rencana dan Elevasi Mercu Bangunan H_{10} (T)

Sumber : Hasil Perhitungan



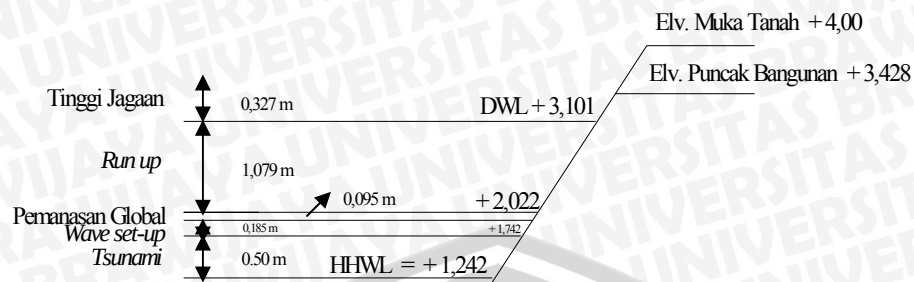
Gambar 4.25.a. Elevasi Muka Air Rencana dan Elevasi Mercu Bangunan H_{10} (TG)

Sumber : Hasil Perhitungan



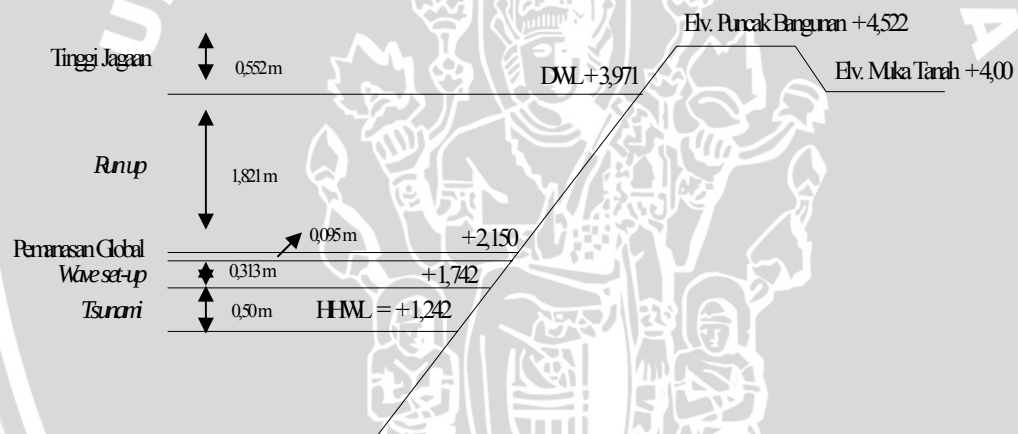
Gambar 4.18.b. Elevasi Muka Air Rencana dan Elevasi Mercu Bangunan H_s (U)

Sumber : Hasil Perhitungan



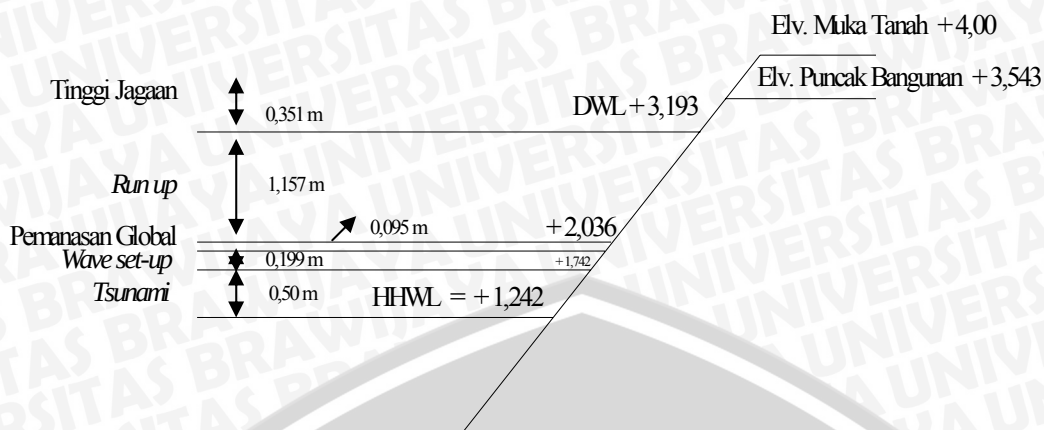
Gambar 4.19.b. Elevasi Muka Air Rencana dan Elevasi Mercu Bangunan Hs (TL)

Sumber : Hasil Perhitungan



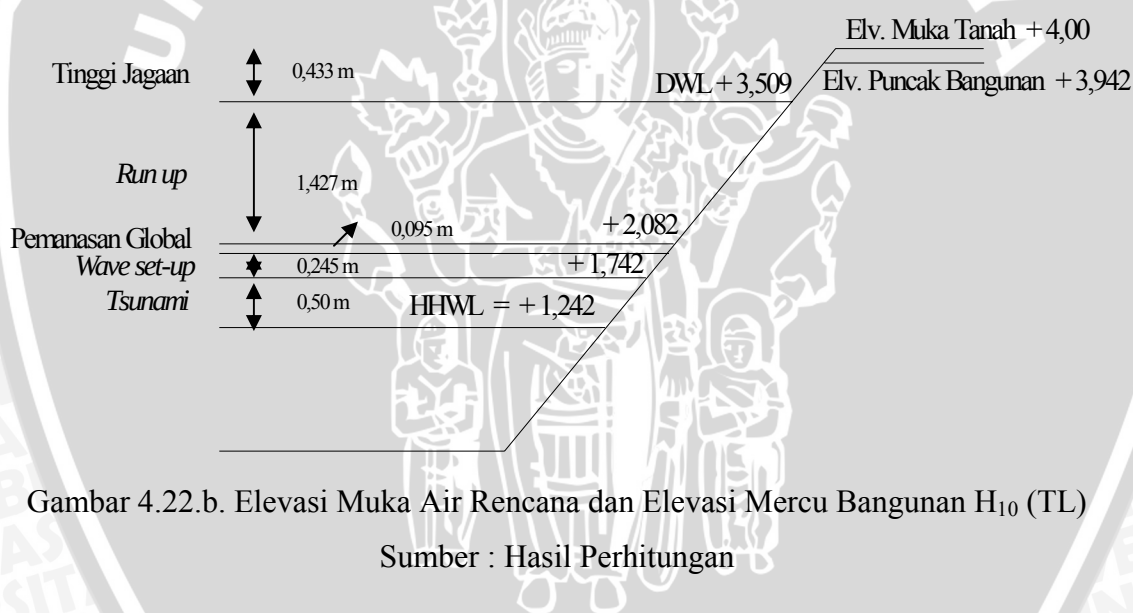
Gambar 4.20.b. Elevasi Muka Air Rencana dan Elevasi Mercu Bangunan Hs (TG)

Sumber : Hasil Perhitungan



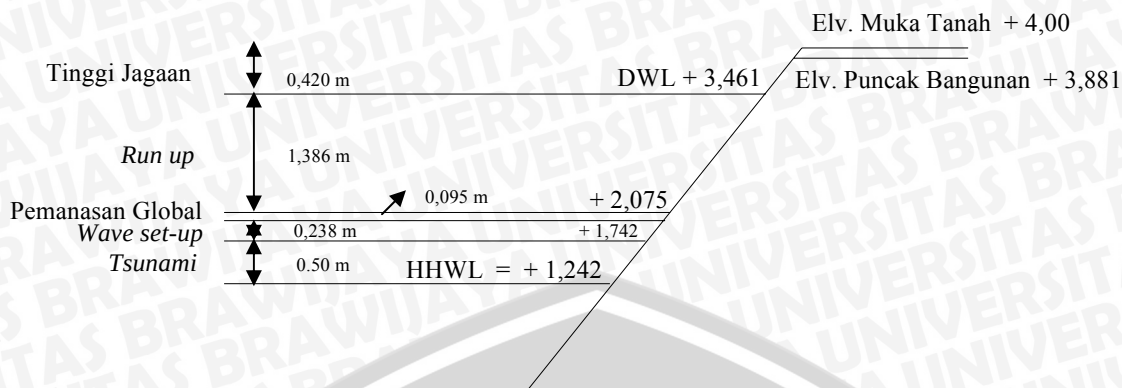
Gambar 4.21.b. Elevasi Muka Air Rencana dan Elevasi Mercu Bangunan H₁₀ (U)

Sumber : Hasil Perhitungan



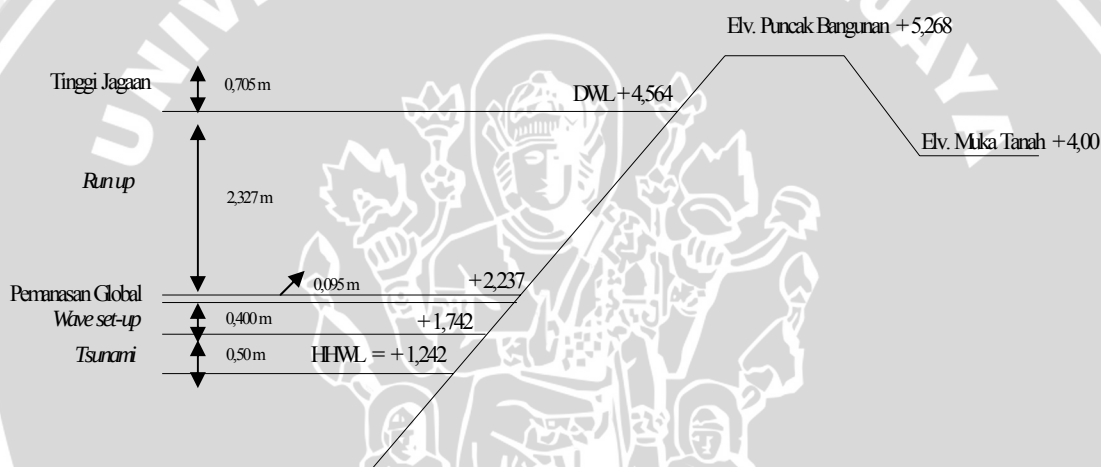
Gambar 4.22.b. Elevasi Muka Air Rencana dan Elevasi Mercu Bangunan H₁₀ (TL)

Sumber : Hasil Perhitungan



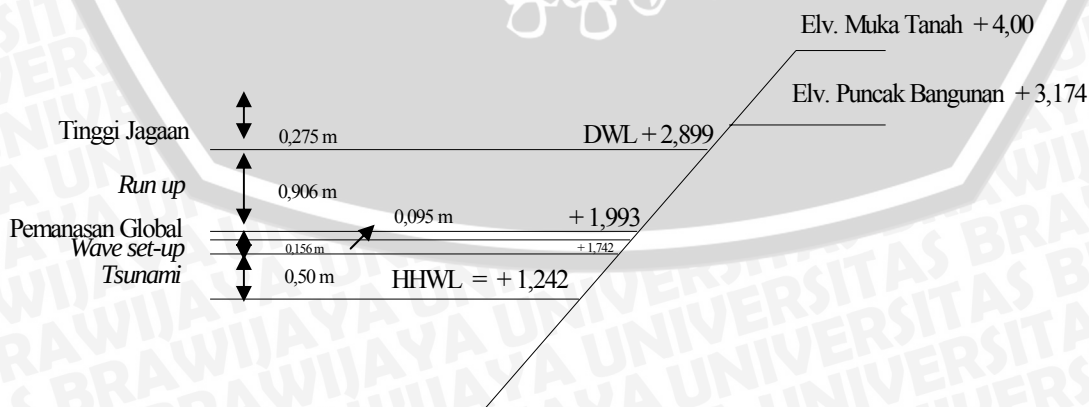
Gambar 4.23.b. Elevasi Muka Air Rencana dan Elevasi Mercu Bangunan H_{10} (T)

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.24.b. Elevasi Muka Air Rencana dan Elevasi Mercu Bangunan H_{10} (TG)

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 4.25.b. Elevasi Muka Air Rencana (DWL) dan Elevasi Mercu Bangunan (TG)

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.66.a. Parameter Desain Bangunan Hs (Maksimum)

Parameter	Satuan	Arah			
		Utara	Timur Laut	Timur	Tenggara
Elevasi Muka Tanah	m	4,00	4,00	4,00	4,00
HHWL	m	1,242	1,242	1,242	1,242
Tsunami	m	0.5	0.5	0.5	0.5
Wave Setup	m	0,340	0,207	0,429	0,281
Pemanasan Global	m	0,095	0,095	0,095	0,095
Elevasi Muka Air Rencana	m	2,177	2,044	2,266	2,118
Run Up	m	1.979	1.203	2.498	1.636
Tinggi Jagaan	m	0,600	0,365	0,757	0,496
Elevasi Puncak Bangunan	m	4,755	3,611	5,520	4,249

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.67.a. Parameter Desain Bangunan H₁₀(Maksimum)

Parameter	Satuan	Arah			
		Utara	Timur Laut	Timur	Tenggara
Elevasi Muka Tanah	m	4.242	4.242	4.242	4.242
HHWL	m	1.242	1.242	1.242	1.242
Tsunami	m	0.5	0.5	0.5	0.5
Wave Setup	m	0.984	1.024	0.895	0.968
Pemanasan Global	m	0.095	0.095	0.095	0.095
Elevasi Muka Air Rencana	m	2.821	2.861	2.732	2.805
Run Up	m	5.727	5.960	5.207	5.630
Tinggi Jagaan	m	1.735	1.806	1.578	1.706
Elvasi Puncak Bangunan	m	10.283	10.627	9.517	10.140

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.66.b. Parameter Desain Bangunan Hs (Rerata)

Parameter	Satuan	Arah			
		Utara	Timur Laut	Timur	Tenggara
Elevasi Muka Tanah	m	4.242	4.242	4.242	4.242
HHWL	m	1.242	1.242	1.242	1.242
Tsunami	m	0.5	0.5	0.5	0.5
Wave Setup	m	0.190	0.185	0.313	0.199
Pemanasan Global	m	0.095	0.095	0.095	0.095
Elevasi Muka Air Rencana	m	2.027	2.022	2.150	2.036
Run Up	m	1.104	1.079	1.821	1.157
Tinggi Jagaan	m	0.334	0.327	0.552	0.351
Elevasi Puncak Bangunan	m	3.465	3.428	4.522	3.543

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.67.b. Parameter Desain Bangunan H_{10} (Rerata)

Parameter	Satuan	Arah			
		Utara	Timur Laut	Timur	Tenggara
Elevasi Muka Tanah	m	4.242	4.242	4.242	4.242
HHWL	m	1.242	1.242	1.242	1.242
<i>Tsunami</i>	m	0.5	0.5	0.5	0.5
<i>Wave Setup</i>	m	0.245	0.238	0.400	0.156
Pemanasan Global	m	0.095	0.095	0.095	0.095
Elevasi Muka Air Rencana	m	2.082	2.075	2.237	1.993
<i>Run Up</i>	m	1.427	1.386	2.327	0.906
Tinggi Jagaan	m	0.433	0.420	0.705	0.275
Elvevasi Puncak Bangunan	m	3.942	3.881	5.268	3.174

Sumber : Hasil Perhitungan

Dalam perencanaan bangunan pengaman pantai data angin yang digunakan untuk analisa pembangkitan gelombang adalah data ekstrim. Hal ini dimaksudkan agar bangunan yang direncanakan mampu bertahan bila terjadi gelombang tinggi. Dari analisa di atas diperoleh elevasi puncak bangunan dengan menggunakan data angin maksimum nilainya terlalu tinggi. Disamping itu daerah lokasi studi yang berada di kawasan pantai utara Jawa yang memiliki karakteristik gelombang tidak terlalu tinggi dan dilihat dari kondisi topografi elevasi permukaan tanah +4,00 m. Karena itu dalam perencanaan bangunan pengaman pantai digunakan data angin rerata.

4.9. Perencanaan *Revetment*

Bangunan pelindung yang direncanakan adalah pelindung pantai *revetment*.

Dalam studi ini digunakan tiga alternatif bahan konstruksi, yaitu :

- Alternatif 1 : *Revetment* dengan bahan dasar pasangan batu
- Alternatif 2 : *Revetment* dengan bahan dasar pasangan beton
- Alternatif 3 : *Revetment* dengan bahan dasar tumpukan batu

Berikut di bawah ini merupakan perencanaan *revetment* untuk beberapa kondisi muka air.

4.9.a. Alternatif 1

4.9.a.1. Kondisi Muka Air Laut Surut (LLWL)

Untuk kondisi surut, gelombang yang tiba di bangunan adalah gelombang telah pecah karena kedalaman air pada bangunan lebih kecil dari kedalaman gelombang pecah ($d_s < d_b$).

Dari data dan perhitungan yang sudah ada pada pembahasan sebelumnya, didapatkan:

- Elevasi HHWL = + 1,2424 m
- Elevasi MSL = + 0,0000 m
- Elevasi LLWL = - 1,1825 m
- Elevasi DWL = - 0,188 m
- Elevasi Mercu Bangunan = + 5,000 m
- Lebar Mercu = 1 m
- Panjang pelindung kaki bangunan :
 $3H - 4,5H$, dengan $H = 2,115$ m
 sehingga panjang pelindung kaki bangunan = 6,345 m – 9,518 m (diambil 8,0 m)
- Tinggi pelindung kaki bangunan
 $1H - 1,5H$
 sehingga tinggi pelindung kaki bangunan = 2,115 m – 3,173 m (diambil 2,00 m)
- Berat butir batu pelindung kaki bangunan

γ	= 2,6 t/m ³
H	= 2,115 m
d _l	= 0 m
d _s	= 0,075 m
γ_w	= 1,025 t/m ³

$$Sr = \gamma/\gamma_w = 2,6/1,025 = 2,537$$

$$d1/ds = 0/0,075 = 0, \text{ dari grafik hubungan } d1/ds \text{ dan } Ns^3 \text{ didapat } Ns^3 = 8$$

$$W = \frac{\gamma.H^3}{Ns^3.(sr-1)^3}$$

$$W = \frac{2,6.2,115^3}{8^3.(2,537-1)^3} = 0,013 \text{ ton} = 13 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{W}{4/3.\pi.\gamma}}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{0,013}{4/3...2,6}} = 0,212 \text{ m} = 21,20 \text{ cm}$$

- Berat butir batu lapis pelindung bangunan

$$W = \frac{\gamma.H^3}{K_D.(sr-1)^3.\cot\theta}$$

$$W = \frac{2,6.2,115^3}{2.(2,537-1)^3.2} = 1,694 \text{ ton} = 1694 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{W}{4/3.\pi.\gamma}}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{1,694}{4/3...2,6}} = 1,076 \text{ m} = 107,6 \text{ cm}$$

Tabel 4.68.a. Perhitungan Gaya Vertikal (Momen Penahan)

Pias	A m ²	Volume m ³	γ t/m ³	W ton	Lengan m	Momen tm
W1	1*5.00	5.000	2.6	13.000	8.000	104.000
W2	0.5*7.50*5.00	18.750	2.6	48.750	5.000	243.750
W3	8.50*2.00	17.000	2.6	44.200	4.250	187.850
				105.950		535.600

Sumber : Hasil Perhitungan

4.9.a.1.1. Perhitungan Tekanan Dinamis dan Momen

Gelombang yang datang pada bangunan adalah gelombang telah pecah, karena kedalaman air pada bangunan lebih kecil dari kedalaman gelombang pecah ($ds < db$).

Sehingga rumus yang berlaku adalah:

$$R_m = 0,5.\gamma_w.db.hc$$

$$M_m = R_m [ds + (hc/2)]$$

$$R_s = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot (d_s + h_c)^2$$

$$M_s = 1/6 \cdot \gamma_w \cdot (d_s + h_c)^3$$

$$h_c = 0,78 \cdot H_b$$

Dimana :

R_m = gaya gelombang dinamis (ton)

M_m = momen gelombang dinamis (tm)

R_s = gaya hidrostatik (ton)

M_s = Momen hidrostatik (tm)

d_s = kedalaman air di kaki bangunan (m)

d_b = kedalaman gelombang pecah (m)

H_b = tinggi gelombang pecah (m)

❖ Diketahui :

$$\gamma_w = 1,025 \text{ ton/m}^3$$

$$d_b = 2,881 \text{ m}$$

$$H_o' = 2,115 \text{ m}$$

$$d_s = 0,075 \text{ m}$$

$$h_c = 0,78 \cdot 2,115 = 1,650 \text{ m}$$

❖ Gaya gelombang dinamis dan momen yang ditimbulkan

$$\begin{aligned} R_m &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot d_b \cdot h_c \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 2,881 \cdot 1,650 \\ &= 2,436 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_m &= R_m [d_s + (h_c / 2)] \\ &= 2,436 [0,075 + (1,650 / 2)] \\ &= 2,192 \text{ tm} \end{aligned}$$

❖ Gaya dan momen hidrostatik

$$\begin{aligned} R_s &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot (d_s + h_c)^2 \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot (0,075 + 1,650)^2 \\ &= 1,525 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_s &= 1/6 \cdot \gamma_w \cdot (d_s + h_c)^3 \\ &= 1/6 \cdot 1,025 \cdot (0,075 + 1,650)^3 \\ &= 0,877 \text{ tm} \end{aligned}$$

❖ Gaya dan momen total

$$R_t = R_m + R_s = 2,436 + 1,525 = 3,960 \text{ ton}$$

$$M_t = M_m + M_s = 2,192 + 0,877 = 3,068 \text{ tm}$$

4.9.a.1.2. Perhitungan Tekanan *Up-lift*

Perhitungan tekana *up-lift* dengan menggunakan persamaan :

$$P_x = H_x - (L_x/L) \Delta H$$

dengan :

P_x = tekanan air pada titik x

H_x = jarak titik x dengan muka air tertinggi (m)

L_x = jarak jalur rembesan pada titik x (m)

L = jarak jalur rembesan seluruh bangunan (m)

ΔH = beda tinggi energi (m)

❖ Menghitung L :

$$\begin{aligned} L &= \Sigma V + 1/3 \Sigma H \\ &= 2,78 + 1/3 \cdot 8,50 + 1,812 \\ &= 7,425 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= 2,78 - 1,812 \\ &= 0,968 \text{ m} \end{aligned}$$

❖ Tekanan air pada titik :

A)

$$\begin{aligned} H_x &= 0 \text{ m} \\ L_x &= 0 \text{ m} \\ L &= 7,425 \text{ m} \\ \Delta H &= 0,968 \text{ m} \\ P_x &= 0 - (0/7,425) \cdot 0,968 \\ &= 0 \end{aligned}$$

B)

$$\begin{aligned} H_x &= 2,780 \text{ m} \\ L_x &= 2,780 \text{ m} \\ L &= 7,425 \text{ m} \\ \Delta H &= 0,968 \text{ m} \\ P_x &= 2,780 - (2,780/7,425) \cdot 0,968 \\ &= 2,418 \end{aligned}$$

C)

$$\begin{aligned} H_x &= 2,780 \text{ m} \\ L_x &= 5,613 \text{ m} \\ L &= 7,425 \text{ m} \\ \Delta H &= 0,968 \text{ m} \\ P_x &= 2,780 - (5,613/7,425) \cdot 0,968 \\ &= 2,048 \end{aligned}$$

D)

$$\begin{aligned} H_x &= 0,968 \text{ m} \\ L_x &= 7,425 \text{ m} \\ L &= 7,425 \text{ m} \\ \Delta H &= 0,968 \text{ m} \\ P_x &= 0,968 - (7,425/7,425) \cdot 0,968 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} P_{u1} &= 2,048 \cdot 1,025 \cdot 8,50 \\ &= 19,483 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{u2} &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 8,50 \cdot (2,418 - 2,048) \\ &= 1,757 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MP_{u1} &= 19,483 \cdot (0,5 \cdot 8,50) \\ &= 90,400 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MP_{u2} &= 1,757 \cdot (2/3) \cdot 8,50 \\ &= 10,868 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$P_{u \text{ total}} = 19,483 + 1,757 = 21,239 \text{ ton}$$

$$\text{MPu total} = 90,400 + 10,868 = 101,268 \text{ tm}$$

4.9.a.1.3. Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

$$\gamma_w = 1,025 \text{ t/m}^2$$

$$\gamma = 1,879 \text{ t/m}^2$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1 + e}$$

$$e = w \cdot G_s$$

$$= 0,44 \cdot 2,89$$

$$= 1,272$$

dengan :

$$\gamma_{\text{sat}} = \text{berat isi jenuh (t/m}^3\text{)}$$

$$G_s = \text{berat jenis}$$

$$e = \text{angka pori}$$

$$w = \text{kadar air}$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{1,025 (2,89 + 1,272)}{1 + 1,272}$$

$$= 1,878 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = 1,878 - 1,025 = 0,853 \text{ t/m}^3$$

$$\Phi = 20^\circ, K_a = \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} = \frac{1 - \sin 20}{1 + \sin 20} = 0,490$$

$$K_p = \frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta} = \frac{1 + \sin 20}{1 - \sin 20} = 1,017$$

untuk kondisi gempa :

$$\Phi = 20 - \tan^{-1} 0,15$$

$$= 11,469^\circ, K_{a_e} = \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} = \frac{1 - \sin 11,469}{1 + \sin 11,469} = 0,668$$

$$K_{p_e} = \frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta} = \frac{1 + \sin 11,469}{1 - \sin 11,469} = 1,024$$

$$P_p = 0,5 \cdot K_p \cdot \gamma \cdot h^2$$

$$= 0,5 \cdot 1,017 \cdot 1,879 \cdot 1,737^2$$

$$= 2,884 \text{ ton}$$

$$M P_p = P_p \cdot \text{lengan}$$

$$= 2,884 \cdot 0,579$$

$$= 1,670 \text{ tm}$$

$$P_{pe} = 0,5 \cdot K_{pe} \cdot \gamma \cdot h^2$$

$$= 0,5 \cdot 1,024 \cdot 1,879 \cdot 1,737^2$$

$$= 2,902 \text{ ton}$$

$$MP_{pe} = P_{pe} \cdot \text{lengan}$$

$$= 2,902 \cdot 0,579$$

$$= 1,680 \text{ tm}$$

$$P_w = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot h^2$$

$$= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 0,075^2$$

$$= 0,003 \text{ ton}$$

$$MP_w = P_w \cdot \text{jarak}$$

$$= 0,003 \cdot 1,762$$

$$= 0,005 \text{ tm}$$

$$P_a = 0,5 \cdot K_a \cdot \gamma \cdot H_1^2 + K_a \cdot \gamma \cdot H_1 \cdot H_2 + 0,5 \cdot (K_a \cdot \gamma' + \gamma_w) \cdot H_1^2$$

$$= 0,5 \cdot 0,490 \cdot 1,879 \cdot 3,220^2 + 0,490 \cdot 1,879 \cdot 3,220 \cdot 2,780 + 0,5 \cdot (0,490 \cdot 0,853 + 1,025) \cdot 3,220^2$$

$$= 4,776 + 8,247 + 7,481$$

$$= 20,504 \text{ ton}$$

Titik tangkap dari resultan dapat dicari dengan mengambil momen terhadap tembok :

$$= \frac{4,776 \cdot 3,853 + 8,247 \cdot 1,390 + 7,481 \cdot 0,927}{20,504}$$

$$= 1,795 \text{ m}$$

sehingga momen P_a

$$MP_a = 20,504 \cdot 1,795$$

$$= 36,799 \text{ tm}$$

dengan persamaan yang sama, untuk kondisi gempa, dengan $K_{ae} = 0,668$, didapatkan:

$$P_{ae} = 26,019 \text{ ton}$$

$$MP_{ae} = 46,696 \text{ tm}$$

4.9.a.1.4. Stabilitas Terhadap Guling

- Untuk kondisi normal

$$SF = \frac{M_t}{M_g} \geq 1,5$$

$$\frac{M_v + M_{pp} + M_{pw} + M_{mt}}{M_{pu} + M_{pa}} \geq 1,5$$

$$\frac{535,600 + 1,670 + 0,005 + 3,068}{101,268 + 36,799} = 3,914 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = \frac{M_t}{M_g} \geq 1,1$$

$$\frac{M_v - (M_v \cdot 0,15) + M_{pp_e} + M_{pw} + M_{mt}}{M_{pu} + M_{pa_e}} \geq 1,1$$

$$\frac{535,600 - (535,600 \cdot 0,15) + 1,680 + 0,005 + 3,068}{101,268 + 46,696} = 3,109 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.a.1.5. Stabilitas Terhadap Geser

Koefisien geser = $f = \tan \Phi = \tan 20^\circ = 0,364$

- Untuk kondisi normal

$$SF = f \frac{\sum V}{\sum H} \geq 1,5$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{W - U}{P_a + P_w - P_p - R_t} \right) \geq 1,5$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{105,950 - 21,239}{20,504 + 0,003 - 2,884 - 3,960} \right) = 2,257 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa :

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,1$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{W - (W \cdot 0,15) - U}{P_{a_e} + P_w - P_{p_e} - R_t} \right) \geq 1,1$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{105,950 - (105,950 \cdot 0,15) - 21,239}{26,019 + 0,003 - 2,902 - 3,960} \right) = 1,307 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.a.1.6. Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

- Untuk kondisi normal

Pondasi berbentuk memanjang, maka persamaan yang digunakan adalah :

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma$$

dengan $P_o = D \cdot \gamma$

Karena muka air tanah terletak di atas pondasi, maka

$$P_o = \gamma' (D - d_w) + \gamma \cdot d_w$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1,878 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = 0,853 \text{ t/m}^3$$

$$dw = 3,220 \text{ m}$$

$$D = 6,000 \text{ m}$$

$$Po = 0,853 \cdot (6,000 - 3,220) + 1,879 \cdot 3,220 \\ = 8,421 \text{ t/m}^2$$

N_c, N_q, N_γ merupakan faktor daya dukung tanah berdasarkan Φ

Dengan $\Phi = 20^\circ$ didapat $N_c = 17,700$

$$N_q = 7,400$$

$$N_\gamma = 5,000$$

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{540,343 - 138,067}{84,711}$$

$$= 4,749$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 4,749 - \frac{8,50}{2} \right|$$

$$= 0,499$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 8,50 - 2 \cdot 0,499 = 7,502 \text{ m}$$

$$qu = c \cdot N_c + Po \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma$$

$$= 0 \cdot 17,700 + 8,421 \cdot 9,302 + 0,5 \cdot 1,879 \cdot 7,502 \cdot 5,000$$

$$= 97,559 \text{ t/m}^2$$

Tegangan ijin

$$qa = \frac{qu}{SF} = \frac{97,559}{3} = 32,520 \text{ t/m}^2$$

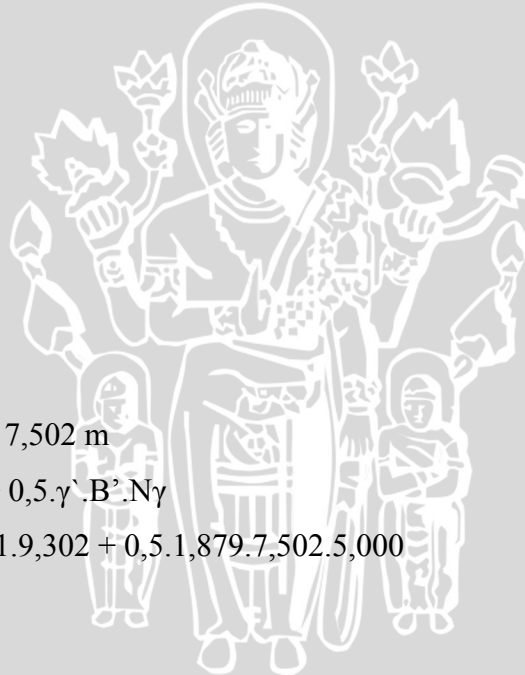
syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$0,499 < 1,417$$

Tegangan Maksimum

$$q_{max} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$= \frac{84,711}{8,50} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,499}{8,50} \right)$$



$$= 13,475 \text{ t/m}^2$$

kontrol : $q_{\max} < q_a$

$$13,404 \text{ t/m}^2 < 32,551 \text{ t/m}^2 \quad (\text{aman})$$

- Untuk kondisi gempa

Dengan $\Phi = 11,469^\circ$ didapat $N_c = 10,570$

$$N_q = 3,199$$

$$N_\gamma = 1,582$$

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{460,013 - 147,964}{68,818}$$

$$= 4,534$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 4,534 - \frac{8,50}{2} \right|$$

$$= 0,284$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 8,50 - 2 \cdot 0,284 = 7,931 \text{ m}$$

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma$$

$$= 0 \cdot 10,570 + 8,421 \cdot 9,302 + 0,5 \cdot 1,879 \cdot 7,931 \cdot 1,582$$

$$= 38,727 \text{ t/m}^2$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{38,727}{2} = 19,364 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$0,284 < 1,417$$

Tegangan Maksimum

$$q_{\max} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$= \frac{68,818}{8,50} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,284}{8,50} \right)$$

$$= 9,722 \text{ t/m}^2$$

control : $q_{max} < q_a$

$$9,722 \text{ t/m}^2 < 19,364 \text{ t/m}^2 \text{ (aman)}$$

4.9.a.2. Kondisi Muka Air Rata-rata (MSL)

Untuk kondisi muka air rata-rata, gelombang yang tiba di bangunan adalah gelombang telah pecah karena kedalaman air pada bangunan lebih kecil dari kedalaman gelombang pecah ($d_s < d_b$).

Dari data dan perhitungan yang sudah ada pada pembahasan sebelumnya, didapatkan:

- Elevasi HHWL = + 1,2424 m
- Elevasi MSL = + 0,0000 m
- Elevasi LLWL = - 1,1825 m
- Elevasi DWL = + 0,983 m
- Elevasi Mercu Bangunan = + 5,000 m
- Lebar Mercu = 1 m
- Panjang pelindung kaki bangunan :
 $3H - 4,5H$, dengan $H = 2,115 \text{ m}$
 sehingga panjang pelindung kaki bangunan = 6,345 m – 9,518 m (diambil 8,0 m)
- Tinggi pelindung kaki bangunan
 $1H - 1,5H$
 sehingga tinggi pelindung kaki bangunan = 2,115 m – 3,173 m (diambil 2,0 m)
- Berat butir batu pelindung kaki bangunan
 - $\gamma = 2,6 \text{ t/m}^3$
 - $H = 2,115 \text{ m}$
 - $d_l = 0,983 \text{ m}$
 - $d_s = 1,246 \text{ m}$
 - $\gamma_w = 1,025 \text{ t/m}^3$
 - $S_r = \gamma/\gamma_w = 2,6/1,025 = 2,537$

$d_l/d_s = 0,983/1,246 = 0,789$, dari grafik hubungan d_l/d_s dan N_s^3 didapat $N_s^3 = 300$

$$W = \frac{\gamma \cdot H^3}{N_s^3 \cdot (s_r - 1)^3}$$

$$W = \frac{2,6 \cdot 2,115^3}{300^3 \cdot (2,537 - 1)^3} = 0,023 \text{ ton} = 23,000 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2.3 \sqrt{\frac{W}{4/3 \cdot \pi \gamma}}$$

$$\phi W = 2.3 \sqrt{\frac{0,023}{4/3 \cdot \pi \cdot 2,6}} = 0,255 \text{ m} = 25,500 \text{ cm}$$

- Berat butir batu lapis pelindung bangunan

$$W = \frac{\gamma \cdot H^3}{K_D \cdot (sr - 1)^3 \cdot \cot \theta}$$

$$W = \frac{2,6 \cdot 2,115^3}{4 \cdot (2,537 - 1)^3 \cdot 2} = 0,848 \text{ ton} = 848 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2.3 \sqrt{\frac{W}{4/3 \cdot \pi \gamma}}$$

$$\phi W = 2.3 \sqrt{\frac{0,848}{4/3 \cdot \pi \cdot 2,6}} = 0,854 \text{ m} = 85,400 \text{ cm}$$

Tabel 4.69.a. Perhitungan Gaya Vertikal (Momen Penahan)

Pias	A m ²	Volume m ³	γ t/m ³	W ton	Lengan m	Momen tm
Ww	0.5*1.475*0.983	0.725	1.025	0.743	0.492	0.366
W1	1*5.00	5.000	2.6	13.000	8.000	104.000
W2	0.5*7.50*5.00	18.750	2.6	48.750	5.000	243.750
W3	8.50*2.00	17.000	2.6	44.200	4.250	187.850
				106.693		535.966

Sumber : Hasil Perhitungan

4.9.a.2.1. Perhitungan Tekanan Dinamis dan Momen

Gelombang yang datang pada bangunan adalah gelombang pecah, Karena kedalaman air pada bangunan lebih kecil dari kedalaman gelombang pecah ($d_s < d_b$). Sehingga rumus yang berlaku :

$$R_m = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot d_b \cdot h_c$$

$$M_m = R_m [d_s + (h_c/2)]$$

$$R_s = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot (d_s + h_c)^2$$

$$M_s = 1/6 \cdot \gamma_w \cdot (d_s + h_c)^3$$

$$h_c = 0,78 \cdot H_b$$

Dimana :

$$R_m = \text{gaya gelombang dinamis (ton)}$$

M_m = momen gelombang dinamis (tm)

R_s = gaya hidrostatik (ton)

M_s = momen hidrostatik (tm)

d_s = kedalaman air di kaki bangunan (m)

d_b = kedalaman gelombang pecah (m)

H_b = tinggi gelombang pecah (m)

❖ Diketahui :

$$\gamma_w = 1,025 \text{ ton/m}^3$$

$$d_b = 2,881 \text{ m}$$

$$H_o' = 2,115 \text{ m}$$

$$d_s = 1,246 \text{ m}$$

$$h_c = 0,78.2,115 = 1,650 \text{ m}$$

❖ Gaya gelombang dinamis dan momen yang ditimbulkan

$$\begin{aligned} R_m &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot d_b \cdot h_c \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 2,881 \cdot 1,650 \\ &= 2,436 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_m &= R_m [d_s + (h_c / 2)] \\ &= 2,436 [1,246 + (1,650 / 2)] \\ &= 5,044 \text{ tm} \end{aligned}$$

❖ Gaya dan momen hidrostatik

$$\begin{aligned} R_s &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot (d_s + h_c)^2 \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot (1,246 + 1,650)^2 \\ &= 4,298 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_s &= 1/6 \cdot \gamma_w \cdot (d_s + h_c)^3 \\ &= 1/6 \cdot 1,025 \cdot (1,246 + 1,650)^3 \\ &= 4,148 \text{ tm} \end{aligned}$$

❖ Gaya dan momen total

$$R_t = R_m + R_s = 2,436 + 4,298 = 6,733 \text{ ton}$$

$$M_t = M_m + M_s = 5,044 + 4,148 = 9,192 \text{ tm}$$

4.9.a.2.2. Perhitungan Tekanan Up-lift

Perhitungan tekana *up-lift* dengan menggunakan persamaan :

$$P_x = H_x - (L_x/L) \Delta H$$

dengan :

P_x = tekanan air pada titik x

H_x = jarak titik x dengan muka air tertinggi (m)

L_x = jarak jalur rembesan pada titik x (m)

L = jarak jalur rembesan seluruh bangunan (m)

ΔH = beda tinggi energi (m)

Menghitung L :

$$\begin{aligned} L &= \Sigma V + 1/3 \Sigma H \\ &= 2,78 + 1/3 \cdot 8,50 + 2,0 + 1,773 \\ &= 9,386 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= 2,983 - 2,780 \\ &= 0,203 \text{ m} \end{aligned}$$

Tekanan air pada titik :

A) $H_x = 0 \text{ m}$

$L_x = 0 \text{ m}$

$L = 9,386 \text{ m}$

$\Delta H = 0,203 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 0 - (0/9,386) \cdot 0,203 \\ &= 0 \end{aligned}$$

B) $H_x = 2,780 \text{ m}$

$L_x = 2,780 \text{ m}$

$L = 9,386 \text{ m}$

$\Delta H = 0,203 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 2,78 - (2,78/9,386) \cdot 0,203 \\ &= 2,720 \end{aligned}$$

C) $H_x = 2,780 \text{ m}$

$L_x = 5,613 \text{ m}$

$L = 9,386 \text{ m}$

$\Delta H = 0,203 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 2,78 - (5,613/9,386) \cdot 0,203 \\ &= 2,659 \end{aligned}$$

D) $H_x = 0,203 \text{ m}$

$L_x = 9,386 \text{ m}$

$L = 9,386 \text{ m}$

$\Delta H = 0,203 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 0,203 - (9,386/9,386) \cdot 0,203 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} P_{u1} &= 2,659 \cdot 1,025 \cdot 8,50 \\ &= 23,163 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Pu1} &= 23,163 \cdot (0,5 \cdot 8,50) \\ &= 98,443 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{u2} &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 8,50 \cdot (2,720 - 2,659) \\ &= 0,267 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Pu2} &= 0,267 \cdot (2/3) \cdot 8,50 \\ &= 1,513 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$P_u \text{ total} = 23,163 + 0,267 = 23,430 \text{ ton}$$

$$M_{Pu} \text{ total} = 98,443 + 1,513 = 99,956 \text{ tm}$$

4.9.a.2.3. Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan:

$$P_p = 2,884 \text{ ton}$$

$$M_{Pp} = 1,670 \text{ tm}$$

$$P_{pe} = 2,902 \text{ ton}$$

$$MP_{pe} = 1,680 \text{ tm}$$

$$P_a = 20,504 \text{ ton}$$

$$MP_a = 36,799 \text{ tm}$$

$$P_{ae} = 26,019 \text{ ton}$$

$$MP_{ae} = 46,696 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned} P_w &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot h^2 \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 1,246^2 \\ &= 0,796 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$MP_w = 0,796 \cdot 2,152 = 1,713 \text{ tm}$$

4.9.a.2.4. Stabilitas Terhadap Guling

- Untuk kondisi normal

$$SF = \frac{M_t}{M_g} \geq 1,5$$

$$\frac{M_v + M_{pp} + M_{pw} + M_{mt}}{M_{pu} + M_{pa}} \geq 1,5$$

$$\frac{535,966 + 1,670 + 1,713 + 9,192}{99,956 + 36,799} = 4,011 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = \frac{M_t}{M_g} \geq 1,1$$

$$\frac{M_v - (M_v \cdot 0,15) + M_{pp_e} + M_{pw} + M_{mt}}{M_{pu} + M_{p_a_e}} \geq 1,1$$

$$\frac{535,966 - (535,966 \cdot 0,15) + 1,680 + 1,713 + 9,192}{99,956 + 46,696} = 3,192 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.a.2.5. Stabilitas Terhadap Geser

$$\text{Koefisien geser} = f = \tan \Phi = \tan 20^\circ = 0,364$$

- Untuk kondisi normal

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,5$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{W - U}{P_a + P_w - P_p - R_t} \right) \geq 1,5$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{106,693 - 23,430}{20,504 + 0,796 - 2,884 - 6,733} \right) = 2,594 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,1$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{W - (W \cdot 0,15) - U}{P_{a_e} + P_w - P_{p_e} R_t} \right) \geq 1,1$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{106,693 - (106,693 \cdot 0,15) - 23,430}{26,019 + 0,796 - 2,902 - 6,733} \right) = 1,425 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.a.2.6. Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

- Untuk kondisi normal

Pondasi berbentuk memanjang, maka persamaan yang digunakan adalah :

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma$$

dengan $P_o = D \cdot \gamma$

Karena muka air tanah terletak di atas pondasi, maka

$$P_o = \gamma' (D - d_w) + \gamma \cdot d_w$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1,878 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = 0,853 \text{ t/m}^3$$

$$d_w = 3,220 \text{ m}$$

$$D = 6,000 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} P_o &= 0,853 \cdot (6,000 - 3,220) + 1,879 \cdot 3,220 \\ &= 8,421 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

N_c, N_q, N_γ merupakan faktor daya dukung tanah berdasarkan Φ

Dengan $\Phi = 20^\circ$ didapat $N_c = 17,700$

$$N_q = 7,400$$

$$N_\gamma = 5,000$$

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{548,540 - 136,755}{83,263}$$

$$= 4,946$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 4,946 - \frac{8,50}{2} \right|$$

$$= 0,696$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 8,50 - 2.0,696 = 7,109 \text{ m}$$

$$q_u = c.N_c + P_o . N_q + 0,5.\gamma'.B'.N_\gamma$$

$$= 0.17,700 + 8,421.9,302 + 0,5.1,879.7,109.5,000$$

$$= 95,711 \text{ t/m}^3$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{95,711}{3} = 31,904 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$0,696 < 1,417$$

Tegangan Maksimum

$$q_{\max} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$= \frac{83,263}{8,50} \left(1 + \frac{6.0,696}{8,50} \right)$$

$$= 14,605 \text{ t/m}^2$$

kontrol : $q_{\max} < q_a$

$$14,605 \text{ t/m}^2 < 31,904 \text{ t/m}^2 \quad (\text{aman})$$

- Untuk kondisi gempa

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{468,155 - 146,652}{67,259}$$

$$= 4,780$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 4,780 - \frac{8,50}{2} \right|$$

$$= 0,530$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 8,50 - 2.0,530 = 7,440 \text{ m}$$

$$q_u = c.N_c + P_o . N_q + 0,5.\gamma'.B'.N_\gamma$$

$$= 0.10,570 + 8,421.9,302 + 0,5.1,879.7,440.1,582$$

$$= 37,997 \text{ t/m}^3$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{37,997}{2} = 18,999 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$0,530 < 1,417$$

Tegangan Maksimum

$$\begin{aligned} q_{\max} &= \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \\ &= \frac{67,259}{8,50} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,530}{8,50} \right) \\ &= 10,874 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

control : $q_{\max} < q_a$

$$10,874 \text{ t/m}^2 < 18,999 \text{ t/m}^2 \quad (\text{aman})$$

4.9.a.3. Kondisi Muka Air Pasang (HHWL)

Untuk kondisi muka air pasang, gelombang yang tiba di bangunan adalah gelombang telah pecah karena kedalaman air pada bangunan lebih kecil dari kedalaman gelombang pecah ($d_s < d_b$).

Dari data dan perhitungan yang sudah ada pada pembahasan sebelumnya, didapatkan:

- Elevasi HHWL = + 1,2424 m
- Elevasi MSL = + 0,000 m
- Elevasi LLWL = - 1,1825 m
- Elevasi DWL = + 2,237 m
- Elevasi Mercu Bangunan = + 5,000 m
- Lebar Mercu = 1 m
- Panjang pelindung kaki bangunan :
 $3H - 4,5H$, dengan $H = 2,115 \text{ m}$
 sehingga panjang pelindung kaki bangunan = $6,345 \text{ m} - 9,518 \text{ m}$ (diambil $8,0 \text{ m}$)
- Tinggi pelindung kaki bangunan
 $1H - 1,5H$
 sehingga tinggi pelindung kaki bangunan = $2,115 \text{ m} - 3,173 \text{ m}$ (diambil $2,0 \text{ m}$)
- Berat butir batu pelindung kaki bangunan
 $\gamma = 2,6 \text{ t/m}^3$

$$H = 2,115 \text{ m}$$

$$d1 = 2,237 \text{ m}$$

$$ds = 2,500 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 1,025 \text{ t/m}^3$$

$$Sr = \gamma/\gamma_w = 2,6/1,025 = 2,537$$

$$d1/ds = 2,237/2,500 = 0,895 \text{ , dari grafik hubungan } d1/ds \text{ dan } Ns^3 \text{ didapat } Ns^3 = 300$$

$$W = \frac{\gamma.H^3}{Ns^3.(sr-1)^3}$$

$$W = \frac{2,6.2,115^3}{300^3.(2,537-1)^3} = 0,023 \text{ ton} = 23 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{W}{4/3.\pi.\gamma}}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{0,023}{4/3.\pi.2,6}} = 0,255 \text{ m} = 25,50 \text{ cm}$$

- Berat butir batu lapis pelindung bangunan

$$W = \frac{\gamma.H^3}{K_D.(sr-1)^3.\cot\theta}$$

$$W = \frac{2,6.2,115^3}{4.(2,537-1)^3.2} = 0,848 \text{ ton} = 848 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{W}{4/3.\pi.\gamma}}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{0,848}{4/3.\pi.2,6}} = 0,854 \text{ m} = 85,400 \text{ cm}$$

Tabel 4.70.a. Perhitungan Gaya Vertikal (Momen Penahan)

Pias	A m ²	Volume m ³	γ t/m ³	W ton	Lengan m	Momen tm
Ww	0.5*3.356*2.237	3.754	1.025	3.848	1.119	4.305
W1	1*5.000	5.000	2.6	13.000	8.000	104.000
W2	0.5*7.500*5.000	18.750	2.6	48.750	5.000	243.750
W3	8.50*2.00	17.000	2.6	44.200	4.250	187.850
				109.798		539.905

Sumber : Hasil Perhitungan

4.9.a.3.1. Perhitungan Tekanan Dinamis dan Momen

Gelombang yang datang pada bangunan adalah gelombang telah pecah, Karena kedalaman air pada bangunan lebih kecil dari kedalaman gelombang pecah ($ds < db$).

Sehingga rumus yang berlaku :

$$R_m = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot db \cdot hc$$

$$M_m = R_m [ds + (hc/2)]$$

$$R_s = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot (ds + hc)^2$$

$$M_s = 1/6 \cdot \gamma_w \cdot (ds + hc)^3$$

$$hc = 0,78 \cdot H_b$$

Dimana :

R_m = gaya gelombang dinamis (ton)

M_m = momen gelombang dinamis (tm)

R_s = gaya hidrostatik (ton)

M_s = Momen hidrostatik (tm)

ds = kedalaman air di kaki bangunan (m)

db = kedalaman gelombang pecah (m)

H_b = tinggi gelombang pecah (m)

❖ Diketahui :

$$\gamma_w = 1,025 \text{ ton/m}^3$$

$$db = 2,881 \text{ m}$$

$$H_o' = 2,115 \text{ m}$$

$$ds = 2,500 \text{ m}$$

$$hc = 0,78 \cdot 2,115 = 1,650 \text{ m}$$

❖ Gaya gelombang dinamis dan momen yang ditimbulkan

$$\begin{aligned} R_m &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot db \cdot hc \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 2,881 \cdot 1,650 \\ &= 2,436 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_m &= R_m [ds + (hc/2)] \\ &= 2,436 [2,500 + (1,650/2)] \\ &= 8,098 \text{ tm} \end{aligned}$$

❖ Gaya dan momen hidrostatik

$$\begin{aligned} R_s &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot (ds + hc)^2 \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot (2,500 + 1,650)^2 \\ &= 8,826 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_s &= 1/6 \cdot \gamma_w \cdot (ds+hc)^3 \\ &= 1/6 \cdot 1,025 \cdot (2,500 + 1,650)^3 \\ &= 12,208 \text{ tm} \end{aligned}$$

❖ Gaya dan momen total

$$R_t = R_m + R_s = 2,436 + 8,826 = 11,261 \text{ ton}$$

$$M_t = M_m + M_s = 8,098 + 12,208 = 20,306 \text{ tm}$$

4.9.a.3.2. Perhitungan Tekanan Up-lift

Perhitungan tekana *up-lift* dengan menggunakan persamaan :

$$P_x = H_x - (L_x/L) \Delta H$$

dengan :

P_x = tekanan air pada titik x

H_x = jarak titik x dengan muka air tertinggi (m)

L_x = jarak jalur rembesan pada titik x (m)

L = jarak jalur rembesan seluruh bangunan (m)

ΔH = beda tinggi energi (m)

Menghitung L :

$$\begin{aligned} L &= \Sigma V + 1/3 \Sigma H \\ &= 2,780 + 1/3 \cdot 8,500 + 2,00 + 4,033 \\ &= 11,646 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= 2,237 - 0,780 \\ &= 1,457 \text{ m} \end{aligned}$$

Tekanan air pada titik :

A) $H_x = 0 \text{ m}$

$L_x = 0 \text{ m}$

$L = 11,646 \text{ m}$

$\Delta H = 1,457 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 0 - (0/11,646) \cdot 1,457 \\ &= 0 \end{aligned}$$

B) $H_x = 2,780 \text{ m}$

$L_x = 2,780 \text{ m}$

$L = 11,646 \text{ m}$

$\Delta H = 1,457 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 2,78 - (2,78/11,646) \cdot 1,457 \\ &= 2,432 \end{aligned}$$

C) $H_x = 2,780 \text{ m}$

$L_x = 5,613 \text{ m}$

$L = 11,646 \text{ m}$

$\Delta H = 1,457 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 2,78 - (5,613/11,646) \cdot 1,457 \\ &= 2,078 \end{aligned}$$

D) $H_x = 1,457 \text{ m}$

$L_x = 11,646 \text{ m}$

$L = 11,646 \text{ m}$

$\Delta H = 1,457 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 1,457 - (11,646/11,646) \cdot 1,457 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$Pu1 = 2,078.1,025.8,50$$

$$= 18,102 \text{ ton}$$

$$MPu1 = 18,102.(0,5.8,50)$$

$$= 76,935 \text{ tm}$$

$$Pu2 = 0,5.1,025.8,50.(2,432-2,078)$$

$$= 1,544 \text{ ton}$$

$$MPu2 = 1,544.(2/3).8,50$$

$$= 8,750 \text{ tm}$$

$$Pu \text{ total} = 18,102 + 1,544 = 19,647 \text{ ton}$$

$$MPu \text{ total} = 76,935 + 8,750 = 85,685 \text{ tm}$$

4.9.a.3.3. Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan:

$$Pp = 2,884 \text{ ton}$$

$$M Pp = 1,670 \text{ tm}$$

$$Ppe = 2,902 \text{ ton}$$

$$MPpe = 1,680 \text{ tm}$$

$$Pa = 20,504 \text{ ton}$$

$$MPa = 36,799 \text{ tm}$$

$$Pa_e = 26,019 \text{ ton}$$

$$MPa_e = 46,696 \text{ tm}$$

$$Pw = 0,5. \gamma_w .h^2$$

$$= 0,5.1,025.2,500^2$$

$$= 3,203 \text{ ton}$$

$$MPw = 3,203.2,570 = 8,233 \text{ tm}$$

4.9.a.3.4. Stabilitas Terhadap Guling

- Untuk kondisi normal

$$SF = \frac{Mt}{Mg} \geq 1,5$$

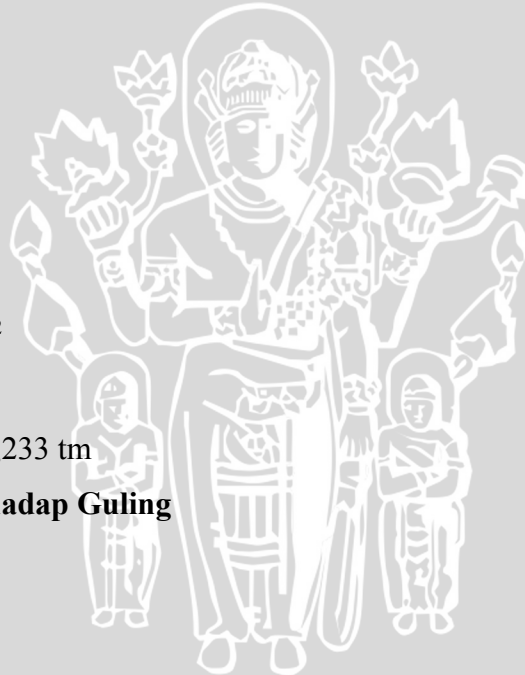
$$\frac{Mv + Mpp + Mpw + Mmt}{Mpu + Mpa} \geq 1,5$$

$$\frac{539,905 + 1,670 + 8,233 + 20,306}{85,685 + 36,799} = 4,655 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = \frac{Mt}{Mg} \geq 1,1$$

$$\frac{Mv - (Mv.0,15) + Mpp_e + Mpw + Mmt}{Mpu + Mpa_e} \geq 1,1$$



$$\frac{539,905 - (539,905 \cdot 0,15) + 1,680 + 8,233 + 20,306}{85,685 + 46,696} = 3,695 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.a.3.5. Stabilitas Terhadap Geser

Koefisien geser = $f = \tan \Phi = \tan 20^\circ = 0,364$

- Untuk kondisi normal

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,5$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{W - U}{P_a + P_w - P_p - R_t} \right) \geq 1,5$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{109,798 - 19,647}{20,504 + 3,203 - 2,884 - 11,261} \right) = 3,431 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,1$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{W - (W \cdot 0,15) - U}{P_{a_e} + P_w - P_{p_e} - R_t} \right) \geq 1,1$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{109,798 - (109,798 \cdot 0,15) - 19,647}{26,019 + 3,203 - 2,902 - 11,261} \right) = 1,781 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.a.3.6. Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

- Untuk kondisi normal

Pondasi berbentuk memanjang, maka persamaan yang digunakan adalah :

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma$$

dengan $P_o = D \cdot \gamma$

Karena muka air tanah terletak di atas pondasi, maka

$$P_o = \gamma' (D - d_w) + \gamma \cdot d_w$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1,878 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = 0,853 \text{ t/m}^3$$

$$d_w = 3,220 \text{ m}$$

$$D = 6,000 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} P_o &= 0,853 \cdot (6,000 - 3,462) + 1,879 \cdot 3,220 \\ &= 8,421 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

N_c, N_q, N_γ merupakan faktor daya dukung tanah berdasarkan Φ

Dengan $\Phi = 20^\circ$ didapat $N_c = 17,700$

$$N_q = 7,400$$

$$N_\gamma = 5,000$$

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{570,114 - 122,484}{90,151}$$

$$= 4,965$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 4,965 - \frac{8,50}{2} \right|$$

$$= 0,715$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 8,50 - 2 \cdot 0,715 = 7,069 \text{ m}$$

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma$$

$$= 0,17 \cdot 7,00 + 8,421 \cdot 9,302 + 0,5 \cdot 1,879 \cdot 7,069 \cdot 5,000$$

$$= 95,525 \text{ t/m}^3$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{95,525}{3} = 31,842 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$0,715 < 1,417$$

Tegangan Maksimum

$$q_{\max} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$= \frac{90,151}{8,50} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,715}{8,50} \right)$$

$$= 15,961 \text{ t/m}^2$$

kontrol : $q_{\max} < q_a$

$$15,961 \text{ t/m}^2 < 31,842 \text{ t/m}^2 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

Dengan $\Phi = 11,469^\circ$ didapat $N_c = 10,5700$

$$N_q = 3,199$$

$$N_\gamma = 1,582$$

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{489,139 - 132,381}{73,681}$$

$$= 4,842$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 4,842 - \frac{8,50}{2} \right|$$

$$= 0,592$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 8,50 - 2 \cdot 0,592 = 7,316 \text{ m}$$

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_q$$

$$= 0,10 \cdot 5,700 + 8,421 \cdot 9,302 + 0,5 \cdot 1,879 \cdot 7,316 \cdot 1,582$$

$$= 37,813 \text{ t/m}^3$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{37,813}{2} = 18,907 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$0,592 < 1,417$$

Tegangan Maksimum

$$q_{\max} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$= \frac{73,681}{8,50} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,592}{8,50} \right)$$

$$= 12,290 \text{ t/m}^2$$

control : $q_{\max} < q_a$

$$12,290 \text{ t/m}^2 < 18,907 \text{ t/m}^2 \text{ (aman)}$$

4.9.a.4. Kondisi Muka Air Gelombang Pecah

Untuk kondisi gelombang pecah, gelombang yang tiba di bangunan adalah gelombang pecah karena kedalaman air pada bangunan sama dengan kedalaman gelombang pecah ($d_s = d_b$).

Dari data dan perhitungan yang sudah ada pada pembahasan sebelumnya, didapatkan:

- Elevasi HHWL = + 1,2424 m
- Elevasi MSL = + 0,0000 m
- Elevasi LLWL = - 1,1825 m
- Elevasi DWL = + 2,618 m
- Elevasi Mercu Bangunan = + 5,000 m
- Lebar Mercu = 1 m
- Panjang pelindung kaki bangunan :
 $3H - 4,5H$, dengan $H = 2,115$ m
 sehingga panjang pelindung kaki bangunan = $6,345$ m – $9,518$ m (diambil $8,0$ m)
- Tinggi pelindung kaki bangunan
 $1H - 1,5H$
 sehingga tinggi pelindung kaki bangunan = $2,115$ m – $3,173$ m (diambil $2,0$ m)
- Berat butir batu pelindung kaki bangunan
 $\gamma = 2,6 \text{ t/m}^3$
 $H = 2,115 \text{ m}$
 $d1 = 2,618 \text{ m}$
 $ds = 2,881 \text{ m}$
 $\gamma_w = 1,025 \text{ t/m}^3$
 $Sr = \gamma/\gamma_w = 2,6/1,025 = 2,537$
 $d1/ds = 2,618/2,881 = 0,909$, dari grafik hubungan $d1/ds$ dan Ns^3 didapat $Ns^3 = 300$

$$W = \frac{\gamma.H^3}{Ns^3.(sr-1)^3}$$

$$W = \frac{2,6.2,115^3}{300^3.(2,537-1)^3} = 0,023 \text{ ton} = 23 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{W}{4/3.\pi.\gamma}}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{0,023}{4/3.\pi.2,6}} = 0,255 \text{ m} = 25,50 \text{ cm}$$

- Berat butir batu lapis pelindung bangunan

$$W = \frac{\gamma.H^3}{K_D.(sr-1)^3.\cot\theta}$$

$$W = \frac{2,6.2,115^3}{2.(2,537-1)^3.2} = 0,848 \text{ ton} = 848 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{W}{4/3 \cdot \pi \cdot \gamma}}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{0,848}{4/3 \cdot \pi \cdot 2,6}} = 0,854 \text{ m} = 85,4 \text{ cm}$$

Tabel 4.71.a. Perhitungan Gaya Vertikal (Momen Penahan)

Pias	A m ²	Volume m ³	γ t/m ³	W ton	Lengan m	Momen tm
Ww	0.5*3.927*2.618	5.140	1.025	5.269	1.309	6.897
W1	1*5.000	5.000	2.6	13.000	8.000	104.000
W2	0.5*7.50*5.00	18.750	2.6	48.750	5.000	243.750
W3	8.50*2.00	17.000	2.6	44.200	4.250	187.850
				111.219		542.497

Sumber : Hasil Perhitungan

4.9.a.4.1. Perhitungan Tekanan Dinamis dan Momen

Gelombang yang datang pada bangunan adalah gelombang pecah, karena kedalaman air pada bangunan sama dengan kedalaman gelombang pecah ($ds=db$). Sehingga rumus yang berlaku :

$$\rho_m = 101\gamma(H_b/L_D).(ds/D).(D+ds)$$

$$D = ds + L_D \tan m$$

$$R_m = \rho_m H_b / 3$$

$$M_m = R_m ds$$

Dimana :

ρ_m = tekanan dinamis maksimum (ton/m³)

R_m = gaya gelombang (ton)

M_m = momen pengguling (tm)

D = kedalaman pada jarak satu panjang gelombang di depan dinding (m)

L_D = panjang gelombang pada kedalaman D (m)

m = kemiringan dasar pantai

ds = kedalaman air di kaki bangunan (m)

H_b = tinggi gelombang pecah (m)

❖ Diketahui :

$$\gamma_w = 1,025 \text{ ton/m}^3$$

$$\begin{aligned} H_b &= 2,259 \text{ m} \\ d &= 2,881 \text{ m} \\ L_o &= 92,661 \text{ m} \\ d_s &= 2,881 \text{ m} \\ d/L_o &= 2,881 / 92,661 = 0,031 \end{aligned}$$

Dari tabel L-1 didapatkan :

$$\begin{aligned} d/L_d &= 0,07261 \\ L_d &= 2,881 / 0,07261 = 39,678 \text{ m} \\ D &= 2,881 + (39,678 \cdot 0,001) = 2,921 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari tabel L-1 didapatkan :

$$\begin{aligned} D/L_o &= 2,921 / 92,661 = 0,032 \\ D/L_D &= 0,07385 \\ L_D &= 2,921 / 0,07385 = 39,549 \text{ m} \end{aligned}$$

❖ Tekanan dinamis maksimum

$$\begin{aligned} p_m &= 101.9,81(2,259 / 39,549) \cdot (2,881 / 2,921) \cdot (2,921 + 2,881) \\ &= 323,947 \text{ ton/m}^3 \end{aligned}$$

❖ Gaya gelombang

$$\begin{aligned} R_m &= (323,947 \cdot 2,259 / 3) \\ &= 24,871 \text{ ton} \end{aligned}$$

❖ Momen pengguling

$$\begin{aligned} M_m &= 24,871 \cdot 2,881 \\ &= 71,652 \text{ tm} \end{aligned}$$

4.9.a.4.2. Perhitungan Tekanan *Up-lift*

Perhitungan tekana *up-lift* dengan menggunakan persamaan :

$$P_x = H_x - (L_x/L) \Delta H$$

dengan :

P_x = tekanan air pada titik x

H_x = jarak titik x dengan muka air tertinggi (m)

L_x = jarak jalur rembesan pada titik x (m)

L = jarak jalur rembesan seluruh bangunan (m)

ΔH = beda tinggi energi (m)

Menghitung L :

$$\begin{aligned} L &= \Sigma V + 1/3 \Sigma H \\ &= 2,78 + (1/3) \cdot 8,50 + 2,00 + 4,720 \end{aligned}$$

$$= 12,333 \text{ m}$$

$$\Delta H = 2,618 - 0,780$$

$$= 1,838 \text{ m}$$

Tekanan air pada titik :

A) $H_x = 0 \text{ m}$
 $L_x = 0 \text{ m}$
 $L = 12,333 \text{ m}$
 $\Delta H = 1,838 \text{ m}$
 $P_x = 0 - (0/12,333) \cdot 1,838$
 $= 0$

B) $H_x = 2,780 \text{ m}$
 $L_x = 2,780 \text{ m}$
 $L = 12,333 \text{ m}$
 $\Delta H = 1,838 \text{ m}$
 $P_x = 2,78 - (2,78/12,333) \cdot 1,838$
 $= 2,366$

C) $H_x = 2,780 \text{ m}$
 $L_x = 5,613 \text{ m}$
 $L = 12,333 \text{ m}$
 $\Delta H = 1,838 \text{ m}$
 $P_x = 2,78 - (5,613/12,333) \cdot 1,838$
 $= 1,943$

D) $H_x = 1,838 \text{ m}$
 $L_x = 12,333 \text{ m}$
 $L = 12,333 \text{ m}$
 $\Delta H = 1,838 \text{ m}$
 $P_x = 1,838 - (12,333/12,333) \cdot 1,833$
 $= 0$

Sehingga :

$$Pu_1 = 1,943 \cdot 1,025 \cdot 8,50$$

$$= 16,932 \text{ ton}$$

$$MPu_1 = 16,932 \cdot (0,5 \cdot 8,50)$$

$$= 71,963 \text{ tm}$$

$$Pu_2 = 0,5 \cdot 1,025 \cdot 9,28 \cdot (2,366 - 1,943)$$

$$= 1,839 \text{ ton}$$

$$MPu_2 = 1,839 \cdot (2/3) \cdot 8,50$$

$$= 10,423 \text{ tm}$$

$$Pu \text{ total} = 16,932 + 1,839 = 18,772 \text{ ton}$$

$$MPu \text{ total} = 71,963 + 10,423 = 82,386 \text{ tm}$$

4.9.a.4.3. Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan:

$$P_p = 2,884 \text{ ton}$$

$$M P_p = 1,670 \text{ tm}$$

$$P_{pe} = 2,902 \text{ ton}$$

$$M P_{pe} = 1,680 \text{ tm}$$

$$P_a = 20,504 \text{ ton}$$

$$M P_a = 36,799 \text{ tm}$$

$$P_{ae} = 26,019 \text{ ton}$$

$$M P_{ae} = 46,696 \text{ tm}$$

$$P_w = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot h^2$$

$$= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 2,881^2$$

$$= 4,254 \text{ ton}$$

$$MP_w = 4,254 \cdot 2,697 = 11,474 \text{ tm}$$

4.9.a.4.4. Stabilitas Terhadap Guling

- Untuk kondisi normal

$$SF = \frac{M_t}{M_g} \geq 1,5$$

$$\frac{M_v + M_{pp} + M_{pw} + M_{mt}}{M_{pu} + M_{pa}} \geq 1,5$$

$$\frac{542,497 + 1,670 + 11,474 + 71,652}{82,386 + 36,799} = 5,263 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = \frac{M_t}{M_g} \geq 1,1$$

$$\frac{M_v - (M_v \cdot 0,15) + M_{pp_e} + M_{pw} + M_{mt}}{M_{pu} + M_{pa_e}} \geq 1,1$$

$$\frac{542,497 - (542,497 \cdot 0,15) + 1,680 + 11,474 + 71,652}{82,386 + 46,696} = 4,229 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.a.4.5. Stabilitas Terhadap Geser

$$\text{Koefisien geser} = f = \tan \Phi = \tan 20^\circ = 0,364$$

- Untuk kondisi normal

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,5$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{W - U}{P_a + P_w - P_p + R_t} \right) \geq 1,5$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{111,219 - 18,772}{20,504 + 4,254 - 2,884 - 24,871} \right) = 11,230 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,1$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{W - (W \cdot 0,15) - U}{P_{a_e} + P_w - P_{p_e} - R_t} \right) \geq 1,1$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{111,219 - (111,219 \cdot 0,15) - 18,772}{26,019 + 4,254 - 2,902 - 24,871} \right) = 11,029 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.a.4.6. Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

- Untuk kondisi normal

Pondasi berbentuk memanjang, maka persamaan yang digunakan adalah :

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma$$

$$\text{dengan } P_o = D \cdot \gamma$$

Karena muka air tanah terletak di atas pondasi, maka

$$P_o = \gamma' (D - d_w) + \gamma \cdot d_w$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1,878 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = 0,853 \text{ t/m}^3$$

$$d_w = 3,220 \text{ m}$$

$$D = 6,000 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} P_o &= 0,853 \cdot (6,000 - 3,220) + 1,878 \cdot 3,220 \\ &= 8,421 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

N_c, N_q, N_γ merupakan faktor daya dukung tanah berdasarkan Φ

$$\text{Dengan } \Phi = 20^\circ \text{ didapat } N_c = 17,700$$

$$N_q = 7,400$$

$$N_\gamma = 5,000$$

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{627,293 - 119,185}{92,447}$$

$$= 5,496$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 5,496 - \frac{8,50}{2} \right|$$

$$= 1,246$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 8,50 - 2 \cdot 1,246 = 6,008 \text{ m}$$

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma$$

$$= 0,17,700 + 8,421 \cdot 9,302 + 0,5 \cdot 1,878 \cdot 6,008 \cdot 5,000$$

$$= 90,538 \text{ t/m}^2$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{90,538}{3} = 30,179 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$1,246 < 1,417$$

Tegangan Maksimum

$$\begin{aligned} q_{\max} &= \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \\ &= \frac{92,447}{8,50} \left(1 + \frac{6 \cdot 1,246}{8,50} \right) \\ &= 20,444 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

kontrol : $q_{\max} < q_a$

$$20,444 \text{ t/m}^2 < 30,179 \text{ t/m}^2 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

Dengan $\Phi = 11,469^\circ$ didapat $N_c = 10,570$

$$N_q = 3,199$$

$$N_\gamma = 1,582$$

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{545,929 - 129,082}{75,764}$$

$$= 5,502$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 5,502 - \frac{8,50}{2} \right|$$

$$= 1,252$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 8,50 - 2 \cdot 1,252 = 5,996 \text{ m}$$

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma$$

$$= 0 \cdot 10,570 + 8,421 \cdot 9,302 + 0,5 \cdot 1,879 \cdot 5,996 \cdot 1,582$$

$$= 35,852 \text{ t/m}^2$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{35,852}{2} = 17,926 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$1,252 < 1,417$$

Tegangan Maksimum

$$\begin{aligned} q_{\max} &= \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \\ &= \frac{75,764}{8,50} \left(1 + \frac{6 \cdot 1,252}{8,50} \right) \\ &= 16,790 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

control : $q_{\max} < q_a$ (aman)

$$16,790 \text{ t/m}^2 < 17,926 \text{ t/m}^2 \text{ (aman)}$$

4.9.b. Alternatif 2

4.9.b.1. Kondisi Muka Air Laut Surut (LLWL)

Untuk kondisi surut, gelombang yang tiba di bangunan adalah gelombang telah pecah karena kedalaman air pada bangunan lebih kecil dari kedalaman gelombang pecah ($ds < db$).

Dari data dan perhitungan yang sudah ada pada pembahasan sebelumnya, didapatkan:

- Elevasi HHWL = + 1,2424 m
- Elevasi MSL = + 0,0000 m
- Elevasi LLWL = - 1,1825 m
- Elevasi DWL = - 0,188 m
- Elevasi Mercu Bangunan = + 5,000 m
- Lebar Mercu = 1 m
- Panjang pelindung kaki bangunan :
 $3H - 4,5H$, dengan $H = 2,115 \text{ m}$
 sehingga panjang pelindung kaki bangunan = 6,345 m – 9,518 m (diambil 8 m)
- Tinggi pelindung kaki bangunan
 $1H - 1,5H$
 sehingga tinggi pelindung kaki bangunan = 2,115 m – 3,173 m (diambil 2,00 m)

- Berat butir batu pelindung kaki bangunan

$$\gamma = 2,4 \text{ t/m}^3$$

$$H = 2,115 \text{ m}$$

$$d1 = 0 \text{ m}$$

$$ds = 0,075 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 1,025 \text{ t/m}^3$$

$$Sr = \gamma/\gamma_w = 2,4/1,025 = 2,341$$

$$d1/ds = 0/0,075 = 0, \text{ dari grafik hubungan } d1/ds \text{ dan } Ns^3 \text{ didapat } Ns^3 = 8$$

$$W = \frac{\gamma.H^3}{Ns^3.(sr-1)^3}$$

$$W = \frac{2,4.2,115^3}{8^3.(2,341-1)^3} = 0,018 \text{ ton} = 18 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt[3]{\frac{W}{4/3.\pi.\gamma}}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt[3]{\frac{0,018}{4/3.\pi.2,4}} = 0,243 \text{ m} = 24,3 \text{ cm}$$

- Berat butir batu lapis pelindung bangunan

$$W = \frac{\gamma.H^3}{K_D.(sr-1)^3.\cot\theta}$$

$$W = \frac{2,4.2,115^3}{4.(2,341-1)^3.2} = 1,176 \text{ ton} = 1176 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt[3]{\frac{W}{4/3.\pi.\gamma}}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt[3]{\frac{1,176}{4/3.\pi.2,4}} = 0,978 \text{ m} = 97,800 \text{ cm}$$

Tabel 4.68.b. Perhitungan Gaya Vertikal (Momen Penahan)

Pias	A m ²	Volume m ³	γ t/m ³	W ton	Lengan m	Momen tm
W1	1*5.00	5.000	2.4	12.000	8.000	96.000
W2	0.5*7.50*5.00	18.750	2.4	45.000	2.500	112.500
W3	8.50*2.00	17.000	2.4	40.800	4.250	173.400
				97.800		381.900

Sumber : Hasil Perhitungan

4.9.b.1.1. Perhitungan Tekanan Dinamis dan Momen

Gelombang yang datang pada bangunan adalah gelombang telah pecah, karena kedalaman air pada bangunan lebih kecil dari kedalaman gelombang pecah ($ds < db$).

Sehingga rumus yang berlaku adalah:

$$R_m = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot db \cdot hc$$

$$M_m = R_m [ds + (hc/2)]$$

$$R_s = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot (ds + hc)^2$$

$$M_s = 1/6 \cdot \gamma_w \cdot (ds + hc)^3$$

$$hc = 0,78 \cdot H_b$$

Dimana :

R_m = gaya gelombang dinamis (ton)

M_m = momen gelombang dinamis (tm)

R_s = gaya hidrostatik (ton)

M_s = Momen hidrostatik (tm)

ds = kedalaman air di kaki bangunan (m)

db = kedalaman gelombang pecah (m)

H_b = tinggi gelombang pecah (m)

❖ Diketahui :

$$\gamma_w = 1,025 \text{ ton/m}^3$$

$$db = 2,881 \text{ m}$$

$$H_o' = 2,115 \text{ m}$$

$$ds = 0,075 \text{ m}$$

$$hc = 0,78 \cdot 2,115 = 1,650 \text{ m}$$

❖ Gaya gelombang dinamis dan momen yang ditimbulkan

$$\begin{aligned} R_m &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot db \cdot hc \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 2,881 \cdot 1,650 \\ &= 2,436 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_m &= R_m [ds + (hc/2)] \\ &= 2,436 [0,075 + (1,650/2)] \\ &= 2,192 \text{ tm} \end{aligned}$$

❖ Gaya dan momen hidrostatik

$$\begin{aligned} R_s &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot (ds + hc)^2 \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot (0,075 + 1,650)^2 \\ &= 1,525 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_s &= 1/6 \cdot \gamma_w \cdot (d_s + h_c)^3 \\ &= 1/6 \cdot 1,025 \cdot (0,075 + 1,650)^3 \\ &= 0,877 \text{ tm} \end{aligned}$$

❖ Gaya dan momen total

$$R_t = R_m + R_s = 2,436 + 1,525 = 3,960 \text{ ton}$$

$$M_t = M_m + M_s = 2,192 + 0,877 = 3,068 \text{ tm}$$

4.9.b.1.2. Perhitungan Tekanan Up-lift

Perhitungan tekana *up-lift* dengan menggunakan persamaan :

$$P_x = H_x - (L_x/L) \Delta H$$

dengan :

P_x = tekanan air pada titik x

H_x = jarak titik x dengan muka air tertinggi (m)

L_x = jarak jalur rembesan pada titik x (m)

L = jarak jalur rembesan seluruh bangunan (m)

ΔH = beda tinggi energi (m)

❖ Menghitung L :

$$\begin{aligned} L &= \Sigma V + 1/3 \Sigma H \\ &= 2,78 + 1/3 \cdot 8,50 + 1,812 \\ &= 7,425 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= 2,78 - 1,812 \\ &= 0,968 \text{ m} \end{aligned}$$

❖ Tekanan air pada titik :

A) $H_x = 0 \text{ m}$

$L_x = 0 \text{ m}$

$L = 7,425 \text{ m}$

$\Delta H = 0,968 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 0 - (0/7,425) \cdot 0,968 \\ &= 0 \end{aligned}$$

B) $H_x = 2,780 \text{ m}$

$L_x = 2,780 \text{ m}$

$L = 7,425 \text{ m}$

$\Delta H = 0,968 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 2,780 - (2,780/7,425) \cdot 0,968 \\ &= 2,418 \end{aligned}$$

C) $H_x = 2,780 \text{ m}$

$L_x = 5,613 \text{ m}$

$L = 7,425 \text{ m}$

$\Delta H = 0,968 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 2,780 - (5,613/7,425) \cdot 0,968 \\ &= 2,048 \end{aligned}$$

D) $H_x = 0,968 \text{ m}$

$L_x = 7,425 \text{ m}$

$L = 7,425 \text{ m}$

$\Delta H = 0,968 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 0,968 - (7,425/7,425) \cdot 0,968 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$Pu1 = 2,048.1,025.8,50$$

$$= 17,845 \text{ ton}$$

$$MPu1 = 17,845.(0,5.8,50)$$

$$= 75,842 \text{ tm}$$

$$Pu2 = 0,5.1,025.8,50.(2,418-2,048)$$

$$= 1,609 \text{ ton}$$

$$MPu2 = 1,609.(2/3).8,50$$

$$= 9,118 \text{ tm}$$

$$Pu \text{ total} = 17,845 + 1,609 = 19,454 \text{ ton}$$

$$MPu \text{ total} = 75,842 + 9,118 = 84,960 \text{ tm}$$

4.9.b.1.3. Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

$$\gamma_w = 1,025 \text{ t/m}^2$$

$$\gamma = 1,879 \text{ t/m}^2$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

$$\gamma_{sat} = \frac{\gamma_w.(G_s + e)}{1 + e}$$

$$e = w . G_s$$

$$= 0,44.2,89$$

$$= 1,272$$

dengan :

$$\gamma_{sat} = \text{berat isi jenuh (t/m}^3\text{)}$$

$$G_s = \text{berat jenis}$$

$$e = \text{angka pori}$$

$$w = \text{kadar air}$$

$$\gamma_{sat} = \frac{1,025.(2,89 + 1,272)}{1 + 1,272}$$

$$= 1,878 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w = 1,878 - 1,025 = 0,853 \text{ t/m}^3$$

$$\Phi = 20^\circ, Ka = \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} = \frac{1 - \sin 20}{1 + \sin 20} = 0,490$$

$$Kp = \frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta} = \frac{1 + \sin 20}{1 - \sin 20} = 1,017$$

untuk kondisi gempa :

$$\Phi = 20 - \tan^{-1}0,15$$

$$= 11,469^\circ, Ka_e = \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} = \frac{1 - \sin 11,469}{1 + \sin 11,469} = 0,668$$

$$Kp_e = \frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta} = \frac{1 + \sin 11,469}{1 - \sin 11,469} = 1,024$$

$$\begin{aligned} Pp &= 0,5.Kp. \gamma .h^2 \\ &= 0,5. 1,017. 1,879.1,737^2 \\ &= 2,884 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M Pp &= Pp.lengan \\ &= 2,884.0,579 \\ &= 1,670 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pp_e &= 0,5.Kp_e. \gamma .h^2 \\ &= 0,5.1,024.1,879.1,737^2 \\ &= 2,902 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MPp_e &= Pp_e.lengan \\ &= 2,902.0,579 \\ &= 1,680 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pw &= 0,5. \gamma_w .h^2 \\ &= 0,5.1,025.0,075^2 \\ &= 0,003 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MPw &= Pw.jarak \\ &= 0,003.1,762 \\ &= 0,005 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Pa &= 0,5.Ka. \gamma .H_1^2 + Ka. \gamma .H_1.H_2 + 0,5.(Ka. \gamma' + \gamma_w) . H_1^2 \\ &= 0,5.0,490.1,879.3,220^2 + 0,490.1,879.3,220.2,780 + 0,5.(0,490.0,853 + 1,025). \\ &\quad 3,220^2 \\ &= 4,776 + 8,247 + 7,481 \\ &= 20,504 \text{ ton} \end{aligned}$$

Titik tangkap dari resultan dapat dicari dengan mengambil momen terhadap tembok :

$$= \frac{4,776.3,853 + 8,247.1,390 + 7,481.0,927}{20,504}$$

$$= 1,795 \text{ m}$$

sehingga momen Pa

$$\begin{aligned} MPa &= 20,504.1,795 \\ &= 36,799 \text{ tm} \end{aligned}$$

dengan persamaan yang sama, untuk kondisi gempa, dengan $Ka_e = 0,668$, didapatkan:

$$Pa_e = 26,019 \text{ ton}$$

$$MPa_e = 46,696 \text{ tm}$$

4.9.b.1.4. Stabilitas Terhadap Guling

- Untuk kondisi normal

$$SF = \frac{M_t}{M_g} \geq 1,5$$

$$\frac{M_v + M_{pp} + M_{pw} + M_{mt}}{M_{pu} + M_{pa}} \geq 1,5$$

$$\frac{381,900 + 1,670 + 0,005 + 3,068}{84,960 + 36,799} = 3,175 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = \frac{M_t}{M_g} \geq 1,1$$

$$\frac{M_v - (M_v \cdot 0,15) + M_{pp_e} + M_{pw} + M_{mt}}{M_{pu} + M_{pa_e}} \geq 1,1$$

$$\frac{381,900 - (381,900 \cdot 0,15) + 1,680 + 0,005 + 3,068}{84,960 + 46,696} = 2,502 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.b.1.5. Stabilitas Terhadap Geser

$$\text{Koefisien geser} = f = \tan \Phi = \tan 20^\circ = 0,364$$

- Untuk kondisi normal

$$SF = f \frac{\sum V}{\sum H} \geq 1,5$$

$$0,364 \left(\frac{W - U}{P_a + P_w - P_p - R_t} \right) \geq 1,5$$

$$0,364 \left(\frac{97,800 - 19,454}{20,504 + 0,003 - 2,884 - 3,960} \right) = 2,087 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,1$$

$$0,364 \left(\frac{W - (W \cdot 0,15) - U}{P_{a_e} + P_w - P_{p_e} - R_t} \right) \geq 1,1$$

$$0,364 \left(\frac{97,800 - (97,800 \cdot 0,15) - 19,454}{26,019 + 0,003 - 2,902 - 3,960} \right) = 1,210 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.b.1.6. Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

- Untuk kondisi normal

Pondasi berbentuk memanjang, maka persamaan yang digunakan adalah :

$$q_u = c.N_c + P_o . N_q + 0,5.\gamma'.B.N_\gamma$$

$$\text{dengan } P_o = D . \gamma$$

Karena muka air tanah terletak di atas pondasi, maka

$$P_o = \gamma' (D-d_w) + \gamma . d_w$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1,878 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = 0,853 \text{ t/m}^3$$

$$d_w = 3,220 \text{ m}$$

$$D = 6,000 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} P_o &= 0,853.(6,000 - 3,220) + 1,879.3,220 \\ &= 8,421 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

N_c, N_q, N_γ merupakan faktor daya dukung tanah berdasarkan Φ

$$\text{Dengan } \Phi = 20^\circ \text{ didapat } N_c = 17,700$$

$$N_q = 7,400$$

$$N_\gamma = 5,000$$

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{386,643 - 121,759}{78,346}$$

$$= 3,381$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 3,381 - \frac{8,50}{2} \right|$$

$$= 0,869$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 8,50 - 2.0,869 = 6,762 \text{ m}$$

$$q_u = c.N_c + P_o . N_q + 0,5.\gamma'.B'.N_\gamma$$

$$= 0.17,700 + 8,421.9,302 + 0,5.1,879.6,762.5,000$$

$$= 94,081 \text{ t/m}^2$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{94,081}{3} = 31,360 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$0,869 < 1,417$$

Tegangan Maksimum

$$\begin{aligned} q_{\max} &= \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \\ &= \frac{78346}{8,50} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,869}{8,50} \right) \\ &= 14,871 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

kontrol : $q_{\max} < q_a$

$$14,871 \text{ t/m}^2 < 31,360 \text{ t/m}^2 \quad (\text{aman})$$

- Untuk kondisi gempa

Dengan $\Phi = 11,469^\circ$ didapat $N_c = 10,570$

$$N_q = 3,199$$

$$N_\gamma = 1,582$$

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{329,368 - 131,656}{63,676}$$

$$= 3,105$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 3,105 - \frac{8,50}{2} \right|$$

$$= 1,145$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 8,50 - 2 \cdot 1,145 = 6,210 \text{ m}$$

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma$$

$$= 0 \cdot 10,570 + 8,421 \cdot 9,302 + 0,5 \cdot 1,879 \cdot 6,210 \cdot 1,582$$

$$= 36,169 \text{ t/m}^2$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{36,169}{2} = 18,085 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$1,145 < 1,417$$

Tegangan Maksimum

$$\begin{aligned} q_{\max} &= \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \\ &= \frac{63,676}{8,50} \left(1 + \frac{6 \cdot 1,145}{8,50} \right) \\ &= 13,546 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

control : $q_{\max} < q_a$

$$13,546 \text{ t/m}^2 < 18,085 \text{ t/m}^2 \text{ (aman)}$$

4.9.b.2. Kondisi Muka Air Rata-rata (MSL)

Untuk kondisi muka air rata-rata, gelombang yang tiba di bangunan adalah gelombang telah pecah karena kedalaman air pada bangunan lebih kecil dari kedalaman gelombang pecah ($d_s < d_b$).

Dari data dan perhitungan yang sudah ada pada pembahasan sebelumnya, didapatkan:

- Elevasi HHWL = + 1,2424 m
- Elevasi MSL = + 0,0000 m
- Elevasi LLWL = - 1,1825 m
- Elevasi DWL = + 0,983 m
- Elevasi Mercu Bangunan = + 5,000 m
- Lebar Mercu = 1 m
- Panjang pelindung kaki bangunan :
 $3H - 4,5H$, dengan $H = 2,115 \text{ m}$
 sehingga panjang pelindung kaki bangunan = 6,345 m – 9,518 m (diambil 8,0 m)
- Tinggi pelindung kaki bangunan
 $1H - 1,5H$
 sehingga tinggi pelindung kaki bangunan = 2,115 m – 3,173 m (diambil 2,0 m)
- Berat butir batu pelindung kaki bangunan
 $\gamma = 2,4 \text{ t/m}^3$

$$H = 2,115 \text{ m}$$

$$d1 = 0,983 \text{ m}$$

$$ds = 1,246 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 1,025 \text{ t/m}^3$$

$$Sr = \gamma/\gamma_w = 2,4/1,025 = 2,341$$

$$d1/ds = 0,983/1,246 = 0,789, \text{ dari grafik hubungan } d1/ds \text{ dan } Ns^3 \text{ didapat } Ns^3 = 300$$

$$W = \frac{\gamma.H^3}{Ns^3.(sr-1)^3}$$

$$W = \frac{2,4.2,115^3}{300^3.(2,341-1)^3} = 0,031 \text{ ton} = 31,000 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{W}{4/3.\pi.\gamma}}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{0,031}{4/3.\pi.2,4}} = 0,291 \text{ m} = 29,100 \text{ cm}$$

- Berat butir batu lapis pelindung bangunan

$$W = \frac{\gamma.H^3}{K_D.(sr-1)^3.\cot\theta}$$

$$W = \frac{2,4.2,115^3}{4.(2,341-1)^3.2} = 1,176 \text{ ton} = 1176 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{W}{4/3.\pi.\gamma}}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{1,176}{4/3.\pi.2,4}} = 0,978 \text{ m} = 97,800 \text{ cm}$$

Tabel 4.69.b. Perhitungan Gaya Vertikal (Momen Penahan)

Pias	A m ²	Volume m ³	γ t/m ³	W ton	Lengan m	Momen tm
Ww	0.5*1.773*0.983	0.871	1.025	0.893	0.591	0.528
W1	1*5.00	5.000	2.4	12.000	8.000	96.000
W2	0.5*7.5*5.00	18.750	2.4	45.000	2.500	112.500
W3	8.50*2.0	17.000	2.4	40.800	4.250	173.400
				98.693		382.428

Sumber : Hasil Perhitungan

4.9.b.2.1. Perhitungan Tekanan Dinamis dan Momen

Gelombang yang datang pada bangunan adalah gelombang telah pecah, Karena kedalaman air pada bangunan lebih kecil dari kedalaman gelombang pecah ($ds < db$).

Sehingga rumus yang berlaku :

$$R_m = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot db \cdot hc$$

$$M_m = R_m [ds + (hc/2)]$$

$$R_s = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot (ds + hc)^2$$

$$M_s = 1/6 \cdot \gamma_w \cdot (ds + hc)^3$$

$$hc = 0,78 \cdot H_b$$

Dimana :

R_m = gaya gelombang dinamis (ton)

M_m = momen gelombang dinamis (tm)

R_s = gaya hidrostatik (ton)

M_s = Momen hidrostatik (tm)

ds = kedalaman air di kaki bangunan (m)

db = kedalaman gelombang pecah (m)

H_b = tinggi gelombang pecah (m)

❖ Diketahui :

$$\gamma_w = 1,025 \text{ ton/m}^3$$

$$db = 2,881 \text{ m}$$

$$H_o' = 2,115 \text{ m}$$

$$ds = 1,246 \text{ m}$$

$$hc = 0,78 \cdot 2,115 = 1,650 \text{ m}$$

❖ Gaya gelombang dinamis dan momen yang ditimbulkan

$$\begin{aligned} R_m &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot db \cdot hc \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 2,881 \cdot 1,650 \\ &= 2,436 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_m &= R_m [ds + (hc/2)] \\ &= 2,436 [1,246 + (1,650/2)] \\ &= 5,044 \text{ tm} \end{aligned}$$

❖ Gaya dan momen hidrostatik

$$\begin{aligned} R_s &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot (ds + hc)^2 \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot (1,246 + 1,650)^2 \\ &= 4,298 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_s &= 1/6 \cdot \gamma_w \cdot (d_s + h_c)^3 \\ &= 1/6 \cdot 1,025 \cdot (1,246 + 1,650)^3 \\ &= 4,148 \text{ tm} \end{aligned}$$

❖ Gaya dan momen total

$$R_t = R_m + R_s = 2,436 + 4,298 = 6,733 \text{ ton}$$

$$M_t = M_m + M_s = 5,044 + 4,148 = 9,192 \text{ tm}$$

4.9.b.2.2. Perhitungan Tekanan Up-lift

Perhitungan tekana *up-lift* dengan menggunakan persamaan :

$$P_x = H_x - (L_x/L) \Delta H$$

dengan :

P_x = tekanan air pada titik x

H_x = jarak titik x dengan muka air tertinggi (m)

L_x = jarak jalur rembesan pada titik x (m)

L = jarak jalur rembesan seluruh bangunan (m)

ΔH = beda tinggi energi (m)

Menghitung L :

$$\begin{aligned} L &= \Sigma V + 1/3 \Sigma H \\ &= 2,78 + 1/3 \cdot 8,50 + 2,0 + 1,773 \\ &= 9,386 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= 2,983 - 2,780 \\ &= 0,203 \text{ m} \end{aligned}$$

Tekanan air pada titik :

A) $H_x = 0 \text{ m}$

$L_x = 0 \text{ m}$

$L = 9,386 \text{ m}$

$\Delta H = 0,203 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 0 - (0/9,386) \cdot 0,203 \\ &= 0 \end{aligned}$$

B) $H_x = 2,780 \text{ m}$

$L_x = 2,780 \text{ m}$

$L = 9,386 \text{ m}$

$\Delta H = 0,203 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 2,78 - (2,78/9,386) \cdot 0,2,3 \\ &= 2,720 \end{aligned}$$

C) $H_x = 2,780 \text{ m}$

$L_x = 5,613 \text{ m}$

$L = 9,386 \text{ m}$

$\Delta H = 0,203 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 2,78 - (5,613/9,386) \cdot 0,203 \\ &= 2,659 \end{aligned}$$

D) $H_x = 0,203 \text{ m}$

$L_x = 9,386 \text{ m}$

$L = 9,386 \text{ m}$

$\Delta H = 0,203 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 0,203 - (9,386/9,386) \cdot 0,203 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$Pu1 = 2,659.1,025.8,50$$

$$= 23,163 \text{ ton}$$

$$MPu1 = 23,163.(0,5.8,50)$$

$$= 98,443 \text{ tm}$$

$$Pu2 = 0,5.1,025.8,50.(2,720-2,659)$$

$$= 0,267 \text{ ton}$$

$$MPu2 = 0,267.(2/3).8,50$$

$$= 1,513 \text{ tm}$$

$$Pu \text{ total} = 23,163 + 0,267 = 23,430 \text{ ton}$$

$$MPu \text{ total} = 98,443 + 1,513 = 99,956 \text{ tm}$$

4.9.b.2.3. Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan:

$$Pp = 2,884 \text{ ton}$$

$$M Pp = 1,670 \text{ tm}$$

$$Ppe = 2,902 \text{ ton}$$

$$MPpe = 1,680 \text{ tm}$$

$$Pa = 20,504 \text{ ton}$$

$$MPa = 36,799 \text{ tm}$$

$$Pae = 26,019 \text{ ton}$$

$$MPae = 46,696 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned} Pw &= 0,5. \gamma_w .h^2 \\ &= 0,5.1,025.1,287^2 \\ &= 0,849 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$MPw = 0,849.2,166 = 1,839 \text{ tm}$$

4.9.b.2.4. Stabilitas Terhadap Guling

- Untuk kondisi normal

$$SF = \frac{Mt}{Mg} \geq 1,5$$

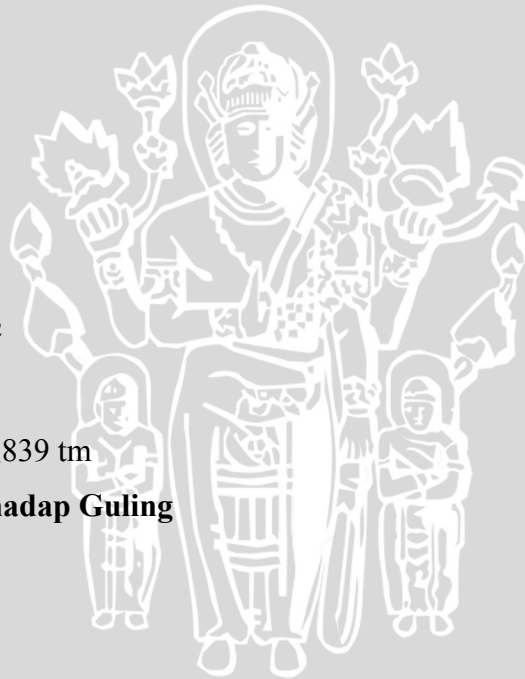
$$\frac{Mv + Mpp + Mpw + Mmt}{Mpu + Mpa} \geq 1,5$$

$$\frac{382,428 + 1,670 + 1,839 + 9,192}{99,956 + 36,799} = 2,889 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = \frac{Mt}{Mg} \geq 1,1$$

$$\frac{Mv - (Mv.0,15) + Mpp_e + Mpw + Mmt}{Mpu + Mpa_e} \geq 1,1$$



$$\frac{382,428 - (382,428.0,15) + 1680 + 1,839 + 9,192}{99,956 + 46,696} = 2,303 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.b.2.5. Stabilitas Terhadap Geser

Koefisien geser = $f = \tan \Phi = \tan 20^\circ = 0,364$

- Untuk kondisi normal

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,5$$

$$0,364 \left(\frac{W - U}{P_a + P_w - P_p - R_t} \right) \geq 1,5$$

$$0,364 \left(\frac{98,693 - 23,430}{20,504 + 0,849 - 2,884 - 6,733} \right) = 2,334 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,1$$

$$0,364 \left(\frac{W - (W.0,15) - U}{P_{a_e} + P_w - P_{p_e} - R_t} \right) \geq 1,1$$

$$0,364 \left(\frac{98,693 - (98,693.0,15) - 23,430}{26,019 + 0,849 - 2,902 - 6,733} \right) = 1,277 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.b.2.6. Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

- Untuk kondisi normal

Pondasi berbentuk memanjang, maka persamaan yang digunakan adalah :

$$q_u = c.N_c + P_o.N_q + 0,5.\gamma'.B.N_\gamma$$

$$\text{dengan } P_o = D.\gamma$$

Karena muka air tanah terletak di atas pondasi, maka

$$P_o = \gamma' (D - dw) + \gamma.dw$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1,878 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = 0,853 \text{ t/m}^3$$

$$dw = 3,220 \text{ m}$$

$$D = 6,000 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} P_o &= 0,853.(6,000 - 3,220) + 1,879.3,220 \\ &= 8,421 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

N_c, N_q, N_γ merupakan faktor daya dukung tanah berdasarkan Φ

$$\text{Dengan } \Phi = 20^\circ \text{ didapat } N_c = 17,700$$

$$N_q = 7,400$$

$$N_\gamma = 5,000$$

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{395,128 - 136,755}{75,263}$$

$$= 3,433$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 3,433 - \frac{8,50}{2} \right|$$

$$= 0,817$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 8,50 - 2 \cdot 0,817 = 6,866 \text{ m}$$

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma$$

$$= 0,17,700 + 8,421 \cdot 9,302 + 0,5 \cdot 1,879 \cdot 6,866 \cdot 5,000$$

$$= 94,569 \text{ t/m}^3$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{94,569}{3} = 31,523 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$0,817 < 1,417$$

Tegangan Maksimum

$$q_{\max} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$= \frac{75,263}{8,50} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,817}{8,50} \right)$$

$$= 13,961 \text{ t/m}^2$$

kontrol : $q_{\max} < q_a$

$$13,961 \text{ t/m}^2 < 31,523 \text{ t/m}^2 \quad (\text{aman})$$

- Untuk kondisi gempa

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{337,774 - 146,652}{75,263}$$

$$= 3,161$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 3,161 - \frac{8,50}{2} \right|$$

$$= 1,089$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 8,50 - 2 \cdot 1,089 = 6,322 \text{ m}$$

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_q$$

$$= 0,10 \cdot 5,70 + 8,421 \cdot 9,302 + 0,5 \cdot 1,879 \cdot 6,322 \cdot 1,582$$

$$= 36,336 \text{ t/m}^3$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{36,336}{2} = 18,168 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$1,089 < 1,417$$

Tegangan Maksimum

$$\begin{aligned} q_{\max} &= \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \\ &= \frac{60,459}{8,50} \left(1 + \frac{6 \cdot 1,089}{8,50} \right) \\ &= 12,580 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

control : $q_{\max} < q_a$

$$12,580 \text{ t/m}^2 < 18,168 \text{ t/m}^2 \quad (\text{aman})$$

4.9.b.3. Kondisi Muka Air Pasang (HHWL)

Untuk kondisi muka air pasang, gelombang yang tiba di bangunan adalah gelombang telah pecah karena kedalaman air pada bangunan lebih kecil dari kedalaman gelombang pecah ($d_s < d_b$).

Dari data dan perhitungan yang sudah ada pada pembahasan sebelumnya, didapatkan:

- Elevasi HHWL $= + 1,2424 \text{ m}$
- Elevasi MSL $= + 0,000 \text{ m}$

- Elevasi LLWL = - 1,1825 m
- Elevasi DWL = + 2,237 m
- Elevasi Mercu Bangunan = + 5,000 m
- Lebar Mercu = 1 m
- Panjang pelindung kaki bangunan :
 $3H - 4,5H$, dengan $H = 2,115$ m
 sehingga panjang pelindung kaki bangunan = 6,345 m – 9,518 m (diambil 8,0 m)
- Tinggi pelindung kaki bangunan
 $1H - 1,5H$
 sehingga tinggi pelindung kaki bangunan = 2,115 m – 3,173 m (diambil 2,0 m)
- Berat butir batu pelindung kaki bangunan
 $\gamma = 2,4 \text{ t/m}^3$
 $H = 2,115 \text{ m}$
 $d1 = 2,237 \text{ m}$
 $ds = 2,500 \text{ m}$
 $\gamma_w = 1,025 \text{ t/m}^3$
 $Sr = \gamma/\gamma_w = 2,4/1,025 = 2,341$
 $d1/ds = 2,237/2,500 = 0,895$, dari grafik hubungan $d1/ds$ dan Ns^3 didapat $Ns^3 = 300$

$$W = \frac{\gamma.H^3}{Ns^3.(sr-1)^3}$$

$$W = \frac{2,4.2,115^3}{300^3.(2,341-1)^3} = 0,031 \text{ ton} = 31 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{W}{4/3.\pi\gamma}}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{0,031}{4/3.\pi 2,4}} = 0,292 \text{ m} = 29,20 \text{ cm}$$
- Berat butir batu lapis pelindung bangunan

$$W = \frac{\gamma.H^3}{K_D.(sr-1)^3.\cot\theta}$$

$$W = \frac{2,4.2,115^3}{4.(2,341-1)^3.2} = 1,176 \text{ ton} = 1176 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{W}{4/3.\pi.\gamma}}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{1,176}{4/3 \cdot \pi \cdot 2,4}} = 0,978 \text{ m} = 97,800 \text{ cm}$$

Tabel 4.70.b.. Perhitungan Gaya Vertikal (Momen Penahan)

Pias	A m ²	Volume m ³	γ t/m ³	W ton	Lengan m	Momen tm
Ww	0.5*4.033*2.237	4.511	1.025	4.624	1.344	6.214
W1	1*5.00	5.000	2.4	12.000	8.000	96.000
W2	0.5*7.50*5.00	18.750	2.4	45.000	2.500	112.500
W3	8.50*2.0	17.000	2.4	40.800	4.250	173.400
				102.424		388.114

Sumber : Hasil Perhitungan

4.9.b.3.1. Perhitungan Tekanan Dinamis dan Momen

Gelombang yang datang pada bangunan adalah gelombang telah pecah, Karena kedalaman air pada bangunan lebih kecil dari kedalaman gelombang pecah ($ds < db$).

Sehingga rumus yang berlaku :

$$R_m = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot db \cdot hc$$

$$M_m = R_m [ds + (hc/2)]$$

$$R_s = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot (ds + hc)^2$$

$$M_s = 1/6 \cdot \gamma_w \cdot (ds + hc)^3$$

$$hc = 0,78 \cdot H_b$$

Dimana :

R_m = gaya gelombang dinamis (ton)

M_m = momen gelombang dinamis (tm)

R_s = gaya hidrostatik (ton)

M_s = Momen hidrostatik (tm)

ds = kedalaman air di kaki bangunan (m)

db = kedalaman gelombang pecah (m)

H_b = tinggi gelombang pecah (m)

❖ Diketahui :

$$\gamma_w = 1,025 \text{ ton/m}^3$$

$$db = 2,881 \text{ m}$$

$$Ho' = 2,115 \text{ m}$$

$$ds = 2,500 \text{ m}$$

$$hc = 0,78 \cdot 2,115 = 1,650 \text{ m}$$

- ❖ Gaya gelombang dinamis dan momen yang ditimbulkan

$$\begin{aligned} R_m &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot d_b \cdot h_c \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 2,881 \cdot 1,650 \\ &= 2,436 \text{ ton} \\ M_m &= R_m [d_s + (h_c / 2)] \\ &= 2,436 [2,500 + (1,650/2)] \\ &= 8,098 \text{ tm} \end{aligned}$$

- ❖ Gaya dan momen hidrostatik

$$\begin{aligned} R_s &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot (d_s + h_c)^2 \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot (2,500 + 1,650)^2 \\ &= 8,826 \text{ ton} \\ M_s &= 1/6 \cdot \gamma_w \cdot (d_s + h_c)^3 \\ &= 1/6 \cdot 1,025 \cdot (2,500 + 1,650)^3 \\ &= 12,208 \text{ tm} \end{aligned}$$

- ❖ Gaya dan momen total

$$\begin{aligned} R_t &= R_m + R_s = 2,436 + 8,826 = 11,261 \text{ ton} \\ M_t &= M_m + M_s = 8,098 + 12,208 = 20,306 \text{ tm} \end{aligned}$$

4.9.b.3.2. Perhitungan Tekanan *Up-lift*

Perhitungan tekanan *up-lift* dengan menggunakan persamaan :

$$P_x = H_x - (L_x/L) \Delta H$$

dengan :

$$\begin{aligned} P_x &= \text{tekanan air pada titik x} \\ H_x &= \text{jarak titik x dengan muka air tertinggi (m)} \\ L_x &= \text{jarak jalur rembesan pada titik x (m)} \\ L &= \text{jarak jalur rembesan seluruh bangunan (m)} \\ \Delta H &= \text{beda tinggi energi (m)} \end{aligned}$$

Menghitung L :

$$\begin{aligned} L &= \Sigma V + 1/3 \Sigma H \\ &= 2,780 + 1/3 \cdot 8,500 + 2,00 + 4,033 \\ &= 11,646 \text{ m} \\ \Delta H &= 2,237 - 0,780 \\ &= 1,457 \text{ m} \end{aligned}$$

Tekanan air pada titik :

$$\begin{aligned} \text{A)} \quad H_x &= 0 \text{ m} & \text{B)} \quad H_x &= 2,780 \text{ m} \end{aligned}$$

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

$$L = 11,646 \text{ m}$$

$$\Delta H = 1,457 \text{ m}$$

$$P_x = 0 - (0/11,646) \cdot 1,457 \\ = 0$$

$$C) \quad H_x = 2,780 \text{ m}$$

$$L_x = 5,613 \text{ m}$$

$$L = 11,646 \text{ m}$$

$$\Delta H = 1,457 \text{ m}$$

$$P_x = 2,78 - (5,613/11,646) \cdot 1,457 \\ = 2,078$$

$$L_x = 2,780 \text{ m}$$

$$L = 11,646 \text{ m}$$

$$\Delta H = 1,457 \text{ m}$$

$$P_x = 2,78 - (2,78/11,646) \cdot 1,457 \\ = 2,432$$

$$D) \quad H_x = 1,457 \text{ m}$$

$$L_x = 11,646 \text{ m}$$

$$L = 11,646 \text{ m}$$

$$\Delta H = 1,457 \text{ m}$$

$$P_x = 1,457 - (11,646/11,646) \cdot 1,457 \\ = 0$$

Sehingga :

$$P_{u1} = 2,078 \cdot 1,025 \cdot 8,50 \\ = 18,102 \text{ ton}$$

$$M_{Pu1} = 18,102 \cdot (0,5 \cdot 8,50) \\ = 76,935 \text{ tm}$$

$$P_u \text{ total} = 18,102 + 1,544 = 19,647 \text{ ton}$$

$$M_{Pu} \text{ total} = 76,935 + 8,750 = 85,685 \text{ tm}$$

$$P_{u2} = 0,5 \cdot 1,025 \cdot 8,50 \cdot (2,432 - 2,078) \\ = 1,544 \text{ ton}$$

$$M_{Pu2} = 1,544 \cdot (2/3) \cdot 8,50 \\ = 8,750 \text{ tm}$$

4.9.b.3.3. Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan:

$$P_p = 2,884 \text{ ton}$$

$$M_{Pp} = 1,670 \text{ tm}$$

$$P_{pe} = 2,902 \text{ ton}$$

$$M_{Ppe} = 1,680 \text{ tm}$$

$$P_a = 20,504 \text{ ton}$$

$$M_{Pa} = 36,799 \text{ tm}$$

$$P_{ae} = 26,019 \text{ ton}$$

$$M_{Pae} = 46,696 \text{ tm}$$

$$P_w = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot h^2 \\ = 0,5 \cdot 1,025 \cdot 2,500^2 \\ = 3,203 \text{ ton}$$

$$M_{Pw} = 3,203 \cdot 2,570 = 8,233 \text{ tm}$$

4.9.b.3.4. Stabilitas Terhadap Guling

- Untuk kondisi normal

$$SF = \frac{M_t}{M_g} \geq 1,5$$

$$\frac{M_v + M_{pp} + M_{pw} + M_{mt}}{M_{pu} + M_{pa}} \geq 1,5$$

$$\frac{338,114 + 1,670 + 8,233 + 20,306}{85,685 + 36,799} = 3,415 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = \frac{M_t}{M_g} \geq 1,1$$

$$\frac{M_v - (M_v \cdot 0,15) + M_{pp_e} + M_{pw} + M_{mt}}{M_{pu} + M_{pa_e}} \geq 1,1$$

$$\frac{338,114 - (338,114 \cdot 0,15) + 1,680 + 8,233 + 20,306}{85,685 + 46,696} = 2,720 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.b.3.5. Stabilitas Terhadap Geser

Koefisien geser = $f = \tan \Phi = \tan 20^\circ = 0,364$

- Untuk kondisi normal

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,5$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{W - U}{P_a + P_w - P_p - R_t} \right) \geq 1,5$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{102,424 - 19,647}{20,504 + 3,203 - 2,884 - 11,261} \right) = 3,151 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,1$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{W - (W \cdot 0,15) - U}{P_{a_e} + P_w - P_{p_e} - R_t} \right) \geq 1,1$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{102,424 - (102,424 \cdot 0,15) - 19,647}{26,019 + 3,203 - 2,902 - 11,261} \right) = 1,629 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.b.3.6. Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

- Untuk kondisi normal

Pondasi berbentuk memanjang, maka persamaan yang digunakan adalah :

$$q_u = c.N_c + P_o . N_q + 0,5.\gamma'.B.N_\gamma$$

$$\text{dengan } P_o = D . \gamma$$

Karena muka air tanah terletak di atas pondasi, maka

$$P_o = \gamma' (D-dw) + \gamma . dw$$

$$\gamma \text{ sat} = 1,878 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = 0,853 \text{ t/m}^3$$

$$dw = 3,220 \text{ m}$$

$$D = 6,000 \text{ m}$$

$$P_o = 0,853.(6,000 - 3,220) + 1,879.3,220$$

$$= 8,421 \text{ t/m}^2$$

N_c, N_q, N_γ merupakan faktor daya dukung tanah berdasarkan Φ

$$\text{Dengan } \Phi = 20^\circ \text{ didapat } N_c = 17,700$$

$$N_q = 7,400$$

$$N_\gamma = 5,000$$

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{418,323 - 122,484}{82,777}$$

$$= 3,574$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 3,574 - \frac{8,50}{2} \right|$$

$$= 0,676$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 8,50 - 2.0,676 = 7,148 \text{ m}$$

$$q_u = c.N_c + P_o . N_q + 0,5.\gamma'.B'.N_\gamma$$

$$= 0.17,700 + 8,421.9,302 + 0,5.1,879.7,148.5,000$$

$$= 95,894 \text{ t/m}^2$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{95,894}{3} = 31,965 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$0,676 < 1,417$$

Tegangan Maksimum

$$\begin{aligned} q_{\max} &= \frac{\Sigma V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \\ &= \frac{82,777}{8,50} \left(1 + \frac{6.0,676}{8,50} \right) \\ &= 14,386 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

kontrol : $q_{\max} < q_a$

$$14,386 \text{ t/m}^2 < 31,965 \text{ t/m}^2 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

Dengan $\Phi = 11,469^\circ$ didapat $N_c = 10,5700$

$$N_q = 3,199$$

$$N_\gamma = 1,582$$

$$\begin{aligned} d &= \frac{\Sigma \text{momen penahan} - \Sigma \text{momen pengguling}}{\Sigma V} \\ &= \frac{360,116 - 132,381}{67,414} \end{aligned}$$

$$= 3,378$$

$$\begin{aligned} e &= \left| d - \frac{B}{2} \right| \\ &= \left| 3,378 - \frac{8,50}{2} \right| \\ &= 0,872 \end{aligned}$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 8,50 - 2.0,872 = 6,756 \text{ m}$$

$$q_u = c.N_c + P_o.N_q + 0,5.\gamma'.B'.N_q$$

$$= 0.10,5700 + 8,421.9,302 + 0,5.1,879.6,756.1,582$$

$$= 36,981 \text{ t/m}^2$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{36,981}{2} = 18,491 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$0,872 < 1,417$$



Tegangan Maksimum

$$\begin{aligned} q_{\max} &= \frac{\Sigma V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \\ &= \frac{67,414}{8,50} \left(1 + \frac{6,0,872}{8,50} \right) \\ &= 12,812 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

control : $q_{\max} < q_a$

$$12,812 \text{ t/m}^2 < 18,491 \text{ t/m}^2 \text{ (aman)}$$

4.9.b.4. Kondisi Muka Air Gelombang Pecah

Untuk kondisi gelombang pecah, gelombang yang tiba di bangunan adalah gelombang pecah karena kedalaman air pada bangunan sama dengan kedalaman gelombang pecah ($d_s = d_b$).

Dari data dan perhitungan yang sudah ada pada pembahasan sebelumnya, didapatkan:

- Elevasi HHWL = + 1,2424 m
- Elevasi MSL = + 0,0000 m
- Elevasi LLWL = - 1,1825 m
- Elevasi DWL = + 2,618 m
- Elevasi Mercu Bangunan = + 5,000 m
- Lebar Mercu = 1 m
- Panjang pelindung kaki bangunan :
 $3H - 4,5H$, dengan $H = 2,115 \text{ m}$
 sehingga panjang pelindung kaki bangunan = 6,345 m – 9,518 m (diambil 8,0 m)
- Tinggi pelindung kaki bangunan
 $1H - 1,5H$
 sehingga tinggi pelindung kaki bangunan = 2,115 m – 3,173 m (diambil 2,0 m)
- Berat butir batu pelindung kaki bangunan
 $\gamma = 2,4 \text{ t/m}^3$
 $H = 2,115 \text{ m}$
 $d_l = 2,618 \text{ m}$
 $d_s = 2,881 \text{ m}$
 $\gamma_w = 1,025 \text{ t/m}^3$
 $S_r = \gamma / \gamma_w = 2,4 / 1,025 = 2,341$

$d1/ds = 2,618/2,881 = 0,909$, dari grafik hubungan $d1/ds$ dan Ns^3 didapat $Ns^3 = 300$

$$W = \frac{\gamma.H^3}{Ns^3.(sr-1)^3}$$

$$W = \frac{2,4.2,115^3}{300^3.(2,341-1)^3} = 0,031 \text{ ton} = 31,000 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{W}{4/3.\pi.\gamma}}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{0,031}{4/3.\pi.2,4}} = 0,292 \text{ m} = 29,200 \text{ cm}$$

- Berat butir batu lapis pelindung bangunan

$$W = \frac{\gamma.H^3}{K_D.(sr-1)^3.\cot\theta}$$

$$W = \frac{2,4.2,115^3}{4.(2,341-1)^3.2} = 1,176 \text{ ton} = 1176 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{W}{4/3.\pi.\gamma}}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{1,176}{4/3.\pi.2,4}} = 0,978 \text{ m} = 97,8 \text{ cm}$$

Tabel 4.71.b. Perhitungan Gaya Vertikal (Momen Penahan)

Pias	A m ²	Volume m ³	γ t/m ³	W ton	Lengan m	Momen tm
Ww	0.5*4.720*2.618	6.178	1.025	6.333	1.573	9.962
W1	1*5.00	5.000	2.4	12.000	8.000	96.000
W2	0.5*7.50*5.00	18.750	2.4	45.000	2.500	112.500
W3	8.50*2.0	17.000	2.4	40.800	4.250	173.400
				104.133		391.862

Sumber : Hasil Perhitungan

4.9.b.4.1. Perhitungan Tekanan Dinamis dan Momen

Gelombang yang datang pada bangunan adalah gelombang pecah, karena kedalaman air pada bangunan sama dengan kedalaman gelombang pecah ($ds=db$). Sehingga rumus yang berlaku :

$$p_m = 101\gamma(H_b/L_D).(ds/D).(D+ds)$$

$$D = ds + L_{Dm}$$

$$R_m = p_m.H_b/3$$

$$M_m = R_m \cdot d_s$$

Dimana :

p_m = tekanan dinamis maksimum (ton/m³)

R_m = gaya gelombang (ton)

M_m = momen pengguling (tm)

D = kedalaman pada jarak satu panjang gelombang di depan dinding (m)

L_D = panjang gelombang pada kedalaman D (m)

m = kemiringan dasar pantai

d_s = kedalaman air di kaki bangunan (m)

H_b = tinggi gelombang pecah (m)

❖ Diketahui :

$$\gamma_w = 1,025 \text{ ton/m}^3$$

$$H_b = 2,259 \text{ m}$$

$$d = 2,881 \text{ m}$$

$$L_o = 92,661 \text{ m}$$

$$d_s = 2,881 \text{ m}$$

$$d/L_o = 2,881 / 92,661 = 0,031$$

Dari tabel L-1 didapatkan :

$$d/L_d = 0,07261$$

$$L_d = 2,881 / 0,07261 = 39,678 \text{ m}$$

$$D = 2,881 + (39,678 \cdot 0,001) = 2,921 \text{ m}$$

Dari tabel L-1 didapatkan :

$$D/L_o = 2,921 / 92,661 = 0,032$$

$$D/L_D = 0,07385$$

$$L_D = 2,921 / 0,07385 = 39,549 \text{ m}$$

❖ Tekanan dinamis maksimum

$$\begin{aligned} p_m &= 101,9,81(2,259 / 39,549) \cdot (2,881 / 2,921) \cdot (2,921 + 2,881) \\ &= 323,947 \text{ ton/m}^3 \end{aligned}$$

❖ Gaya gelombang

$$\begin{aligned} R_m &= (323,947 \cdot 2,259 / 3) \\ &= 24,871 \text{ ton} \end{aligned}$$

❖ Momen pengguling

$$\begin{aligned} M_m &= 24,871 \cdot 2,881 \\ &= 71,652 \text{ tm} \end{aligned}$$

4.9.b.4.2. Perhitungan Tekanan *Up-lift*

Perhitungan tekana *up-lift* dengan menggunakan persamaan :

$$P_x = H_x - (L_x/L) \Delta H$$

dengan :

P_x = tekanan air pada titik x

H_x = jarak titik x dengan muka air tertinggi (m)

L_x = jarak jalur rembesan pada titik x (m)

L = jarak jalur rembesan seluruh bangunan (m)

ΔH = beda tinggi energi (m)

Menghitung L :

$$\begin{aligned} L &= \Sigma V + 1/3 \Sigma H \\ &= 2,78 + (1/3) \cdot 8,50 + 2,00 + 4,720 \\ &= 12,333 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= 2,618 - 0,780 \\ &= 1,838 \text{ m} \end{aligned}$$

Tekanan air pada titik :

A) $H_x = 0 \text{ m}$

$L_x = 0 \text{ m}$

$L = 12,333 \text{ m}$

$\Delta H = 1,838 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 0 - (0/12,333) \cdot 1,838 \\ &= 0 \end{aligned}$$

B) $H_x = 2,780 \text{ m}$

$L_x = 2,780 \text{ m}$

$L = 12,333 \text{ m}$

$\Delta H = 1,838 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 2,78 - (2,78/12,333) \cdot 1,838 \\ &= 2,366 \end{aligned}$$

C) $H_x = 2,780 \text{ m}$

$L_x = 5,613 \text{ m}$

$L = 12,333 \text{ m}$

$\Delta H = 1,838 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 2,78 - (5,613/12,333) \cdot 1,838 \\ &= 1,943 \end{aligned}$$

D) $H_x = 1,838 \text{ m}$

$L_x = 12,333 \text{ m}$

$L = 12,333 \text{ m}$

$\Delta H = 1,838 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 1,838 - (12,333/12,333) \cdot 1,838 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} P_{u1} &= 1,943 \cdot 1,025 \cdot 8,50 \\ &= 16,932 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{u2} &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 9,28 \cdot (2,366 - 1,943) \\ &= 1,839 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MP_{u1} &= 16,932 \cdot (0,5 \cdot 8,50) \\ &= 71,963 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MP_{u2} &= 1,839 \cdot (2/3) \cdot 8,50 \\ &= 10,423 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$P_{u \text{ total}} = 16,932 + 1,839 = 18,772 \text{ ton}$$

$$MPu \text{ total} = 71,963 + 10,423 = 82,386 \text{ tm}$$

4.9.b.4.3. Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan:

$$Pp = 2,884 \text{ ton}$$

$$M Pp = 1,670 \text{ tm}$$

$$Ppe = 2,902 \text{ ton}$$

$$M Ppe = 1,680 \text{ tm}$$

$$Pa = 20,504 \text{ ton}$$

$$MPa = 36,799 \text{ tm}$$

$$Pa_e = 26,019 \text{ ton}$$

$$MPa_e = 46,696 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned} Pw &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot h^2 \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 2,881^2 \\ &= 4,254 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$MPw = 4,254 \cdot 2,697 = 11,474 \text{ tm}$$

4.9.b.4.4. Stabilitas Terhadap Guling

- Untuk kondisi normal

$$SF = \frac{Mt}{Mg} \geq 1,5$$

$$\frac{Mv + Mpp + Mpw + Mmt}{Mpu + Mpa} \geq 1,5$$

$$\frac{391,862 + 1,670 + 11,474 + 71,652}{82,386 + 36,799} = 3,999 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = \frac{Mt}{Mg} \geq 1,1$$

$$\frac{Mv - (Mv \cdot 0,15) + Mpp_e + Mpw + Mmt}{Mpu + Mpa_e} \geq 1,1$$

$$\frac{391,862 - (391,862 \cdot 0,15) + 1,680 + 11,474 + 71,652}{82,386 + 46,696} = 3,237 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.b.4.5. Stabilitas Terhadap Geser

$$\text{Koefisien geser} = f = \tan \Phi = \tan 20^\circ = 0,364$$

- Untuk kondisi normal

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,5$$

$$0,364 \left(\frac{W - U}{Pa + Pw - Pp + Rt} \right) \geq 1,5$$

$$0,364 \left(\frac{104,133 - 18,772}{20,504 + 4,254 - 2,884 - 24,871} \right) = 10,369 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,1$$

$$0,364 \left(\frac{W - (W \cdot 0,15) - U}{Pa_e + Pw - Pp_e - Rt} \right) \geq 1,1$$

$$0,364 \left(\frac{104,133 - (104,133 \cdot 0,15) - 18,772}{26,019 + 4,254 - 2,902 - 24,871} \right) = 10,153 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.b.4.6. Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

- Untuk kondisi normal

Pondasi berbentuk memanjang, maka persamaan yang digunakan adalah :

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma$$

dengan $P_o = D \cdot \gamma$

Karena muka air tanah terletak di atas pondasi, maka

$$P_o = \gamma' (D - dw) + \gamma \cdot dw$$

$$\gamma \text{ sat} = 1,878 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = 0,853 \text{ t/m}^3$$

$$dw = 3,220 \text{ m}$$

$$D = 6,000 \text{ m}$$

$$P_o = 0,853 \cdot (6,000 - 3,220) + 1,878 \cdot 3,220$$

$$= 8,421 \text{ t/m}^2$$

N_c, N_q, N_γ merupakan faktor daya dukung tanah berdasarkan Φ

$$\text{Dengan } \Phi = 20^\circ \text{ didapat } N_c = 17,700$$

$$N_q = 7,400$$

$$N_\gamma = 5,000$$

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{476,658 - 119,185}{85,361}$$

$$= 4,188$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 4,188 - \frac{8,50}{2} \right|$$

$$= 0,062$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 8,50 - 2 \cdot 0,062 = 8,376 \text{ m}$$

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma$$

$$= 0,17,700 + 8,421 \cdot 9,302 + 0,5 \cdot 1,878 \cdot 8,376 \cdot 5,000$$

$$= 101,661 \text{ t/m}^3$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{101,661}{3} = 33,887 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$0,062 < 1,417$$

Tegangan Maksimum

$$q_{\max} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$= \frac{85,361}{8,50} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,062}{8,50} \right)$$

$$= 10,484 \text{ t/m}^2$$

kontrol : $q_{\max} < q_a$

$$10,484 \text{ t/m}^2 < 33,887 \text{ t/m}^2 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

Dengan $\Phi = 11,469^\circ$ didapat $N_c = 10,570$

$$N_q = 3,199$$

$$N_\gamma = 1,582$$

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{417,889 - 129,082}{69,741}$$

$$= 4,141$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 4,141 - \frac{8,50}{2} \right|$$

$$= 0,109$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 8,50 - 2 \cdot 0,109 = 8,282 \text{ m}$$

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_q$$

$$= 0,10 \cdot 5,70 + 8,421 \cdot 9,302 + 0,5 \cdot 1,879 \cdot 8,282 \cdot 1,582$$

$$= 39,249 \text{ t/m}^3$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{39,249}{2} = 19,625 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$0,109 < 1,417$$

Tegangan Maksimum

$$q_{\max} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$= \frac{69,741}{8,50} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,109}{8,50} \right)$$

$$= 8,835 \text{ t/m}^2$$

control : $q_{\max} < q_a$ (aman)

$$8,835 \text{ t/m}^2 < 19,625 \text{ t/m}^2 \text{ (aman)}$$

4.9.c. Alternatif 3

4.9.c.1. Kondisi Muka Air Laut Surut (LLWL)

Untuk kondisi surut, gelombang yang tiba di bangunan adalah gelombang telah pecah karena kedalaman air pada bangunan lebih kecil dari kedalaman gelombang pecah ($d_s < d_b$).

Dari data dan perhitungan yang sudah ada pada pembahasan sebelumnya, didapatkan:

- Elevasi HHWL = + 1,2424 m
- Elevasi MSL = + 0,0000 m
- Elevasi LLWL = - 1,1825 m
- Elevasi DWL = - 0,275 m

- Elevasi Mercu Bangunan = + 4,500 m
- Lebar Mercu = 1 m
- Panjang pelindung kaki bangunan :
 $3H - 4,5H$, dengan $H = 1,655$ m
 sehingga panjang pelindung kaki bangunan = 4,965 m – 7,448 m (diambil 7 m)
- Tinggi pelindung kaki bangunan
 $1H - 1,5H$
 sehingga tinggi pelindung kaki bangunan = 1,655 m – 2,483 m (diambil 2,00 m)
- Berat butir batu pelindung kaki bangunan

$$\gamma = 2,6 \text{ t/m}^3$$

$$H = 1,655 \text{ m}$$

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

$$d_s = 0,012 \text{ m}$$

$$\gamma_w = 1,025 \text{ t/m}^3$$

$$S_r = \gamma / \gamma_w = 2,6 / 1,025 = 2,537$$

$$d_l / d_s = 0 / 0,012 = 0, \text{ dari grafik hubungan } d_l / d_s \text{ dan } N_s^3 \text{ didapat } N_s^3 = 8$$

$$W = \frac{\gamma \cdot H^3}{N_s^3 \cdot (S_r - 1)^3}$$

$$W = \frac{2,6 \cdot 1,655^3}{8^3 \cdot (2,537 - 1)^3} = 0,006 \text{ ton} = 6 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{W}{4/3 \cdot \pi \cdot \gamma}}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{0,006}{4/3 \cdot \pi \cdot 2,6}} = 0,164 \text{ m} = 16,400 \text{ cm}$$

- Berat butir batu lapis pelindung bangunan

$$W = \frac{\gamma \cdot H^3}{K_D \cdot (S_r - 1)^3 \cdot \cot \theta}$$

$$W = \frac{2,6 \cdot 1,655^3}{4 \cdot (2,537 - 1)^3 \cdot 2} = 0,406 \text{ ton} = 406 \text{ kg}$$

$$W/10 = 406/10 = 0,0406 \text{ ton} = 40,6 \text{ kg}$$

$$W/15 = 406/15 = 0,027 \text{ ton} = 27 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{W}{4/3 \cdot \pi \cdot \gamma}}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt[3]{\frac{0,406}{4/3 \cdot \pi 2,6}} = 0,668 \text{ m} = 66,800 \text{ cm}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt[3]{\frac{0,0406}{4/3 \cdot \pi 2,6}} = 0,310 \text{ m} = 31 \text{ cm}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt[3]{\frac{0,406}{4/3 \cdot \pi 2,6}} = 0,271 \text{ m} = 27,1 \text{ cm}$$

$$t = n \cdot k \Delta \cdot \left(\frac{w}{\gamma} \right)^{1/3}$$

$$t = 2,1,15 \cdot \left(\frac{0,406}{2,6} \right)^{1/3} = 1,239 \text{ m}$$

$$t/10 = 2,1,15 \cdot \left(\frac{0,0406}{2,6} \right)^{1/3} = 0,575 \text{ m}$$

$$t/15 = 2,1,15 \cdot \left(\frac{0,027}{2,6} \right)^{1/3} = 0,575 \text{ m}$$

Tabel 4.68.c. Perhitungan Gaya Vertikal (Momen Penahan)

Pias	A m ²	Volume m ³	γ t/m ³	W ton	Lengan m	Momen tm
W1	1*4.50	4.500	2.6	11.700	7.250	84.825
W2	0.5*6.75*4.50	15.188	2.6	39.488	2.250	88.847
W3	7.75*2.0	15.500	2.6	40.300	3.875	156.163
				91.488		329.834

Sumber : Hasil Perhitungan

4.9.c.1.1. Perhitungan Tekanan Dinamis dan Momen

Gelombang yang datang pada bangunan adalah gelombang telah pecah, karena kedalaman air pada bangunan lebih kecil dari kedalaman gelombang pecah ($ds < db$).

Sehingga rumus yang berlaku adalah:

$$R_m = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot db \cdot hc$$

$$M_m = R_m [ds + (hc/2)]$$

$$R_s = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot (ds + hc)^2$$

$$M_s = 1/6 \cdot \gamma_w \cdot (ds + hc)^3$$

$$hc = 0,78 \cdot H_b$$

Dimana :

R_m = gaya gelombang dinamis (ton)

M_m = momen gelombang dinamis (tm)

R_s = gaya hidrostatik (ton)

M_s = Momen hidrostatik (tm)

d_s = kedalaman air di kaki bangunan (m)

d_b = kedalaman gelombang pecah (m)

H_b = tinggi gelombang pecah (m)

❖ Diketahui :

$$\gamma_w = 1,025 \text{ ton/m}^3$$

$$d_b = 2,253 \text{ m}$$

$$H_o' = 1,655 \text{ m}$$

$$d_s = 0,012 \text{ m}$$

$$h_c = 0,78 \cdot 1,655 = 1,291 \text{ m}$$

❖ Gaya gelombang dinamis dan momen yang ditimbulkan

$$\begin{aligned} R_m &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot d_b \cdot h_c \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 2,253 \cdot 1,291 \\ &= 1,491 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_m &= R_m [d_s + (h_c / 2)] \\ &= 1,491 [0,012 + (1,291 / 2)] \\ &= 0,980 \text{ tm} \end{aligned}$$

❖ Gaya dan momen hidrostatik

$$\begin{aligned} R_s &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot (d_s + h_c)^2 \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot (0,012 + 1,291)^2 \\ &= 0,870 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_s &= 1/6 \cdot \gamma_w \cdot (d_s + h_c)^3 \\ &= 1/6 \cdot 1,025 \cdot (0,012 + 1,291)^3 \\ &= 0,378 \text{ tm} \end{aligned}$$

❖ Gaya dan momen total

$$R_t = R_m + R_s = 1,491 + 0,870 = 2,361 \text{ ton}$$

$$M_t = M_m + M_s = 0,980 + 0,378 = 1,358 \text{ tm}$$

4.9.c.1.2. Perhitungan Tekanan Up-lift

Perhitungan tekana *up-lift* dengan menggunakan persamaan :

$$P_x = H_x - (L_x/L) \Delta H$$

dengan :

P_x = tekanan air pada titik x

H_x = jarak titik x dengan muka air tertinggi (m)

L_x = jarak jalur rembesan pada titik x (m)

L = jarak jalur rembesan seluruh bangunan (m)

ΔH = beda tinggi energi (m)

❖ Menghitung L :

$$\begin{aligned} L &= \Sigma V + 1/3 \Sigma H \\ &= 2,78 + 1/3 \cdot 7,75 + 1,725 \\ &= 7,088 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= 2,78 - 1,725 \\ &= 1,055 \text{ m} \end{aligned}$$

❖ Tekanan air pada titik :

A) $H_x = 0 \text{ m}$

$L_x = 0 \text{ m}$

$L = 7,088 \text{ m}$

$\Delta H = 1,055 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 0 - (0/7,088) \cdot 1,055 \\ &= 0 \end{aligned}$$

B) $H_x = 2,780 \text{ m}$

$L_x = 2,780 \text{ m}$

$L = 7,425 \text{ m}$

$\Delta H = 1,055 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 2,780 - (2,780/7,088) \cdot 1,055 \\ &= 2,366 \end{aligned}$$

C) $H_x = 2,780 \text{ m}$

$L_x = 5,363 \text{ m}$

$L = 7,088 \text{ m}$

$\Delta H = 1,055 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 2,780 - (5,363/7,088) \cdot 1,055 \\ &= 1,982 \end{aligned}$$

D) $H_x = 1,055 \text{ m}$

$L_x = 7,088 \text{ m}$

$L = 7,088 \text{ m}$

$\Delta H = 1,055 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 1,055 - (7,088/7,088) \cdot 1,055 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} P_{u1} &= 1,982 \cdot 1,025 \cdot 7,75 \\ &= 15,742 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MP_{u1} &= 15,742 \cdot (0,5 \cdot 7,75) \\ &= 61,002 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{u2} &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 7,75 \cdot (2,366 - 1,982) \\ &= 1,527 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MP_{u2} &= 1,527 \cdot (2/3) \cdot 7,75 \\ &= 7,890 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$P_{u \text{ total}} = 15,742 + 1,527 = 17,270 \text{ ton}$$

$$MP_{u \text{ total}} = 61,002 + 7,890 = 68,892 \text{ tm}$$

4.9.c.1.3. Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

$$\gamma_w = 1,025 \text{ t/m}^2$$

$$\gamma = 1,879 \text{ t/m}^2$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{\gamma_w (G_s + e)}{1 + e}$$

$$e = w \cdot G_s$$

$$= 0,44 \cdot 2,89$$

$$= 1,272$$

dengan :

$$\gamma_{\text{sat}} = \text{berat isi jenuh (t/m}^3\text{)}$$

$$G_s = \text{berat jenis}$$

$$e = \text{angka pori}$$

$$w = \text{kadar air}$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{1,025 \cdot (2,89 + 1,272)}{1 + 1,272}$$

$$= 1,878 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w = 1,878 - 1,025 = 0,853 \text{ t/m}^3$$

$$\Phi = 20^\circ, K_a = \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} = \frac{1 - \sin 20}{1 + \sin 20} = 0,490$$

$$K_p = \frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta} = \frac{1 + \sin 20}{1 - \sin 20} = 1,017$$

untuk kondisi gempa :

$$\Phi = 20 - \tan^{-1} 0,15$$

$$= 11,469^\circ, K_{a_e} = \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} = \frac{1 - \sin 11,469}{1 + \sin 11,469} = 0,668$$

$$K_{p_e} = \frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta} = \frac{1 + \sin 11,469}{1 - \sin 11,469} = 1,024$$

$$P_p = 0,5 \cdot K_p \cdot \gamma \cdot h^2$$

$$= 0,5 \cdot 1,017 \cdot 1,879 \cdot 1,737^2$$

$$= 2,884 \text{ ton}$$

$$M P_p = P_p \cdot \text{lengan}$$

$$= 2,884 \cdot 0,579$$

$$= 1,670 \text{ tm}$$

$$P_{p_e} = 0,5 \cdot K_{p_e} \cdot \gamma \cdot h^2$$

$$= 0,5 \cdot 1,024 \cdot 1,879 \cdot 1,737^2$$

$$= 2,902 \text{ ton}$$

$$MP_{pe} = P_{pe} \cdot l_{engan}$$

$$= 2,902.0,579$$

$$= 1,680 \text{ tm}$$

$$P_w = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot h^2$$

$$= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 0,012^2$$

$$= 0,000074 \text{ ton}$$

$$MP_w = P_w \cdot j_{arak}$$

$$= 0,000074 \cdot 1,741$$

$$= 0,00013 \text{ tm}$$

$$P_a = 0,5 \cdot K_a \cdot \gamma \cdot H_1^2 + K_a \cdot \gamma \cdot H_1 \cdot H_2 + 0,5 \cdot (K_a \cdot \gamma' + \gamma_w) \cdot H_1^2$$

$$= 0,5 \cdot 0,490 \cdot 1,879 \cdot 3,220^2 + 0,490 \cdot 1,879 \cdot 3,220 \cdot 2,780 + 0,5 \cdot (0,490 \cdot 0,853 + 1,025) \cdot 3,220^2$$

$$= 4,776 + 8,247 + 7,481$$

$$= 20,504 \text{ ton}$$

Titik tangkap dari resultan dapat dicari dengan mengambil momen terhadap tembok :

$$= \frac{4,776 \cdot 3,853 + 8,247 \cdot 1,390 + 7,481 \cdot 0,927}{20,504}$$

$$= 1,795 \text{ m}$$

sehingga momen P_a

$$MP_a = 20,504 \cdot 1,795$$

$$= 36,799 \text{ tm}$$

dengan persamaan yang sama, untuk kondisi gempa, dengan $K_{ae} = 0,668$, didapatkan:

$$P_{ae} = 26,019 \text{ ton}$$

$$MP_{ae} = 46,696 \text{ tm}$$

4.9.c.1.4. Stabilitas Terhadap Guling

- Untuk kondisi normal

$$SF = \frac{M_t}{M_g} \geq 1,5$$

$$\frac{M_v + M_{pp} + M_{pw} + M_{mt}}{M_{pu} + M_{pa}} \geq 1,5$$

$$\frac{329,834 + 1,670 + 0,00013 + 1,358}{68,892 + 36,799} = 3,149 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = \frac{M_t}{M_g} \geq 1,1$$

$$\frac{M_v - (M_v \cdot 0,15) + M_{pp_e} + M_{pw} + M_{mt}}{M_{pu} + M_{pa_e}} \geq 1,1$$

$$\frac{329,834 - (329,834 \cdot 0,15) + 1,680 + 0,00013 + 1,358}{68,892 + 46,696} = 2,452 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.c.1.5. Stabilitas Terhadap Geser

Koefisien geser = $f = \tan \Phi = \tan 20^\circ = 0,364$

- Untuk kondisi normal

$$SF = f \frac{\sum V}{\sum H} \geq 1,5$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{W - U}{P_a + P_w - P_p - R_t} \right) \geq 1,5$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{91,488 - 17,270}{20,504 + 0,000074 - 2,884 - 2,361} \right) = 1,770 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,1$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{W - (W \cdot 0,15) - U}{P_{a_e} + P_w - P_{p_e} - R_t} \right) \geq 1,1$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{91,488 - (91,488 \cdot 0,15) - 17,270}{26,019 + 0,000074 - 2,902 - 2,361} \right) = 1,1 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.c.1.6. Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

- Untuk kondisi normal

Pondasi berbentuk memanjang, maka persamaan yang digunakan adalah :

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma$$

dengan $P_o = D \cdot \gamma$

Karena muka air tanah terletak di atas pondasi, maka

$$P_o = \gamma' (D - d_w) + \gamma \cdot d_w$$

$$\gamma \text{ sat} = 1,878 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = 0,853 \text{ t/m}^3$$

$$d_w = 3,220 \text{ m}$$

$$D = 6,000 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} P_o &= 0,853.(6,000 - 3,220) + 1,879.3,220 \\ &= 8,421 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

N_c, N_q, N_γ merupakan faktor daya dukung tanah berdasarkan Φ

Dengan $\Phi = 20^\circ$ didapat $N_c = 17,700$

$$N_q = 7,400$$

$$N_\gamma = 5,000$$

$$\begin{aligned} d &= \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V} \\ &= \frac{332,862 - 105,692}{74,218} \end{aligned}$$

$$= 3,061$$

$$\begin{aligned} e &= \left| d - \frac{B}{2} \right| \\ &= \left| 3,061 - \frac{7,75}{2} \right| \\ &= 0,814 \end{aligned}$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 7,75 - 2.0,814 = 6,122 \text{ m}$$

$$q_u = c.N_c + P_o.N_q + 0,5.\gamma'.B'.N_\gamma$$

$$= 0.17,700 + 8,421.9,302 + 0,5.1,879.6,122.5,000$$

$$= 70,753 \text{ t/m}^2$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{70,753}{3} = 23,584 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$0,814 < 1,292$$

Tegangan Maksimum

$$\begin{aligned} q_{\max} &= \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \\ &= \frac{74,218}{7,75} \left(1 + \frac{6.0,814}{7,75} \right) \\ &= 15,613 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

kontrol : $q_{\max} < q_a$

$$15,613 \text{ t/m}^2 < 23,584 \text{ t/m}^2 \quad (\text{aman})$$

- Untuk kondisi gempa

Dengan $\Phi = 11,469^\circ$ didapat $N_c = 10,570$

$$N_q = 3,199$$

$$N_\gamma = 1,582$$

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{283,397 - 115,588}{60,495}$$

$$= 2,774$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 2,774 - \frac{7,75}{2} \right|$$

$$= 1,101$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 7,75 - 2 \cdot 1,101 = 9,952 \text{ m}$$

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_q$$

$$= 0 \cdot 10,570 + 8,421 \cdot 9,302 + 0,5 \cdot 1,879 \cdot 9,952 \cdot 1,582$$

$$= 32,947 \text{ t/m}^3$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{32,947}{2} = 16,473 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$1,101 < 1,292$$

Tegangan Maksimum

$$q_{\max} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$= \frac{60,495}{7,75} \left(1 + \frac{6 \cdot 1,101}{7,75} \right)$$

$$= 1,152 \text{ t/m}^2$$

control : $q_{\max} < q_a$

$$1,152 \text{ t/m}^2 < 16,473 \text{ t/m}^2 \text{ (aman)}$$

4.9.c.2. Kondisi Muka Air Rata-rata (MSL)

Untuk kondisi muka air rata-rata, gelombang yang tiba di bangunan adalah gelombang telah pecah karena kedalaman air pada bangunan lebih kecil dari kedalaman gelombang pecah ($d_s < d_b$).

Dari data dan perhitungan yang sudah ada pada pembahasan sebelumnya, didapatkan:

- Elevasi HHWL = + 1,2424 m
- Elevasi MSL = + 0,0000 m
- Elevasi LLWL = - 1,1825 m
- Elevasi DWL = + 0,908 m
- Elevasi Mercu Bangunan = + 4,500 m
- Lebar Mercu = 1 m
- Panjang pelindung kaki bangunan :
 $3H - 4,5H$, dengan $H = 1,655\text{m}$
 sehingga panjang pelindung kaki bangunan = 4,965m – 7,448 m (diambil 7,0 m)
- Tinggi pelindung kaki bangunan
 $1H - 1,5H$
 sehingga tinggi pelindung kaki bangunan = 1,655 m – 2,483 m (diambil 2,0 m)
- Berat butir batu pelindung kaki bangunan
 - γ = 2,6 t/m³
 - H = 1,655 m
 - d_l = 0,908 m
 - d_s = 1,171m
 - γ_w = 1,025 t/m³
 - S_r = $\gamma/\gamma_w = 2,6/1,025 = 2,537$
 - $d_l/d_s = 0,908/1,171 = 0,775$, dari grafik hubungan d_l/d_s dan Ns^3 didapat $Ns^3 = 300$

$$W = \frac{\gamma \cdot H^3}{Ns^3 \cdot (sr - 1)^3}$$

$$W = \frac{2,6 \cdot 1,655^3}{300^3 \cdot (2,537 - 1)^3} = 0,011 \text{ ton} = 11,000 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{W}{4/3 \cdot \pi \cdot \gamma}}$$

$$\phi W = 2.3 \sqrt{\frac{0,011}{4/3 \cdot \pi \cdot 2,6}} = 0,200 \text{ m} = 20,000 \text{ cm}$$

- Berat butir batu lapis pelindung bangunan

$$W = \frac{\gamma \cdot H^3}{K_D \cdot (sr - 1)^3 \cdot \cot \theta}$$

$$W = \frac{2,6 \cdot 1,655^3}{4 \cdot (2,537 - 1)^3 \cdot 2} = 0,406 \text{ ton} = 406 \text{ kg}$$

$$W/10 = 0,406/10 = 0,0406 \text{ ton} = 40,6 \text{ kg}$$

$$W/15 = 0,406/15 = 0,027 = 27 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2.3 \sqrt{\frac{W}{4/3 \cdot \pi \cdot \gamma}}$$

$$\phi W = 2.3 \sqrt{\frac{0,406}{4/3 \cdot \pi \cdot 2,6}} = 0,668 \text{ m} = 66,800 \text{ cm}$$

$$\phi W/10 = 2.3 \sqrt{\frac{0,0406}{4/3 \cdot \pi \cdot 2,6}} = 0,310 \text{ m} = 31,000 \text{ cm}$$

$$\phi W/15 = 2.3 \sqrt{\frac{0,027}{4/3 \cdot \pi \cdot 2,6}} = 0,271 \text{ m} = 27,100 \text{ cm}$$

$$t = n \cdot k \Delta \cdot \left(\frac{W}{\gamma} \right)^{1/3}$$

$$t = 2.1,15 \cdot \left(\frac{0,406}{2,6} \right)^{1/3} = 1,239 \text{ m}$$

$$t/10 = 2.1,15 \cdot \left(\frac{0,0406}{2,6} \right)^{1/3} = 0,575 \text{ m}$$

$$t/15 = 2.1,15 \cdot \left(\frac{0,027}{2,6} \right)^{1/3} = 0,575 \text{ m}$$

Tabel 4.69.c. Perhitungan Gaya Vertikal (Momen Penahan)

Pias	A m ²	Volume m ³	γ t/m ³	W ton	Lengan m	Momen tm
Ww	0.5*1.362*0.908	0.618	1.025	0.634	0.454	0.288
W1	1*4.50	4.500	2.6	11.700	7.250	84.825
W2	0.5*6.75*4.50	15.188	2.6	39.488	2.250	88.847
W3	7.75*2.0	15.500	2.6	40.300	3.875	156.163
				92.121		330.122

Sumber : Hasil Perhitungan

4.9.c.2.1. Perhitungan Tekanan Dinamis dan Momen

Gelombang yang datang pada bangunan adalah gelombang telah pecah, Karena kedalaman air pada bangunan lebih kecil dari kedalaman gelombang pecah ($ds < db$).

Sehingga rumus yang berlaku :

$$R_m = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot db \cdot hc$$

$$M_m = R_m [ds + (hc/2)]$$

$$R_s = 0,5 \cdot \gamma_w \cdot (ds + hc)^2$$

$$M_s = 1/6 \cdot \gamma_w \cdot (ds + hc)^3$$

$$hc = 0,78 \cdot H_b$$

Dimana :

R_m = gaya gelombang dinamis (ton)

M_m = momen gelombang dinamis (tm)

R_s = gaya hidrostatik (ton)

M_s = Momen hidrostatik (tm)

ds = kedalaman air di kaki bangunan (m)

db = kedalaman gelombang pecah (m)

H_b = tinggi gelombang pecah (m)

❖ Diketahui :

$$\gamma_w = 1,025 \text{ ton/m}^3$$

$$db = 2,253 \text{ m}$$

$$H_o' = 1,655 \text{ m}$$

$$ds = 1,171 \text{ m}$$

$$hc = 0,78 \cdot 1,655 = 1,291 \text{ m}$$

❖ Gaya gelombang dinamis dan momen yang ditimbulkan

$$\begin{aligned} R_m &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot db \cdot hc \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 2,253 \cdot 1,291 \\ &= 1,491 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_m &= R_m [ds + (hc/2)] \\ &= 1,491 [1,171 + (1,291/2)] \\ &= 2,708 \text{ tm} \end{aligned}$$

❖ Gaya dan momen hidrostatik

$$\begin{aligned} R_s &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot (ds + hc)^2 \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot (1,171 + 1,291)^2 \\ &= 3,106 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_s &= 1/6 \cdot \gamma_w \cdot (d_s + h_c)^3 \\ &= 1/6 \cdot 1,025 \cdot (1,171 + 1,291)^3 \\ &= 2,549 \text{ tm} \end{aligned}$$

❖ Gaya dan momen total

$$\begin{aligned} R_t &= R_m + R_s = 1,491 + 3,106 = 4,597 \text{ ton} \\ M_t &= M_m + M_s = 2,708 + 2,549 = 5,257 \text{ tm} \end{aligned}$$

4.9.c.2.2. Perhitungan Tekanan Up-lift

Perhitungan tekana *up-lift* dengan menggunakan persamaan :

$$P_x = H_x - (L_x/L) \Delta H$$

dengan :

P_x = tekanan air pada titik x

H_x = jarak titik x dengan muka air tertinggi (m)

L_x = jarak jalur rembesan pada titik x (m)

L = jarak jalur rembesan seluruh bangunan (m)

ΔH = beda tinggi energi (m)

Menghitung L :

$$\begin{aligned} L &= \Sigma V + 1/3 \Sigma H \\ &= 2,78 + 1/3 \cdot 7,75 + 2,0 + 1,637 \\ &= 9,000 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= 2,908 - 2,780 \\ &= 0,128 \text{ m} \end{aligned}$$

Tekanan air pada titik :

A) $H_x = 0 \text{ m}$

$L_x = 0 \text{ m}$

$L = 9,000 \text{ m}$

$\Delta H = 0,128 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 0 - (0/9,000) \cdot 0,128 \\ &= 0 \end{aligned}$$

B) $H_x = 2,780 \text{ m}$

$L_x = 2,780 \text{ m}$

$L = 9,000 \text{ m}$

$\Delta H = 0,128 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 2,78 - (2,78/9,000) \cdot 0,128 \\ &= 2,740 \end{aligned}$$

C) $H_x = 2,780 \text{ m}$

$L_x = 5,363 \text{ m}$

$L = 9,000 \text{ m}$

$\Delta H = 0,128 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 2,78 - (5,363/9,000) \cdot 0,128 \\ &= 2,704 \end{aligned}$$

D) $H_x = 0,128 \text{ m}$

$L_x = 9,000 \text{ m}$

$L = 9,000 \text{ m}$

$\Delta H = 0,128 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 0,128 - (9,000/9,000) \cdot 0,128 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$Pu1 = 2,704.1,025.7,75$$

$$= 21,478 \text{ ton}$$

$$MPu1 = 21,478.(0,5.7,75)$$

$$= 83,226 \text{ tm}$$

$$Pu2 = 0,5.1,025.7,75.(2,740-2,704)$$

$$= 0,146 \text{ ton}$$

$$MPu2 = 0,146.(2/3).7,75$$

$$= 0,754 \text{ tm}$$

$$Pu \text{ total} = 21,478 + 0,146 = 21,624 \text{ ton}$$

$$MPu \text{ total} = 83,226 + 0,754 = 83,980 \text{ tm}$$

4.9.c.2.3. Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan:

$$Pp = 2,884 \text{ ton}$$

$$M Pp = 1,670 \text{ tm}$$

$$Ppe = 2,902 \text{ ton}$$

$$MPpe = 1,680 \text{ tm}$$

$$Pa = 20,504 \text{ ton}$$

$$MPa = 36,799 \text{ tm}$$

$$Pae = 26,019 \text{ ton}$$

$$MPae = 46,696 \text{ tm}$$

$$Pw = 0,5. \gamma_w .h^2$$

$$= 0,5.1,025.1,171^2$$

$$= 0,703 \text{ ton}$$

$$MPw = 0,703.2,127 = 1,495 \text{ tm}$$

4.9.c.2.4. Stabilitas Terhadap Guling

- Untuk kondisi normal

$$SF = \frac{Mt}{Mg} \geq 1,5$$

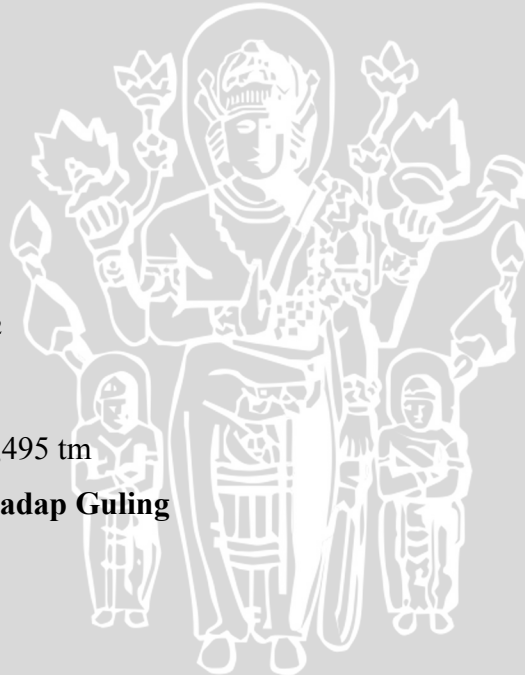
$$\frac{Mv + Mpp + Mpw + Mmt}{Mpu + Mpa} \geq 1,5$$

$$\frac{330,122 + 1,670 + 1,495 + 5,257}{83,980 + 36,799} = 2,803 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = \frac{Mt}{Mg} \geq 1,1$$

$$\frac{Mv - (Mv.0,15) + Mpp_e + Mpw + Mmt}{Mpu + Mpa_e} \geq 1,1$$



$$\frac{330,122 - (330,122.0,15) + 1680 + 1713 + 5,257}{83,980 + 46,696} = 2,212 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.c.2.5. Stabilitas Terhadap Geser

Koefisien geser = $f = \tan \Phi = \tan 20^\circ = 0,364$

- Untuk kondisi normal

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,5$$

$$0,364 \left(\frac{W - U}{P_a + P_w - P_p - R_t} \right) \geq 1,5$$

$$0,364 \left(\frac{92,121 - 21,624}{20,504 + 0,703 - 2,884 - 4,597} \right) = 1,869 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,1$$

$$0,364 \left(\frac{W - (W.0,15) - U}{P_{a_e} + P_w - P_{p_e} - R_t} \right) \geq 1,1$$

$$0,364 \left(\frac{92,121 - (92,121.0,15) - 21,624}{26,019 + 0,703 - 2,902 - 4,597} \right) = 1,1 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.c.2.6. Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

- Untuk kondisi normal

Pondasi berbentuk memanjang, maka persamaan yang digunakan adalah :

$$q_u = c.N_c + P_o . N_q + 0,5 . \gamma' . B . N_\gamma$$

dengan $P_o = D . \gamma$

Karena muka air tanah terletak di atas pondasi, maka

$$P_o = \gamma' (D - dw) + \gamma . dw$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1,878 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = 0,853 \text{ t/m}^3$$

$$dw = 3,220 \text{ m}$$

$$D = 6,000 \text{ m}$$

$$P_o = 0,853 . (6,000 - 3,220) + 1,879 . 3,220 = 8,421 \text{ t/m}^2$$

N_c, N_q, N_γ merupakan faktor daya dukung tanah berdasarkan Φ

Dengan $\Phi = 20^\circ$ didapat $N_c = 17,700$

$$N_q = 7,400$$

$$N_\gamma = 5,000$$

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{338,544 - 120,779}{70,498}$$

$$= 3,089$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 3,089 - \frac{7,75}{2} \right|$$

$$= 0,786$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 7,75 - 2 \cdot 0,786 = 6,178 \text{ m}$$

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma$$

$$= 0,17 \cdot 7,00 + 8,421 \cdot 9,302 + 0,5 \cdot 1,879 \cdot 6,178 \cdot 5,000$$

$$= 71,017 \text{ t/m}^3$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{71,017}{3} = 23,672 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$0,786 < 1,292$$

Tegangan Maksimum

$$q_{\max} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$= \frac{70,498}{7,75} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,786}{7,75} \right)$$

$$= 14,632 \text{ t/m}^2$$

kontrol : $q_{\max} < q_a$

$$14,632 \text{ t/m}^2 < 23,672 \text{ t/m}^2 \quad (\text{aman})$$

- Untuk kondisi gempa

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{289,036 - 130,676}{56,679}$$

$$= 2,794$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 2,794 - \frac{7,75}{2} \right|$$

$$= 1,081$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 7,75 - 2 \cdot 1,081 = 5,588 \text{ m}$$

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_q$$

$$= 0,10 \cdot 5,70 + 8,421 \cdot 9,302 + 0,5 \cdot 1,879 \cdot 5,588 \cdot 1,582$$

$$= 26,460 \text{ t/m}^3$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{26,460}{2} = 13,230 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$1,081 < 1,292$$

Tegangan Maksimum

$$\begin{aligned} q_{\max} &= \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \\ &= \frac{56,679}{7,75} \left(1 + \frac{6 \cdot 1,081}{7,75} \right) \\ &= 10,377 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

control : $q_{\max} < q_a$

$$10,377 \text{ t/m}^2 < 13,230 \text{ t/m}^2 \quad (\text{aman})$$

4.9.c.3. Kondisi Muka Air Pasang (HHWL)

Untuk kondisi muka air pasang, gelombang yang tiba di bangunan adalah gelombang tidak pecah karena kedalaman air pada bangunan lebih besar dari kedalaman gelombang pecah ($d_s > d_b$).

Dari data dan perhitungan yang sudah ada pada pembahasan sebelumnya, didapatkan:

- Elevasi HHWL $= + 1,2424 \text{ m}$
- Elevasi MSL $= + 0,000 \text{ m}$

- Elevasi LLWL = - 1,1825 m
- Elevasi DWL = + 2,150 m
- Elevasi Mercu Bangunan = + 4,500 m
- Lebar Mercu = 1 m
- Panjang pelindung kaki bangunan :
 $3H - 4,5H$, dengan $H = 1,655$ m
 sehingga panjang pelindung kaki bangunan = 4,965 m – 7,448 m (diambil 7,0 m)
- Tinggi pelindung kaki bangunan
 $1H - 1,5H$
 sehingga tinggi pelindung kaki bangunan = 1,655 m – 2,483 m (diambil 2,0 m)
- Berat butir batu pelindung kaki bangunan
 $\gamma = 2,6 \text{ t/m}^3$
 $H = 1,655 \text{ m}$
 $d1 = 2,150 \text{ m}$
 $ds = 2,413 \text{ m}$
 $\gamma_w = 1,025 \text{ t/m}^3$
 $Sr = \gamma/\gamma_w = 2,6/1,025 = 2,537$
 $d1/ds = 2,150/2,413 = 0,891$, dari grafik hubungan $d1/ds$ dan Ns^3 didapat $Ns^3 = 300$

$$W = \frac{\gamma.H^3}{Ns^3.(sr-1)^3}$$

$$W = \frac{2,6.1,655^3}{300^3.(2,537-1)^3} = 0,011 \text{ ton} = 11 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{W}{4/3.\pi/\gamma}}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{0,011}{4/3.\pi/2,6}} = 0,200 \text{ m} = 20,00 \text{ cm}$$
- Berat butir batu lapis pelindung bangunan

$$W = \frac{\gamma.H^3}{K_D.(sr-1)^3.\cot\theta}$$

$$W = \frac{2,6.1,655^3}{4.(2,537-1)^3.2} = 0,406 \text{ ton} = 406 \text{ kg}$$

$$W/10 = 0,406/10 = 0,0406 \text{ ton} = 40,6 \text{ kg}$$

$$W/15 = 0,406/15 = 0,027 = 27 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2.3 \sqrt{\frac{W}{4/3 \cdot \pi \cdot \gamma}}$$

$$\phi W = 2.3 \sqrt{\frac{0,406}{4/3 \cdot \pi \cdot 2,6}} = 0,668 \text{ m} = 66,800 \text{ cm}$$

$$\phi W/10 = 2.3 \sqrt{\frac{0,0406}{4/3 \cdot \pi \cdot 2,6}} = 0,310 \text{ m} = 31,000 \text{ cm}$$

$$\phi W/15 = 2.3 \sqrt{\frac{0,027}{4/3 \cdot \pi \cdot 2,6}} = 0,271 \text{ m} = 27,100 \text{ cm}$$

$$t = n \cdot k \Delta \cdot \left(\frac{W}{\gamma} \right)^{1/3}$$

$$t = 2.1,15 \cdot \left(\frac{0,406}{2,6} \right)^{1/3} = 1,239 \text{ m}$$

$$t/10 = 2.1,15 \cdot \left(\frac{0,0406}{2,6} \right)^{1/3} = 0,575 \text{ m}$$

$$t/15 = 2.1,15 \cdot \left(\frac{0,027}{2,6} \right)^{1/3} = 0,575 \text{ m}$$

Tabel 4.70.c. Perhitungan Gaya Vertikal (Momen Penahan)

Pias	A m ²	Volume m ³	γ t/m ³	W ton	Lengan m	Momen tm
Ww	0.5*3.225*2.150	3.467	1.025	3.554	1.075	3.820
W1	1*4.50	4.500	2.6	11.700	7.250	84.825
W2	0.5*6.75*4.50	15.188	2.6	39.488	2.250	88.847
W3	7.75*2.0	15.500	2.6	40.300	3.875	156.163
				95.041		333.654

Sumber : Hasil Perhitungan

4.9.c.3.1. Perhitungan Tekanan Dinamis dan Momen

Gelombang yang datang pada bangunan adalah gelombang tidak pecah, Karena kedalaman air pada bangunan lebih besar dari kedalaman gelombang pecah ($d_s > d_b$).

Sehingga rumus yang berlaku :

$$R_c = \rho g \left\{ \frac{1}{2} (d + \Delta h + H) \left[d + \frac{H}{\cosh(2\pi d / L)} \right] - \frac{d^2}{2} \right\}$$

$$M_c = \rho g \left\{ \frac{1}{6} (d + \Delta h + H)^2 \left[d + \frac{H}{\cosh(2\pi d / L)} \right] - \frac{d^3}{6} \right\}$$

$$\Delta H = \frac{\pi H^2}{L} \left[1 + \frac{3}{4 \sinh^2(2\pi d / L)} - \frac{1}{4 \cosh^2(2\pi d / L)} \right] \cot \frac{2\pi d}{L}$$

Dimana :

Rc = gaya yang ditimbulkan oleh gelombang (ton)

Mc = momen yang ditimbulkan oleh gelombang (tm)

d = kedalaman air di kaki bangunan (m)

H = tinggi gelombang (m)

❖ Diketahui :

$$\gamma_w = 1,025 \text{ ton/m}^3$$

$$d_b = 2,253 \text{ m}$$

$$H_o' = 1,655 \text{ m}$$

$$d = 2,413 \text{ m}$$

$$L_o = 72,420 \text{ m}$$

$$d/L_o = 2,413/72,420 = 0,033$$

dari tabel L-1 didapatkan :

$$\sinh = 0,4894$$

$$\cosh = 1,1133$$

$$\tanh = 0,4396$$

$$\begin{aligned} \Delta h &= \frac{\pi 1,655^2}{72,420} \left[1 + \frac{3}{4 \cdot 0,4894^2} - \frac{1}{4 \cdot 1,1133^2} \right] \cot \frac{1}{0,4396} \\ &= 1,062 \text{ m} \end{aligned}$$

❖ Gaya gelombang

$$\begin{aligned} R_c &= 1025,9,81 \left\{ \frac{1}{2} (2,413 + 1,062 + 1,655) \left[2,413 + \frac{1,655}{1,1133} \right] - \frac{2,413^2}{2} \right\} \\ &= 10,252 \text{ ton} \end{aligned}$$

❖ Momen pengguling

$$\begin{aligned} M_c &= 1025,9,81 \left\{ \frac{1}{6} (2,413 + 1,062 + 1,655)^2 \left[2,413 + \frac{1,655}{1,1133} \right] - \frac{2,413^3}{6} \right\} \\ &= 15,130 \text{ tm} \end{aligned}$$

4.9.c.3.2. Perhitungan Tekanan *Up-lift*

Perhitungan tekana *up-lift* dengan menggunakan persamaan :

$$P_x = H_x - (L_x/L) \Delta H$$

dengan :

P_x = tekanan air pada titik x

H_x = jarak titik x dengan muka air tertinggi (m)

L_x = jarak jalur rembesan pada titik x (m)

L = jarak jalur rembesan seluruh bangunan (m)

ΔH = beda tinggi energi (m)

Menghitung L :

$$\begin{aligned} L &= \Sigma V + 1/3 \Sigma H \\ &= 2,780 + 1/3 \cdot 7,75 + 2,00 + 3,876 \\ &= 11,239 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= 2,15 - 0,780 \\ &= 1,370 \text{ m} \end{aligned}$$

Tekanan air pada titik :

A)

$$\begin{aligned} H_x &= 0 \text{ m} \\ L_x &= 0 \text{ m} \\ L &= 11,239 \text{ m} \\ \Delta H &= 1,370 \text{ m} \\ P_x &= 0 - (0/11,239) \cdot 1,370 \\ &= 0 \end{aligned}$$

B)

$$\begin{aligned} H_x &= 2,780 \text{ m} \\ L_x &= 2,780 \text{ m} \\ L &= 11,239 \text{ m} \\ \Delta H &= 1,370 \text{ m} \\ P_x &= 2,78 - (2,78/11,239) \cdot 1,370 \\ &= 2,441 \end{aligned}$$

C)

$$\begin{aligned} H_x &= 2,780 \text{ m} \\ L_x &= 5,363 \text{ m} \\ L &= 11,239 \text{ m} \\ \Delta H &= 1,370 \text{ m} \\ P_x &= 2,78 - (5,363/11,239) \cdot 1,370 \\ &= 2,126 \end{aligned}$$

D)

$$\begin{aligned} H_x &= 1,370 \text{ m} \\ L_x &= 11,239 \text{ m} \\ L &= 11,236 \text{ m} \\ \Delta H &= 1,370 \text{ m} \\ P_x &= 1,370 - (11,236/11,236) \cdot 1,370 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} P_{u1} &= 2,126 \cdot 1,025 \cdot 7,75 \\ &= 16,890 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{u2} &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 7,75 \cdot (2,441 - 2,126) \\ &= 1,251 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MP_{u1} &= 16,890 \cdot (0,5 \cdot 7,75) \\ &= 65,450 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MP_{u2} &= 1,251 \cdot (2/3) \cdot 7,75 \\ &= 6,462 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$P_{u \text{ total}} = 16,890 + 1,251 = 18,141 \text{ ton}$$

$$MPu \text{ total} = 65,450 + 6,462 = 71,912 \text{ tm}$$

4.9.c.3.3. Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan:

$$Pp = 2,884 \text{ ton}$$

$$M Pp = 1,670 \text{ tm}$$

$$Ppe = 2,902 \text{ ton}$$

$$M Ppe = 1,680 \text{ tm}$$

$$Pa = 20,504 \text{ ton}$$

$$MPa = 36,799 \text{ tm}$$

$$Pa_e = 26,019 \text{ ton}$$

$$MPa_e = 46,696 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned} Pw &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot h^2 \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 2,413^2 \\ &= 2,984 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$MPw = 2,984 \cdot 2,541 = 7,584 \text{ tm}$$

4.9.c.3.4. Stabilitas Terhadap Guling

- Untuk kondisi normal

$$SF = \frac{Mt}{Mg} \geq 1,5$$

$$\frac{Mv + Mpp + Mpw + Mmt}{Mpu + Mpa} \geq 1,5$$

$$\frac{333,654 + 2,884 + 7,584 + 15,130}{71,912 + 36,799} = 3,293 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = \frac{Mt}{Mg} \geq 1,1$$

$$\frac{Mv - (Mv \cdot 0,15) + Mpp_e + Mpw + Mmt}{Mpu + Mpa_e} \geq 1,1$$

$$\frac{333,654 - (333,654 \cdot 0,15) + 2,902 + 7,584 + 15,130}{71,912 + 46,696} = 2,597 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.c.3.5. Stabilitas Terhadap Geser

$$\text{Koefisien geser} = f = \tan \Phi = \tan 20^\circ = 0,364$$

- Untuk kondisi normal

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,5$$

$$0,364 \left(\frac{W - U}{Pa + Pw - Pp - Rt} \right) \geq 1,5$$

$$0,364 \left(\frac{95,041 - 18,141}{20,504 + 2,984 - 2,884 - 10,252} \right) = 2,704 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,1$$

$$0,364 \left(\frac{W - (W \cdot 0,15) - U}{Pa_e + Pw - Pp_e - Rt} \right) \geq 1,1$$

$$0,364 \left(\frac{95,041 - (95,041 \cdot 0,15) - 18,141}{26,019 + 2,984 - 2,902 - 10,252} \right) = 1,439 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.c.3.6. Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

- Untuk kondisi normal

Pondasi berbentuk memanjang, maka persamaan yang digunakan adalah :

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma$$

$$\text{dengan } P_o = D \cdot \gamma$$

Karena muka air tanah terletak di atas pondasi, maka

$$P_o = \gamma' (D - dw) + \gamma \cdot dw$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1,878 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = 0,853 \text{ t/m}^3$$

$$dw = 3,220 \text{ m}$$

$$D = 6,000 \text{ m}$$

$$P_o = 0,853 \cdot (6,000 - 3,462) + 1,879 \cdot 3,220$$

$$= 8,421 \text{ t/m}^2$$

N_c, N_q, N_γ merupakan faktor daya dukung tanah berdasarkan Φ

$$\text{Dengan } \Phi = 20^\circ \text{ didapat } N_c = 17,700$$

$$N_q = 7,400$$

$$N_\gamma = 5,000$$

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{358,038 - 108,711}{76,900}$$

$$= 3,242$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 3,242 - \frac{7,75}{2} \right|$$

$$= 0,633$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 7,75 - 2 \cdot 0,633 = 6,484 \text{ m}$$

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma$$

$$= 0,17 \cdot 7,700 + 8,421 \cdot 9,302 + 0,5 \cdot 1,879 \cdot 6,484 \cdot 5,000$$

$$= 72,457 \text{ t/m}^3$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{72,457}{3} = 24,152 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$0,805 < 1,417$$

Tegangan Maksimum

$$\begin{aligned} q_{\max} &= \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \\ &= \frac{76,900}{7,75} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,633}{7,75} \right) \\ &= 14,784 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

kontrol : $q_{\max} < q_a$

$$14,784 \text{ t/m}^2 < 24,152 \text{ t/m}^2 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

Dengan $\Phi = 11,469^\circ$ didapat $N_c = 10,5700$

$$N_q = 3,199$$

$$N_\gamma = 1,582$$

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{308,000 - 118,608}{62,644}$$

$$= 3,023$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 3,023 - \frac{7,75}{2} \right|$$

$$= 0,852$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 7,75 - 2 \cdot 0,852 = 6,047 \text{ m}$$

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_q$$

$$= 0,10 \cdot 5,700 + 8,421 \cdot 9,302 + 0,5 \cdot 1,879 \cdot 6,047 \cdot 1,582$$

$$= 27,142 \text{ t/m}^3$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{27,142}{2} = 13,571 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$0,852 < 1,292$$

Tegangan Maksimum

$$q_{\max} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$= \frac{62,644}{7,75} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,852}{7,75} \right)$$

$$= 13,413 \text{ t/m}^2$$

control : $q_{\max} < q_a$

$$13,413 \text{ t/m}^2 < 13,571 \text{ t/m}^2 \text{ (aman)}$$

4.9.c.4. Kondisi Muka Air Gelombang Pecah

Untuk kondisi gelombang pecah, gelombang yang tiba di bangunan adalah gelombang pecah karena kedalaman air pada bangunan sama dengan kedalaman gelombang pecah ($d_s = d_b$).

Dari data dan perhitungan yang sudah ada pada pembahasan sebelumnya, didapatkan:

- Elevasi HHWL = + 1,2424 m
- Elevasi MSL = + 0,0000 m
- Elevasi LLWL = - 1,1825 m
- Elevasi DWL = + 1,990 m
- Elevasi Mercu Bangunan = + 4,500 m

- Lebar Mercu = 1 m
- Panjang pelindung kaki bangunan :
 $3H - 4,5H$, dengan $H = 1,655$ m
 sehingga panjang pelindung kaki bangunan = $4,965$ m – $7,448$ m (diambil $7,0$ m)
- Tinggi pelindung kaki bangunan
 $1H - 1,5H$
 sehingga tinggi pelindung kaki bangunan = $1,655$ m – $2,483$ m (diambil $2,0$ m)
- Berat butir batu pelindung kaki bangunan
 $\gamma = 2,6 \text{ t/m}^3$
 $H = 1,655 \text{ m}$
 $d_1 = 1,990 \text{ m}$
 $d_s = 2,253 \text{ m}$
 $\gamma_w = 1,025 \text{ t/m}^3$
 $S_r = \gamma/\gamma_w = 2,6/1,025 = 2,537$
 $d_1/d_s = 1,990/2,253 = 0,883$, dari grafik hubungan d_1/d_s dan N_s^3 didapat $N_s^3 = 300$

$$W = \frac{\gamma \cdot H^3}{N_s^3 \cdot (s_r - 1)^3}$$

$$W = \frac{2,6 \cdot 1,655^3}{300^3 \cdot (2,537 - 1)^3} = 0,011 \text{ ton} = 11,000 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{W}{4/3 \cdot \pi / \gamma}}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{0,011}{4/3 \cdot \pi / 2,6}} = 0,200 \text{ m} = 20,000 \text{ cm}$$

- Berat butir batu lapis pelindung bangunan

$$W = \frac{\gamma \cdot H^3}{K_D \cdot (s_r - 1)^3 \cdot \cot \theta}$$

$$W = \frac{2,6 \cdot 1,655^3}{2 \cdot (2,537 - 1)^3 \cdot 2} = 0,812 \text{ ton} = 812,000 \text{ kg}$$

$$W/10 = 0,406/10 = 0,0406 \text{ ton} = 40,6 \text{ kg}$$

$$W/15 = 0,406/15 = 0,027 = 27 \text{ kg}$$

$$\phi W = 2,3 \sqrt{\frac{W}{4/3 \cdot \pi \cdot \gamma}}$$

$$\phi W = 2.3 \sqrt{\frac{0,812}{4/3 \cdot \pi \cdot 2,6}} = 0,842 \text{ m} = 84,200 \text{ cm}$$

$$\phi W/10 = 2.3 \sqrt{\frac{0,0406}{4/3 \cdot \pi \cdot 2,6}} = 0,310 \text{ m} = 31,000 \text{ cm}$$

$$\phi W/15 = 2.3 \sqrt{\frac{0,027}{4/3 \cdot \pi \cdot 2,6}} = 0,271 \text{ m} = 27,100 \text{ cm}$$

$$t = n \cdot k \Delta \cdot \left(\frac{w}{\gamma} \right)^{1/3}$$

$$t = 2.1,15 \cdot \left(\frac{0,406}{2,6} \right)^{1/3} = 1,239 \text{ m}$$

$$t/10 = 2.1,15 \cdot \left(\frac{0,0406}{2,6} \right)^{1/3} = 0,575 \text{ m}$$

$$t/15 = 2.1,15 \cdot \left(\frac{0,027}{2,6} \right)^{1/3} = 0,575 \text{ m}$$

Tabel 4.71.c. Perhitungan Gaya Vertikal (Momen Penahan)

Pias	A m ²	Volume m ³	γ t/m ³	W ton	Lengan m	Momen tm
Ww	0.5*2.985*1.990	2.970	1.025	3.044	0.995	3.029
W1	1*4.50	4.500	2.6	11.700	7.250	84.825
W2	0.5*6.75*4.50	15.188	2.6	39.488	2.250	88.847
W3	7.75*2.0	15.500	2.6	40.300	3.875	156.163
				94.532		332.863

Sumber : Hasil Perhitungan

4.9.c.4.1. Perhitungan Tekanan Dinamis dan Momen

Gelombang yang datang pada bangun adalah gelombang pecah, karena kedalaman air pada bangunan sama dengan kedalaman gelombang pecah ($ds=db$). Sehingga rumus yang berlaku :

$$p_m = 101 \gamma (H_b/L_D) \cdot (ds/D) \cdot (D+ds)$$

$$D = ds + L_D$$

$$R_m = p_m \cdot H_b / 3$$

$$M_m = R_m \cdot ds$$

Dimana :

$$p_m = \text{tekanan dinamis maksimum (ton/m}^3\text{)}$$

$$R_m = \text{gaya gelombang (ton)}$$

M_m = momen pengguling (tm)

D = kedalaman pada jarak satu panjang gelombang di depan dinding (m)

L_D = panjang gelombang pada kedalaman D (m)

m = kemiringan dasar pantai

d_s = kedalaman air di kaki bangunan (m)

H_b = tinggi gelombang pecah (m)

❖ Diketahui :

$$\gamma_w = 1,025 \text{ ton/m}^3$$

$$H_b = 2,424 \text{ m}$$

$$d = 2,253 \text{ m}$$

$$L_o = 72,420 \text{ m}$$

$$d_s = 2,253 \text{ m}$$

$$d/L_o = 2,253 / 72,420 = 0,031$$

Dari tabel L-1 didapatkan :

$$d/L_d = 0,07261$$

$$L_d = 2,253 / 0,07261 = 31,029 \text{ m}$$

$$D = 2,253 + (31,029 \cdot 0,001) = 2,284 \text{ m}$$

Dari tabel L-1 didapatkan :

$$D/L_o = 2,284 / 72,420 = 0,032$$

$$D/L_D = 0,07385$$

$$L_D = 2,284 / 0,07385 = 30,928 \text{ m}$$

❖ Tekanan dinamis maksimum

$$\begin{aligned} p_m &= 101,9,81(2,424 / 30,928) \cdot (2,253 / 2,284) \cdot (2,284 + 2,253) \\ &= 347,603 \text{ ton/m}^3 \end{aligned}$$

❖ Gaya gelombang

$$\begin{aligned} R_m &= (347,603 \cdot 2,424) / 3 \\ &= 28,636 \text{ ton} \end{aligned}$$

❖ Momen pengguling

$$\begin{aligned} M_m &= 28,636 \cdot 2,253 \\ &= 64,516 \text{ tm} \end{aligned}$$

4.9.c.4.2. Perhitungan Tekanan Up-lift

Perhitungan tekana *up-lift* dengan menggunakan persamaan :

$$P_x = H_x - (L_x/L) \Delta H$$

dengan :

P_x = tekanan air pada titik x

H_x = jarak titik x dengan muka air tertinggi (m)

L_x = jarak jalur rembesan pada titik x (m)

L = jarak jalur rembesan seluruh bangunan (m)

ΔH = beda tinggi energi (m)

Menghitung L :

$$\begin{aligned} L &= \Sigma V + 1/3 \Sigma H \\ &= 2,78 + (1/3).7,75 + 2,00 + 3,588 \\ &= 10,951 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H &= 1,990 - 0,780 \\ &= 1,210 \text{ m} \end{aligned}$$

Tekanan air pada titik :

A) $H_x = 0 \text{ m}$

$L_x = 0 \text{ m}$

$L = 10,951 \text{ m}$

$\Delta H = 1,210 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 0 - (0/10,951).1,210 \\ &= 0 \end{aligned}$$

B) $H_x = 2,780 \text{ m}$

$L_x = 2,780 \text{ m}$

$L = 10,951 \text{ m}$

$\Delta H = 1,210 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 2,78 - (2,78/10,951).1,210 \\ &= 2,473 \end{aligned}$$

C) $H_x = 2,780 \text{ m}$

$L_x = 5,363 \text{ m}$

$L = 10,951 \text{ m}$

$\Delta H = 1,210 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 2,78 - (5,363/10,951).1,210 \\ &= 2,187 \end{aligned}$$

D) $H_x = 1,210 \text{ m}$

$L_x = 10,951 \text{ m}$

$L = 10,951 \text{ m}$

$\Delta H = 1,210 \text{ m}$

$$\begin{aligned} P_x &= 1,210 - (10,951/10,951).1,210 \\ &= 0 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} P_{u1} &= 2,187.1,025.7,75 \\ &= 17,736 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{u2} &= 0,5.1,025.7,75.(2,473 - 2,187) \\ &= 1,134 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MP_{u1} &= 17,736.(0,5.7,75) \\ &= 67,333 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} MP_{u2} &= 1,134.(2/3).7,75 \\ &= 5,857 \text{ tm} \end{aligned}$$

$$P_u \text{ total} = 17,736 + 1,134 = 18,510 \text{ ton}$$

$$MP_u \text{ total} = 67,333 + 5,857 = 73,190 \text{ tm}$$

4.9.c.4.3. Tekanan Tanah Aktif dan Pasif

Dari perhitungan sebelumnya didapatkan:

$$P_p = 2,884 \text{ ton}$$

$$M_{Pp} = 1,670 \text{ tm}$$

$$P_{Pe} = 2,902 \text{ ton}$$

$$M_{Ppe} = 1,680 \text{ tm}$$

$$P_a = 20,504 \text{ ton}$$

$$M_{Pa} = 36,799 \text{ tm}$$

$$P_{ae} = 26,019 \text{ ton}$$

$$M_{Pae} = 46,696 \text{ tm}$$

$$\begin{aligned} P_w &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot h^2 \\ &= 0,5 \cdot 1,025 \cdot 2,253^2 \\ &= 2,601 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$M_{Pw} = 2,601 \cdot 2,488 = 6,472 \text{ tm}$$

4.9.c.4.4. Stabilitas Terhadap Guling

- Untuk kondisi normal

$$SF = \frac{M_t}{M_g} \geq 1,5$$

$$\frac{M_v + M_{pp} + M_{pw} + M_{mt}}{M_{pu} + M_{pa}} \geq 1,5$$

$$\frac{332,863 + 1,670 + 6,472 + 64,516}{73,190 + 36,799} = 3,687 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = \frac{M_t}{M_g} \geq 1,1$$

$$\frac{M_v - (M_v \cdot 0,15) + M_{ppe} + M_{pw} + M_{mt}}{M_{pu} + M_{pae}} \geq 1,1$$

$$\frac{332,863 - (332,863 \cdot 0,15) + 1,680 + 6,472 + 64,516}{73,190 + 46,696} = 2,966 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.c.4.5. Stabilitas Terhadap Geser

$$\text{Koefisien geser} = f = \tan \Phi = \tan 20^\circ = 0,364$$

- Untuk kondisi normal

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,5$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{W - U}{P_a + P_w - P_p + R_t} \right) \geq 1,5$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{94,532 - 18,510}{20,504 + 2,601 - 2,884 - 28,636} \right) = 3,289 \geq 1,5 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

$$SF = f \frac{\sum V_t}{\sum H} \geq 1,1$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{W - (W \cdot 0,15) - U}{Pa_e + Pw - Pp_e - Rt} \right) \geq 1,1$$

$$0,364 \cdot \left(\frac{94,532 - (94,532 \cdot 0,15) - 18,510}{26,019 + 2,601 - 2,902 - 28,636} \right) = 7,716 \geq 1,1 \text{ (aman)}$$

4.9.c.4.6. Stabilitas Terhadap Daya Dukung Tanah

- Untuk kondisi normal

Pondasi berbentuk memanjang, maka persamaan yang digunakan adalah :

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma$$

dengan $P_o = D \cdot \gamma$

Karena muka air tanah terletak di atas pondasi, maka

$$P_o = \gamma' (D - d_w) + \gamma \cdot d_w$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1,878 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma' = 0,853 \text{ t/m}^3$$

$$d_w = 3,220 \text{ m}$$

$$D = 6,000 \text{ m}$$

$$P_o = 0,853 \cdot (6,000 - 3,220) + 1,879 \cdot 3,220$$

$$= 8,421 \text{ t/m}^2$$

N_c, N_q, N_γ merupakan faktor daya dukung tanah berdasarkan Φ

$$\text{Dengan } \Phi = 20^\circ \text{ didapat } N_c = 17,700$$

$$N_q = 7,400$$

$$N_\gamma = 5,000$$

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{405,522 - 109,990}{76,022}$$

$$= 3,887$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 3,887 - \frac{7,75}{2} \right|$$

$$= 0,012$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 7,75 - 2 \cdot 0,012 = 7,725 \text{ m}$$

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma$$

$$= 0,17 \cdot 7,700 + 8,421 \cdot 9,302 + 0,5 \cdot 1,878 \cdot 7,725 \cdot 5,000$$

$$= 78,285 \text{ t/m}^3$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{78,285}{3} = 26,095 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$0,012 < 1,292$$

Tegangan Maksimum

$$q_{\max} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$= \frac{76,022}{7,75} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,012}{7,75} \right)$$

$$= 9,904 \text{ t/m}^2$$

kontrol : $q_{\max} < q_a$

$$9,904 \text{ t/m}^2 < 26,095 \text{ t/m}^2 \text{ (aman)}$$

- Untuk kondisi gempa

Dengan $\Phi = 11,469^\circ$ didapat

$$N_c = 10,570$$

$$N_q = 3,199$$

$$N_\gamma = 1,582$$

$$d = \frac{\sum \text{momen penahan} - \sum \text{momen pengguling}}{\sum V}$$

$$= \frac{355,602 - 119,886}{61,842}$$

$$= 3,812$$

$$e = \left| d - \frac{B}{2} \right|$$

$$= \left| 3,812 - \frac{7,75}{2} \right|$$

$$= 0,063$$

$$B' = B - 2e$$

$$= 7,75 - 2 \cdot 0,063 = 7,623 \text{ m}$$

$$q_u = c \cdot N_c + P_o \cdot N_q + 0,5 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_q$$

$$= 0,10 \cdot 5,70 + 8,421 \cdot 9,302 + 0,5 \cdot 1,879 \cdot 7,623 \cdot 1,582$$

$$= 29,485 \text{ t/m}^3$$

Tegangan ijin

$$q_a = \frac{q_u}{SF} = \frac{29,485}{2} = 14,742 \text{ t/m}^2$$

syarat eksentrisitas $e < B/6$:

$$0,063 < 1,292$$

Tegangan Maksimum

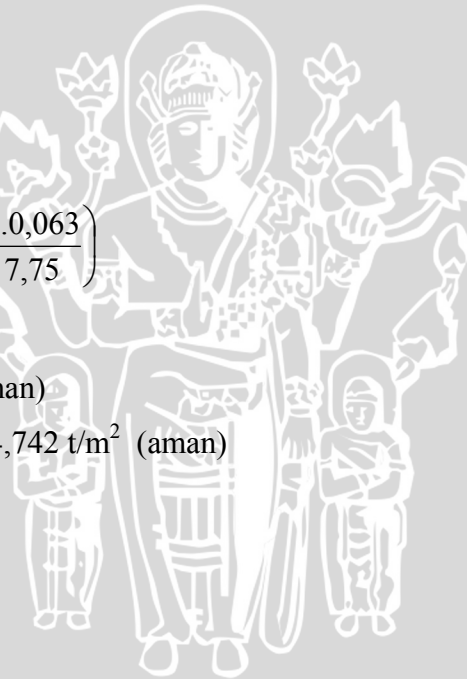
$$q_{\max} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right)$$

$$= \frac{61,842}{7,75} \left(1 + \frac{6 \cdot 0,063}{7,75} \right)$$

$$= 8,371 \text{ t/m}^2$$

control : $q_{\max} < q_a$ (aman)

$$8,371 \text{ t/m}^2 < 14,742 \text{ t/m}^2 \text{ (aman)}$$



4.10. Analisa Biaya Konstruksi dan Kesesuaian Bangunan

4.10.1. Analisa biaya konstruksi

Analisa ini perlu diperhitungkan sebagai bahan pertimbangan dalam pemilihan bangunan yang sesuai untuk digunakan atau dibangun di daerah studi, sehingga tidak terjadi kesalahan dalam pemilihan bangunan baik dilihat dari segi teknis maupun segi ekonomi (biaya). Dalam studi ini analisa biaya konstruksi dihitung dengan menggunakan harga satuan dari bahan bangunan. Sedang biaya konstruksi didapat dengan mengalikan volume atau kuantitas suatu pekerjaan dengan harga satuan pekerjaan. Faktor yang diperhitungkan hanya harga bahan atau material bangunan saja, karena hasil yang nantinya diharapkan adalah jumlah biaya yang dibutuhkan untuk membuat bangunan pelindung pantai. Berikut ini disajikan perhitungan biaya material untuk masing-masing alternatif.

Tabel 4.72. Analisa Biaya Material

Alternatif	Luas Bangunan (m ²)	Panjang (m)	Volume (m ³)	Total Volume (m ³)
I	W1 = 5,00	500	2500	26875
	W2 = 18,75	500	9375	
	W3 = 17,00	500	8500	
	Pelindung kaki bangunan = 13,00	500	6500	
II	W1 = 5,00	500	2500	26875
	W2 = 18,75	500	9375	
	W3 = 17,00	500	8500	
	Pelindung kaki bangunan = 13,00	500	6500	
III	W1 = 4,50	500	2250	23094
	W2 = 15,188	500	7594	
	W3 = 15,50	500	7750	
	Panjang kaki bangunan = 11,00	500	5500	

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4.73. Rekapitulasi Biaya Material Revetment

No	Alternatif Bahan Bangunan	Volume (m ³)	Harga / m ³ (Rp)	Biaya (Rp)
1	Pasangan batu	26875	152.669,00	4.102.979.375,00
2	Pasangan beton	26875	867.849,08	23.323.444.020,00
3	Tumpukan batu	23094	152.669,00	3.525.737.886,00

Sumber : Hasil Perhitungan

4.10.2. Analisa kesesuaian bangunan

Analisa ini sangat penting guna menentukan bangunan pengaman pantai mana yang paling sesuai untuk dibangun di daerah studi. Adapun parameter-parameter yang diperhitungkan dalam analisa ini antara lain kemudahan mendapatkan bahan bangunan, fleksibilitas, stabilitas bangunan, estetika, dan biaya bangunan. Berikut ini disajikan hasil analisa kesesuaian bangunan.

Tabel 4.7.4. Analisa Pemilihan Bahan Bangunan Revetment

No	Parameter yang ditinjau	Jenis bahan bangunan		
		Alternatif 1 (pasangan batu)	Alternatif 2 (pasangan beton)	Alternatif 3 (tumpukan batu)
1	Kemudahan mendapatkan bahan	+++	+++	+++
2	Fleksibilitas	++	++	+++
3	Stabilitas bangunan	+++	+++	+++
4	Estetika	++	+++	+
5	Biaya bangunan	++	+++	+

Sumber : Hasil Perhitungan

Keterangan :

1. Kemudahan mendapatkan bahan bangunan

+++ : mudah

++ : agak mudah

+

4. Estetika

+++ : tinggi

++ : sedang

+

2. Fleksibilitas

- +++ : fleksibel
- ++ : semi fleksibel
- +

3. Stabilitas bangunan

- +++ : stabil
- ++ : agak stabil
- +

5. Biaya bangunan

- +++ : mahal
- ++ : agak mahal
- +

Dari hasil analisa biaya dan kesesuaian bangunan dapat dipilih alternatif 3 yaitu revetment dari tumpukan batu yang paling sesuai untuk daerah studi karena biayanya paling murah, disamping itu dari tabel analisa pemilihan bahan bangunan revetment alternatif 3 sesuai untuk di bangun di daerah studi.







BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari perhitungan dan pembahasan pada bab sebelumnya dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Dari hasil analisa kerusakan daerah pantai, kerusakan yang terjadi disebabkan oleh adanya erosi. Bangunan yang direncanakan diharapkan mampu melindungi daerah dibelakang bangunan yang berupa kawasan tambak dan pemukiman penduduk. Dengan melihat hasil analisa kerusakan daerah pantai dan kondisi darerah studi yang bertebing, bangunan yang sesuai dalam upaya mengamankan daerah studi adalah *revetment*.
- 2) *Revetment* direncanakan dengan tiga alternatif bahan bangunan, yaitu pasangan batu, pasangan beton, dan tumpukan batu. Adapun dimensi bangunan dari masing-masing alternatif dapat ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 5.1. Parameter Desain Bangunan

No	Parameter	Satuan	Alternatif		
			I	II	III
1	Elevasi puncak bangunan	m	5	5	4,5
2	Lebar puncak	m	1	1	1
3	Kemiringan bagian depan bangunan		1 : 1,5	1 : 1,5	1 : 1,5
4	Panjang pelindung kaki	m	8	8	7
5	Tinggi pelindung kaki	m	2	2	2

Sumber : Hasil Perhitungan

- 3) Dalam desain konstruksi ini, dilakukan analisa stabilitas bangunan terhadap gaya guling dan geser, serta besarnya daya dukung tanah dihitung untuk beberapa kondisi yaitu: kondisi saat muka air laut surut (LLWL), kondisi saat muka air laut rata-rata (MSL), kondisi saat muka air laut pasang (HHWL), dan kondisi muka air gelombang pecah. Jenis gelombang yang tiba di bangunan dan elevasi muka air laut, serta analisa stabilitas bangunan untuk masing-masing kondisi muka air laut dapat ditabelkan sebagai berikut :

Tabel 5.2. Jenis Gelombang Datang dan Elevasi Muka Air Laut

No	Kondisi Muka Air	Parameter					
		Jenis Gelombang datang			Elevasi Muka Air Laut		
		I	II	III	I	II	III
1	LLWL	TP	TP	TP	-0,188	-0,188	-0,275
2	MSL	TP	TP	TP	+0,983	+0,983	+0,908
3	HHWL	TP	TP	TDP	+2,237	+2,237	+2,150
4	Gelombang Pecah	P	P	P	+2,618	+2,618	+1,990

Sumber : Hasil Perhitungan

Keterangan :

TP : Telah Pecah

TDP : Tidak Pecah

P : Pecah

Tabel 5.3. Analisa Stabilitas Bangunan Terhadap Bahaya Guling dan Geser

No	Kondisi Muka Air Laut	Kondisi	Stabilitas Terhadap Guling	Stabilitas Terhadap Geser	Syarat	Kontrol
1.	LLWL	Normal				
		I	3,914	2,257	$\geq 1,5$	Aman
		II	3,175	2,087	$\geq 1,5$	Aman
		III	3,149	1,770	$\geq 1,5$	Aman
		Gempa				
		I	3,109	1,307	$\geq 1,1$	Aman
		II	2,502	1,210	$\geq 1,1$	Aman
		III	2,452	1,1	$\geq 1,1$	Aman
2.	MSL	Normal				
		I	4,011	2,594	$\geq 1,5$	Aman
		II	2,889	2,334	$\geq 1,5$	Aman
		III	2,803	1,869	$\geq 1,5$	Aman
		Gempa				
		I	3,192	1,425	$\geq 1,1$	Aman
		II	2,303	1,277	$\geq 1,1$	Aman
		III	2,212	1,1	$\geq 1,1$	Aman

3.	HHWL	Normal				
		I	4,655	3,431	$\geq 1,5$	Aman
		II	3,415	3,151	$\geq 1,5$	Aman
		III	3.293	2,704	$\geq 1,5$	Aman
		Gempa				
		I	3,695	1,781	$\geq 1,1$	Aman
		II	2,720	1,629	$\geq 1,1$	Aman
		III	2,597	1,439	$\geq 1,1$	Aman
4.	Gelombang Pecah	Normal				
		I	5,263	11,230	$\geq 1,5$	Aman
		II	3,999	10,369	$\geq 1,5$	Aman
		III	3,687	3,289	$\geq 1,5$	Aman
		Gempa				
		I	4,229	11,029	$\geq 1,1$	Aman
		II	3,237	10,153	$\geq 1,1$	Aman
		III	2,966	7,716	$\geq 1,1$	Aman

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 5.4. Analisa Stabilitas Bangunan Terhadap Daya Dukung Tanah

No	Muka Air Laut	Kondisi	q_u (ton/m ²)	q_a (ton/m ²)	q_{max} (ton/m ²)	Kontrol $q_{max} < q_a$
1.	LLWL	Normal				
		I	97,559	32,520	13,404	Aman
		II	94,081	31,360	14,871	Aman
		II	70,753	23,584	15,613	Aman
		Gempa				
		I	38,727	19,364	9,722	Aman
		II	36,169	18,085	13,546	Aman
		II	32,947	16,473	1,152	Aman
2.	MSL	Normal				
		I	95,711	31,904	14,605	Aman
		II	94,569	31,523	13,961	Aman
		III	71,017	23,672	14,632	Aman

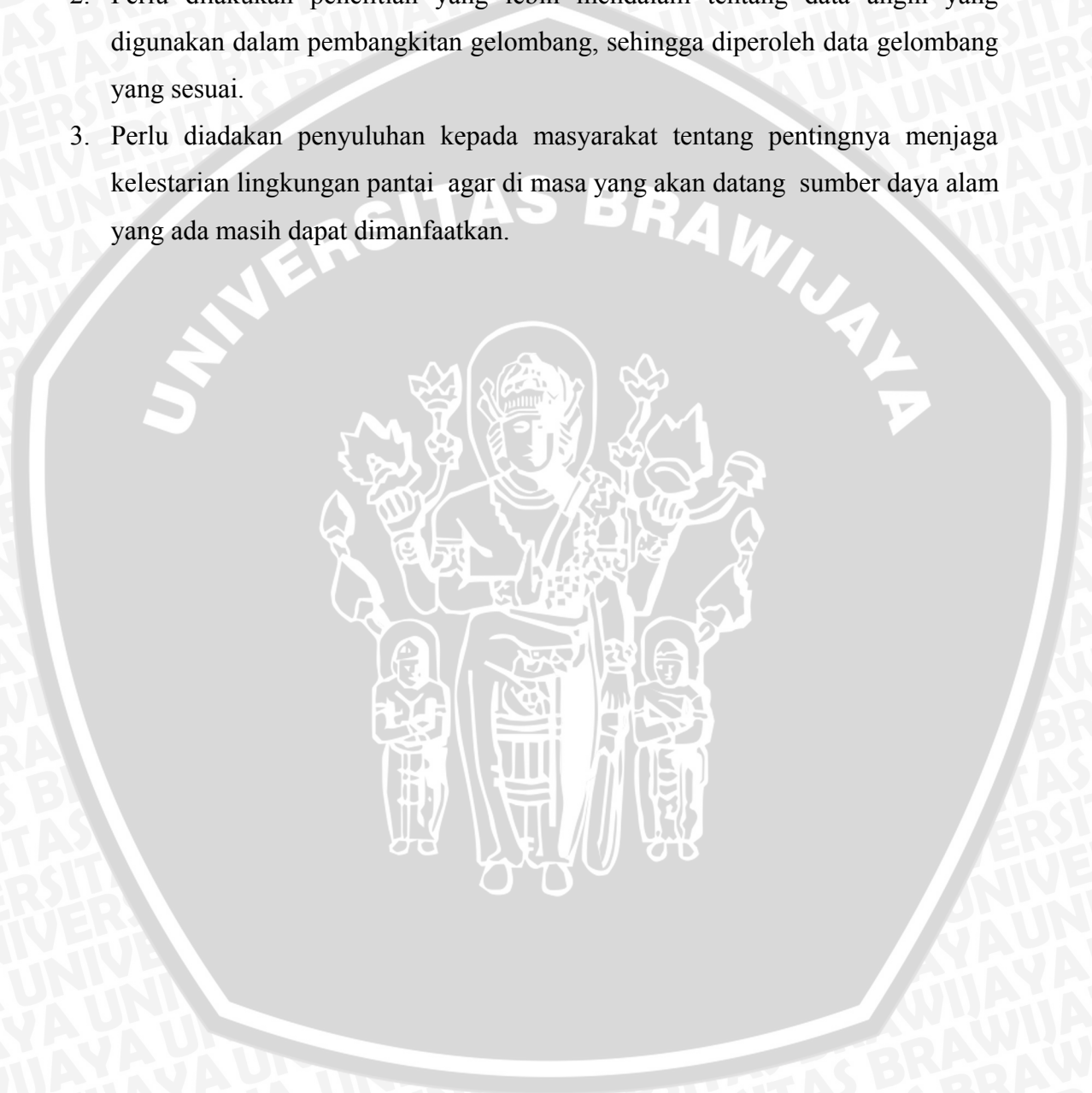
3.	HHWL	Gempa				
		I	37,997	18,999	10,874	Aman
		II	36,336	18,168	12,580	Aman
		III	26,460	13,230	10,377	Aman
		Normal				
		I	95,525	31,842	15,961	Aman
		II	95,894	31,965	14,386	Aman
		III	72,457	24,152	14,784	Aman
		Gempa				
4.	Gelombang Pecah	I	37,813	18,907	12,290	Aman
		II	36,981	18,491	12,812	Aman
		III	27,142	13,571	13,413	Aman
		Normal				
		I	90,538	30,179	20,444	Aman
		II	101,661	33,887	10,484	Aman
		III	78,285	26,095	9,904	Aman
		Gempa				
		I	35,852	17,926	16,790	Aman
		II	39,249	19,625	8,835	Aman
		III	29,485	14,742	8,371	Aman

Sumber: Hasil Perhitungan

- 4) Untuk menentukan alternatif mana yang akan dipakai perlu dilakukan analisa biaya konstruksi dan kesesuaian bangunan, sehingga diperoleh perencanaan yang sesuai. Dari hasil analisa diperoleh biaya konstruksi untuk alternatif 1 sebesar Rp 4.102.979.375,00 ; alternatif 2 sebesar Rp 23.323.444.020,00 ; alternatif 3 sebesar Rp 3.525.737.886,00. Sedang dari analisa kesesuaian bangunan alternatif 3 sesuai dibangun di daerah studi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa bangunan yang dipilih adalah alternatif 3 yaitu *revetment* tumpukan batu.

5.2. Saran

1. Dalam perencanaan dimensi bangunan, agar didapat perencanaan yang akurat dan sesuai dengan kondisi lapangan, sebaiknya didukung oleh data yang lebih memadai, seperti pencatatan data gelombang, dan data geologi, serta mekanika tanah.
2. Perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam tentang data angin yang digunakan dalam pembangkitan gelombang, sehingga diperoleh data gelombang yang sesuai.
3. Perlu diadakan penyuluhan kepada masyarakat tentang pentingnya menjaga kelestarian lingkungan pantai agar di masa yang akan datang sumber daya alam yang ada masih dapat dimanfaatkan.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2003. *Laporan SID berupa Survei dan Inventarisasi Kerusakan Pantai Tuban-Jawa Timur*. Surabaya : CV Nusantara Utama.
- Anonim. 1984. *Shore Protection Manual Volumr I*, Washinton. Dc : US Army Corps of Engineers.
- Anonim. 1984. *Shore Protection Manual Volume II*, Washinton. DC : US Army Corps of Engineers.
- Harto, Sri. 1983. *Mengenal Dasar Hidrologi Terapan*. Yogyakarta : Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Sutton, 1982. *Teori Penyelesaian Mekanika Tanah*. Terjemahan Bobby, H. Surabaya : Yustadi Offset.
- Sumarto, CD. 1987. *Hidrologi Teknik*. Surabaya : Usaha Nasional Surabaya.
- Sosrodarsono, Suyono. 1989. *Bendungan Tipe Urugan*. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- Silvester, Ricard. 1974. *Coastal Enginnering I* Generation, Propagation and influence of Wave. Amterdam : Elsvier Scientific Publishing Company.
- Silvester, Richard. 1974. *Coastal Enginnering II Sedimentation, Estuaries, Tides, Effluents and Modelling*. Amsterdam : Elsvier Scientific Publishing
- Triatmodjo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta : Ilmu Teknik Universitas Gajah Mada.
- Yuwono, Nur. 1992. *Teknik Pantai Volume I*. Yogyakarta : Biro Penerbitan Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Yuwono, Nur. 1992. *Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai*. Yogyakarta : Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.