

TESIS

PEMILIHAN TIPE BANGUNAN PELINDUNG PANTAI DI DESA SIKELI BERBASIS BAHAN LOKAL

THE SELECTION TYPE OF COASTAL PROTECTION STRUCTURES IN SIKELI VILLAGE BASED ON LOCAL MATERIALS

HERAWATI

P2301216001



PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2020

TESIS

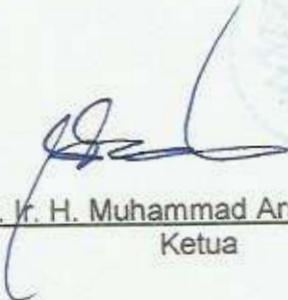
PEMILIHAN TIPE BANGUNAN PELINDUNG PANTAI DI DESA SIKELI BERBASIS BAHAN LOKAL

Disusun dan diajukan oleh :

HERAWATI
Nomor Pokok P2301216001

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
Pada tanggal 12 November 2020
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

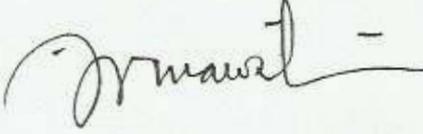
Menyetujui
Komisi Penasehat

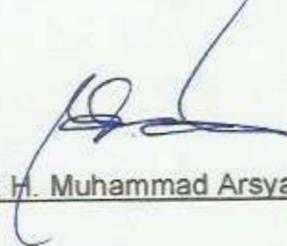

Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT
Ketua


Dr. Chairul Paotonan, ST., MT
Sekretaris

Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin


Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, MT


Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : HERAWATI
Nomor Mahasiswa : P2301216001
Program Studi : S2 Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 12 November 2020

Yang menyatakan



Herawati

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini yang berjudul **“Pemilihan Tipe Bangunan Pelindung Pantai di Desa Sikeli Berbasis Bahan Lokal”**, yang merupakan tugas dan syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik, program Pascasarjana, Universitas Hasanuddin Makassar.

Dalam tesis ini mengkaji tentang pemilihan tipe bangunan pelindung pantai di desa Sikeli. Adapun model yang terpilih sebagai pengamanan pantai diharapkan setidaknya mampu mengurangi laju abrasi yang terjadi di area study penelitian.

Akhir kata, penulis menyadari sepenuhnya didalam penulisan tesis ini masih banyak kekurangan-kekurangan baik dari segi teknik penulisan maupun dari segi materi. Oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik dalam penyempurnaan dan pengembangan tesis ini lebih lanjut.

Makassar, November 2020

Penulis

ABSTRAK

HERAWATI. Pemilihan Tipe Bangunan Pelindung Pantai Desa Sikeli Berbasis Bahan Lokal (dibimbing oleh **H. Muhammad Arsyad Thaha** dan **Chairul Paotonan**).

Wilayah pesisir merupakan pertemuan antara wilayah laut dan wilayah darat, dimana daerah ini merupakan daerah interaksi antara ekosistem darat dan ekosistem laut yang sangat dinamis dan saling mempengaruhi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan material lokal yang potensial dapat digunakan sebagai bahan bangunan pelindung pantai dan memilih tipe bangunan pelindung pantai yang sesuai kondisi hidro-oseanografi di lokasi studi dengan metode Analythic Hierarchy Process. Lokasi penelitian berada di Provinsi Sulawesi Tenggara, tepatnya di Pulau Kabaena, Kecamatan Kabaena Barat Desa Sikeli kabupaten Bombana. Pulau Kabaena memiliki luas 873 km². Secara geografis terletak antara 4°22' 59,4" - 5°28' 26,7" Lintang Selatan serta antara 121°27'46,7"-122°09',4" Bujur Timur. Hasil penelitian menunjukkan perairan disepanjang tanjung perak sangat mempengaruhi hidro-oseonografi disekitar pantai desa Sikeli. Kondisi ini berpengaruh terhadap pola pergerakan arus dan tinggi gelombang datang disekitar pantai desa Sikeli. Tinggi gelombang rata-rata yang paling besar merambat dari arah barat sebesar 0.49 m dengan presentase kajadian sebesar 32.42 %, disusul arah barat laut sebesar 0.39 m (20.56 %), arah tenggara sebesar 0.31 m (8.72 %) arah barat daya sebesar 0.31 m (7.99 %), arah utara sebesar 0.20 m (6.94 %), arah timur sebesar 0.15 m (11.81 %), arah selatan sebesar 0.12 m (3.42 %), dan arah timur laut sebesar 0.11 m (8.15 %). Pengambilan keputusan untuk memilih tipe bangunan pelindung pantai dengan metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*) untuk penanganan abrasi pesisir pantai desa Sikeli berbasis bahan lokal diperoleh bahwa alternatif bangunan dengan nilai keterpilihan yang tertinggi adalah detached breakwater (0,4432) disusul groin (0,2479), sea-wall (0,1700) dan revetment (0.1389). Detached breakwater berfungsi untuk menahan laju sedimen kearah laut, mengurangi ketinggian dan meredam energi gelombang dan tidak dibangun sepanjang garis pantai yang akan dilindungi sehingga kapal nelayan dapat ditambah dipesisir pantai dengan aman.

Kata kunci : abrasi, desa Sikeli, bahan lokal, pelindung pantai



Syamsi, ST., M. Eng., Ph. D

H. Muhammad Arsyad Thaha

ABSTRACT

HERAWATI. The Selection Type of Coastal Protection Structures in Sikeli Village Based on Local Materials (supervised by **H. Muhammad Arsyad Thaha** and **Chairul Paotonan**).

The coastal area is a meeting point between the sea and land areas, where this area is an area of interaction between terrestrial ecosystems and marine ecosystems which are very dynamic and influence each other. The purpose of this research is to determine local materials that can be used as coastal protection materials and to select the type of coastal protection that is suitable for the hydro-oceanographic conditions in the study location using the Analytic Hierarchy Process method. The research location is in Southeast Sulawesi Province, precisely on Kabaena Island, Kabaena Barat District, Sikeli Village, Bombana Regency. Kabaena Island has an area of 873 km² .. Geographically it is located between 4 ° 22 '59.4 " - 5 ° 28' 26.7" South Latitude and between 121 ° 27'46.7 "-122 ° 09 ' , 4" Longitude East. The results showed that the waters along Tanjung Perak greatly affect the hydro-oceanography around the coast of Sikeli village. This condition affects the current movement pattern and the height of the incoming waves around the coast of Sikeli village. The largest average wave height propagating from the west is 0.49 m with a kajadian percentage of 32.42%, followed by the northwest direction of 0.39 m (20.56%), southeast direction of 0.31 m (8.72%) to the southwest of 0.31 m (7.99%), to the north of 0.20 m (6.94%), to the east of 0.15 m (11.81%), to the south of 0.12 m (3.42%), and to the northeast of 0.11 m (8.15%). The decision to choose the type of coastal protection using the AHP (Analytical Hierarchy Process) method for the coastal abrasion management model in Sikeli village based on local materials was obtained that the alternative building with the highest electability value was the detached breakwater (0.4432) followed by groins (0.2479), sea-wall (0.1700) and revetment (0.1389). The detached breakwater model which functions to restrain the sediment rate towards the sea, reduce the height and reduce wave energy and is not built along the coastline which will be protected so that fishing boats can be moored to the coast safely.

Keywords : abrasion, Sikeli village, local materials, coastal protection



Rafiqul Syam, ST., M.Eng. Ph.D.

H. Muhammad Arsyad Thaha

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Manfaat Penelitian.....	3
E. Batasan Penelitian.....	3
F. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Defenisi Pantai.....	5
B. Permasalahan Umum Pantai.....	6
C. Pendekatan Penanganan Permasalahan Pantai.....	8

D. Pemilihan Sistem Perlindungan Pantai	10
1. Sea-wall.....	10
2. Revetment.	12
3. Groin... ..	12
4. Detached Breakwater	13
E. Pemilihan Bangunan Pengamanan Pantai Metode AHP	17
1. Karakteristik Umum Model AHP.....	18
2. Prinsip-prinsip dasar Analytical Hierachy Process	19
F. Pasang Surut.....	27
G. Gelombang.....	30
1. Pembangkitan gelombang.....	31
2. Proses peramalan gelombang.....	36
3. Kala ulang gelombang rencana.....	38
4. Deformasi gelombang.....	39
H. Transport Sedimen.....	46
I. Design Water Level (DWL).....	47
J. Kerangka Berpikir Penelitian.....	48

BAB III METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian.....	50
B. Jenis dan Variabel Penelitian.....	53
C. Teknik Pengumpulan Data.....	53
1. Observasi.....	53
2. Kuisisioner.....	54

3. Studi Dokumentasi.....	54
4. Analisis Data.....	54
D. Diagram Alir (Flowchart) Penelitian.....	56

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Penyajian dan Analitis Data.....	58
1. Data Material Kayu.....	58
2. Data Material Batu.....	59
3. Data Topografi dan Batimetri.....	63
4. Data Pasang Surut.....	69
5. Data Angin.....	69
6. Data Gelombang.....	70
7. Data Sosial Ekonomi.....	70
B. Analisis Data Penelitian.....	72
1. Peluang Kejadian Angin.....	73
2. Perhitungan Fetch Efektif.....	77
3. Proses Peramalan Gelombang.....	80
4. Analisis Kala Ulang Gelombang.....	87
5. Pemilihan Kala Ulang Gelombang.....	90
6. Panjang Gelombang... ..	91
7. Shoaling... ..	92
8. Refraksi.....	94
9. Kombinasi Shoaling dan Refraksi... ..	96
10. Gelombang Pecah... ..	98

11. Transport Sedimen.....	103
C. Penentuan Material Lokal	105
D. Pemilihan Tipe Bangunan Pelindung Pantai Dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)	106
1. Aspek-Aspek Yang Terkait Dengan Pemilihan Tipe Bangunan Pelindung Pantai	108
2. Analisis Pemilihan Alternatif Pelindung Pantai.....	112
a. Kuisisioner.....	112
b. Analisis bobot kriteria.....	113
c. Analisis berpasangan masing-masing alternatif	118
d. Tingkat keterpilihan alternatif bangunan.....	130
3. Analisis Pemilihan Alternatif Pengamanan Pantai oleh Pakar	131
a. Analisis berpasangan masing-masing alternatif pakar.....	138
b. Tingkat keterpilihan alternatif bangunan oleh pakar..	150
BAB V PENUTUP	
A. Kesimpulan.....	151
B. Saran.....	151
DAFTAR PUSTAKA	152
LAMPIRAN	156
UCAPAN TERIMAKASIH	
RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1. Resume keunggulan dan kelemahan bangunan pelindung pantai ..	15
2. Penilaian kriteria dan alternatif metode AHP	24
3. Nilai Random Indeks (RI).....	26
4. Tunggang air pasut untuk tipe pasut semi diurnal	30
5. Klasifikasi gelombang menurut teori gelombang linier.....	31
6. Pedoman pemilihan jenis gelombang dan kala ulang gelombang ...	39
7. Data harmonik pasang surut.....	69
8. Penduduk kecamatan Kabaena Barat menurut desa/kelurahan.....	71
9. Persentasi kejadian angin berdasarkan arah datangnya di lokasi studi.....	73
10. Persentasi kejadian angin berdasarkan interval kecepatan.....	74
11. Kecepatan angin rata-rata menurut arah (2010-2019)	75
12. <i>Fetch</i> efektif di lokasi studi.....	79
13. Data tinggi dan periode gelombang signifikan laut dalam di lokasi studi.....	80
14. Tinggi dan periode gelombang signifikan berdasarkan data angin..	81
15. Presentasi kejadian gelombang berdasarkan data angin menurut arah datangnya.....	83
16. Presentasi kejadian gelombang menurut interval tinggi gelombang	83
17. Presentasi kejadian gelombang menurut tinggi gelombang	84

18. Tinggi gelombang maksimum di lokasi studi	86
19. Periode gelombang maksimum di lokasi studi.....	86
20. Kala ulang peramalan gelombang berdasarkan data angin , fetch efektif, dan durasi hembusan angin.....	88
21. Parameter gelombang laut dalam signifikan dengan kala ulang 50 tahun dari berbagai arah berdasarkan data angin	90
22. Panjang gelombang untuk setiap kedalaman dan arah datang gelombang di lokasi studi	91
23. Tinggi gelombang berbagai arah yang dipengaruhi proses shoaling di lokasi studi.....	93
24. Tinggi gelombang berbagai arah yang dipengaruhi proses refraksi di lokasi studi.....	95
25. Tinggi gelombang berbagai arah yang dipengaruhi proses shoaling dan refraksi di lokasi studi	97
26. Tinggi gelombang sebagai fungsi kedalaman air di lokasi studi	99
27. Tinggi dan kedalaman gelombang pecah di lokasi studi	103
28. Sudut gelombang pecah berbagai arah.....	104
29. Transport sedimen sepanjang pantai di lokasi studi	104
30. Kriteria penilaian alternatif bangunan pantai.....	110
31. Alternatif bangunan pantai.....	110
32. Nilai kepentingan penilaian.....	112
33. Matriks perbandingan berpasangan	112
34. Matriks normalisasi.....	113

35. Priority Vektor	115
36. Uji konsistensi.....	116
37. Matriks kemampuan bangunan melindungi pemukiman dari air pasang.....	118
38. Normalisasi kemampuan bangunan melindungi pemukiman dari air pasang.....	118
39. Priority vektor kemampuan bangunan melindungi pemukiman dari air pasang.....	118
40. Uji konsistensi kemampuan bangunan melindungi pemukiman dari air pasang.....	119
41. Matriks kesesuaian bangunan dengan kondisi batimetri	120
42. Normalisasi kesesuaian bangunan dengan kondisi batimetri	120
43. Priority vektor kemampuan bangunan dengan kondisi batimetri ..	120
44. Uji konsistensi kemampuan bangunan dengan kondisi batimetri .	121
45. Matriks kemampuan bangunan melindungi pemukiman dari gelombang.....	122
46. Normalisasi kemampuan bangunan melindungi pemukiman dari gelombang.....	122
47. Priority vektor kemampuan bangunan melindungi pemukiman dari gelombang.....	122
48. Uji konsistensi kemampuan bangunan melindungi pemukiman dari gelombang.....	123
49. Matriks kemampuan bangunan menahan laju transport sedimen .	124

50. Normalisasi kemampuan bangunan menahan laju transport sedimen	124
51. Priority vektor kemampuan bangunan menahan laju transport sedimen.....	124
52. Uji konsistensi kemampuan bangunan menahan laju transport sedimen.....	125
53. Matriks kesesuaian bangunan dengan aktivitas masyarakat.....	126
54. Normalisasi kesesuaian bangunan dengan aktivitas masyarakat..	126
55. Priority vektor kesesuaian bangunan dengan aktivitas masyarakat	126
56. Uji konsistensi kesesuaian bangunan dengan aktivitas masyarakat	127
57. Matriks kemudahan pelaksanaan.....	128
58. Normalisasi kemudahan pelaksanaan.....	128
59. Priority vektor kemudahan pelaksanaan.....	128
60. Uji konsistensi kemudahan pelaksanaan.....	129
61. Hasil nilai alternatif pelindung pantai	130
62. Matriks perbandingan kriteria responden pakar-1	131
63. Matriks perbandingan kriteria responden pakar-2	131
64. Matriks perbandingan kriteria responden pakar-3	132
65. Matriks perbandingan kriteria responden pakar-4	132
66. Matriks perbandingan kriteria rata-rata.....	133
67. Matriks normalisasi.....	133

68. Priority vektor.....	135
69. Uji konsistensi.....	136
70. Matriks kemampuan bangunan melindungi pemukiman dari air pasang.....	138
71. Normalisasi kemampuan bangunan melindungi pemukiman dari air pasang.....	138
72. Priority vektor kemampuan bangunan melindungi pemukiman dari air pasang.....	138
73. Uji konsistensi kemampuan bangunan melindungi pemukiman dari air pasang.....	139
74. Matriks kesesuaian bangunan dengan kondisi batimetri	140
75. Normalisasi kesesuaian bangunan dengan kondisi batimetri	140
76. Priority vektor kemampuan bangunan dengan kondisi batimetri ..	140
77. Uji konsistensi kemampuan bangunan dengan kondisi batimetri .	141
78. Matriks kemampuan bangunan melindungi pemukiman dari gelombang.....	142
79. Normalisasi kemampuan bangunan melindungi pemukiman dari gelombang.....	142
80. Priority vektor kemampuan bangunan melindungi pemukiman dari gelombang.....	142
81. Uji Konsistensi kemampuan bangunan melindungi pemukiman dari gelombang.....	143
82. Matriks kemampuan bangunan menahan laju transport sedimen	144

83. Normalisasi kemampuan bangunan menahan laju transport sedimen	144
84. Priority vektor kemampuan bangunan menahan laju transport sedimen.....	144
85. Uji konsistensi kemampuan bangunan menahan laju transport sedimen.....	145
86. Matriks kesesuaian bangunan dengan aktivitas masyarakat.....	146
87. Normalisasi kesesuaian bangunan dengan aktivitas masyarakat..	146
88. Priority vektor kesesuaian bangunan dengan aktivitas masyarakat	146
89. Uji konsistensi kesesuaian bangunan dengan aktivitas masyarakat	147
90. Matriks kemudahan pelaksanaan.....	148
91. Normalisasi kemudahan pelaksanaan.....	148
92. Priority vektor kemudahan pelaksanaan.....	148
93. Uji konsistensi kemudahan pelaksanaan.....	149
94. Hasil nilai alternatif tipe bangunan pelindung pantai oleh pakar	150

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1. Terminologi pantai untuk keperluan rekayasa pantai	5
2. <i>Sea-wall</i>	11
3. <i>Revetment</i>	12
4. Groin.....	13
5. <i>Detached Breakwater</i>	14
6. Hirarki pengambilan keputusan metode AHP	23
7. Matriks berpasangan	23
8. Defenisi dan karakteristik gelombang di daerah pantai	31
9. Grafik korelasi akibat perbedaan ketinggian R_L	34
10. <i>Coastal Water Wave Forecasting Curve</i>	37
11. <i>Deep Water Wave Forecasting Curve</i>	37
12. Diagram peramalan gelombang	38
13. Gambaran proses difraksi.....	43
14. Hubungan antara H_o'/gT^2 dengan H_b/H_o'	45
15. Hubungan antara H_b/gT^2 dengan d_b/H_b	46
16. Diagram alir kerangka pikir	49
17. Lokasi penelitian desa Sikeli - pulau Kabaena	51
18. Pesisir pantai desa Sikeli arah desa Baliara.....	52
19. Pesisir pantai desa Sikeli.....	52
20. Pesisir pantai desa Sikeli arah Rahampuu	52

21. Peta Indikatif & Areal Perhutanan Sosial.....	58
22. Peta geologi lengan tenggara pulau Sulawesi.....	61
23. Lokasi desa Rahantari.....	62
24. Material batu di desa Rahantari.....	63
25. Peta geomorfologi pulau Sulawesi	64
26. Peta topografi dan batimetri di lokasi studi	66
27. Peta karakteristik pantai pulau Kabaena Bagian Barat.....	67
28. Profil 3 dimensi batimetri pulau Kabaena	68
29. Peta kualitas perairan pulau Kabaena.....	68
30. Peta administrasi kabupaten Bombana	71
31. Mawar angin di lokasi studi.....	76
32. Tumpang susun mawar angin dengan peta lokasi studi.....	76
33. <i>Fetch</i> di lokasi studi	78
34. Lokasi pengamatan angin dan gelombang	82
35. Mawar gelombang di lokasi studi.....	85
36. Plot mawar angin dan gelombang di lokasi studi.....	85
37. Grafik gelombang pecah dari arah Tenggara	100
38. Grafik gelombang pecah dari arah Selatan	100
39. Grafik gelombang pecah dari arah Barat Daya.....	101
40. Grafik gelombang pecah dari arah Barat.....	101
41. Grafik gelombang pecah dari arah Barat Laut.....	102
42. Grafik gelombang pecah dari arah Utara.....	102
43. Struktur hirarki keputusan.....	111

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A. Kuisisioner Penelitian

LAMPIRAN B. Data Hasil Kuisisioner

LAMPIRAN C. Dokumentasi

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Secara sederhana proses perubahan garis pantai disebabkan oleh angin dan air yang bergerak dari suatu tempat, mengikis pasir dan sedimen kemudian memindahkan dan mengendapkannya ke tempat yang lain secara terus menerus dan kontinu. Kondisi seperti ini sangat dipengaruhi dan disebabkan karena pada daerah sekitar pantai (*nearshore process*), di lokasi ini pantai selalu beradaptasi dengan berbagai kondisi yang terjadi (Munoz-Perez dkk., 2001).

Undang-Undang Nomor 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil menjelaskan bahwa pulau kecil adalah pulau dengan luas lebih kecil atau sama dengan 2.000 km². Pulau Kabaena memiliki luas 873 km² yang merupakan lingkup daerah kabupaten Bombana secara definitif menjadi Daerah Tingkat II berdasarkan Undang-Undang No. 29 tahun 2004. Pulau Kabaena secara geografis terletak pada koordinat 121°27'46,7" - 122°11' 9,4" Bujur Timur dan 4°22'59,4" - 5°28'26,7" Lintang Selatan.

Perairan Kabaena berombak besar saat puncak musim angin barat dan angin timur. Musim barat terjadi pada bulan Desember – Januari sedangkan musim timur berlangsung antara bulan Juni – Juli. Pada kondisi cuaca ekstrim, tinggi ombak disekitar perairan Kabaena bisa mencapai 3 – 4 meter sehingga dapat membahayakan pelayaran.

Abrasi yang terjadi dipesisir pantai desa Sikeli akibat adanya respon pantai terhadap lingkungan yang senantiasa terus mencari keseimbangan akan pengaruh alam, dimana erosi pada sekitar pantai terjadi salah satunya karena angkutan sedimen yang keluar ataupun yang pindah meninggalkan daerah lebih besar dibandingkan dengan angkutan sedimen yang masuk.

Untuk melindungi pantai dan mengamankan masyarakat yang tinggal disepanjang pantai, ekosistem pantai, fasilitas umum, fasilitas sosial dan kawasan yang mempunyai nilai ekonomi tinggi dari abrasi tersebut, perlu dilakukan perlindungan pantai. Perlindungan pantai dapat dilakukan dengan cara *hard structure* (bangunan pantai) maupun *soft structure* (pengisian pasir ataupun dengan penanaman tanaman bakau serta penerapan kebijakan sempadan pantai).

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Material lokal apa saja yang potensial digunakan sebagai bahan bangunan pelindung pantai di lokasi studi ?
2. Tipe bangunan pelindung pantai seperti apa yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pantai di desa Sikeli ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Menentukan material lokal yang potensial sebagai bahan bangunan pelindung pantai.
2. Memilih tipe bangunan pelindung pantai yang sesuai kondisi hidro-oseanografi di lokasi studi dengan metode *Analythic Hierarchy Process*.

D. Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini sesuai dengan tujuannya diharapkan akan bermanfaat, antara lain :

1. Sebagai salah satu referensi oleh pengambil kebijakan dalam menangani permasalahan pantai di desa Sikeli Pulau Kabaena Provinsi Sulawesi Tenggara.
2. Dapat menjadi bahan acuan bagi kajian ataupun penelitian sejenis.

E. Batasan Penelitian

1. Kajian pengaruh kondisi geoteknik tidak dilakukan sehingga tidak diakomodir dalam penilaian tipe bangunan pantai.
2. Data *hidro-oseanografi* yang digunakan adalah data sekunder.
3. Tidak melakukan estimasi biaya dalam pemilihan bangunan.

F. Sistematika Penulisan

Tesis ini terdiri dari lima bab, dengan rincian sebagai berikut :

BAB 1 Pendahuluan

Membahas latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 Tinjauan Pustaka

Pembahasan mengenai teori-teori / literatur yang relevan dan digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini.

BAB 3 Metodologi Penelitian

Pembahasan yang mencakup jenis dan variable penelitian, metode penelitian dalam pengumpulan data primer dan metode dalam pengolahan data untuk dianalisis.

BAB 4 Hasil dan Pembahasan

Membahas deskripsi data hasil penelitian dan temuan dari hasil analisis data yang telah dilakukan.

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

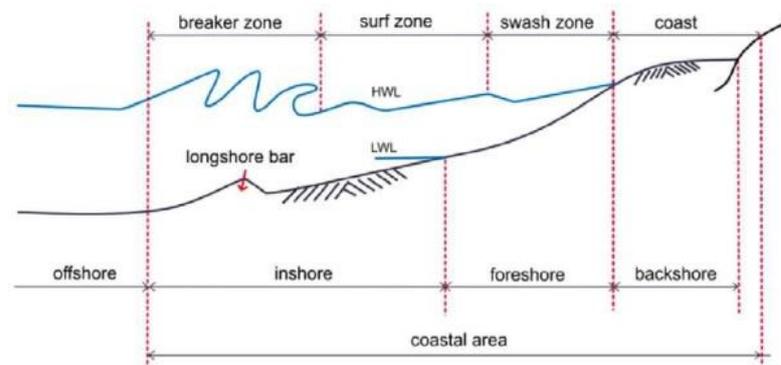
Berisi kesimpulan dan saran yang didapatkan dari hasil penelitian ini.

BAB II

TINJUAN PUSTAKA

A. Defenisi Pantai

Pantai merupakan batas antara wilayah daratan dengan wilayah lautan. Daerah daratan merupakan daerah yang terletak di atas dan di bawah permukaan daratan dimulai dari batas garis pasang tertinggi. Sedangkan daerah lautan merupakan 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.



Gambar 1. Terminologi pantai untuk keperluan rekayasa pantai
Sumber : Bambang Triadmodjo, 1999

Menurut Bambang Triadmodjo (1999) yang dijelaskan pada Gambar 1 diatas, *surf zone* adalah daerah yang terbentang antara bagian dalam dari gelombang pecah sampai batas naik dan turunnya gelombang di pantai. *Breaker zone* adalah daerah dimana terjadi gelombang pecah. *Swash zone* adalah daerah yang dibatasi oleh garis batas tertinggi naiknya gelombang dan batas terendah turunnya gelombang di pantai. *Offshore* adalah daerah gelombang (mulai) pecah sampai ke laut lepas. *Foreshore* adalah daerah

yang terbentang dari garis pantai pantai saat surut terendah sampai batas atas *uprush* pada saat air pasang tertinggi. *Inshore* adalah daerah antara *offshore* dan *foreshore*. *Backshore* adalah daerah yang dibatasi oleh *foreshore* dan garis pantai yang terbentuk pada saat terjadi gelombang badai bersamaan dengan muka air tertinggi.

B. Permasalahan Umum Pantai

Secara alami, pantai berfungsi sebagai pertahanan alami (*natural coastal defence*) terhadap hempasan gelombang. Akumulasi sedimen di pantai menyerap dan memantulkan energi yang terutama berasal dari gelombang. Apabila seluruh energi gelombang terserap maka pantai dalam kondisi seimbang. Sebaliknya, pantai dalam kondisi tidak seimbang apabila muncul proses erosi dan akresi pantai yang selanjutnya menyebabkan kerusakan garis pantai.

Proses perubahan kedudukan garis pantai dimaksudkan disebabkan oleh :

- a. Daya tahan material penyusun pantai dilampaui oleh kekuatan eksternal yang ditimbulkan oleh pengaruh hidrodinamika (arus dan gelombang).
- b. Terganggunya atau tidak adanya keseimbangan antara pasokan sedimen yang masuk ke arah pantai dan kemampuan angkutan sedimen pada suatu bagian pantai.

Proses kerusakan pantai yang berupa abrasi/erosi pantai dapat terjadi karena sebab alami dan buatan. Pemahaman akan sebab abrasi/erosi

merupakan dasar yang penting dalam perencanaan perlindungan pantai. Perlindungan pantai yang baik seharusnya bersifat komprehensif dan efektif untuk menanggulangi permasalahan kerusakan yang ada. Hal itu akan dapat tercapai apabila penyebab kerusakan pantai dapat diketahui, yaitu :

1. Kerusakan pantai secara alami :
 - a. Sifat dataran pantai yang masih muda dan belum berimbang dimana sumber sedimen (*source*) lebih kecil dari kehilangan sedimen (*sink*).
 - b. Naiknya ketinggian gelombang.
 - c. Hilangnya perlindungan pantai (bakau, terumbu karang, *sand dune*)
 - d. Naiknya muka air karena pengaruh *global warning*.
2. Kerusakan pantai karena sebab buatan :
 - a. Perusakan perlindungan pantai alami seperti kegiatan penebangan bakau, perusakan terumbu karang, pengambilan pasir di pantai dan lain-lain.
 - b. Perubahan imbang transportasi sedimen sejajar pantai akibat pembuatan pelabuhan dan lain-lain.
 - c. Perubahan suplai sedimen dari daratan, contohnya perubahan aliran sungai atau sudetan sungai, pembuatan bendungan di hulu sungai dan lain-lain.
 - d. Pengembangan pantai yang tidak sesuai dengan proses pantai.

Pada umumnya sebab-sebab kerusakan pantai merupakan gabungan dari beberapa faktor diatas. Agar penanganan masalah abrasi/erosi pantai dapat dilakukan dengan baik, maka penyebabnya harus diidentifikasi terlebih dahulu. Secara umum, gaya yang menyebabkan terjadinya kerusakan pantai adalah gelombang angin.

C. Pendekatan Penanganan Permasalahan Pantai

Erosi pantai merupakan salah satu permasalahan didaerah pantai yang harus mendapatkan perhatian yang besar dari semua pihak baik pemerintah pusat, pemerintah daerah, maupun masyarakat yang tinggal didaerah pantai dan sekitarnya. Karena erosi ini dapat menimbulkan kerugian yang sangat besar berupa rusaknya kawasan pemukiman dan fasilitas-fasilitas yang ada didaerah tersebut.

Untuk menanggulangi erosi pantai, langkah pertama yang harus dilakukan adalah mencari penyebab terjadinya erosi. Dengan mengetahui penyebabnya, selanjutnya dapat ditentukan cara penanggulangannya, yang biasanya adalah dengan membuat bangunan pelindung pantai dan atau menambah suplai sedimen serta melakukan pengelolaan pantai secara terpadu.

1. Non Struktur (*Soft Approach*)

Penanaman tumbuhan pelindung pantai (bakau, nipah dan pohon api-api) dapat dilakukan terhadap pantai berlempung, karena pada pantai berlempung pohon bakau dan pohon api-api dapat tumbuh dengan baik

tanpa perlu perawatan yang rumit. Pohon bakau dan pohon api-api dapat mengurangi energi gelombang yang mencapai pantai sehingga pantai terlindung dari serangan gelombang. Agar dapat berfungsi dengan efektif diperlukan banyak bibit pohon bakau dan diperlukan area yang sangat luas untuk pelestarian pohon bakau. Perawatan pada masa-masa awal penanaman bakau juga diperlukan, karena pohon bakau memerlukan waktu yang lama agar dapat berfungsi dengan baik sebagai penahan gelombang. Untuk itu diperlukan perencanaan yang matang dan terpadu mulai menanam, memelihara dan perawatan tanaman bakau.

Perlindungan pantai dengan sand nourishment dipilih berdasar pertimbangan kesesuaian dan keharmonisan dengan lingkungan. Metode sand nourishment biasanya memerlukan biaya investasi lebih murah dibandingkan metode lainnya, tetapi biaya operasi dan perawatannya relative lebih mahal (Triatmodjo, 1999).

2. Struktur (*Hard Approach*)

Salah satu metode penanganan erosi pantai adalah penggunaan struktur pelindung pantai yang berfungsi sebagai peredam energi gelombang pada lokasi tertentu.

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

- a. Konstruksi yang dibangun di pantai dan sejajar garis pantai
- b. Konstruksi yang dibangun tegak lurus pantai
- c. Konstruksi yang dibangun di lepas pantai dan sejajar garis pantai

D. Pemilihan Sistem Perlindungan Pantai

Dalam pemilihan sistem perlindungan pantai pada lokasi pantai tertentu agar bangunan berfungsi secara optimal, maka perlu mempertimbangkan hal-hal berikut (Darajat, 2000) :

1. Penyebab kerusakan pantai
2. Tujuan yang ingin dicapai
3. Efektifitas bangunan
4. Bahan-bahan bangunan yang tersedia di sekitar lokasi studi
5. Karakter gelombang (tinggi gelombang, periode dan arah datangnya)
6. Kelestarian lingkungan
7. Aktivitas masyarakat di sekitar kawasan studi
8. Estetika pantai

Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk melindungi pantai yaitu memperkuat pantai atau melindungi pantai agar mampu menahan kerusakan dengan membangun struktur/bangunan pelindung pantai diantaranya adalah :

1. *Sea-wall*

Jenis konstruksi pengaman pantai yang ditempatkan sejajar dengan garis pantai, membatasi secara langsung bidang daratan dengan air laut,

dapat dipergunakan untuk pelindung pada pantai berlumpur atau berpasir. Merupakan konstruksi yang masif, direncanakan untuk dapat menahan gaya gelombang yang relatif tinggi secara keseluruhan.

Fungsi utama jenis konstruksi pengaman pantai tersebut antara lain : melindungi pantai bagian darat langsung di belakang konstruksi terhadap erosi akibat gelombang dan arus dan sebagai penahan tanah di belakang konstruksi.

Bahan konstruksi yang lazim dipergunakan antara lain pasangan batu dan beton. Dalam pelaksanaan tembok laut memerlukan persyaratan-persyaratan khusus yang umumnya sangat sulit realisasinya, khususnya untuk pelaksanaan tembok laut yang dilakukan secara swasembada oleh masyarakat. Kerusakan tembok laut antara lain akibat pondasi yang kurang dalam, dan aliran dibelakang tembok.



Gambar 2. *Sea-wall*

Sumber : indonesiaexpat.bizfeaturedjakarta

Bahan konstruksi yang lazim dipergunakan antara lain pasangan batu dan beton. Dalam pelaksanaan tembok laut memerlukan persyaratan-persyaratan khusus yang umumnya sangat sulit realisasinya, khususnya

untuk pelaksanaan tembok laut yang dilakukan secara swasembada oleh masyarakat. Kerusakan tembok laut antara lain akibat pondasi yang kurang dalam dan aliran dibelakang tembok.

2. ***Revetment***

Revetment adalah salah satu jenis struktur perlindungan pantai terhadap gaya gelombang dan atau arus.

Kondisi gelombang yang menerpa struktur *revetment* dapat diperlukan sama seperti bila gelombang menerpa tepian pantai yang tanpa ada perlindungan dan air langsung menghantam sepanjang kemiringan pantai. Adanya penyebaran area rayapan gelombang ini dapat dikurangi dengan penempatan batuan atau bentuk-bentuk material yang tidak teratur atau kasar, sebagai material konstruksinya.



Gambar 3. *Revetment*
Sumber : solusikonstruksi.com

3. ***Groin***

Jenis konstruksi pengaman pantai terhadap erosi yang disebabkan oleh terganggunya keseimbangan angkutan pasir sejajar pantai (*longshore*

sand drift). Fungsinya menahan atau mengurangi besarnya angkutan pasir sejajar pantai. Oleh karena itu maka krib ini hanya cocok untuk pengamanan pada pantai yang berpasir.



Gambar 4. Groin

Sumber : Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai

Dengan dipasangnya krib, maka gerakan sedimen sejajar pantai akan tertahan dibagian udik (*updrift*) dari krib dan sebaliknya akan terjadi erosi di bagian hilir (*downdrift*) krib. Tergantung dari makin panjang krib makin tinggi kapasitas menahannya. Sebaliknya untuk krib yang rendah dan pendek kapasitas menahannya akan berkurang. Namun demikian ada suatu harga batas maksimum dan minimum, dimana bila krib dibuat lebih tinggi dan lebih panjang tidak akan menambah kapasitasnya, sebaliknya bila krib dibuat lebih rendah dan lebih pendek dari harga batas minimum tidak akan berfungsi sama sekali.

4. ***Detached Breakwater***

Detachment breakwater adalah jenis pemecah gelombang yang ditempatkan secara terpisah-pisah pada jarak tertentu dari garis pantai

dengan posisi sejajar pantai. Struktur pemecah gelombang ini dimaksudkan untuk melindungi pantai dari hantaman gelombang yang datang dari arah lepas pantai.



Gambar 5. *Detached Breakwater*
Sumber : Environment-agency.gov.uk

Prinsip kerja dari *breakwater* jenis ini adalah dengan memanfaatkan *defraksi* gelombang. Akibat adanya defraksi gelombang akan menimbulkan pengaruh terhadap angkutan sedimen yang dibawa, salah satunya dengan terbentuknya tombolo di belakang posisi *breakwater*. *Breakwater* jenis ini memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan.

Tabel 1. Resume keunggulan dan kelemahan bangunan pelindung pantai

No.	Nama Bangunan	Keunggulan	Kelemahan
1.	<i>Sea-wall</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mampu mempertahankan posisi garis pantai selama bangunan tidak mengalami kerusakan 2. Dapat menahan tanah dibelakang bangunan 3. Mampu melindungi pemukiman dari gelombang 4. Mudah dalam pembangunan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Membatasi aktivitas nelayan ke laut 2. Tidak dapat dimanfaatkan sebagai tempat berlindung perahu nelayan pada saat gelombang 3. Tidak menyebabkan penambahan area daratan ke laut 4. Potensi kegagalan struktur karena gerusan pada kaki bangunan 5. Tidak mampu menahan transport sedimen
2.	<i>Revetment</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mampu mempertahankan garis pantai 2. Mudah dalam pembangunan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hanya digunakan untuk perlindungan terhadap gelombang yang relatif kecil 2. Kemungkinan terjadinya penggerusan yang cukup dalam dikaki bangunan

No.	Nama Bangunan	Keunggulan	Kelemahan
3.	<i>Groin</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Efektif dalam menahan laju transport sedimen sejajar pantai 2. Relatif mudah dalam pelaksanaan karena dapat dikerjakan dari darat 3. Tidak mengganggu aktivitas nelayan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak mampu menahan gelombang datang, tegak lurus pantai 2. Tidak mampu menahan transport sedimen tegak lurus pantai 3. Dapat menyebabkan erosi pada down drift pantai
4.	<i>Detached Breakwater</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mampu menahan transport sedimen menyusur dan tegak lurus pantai 2. Efektif dalam meredam gelombang 3. Dapat menyebabkan penambahan luas daratan 4. Mampu melindungi pemukiman dan lahan daratan dari gelombang 5. Tidak mengganggu aktivitas nelayan 6. Dapat dimanfaatkan sebagai tempat berlindung perahu nelayan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Relatif sulit dalam pembangunan dibandingkan sea-wall, revetment dan groin

E. Pemilihan Tipe Bangunan Pelindung Pantai Metode AHP

Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) atau Proses Hirarki Analitik pada awalnya dikembangkan oleh Thomas L. Saaty, seorang ahli Matematika dari Universitas Pittsburg Amerika Serikat awal tahun 1970-an. Metode AHP merupakan suatu perangkat untuk menentukan pilihan dari berbagai alternatif yang sulit. Metode ini bekerja berdasarkan kombinasi input berbagai pertimbangan dari para pembuat keputusan yang didasarkan pada informasi tentang elemen-elemen pendukung keputusan tersebut, yaitu untuk menentukan suatu set pengukuran prioritas dalam rangka evaluasi terhadap berbagai alternatif yang akan diambil dalam suatu produk keputusan.

AHP mentoleransi tingkat konsistensi sebesar kurang dari 10%, apabila lebih dari 10% maka responden dianggap tidak konsisten dalam menjawab pertanyaan dan diperbolehkan melakukan perbaikan atas penilaian yang diberikan.

Konsistensi dalam hal ini diartikan sebagai intensitas hubungan antara elemen yang didasarkan pada kriteria tertentu, saling membenarkan secara logis. Pengujian konsistensi dilakukan sebagai cara untuk melihat konsistensi jawaban penilaian pasangan terhadap perbandingan maupun struktur hierarki permasalahan. Hal tersebut dikarenakan pada kenyataannya menunjukkan bahwa sangat tidak mungkin memperoleh jawaban responden yang absolut konsisten.

Pengolahan data dilakukan dengan mentabulasikan hasil wawancara penelitian dalam bentuk tabel untuk kemudian dihitung nilai geomennya (*geometric mean*), yaitu nilai sentral yang dianggap mewakili nilai seluruh data yang diperoleh dari nilai kualifikasi persepsi dikalikan satu dengan lainnya dan dicari pangkat dari jumlah responden.

1. Karakteristik umum model AHP

The Analytic Hierarchy Process yang selanjutnya disingkat AHP adalah salah satu bentuk model pengambilan keputusan yang pada dasarnya berusaha menutupi semua kekurangan dari model-model sebelumnya. Peralatan utama model ini adalah sebuah hierarki fungsional dengan input utamanya persepsi manusia. Dengan hirarki, suatu masalah yang kompleks dan tidak terstruktur dipecah ke dalam kelompok-kelompoknya dan kemudian kelompok-kelompok tersebut diatur menjadi sebuah hirarki.

Perbedaan mencolok antara model AHP dengan model pengambilan keputusan lainnya terletak pada jenis inputnya. Model-model yang sudah ada umumnya memakai input yang kuantitatif atau berasal dari data sekunder. Otomatis model tersebut hanya dapat mengolah hal-hal kuantitatif pula. Model AHP memakai persepsi manusia yang dianggap "*ekspert*" sebagai input utamanya.

Karena menggunakan input yang kualitatif (persepsi manusia) maka model ini dapat mengolah juga hal-hal kualitatif disamping hal-hal yang kuantitatif dan kualitatif sekaligus.

Kelebihan lain model AHP dibandingkan model pengambilan keputusan lainnya terletak pada kemampuan memecahkan masalah yang *multi-objectives* dan *multi-criterias*. Kebanyakan model yang sudah ada memakai *single objective* dan *multicriteria*. Kelebihan model AHP ini lebih disebabkan oleh fleksibilitasnya yang tinggi terutama dalam pembuatan hirarkinya. Sifat fleksibel tersebut membuat model AHP dapat menangkap beberapa tujuan dan beberapa kriteria sekaligus dalam sebuah model atau sebuah hirarki. Bahkan model tersebut bisa juga memecahkan masalah yang mempunyai tujuan-tujuan yang saling berlawanan, kriteria-kriteria yang saling berlawanan dan tujuan serta kriteria yang saling berlawanan dalam sebuah model. Karenanya keputusan yang dilahirkan dari model AHP tersebut sudah akan memperhitungkan berbagai tujuan dan berbagai kriteria yang berbeda-beda atau bahkan saling bertentangan satu sama lain. Dengan kondisi tersebut, maka model AHP dapat pula dipergunakan secara fleksibel dalam artian mempunyai bentuk hirarki yang fleksibel. Masalah-masalah seperti konflik, perencanaan, proyeksi, alokasi sumber daya adalah beberapa dari banyak masalah yang dapat diselesaikan dengan baik oleh model AHP.

2. Prinsip-prinsip dasar Analytical Hierarchy Process (AHP)

Dalam penyelesaian persoalan dengan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) memiliki beberapa prinsip dasar yang harus dipahami antara lain :

a. *Decomposition*

Pengertian *decomposition* adalah memecahkan atau membagi problema yang utuh menjadi unsur-unsurnya ke bentuk hirarki proses pengambilan keputusan, dimana setiap unsur atau elemen saling berhubungan. Untuk mendapatkan hasil yang akurat, pemecahan dilakukan terhadap unsur-unsur sampai tidak mungkin dilakukan pemecahan lebih lanjut, sehingga didapatkan beberapa tingkatan dari persoalan yang hendak dipecahkan.

Bentuk-bentuk struktur *decomposition* adalah tingkat pertama tujuan keputusan (*Goal*), tingkatan kedua kriteria-kriteria, tingkat ketiga alternatif-alternatif. Hirarki permasalahan disusun untuk membantu proses pengambilan keputusan dengan memperhatikan seluruh elemen keputusan yang terlibat dalam system. Sebagian besar masalah menjadi sulit untuk diselesaikan karena proses pemecahannya dilakukan tanpa memandang masalah sebagai suatu system dengan struktur tertentu.

b. *Comperative Judgement*

Comperative Judgement dilakukan dengan penilaian tentang kepentingan relative dua elemen pada suatu tingkat tertentu dalam kaitannya dengan tingkatan di atasnya. Penilaian ini merupakan inti dari AHP karena akan berpengaruh terhadap urutan prioritas dari elemen-elemennya. Hasil dari penilaian ini lebih mudah disajikan dalam bentuk *matrix pair-wise comparisons* yaitu matriks perbandingan berpasangan memuat tingkat preferensi beberapa alternative untuk tiap kriteria. Skala

preferensi yang digunakan yaitu skala 1 yang menunjukkan tingkat paling rendah (*equal importance*) sampai dengan skala 9 yang menunjukkan tingkatan yang paling tinggi (*extreme importance*).

c. *Synthesis of Priority*

Synthesis of Priority dilakukan dengan menggunakan eigen vektor method untuk mendapatkan bobot relative bagi unsur-unsur pengambilan keputusan.

d. *Logical Consistency*

Logical Consistency merupakan karakteristik penting AHP. Hal ini dicapai dengan mengagresikan seluruh eigen vektor yang diperoleh dari berbagai tingkatan hirarki dan selanjutnya diperoleh suatu vektor composite tertimbang yang menghasilkan urutan pengambilan keputusan.

Model AHP didasarkan pada *pair-wise comparison matrix*, dimana elemen-elemen pada matriks tersebut merupakan *judgment* dari *decision maker* akan memberikan penilaian ataupun memperkirakan kemungkinan dari suatu hal/peristiwa yang dihadapi. Matriks tersebut terdapat pada setiap *level of hierarchy* dari suatu struktur model AHP yang membagi habis suatu persoalan.

Analytic Hierachy Process (AHP) mempunyai landasan aksiomatik yang terdiri dari :

a. *Resiprocal Comparison*, yang mengandung arti bahwa matriks perbandingan berpasangan yang terbentuk harus bersifat

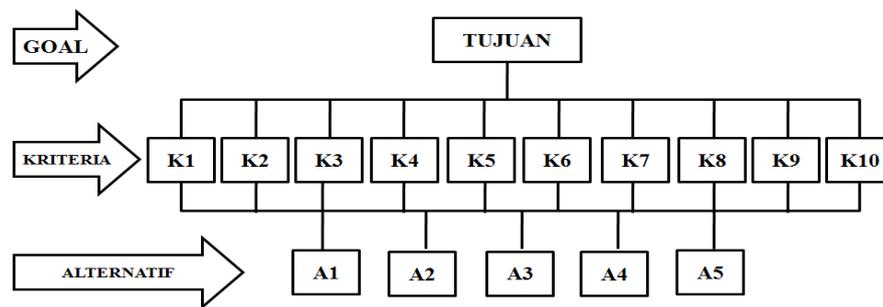
berkebalikan. Misalnya, jika A adalah k kali lebih penting dari B maka B adalah $1/k$ kali lebih penting dari A.

- b. *Homogeneity*, yaitu mengandung arti kesamaan dalam melakukan perbandingan. Misalnya, tidak dimungkinkan membandingkan jeruk dengan bola tenis dalam hal rasa, akan tetapi lebih relevan jika membandingkan dalam hal berat.
- c. *Dependence*, yang berarti setiap level mempunyai kaitan (*complete hierarchy*) walaupun mungkin saja terjadi hubungan yang tidak sempurna (*incomplete hierarchy*).
- d. *Expectation*, yang berarti menonjolkan penilaian yang bersifat ekspektasi dan preferensi dari pengambilan keputusan. Penilaian dapat merupakan data kuantitatif maupun yang bersifat kualitatif.

Konsep dasar dalam pengambilan keputusan dengan menggunakan metode AHP meliputi :

1. Penyusunan hierarki.

Suatu struktur hirarki dapat dibentuk dengan menggunakan kombinasi antara ide, pengalaman dan pandangan orang lain (Saaty, 2000). Oleh sebab itu, tidak ada suatu prosedur baku yang berlaku secara umum dan absolut untuk pembentukan hirarki. Struktur hirarki tergantung pada kondisi dan kompleksitas permasalahan yang dihadapi serta detail penyelesaian yang dikehendaki. Berikut ini adalah gambar 6 hirarki yang digunakan dalam studi ini.



Gambar 6. Hirarki pengambilan keputusan metode AHP

2. Matriks *Pair Wise Comparasion*

Langkah pertama adalah menghitung bobot input dalam baris/kolom.

Perhitungan bobot input dalam baris/kolom.

$$A_{ij} = W_i/W_j \quad \text{untuk } i = 1,2,3,\dots,m \text{ dan } j = 1,2,3,\dots,m$$

W_i = Bobot input dalam baris

W_j = Bobot input dalam kolom

Perhitungan matriks baris berpasangan W_1, W_2, \dots, W_n adalah set elemen pada suatu tingkat keputusan dalam hierarki. Kuantifikasi pendapat dari hasil; komparasi berpasangan membentuk matriks $i \times j$. Nilai A_{1j} merupakan nilai matriks pendapat hasil komparasi yang mencerminkan nilai kepentingan W_1 terhadap W_j . Berikut ini adalah gambar 7 matriks berpasangan.

	W_1	W_2	...	W_j
W_1	1	A_{12}	...	A_{1j}
W_2	$1/A_{12}$	1	...	A_{2j}
W_j	A_{1i}	$1/A_{2i}$...	1

Gambar 7. Matriks berpasangan

3. Penilaian Kriteria dan Alternatif

Kriteria dan alternatif dinilai melalui perbandingan berpasangan, untuk berbagai persoalan, skala 1 sampai 9 adalah skala terbaik dalam mengekspresikan pendapat. (Saaty,1993). Hierarki yang terbentuk memiliki level-level yang memperlihatkan faktor-faktor yang hendak dianalisis. Pada setiap hierarki, sesuai dengan tabel 2 dilakukan prosedur perhitungan perbandingan berpasangan (*pair wise*).

Tabel 2. Penilaian kriteria dan alternatif metode AHP

Nilai	Keterangan
1	Kriteria/alternatif A sama penting dengan kriteria/alternatif B
3	A sedikit lebih penting dari B
5	A jelas lebih penting dari B
7	A sangat jelas lebih penting dari B
9	A mutlak lebih penting dari B
2, 4, 6, 8	Apabila ragu-ragu antara dua nilai yang berdekatan

Sumber : Crowe et al., 1998; Saaty, 2000; Hafeez et al., 2002

Ket : Nilai perbandingan A dengan B adalah 1 (satu) dibagi dengan nilai perbandingan B dengan A.

4. Penentuan Prioritas

Langkah pertama dalam menetapkan prioritas untuk setiap kriteria dan alternatif adalah dengan membuat perbandingan berpasangan (*pairwise comparisons*). Nilai-nilai perbandingan relatif kemudian diolah untuk menentukan peringkat relatif dari seluruh alternatif.

5. Konsistensi Logis

Perhitungan Manipulasi Matriks dilakukan dengan mengikuti langkah-langka berikut ini :

a. Kuadrat dari matriks A.

Matriks A dikuadratkan menjadi A'_{ij} . Elemen A'_{ij} jika ditulis secara matematis adalah :

$$a'_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (a_{ij} \cdot a_{ij}) \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

b. Perhitungan jumlah bobot dalam baris A'_{ij} :

$$B_b = \sum_{i=1}^m a'_i \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

c. Perhitungan jumlah jumlah dari jumlah bobot dalam baris A'_{ij} :

$$B_T = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m a'_i \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

d. Matriks stokastik (normalisasi) dihasilkan dengan merubah jumlah bobot baris A'_{ij} :

$$B_T = \frac{\sum_{i=1}^m a'_i}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m a'_i} \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

6. Perhitungan *Consistency Ratio* (CR)

CR merupakan parameter yang digunakan dalam teknik AHP untuk memeriksa apakah perbandingan berpasangan telah dilakukan dengan konsekuen atau tidak. Perlu diketahui bahwa ratio yang dianggap baik yaitu apabila $CR \leq 0,1$ dimana CR merupakan perbandingan antara CI dan RI. Nilai RI merupakan nilai random indeks yang dikeluarkan oleh *Oarkridge Laboratory* yang seperti pada tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Nilai Random Indeks (RI)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
CI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.54	1.56

Sumber : Saaty, (2000)

Untuk menentukan *Consistency Ratio* (CR) dihasilkan dengan mengalikan matriks perbandingan berpasangan awal dengan nilai eigen pada iterasi terakhir, atau dalam ekspresi matematik dapat ditulis :

$$\{CR\}_{m \times 1} = \begin{bmatrix} 1 & A_{12} & \dots & A_{1j} \\ 1/A_{12} & 1 & \dots & A_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/A_{1i} & 1/A_{2i} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} B_{b1}^n \\ B_{b2}^n \\ \vdots \\ B_{bn}^n \end{Bmatrix} \dots \dots \dots (2.5)$$

dimana n menandakan tingkat prosedur iterasi.

Selanjutnya dilakukan perhitungan vektor konsistensi (*Consistency Vector*)

$$\{CV\} = \begin{Bmatrix} CR_1/B_{b1}^n \\ CR_2/B_{b2}^n \\ \vdots \\ CR_m/B_{bi}^n \end{Bmatrix} \dots \dots \dots (2.6)$$

Nilai rata-rata (p) dari vektor konsistensi dapat ditulis :

$$p = \frac{\sum_{i=1}^m CV_i}{m} \dots \dots \dots (2.7)$$

Penyimpangan dari konsistensi dinyatakan dengan Indeks Konsistensi (*Consistency Index*) yang disingkat CI. Nilai CI didapat dari persamaan sebagai berikut :

$$CI = \frac{p-m}{m-1} = \frac{\sum_{i=1}^m CV_i - m^2}{m^2 - m} \dots \dots \dots (2.8)$$

Setelah nilai CI didapat maka nilai *Consistency Ratio* (CR) dapat dihitung menjadi :

$$CR = CI / RI \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

dimana RI ditentukan berdasarkan banyaknya alternatif, "m".

F. Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya menarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Meskipun massa bulan jauh lebih kecil daripada massa matahari, tapi karena jaraknya terhadap bumi jauh lebih dekat, maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi jauh lebih besar daripada pengaruh gaya tarik matahari. Gaya tarik bulan yang mempengaruhi pasang surut adalah 2,2 kali lebih besar daripada gaya tarik matahari

Secara umum type pasang surut dapat dikelompokkan menjadi 4 yaitu :

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

Dalam satu hari terjadi dua kali pasang surut yang tinggi gelombangnya hampir sama dan pasang surut yang terjadi secara berurutan dan teratur. Periode pasang surut ini rata-rata adalah 12 jam 24 menit.

2. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*)

Dalam satu hari terjadi satu kali pasang dan satu kali surut. Periode pasang surut jenis ini adalah 24 jam 50 menit.

3. Pasang surut campuran cenderung ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*)

Dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut namun tinggi gelombangnya berbeda begitu juga periode gelombangnya.

4. Pasang surut campuran cenderung tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*)

Pada tipe ini terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dalam sehari tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan periode dan tinggi gelombang yang berbeda.

Menganalisis peramalan pasang surut dengan persamaan :

$$Z_t = S_0 + \sum_{i=1}^f A_i \cos(\omega_i t - G_i) \quad \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

Z_t : elevasi pasang surut fungsi dari waktu,

S_0 : duduk tengah atau tinggi muka air rata-rata (*mean sea level*),

f : jumlah komponen,

A_i : amplitudo komponen ke-i,

ω_i : frekuensi sudut komponen ke-i = $2\pi/T_i$,

T_i : periode komponen ke-i,

T : waktu

G_i : beda fase komponen ke-i.

Untuk menentukan tipe pasut digunakan kriteria Caurtier dengan Formzhal Number (F_N).

$$F_N = \frac{A_{K1} + A_{O1}}{A_{M2} + A_{S2}} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana :

F_N : Formzahl Number atau Form Number,

A : amplitudo,

K_1 : komponen pasut tunggal yang disebabkan oleh gaya tarik bulan dan matahari,

O_1 : komponen pasut tunggal yang disebabkan oleh gaya tarik bulan,

M_2 : komponen pasut ganda yang disebabkan oleh gaya tarik bulan,

S_2 : komponen pasut ganda yang disebabkan oleh gaya tarik matahari.

Dari persamaan Formzhal diatas, tipe pasang surut ditentukan melalui kriteria berikut :

$F < 0,25$: Pasut harian ganda (*semi diurnal tide*). Dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali air surut dengan ketinggian hampir sama.

$0,25 < F < 1,5$: Pasut campuran, condong harian ganda (*mixed tide prevailing semi diurnal*). Dalam 1 hari terjadi 2 kali air pasang dan 2 kali surut dengan ketinggian yang berbeda.

$1,5 < F < 3,0$: Pasut campuran, condong harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*). Dalam 1 hari terjadi 1 kali air pasang dan 1 kali air surut.

$F > 3,0$: Pasut harian tunggal (*diurnal tide*). Dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut.

Tunggang pasang surut pada saat *neap tide* dan *spring tide* dapat ditentukan melalui persamaan pada tabel 4. Data pengamatan pasang surut diperlukan untuk menentukan elevasi muka air rencana, elevasi bangunan seperti elevasi bangunan pantai (*revetment*, *seawall*, dan sebagainya). Kondisi pasang surut akan mempengaruhi lokasi gelombang pecah.

Tabel 4. Tunggang air pasut untuk tipe pasut *semi-diurnal* dan *mixed tide prevailing semi-diurnal*

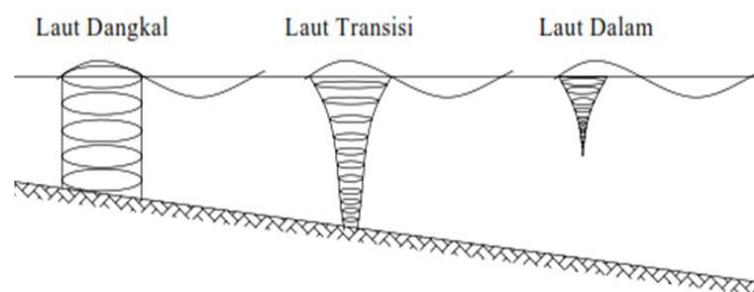
Karakteristik level pasut	Formula	Tunggang Pasang (cm)	
HAT	$LAT + 2 (AK_1 + AO_1 + AS_2 + AM_2)$		
MHHWS	$LAT + 2 (AS_2 + AM_2) + AK_1 + AO_1$		
MHHWN	$LAT + 2AM_2 + AK_1 + AO_1$		
MSL			
MLLWN	$LAT + 2AS_2 + AK_1 + AO_1$		
MLLWS	$LAT + AK_1 + AO_1$		
LAT	$MSL - AK_1 - AO_1 - AS_2 - AM_2$		

Sumber : Triatmodjo – 1999

G. Gelombang

Pada umumnya gelombang terjadi karena hembusan angin di permukaan air laut. Daerah di mana gelombang itu dibentuk disebut daerah pembangkitan gelombang (*wave generating area*). Gelombang yang terjadi di daerah pembangkitan disebut *sea*, sedangkan gelombang yang terbentuk di luar daerah pembangkitan disebut *swell*. Ketika gelombang menjalar, partikel air di permukaan bergerak dalam suatu lingkaran besar membentuk puncak gelombang pada puncak lingkarannya dan lembah pada lintasan terendah. Di bawah permukaan, air bergerak dalam

lingkaran-lingkaran yang makin kecil. Saat gelombang mendekati pantai, bagian bawah gelombang akan mulai bergesekan dengan dasar laut yang menyebabkan pecahnya gelombang dan terjadi putaran pada dasar laut yang dapat membawa material dari dasar pantai serta menyebabkan perubahan profil pantai.



Gambar 8. Defenisi dan karakteristik gelombang di daerah pantai
Sumber : Triatmodjo, 1999

Teori yang sederhana adalah teori gelombang linier. Menurut teori gelombang linier, gelombang berdasarkan kedalaman relatifnya dibagi menjadi tiga yaitu gelombang di laut dangkal, gelombang laut transisi (*transitional water*), gelombang di laut dalam (*shallow water*). Klasifikasi dari gelombang ditunjukkan dalam tabel 5 berikut :

Tabel 5. Klasifikasi gelombang menurut teori gelombang linier

Klasifikasi	d/L	$2\pi d/L$	$\tan h (2\pi d/L)$
Gelombang Laut Dalam	$> 1/2$	$> \pi$	≈ 1
Gelombang Laut Transisi	$1/25 \text{ s.d } 1/2$	$1/4 \text{ s.d } \pi$	$\tan h (2\pi d/L)$
Gelombang Laut Dangkal	$< 1/25$	$< 1/4$	$\approx 2\pi d/L$

Sumber : Triatmodjo, 1999

1. Pembangkitan gelombang

Angin yang berhembus di atas permukaan air yang semula tenang akan menyebabkan gangguan pada permukaan tersebut, selanjutnya

timbul riak-riak gelombang kecil di atas permukaan air. Apabila kecepatan angin bertambah, riak gelombang tersebut menjadi bertambah besar dan apabila angin berhembus terus akhirnya akan terbentuk gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, maka semakin besarlah gelombang yang terbentuk hingga akhirnya membentuk puncak gelombang yang curam dan selanjutnya akan terjadi fenomena gelombang pecah (*breaking wave*).

a. Angin

Distribusi kecepatan angin diatas permukaan laut dibagi menjadi tiga daerah sesuai dengan elevasi diatas permukaan. Didaerah geostropik yang berada 1000 meter diatas permukaan air laut, kecepatan angin adalah konstan. Daerah Ekman yang berada pada ketinggian 100– 1000 meter dan daerah dimana tegangan konstan yang berada pada elevasi 10 – 100 meter, didaerah tersebut kecepatan dan arah angin berubah sesuai dengan elevasi, karena adanya gesekan dengan permukaan laut dan perbedaan temperature antara air dan udara.

$$U(y) = \frac{U^*}{K} \left\{ \ln \left(\frac{y}{y_0} \right) - \psi \left(\frac{y}{L} \right) \right\} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

U^* : kecepatan geser

K : koefisien von Karman (= 0,4)

Yy : elevasi terhadap muka air

Yy_0 : tinggi kekasaran permukaan

L : Panjang campur yang tergantung pada perbedaan temperature antara air dan udara (ΔT_{as})

ψ : fungsi yang tergantung pada perbedaan temperature antara air dan udara. Di Indonesia mengingat perbedaan antara air laut dan udara kecil, maka parameter diabaikan.

Apabila angin tidak diukur pada elevasi 10 meter, maka kecepatan angin harus dikonversi pada elevasi tersebut. Untuk memudahkan perhitungan, maka dapat digunakan persamaan yang sederhana berikut :

$$U(10) = U(y) \cdot \left(\frac{10}{y}\right)^{1/7} \dots\dots\dots (2.13)$$

Data angin yang digunakan untuk peramalan gelombang adalah data angin dipermukaan laut pada lokasi pembangkitan. Data tersebut diperoleh dari pengukuran langsung di atas permukaan laut atau pengukuran di darat kemudian di konversi menjadi data angin di laut. Kecepatan angin di ukur dengan Anemometer, dan biasanya dinyatakan dengan knot. Satu knot adalah panjang satu menit garis bujur melalui khatulistiwa yang ditempuh dalam satu jam, atau 1 knot = 1,852 km/jam = 0,5 m/d. Dengan pencatatan jam-jaman tersebut akan diketahui angin dengan kecepatan tertentu dan durasinya, kecepatan angin maksimum, arah angin, dan dapat pula dihitung kecepatan angin rerata harian.

Pengukuran gelombang dengan cara menganalisa data angin menggunakan data angin yang ada di laut, tetapi biasanya data angin yang ada adalah data angin hasil pengukuran di darat. Oleh karena itu

perlu diadakan koreksi-koreksi antara data angin yang ada di darat dengan data angin yang ada di laut.

Rumus yang dipakai untuk menghitung koreksi pengukuran kecepatan angin akibat perbedaan ketinggian tempat pengukuran adalah :

$$R_L = \frac{U_w}{U_L} \dots\dots\dots (2.14)$$

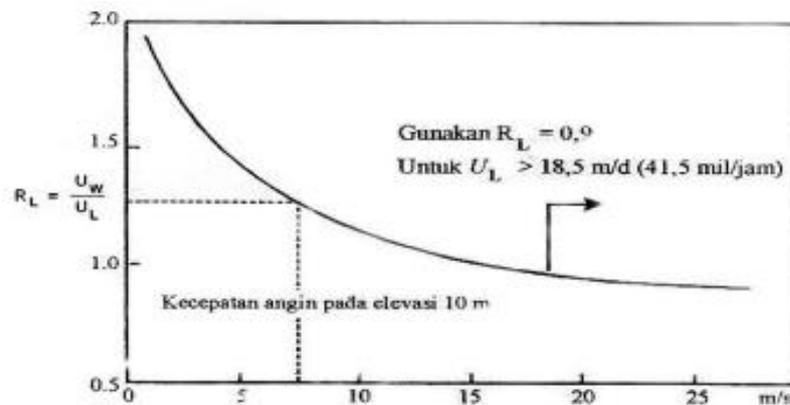
Dimana :

R_L : faktor korelasi akibat perbedaan ketinggian

U_w : kecepatan diatas permukaan laut (m/s)

U_L : kecepatan angin diatas daratan (m/s)

Nilai koreksi ini juga bisa diketahui dengan melihat grafik R_L pada gambar 9 sebagai berikut :



Gambar 9. Grafik korelasi akibat perbedaan ketinggian R_L
 Sumber : Triatmodjo – 1999

Pengukuran data angin dipermukaan laut adalah paling sesuai untuk peramalan gelombang. Hasil dari perhitungan kecepatan angin tersebut diatas kemudian dikonversikan menjadi faktor tegangan angin (U_A) dengan menggunakan rumus :

$$U_A = 0,71 \cdot U^{1,23} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana : U adalah kecepatan angin dalam m/s

b. Fetch

Dalam peramalan gelombang angin, *fetch* biasanya dibatasi dalam bentuk daratan yang mengelilingi daerah pembangkit gelombang. Fetch dapat didefinisikan sebagai daerah dimana kecepatan dan arah angin adalah konstan. Arah angin masih dianggap konstan apabila perubahan-perubahannya tidak lebih dari 15°. Panjang *fetch* membatasi waktu yang diperlukan gelombang untuk terbentuk karena pengaruh angin sehingga mempengaruhi waktu untuk mentransfer energi angin ke gelombang. *Fetch* ini berpengaruh pada periode dan tinggi gelombang yang dibangkitkan. *Fetch* rerata efektif diberikan oleh persamaan berikut :

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum Xi \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana :

F_{eff} : *fetch* rerata efektif

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

α : deviasi pada kedua sisi dari arah angin, menggunakan pertambahan 5° sampai sudut sebesar 45° pada kedua sisi dari arah angin.

Lama hembusan atau durasi angin ditentukan berdasarkan lama badai yang terjadi. Berdasarkan hasil studi model distribusi kecepatan angin pada saat badai di Indonesia Wilayah Barat (Surya , 2002); Indonesia Wilayah Tengah (Thambas, 2003) dan Indonesia Wilayah Timur (Hendri

Edi, 2004), badai yang terjadi di Indonesia pada umumnya hanya berkisar 9 jam dengan distribusi kecepatan angin sebagai berikut :

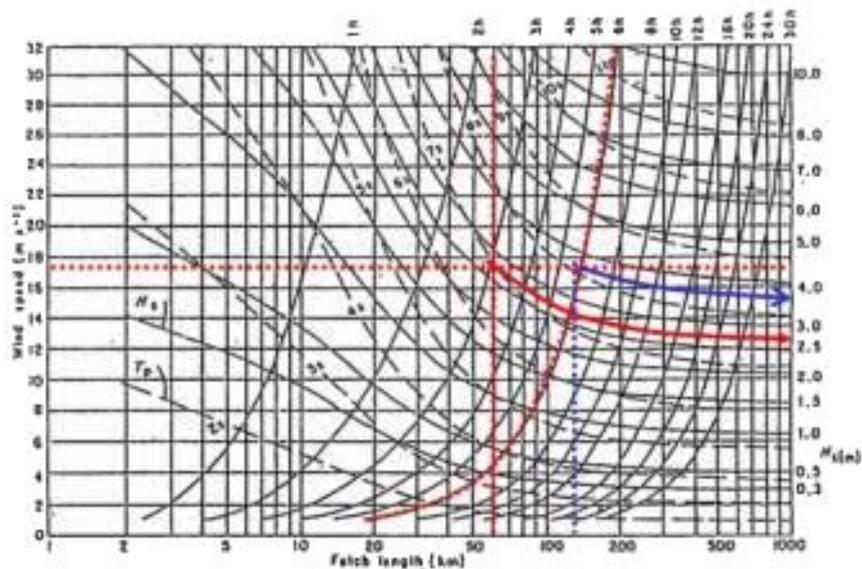
1. tiga jam pertama : 60 sd 70 % U_{maks}
2. tiga jam kedua : 100 % U_{maks}
3. tiga jam terakhir : 60 sd 70 % U_{maks}

Kesimpulan penting dari studi tersebut adalah peramalan tinggi gelombang dengan distribusi kecepatan angin seperti tersebut di atas, hasilnya setara dengan peramalan tinggi gelombang menggunakan U_{maks} dengan lama hembus sekitar 4 sd 5 jam. Berdasarkan hasil studi ini maka disarankan untuk keperluan peramalan dipergunakan U_{maks} dan $t_d = 4$ sampai dengan 5 jam.

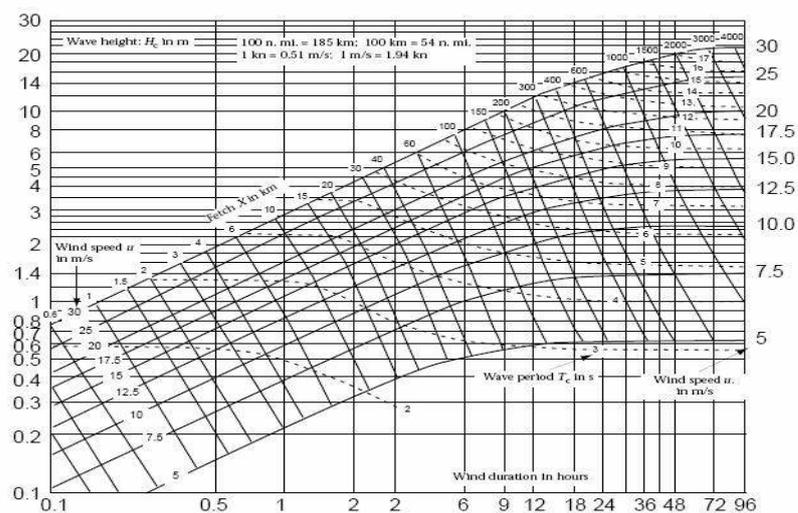
2. Proses peramalan gelombang

Untuk keperluan peramalan gelombang maka dipergunakan grafik peramalan gelombang (*wave forecasting curve*). Pada gambar 10 dan gambar 11 diberikan grafik peramalan tinggi dan periode gelombang yang dikembangkan oleh Darbyshire-Draper (1963) khusus untuk perairan pantai (*coastal water wave*), dan Green dan Dorrestein(1976) khusus untuk laut dalam (*deep water wave*). Grafik sejenis untuk keperluan peramalan tinggi gelombang juga telah diusulkan oleh beberapa peneliti misalnya oleh Bretschneider (CERC, 1984) dan JONSWAP (CIRIA-CUR, 1991). Dalam meramalkan tinggi gelombang diperlukan data kecepatan angin (U), lama hembus (t_d) dan panjang *fetch* (L). Kecepatan angin yang dipergunakan untuk peramalan tinggi gelombang disarankan menggunakan kecepatan

angin maksimum, dengan lama hembus 5 jam. Apabila diketahui distribusi kecepatan angin per jam, maka peramalan tinggi gelombang akan lebih baik jika dilakukan dengan data distribusi kecepatan angin tersebut.

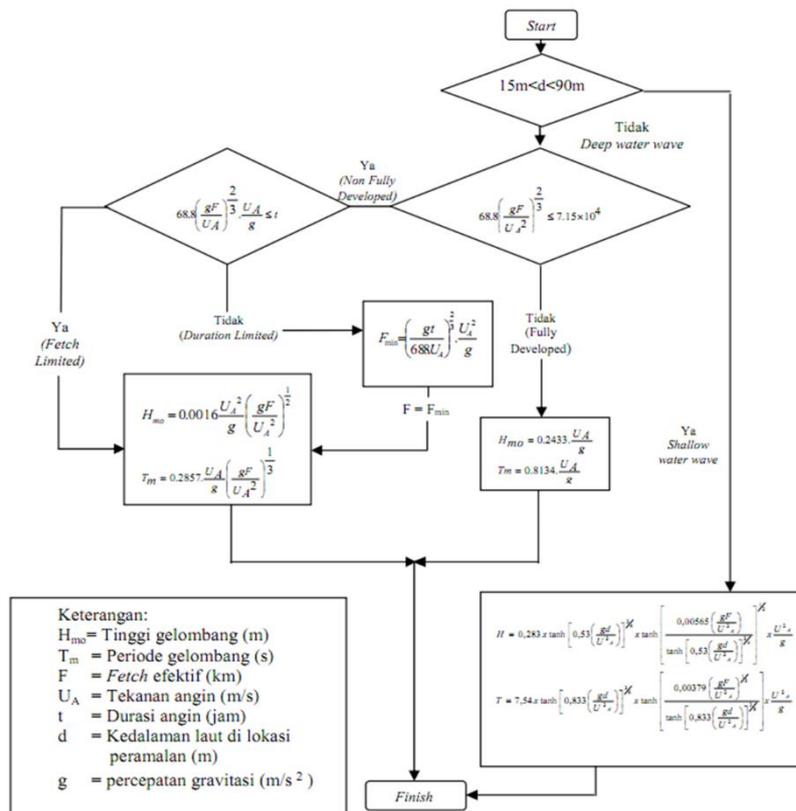


Gambar 10. Coastal Water Wave Forecasting Curve (Darbyshire-Draper, 1963)



Gambar 11. Deep Water Wave Forecasting Curve (Green-Dorrestein, 1976)

Selain menggunakan grafik pada gambar 10 dan gambar 11 di atas, dapat juga menggunakan formula seperti yang disajikan pada gambar 12
 Diagram peramalan gelombang berikut :



Gambar 12. Diagram peramalan gelombang

3. Kala ulang gelombang rencana

Penentuan kala ulang gelombang rencana biasanya didasarkan pada jenis konstruksi yang akan dibangun dan nilai daerah yang akan dilindungi. Makin tinggi nilai daerah yang akan dilindungi, makin besar pula kala ulang gelombang rencana yang dipilih. Sebagai pedoman kala ulang gelombang rencana dapat dipakai sebagaimana tabel 6 berikut :

Tabel 6. Pedoman pemilihan jenis gelombang dan kala ulang gelombang

No.	Jenis Bangunan	Gelombang Rencana	
		Jenis Gelombang	Kala Ulang
1	Struktur Fleksibel	Hs	10 - 50 tahun
2	Struktur semi - kaku	H _{0,1} - H _{0,01}	10 - 50 tahun
3	Struktur kaku (rigid)	H _{0,1} - H _{maks}	10 - 50 tahun

Sumber : Yuwono N – 1982

Untuk menentukan kala ulang gelombang rencana dipergunakan analisa harga-harga ekstrim tinggi gelombang. Biasanya diambil tinggi gelombang tertinggi setiap tahunnya.

4. Deformasi gelombang

Sesuai dengan namanya, gelombang laut dalam adalah tinggi gelombang pada daerah pembangkitan gelombang, yaitu jauh di laut dalam. Gelombang ini akan merambat ke pantai dan akan mengalami perubahan tinggi dan panjang gelombangnya seiring perubahan kedalaman laut. Gelombang yang merambat dari laut dalam menuju pantai akan mengalami beberapa proses (tidak semua terjadi), yaitu proses *shoaling*, *refraksi*, *difraksi*, *refleksi*, *breaking wave*, *set up/set down*, dan *run up/run down* pada daerah pantai.

a. Panjang Gelombang

Berdasarkan teori gelombang linier atau teori gelombang amplitudo kecil, panjang gelombang sebagai fungsi kedalaman air dan periode gelombang dirumuskan :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tan . h \left(\frac{2\pi d}{L} \right) \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana L , g , T , dan d masing-masing adalah panjang gelombang pada kedalaman d , percepatan gravitasi bumi, periode gelombang, dan kedalaman air. Secara implisit, panjang gelombang akan mengalami perubahan jika kedalaman air berubah dengan asumsi, periode gelombang adalah tetap. Persamaan di atas dapat diselesaikan dengan cara iterasi. Dengan menggunakan data periode gelombang hasil analisis sebelumnya dan memvariasikan kedalaman air, maka panjang gelombang setiap kedalaman air dapat dihitung.

b. Shoaling

Shoaling adalah perubahan tinggi gelombang karena adanya perubahan kedalaman air yang dilalui. Perubahan kedalaman akan berakibat pada berubahnya parameter gelombang berupa tinggi dan panjang gelombang. Gelombang yang merambat dari laut dalam menuju pantai yang berangsur-angsur mengalami pengurangan kedalaman airnya akan menyebabkan gelombang semakin tinggi dan panjangnya semakin memendek. Konsekuensinya, pada kedalaman tertentu gelombang tidak akan stabil karena gelombangnya menjadi curam sehingga gelombang tersebut pecah. Tinggi gelombang pada saat pecah dinamakan gelombang pecah. Sedangkan kedalaman dimana gelombang tersebut pecah dinamakan kedalaman gelombang pecah. Perubahan parameter gelombang akibat proses shoaling direpresentasikan oleh suatu nilai yang dinamakan koefisien shoaling, K_s . Koefisien *shoaling* adalah perbandingan

antara tinggi gelombang pada suatu kedalaman tertentu dengan tinggi gelombang di laut dalam. Secara matematis, koefisien shoaling ditulis :

$$K_s = \sqrt{\frac{n_o L_o}{nL}} \dots\dots\dots (2.18)$$

Dimana n_o , L_o , n , dan L masing-masing adalah koefisien grup gelombang di laut dalam yang nilainya mendekati 0.5, panjang gelombang laut dalam yang nilainya $1,56 T_2$, koefisien kecepatan grup gelombang pada kedalaman tertentu, dan panjang gelombang pada kedalaman tertentu pula. Koefisien kecepatan grup gelombang pada kedalaman tertentu dapat dihitung dengan rumus :

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \dots\dots\dots (2.19)$$

Dimana d dan k adalah kedalaman air pada lokasi tertentu dan bilangan gelombang yang nilainya adalah $2\pi/L$.

Apabila diketahui tinggi gelombang laut dalam hasil peramalan adalah H_o dan koefisien shoaling adalah K_s , maka tinggi gelombang pada kedalaman tertentu yang dipengaruhi oleh proses shoaling ditulis :

$$H_i = K_s \cdot H_o \dots\dots\dots (2.20)$$

c. Refraksi

Refraksi adalah perubahan arah perambatan gelombang yang diakibatkan oleh adanya perbedaan kecepatan gelombang antara sisi kiri dan kanan puncak perambatannya. Perbedaan kecepatan jalar gelombang ini diakibatkan oleh adanya perbedaan kedalaman air antara sisi kiri dan kanan arah perambatan gelombang. Oleh karena terjadi perbedaan

kecepatan jalar, menyebabkan gelombang akan berbelok ke arah dengan kecepatan yang lebih dangkal atau berkecepatan rendah. Akibat dari perubahan arah gelombang tersebut, maka terjadi pula perubahan tinggi dan panjang gelombang. Akibat dari proses refraksi ini, maka akan ditemui gelombang yang konvergen dan divergen. Berdasarkan teori gelombang linier, koefisien refraksi ditulis :

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_o}{\cos \alpha}} \dots\dots\dots (2.21)$$

Dimana α dan α_o , masing-masing adalah sudut yang dibentuk antara garis puncak gelombang dengan garis kontur dasar laut di titik yang ditinjau dan sudut antara garis puncak gelombang di laut dalam dengan garis pantai. Nilai α_o dapat ditentukan dengan bantuan peta rupa bumi dan arah orientasi gelombang yang dipertimbangkan. Sudut antara garis puncak gelombang dengan garis kontur dasar laut dapat ditentukan dengan rumus berikut :

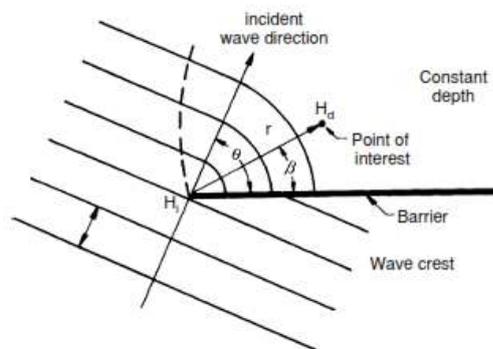
$$\sin \alpha = \frac{c}{c_o} \sin \alpha_o \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana C dan C_o masing-masing adalah kecepatan gelombang pada kedalaman tinjauan dan kecepatan gelombang di laut dalam. Kecepatan gelombang adalah perbandingan antara panjang gelombang dan periode gelombang. Dengan demikian, tinggi gelombang yang dipengaruhi proses shoaling dan refraksi dapat ditulis :

$$H = K_r \cdot H_o \dots\dots\dots (2.23)$$

d. Difraksi

Difraksi gelombang adalah berbeloknya arah puncak gelombang karena adanya rintangan atau halangan. Gelombang akan berbelok ke arah yang terlindung oleh penghalang. Penghalang dapat berupa pulau atau breakwater dan struktur lainnya yang ada di pantai. Adapun ilustrasi proses difraksi dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 13. Gambaran proses difraksi
(Sorenson, 2006)

Pada gambar 13 di atas memperlihatkan H_i , H_d , β , θ dan r adalah tinggi gelombang di ujung penghalang, tinggi gelombang jarak r dari ujung rintangan, sudut antara rintangan dan garis yang menghubungkan titik tersebut dengan ujung rintangan, sudut antara arah penjalaran gelombang dengan rintangan dan jarak vektor titik tinjauan dari ujung rintangan. Perbandingan antara tinggi gelombang di belakang rintangan, H_d dengan tinggi gelombang ujung rintangan disebut koefisien difraksi, K_d . Dengan demikian koefisien difraksi dapat dirumuskan dengan :

$$K_d = f(\theta, \beta, r/L) \dots\dots\dots (2.24)$$

e. Gelombang Pecah

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

Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringannya, yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Pada laut dalam, kemiringan gelombang maksimum dimana gelombang mulai tidak stabil dirumuskan :

$$\frac{H_o}{L_o} = \frac{1}{7} = 0.142 \quad \dots\dots\dots (2.25)$$

Pada kemiringan tersebut, kecepatan partikel di puncak gelombang sama dengan kecepatan rambat gelombang. Kemiringan yang lebih tajam dari batas maksimum ($H_o/L_o > 0.142$) tersebut menyebabkan kecepatan partikel dipuncak gelombang lebih dari kecepatan rambat gelombang, sehingga terjadi ketidak stabilan dan gelombang pecah.

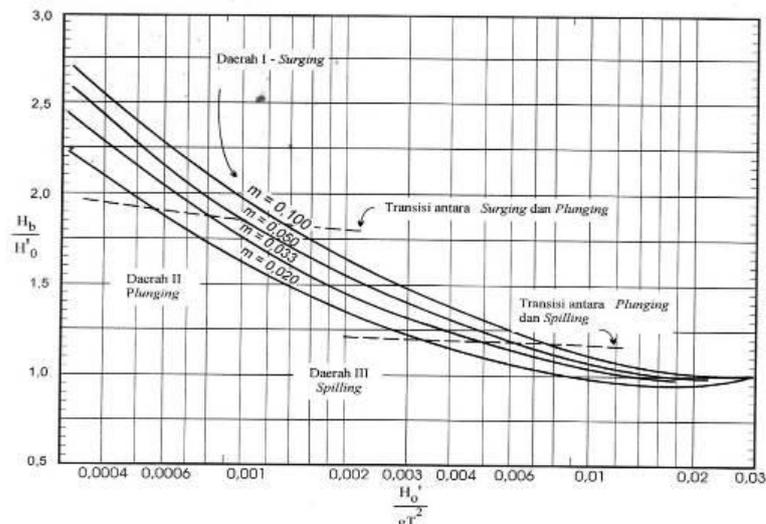
Apabila gelombang bergerak menuju laut dangkal, kemiringan batas tersebut tergantung pada kedalaman relative, d/L dan kemiringan dasar laut m . Gelombang dari laut dalam yang bergerak menuju pantai akan bertambah kemiringannya sampai akhirnya tidak stabil dan pecah pada

kedalaman tersebut, yang disebut dengan kedalaman gelombang pecah, db. Tinggi gelombang pecah diberi notasi H_b. Munk (1949) dalam CERC (1984), memberikan rumus untuk menentukan tinggi dan kelaman gelombang pecah berikut ini :

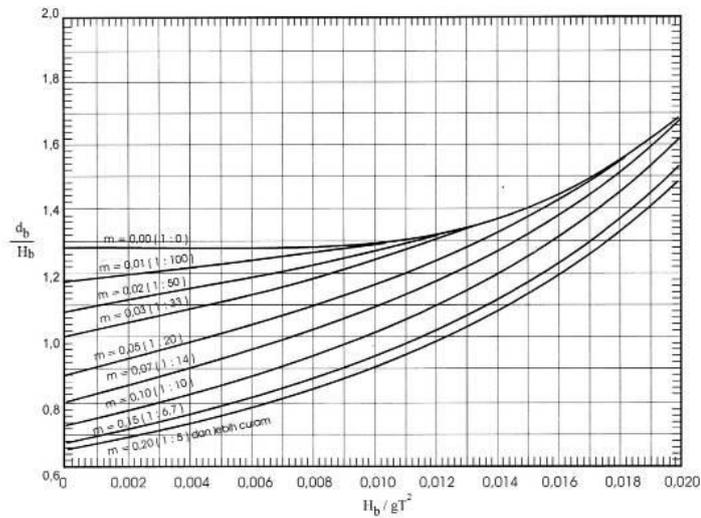
$$\frac{H_b}{H'_o} = \frac{1}{3.3(H'_o/L_o)^{1/3}} \dots\dots\dots (2.26)$$

$$\frac{d_b}{H_b} = 1.28 \dots\dots\dots (2.27)$$

H_b/H_o' disebut indeks tinggi gelombang pecah. Nilai dari H_o' diperoleh dari pembagian antara H_b dengan koefisien shoaling pada kedalaman db. Beberapa penelitian lain (Inversen, Galvin, Goda ; dan CERC, 1984) membuktikan bahwa H_b/H_o' dan d_b/H_b tergantung pada kemiringan pantai dan kemiringan gelombang datang. Untuk memperkirakan tinggi dan kedalaman gelombang pecah, dapat menggunakan sebagaimana gambar 14 dan gambar 15 berikut ini :



Gambar 14. Hubungan antara H_o'/gT² dengan H_b/H_o'



Gambar 15. Hubungan antara H_b/gT^2 dengan d_b/H_b

H. Transport Sedimen

Untuk menghitung angkutan sedimen sepanjang pantai dapat digunakan formula berikut ini (CERC).

$$Q = K \left(\frac{\rho \sqrt{g}}{16 \kappa^2 (\rho_s - \rho)(1-n)} \right) H_b^{\frac{5}{2}} \sin(2\alpha_b) \dots\dots\dots (2.28)$$

Dimana :

Q : angkutan sedimen sepanjang pantai (m³/hari)

K, n : Konstanta ($1.4e^{(-2.5D_{50})}$)

ρ : rapat massa air laut (kg/m³) ... g = gravitasi

ρ_s : rapat massa pasir

H_b : tinggi gelombang laut dalam (m)

C_b : kecepatan gelombang di laut dalam (m/s)

K, n : konstanta ; $\kappa = H_b / \alpha b$

αb : sudut datang gelombang pecah

I. Design Water Level (DWL)

Elevasi muka air rencana hanya didasarkan pada pasang surut, *wave setup* dan pemanasan global. (Triatmodjo, 1999) :

1. Pasang surut

Dari data pengukuran surut akan didapat *MHWL*, *MSL* dan *MLWL*

2. *Wave Setup*

Setup gelombang di pantai dihitung dengan rumus :

$$S_w = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b \dots\dots\dots (2.29)$$

Dimana :

S_w : *wave set-up* (m)

g : Percepatan gravitasi (m/s^2)

T : Periode gelombang (detik)

H_b : Tinggi gelombang pecah (m)

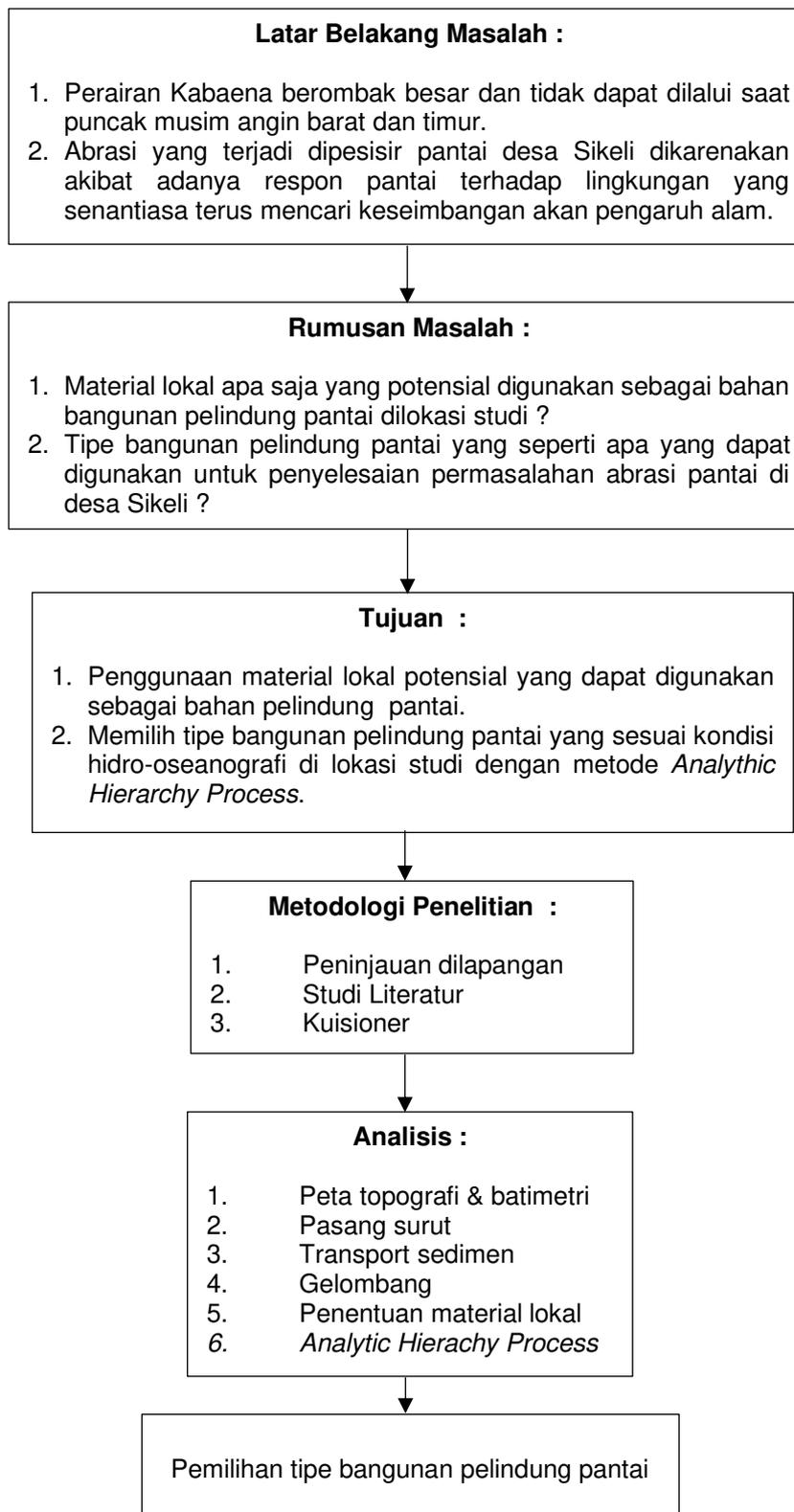
S_b : *set-down* didaerah gelombang (m)

3. Kenaikan muka air laut karena pemanasan global

Kenaikan muka air laut adalah peningkatan temperature air laut yang menyebabkan terjadinya pemuaian volume air laut sehingga massa air laut berubah meningkat. Selain itu mencairnya glasier pegunungan dan tutupan es juga diprediksi akan menjadi penyebab utama kenaikan muka air laut.

J. Kerangka Berpikir Penelitian

Berdasarkan latar belakang masalah, perumusan masalah dan kajian literatur pada pembahasan sebelumnya maka digambarkan kerangka pemikiran penelitian yang relevan untuk mendapatkan proses penelitian yang tepat. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada diagram atau *flowchart* pada gambar 16 berikut :



Gambar 16. Diagram alir kerangka pikir