

**STUDI RUN UP GELOMBANG PADA BANGUNAN PANTAI (JETTY) DI
DERMAGA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DAN GAS (PLTGU)
GRATI, KABUPATEN PASURUAN**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2016**

**STUDI RUN UP GELOMBANG PADA BANGUNAN PANTAI (JETTY) DI
DERMAGA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DAN GAS (PLTGU)
GRATI, KABUPATEN PASURUAN**

**SKRIPSI
PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Meraih Gelar Sarjana Kelautan
di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan
Universitas Brawijaya

Oleh:
RINE SRI ARINI
NIM.125080601111007



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2016**

SKRIPSI

STUDI RUN UP GELOMBANG PADA BANGUNAN PANTAI (JETTY) DI
DERMAGA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DAN GAS (PLTGU)
GRATI, KABUPATEN PASURUAN

Oleh:

RINE SRI ARINI
NIM : 125080601111007

Telah dipertahankan didepan penguji
Pada tanggal 26 Juli 2016
Dan telah dinyatakan telah memenuhi syarat

Dosen Penguji I

(DR. Rudianto, MA)
NIP. 19570715 198603 1 024
Tanggal : 18 AUG 2016

Menyetujui,
Dosen Pembimbing I

(M. Arif Zainul Fuad, S.Kel, M.Sc)
NIP. 19801005 200501 1 002
Tanggal : 18 AUG 2016

Dosen Penguji II

(Andik Isdianto, ST, MT)
NIK. 2013098209281001
Tanggal : 18 AUG 2016

Dosen Pembimbing II

(Citra Satrya Utama Dewi, S.Pi, M.Si)
NIK. 2013048401272001
Tanggal : 18 AUG 2016



(Dr. Ir. Daduk Setyohadi, MP)
NIP. 19630608 198703 1 003
Tanggal : 18 AUG 2016

PERNYATAAN ORISILITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam laporan Skripsi yang saya tulis ini benar merupakan hasil karya saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah di tulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan laporan Skripsi ini hasil penjiblakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.

Malang, Juli 2016

Mahasiswa

Rine Sri Arini



UCAPAN TERIMAKASIH

Keberhasilan penulisan laporan skripsi ini tidak lepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu sudah sepatutnya kami menyampaikan ucapan terimakasih sebanyak-banyaknya. Ucapan terimakasih, disampaikan kepada:

1. Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya
2. Ibu tercinta Sri Mudiyah, Ayah tersayang Saleh Umar dan adikku Wira Syaifullah Yusuf yang telah memberikan motivasi, dukungan, do'a, restu dan ridho serta kasih sayang dan pengorbanan, sehingga penulis dapat mempersembahkan laporan Skripsi ini dengan baik.
3. M. Arif Zainul Fuad, S.Kel, M.Sc sebagai dosen pembimbing I, yang telah meluangkan waktu untuk membimbing serta membantu menyelesaikan laporan skripsi.
4. Citra Satrya Utama Dewi, S.Pi, M.Si sebagai dosen pembimbing II, yang telah meluangkan waktu untuk membimbing kami serta membantu menyelesaikan laporan skripsi.
5. Dr. Ir. Daduk Setyohadi, MP sebagai Kepala Jurusan Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya
6. Feni Iranawati, S.Pi., M.Sc., Ph.D sebagai Kepala Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya
7. Sahabat-sahabat sepejuangan yang membantu dalam proses penelitian Ririn, Romanus, Ayu Yunita, Ophi, Andira, Andaru dan Hadiatul terimakasih atas semangat, dukungan dan do'a kalian, maaf karena tidak dapat penulis sebut semua, semoga persahabatan kita tetap abadi selamanya.
8. Teman seperjuangan di kos sebagai keluarga di Malang, Lely, Rizki, Anggi, Mbak Ulid, Mbak Nayli selamat berjuang untuk menata masa depan semoga kita bisa bertemu kembali dan silaturrahmi ini tetap terjaga.
9. Angkatan 2012 Ilmu Kelautan (Poseidon) yang tidak bosan-bosan nya memberi informasi, dan
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sampaikan sampaikan semua, karena keterbatasan tempat.



RINGKASAN

RINE SRI ARINI. Studi *Run up* Gelombang Pada Bangunan Pantai di Dermaga Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Grati, Kabupaten Pasuruan (di bawah bimbingan **M. Arif Zainul Fuad, S.Kel, M.Sc** dan **Citra Satrya Utama Dewi, S.Pi, M.Si**)

Perusahaan Listrik Nasional (PLN) dengan salah satu anak cabang perusahaan yaitu PT. Indonesia Power menambahkan satu Unit Bisnis Pembangkitan (UBP) Perak-Grati. UBP Perak-Grati terletak diwilayah pesisir, sehingga seiring dengan pembangunannya maka dibangun pula bangunan pantai berupa *jetty*. Dewasa ini kondisi fisik *jetty* telah mengalami kerusakan yaitu terdapat lubang-lubang pada permukaan *jetty*. Kondisi fisik Bangunan Pantai dapat dipengaruhi oleh adanya aktivitas manusia, usia bangunan dan faktor hidroceanografi. Salah satu faktor hidroceanografi yang mempengaruhi kondisi fisik bangunan adalah gelombang. Gelombang yang menjalar dari laut dalam akan menuju pantai dan mengenai bangunan pantai, sehingga dapat mengakibatkan terjadinya *run up* gelombang. Nilai *run up* gelombang yang melebihi bangunan pantai akan mengakibatkan terjadinya *overtopping*. Berdasarkan kondisi bangunan pantai (*jetty*) tersebut, maka perlu diadakan penelitian mengenai ketinggian nilai *run up* dan *overtopping* pada bangunan pantai di dermaga PLTGU Grati, dalam upaya pemeliharaan dan monitoring bangunan pantai tersebut.

Tujuan dari penelitian ini yaitu, untuk mengkaji nilai *run up* gelombang dan kondisi *overtopping* pada bangunan pantai di dermaga PLTGU Grati, Kabupaten Pasuruan. Metode yang digunakan yaitu metode *purposive sampling*. Pada penelitian ini menggunakan 5 titik pengamatan yang berada di sekitar area bangunan pantai. Data yang diambil pada saat pengamatan berupa data tinggi dan periode gelombang, spesifikasi bangunan pantai, dan data kemiringan pantai. Data penunjang berupa data angin dan data pasut. Data angin diolah dengan metode SMB, dan data pasut dengan metode admiralty. Perhitungan *run up* menggunakan persamaan *Iribaren* dan kategori *overtopping* pada bangunan pantai menggunakan persamaan Saville.

Berdasarkan hasil pengolahan data diperoleh Nilai Tinggi Gelombang saat pengukuran dilapangan pada titik 1 sebesar 0,31 meter, titik 2 sebesar 0,3 meter, titik 3 sebesar 0,23 meter, titik 4 sebesar 0,2 meter dan titik 5 sebesar 0,4 meter. Nilai tinggi gelombang berdasarkan hasil pengolahan data peramalan gelombang yaitu pada musim barat sebesar 1,202 meter, peralihan 1 sebesar 0,524 meter, musim timur sebesar 0,650 meter dan peralihan 2 sebesar 0,654 meter. Nilai *run up* gelombang pada bangunan pantai di dermaga PLTGU Grati, Kabupaten Pasuruan, diperoleh hasil pada musim barat sebesar 2,705 meter, peralihan 1 sebesar 2,433 meter, musim timur 2,497 meter, musim peralihan 2 sebesar 2,488 meter dan saat pengamatan dari hasil pengukuran lapang sebesar 2,17 meter. Nilai (*h-ds*), berdasarkan hasil perhitungan diperoleh pada musim barat sebesar 3,666 meter, peralihan 1 sebesar 2,97 meter, musim timur sebesar 3,48 meter dan peralihan 2 sebesar 3,48 meter. Berdasarkan kategori *overtopping*, dinyatakan bahwa tidak terjadi *overtopping* disetiap musim pada bangunan pantai (*jetty*) di dermaga PLTGU Grati, Kabupaten Pasuruan.

Kata Kunci : *Run up* Gelombang, *Overtopping* dan *Jetty*



KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayah-Mu penulis dapat menyelesaikan laporan Skripsi dengan judul Studi *Run up* Gelombang Pada Bangunan Pantai di Dermaga Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU) Grati, Kabupaten Pasuruan. Sholawat dan salam tidak lupa penulis panjatkan kepada Nabi Muhammad SAW, semoga kita senantiasa mendapat syafaatnya. Di dalam penulisan laporan Skripsi ini disajikan bahasan mengenai latar belakang, tujuan, dan metodologi dalam pelaksanannya, hasil dan pembahasan serta kesimpulan dan saran dari laporan Skripsi dengan judul di atas.

Sangat disadari bahwa terdapat kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki penulis, walaupun telah dikerapkan segala kemampuan untuk teliti, tetapi masih dirasakan banyak kekurangtepatan. Menurut pepatah “Tidak Ada Gading yang Tak Retak”. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran terhadap laporan Skripsi ini, supaya dapat diperbaiki dalam penulisan laporan selanjutnya.

Malang, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN ORISILITAS	iii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	iv
RINGKASAN.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Gelombang	5
2.2 Peramalan Gelombang	7
2.2.1 Angin	8
2.2.2 <i>Fetch</i>	9
2.3 Kenaikan (<i>Run up</i>) Gelombang	10
2.4 Limpasan (<i>Overtopping</i>) Gelombang.....	11
2.5 Pasang Surut.....	12
2.5.1 Tipe Pasang Surut.....	12
2.5.2 Komponen Pasang Surut	13
2.5.3 Elevasi Pasang Surut	15
2.4 Bangunan Pelindung Pantai	16
3. METODE PENELITIAN	20
3.1 Lokasi Penelitian	20
3.2 Prosedur Penelitian	21
3.3 Materi Penelitian.....	22
3.3.1 Data Primer.....	23
3.3.2 Data Sekunder.....	23
3.4 Metode Pengambilan Data.....	23
3.4.1 Pengukuran Gelombang	24
3.4.2 Pengambilan Data Angin.....	25
3.4.3 Pengukuran Kemiringan Pantai	25
3.4.4 Pengukuran Spesifikasi Bangunan Pantai.....	26
3.5 Metode Pengolahan Data	26
3.5.1 Pengolahan Data Gelombang	26
3.5.2 Pengolahan Peramalan Gelombang dari Data Angin.....	26
3.5.3 Verifikasi Data Gelombang Lapang dengan Data Hasil Peramalan Gelombang	27
3.5.4 Pengolahan Data Pasut	28
3.5.5 Perhitungan Kenaikan (<i>Run Up</i>) Gelombang	28
3.5.6 Perhitungan Limpasan (<i>Overtopping</i>) Gelombang	29
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil.....	31
4.1.1 Pengukuran Gelombang Permukaan di Lapang.....	31
4.1.2 <i>Wind rose</i>	36



4.1.3 Peramalan Gelombang.....	39
4.1.4 Perkiraan Gelombang Ekstrim (Badai) dengan Periode Ulang	43
4.1.5 Koefisien Refraksi, Koefisien Pendangkalan dan Gelombang Pecah.....	44
4.1.6 Verifikasi Data Gelombang Lapang dengan Data Peramalan Gelombang	44
4.1.7 Pasang Surut.....	45
4.1.8 Skenario Kenaikan Muka Air Laut.....	47
4.1.9 Kondisi Kemiringan Pantai	47
4.1.10 Spesifikasi Bangunan Pantai (<i>Jetty</i>)	48
4.1.11 Kenaikan (<i>Run up</i>) Gelombang.....	48
4.1.12 Limpasan (<i>Overtopping</i>) Gelombang.....	49
4.2 Pembahasan	50
4.2.1 Perhitungan Gelombang lapang dan Peramalan Gelombang.....	50
4.2.3 Kenaikan (<i>Run up</i>) dan Limpasan (<i>Overtopping</i>) Gelombang	51
5. KESIMPULAN DAN SARAN	54
5.1 Kesimpulan.....	54
5.2 Saran	54
DAFTAR PUSTAKA	55
LAMPIRAN	57



DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 1. Gerak orbit partikel zat cair di laut dangkal, transisi dan dalam.....	6
Gambar 2. <i>Constructive Wave</i>	6
Gambar 3. <i>Destructive Wave</i>	7
Gambar 4. Korelasi Kecepatan Angin di Darat dan di Laut	9
Gambar 5. Ilustrasi <i>Run up</i> dan <i>Run Down</i> Gelombang.....	11
Gambar 6. Tipe Pasang Surut	13
Gambar 7. Contoh Elevasi Muka Air Laut	16
Gambar 8. Jenis <i>Jetty</i>	17
Gambar 9. Tipe <i>Groin</i>	18
Gambar 10. Pemecah Gelombang Lepas Pantai	18
Gambar 11. Contoh Bangunan Dinding Pantai	19
Gambar 12. Lokasi Pengambilan Sampel	20
Gambar 13. Prosedur Penelitian	22
Gambar 14. Grafik <i>run up</i> gelombang	28
Gambar 15. Grafik Tinggi Gelombang Pada 5 Titik Pengamatan	34
Gambar 16. Grafik Periode Gelombang pada 5 Titik Pengamatan	34
Gambar 17. Grafik Tinggi Gelombang Selama 3 Hari	35
Gambar 18. Grafik Periode Gelombang Selama 3 Hari.....	35
Gambar 19. <i>Wind rose</i> Musim Barat	36
Gambar 20. <i>Wind rose</i> Peralihan 1	37
Gambar 21. <i>Wind rose</i> Musim Timur	37
Gambar 22. <i>Wind rose</i> Peralihan 2	38
Gambar 23. <i>Wind rose</i> tahun 2006-2015	39
Gambar 24. Grafik Tinggi gelombang pada Tiap Musim	42
Gambar 25. Grafik Periode Gelombang pada Tiap Musim	42
Gambar 26. Grafik Pasang Surut Perairan Pantai Pasir Panjang	46
Gambar 27. Spesifikasi Bangunan Pantai (<i>Jetty</i>)	48



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Klasifikasi Gelombang Berdasarkan Teori Linier	5
Tabel 2. Komponen Pasang Surut	13
Tabel 3. Alat yang digunakan dalam penelitian.....	23
Tabel 4. Bahan yang digunakan	24
Tabel 5. Data Angin dari ECMWF	25
Tabel 6. hasil perhitungan gelombang pada tiap titik pengamatan	31
Tabel 7. Hasil Perhitungan Gelombang pada Semua Titik Pengamatan	33
Tabel 8. Peramalan Gelombang Selama 10 Tahun (2006-2015).....	39
Tabel 9. Hasil Perhitungan peramalan gelombang pada tiap musim (2006-2015).....	40
Tabel 10. Perkiraan Gelombang Badai 5-100 Tahun.....	43
Tabel 11. H dan T Hasil Perhitungan <i>Relative Error (RE)</i>	44
Tabel 12. Komponen Surut di Perairan Pantai Pasir Panjang	45
Tabel 13. Hasil Pengolahan Pasang Surut Metode Admiralty	46
Tabel 14. Skenario Kenaikan Muka Air Laut	47
Tabel 15. Hasil Perhitungan <i>Run up</i>	49
Tabel 16. Hasil Perhitungan <i>Overtopping</i>	49



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Cara download data angin di ECMWF	57
Lampiran 2. Perhitungan Panjang <i>Fetch</i>	58
Lampiran 3. Hasil Perhitungan nilai U_w dan U_A	62
Lampiran 4. Perhitungan Perkiraan Tinggi Gelombang Ekstrim (metode Fisher Tippet Type I).....	66
Lampiran 5. Perhitungan Koefisien Refraksi, Koefisien Pendangkalan (<i>wave shoaling</i>) dan tinggi gelombang pecah.....	67
Lampiran 6. Perhitungan skenario kenaikan Muka Air Laut	69
Lampiran 7. Proses Perhitungan Pasang Surut dengan Metode Admiralty	70
Lampiran 8. Dokumentasi.....	77



1.1 Latar Belakang

Pertambahan jumlah penduduk merupakan faktor utama terjadinya kemajuan dan perkembangan teknologi. Kemajuan teknologi ini mengakibatkan bertambahnya kebutuhan listrik di Indonesia. Perusahaan Listrik Negara (PLN) dengan anak cabang perusahaan yaitu PT. Indonesia Power memambah Unit Bisnis Pembangkitan (UBP) listrik untuk memenuhi kebutuhan kelistrikan di Indonesia. Salah satu UBP yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik di Pulau Jawa adalah adalah UBP Perak-Grati. UBP Perak-Grati mulai dirancang dan dibangun sejak tahun 1995, yang terletak di Pantai Pasir Panjang, Desa Wates, Kecamatan Lekok, Kabupaten Pasuruan. Pembangkit Listrik yang digunakan oleh UBP Perak-Grati adalah Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), sehingga UBP Perak-Grati dikenal dengan sebutan PLTGU Grati.

Kawasan pantai Pasir Panjang pada tiap tahun mengalami kenaikan muka air laut. Fenomena alam tersebut terjadi pada saat musim timur (kemarau). Kenaikan muka air tersebut terjadi hingga mengenai pemukiman warga sekitar. Ketinggian muka air laut di perairan Pasuruan pada tahun 1990 sebesar 1,64 meter, dan pada tahun 2008 ketinggian muka air laut sebesar 1,69 meter (Sugianto, 2009). Kenaikan tinggi muka air laut ini dapat mempengaruhi kondisi pantai dan bangunan pantai yang ada disekitarnya.

Pada kawasan PLTGU Grati di bangun suatu bangunan pantai berupa *jetty*. Pembangunan *jetty* dilakukan pada tahun 1997 (Indonesia Power, 2015) dengan posisi bangunan tegak lurus menghadap kearah laut lepas. *Jetty* tersebut berfungsi sebagai dermaga untuk bongkar muat bahan baku yang digunakan oleh PLTGU. Dewasa ini kondisi bangunan pantai tersebut telah mengalami



kerusakan secara fisik. Kerusakan fisik pada bangunan pantai tersebut yaitu terdapat lubang pada permukaan bangunan pantai atau dermaga. Salah satu faktor yang dapat merusak kondisi fisik bangunan pantai adalah aktivitas yang terjadi pada dermaga tersebut. Selain itu, faktor hidro-oseanografi juga dapat mempengaruhi kondisi fisik bangunan tersebut. Salah satu parameter hidro-oseanografi yang mempengaruhi bangunan pantai adalah gelombang.

Gelombang merupakan pergerakan naik turunnya air laut pada permukaan laut yang terjadi secara terus menerus. Gelombang akan mengalami penjalaran dari laut dalam menuju ke pantai. Penjalaran gelombang menuju pantai yang mengenai bangunan pantai akan mengalami pemecahan gelombang dan dapat mengakibatkan *run up* gelombang di permukaan bangunan. *Run up* gelombang adalah ketinggian gelombang maksimal diukur secara vertikal yang mencapai pantai atau bangunan pantai (Refi, 2013). Nilai *run up* gelombang tergantung dari bentuk bangunan, kedalaman air pada titik bangunan, kemiringan dasar laut dan karakteristik gelombang (Triatmodjo, 2012). Ketinggian *run up* gelombang dapat mempengaruhi nilai dari *overtopping* atau limpasan gelombang. *Overtopping* merupakan suatu kejadian ketika elevasi (ketinggian) puncak bangunan lebih rendah dibandingkan dengan ketinggian *run up* gelombang (Ariani et al., 2013).

Bangunan pantai (*jetty*) tersebut telah mengalami sedikit kerusakan yaitu terdapat beberapa lubang pada permukaan bangunannya. Keefektifitasan bangunan pantai dipengaruhi oleh perubahan iklim dan cuaca, usia bangunan yang sudah lama, kurangnya perawatan dan pemeliharaan serta ketinggian nilai *run up* gelombang. Nilai *run up* yang tinggi akan menyebabkan *overtopping* dan dapat merusak bangunan pantai tersebut. Kondisi *overtopping* dan *run up* gelombang juga dapat dipengaruhi oleh adanya kenaikan tinggi muka air laut. Hal ini sesuai dengan bertambahnya nilai ketinggian muka air laut diperairan



Pasuruan pada setiap tahunnya. Sehubungan dengan hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian mengenai ketinggian *run up* gelombang dan *overtopping* pada bangunan pantai (*jetty*) di pantai Pasir Panjang, dalam upaya pemeliharaan dan perawatan bangunan pantai (*jetty*).

1.2 Rumusan Masalah

Kondisi hidro oseanografi akan mengalami perubahan setiap saat. Hal ini dapat dipengaruhi oleh adanya perubahan iklim dan cuaca, aktivitas manusia dan lain-lain. Aktivitas manusia dapat berupa pembangunan dermaga di suatu perairan, seperti di PLTGU Grati. Gelombang yang menjalar dari laut dalam akan mengenai bangunan pantai. Hal tersebut mengakibatkan ketinggian gelombang yang mencapai bangunan akan mengalami *run up*. Nilai *run up* yang tinggi dapat mengakibatkan *overtopping* yang dapat merusak struktur bangunan. Kondisi bangunan pantai (*jetty*) saat yaitu terdapat lubang pada sebagian permukaan bangunan pantai tersebut. Maka dari itu perlu dilakukan penelitian mengenai ketinggian nilai *run up* gelombang dan *overtopping* pada bangunan PLTGU. Adapun rumusan masalah pada penelitian ini, antara lain:

1. Bagaimana nilai *run-up* gelombang pada bangunan pantai di dermaga PLTGU Grati, Pasuruan ?
2. Apakah terjadi *overtopping* pada bangunan pantai di dermaga PLTGU, Grati Pasuruan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Mengkaji nilai *run-up* gelombang pada bangunan pantai di dermaga PLTGU Grati, Pasuruan.

2. Mengkaji kondisi *overtopping* pada bangunan pantai di dermaga PLTGU
Grati, Pasuruan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini, antara lain:

1. Sebagai data dan informasi untuk pertimbangan dalam perawatan dan pemeliharaan bangunan pantai (*Jetty*) di Pantai Pasir Panjang, Desa Wates, Kecamatan Lekok, Kabupaten Pasuruan.
2. Berguna sebagai sumber referensi untuk penelitian dan pengembangan ilmu selanjutnya.



2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang

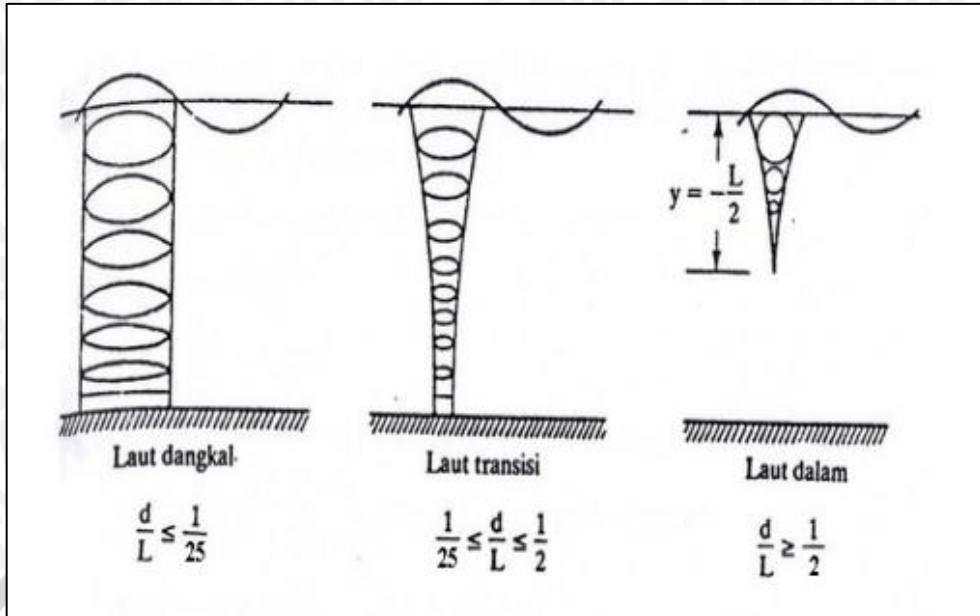
Gelombang merupakan suatu pergerakan naik turunnya air laut yang bergerak tanpa henti pada permukaan laut. Pergerakan gelombang dipengaruhi oleh angin (Hutabarat and Evans, 1984). Berdasarkan pembangkitnya gelombang dilaut dibedakan menjadi gelombang angin dibangkitkan oleh angin, gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gravitasi bumi, bulan dan matahari, gelombang *tsunami* terjadi karena gempa bawah laut dan letusan gunung berapi, gelombang terjadi karena dibangkitkan oleh gerakan kapal (Triatmodjo, 2012).

Pergerakan atau penjalaran gelombang dapat mempengaruhi kondisi pantai. Tinggi dan periode gelombang dipengaruhi oleh nilai *fetch* pembangkit gelombang dan angin. Semakin panjang *fetch* maka gelombang akan semakin tinggi dan semakin kuat angin yang membangkitkan maka gelombang semakin besar. Gelombang menjalar dari laut dalam menuju ke pantai akan mengalami perubahan bentuk karena pengaruh dari kedalaman laut. Klasifikasi gelombang berdasarkan teori linier dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Gelombang Berdasarkan Teori Linier

Keterangan	Gelombang di laut dangkal	Gelombang di laut transisis	Gelombang di laut dalam
d/L	$d/L \geq \frac{1}{2}$	$1/20 < d/L < \frac{1}{2}$	$d/L \leq 1.20$
Tanh ($2\pi d/L$)	$\approx 2\pi d/L$	Tanh ($2\pi d/L$)	≈ 1
Cepat rambat gelombang	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh \left[\frac{2\pi d}{L} \right]$	$C = C_0 \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi}$
Panjang gelombang	$L = T\sqrt{gd}$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \left[\frac{2\pi d}{L} \right]$	$L = L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 1,56T^2$

(Sumber : CERC, 1984)

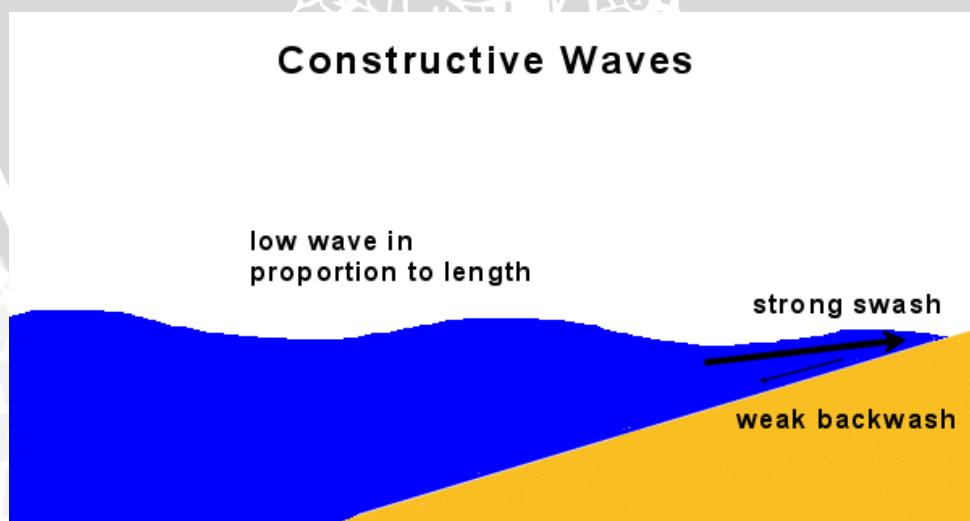


(Sumber: Triatmodjo, 2012)

Gambar 1. Gerak orbit partikel zat cair di laut dangkal, transisi dan dalam

Gelombang yang menjalar menuju pantai dapat bersifat merusak pantai dan pembentuk pantai. Ada dua tipe gelombang yang ditinjau dari sifatnya, yaitu:

1. Gelombang Pembentuk Pantai (*Constructive Wave*), merupakan penjalaran gelombang menuju pantai yang dapat membentuk pantai atau mengendapkan sedimen ke pantai.

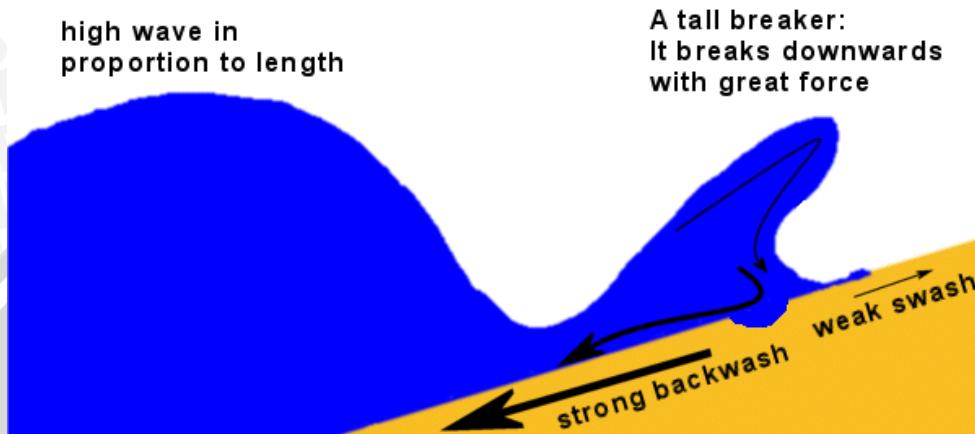


(Sumber : Amdalianto, 2015)

Gambar 2. *Constructive Wave*

2. Gelombang Perusak Pantai (*Destructive Wave*), merupakan pejalaran gelombang menuju pantai yang merusak pantai atau mengangkat sedimen dari pantai, sehingga dapat menyebabkan erosi.

Destructive Waves



(Sumber: Amdaliano, 2015)

Gambar 3. Destructive Wave

2.2 Peramalan Gelombang

Pada peramalan gelombang perlu diketahui nilai H dan periode gelombang (T). Nilai H dan T sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin (U), lama angin berhembus (t_d), dan panjang *fetch* (F). Metode Sverdrup, Munk dan Bretschneider (SMB) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk peramalan gelombang. Pada tahun 1947 Sverdrup dan Munk melakukan peramalan gelombang dengan metode tersebut. Kemudian pada tahun 1950 dilakukan perbaikan pada metode tersebut oleh Bretschneider. Metode SMB menggunakan data *fetch* dan waktu angin berhembus untuk menentukan konstantanya. Data yang sudah diperoleh kemudian diplotkan pada suatu grafik (Pratikto *et al.*, 2000 dalam Sari, 2014).

Menurut Asnawi (2013), parameter yang perlu diketahui dalam peramalan gelombang antara lain:

1. Kecepatan angin rata-rata di permukaan air (U)

Pada umumnya semakin kencang angin yang bertiup maka semakin besar pula gelombang yang terbentuk yang memiliki kecepatan dan panjang gelombang yang besar (Hutabarat and Evans, 1984).

2. Arah angin

Arah angin mempengaruhi peramalan gelombang arah angin dapat dilihat dengan menggunakan mawar angin (Asnawi, 2013).

3. Panjang *fetch* atau pajang daerah pembangkit gelombang (F)

Fetch merupakan panjang daerah pembangkit gelombang pada arah datangnya angin (Asnawi, 2013).

4. Lama angin berhembus (t_d)

Waktu mempengaruhi nilai H , U dan T . dengan meningkatnya waktu maka cenderung untuk mempengaruhi nilai tiga kategori tersebut (Hutabarat and Evans, 1984).

2.2.1 Angin

Angin merupakan suatu proses sirkulasi udara yang sejajar dengan permukaan bumi. Data angin biasanya di sajikan dalam bentuk mawar angin (*wind rose*). Pengukuran angin pada umumnya dilakukan di daratan, sedangkan pada data angin yang digunakan untuk perhitungan pembangkit gelombang adalah data angin di permukaan laut. Maka dari itu diperlukan transformasi data angin di atas daratan ke data angin diatas permukaan laut. Persamaan untuk menghitung data angin diatas permukaan laut sebagai berikut:

$$R_L = \frac{U_W}{U_L} \quad \dots \dots \dots \text{Persamaan (1)}$$

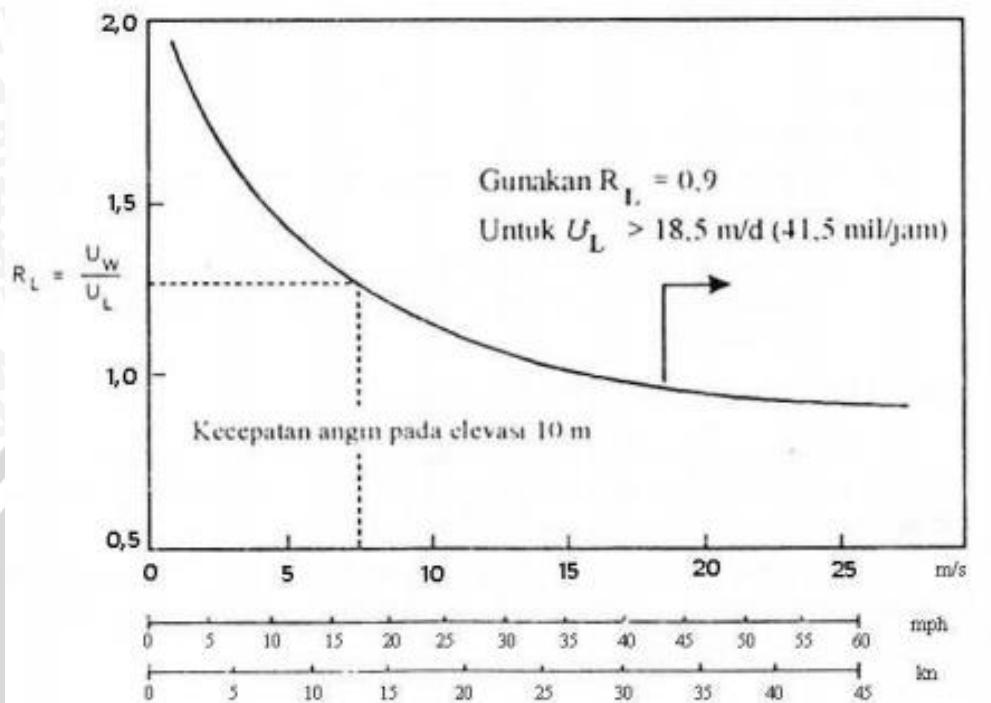
Keterangan:

U_L = Kecepatan angin di darat

U_W = Kecepatan angin di laut



R_L = Tabel korelasi hubungan angin di darat dan laut



(Sumber : Triatmodjo, 2012)
Gambar 4. Korelasi Kecepatan Angin di Darat dan di Laut

Kecepatan angin yang diperoleh dari perhitungan dengan persamaan (1), kemudian dicari tegangan angin (*wind stress factor*) dengan menggunakan persamaan (2) (Triatmodjo, 2012).

$$U_A = 0,71 U^{1,23} \dots \text{Persamaan (2)}$$

Keterangan:

U_A = Faktor tegangan angin

U = Kecepatan angin di terkoreksi

2.2.2 Fetch

Fetch merupakan jarak yang ditempuh oleh angin yang berhembus untuk membangkitkan gelombang dengan kecepatan dan arah yang konstan. Panjang *fetch* untuk pembangkitan gelombang dibatasi oleh daratan yang mengelilingi

pada daerah pembangkitannya, gelombang tidak dibangkitkan oleh arah angin saja, tetapi juga dengan berbagai sudut arah angin. Cara untuk menghitung *fetch* efektif dengan menggunakan persamaan (3) (Triatmodjo, 2012).

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha} \quad \dots \dots \dots \text{Persamaan (3)}$$

Keterangan:

F_{eff} = *Fetch* efektif rata-rata

X_i = Panjang *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*

α = deviasi sudut pada kedua sisi dari arah angin, menggunakan pertambahan sudut 6° sampai 42°

2.3 Kenaikan (*Run up*) Gelombang

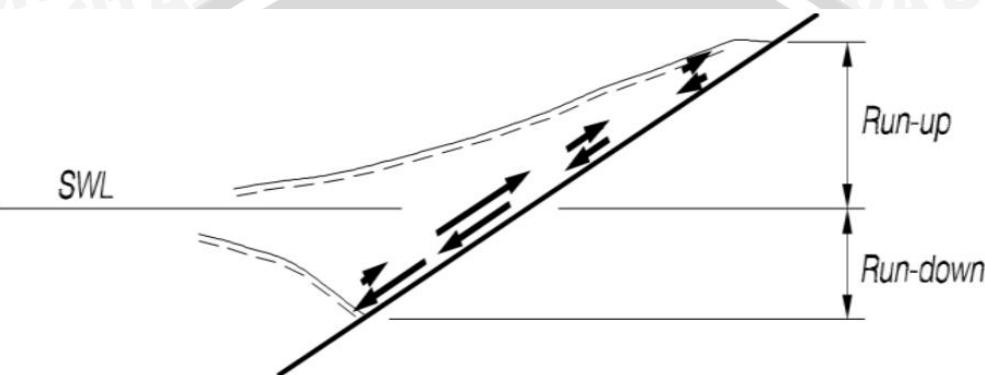
Run up gelombang merupakan nilai ketinggian gelombang maksimal yang diukur secara vertikal yang dapat mengenai struktur pantai dan bangunan pantai. Gelombang yang mencapai pantai akan menghantam pantai atau bangunan pantai pada permukaan bangunan. gelombang yang naik ke pantai atau bangunan pantai disebut sebagai *run up* gelombang atau naiknya gelombang (Triadmodjo, 2012). *Run up* tergantung pada bahan bangunan, struktur dan bentuk yang digunakan. Terdapat dua jenis *run up* gelombang yaitu gelombang *run up* rata-rata dan gelombang *run up* 2%. Gelombang *run up* rata-rata adalah ketinggian *run up* rata-rata (R) untuk semua gelombang dari hasil pengamatan di lapangan. Gelombang *run up* 2% ($R_{2\%}$) merupakan ketinggian *run up* yang dihitung hanya 25 data dari semua data gelombang hasil pengamatan (Hariati, 2013).

Ketinggian *run up* gelombang dipengaruhi oleh adanya kenaikan tinggi muka air laut, pendangkalan pantai dan kondisi fisik bangunan pantai. Jika elevasi muka air laut semakin naik, maka nilai *run up* gelombang akan semakin



tinggi. Jika sering terjadi *run up* gelombang pada bangunan pantai maka bangunan tersebut akan mengalami kerusakan (Asnawi, 2013).

Gelombang yang telah mengalai *run up* maka akan mengalami *run down*. *Run down* merupakan penurunan gelombang yang mengenai pantai atau bangunan pantai. *Run down* berfungsi sebagai stabilitas pantai dan bangunan pantai (Refi, 2013).



(Sumber : Refi, 2013)

Gambar 5. Ilustrasi *Run up* dan *Run Down* Gelombang

2.4 Limpasan (*Overtopping*) Gelombang

Overtopping merupakan meningkatnya ketinggian gelombang yang menabrak bangunan pantai dan dapat melewati bangunan tersebut. *Overtopping* gelombang pada suatu bangunan pelindung pantai dapat diijinkan terjadi dan tidak diijinkan terjadi tergantung dari tipe struktur bangunan pantai yang dikenai. Pada umumnya *overtopping* yang berlebihan dapat mengakibatkan terjadinya erosi pada sistem bangunan pantai yang mengakibatkan terjadi kerusakan pada struktur bangunan (Amdaliano, 2015). *Overtopping* yang dikehendaki seperti bangunan *breakwater*, *groin* dan *jetty* tidak menjadi indikasi dalam memperkecil struktur bangunan, namun berfungsi sebagai mengatur pola transformasi sedimen yang terjadi di suatu perairan.

2.5 Pasang Surut

Perairan laut selalu mengalami pergerakan naik turun sesuai dengan siklus pasang surut. Peristiwa naiknya air laut pada ketinggian maksimum dinamakan *high water*, sedangkan ketinggian minimum pada perairan laut disebut *low water*. Perbedaan ketinggian permukaan laut antara tinggi maksimum dan minimum disebut *tidal range* (Hutabarat and Evans, 1984). Terdapat dua siklus pasang surut yang dipengaruhi oleh gaya tarik bulan dan fase bulan. Pada saat bulan baru dan bulan penuh terjadi pasang dengan ketinggian maksimum yang disebut *spring tide*. Saat terjadi perempatan bulan pertama dan perempatan bulan ketiga terjadi pasang dengan tinggi minimum yang disebut *neap tide*.

2.5.1 Tipe Pasang Surut

Pasang surut dapat dibedakan menjadi empat tipe, yaitu tipe *diurnal tide* (pasang surut harian tunggal), *semi diurnal tide* (pasang surut harian ganda) dan dua tipe pasang surut campuran (Triyatmodjo, 2012).

1. *Diurnal tide* (pasang surut harian tunggal)

Dalam satu hari terjadi pasang satu kali dan surut satu kali. Periode pasang surut yaitu 24 jam 50 menit.

2. *Semi diurnal tide* (Pasang surut harian ganda)

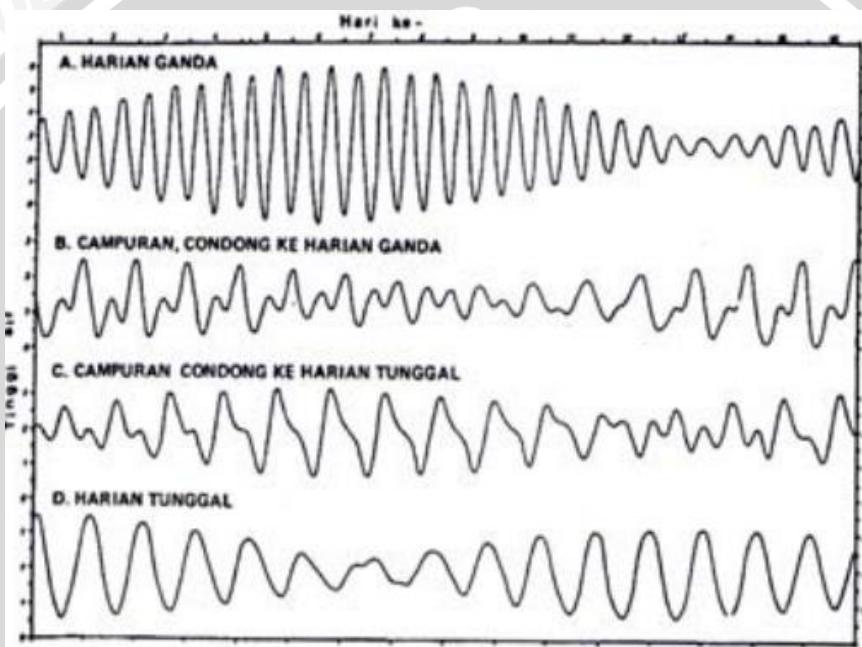
Dalam satu hari terjadi pasang dua kali dan surut dua kali, yang terjadi secara berurutan dan teratur. Periode rata-rata pasang surut tipe ini adalah 12 jam 24 menit.

3. *Mixed tide prevailing diurnal* (pasang surut campuran condong ke harian tunggal)

Dalam satu hari terjadi pasang satu kali dan surut satu kali, terkadang dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang berbeda.

4. *Mixed tide prevailing semi diurnal* (pasang surut campuran condong ke harian ganda)

Dalam satu hari terjadi pasang dua kali dan surut dua kali dengan tinggi dan periode yang berbeda.



(Sumber: Lisnawati et al., 2013)

Gambar 6. Tipe Pasang Surut

2.5.2 Komponen Pasang Surut

Pasang surut mempunyai beberapa komponen. Komponen-komponen tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Komponen Pasang Surut

Nama Komponen	Simbol	Frekuensi (deg/jam)	Periode (jam)
Tengah Harian (<i>Semi-diurnal</i>):			
- <i>Principal lunar</i>	M_2	28,98	12,42
- <i>Principal solar</i>	S_2	30,00	12,00
- <i>Large lunar elliptic</i>	N_2	28,44	12,66

Nama Komponen	Simbol	Frekuensi (deg/jam)	Periode (jam)
- <i>Lunar-solar</i>	K_2	30,08	11,97
<i>Semi diurnal Harian (diurnal):</i>			
- <i>Lunar-solar diurnal</i>	K_1	15,04	23,94
- <i>Principal lunar diurnal</i>	O_1	13,94	25,82
- <i>Principal solar diurnal</i>	P_1	14,96	24,06
- <i>Large lunar elliptic</i>	Q_1	13,40	26,87
<i>Periode Panjang (long period):</i>			
- <i>Lunar fortnightly</i>	M_r	1,1	327,86
- <i>Lunar monthly</i>	M_m	0,54	661,31
- <i>Solar semi-diurnal</i>	S_{sa}	0,08	4382,80
Komponen laut dangkal	M_4	57,97	6,21
	MS_4	58,98	6,10

(Sumber: Lisnawati et al., 2013)

Penjelasan mengenai komponen-komponen pasang surut pada Tabel 1, antara lain:

1. *Principal lunar* (M_2), yaitu komponen pasang surut *semi diurnal* yang dipengaruhi oleh gaya tarik bulan.
2. *Principal solar* (S_2), yaitu komponen pasang surut *semi diurnal* yang dipengaruhi oleh gaya tarik matahari.
3. *Large lunar elliptic* (N_2), yaitu komponen pasang surut *semi diurnal* yang dipengaruhi oleh bentuk bulan.
4. *Lunar-solar* (K_2), yaitu komponen pasang surut *semi diurnal* yang dipengaruhi oleh gaya tarik antara bulan dan matahari.
5. *Lunar-solar diurnal* (K_1), yaitu komponen pasang surut *diurnal* yang dipengaruhi oleh gaya tarik antara bulan dan matahari.
6. *Principal lunar diurnal* (O_1), yaitu komponen pasang surut *diurnal* yang dipengaruhi oleh gaya tarik bulan.

7. *Principal solar diurnal* (P_1), yaitu komponen pasang surut *diurnal* yang dipengaruhi oleh gaya tarik antara bulan dan matahari.
8. *Large lunar elliptic* (Q_1), yaitu komponen pasang surut *diurnal* yang dipengaruhi oleh bentuk bulan.
9. *Lunar fortnightly* (M_r), yaitu komponen pasang surut yang dipengaruhi oleh bulan berumur 2 minggu.
10. *Lunar monthly* (M_m), yaitu komponen pasang surut yang dipengaruhi oleh bulan berumur 1 bulan.
11. *Solar semi-diurnal* (S_{sa}), yaitu komponen pasang surut *semi diurnal* yang dipengaruhi oleh matahari.
12. Komponen laut dangkal (M_4 dan MS_4), yaitu komponen pasang surut yang dipengaruhi oleh kondisi perairan yang dangkal.

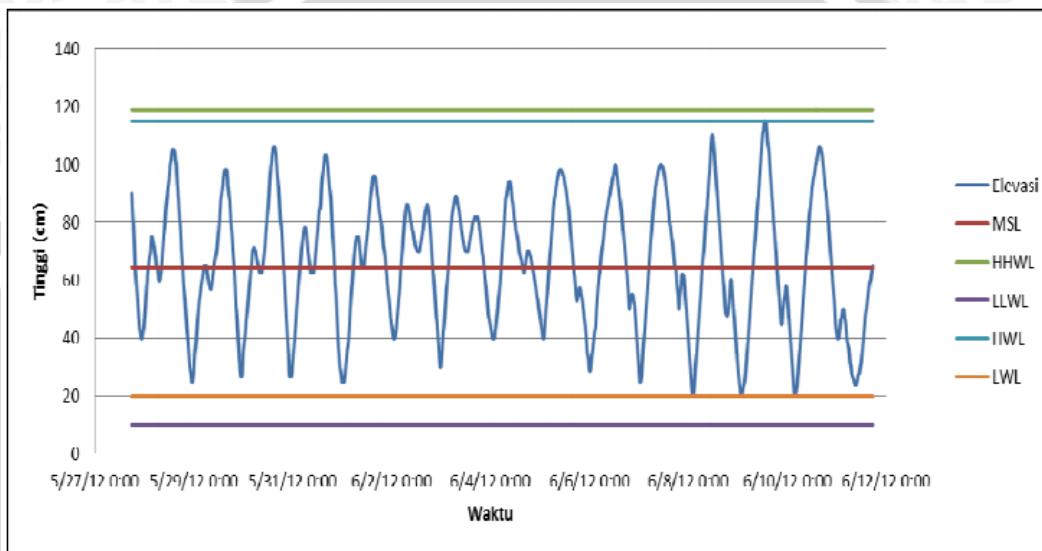
2.5.3 Elevasi Pasang Surut

Elevasi pasang surut selalu mengalami perubahan setiap waktu. Kondisi elevasi pasang surut dipengaruhi oleh adanya pasang surut air laut. Menurut (Triatmodjo, 2012), berdasarkan ketetapan data pasang surut diperoleh data elevasi pasang surut sebagai berikut:

1. *High Water Level* (HWL) adalah muka air tertinggi yang terjadi pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut.
2. *Low Water Level* (LWL), adalah muka air terendah pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut.
3. *Mean High Water Level* (MHWL) adalah rata-rata air laut tertinggi selama periode 19 tahun.
4. *Mean Low Water Level* (MLWL) adalah rata-rata air laut terendah selama periode 19 tahun



5. *Mean Sea Level* (MSL) adalah ketinggian rata-rata muka air laut antara muka air laut tertinggi rata-rata dan muka air laut terendah rata-rata.
6. *Highest High Water Level* (HHWL) adalah muka air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
7. *Lowest Low Water Level* (LLWL) adalah muka air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.



(Sumber: Ariani et al., 2013)
Gambar 7. Contoh Elevasi Muka Air Laut

2.4 Bangunan Pelindung Pantai

Bangunan pelindung pantai merupakan bangunan suatu bangunan yang digunakan untuk mengurangi adanya kerusakan pantai akibat pengaruh gelombang dan arus. Berdasarkan fungsinya bangunan pelindung pantai diklasifikasikan menjadi 3 kelompok, antara lain (Triatmodjo, 2012):

1. Bangunan pelindung pantai sejajar dengan garis pantai.
2. Bangunan pelindung pantai tegak lurus dan sambung dengan pantai.
3. Bangunan pelindung pantai berada di lepas pantai dan sejajar dengan garis pantai.

Bangunan pelindung pantai memiliki beberapa jenis, seperti pemecah gelombang (Triatmodjo, 2012). Adapun jenis-jenis dari bangunan pelindung pantai, antara lain:

1. *Jetty*

Jetty adalah bangunan pelindung pantai yang berfungsi untuk melindungi muara sungai dari pelebaran atau menyempitan mulut sungai. Berdasarkan fungsinya terdapat 3 jenis *jetty*, antara lain:

a. *Jetty* panjang

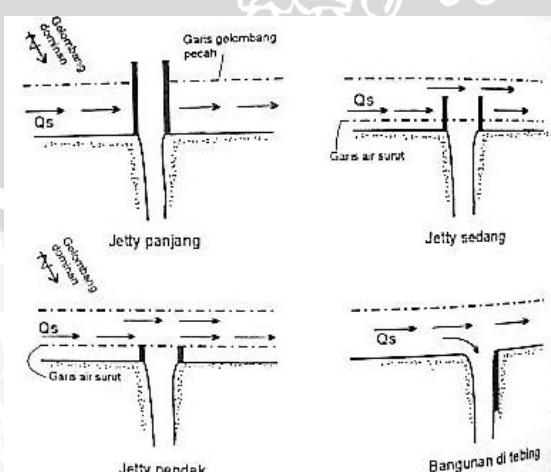
Jetty panjang ujungnya berada diluar gelombang pecah, tipe ini efektif digunakan untuk menghalangi sedimen yang masuk ke muara sungai.

b. *Jetty* sedang

Jetty sedang ujungnya berada di antara daerah LWL dan lokasi gelombang pecah, berfungsi untuk menahan transport sedimen ke muara sungai.

c. *Jetty* pendek

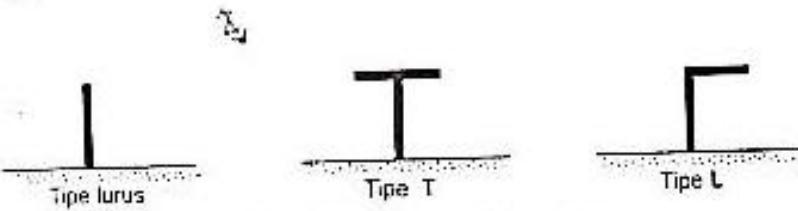
Jetty pendek ujungnya berada pada LWL, berfungsi untuk menahan muara sungai agar tidak berbelok dan mengatur aliran air pada alur yang ditetapkan untuk mengerosi endapan.



Gambar 8. Jenis *Jetty*

2. Groin

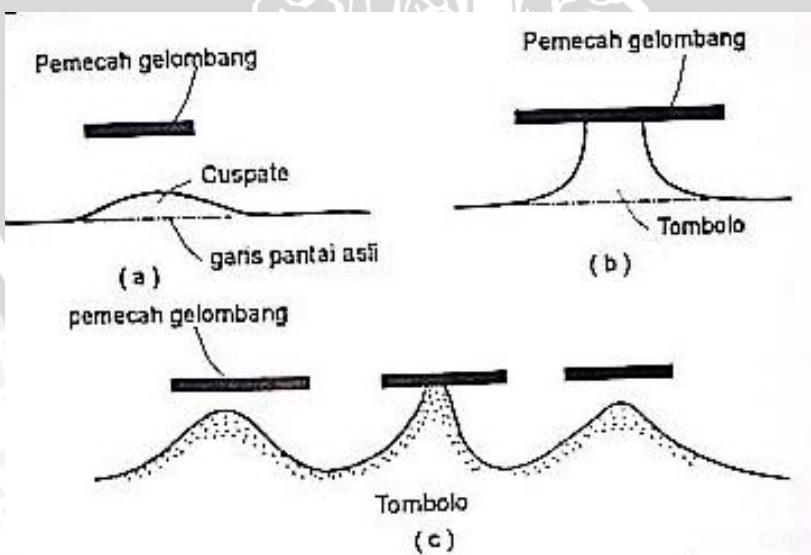
Groin merupakan bangunan pelindung pantai yang berfungsi untuk mengurangi terjadinya erosi atau sedimentasi pada pantai. Bangunan *groin* berbentuk tegak lurus terhadap garis pantai.



Gambar 9. Tipe Groin

3. Pemecah Gelombang

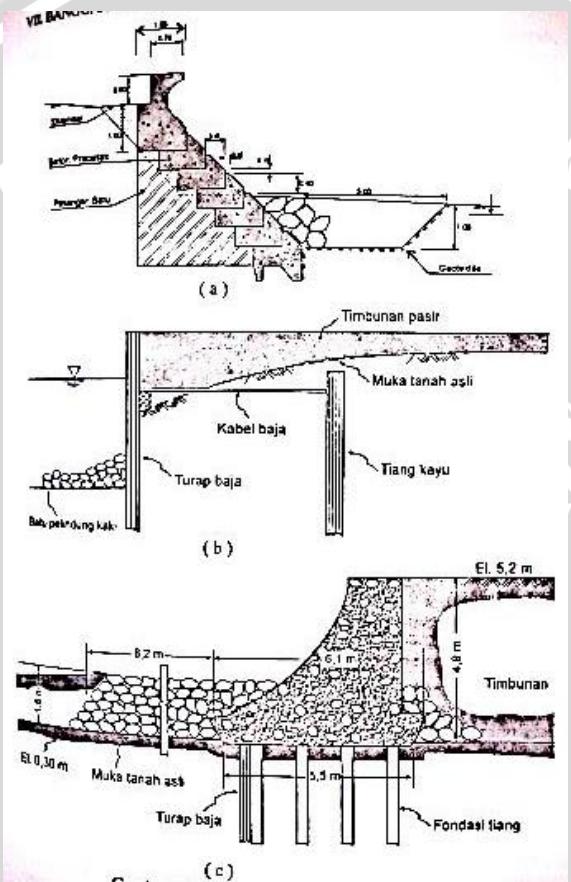
Pemecah gelombang merupakan suatu bangunan pantai yang berguna untuk melindungi pantai dari gangguan gelombang. Terdapat dua jenis pemecah gelombang yaitu pemecah gelombang sambung dan lepas pantai. Pemecah gelombang sambung digunakan untuk melindungi pelabuhan dan pemecah gelombang lepas pantai berfungsi untuk melindungi pantai dari erosi.



Gambar 10. Pemecah Gelombang Lepas Pantai

4. Dinding Pantai dan Revetmen

Dinding Pantai merupakan bangunan pelindung pantai yang berguna untuk melindungi pantai dari terjadinya abrasi dan hantaman gelombang yang besar. Bentuk dinding pantai biasanya berupa dinding vertikal dan revetment mempunyai sisi miring. Bangunan tersebut terbuat dari tumpukan pipa beton, kayu dan tumpukan batu.

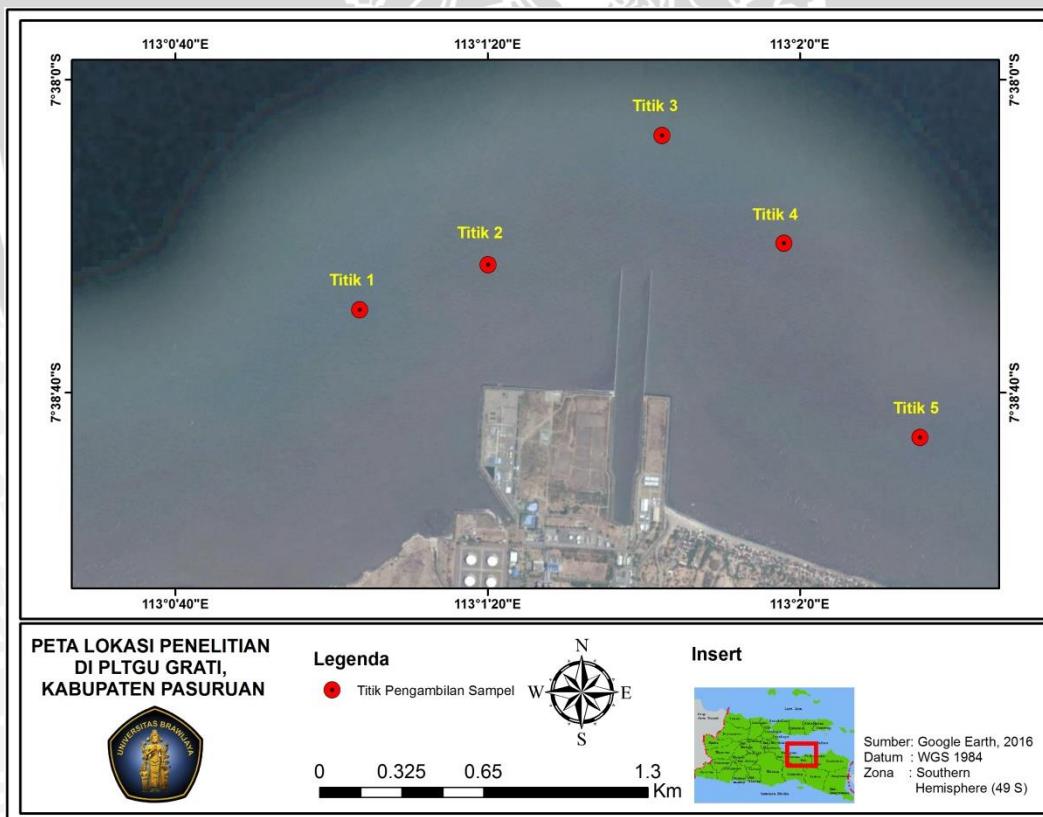


Gambar 11. Contoh Bangunan Dinding Pantai

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di kawasan PLTGU Grati yang terletak di Pantai Pasir Panjang, Kecamatan Lekok, Kabupaten Pasuruan. Terdapat 5 titik lokasi pengamatan, yaitu titik 1 berada pada koordinat -7.646047° LS dan 113.037619° BT, titik 2 berada pada koordinat -7.639143° LS dan 113.032773° BT, titik 3 berada pada koordinat -7.635327° LS dan 113.028426° BT, titik 4 berada pada koordinat -7.639915° LS dan 113.022241° BT, dan titik 5 berada pada koordinat -7.641516° LS dan 113.017672° BT. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 11. Pengambilan data untuk pengukuran gelombang dan kondisi bangunan pantai dilaksanakan pada tanggal 29 Februari sampai 3 Maret 2016.



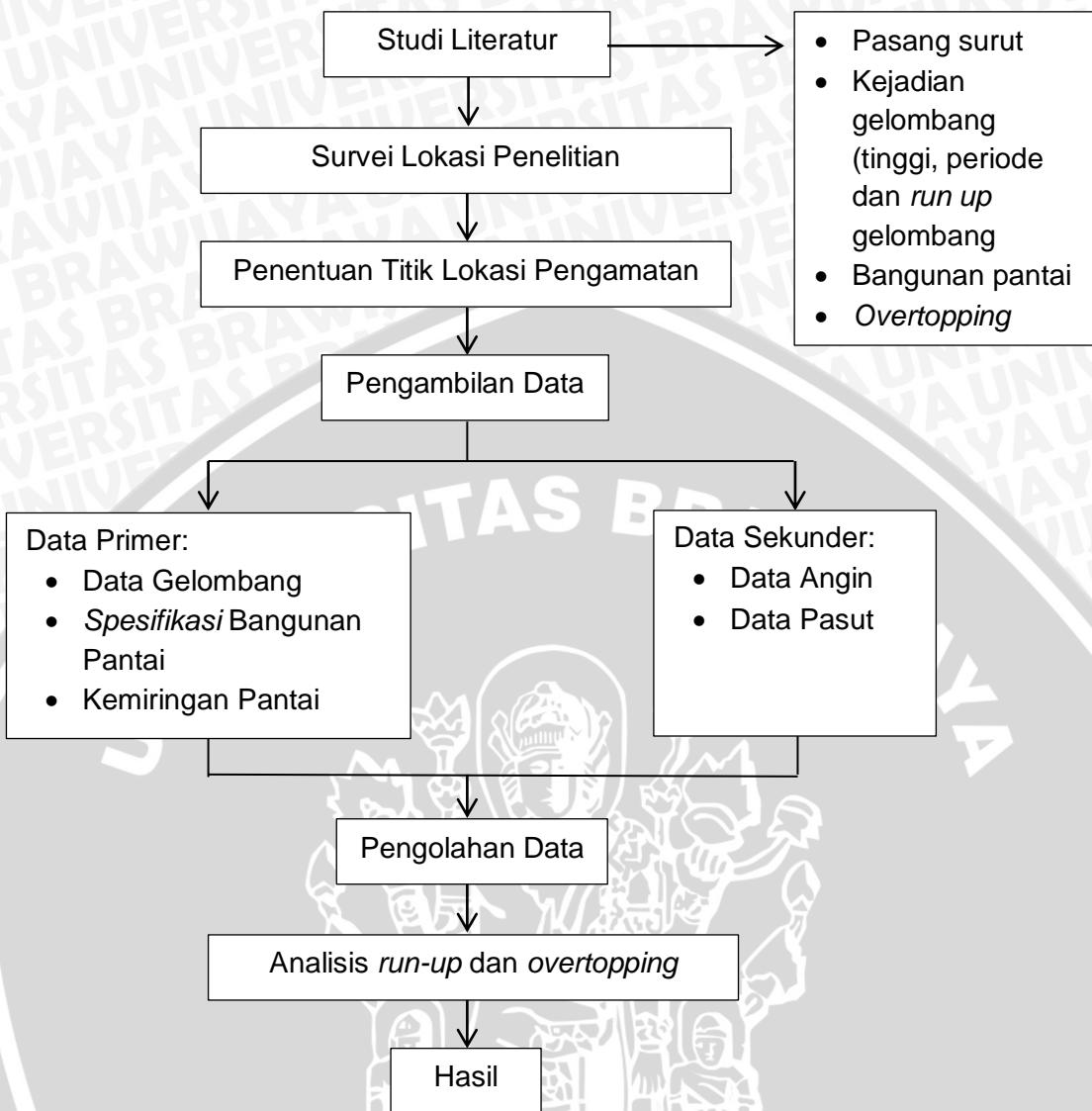
Gambar 12. Lokasi Pengambilan Sampel

3.2 Prosedur Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan (Gambar 13). Tahap awal pada prosedur penelitian dilakukan Tahap awal pada prosedur penelitian yaitu studi literatur untuk pengkayaan materi kajian. Kemudian dilakukan survei pendahuluan untuk menentukan lokasi penelitian.. Setelah penentuan lokasi, kemudian ditentukan titik pengamatan. Titik pengamatan menggunakan metode *purposive sampling*, yaitu pemilihan titik lokasi penelitian dengan menggunakan alasan atau kriteria tertentu dari peneliti. Peneliti menggunakan 5 titik pengamatan untuk melihat perbedaan H dan T dari setiap titik pengamatan akibat pengaruh adanya bangunan pantai dan kedalaman pantai Titik 1 dan 2 merupakan titik pengamatan yang mewakili kondisi gelombang di sebelah barat bangunan pantai, titik 3 merupakan titik pengamatan yang mewakili kondisi gelombang secara tegak lurus dari bangunan pantai serta titik 4 dan 5 merupakan titik pengamatan yang mewakili kondisi gelombang di sebelah timur bangunan pantai.

Tahapan selanjutnya adalah pengambilan data dari titik lokasi pengamatan, berupa data gelombang, spesifikasi bangunan pantai dan kemiringan pantai. Selain data dari lokasi pengamatan juga terdapat data angin dan pasang surut sebagai data penunjang. Data yang sudah diperoleh kemudian diolah untuk menghitung nilai *run up* gelombang dan *overtopping*. Hasil yang ingin diperoleh adalah nilai *run up* gelombang dan *overtopping*.





Gambar 13. Prosedur Penelitian

3.3 Materi Penelitian

Materi yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari dua data, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung dari sumber atau objek yang diteliti, diamati dan dicatat untuk pertama kali oleh peneliti. Data sekunder adalah sumber data yang diperoleh bukan dari peneliti secara langsung, data sekunder dapat diperoleh dari instansi, majalah, analisis literatur bahkan pihak lain (Marzuki, 1983).



3.3.1 Data Primer

Pada penelitian ini data primer berupa data gelombang, data *spesifikasi* bangunan pantai, dan data kemiringan pantai. Data gelombang digunakan untuk menentukan H dan T di Pantai Pasir Panjang, Pasuruan. Pengukuran *spesifikasi* bangunan pantai digunakan untuk menghitung ketinggian, panjang dan lebar dari bangunan pantai. Data kemiringan pantai digunakan untuk melihat kelandaian Pantai Pasir Panjang, Pasuruan.

3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder yang digunakan berupa data angin dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) dan data pasang surut. Data angin digunakan untuk melihat kondisi gelombang dominan dan arah angin pembentuk gelombang di Pantai Pasir panjang, Pasuruan. Data pasang surut digunakan untuk melihat tipe pasang surut di perairan pantai Pasir Panjang, Pasuruan.

3.4 Metode Pengambilan Data

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif, yaitu metode penelitian yang menggunakan angka dan analisis secara statistik (Marzuki, 1983). Teknik pengambilan data di lapangan dilakukan secara *purposive sampling*. Pada pengumpulan data menggunakan alat untuk membantu penelitian. Adapun alat-alat yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini, dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Alat yang digunakan dalam penelitian

No.	Nama Alat	Tipe	Kegunaan	Satuan
1	Tongkat Skala (Palem Gelombang)	-	mengukur H dan kedalaman perairan	Cm
2	<i>Roll Meter</i>	-	mengukur <i>spesifikasi breakwater</i> dan kemiringan	M

No.	Nama Alat	Tipe	Kegunaan	Satuan
3	Stopwacth	Versi 1.34	pantai menghitung T	detik
4	Kompas	Versi 1.8.8	melihat arah arah angin dan sudut kedadangannya	(°)
5	GPS	Garmin Oregon 550	menentukan titik koordinat pengambilan data gelombang	(°)
6	Software Wr-Plot	Versi 7.0.0	untuk mengolah data angin	m/s atau knots

Adapun bahan yang digunakan sebagai penunjang dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Bahan yang digunakan

No.	Nama Bahan	Kegunaan	Sumber	Keterangan
1	Data angin dari ECMWF	untuk peramalan gelombang	ECMWF	Resolusi 0.125 m
2	Data Pasang Surut	melihat nilai pasang surut dan amplitudonya	BMKG Perak	-

3.4.1 Pengukuran Gelombang

Gelombang di ukur dengan menggunakan tongkat skala atau palem gelombang yang diletakkan pada titik pengamatan. Titik pengamatan ditentukan dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS) dan mempertimbangkan kondisi perairan Pantai Pasir Panjang yang dapat mewakili kondisi gelombang di lokasi tersebut. Pengukuran Gelombang dilakukan selama 3 hari dan tiap hari dilakukan pengukuran sebanyak 3 kali yaitu pada pukul 07:00, 12:00 dan 17:00 WIB, dengan selang waktu tiap pengukuran 20 menit (Dewi *et al.*, 2015). Waktu pengukuran gelombang dicatat dengan menggunakan *stopwatch*. Pengamatan pengukuran gelombang berupa nilai H dan T . H diperoleh dari perhitungan selisih nilai puncak gelombang dan lembah gelombang. T diperoleh dari waktu tempuh gelombang dari puncak gelombang sampai ke puncak berikutnya (Hidayat *et al.*, 2013).

3.4.2 Pengambilan Data Angin

Pada penelitian ini data angin diperoleh dari ECMWF yang diunduh melalui alamat web <http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/>. Data angin yang telah diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Angin dari ECMWF

No.	Tahun	Nama Data	Sumber Data	Resolusi
1	2006	_grib2netcdf-atls0195e2f679cd58ee9b4db 4dd119a05a8d-PHuXAW.nc	ECMWF	0.125 x 0.125
2	2007	_gribnetcdf-atls1995e2ef679cd58ee9b4db 4dd119a05a8d-IZdqQD.nc	ECMWF	0.125 x 0.125
3	2008	_gribnetcdf-atls2095e2ef679cd58ee9b4db 4dd119a05a8d-JwQppU.nc	ECMWF	0.125 x 0.125
4	2009	_gribnetcdf-atls1795e2ef679cd58ee9b4db 4dd119a05a8d-mOJy5T.nc	ECMWF	0.125 x 0.125
5	2010	_gribnetcdf-atls10-95e2cf679cd8ee9b4db 4dd119a05a8d-L1GDZO.nc	ECMWF	0.125 x 0.125
6	2011	-gribnetcdf-atls21-95e2cf679cd8ee9b4db 4dd119a05a8d-WLUm_s.nc	ECMWF	0.125 x 0.125
7	2012	_gribnetcdf-atls20-95e2cf679cd8ee9b4db 4dd119a05a8d-cbSZT1.nc	ECMWF	0.125 x 0.125
8	2013	_gribnetcdf-atls11-95e2cf679cd8ee9b4db 4dd119a05a8d-KWzm1O.nc	ECMWF	0.125 x 0.125
9	2014	_gribnetcdf-atls10-95e2cf679cd8ee9b4db 4dd119a05a8d-MhLD2r.nc	ECMWF	0.125 x 0.125
10	2015	_grib2netcdf-atls095e2cf679cd58ee9b4db 4dd119a05a8d-FHDtjD.nc	ECMWF	0.125 x 0.125

3.4.3 Pengukuran Kemiringan Pantai

Kemiringan pantai diukur dengan menggunakan menggunakan *roll* meter dan tongkat ukur. *Roll* meter dibentangkan sepanjang 10 – 25 meter pada permukaan air laut, pada titik di panjang 25 meter dilakukan pengukuran kedalaman pantai. Kemudian kemiringan pantai dihitung dengan menggunakan rumus *phytagoras*. Pengukuran kemiringan pantai dilakukan pada 4 titik pengamatan dengan jarak tiap titik sepanjang 250 meter. Titik-titik pengamatan tersebut diasumsikan dapat mewakili kemiringan pantai pada lokasi tersebut. (Triatmodjo, 2012).

3.4.4 Pengukuran Spesifikasi Bangunan Pantai

Pengukuran bangunan pantai secara spesifik dilakukan dengan menggunakan *roll* meter dan tongkat ukur. Pengukuran dilakukan dengan menghitung panjang sisi miring pada bangunan pantai, ketinggian bangunan pantai dari dasar hingga puncaknya, lebar keseluruhan *breakwater* (Fahmi *et al.*, 2015).

3.5 Metode Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh, selanjutnya diolah dengan menggunakan metode yang sudah ditentukan. Metode analisa data angin menggunakan metode SMB, pasang surut dengan Metode Admiralty, *run-up* persamaan *Iribaren* dan *overtopping* dengan pendekatan *Saville*.

3.5.1 Pengolahan Data Gelombang

Data gelombang yang diperoleh dari lokasi penelitian diolah dengan untuk mendapatkan nilai tinggi gelombang signifikan (H_s) dan periode signifikan (T_s). Menurut Triatmodjo (2012), persamaan perhitungan H_s dan T_s sebagai berikut:

$$n = 33,33\% \times \text{jumlah data} \quad \dots \dots \dots \text{Persamaan (4)}$$

$$H_s = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{n} \quad \dots \dots \dots \text{Persamaan (5)}$$

$$T_s = \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_n}{n} \quad \dots \dots \dots \text{Persamaan (6)}$$

3.5.2 Pengolahan Peramalan Gelombang dari Data Angin

Data angin digunakan untuk melihat gelombang dominan dan arah angin pembentuk gelombang. Pada penelitian ini data angin dikonversikan untuk melakukan peramalan gelombang. Metode peramalan gelombang menggunakan metode SMB. Menurut Hidayat *et al.* (2013), prosedur kerja dari metode SMB, sebagai berikut:



1. Menghitung nilai panjang *fetch*,
2. Menghitung nilai kecepatan angin pada ketinggian 10 meter (U_{10}), kecepatan angin yang ada di laut (U_w), dan menghitung koefisien gesek (U_A)
3. Menghitung waktu atau durasi kecepatan angin (U_A)
4. Menghitung nilai *fetch* minimum dan maksimum
5. Menghitung nilai H_s dan T_s

3.5.3 Verifikasi Data Gelombang Lapang dengan Data Hasil Peramalan Gelombang

Verifikasi data gelombang dan data angin adalah perbandingan antara kedua data tersebut. Pada penelitian ini data gelombang terdiri dari nilai H dan T yang diperoleh dari pengukuran secara langsung dan peramalan gelombang. Menurut Diposaptono dan Budiman (2006) dalam Ariani *et al.* (2013), verifikasi dari suatu data dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$RE = \frac{|X-C|}{C} \times 100\% \quad \dots \dots \text{Persamaan (7)}$$

Keterangan:

RE = Kesalahan Relatif (Relative error)

X = Data lapangan

C = Data hasil simulasi

Menurut Fathohah *et al.*, 2015 kategori nilai RE, sebagai berikut:

- Jika nilai RE kurang dari 50%, maka data hasil perhitungan dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.
- Jika nilai RE lebih dari 50%, maka data hasil perhitungan tidak dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya.

3.5.4 Pengolahan Data Pasut

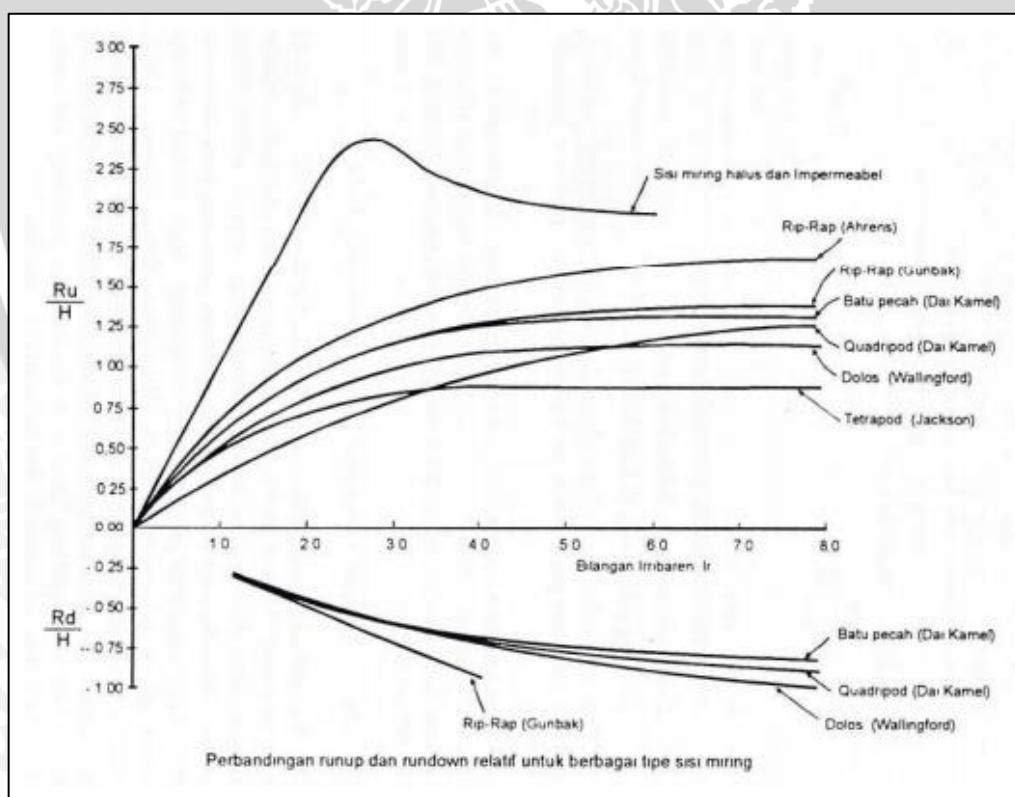
Data pasang surut diolah dengan menggunakan metode admiralty.

Metode admiralty merupakan metode analisa pasang surut untuk menghitung dua kosntanta harmonik pasang surut berupa amplitudo dan keterlambatan fase (Lisnawati *et al.*, 2013) dan perhitungan pasang surut 15 atau 29 piantan (Ongkosongo dan Suyarso, 1989). Amplitudo berupa nilai dari A , M_2 , S_2 , K_1 , O_1 , N_2 , K_2 , P_1 , dan M_4 .

3.5.5 Perhitungan Kenaikan (*Run Up*) Gelombang

Perhitungan *run-up* gelombang menggunakan persamaan *Iribaren* (Triatmodjo, 2012). Adapun persamaan *Iribaren* sebagai berikut:

$$Ir = \frac{tg \theta}{\left(\frac{H}{L_0}\right)^{0,5}} \quad \dots \dots \dots \text{Persamaan (8)}$$



(Sumber: Triatmodjo, 2012)

Gambar 14. Grafik *run up* gelombang

Keterangan:

I_r = bilangan irribaren

- θ = sudut kemiringan sisi pemecah gelombang
 H = tinggi gelombang dilokasi bangunan
 L_o = panjang gelombang dilaut dalam
- Tahapan perhitungan dari *run-up* gelombang sebagai berikut (Fahmi *et al.*, 2015):

1. Nilai H dan T digunakan untuk penetuan kondisi dari pemecah gelombang, berupa nilai dari koefisien refraksi, pendangkalan dan kondisi gelombang pecah.
2. Melakukan pengukuran nilai H pada lokasi pemecah gelombang
3. Menghitung bilangan *irribaren*
4. Menghitung nilai *run-up* dengan table *run-up*
5. Nilai *run-up* di ukur dari MSL pada *spesifikasi* bangunan pantai.

3.5.6 Perhitungan Limpasan (*Overtopping*) Gelombang

Perhitungan *overtopping* menggunakan pendekatan Saville, sama dengan perhitungan *run-up* (Ariani *et al.*, 2013). Nilai *overtopping* diperoleh dari hasil perhitungan *run-up* gelombang. cara kerja dalam perhitungan *overtopping* sebagai berikut (Fahmi *et al.*, 2015):

1. Nilai *run-up* dari hasil perhitungan
2. Persamaan perhitungan *overtopping*, yaitu:

$$(h - ds) < R \quad \dots \dots \dots \text{Persamaan (9)}$$

Keterangan:

h = tinggi bangunan pemecah gelombang

d_s = kedalaman dasar kaki bangunan pemecah gelombang

R = nilai *run-up* gelombang

3. Nilai *overtopping* yang sudah diperoleh, kemudian dilihat berdasarkan kategori sebagai berikut:



- jika nilai $(h-d_s) > R$, maka kategori *non-overtopping*
- jika nilai $(h-d_s) < R$, maka kategori *overtopping*



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Pengukuran Gelombang Permukaan di Lapang

Pada penelitian ini terdapat 5 titik lokasi pengambilan data. Perhitungan nilai tinggi gelombang menggunakan persamaan 4, 5 dan 6. Hasil perhitungan gelombang yang disajikan dalam bentuk tabel, berisi tentang nilai tinggi gelombang signifikan, gelombang rata-rata, gelombang maksimum dan minimum.

Tabel 6. hasil perhitungan gelombang pada tiap titik pengamatan

No.	Gelombang	Titik 1	Titik 2	Titik 3	Titik 4	Titik 5
1	Tinggi Signifikan (H_s)	0,31 m	0,3 m	0,23 m	0,2 m	0,4 m
2	Tinggi Rata-rata (\bar{H})	0,27 m	0,29 m	0,21 m	0,19 m	0,38 m
3	Tinggi Maksimum (H_{max})	0,33 m	0,31 m	0,25 m	0,2 m	0,41 m
4	Tinggi Minimum (H_{min})	0,22 m	0,28 m	0,19 m	0,16 m	0,35 m
5	Periode Signifikan (T_s)	2,53 s	2,65 s	2,46 s	2,43 s	2,81 s
6	Periode Rata-rata (T)	2,30 s	2,45 s	2,3 s	2,16 s	2,56 s
7	Periode Maksimum (T_{max})	2,58 s	2,72 s	2,54 s	2,47 s	3 s
8	Periode Minimum (T_{min})	2 s	2,11 s	1,98 s	1,74 s	2,2 s
9	Panjang Gelombang (L)	12,78 m	13,95 m	12,12 m	11,91 m	15,57 m
10	Cepat Rambat Gelombang (C)	5,06 m/s	5,27 m/s	4,94 m/s	4,89 m/s	5,54 m/s

Tabel 6 menunjukkan hasil perhitungan tinggi gelombang, periode gelombang, panjang dan cepat rambat gelombang yang berada pada tiap titik pengamatan. Berdasarkan tabel 6, pada titik 1 ketinggian gelombang berkisar antara 0,22-0,33 meter dengan periode antara 2-2,58 detik. Pada Tabel 6 juga ditunjukkan bahwa hasil dari perhitungan panjang gelombang antara 8,12-13,31meter. Nilai tinggi gelombang signifikan sebesar 0,31 meter dengan periode 3,53 detik, dan nilai panjang gelombang sebesar 12,78 meter. Rata-rata tinggi gelombang pada titik 1 adalah 0,27 meter dengan periode 2,3 detik, dan rata-rata



panjang gelombang 10,72 meter. Panjang gelombang pada titik 1 sebesar 12,78 meter dan cepat rambat gelombangnya sebesar 5,06 m/s.

Ketinggian gelombang pada titik 2 berkisar antara 0,28-0,31 meter dengan periode antara 2,17-2,72 detik. Pada Tabel 6 juga ditunjukkan bahwa hasil dari perhitungan panjang gelombang antara 9,52-14,64 meter. Nilai tinggi gelombang signifikan sebesar 0,3 meter dengan periode 2,65 detik, dan nilai panjang gelombang sebesar 13,95 meter. Rata-rata tinggi gelombang pada titik 2 adalah 0,29 meter dengan periode 2,45 detik, dan rata-rata panjang gelombang 12,10 meter. Panjang gelombang pada titik 2 sebesar 13,95 meter dan cepat rambat gelombangnya sebesar 5,27 m/s.

Ketinggian gelombang pada titik 3 berkisar antara 0,19-1,25 meter dengan periode antara 1,98-2,54 detik. Pada Tabel 6 juga ditunjukkan bahwa hasil dari perhitungan panjang gelombang antara 8-12,93 meter. Nilai tinggi gelombang signifikan sebesar 0,23 meter dengan periode 2,46 detik, dan nilai panjang gelombang sebesar 12,12 meter. Rata-rata tinggi gelombang pada titik 3 adalah 0,21 meter dengan periode 2,3 detik, dan rata-rata panjang gelombang 10,67 meter. Panjang gelombang pada titik 3 sebesar 12,12 meter dan cepat rambat gelombangnya sebesar 4,94 m/s.

Ketinggian gelombang pada titik 4 berkisar antara 0,16-0,2 meter dengan periode antara 1,74-2,47 detik. Pada Tabel 6 juga ditunjukkan bahwa hasil dari perhitungan panjang gelombang antara 6,12-12,26 meter. Nilai tinggi gelombang signifikan sebesar 0,2 meter dengan periode 2,43 detik, dan nilai panjang gelombang sebesar 11,91 meter. Rata-rata tinggi gelombang pada titik 4 adalah 0,19 meter dengan periode 2,16 detik, dan rata-rata panjang gelombang 9,40 meter. Panjang gelombang pada titik 4 sebesar 11,91 meter dan cepat rambat gelombangnya sebesar 4,89 m/s.



Pada titik 5 ketinggian gelombang berkisar antara 0,35-0,41 meter dengan periode antara 2,2-3 detik. Pada Tabel 6 juga ditunjukkan bahwa hasil dari perhitungan panjang gelombang antara 9,79-17,41 meter. Nilai tinggi gelombang signifikan sebesar 0,4 meter dengan periode 2,81 detik, dan nilai panjang gelombang sebesar 15,57 meter. Rata-rata tinggi gelombang pada titik 5 adalah 0,38 meter dengan periode 2,56 detik, dan rata-rata panjang gelombang 13,15 meter. Panjang gelombang pada titik 5 sebesar 15,57 meter dan cepat rambat gelombangnya sebesar 5,54 m/s. Dari kelima titik lokasi pengamatan dapat dilihat bahwa nilai tinggi gelombang terendah berada pada titik 4 dan nilai gelombang tertinggi berada pada titik 5.

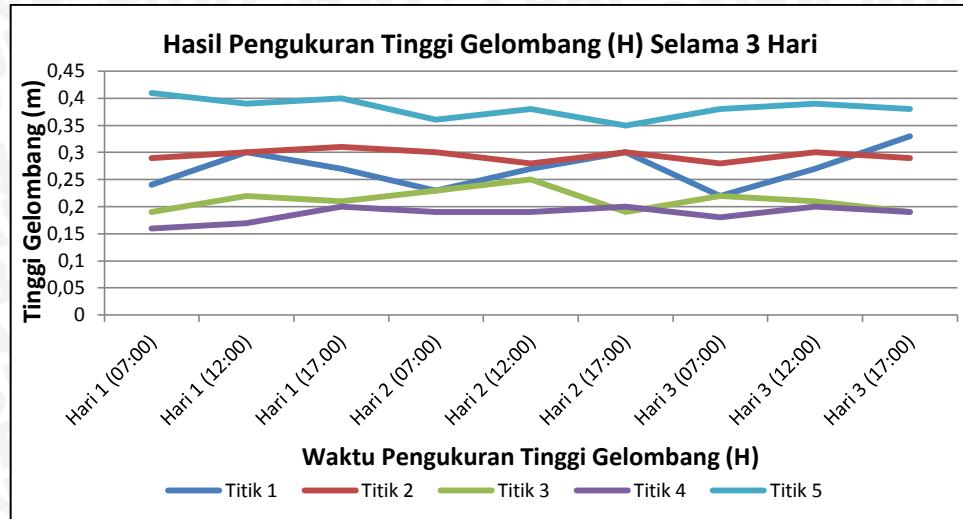
Hasil perhitungan gelombang dari tiap titik lokasi pengamatan diolah menjadi satu data gelombang untuk mengatahui tinggi gelombang representative di perairan pantai Pasir Panjang. Hasil perhitungan tersebut disajikan pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perhitungan Gelombang pada Semua Titik Pengamatan

No.	Gelombang	H (m)	T (detik)	L (m)	C (m/s)
1	Signifikan (H_s)	0,34	2,66	14,09	5,29
2	Rata-rata (\bar{H})	0,27	2,36	11,19	4,75
3	Maksimum (H_{max})	0,41	3	17,41	5,8
4	Minimum (H_{min})	0,16	1,74	6,12	3,52

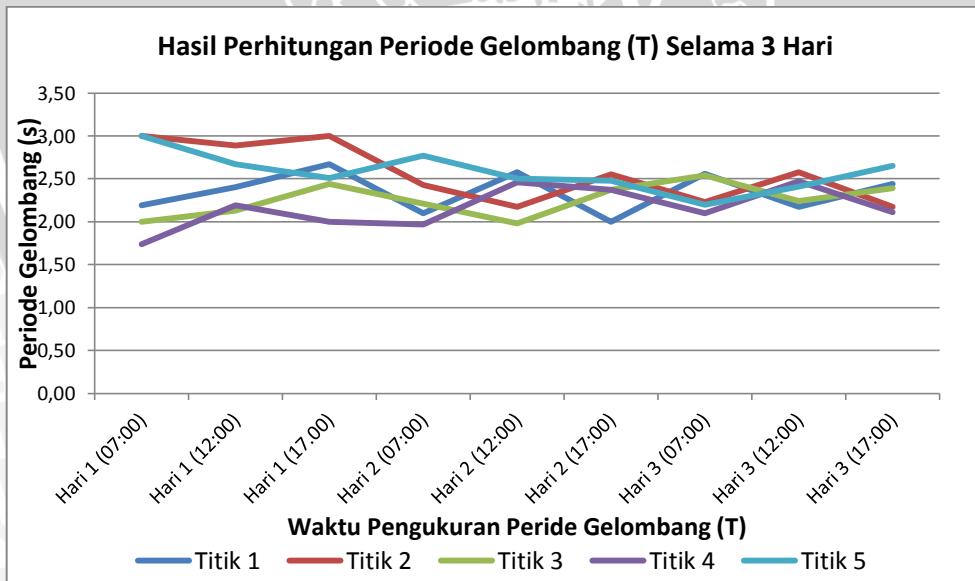
Tabel 7 berisi tentang akumulasi perhitungan H dan T dari semua titik lokasi pengamatan. Pada Tabel 7 ditunjukkan nilai H_s 0,34 meter dengan 2,66 detik. Berdasarkan perhitungan H yang terjadi di sekitar bangunan pantai berkisar antara 0,16-0,41 meter dengan nilai T 1,74-3 detik. Rata-rata H dilokasi tersebut yaitu 0,27 dengan nilai T 2,36 detik. Pada tabel 6 juga ditunjukkan nilai panjang gelombang sebesar 14,09 meter dan cepat rampat gelombang sebesar 5,29 m/s. 7.



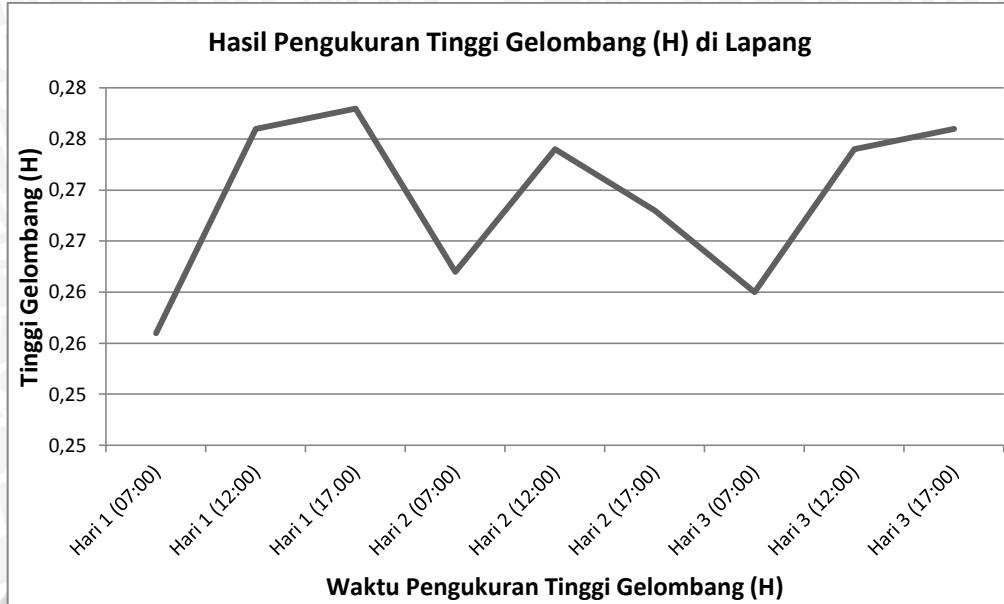


Gambar 15. Grafik Tinggi Gelombang Pada 5 Titik Pengamatan

Gambar 15 menunjukkan bahwa nilai H selama 3 hari yang paling besar terdapat pada titik 5. Hal ini dikarenakan pada titik 5 dipengaruhi kedalaman pantai, sehingga gelombang langsung menghantam pantai dan dipengaruhi oleh nilai refraksi gelombang. Nilai T dapat dilihat pada Gambar 16, yang menunjukkan bahwa nilai T selama 3 hari pengamatan berkisar antara 2-3 detik.

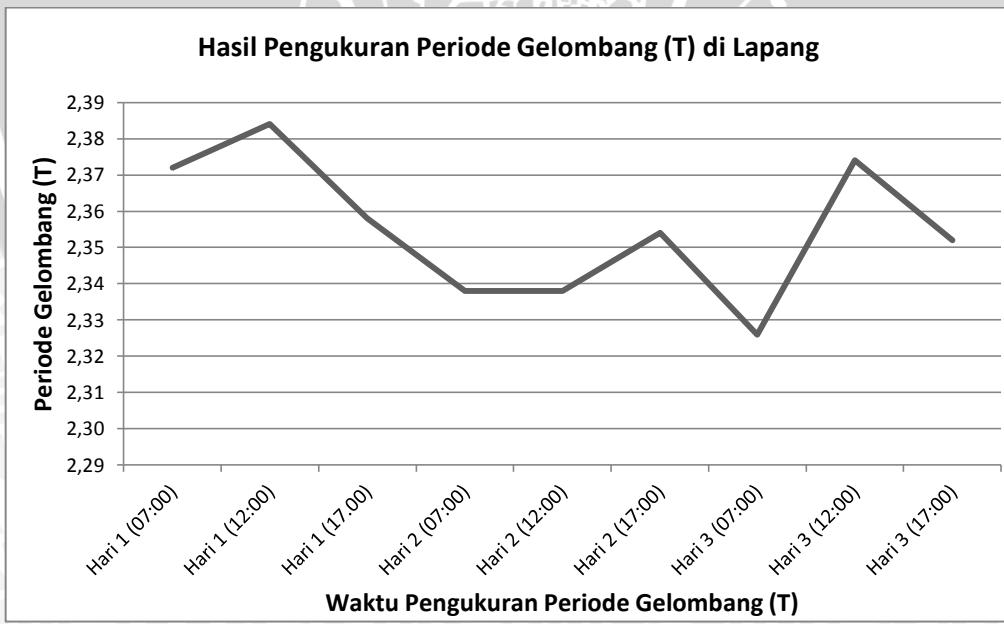


Gambar 16. Grafik Periode Gelombang pada 5 Titik Pengamatan



Gambar 17. Grafik Tinggi Gelombang Selama 3 Hari

Pada Gambar 17 menunjukkan bahwa nilai H lebih besar pada siang hari selama 3 hari pengamatan. Hal ini dipengaruhi oleh angin yang membangkitkan gelombang. Gambar 18 menunjukkan niali T saat pengamatan berada pada kisaran 2-3 detik.

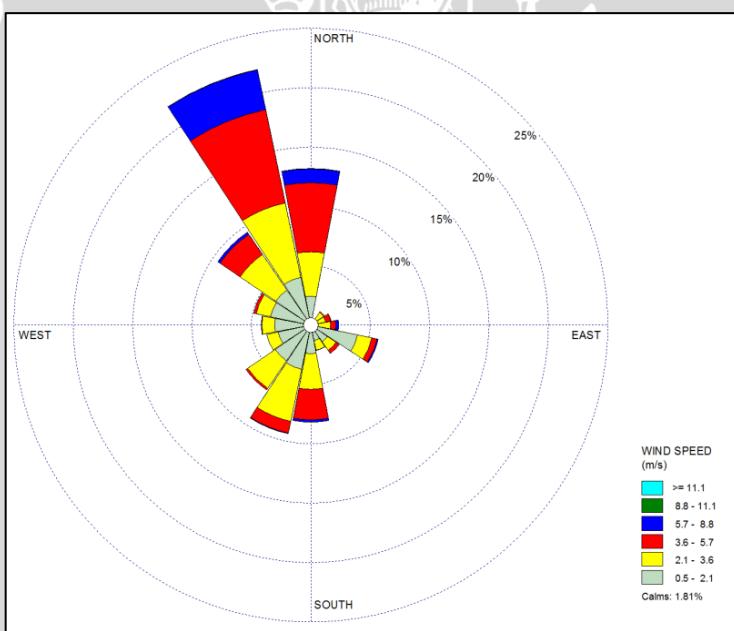


Gambar 18. Grafik Periode Gelombang Selama 3 Hari

4.1.2 Wind rose

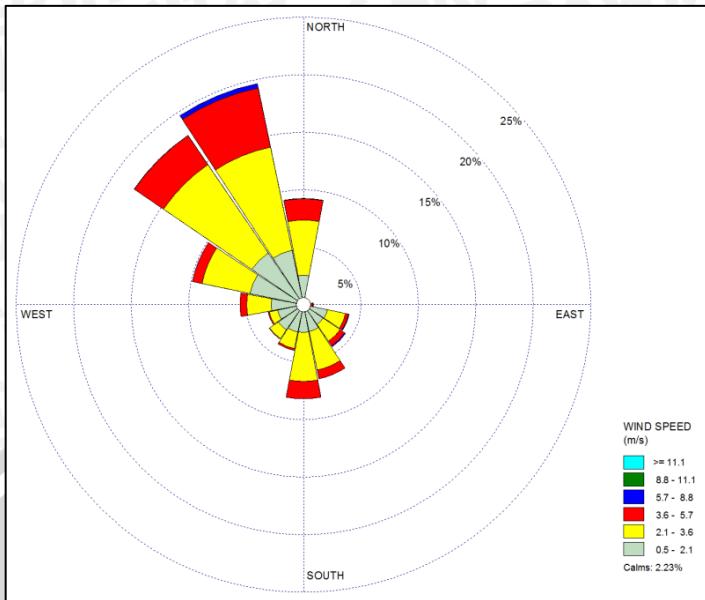
Angin merupakan salah satu faktor pembangkit gelombang di laut. Arah dan kecepatan gelombang dipengaruhi oleh arah dan kecepatan angin. Pada penelitian ini, arah dan kecepatan angin dapat dilihat pada diagram *wind rose* (mawar angin). Data angin diperoleh dari ECMWF selama 10 tahun, kemudian diolah dan dihitung untuk memperoleh nilai kecepatan dan arah angin. Diagram *wind rose* dibedakan berdasarkan musim yang ada di Indonesia.

Diagram *wind rose* menggambarkan tentang arah angin sesuai dengan arah mata angin. Kecepatan angin dibedakan berdasarkan warna dan kategori kecepatan angin. Pada diagram *wind rose* terdapat 6 kategori kecepatan angin, dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. *Wind rose* Musim Barat

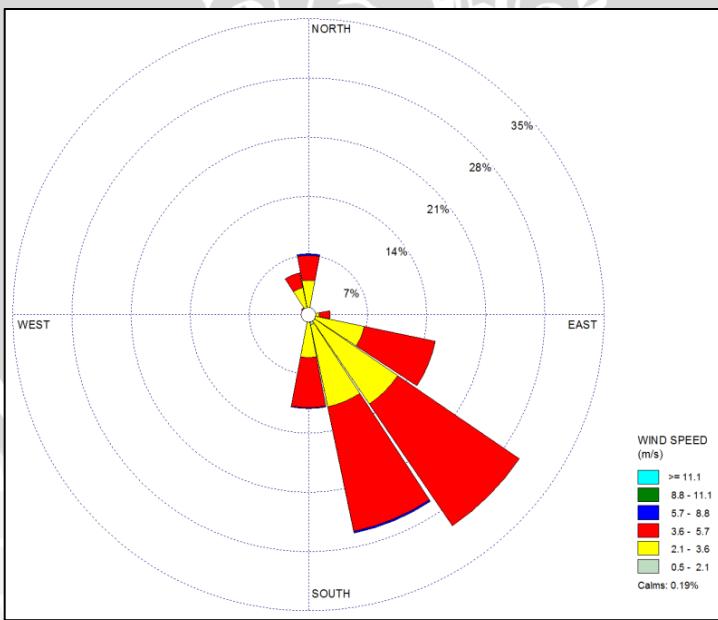
Gambar 19 merupakan diagram mawar angin pada musim barat. Gambar tersebut menjelaskan bahwa arah angin dominan pada musim barat berasal dari barat laut dengan rata-rata kecepatan angin 3,6-5,7 m/s. Persentase kecepatan angin dari arah barat laut sebesar 25%, utara 15%, timur laut >5%, timur >5%, tenggara 5%, selatan 10%, barat daya 10% dan barat 5%.



Gambar 20. Wind rose Peralihan 1

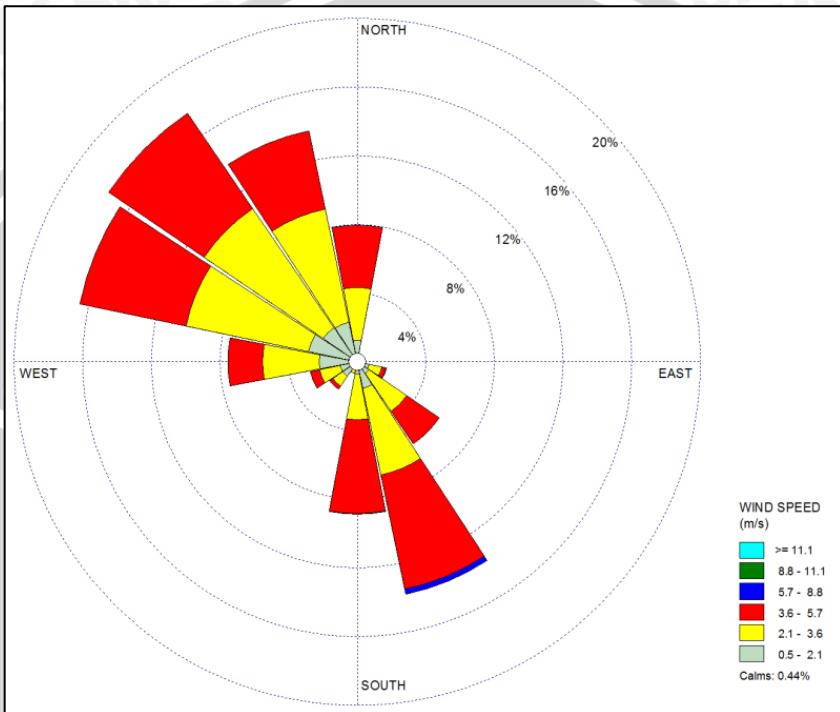
Gambar 20 merupakan diagram mawar angin pada musim peralihan 1.

Gambar tersebut menjelaskan bahwa arah angin dominan pada musim peralihan 1 berasal dari barat laut dengan rata-rata kecepatan angin 2,1-3,6m/s. Persentase kecepatan angin dari arah barat laut sebesar 20%, utara 10%, timur laut >5%, timur >5%, tenggara 5%, selatan 10%, barat daya >5% dan barat 5%.



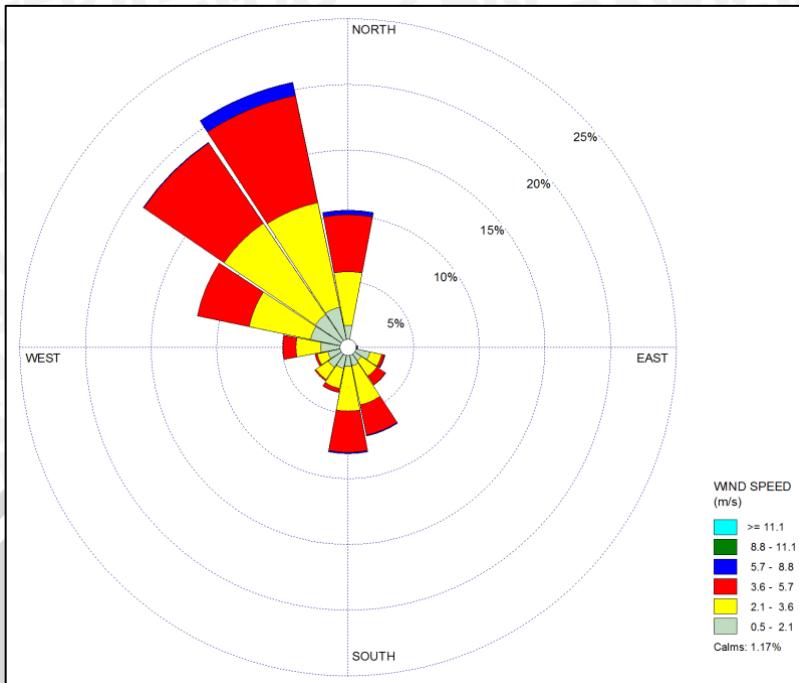
Gambar 21. Wind rose Musim Timur

Gambar 21 merupakan diagram mawar angin pada musim timur. Gambar tersebut menjelaskan bahwa arah angin dominan pada musim timur berasal dari barat laut dengan rata-rata kecepatan angin 3,6-5,7 m/s. Persentase kecepatan angin dari arah barat laut sebesar >5%, utara 5%, timur laut >5%, timur 0%, tenggara 25%, selatan 10%, barat daya 0% dan barat 0%.



Gambar 22. Wind rose Peralihan 2

Gambar 22 merupakan diagram mawar angin pada musim peralihan 2. Gambar tersebut menjelaskan bahwa arah angin dominan pada musim peralihan 2 berasal dari barat laut dengan rata-rata kecepatan angin 3,6-5,7 m/s. Persentase kecepatan angin dari arah barat laut sebesar 18%, utara 8%, timur laut 0%, timur 0%, tenggara 8%, selatan 12%, barat daya >4% dan barat 8%.



Gambar 23. Wind rose tahun 2006-2015

Gambar 23 merupakan diagram mawar angin selama 10 tahun. Gambar tersebut menjelaskan bahwa arah angin dominan selama 10 tahun berasal dari barat laut dengan rata-rata kecepatan angin 3,6-5,7 m/s. Persentase kecepatan angin dari arah barat laut sebesar 20%, utara 10%, timur laut 0%, timur 0%, tenggara >5%, selatan 10%, barat daya >5% dan barat 5%.

4.1.3 Peramalan Gelombang

Peramalan gelombang dilakukan dengan menggunakan data dari ECMWF selama 10, mulai tahun 2006-2015. Peramalan gelombang digitung dengan menggunakan persamaan 1, 2 dan 3. Peramalan gelombang digunakan untuk menentukan nilai H dan T di lokasi pengamatan, selama 10 tahun yang dibedakan berdasarkan musim. Hasil perhitungan peramalan nilai H dan T dari tahun 2006-2015 dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Peramalan Gelombang Selama 10 Tahun (2006-2015)

No.	Gelombang	H (m)	T (detik)	L (m)	C (m/s)
1	Maksimum (H_{\max})	0,580	3,609	19,04	5,27
2	Minimum (H_{\min})	0,362	2,879	12,94	4,49

No.	Gelombang	H (m)	T (detik)	L (m)	C (m/s)
3	Rata-rata (\bar{H})	0,495	3,353	16,85	5,03
4	Signifikan (H_s)	0,557	3,538	18,45	5,21

Tabel 8. berisi tentang hasil perhitungan peramalan gelombang di pantai pasir panjang selama 10 tahun. Berdasarkan hasil perhitungan peramalan gelombang selama 10 tahun nilai H_s 0,557 meter dengan T_s 3,538 detik. berkisar antara 0,362-0,58 meter dengan nilai T 2,879-3,609 detik. Rata-rata H selama 10 tahun setinggi 0,495 meter dengan nilai T 3,353 detik. Nilai panjang gelombang pada gelombang pada tabel 8 berkisar antara 12,94-19,04 meter. Panjang gelombang pada gelombang signifikan sebesar 18,45 meter. Rata-rata panjang gelombang adalah 16,85 meter. Dan rata-rata cepat rambat gelombang 5,03 m/s.

Tabel 9. Hasil Perhitungan peramalan gelombang pada tiap musim (2006-2015)

No.	Gelombang	Musim	Peralihan	Musim	Peralihan
		Barat	1	Timur	2
1	Tinggi Signifikan (H_s)	0,524	0,524	0,650	0,654
2	Tinggi Rata-rata (\bar{H})	0,355	0,355	0,537	0,492
3	Tinggi Maksimum (H_{max})	0,829	0,829	0,764	0,782
4	Tinggi Minimum (H_{min})	0,149	0,149	0,271	0,213
5	Periode Signifikan (T_s)	3,527	3,527	3,956	4,011
6	Periode Rata-rata (T)	2,855	2,855	3,591	3,425
7	Periode Maksimum (T_{max})	4,269	4,269	4,288	4,436
8	Periode Minimum (T_{min})	1,767	1,767	2,584	2,263
9	Panjang Gelombang (L)	33,24	33,24	24,96	26,11
10	Cepat Rambat Gelombang (C)	6,52	7,79	5,82	5,89

Hasil perhitungan peramalan gelombang selama 10 tahun dibedakan menjadi 4 musim, yaitu musim barat (Desember-Februari) dapat dilihat pada Tabel 9. Berdasarkan hasil perhitungan peramalan gelombang selama 10 tahun pada Musim Barat, nilai H_s 1,026 meter dengan nilai T_s 4,89 detik dan panjang gelombang 29,72 meter. Ketinggian gelombang berkisar antara 0,054-1378 meter dengan nilai T 1,043-5,656 detik dan panjang gelombang maksimum sebesar 36,88 meter. Rata-rata H selama 10 tahun setinggi 0,597 meter dengan



nilai T 3,539 detik dan panjang gelombang 18,45 meter. Cepat rambat gelombang pada musim barat sebesar 6,52 m/s.

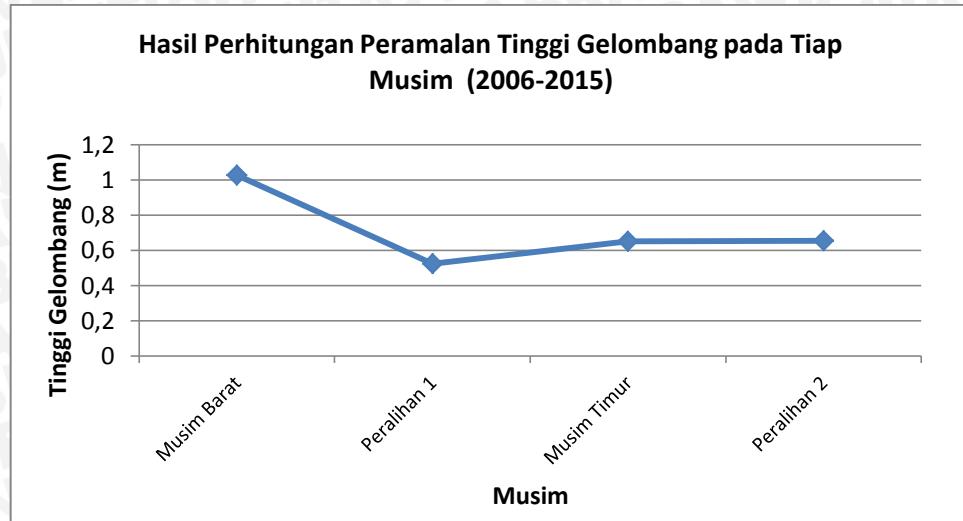
Berdasarkan hasil perhitungan peramalan gelombang selama 10 tahun pada Musim Peralihan 1, H signifikan 0,524 meter dengan nilai T 3,527 detik dan panjang gelombang 18,22 meter. Ketinggian gelombang berkisar antara 0,149-0,829 meter dengan nilai T 1,767-4,629 detik dan panjang gelombang maksimum 33,24 meter. Rata-rata H selama 10 tahun setinggi 0,355 meter dengan niali T 2,855 detik dan panjang gelombang 12,54 meter. Cepat rambat gelombang pada peralihan 1 sebesar 7,79 m/s

Berdasarkan hasil perhitungan peramalan gelombang selama 10 tahun pada Musim Timur, nilai H_s 0,65 meter dengan T_s 3,956 detik dan panjang gelombang 22,02 meter. Ketinggian gelombang berkisar antara 0,271-0,764 meter dengan T 2,584-4,288 detik dan panjang gelombang antara 10,38-24,96 meter. Rata-rata H selama 10 tahun setinggi 0,537 meter dengan nilai T 3,591 detik dan panjang gelombang 18,92 meter. Cepat rambat gelombang pada musim timur sebesar 5,82 m/s.

Berdasarkan hasil perhitungan peramalan gelombang selama 10 tahun pada Musim Peralihan 2, nilai H_s 0,654 meter dengan nilai T_s 4,011 detik dan panjang gelombang 22,51 meter. Ketinggian gelombang berkisar antara 0,213-0,782 meter dengan T 2,263-4,436 detik dan panjang gelombang antara 8-26,11 meter. Rata-rata H selama 10 tahun setinggi 0,492 meter dengan nilai T 3,425 detik dan panjang gelombang 17,46 meter. Cepat rambat gelombang pada peralihan 2 sebesar 5,89 m/s.

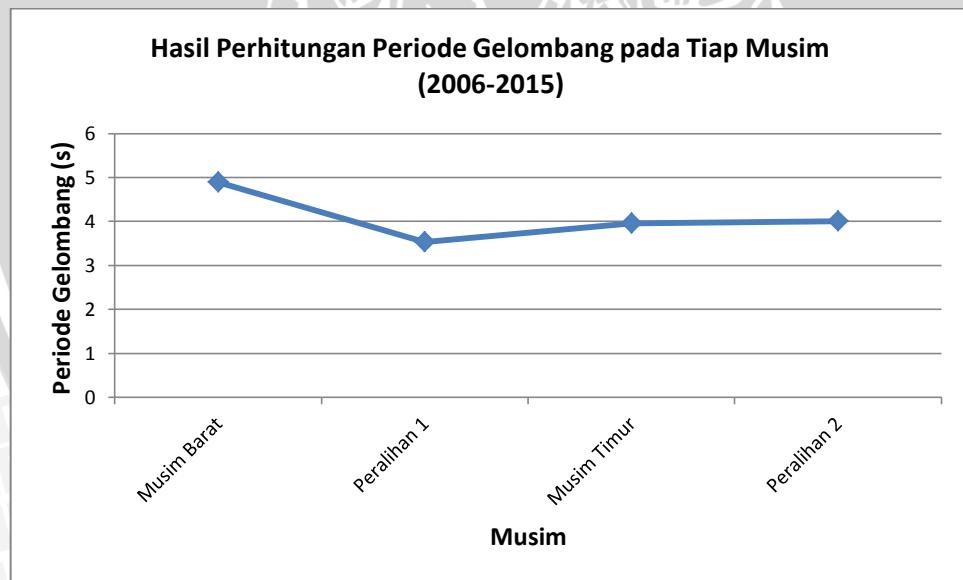
Berdasarkan hasil perhitungan dari peramalan gelombang selama 10 tahun berdasarkan musim, menerangkan bahwa pada Musim Barat kondisi gelombang lebih tinggi dibandingkan dengan musim timur dan musim peralihan.

Hal ini dikarenan oleh faktor kecepatan angin sebagai pembangkit gelombang.



Gambar 24. Grafik Tinggi gelombang pada Tiap Musim

Berdasarkan hasil perhitungan peramalan gelombang yang diperoleh pada Gambar 24, menunjukkan bahwa nilai H terbesar terdapat pada musim barat. Periode gelombang berkisar antara 3-5 detik, dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25. Grafik Periode Gelombang pada Tiap Musim

4.1.4 Perkiraan Gelombang Ekstrim (Badai) dengan Periode Ulang

Gelombang Ekstrim merupakan suatu fenomena gelombang tinggi yang disebabkan oleh badai atau angin kencang. Berdasarkan penelitian ini, maka perlu dilakukan perhitungan terhadap perkiraan gelombang badai. Hal ini dilakukan sebagai upaya pencegahan terjadinya kerusakan pada bangunan pantai. perhitungan tinggi gelombang ekstrim dilakukan dengan beberapa periode ulang dengan menggunakan metode Fisher Tippett Type I (dapat dilihat pada lampiran 4). Hasil perhitungan gelombang ekstrim dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Perkiraan Gelombang Badai 5-100 Tahun

Periode Ulang (tahun)	Hs- Hsr (m)	Hs- 1.28σr (m)	Hs+1.28σr (m)
5	1,08	0,76	1,40
10	1,13	0,77	1,49
25	1,20	0,79	1,60
50	1,24	0,80	1,68
100	1,29	0,82	1,76

Tabel 10 berisi tentang perkiraan nilai gelombang ekstrim 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun. Hsr (m) merupakan nilai perkiraan tinggi gelombang ekstrim, Hs-1.28σr (m) merupakan nilai perkiraan tinggi gelombang ekstrim minimum dan Hs+1.28σr (m) merupakan nilai perkiraan gelombang ekstrim maksimum. Nilai perkiraan gelombang ekstrim pada 5 tahun sebesar 1,08 meter, 10 tahun sebesar 1,13 meter, 25 tahun sebesar 1,20 meter, 50 tahun sebesar 1,24 meter dan 100 tahun sebesar 1,29 meter. Diketahui bahwa tinggi gelombang rencana pada tahun 1995 pada bangunan pantai di PLTGU Grati sebesar 1,36 meter. Berdasarkan hasil dari perkiraan tinggi gelombang ekstrim dan tinggi gelombang rencana diketahui bahwa nilai tinggi gelombang rencana lebih besar dari pada nilai perkiraan tinggi gelombang ekstrim diperairan tersebut.



4.1.5 Koefisen Refraksi, Koefisien Pendangkalan dan Gelombang Pecah

Refraksi Gelombang adalah perubahan nilai gelombang karena pengaruh kedalaman suatu perairan. Perhitungan nilai koefisen refraksi menggunakan data berupa sudut kedatangan angin, kedalaman air laut, dan T (Lampiran 5). Berdasarkan pengukuran di lapang diperoleh data sebagai berikut, sudut kedatangan angin 53° dari arah barat laut, dengan kedalaman air laut 4 meter dan periode gelombang adalah 3 detik. Hasil yang diperoleh dari perhitungan nilai koefisien refraksi pada bangunan pantai (Jetty) sebesar 0,94 meter. Koefisien pendangkalan (*wave shoaling*) pada perairan Pantai Pasir Panjang sebesar 1,11 meter. Nilai koefiseien refraksi diperoleh dari perhitungan dapat dilihat pada lampiran 5.

Berdasarkan hasil perhitungan pada lampiran 5, diperoleh nilai tinggi gelombang pecah sebesar 0,38 meter. Gelombang pecah tersebut dihitung dengan menggunakan data tinggi dan periode gelombang, kemiringan pantai dan nilai koefisien refraksi.

4.1.6 Verifikasi Data Gelombang Lapang dengan Data Peramalan Gelombang

Dari hasil perhitungan H dan T di lapang perlu dilakukan verifikasi terhadap data hasil peramalan tinggi gelombang. perhitungan tersebut menggunakan persamaan 7. Hal ini digunakan untuk memvalidasi hasil perhitungan peramalan gelombang tersebut. Hasil perhitungan verifikasi data gelombang dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. H dan T Hasil Perhitungan Relative Error (RE)

No.	Gelombang	H (m)	T (detik)
1	Lapang	0,34	2,66
2	Peramalan	0,56	3,54

No.	Gelombang	H (m)	T (detik)
3	RE	0,39%	0,25%

Tabel 11. menunjukkan bahwa hasil perhitungan verifikasi data gelombang lapang dengan hasil peramalan gelombang yaitu nilai RE untuk H 0,39% dan T 0,25%. Hal ini menunjukkan hasil perhitungan gelombang di lapang dan peramalan gelombang selisihnya tidak jauh atau kurang dari 50%. Jika nilai RE $\leq 50\%$ maka data tersebut dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya (Fathonah *et al.*, 2015).

4.1.7 Pasang Surut

Perhitungan pasang surut dengan metode admiralty dilakukan untuk mengetahui komponen harmonik pasang surut. Pengolahan data pasang surut dapat dilihat pada Lampiran 7. Hasil perhitungan pasang surut kemudian digunakan untuk menghitung ketinggian dan tipe pasang surut. Terdapat 10 komponen harmonik pasang surut yang diperoleh dari perhitungan admiralty. Komponen harmonik pasang surut dapat lihat pada Tabel 12.

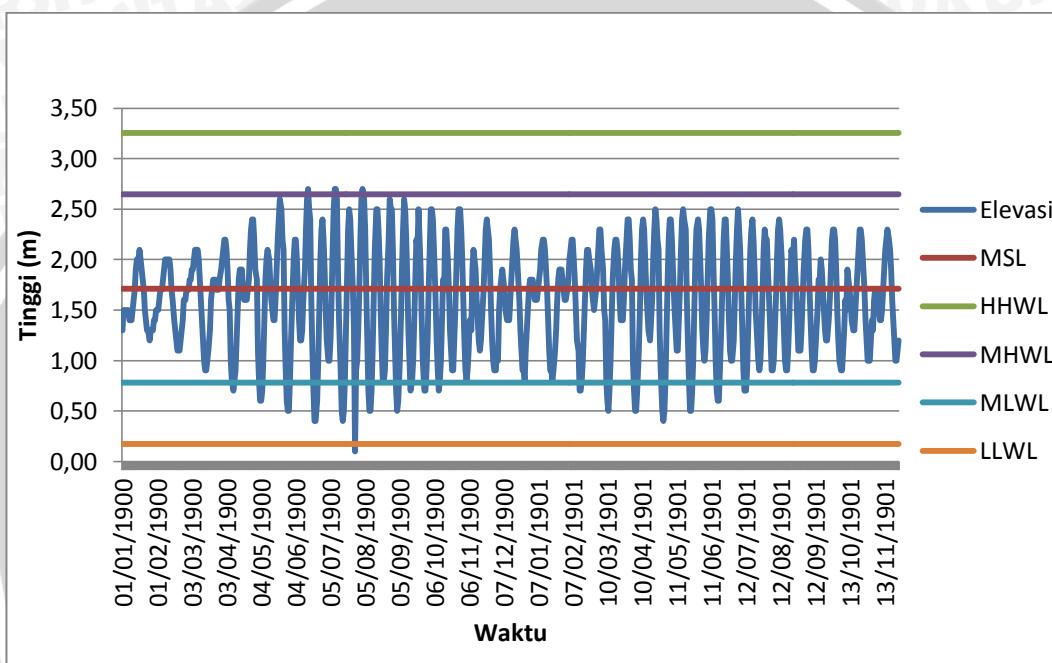
Tabel 12. Komponen Surut di Perairan Pantai Pasir Panjang

No.	Konstanta	A cm	G
1	So	158,56	
2	M ₂	55,12	298,40
3	S ₂	44,37	338,66
4	N ₂	15,18	206,54
5	K ₂	10,20	338,66
6	K ₁	18,67	228,78
7	O ₁	19,56	308,37
8	P ₁	6,16	228,78
9	M ₄	1,13	231,68
10	MS4	0,92	13,66

Tabel 12 berisi hasil perhitungan komponen pasang surut. Terdapat 10 komponen pasang surut yaitu komponen So, M₂, S₂, N₂, K₂, K₁, O₁, P₁, M₄ dan



MS4. Nilai dari komponen-komponen tersebut digunakan untuk menghitung ketinggian pasang surut, yaitu HHWL, MHWL, MSL, MLWL, dan LLWL. Berdasarkan nilai komponen pasang surut pada Tabel 11, diperoleh nilai Formzahl sebesar 0,38. Hal ini menunjukkan bahwa tipe pasang surut di perairan Pasuruan adalah campuran condong diurnal. Hasil pengolahan pasang surut metode admiralty dapat dilihat pada Tabel 12.



Gambar 26. Grafik Pasang Surut Perairan Pantai Pasir Panjang

Tabel 13. Hasil Pengolahan Pasang Surut Metode Admiralty

No.	Pasang Surut	Meter
1	MSL (Mean Sea Level)	1,71
2	HHWL (Highest High Water Level)	3,25
3	MHWL (Mean High Water Level)	2,65
4	MLWL (Mean Low Water Level)	0,78
5	LLWL (Lowest Low Water Level)	0,17

Tabel 13 berisi tentang nilai ketinggian pasang surut. Berdasarkan hasil dari perhitungan admiralty ketinggian dari MSL 1,71 meter, HHWL 3,25 meter, MHWL 2,65 meter, MLWL 0,78 meter dan LLWL 0,17 meter.

4.1.8 Skenario Kenaikan Muka Air Laut

Pengaruh pemanasan global mengakibatkan terjadinya kenaikan muka air laut pada setiap tahun, sehingga perlu dilakukan perhitungan mengenai skenario kenaikan muka air laut di pantai pasir panjang. Hasil dari perhitungan skenario kenaikan muka air laut di pantai pasir panjang dapat dilihat pada tabel 14. Perhitungan nilai skenario kenaikan muka air adalah penjumlahan dari nilai MHWL, *wave set up* dan rencana kenaikan muka air laut karena pemanasan global. Perhitungan tersebut dapat dilihat pada lampiran 6.

Tabel 14. Skenario Kenaikan Muka Air Laut

No.	<i>Design Water Level (DWL) (tahun)</i>	tinggi (m)
1	2020	2,92
2	2025	2,96
3	2050	3,25
4	2100	3,75

Tabel 14 berisi hasil dari perhitungan scenario kenaikan muka air laut dari tahun 2020 hingga 2100. Dapat dilihat dari tabel 14, bahwa nilai DWL pada tahun 2020 sebesar 2,92 meter, tahun 2025 sebesar 2,96 meter, tahun 2050 sebesar 3,25 meter dan tahun 2100 sebesar 3,75 meter. Berdasarkan hasil perhitungan skenario kenaikan muka air laut dapat diketahui bahwa muka air laut mengalami kenaikan pada setiap tahunnya. Hal ini sesuai dengan nilai pasang surut pada tahun 1995 sebesar 1,64 meter dan tahun 2016 sebesar 1,71 meter yang telah mengalami kenaikan muka air laut.

4.1.9 Kondisi Kemiringan Pantai

PLTGU, Grati-Pasuruan terletak di Pantai Pasir Panjang, Kecamatan Lekok, Kabupaten Pasuruan. Pantai tersebut masuk kedalam pantai dengan kategori pantai yang landai atau dangkal. Pada saat pengukuran kemiringan pantai tersebut di peroleh nilai perbandingan kemiringan 1:34,772, dengan nilai sudut kemiringan sebesar $1,65^\circ$. Hal ini menyatakan bahwa kondisi kemiringan

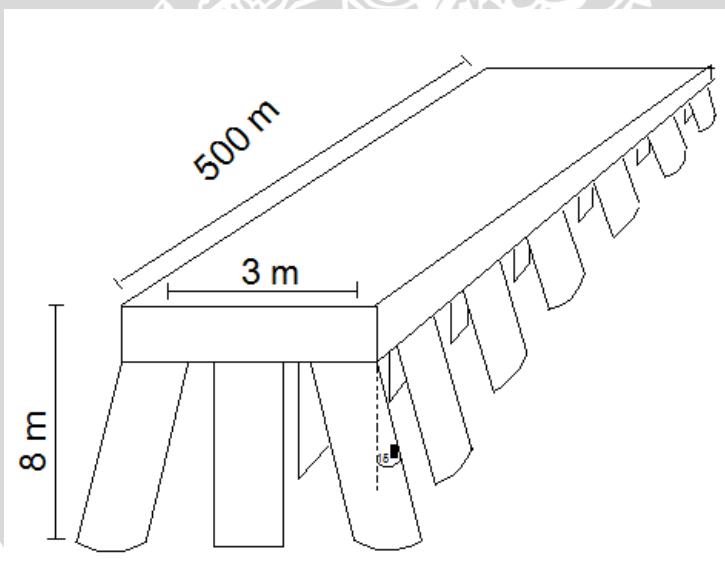


Pantai Pasir Panjang adalah landai dengan tipe pantai berpasir. Menurut Triatmodjo (2012), kategori pantai dibagi menjadi 3, yaitu:

1. Pantai lumpur dengan kemiringan sangat kecil sampai 1:5000.
2. Pantai pasir dengan kemiringan antara 1:20 sampai 1:50.
3. Pantai berkerikil dengan kemiringan 1:4.

4.1.10 Spesifikasi Bangunan Pantai (*Jetty*)

Bangunan pantai yang berupa *jetty* yang berfungsi sebagai dermaga air di PLTGU Grati-Pasuruan merupakan bangunan pantai yang dibangun menuju laut lepas. Panjang dari bangunan tersebut sepanjang 500 meter, lebar bangunan pantai 30 meter, ketinggian bangunan pantai 8 meter dan sudut kemiringan bangunan 15° . Bangunan Pantai tersebut digunakan untuk bongkar muat bahan baku PLTGU Grati.



Gambar 27. Spesifikasi Bangunan Pantai (*Jetty*)

4.1.11 Kenaikan (*Run up*) Gelombang

Perhitungan nilai *run up* gelombang dibedakan berdasarkan musim. Perhitungan *run up* gelombang menggunakan grafik *run up* dengan menggunakan perhitungan *irribaren*. Dari grafik *run up*, nilai Ru/H diperoleh

dengan menggunakan kategori bangunan sisi miring halus dan impermeabel.

Hasil perhitungan *run up* gelombang di bangunan pantai pasir panjang dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15. Hasil Perhitungan *Run up*

No.	Waktu	Ru (m) sisi miring halus dan impermeable (meter)
1	Pengamatan	2,17
2	Musim Barat	2,70
3	Peralihan 1	2,43
4	Musim Timur	2,50
5	Peralihan 2	2,49

Tabel 15. berisi tentang hasil perhitungan *run up* gelombang pada saat pengamatan di lapangan dan berdasarkan perbedaan musim. Saat pengamatan di lapang menunjukkan bahwa nilai *run up* gelombang yang mencapai bangunan pantai sebesar 2,17 meter. Berdasarkan perbedaan musim dari hasil perhitungan peramalan gelombang diperoleh hasil bahwa nilai *run up* pada musim barat sebesar 2,70 meter, peralihan 1 sebesar 2,43 meter, musim timur sebesar 2,50 meter dan musim peralihan 2 sebesar 2,49 meter.

4.1.12 Limpasan (*Overtopping*) Gelombang

Nilai *overtopping* dihitung berdasarkan nilai perhitungan *run up* gelombang sesuai dengan persamaan 9. Perhitungan *overtopping* dilakukan untuk menentukan desain bangunan pantai terhadap luapan atau limpasan gelombang yang diijinkan pada bangunan tersebut. Hasil perhitungan *overtopping* dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Hasil Perhitungan *Overtopping*

No.	Musim	Keterangan	$0 \leq (H-ds) < R$
1	Pengamatan	<i>non overtopping</i>	$0 \leq (3,66), R < (3,66)$
2	Musim Barat	<i>non overtopping</i>	$0 \leq (2,97), R < (2,97)$
3	Peralihan 1	<i>non overtopping</i>	$0 \leq (3,48), R < (3,48)$
4	Musim Timur	<i>non overtopping</i>	$0 \leq (3,48), R < (3,48)$
5	Peralihan 2	<i>non overtopping</i>	$0 \leq (3,35), R < (3,35)$



Tabel 16 menunjukkan nilai ($h-ds$) pada saat pengamatan dilapangan dan disetiap musim. Nilai ($h-ds$) saat berdasarkan hasil dari perhitungan saat pengamatan sebesar 3,66 meter. Nilai ($h-ds$) berdasarkan perbedaan musim yaitu pada musim barat 2,97 meter, musim peralihan 1 3,48 meter, musim timur 3,48 meter dan musim peralihan 2 3,35 meter. Perhitungan dari semua musim menunjukkan bahwa tidak terjadi *overtopping* pada bangunan pantai di PLTGU Grati, Pasuruan. Hal ini berdasarkan syarat terjadinya *overtopping* yaitu nilai $h-ds$ lebih besar dibandingkan nilai run-up gelombang menunjukan tidak terjadi *overtopping*.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Perhitungan Gelombang Lapang dan Peramalan Gelombang

Pengukuran gelombang di lapangan dilakukan pada 5 titik pengamatan. Berdasarkan hasil perhitungan tinggi gelombang di lapangan diperoleh tinggi gelombang pada titik 1 0,31 meter, titik 2 0,30 meter, titik 3 0,23 meter, titik 4 0,20 meter dan titik 5 0,40 meter. Terdapat perbedaan nilai tinggi gelombang pada 5 titik pengamatan tersebut. Hal ini terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman pantai. Pada titik 1, 2, 3 dan 4 gelombang mengalami refraksi dan gelombang pecah akibat bangunan pantai. Pada titik 5 nilai tinggi gelombang lebih besar karena pada titik pengukuran gelombang kedalaman pantai lebih dangkal dengan kedalaman 1,3 meter. Data dari pengukuran gelombang dilapangan dari semua titik dihitung dan diperoleh nilai H_s di wilayah Pantai Pasir Panjang sebesar 0,34 meter dengan T_s sebesar 2,66 detik. Hasil tinggi gelombang tersebut dipengaruhi oleh arah dan ketinggian angin. Berdasarkan hasil pengolahan data angin yg bersumber dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) menunjukkan bahwa arah angin berasal dari



barat laut dengan kecepatan angin antara 0,5-2,1 m/s. Ketinggian gelombang tersebut tidak berbeda jauh dengan hasil pengamatan (Sugianto, 2009) yang terletak di perairan Grati Kabupaten Pasuruan, menunjukkan bahwa nilai ketinggian gelombang 0,21 meter dengan periode gelombang 5,5 detik.

Hasil perhitungan gelombang dengan menggunakan metode SMB dibedakan berdasarkan musim di Indonesia. Pada musim barat nilai tinggi gelombang 1,026 meter, musim peralihan 1 0,524 meter, musim timur 0,65 meter dan musim peralihan 2 0,654 meter. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa nilai tinggi gelombang yang paling tinggi diantara 4 musim tersebut adalah pada musim barat. Rata-rata H_s pada tahun 2006-2015 adalah 0,557 dengan T_s 3,538. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi angin pada musim yang berbeda. Berdasarkan peramalan arah angin dominan di Pantai Pasir Panjang pada musim barat dari arah barat laut, pada musim peralihan 1 arah angin dari barat laut, pada musim timur arah angin dari arah tenggara dan pada musim peralihan 2 di dominasi dari arah barat laut dan tenggara. Kecepatan angin rata-rata antara 3,6-5,7 m/s. Arah angin tersebut mempengaruhi kondisi ketinggian gelombang.

Data hasil perhitungan lapang yang telah diverifikasi terhadap data peramalan gelombang diperoleh nilai RE untuk H sebesar 0,39% dan T sebesar 0,25%. Nilai RE yang kurang dari 50% berarti bahwa data yang diperoleh dapat digunakan untuk perhitungan selanjutnya (Fathohah, et al, 2016).

4.2.3 Kenaikan (*Run up*) dan Limpasan (*Overtopping*) Gelombang

Run up gelombang dihitung berdasarkan persamaan 8. Nilai *run up* gelombang dibedakan berdasarkan musim di Indonesia dan data perhitungan di lapangan. Nilai *run up* menggunakan kategori bangunan sisi miring halus dan impermeabel. Pada musim barat nilai *run up* sebesar 2,7 meter, peralihan 1 2,43



meter , musim timur 2,50 meter dan peralihan 2 2,49 meter. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai nilai *run up* tertinggi terjadi pada musim barat. Nilai *run up* tersebut di ukur secara vertikal pada bangunan pantai dengan titik awal di MSL (CERC, 1984). Nilai *run up* pada saat pengamatan di lapangan sebesar 2,17 meter. Nilai *run up* saat pengamatan tidak berbeda jauh dengan nilai *run up* pada musim yang berbeda. Perbedaan nilai *run up* pada tiap musim dipengaruhi oleh nilai ketinggian gelombang yang berbeda pada tiap musimnya.

Perhitungan *overtopping* dilakukan untuk melihat nilai limpasan gelombang yang diijinkan pada bangunan pantai. *Overtopping* dihitung dengan menggunakan nilai *run up* dan nilai *h-d_s*. Nilai *h-d_s* dihitung dengan menggunakan nilai *run up* pada musim yang berbeda di Indonesia dan hasil perhitungan di lapangan. Nilai *h-d_s* pada musim barat 2,97 meter, musim peralihan 1 3,48 meter, musim barat 3,48 meter, musim peralihan 2 3,35 meter dan saat pengamatan dilapang 3,66 meter. Berdasarkan nilai *h-d_s* yang dibandingkan dengan nilai *run up* pada tiap musim menunjukkan bahwa tidak terjadi *overtopping* pada bangunan di dermaga PLTGU Grati. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan (CERC, 1984), bahwa jika nilai $(h-d_s) > R$, maka kategori *non-overtopping*, jika nilai $(h-d_s) > R$, maka kategori *overtopping*. Hasil dari perhitungan *overtopping* gelombang pada bangunan pantai menunjukkan bahwa nilai tersebut masih dalam kategori diijinkan untuk *overtopping* bangunan pantai.

Hasil perhitungan nilai *run up* dan *overtopping* pada penelitian ini sesuai dengan hasil penelitian oleh Fahmi *et al.* (2015) yang berlokasi di perairan Pantai Balongan, Indramayu dengan jenis bangunan pemecah gelombang (*breakwater*). Hasil perhitungan *run up* gelombang yang telah dilakukan menunjukkan bahwa nilai *run up* terendah terjadi pada musim barat. Dari hasil penelitian Fahmi *et al.* (2015), nilai *run up* gelombang pada musim barat sebesar 0,74 meter untuk bangunan jenis tetrapot dan 1,18 meter untuk jenis bangunan batu pecah. Pada



musim peralihan 1 nilai *run up* untuk bangunan jemis tetrapod 1,01 meter dan jenis bangunan batu pecah sebesar 1,49 meter. Nilai *run up* pada musim barat untuk bangunan jenis tetrapod sebesar 1,08 meter dan jenis bangunan batu pecah sebesar 1,64 meter. Pada peralihan 2 nilai *run up* untuk bangunan tetrapod sebesar 1,07 meter dan bangunan jenis batu pecah sebesar 1,47 meter. Nilai (h-ds) dari ke empat musim yaitu 3,53 untuk musim barat, 3,16 musim peralihan 1, 3,07 untuk musim timur dan 3,15 untuk musim peralihan 2. Berdasarkan nilai *run up* dan (h-ds) pada penelitian Fahmi *et al.* (2015), diperoleh kategori *non overtopping* untuk semua musim.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan tujuan dan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan berupa:

- Nilai *run up* gelombang pada bangunan pantai di dermaga PLTGU Grati, Kabupaten Pasuruan di musim barat sebesar 2,705 meter, peralihan 1 sebesar 2,433 meter, musim timur 2,497 meter, musim peralihan 2 sebesar 2,488 meter dan saat pengamatan dari hasil pengukuran lapang sebesar 2,17 meter.
- Berdasarkan hasil perhitungan nilai *run up* gelombang pada bangunan pantai tersebut, dinyatakan bahwa tidak terjadi *overtopping* pada setiap musim

5.2 Saran

Disarankan untuk penelitian selanjutnya supaya mengukur pasang surut air laut secara langsung. Hal tersebut untuk mengetahui nilai MSL berdasarkan data lapang dan dibandingkan dengan data sekunder. perlu dilakukan peninjauan ulang terhadap desain uang ada untuk pemeliharaan bangunan pantai. selain itu juga perlu dilakukan perhitungan scenario kenaikan muka air laut di Pantai Pasir Panjang, Desa Wates, Kecamatan Lekok, Kabupaten Pasuruan.



DAFTAR PUSTAKA

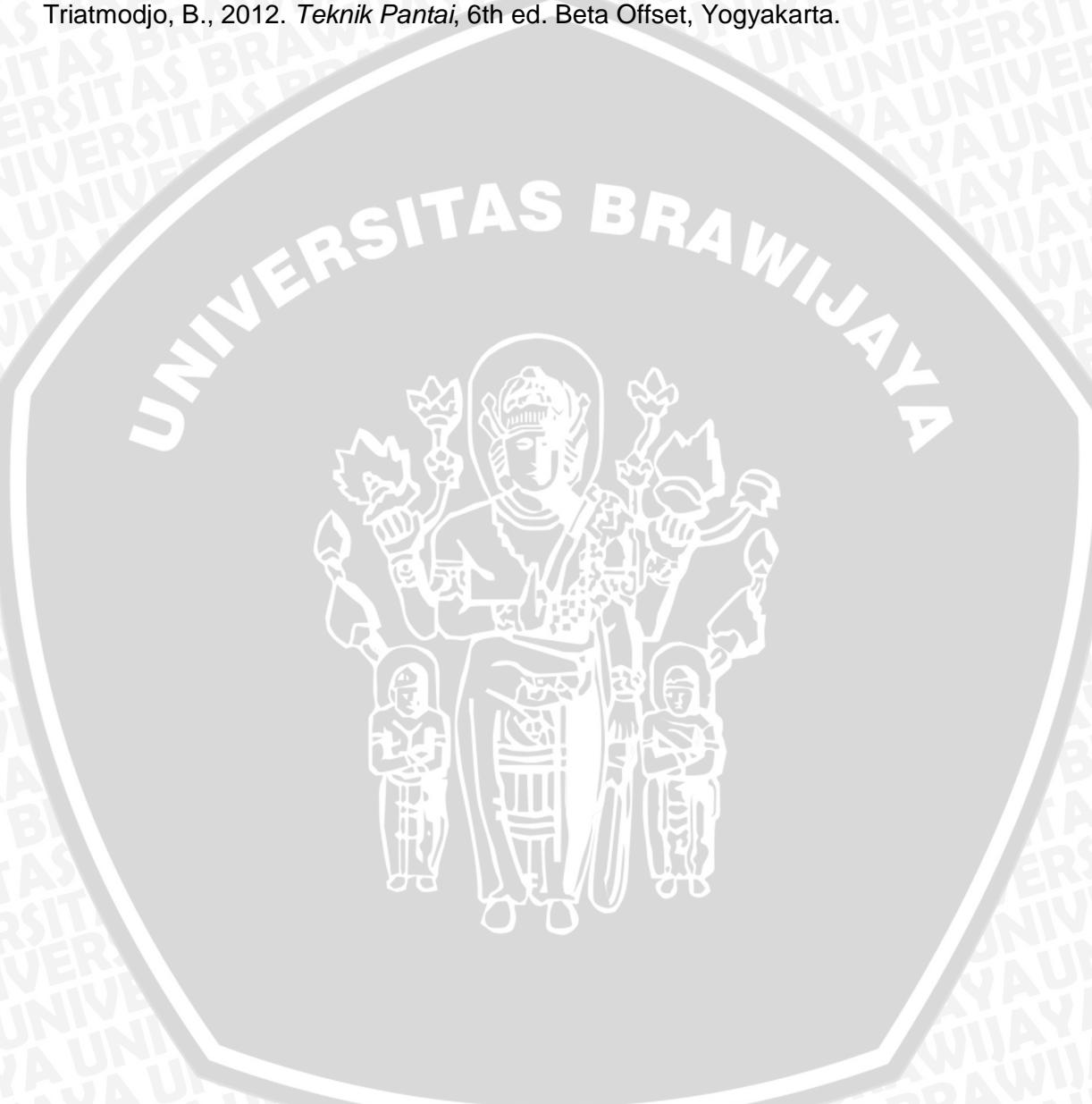
- Amdalianto, H.Y., 2015. *Refleksi dan Overtopping Gelombang Pada Breakwater dengan Pemusat Energi Bentuk Cembung*. Universitas Hasanuddin, Makasar.
- Ariani, F.W., Zainuri, M., Handoyo, G., 2013. *Studi Run-up Gelombang Pada Offshore Breakwater di Pantai Slamaran Pekalongan*. J. Oceanogr. 2, 1–8.
- Asnawi, 2013. *Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai di Bulu Tuban*. Surabaya.
- CERC, 1984. *Mechanics of Wave Motion*, in: *Short Protection Manual*, 2. Department of the Army, Mississippi, p. 9.
- Dewi, P.K., Anugroho, A., Atmodjo, W., 2015. *Refraksi Gelombang di Perairan pantai marunda*, Jakarta. FPIK Univ. Dipenogoro, Jurnal Oseanografi 4, 215–222.
- Fahmi, H., Nugroho, D., Purwanto, 2015. *Kajian Overtopping Akibat Run Up Gelombang Pada Breakwater di Perairan balongan Indramayu, Jawa Barat*. J. OSEANOGRafi 4, 680–690.
- Fathonah, J.A., Ismunarti, D.H., others, 2015. *Tinggi Muka Air Rencana Guna Renovasi Breakwater di Pelabuhan Perikanan Cilacap (PPSC)*. J. Oceanogr. 5, 105–114.
- Hariati, F., 2013. *Simulasi Run up Gelombang Tanggul Muara Baru*. Univ. Ibn Khaldun Bogor.
- Hidayat, J.J., Yusuf, M., Indrayanti, E., 2013. *Dinamika Penjalaran Gelombang Menggunakan Model CMS-Wave Di Pulau parang Kepulauan Karimunjawa*. FPIK Univ. Dipenogoro, 3 2, 255–264.
- Hutabarat, S., Evans, S.M., 1984. *Pengantar Oseanografi*. Penerbit Universitas Indonesia (UI-Press), Jakarta.
- Indonesia Power, 2015.
- Lisnawati, L.A., Rochaddi, B., Ismunarti, D.H., 2013. *Studi Tipe Pasang Surut di Pulau Parang Kepulauan Karimunjawa Jepara, Jawa Tengah*. FPIK Univ. Dipenogoro 2, 61–67.
- Marzuki, 1983. *Metodologi Riset*. Bagian Penerbit Fakultas Ekonomi-UII, Yogyakarta.
- Ongkosongo, Suyarso, 1989. *Pasang Surut*. LIPI, Jakarta.
- Refi, A., 2013. *Analisis Breakwater Pada Pelabuhan Teluk Bayur dengan menggunakan Batu Alam, Tetrapod, dan A-Jack*. J. Momentum 15.



Sari, E., 2014. *Analisis Karakteristik Gelombang dan Tinggi Gelombang Laut periode Ulang di Perairan Tamban, Malang Selatan (Skripsi)*. Universitas Brawijaya, Malang.

Sugianto, D.N., 2009. *Kajian Kondisi Hidrodinamika (Pasang Surut, Arus dan Gelombang) di perairan Grati Pasuruan, Jawa Timur*. FPIK Univ. Dipenogoro 14, 66–75.

Triatmodjo, B., 2012. *Teknik Pantai*, 6th ed. Beta Offset, Yogyakarta.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LAMPIRAN

Lampiran 1. Cara download data angin di ECMWF

Proses *download* data angin dari ECMWF:

1. Halaman awal yang digunakan untuk *download* data angin. Pada bagian *Select a list of months* pilih tahun yang data anginya akan di *download* (tahun 2006 - 2015), misal tahun 2006. Pilih semua *time series* pada bagian *select time*. Centang kolom pertama (0) pada bagian *select step*. Pada bagian *select parameter* digunakan 2 parameter. Kemudian klik *retrieve NetCDF* pada bagian paling bawah dari halaman tersebut.
2. Setelah itu akan muncul halaman selanjutnya. Pada menu area, klik *change* untuk mengganti nama Negara yang digunakan pilih Indonesia. Lalu Klik *retrieve now*.
3. Tunggu sampai proses *loading* selesai, setelah itu akan muncul tulisan *download*, lalu klik dan tunggu sampai proses *download* berlangsung.
4. Lakukan seperti langkah 1 sampai 3 untuk mendownload data angin pada tahun berikutnya.

Lampiran 2. Perhitungan Panjang Fetch

Fetch efektif dari arah timur

Arah Utama	Deviasi sudut (α)	Cos (α)	X_i (km)	$X_i \cdot \text{Cos} (\alpha)$
TIMUR	42	0,74	20,10	14,94
	36	0,81	24,90	20,14
	30	0,87	26,20	22,69
	24	0,91	42,50	38,83
	18	0,95	27,20	25,87
	12	0,98	53,00	51,84
	6	0,99	90,90	90,40
	0	1,00	114,00	114,00
	-6	0,99	550,00	546,99
	-12	0,98	286,00	279,75
	-18	0,95	152,00	144,56
	-24	0,91	87,00	79,48
	-30	0,87	80,10	69,37
	-36	0,81	65,40	52,91
	-42	0,74	60,90	45,26
Jumlah		13,51		1597,02
<i>Fetch Efektif</i>				118,20

Fetch efektif dari arah tenggara

Arah Utama	Deviasi sudut (α)	Cos (α)	X_i (km)	$X_i \cdot \text{Cos} (\alpha)$
TG	42	0,74	2,74	2,04
	36	0,81	2,70	2,18
	30	0,87	2,78	2,41
	24	0,91	2,75	2,51
	18	0,95	2,91	2,77
	12	0,98	2,98	2,91
	6	0,99	3,10	3,08
	0	1,00	3,20	3,20
	-6	0,99	3,10	3,08
	-12	0,98	2,99	2,92
	-18	0,95	3,27	3,11
	-24	0,91	41,60	38,00
	-30	0,87	46,30	40,10
	-36	0,81	53,10	42,96
	-42	0,74	104,00	77,29
Jumlah		13,51		228,57
<i>Fetch Efektif</i>				16,92



Fetch efektif dari arah selatan

Arah Utama	Deviasi sudut (α)	Cos (α)	X_i (km)	$X_i \cdot \text{Cos} (\alpha)$
S	42	0,74	3,82	2,84
	36	0,81	3,65	2,95
	30	0,87	3,62	3,14
	24	0,91	3,51	3,21
	18	0,95	3,27	3,11
	12	0,98	3,28	3,21
	6	0,99	3,14	3,12
	0	1,00	3,00	3,00
	-6	0,99	2,95	2,93
	-12	0,98	2,95	2,89
	-18	0,95	2,98	2,83
	-24	0,91	3,00	2,74
	-30	0,87	3,16	2,74
	-36	0,81	3,25	2,63
	-42	0,74	3,25	2,42
Jumlah		13,51		43,75
Fetch Effektif				3,24

Fetch efektif dari arah barat daya

Arah Utama	Deviasi sudut (α)	Cos (α)	X_i (km)	$X_i \cdot \text{Cos} (\alpha)$
BD	42	0,74	4,38	3,25
	36	0,81	4,24	3,43
	30	0,87	4,10	3,55
	24	0,91	3,94	3,60
	18	0,95	3,82	3,63
	12	0,98	3,79	3,71
	6	0,99	3,72	3,70
	0	1,00	3,70	3,70
	-6	0,99	3,56	3,54
	-12	0,98	3,46	3,38
	-18	0,95	3,40	3,23
	-24	0,91	3,29	3,01
	-30	0,87	3,24	2,81
	-36	0,81	3,10	2,51
	-42	0,74	2,90	2,16
Jumlah		13,51		49,21
Fetch Effektif				3,64

Fetch efektif dari arah barat

Arah Utama	Deviasi sudut (α)	Cos (α)	X_i (km)	$X_i \cdot \text{Cos} (\alpha)$
B	42	0,74	23,80	17,69
	36	0,81	17,60	14,24
	30	0,87	16,00	13,86
	24	0,91	14,60	13,34
	18	0,95	14,40	13,70
	12	0,98	13,30	13,01
	6	0,99	4,51	4,49
	0	1,00	4,48	4,48
	-6	0,99	4,35	4,33
	-12	0,98	4,20	4,11
	-18	0,95	4,10	3,90
	-24	0,91	3,95	3,61
	-30	0,87	3,90	3,38
	-36	0,81	3,77	3,05
	-42	0,74	3,72	2,76
Jumlah		13,51		119,92
<i>Fetch</i> Effektif				8,88

Fetch efektif dari arah barat laut

Arah Utama	Deviasi sudut (α)	Cos (α)	X_i (km)	$X_i \cdot \text{Cos} (\alpha)$
BL	42	0,74	47,30	35,15
	36	0,81	49,20	39,80
	30	0,87	52,80	45,73
	24	0,91	55,50	50,70
	18	0,95	38,50	36,62
	12	0,98	32,80	32,08
	6	0,99	28,40	28,24
	0	1,00	24,80	24,80
	-6	0,99	25,00	24,86
	-12	0,98	17,20	16,82
	-18	0,95	15,10	14,36
	-24	0,91	14,80	13,52
	-30	0,87	13,60	11,78
	-36	0,81	4,98	4,03
	-42	0,74	4,35	3,23
Jumlah		13,51		381,73
<i>Fetch</i> Effektif				28,25



Fetch efektif dari arah utara

Arah Utama	Deviasi sudut (α)	Cos (α)	X_i (km)	$X_i \cdot \text{Cos} (\alpha)$
U	42	0,74	60,10	44,66
	36	0,81	40,70	32,93
	30	0,87	50,80	43,99
	24	0,91	46,50	42,48
	18	0,95	45,40	43,18
	12	0,98	44,30	43,33
	6	0,99	44,90	44,65
	0	1,00	45,70	45,70
	-6	0,99	46,00	45,75
	-12	0,98	48,80	47,73
	-18	0,95	51,80	49,26
	-24	0,91	54,90	50,15
	-30	0,87	35,50	30,74
	-36	0,81	31,20	25,24
	-42	0,74	26,70	19,84
Jumlah		13,51		609,66
<i>Fetch</i> Effektif				45,12

Fetch efektif dari arah timur laut

Arah Utama	Deviasi sudut (α)	Cos (α)	X_i (km)	$X_i \cdot \text{Cos} (\alpha)$
TL	42	0,74	496,00	368,60
	36	0,81	304,00	245,94
	30	0,87	179,00	155,02
	24	0,91	122,00	111,45
	18	0,95	88,50	84,17
	12	0,98	98,90	96,74
	6	0,99	67,20	66,83
	0	1,00	61,00	61,00
	-6	0,99	54,90	54,60
	-12	0,98	38,00	37,17
	-18	0,95	46,60	44,32
	-24	0,91	44,40	40,56
	-30	0,87	42,40	36,72
	-36	0,81	41,50	33,57
	-42	0,74	42,50	31,58
Jumlah		13,51		1468,28
<i>Fetch</i> Effektif				108,67

Lampiran 3. Hasil Perhitungan nilai U_w dan U_A

u	v	Kecepatan (m/s)	Kuadran	Arah	Mata Angin	U_w	t	U_A	F_{eff} (m)
1,46	1,65	2,20	K1	228,52	BD	2,42	730,30	2,11	154454.536
3,07	-1,99	3,66	K2	327,03	BL	4,02	439,79	3,94	39891.436
1,59	1,65	2,29	K1	226,08	BD	2,52	702,19	2,21	154454.536
0,72	1,86	1,99	K1	248,87	B	2,19	806,72	1,87	27774.234
0,78	1,08	1,33	K1	234,19	BD	1,47	1207,76	1,14	154454.536
0,06	-2,42	2,42	K2	271,38	B	2,66	664,67	2,37	27774.234
2,30	-1,28	2,63	K2	330,89	BL	2,90	611,28	2,63	39891.436
1,95	-1,27	2,33	K2	326,91	BL	2,56	691,42	2,26	39891.436
3,19	-1,19	3,40	K2	339,53	U	3,75	472,58	3,60	103328.472
4,10	-1,11	4,25	K2	344,84	U	4,67	378,80	4,73	103328.472
2,69	2,22	3,49	K1	219,55	BD	3,84	461,33	3,71	154454.536
1,30	2,26	2,61	K1	240,12	BD	2,87	617,13	2,59	154454.536
0,34	2,30	2,32	K1	261,63	B	2,56	692,04	2,25	27774.234
0,40	1,20	1,26	K1	251,60	B	1,39	1272,03	1,07	27774.234
1,23	-0,53	1,34	K2	336,68	BL	1,47	1201,35	1,14	39891.436
2,16	0,80	2,30	K1	200,33	S	2,53	698,54	2,23	200000.00
0,99	1,26	1,60	K1	231,87	BD	1,76	1004,12	1,43	154454.536
0,91	-1,02	1,37	K2	311,71	BL	1,50	1177,09	1,17	39891.436
1,06	1,59	1,91	K1	236,34	BD	2,10	841,99	1,77	154454.536
-0,20	2,23	2,24	K4	275,17	B	2,46	718,64	2,15	27774.234
-0,76	1,85	2,00	K4	292,39	B	2,20	804,49	1,87	27774.234
-0,48	-0,68	0,83	K3	-125,28	U	0,92	1933,09	0,64	103328.472
-0,03	0,53	0,53	K4	273,29	B	0,58	3031,00	0,37	27774.234
1,39	0,06	1,39	K1	182,47	S	1,53	1156,48	1,20	200000.00
1,08	0,48	1,18	K1	203,97	BD	1,30	1361,41	0,98	154454.536
1,57	-1,66	2,28	K2	313,38	BL	2,51	704,21	2,21	39891.436
1,19	1,05	1,59	K1	221,44	BD	1,75	1013,86	1,41	154454.536
1,33	2,27	2,63	K1	239,66	BD	2,89	611,57	2,62	154454.536
0,52	1,63	1,71	K1	252,34	B	1,88	940,42	1,55	27774.234
0,00	-2,19	2,19	K2	269,95	B	2,41	734,70	2,09	27774.234
0,14	-1,52	1,53	K2	275,22	B	1,68	1054,09	1,34	27774.234
2,74	-0,29	2,76	K2	353,96	U	3,03	583,96	2,78	103328.472
1,86	-0,27	1,88	K2	351,74	U	2,07	856,08	1,73	103328.472
1,30	-1,68	2,12	K2	307,71	BL	2,34	757,45	2,02	39891.436

u	v	Kecepatan (m/s)	Kuadran	Arah	Mata Angin	Uw	t	UA	Feff (m)
0,49	-0,74	0,89	K2	303,48	BL	0,98	1812,91	0,69	39891.436
-0,17	-0,97	0,98	K3	-99,99	U	1,08	1633,86	0,78	103328.472
0,36	-0,32	0,48	K2	318,35	BL	0,53	3340,50	0,33	39891.436
-0,47	-1,38	1,46	K3	-108,86	U	1,60	1103,69	1,27	103328.472
-0,19	0,39	0,43	K4	296,03	BL	0,48	3708,91	0,29	39891.436
-1,22	0,80	1,46	K4	326,82	BL	1,60	1102,88	1,27	39891.436
-2,45	1,05	2,67	K4	336,88	BL	2,93	603,63	2,67	39891.436
-2,08	-1,81	2,76	K3	-139,04	U	3,03	583,55	2,78	103328.472
-1,19	1,10	1,62	K4	317,32	BL	1,78	992,89	1,45	39891.436
-0,09	1,47	1,47	K4	273,55	B	1,62	1092,51	1,29	27774.234
-0,81	1,56	1,76	K4	297,50	BL	1,93	915,37	1,60	39891.436
-0,41	-0,16	0,44	K3	-158,76	U	0,48	3655,87	0,29	103328.472
-0,76	1,52	1,70	K4	296,62	BL	1,87	946,80	1,53	39891.436
0,77	1,15	1,38	K1	236,22	BD	1,52	1162,59	1,19	154454.536
1,75	0,43	1,80	K1	193,81	S	1,98	892,87	1,65	200000.00
1,38	-2,93	3,24	K2	295,19	BL	3,56	496,80	3,39	39891.436
2,39	-1,44	2,79	K2	328,91	BL	3,07	576,64	2,82	39891.436
3,17	-0,37	3,19	K2	353,34	U	3,51	504,15	3,33	103328.472
3,25	-0,60	3,30	K2	349,53	U	3,64	486,85	3,47	103328.472
4,39	-2,17	4,90	K2	333,68	BL	5,39	328,57	5,63	39891.436
3,88	0,30	3,89	K1	184,42	S	4,28	413,46	4,25	200000.00
3,13	0,69	3,21	K1	192,44	S	3,53	502,00	3,34	200000.00
2,91	-0,47	2,95	K2	350,82	U	3,24	545,85	3,02	103328.472
4,50	-2,45	5,12	K2	331,42	BL	5,64	314,03	5,96	39891.436
4,75	-1,17	4,89	K2	346,16	U	5,38	328,91	5,63	103328.472
5,01	-0,12	5,01	K2	358,63	U	5,51	321,07	5,80	103328.472
4,40	0,21	4,41	K1	182,73	S	4,85	365,27	4,95	200000.00
4,44	-1,69	4,75	K2	339,15	U	5,23	338,68	5,43	103328.472
4,61	-0,65	4,66	K2	351,97	U	5,12	345,61	5,29	103328.472
4,39	-0,50	4,42	K2	353,50	U	4,86	364,16	4,96	103328.472
4,95	-0,48	4,97	K2	354,46	U	5,47	323,53	5,74	103328.472
5,76	-2,33	6,21	K2	337,96	U	6,83	258,96	7,55	103328.472
5,37	0,35	5,38	K1	183,73	S	5,92	298,99	6,33	200000.00
4,22	0,25	4,23	K1	183,39	S	4,65	380,61	4,70	200000.00
3,76	1,05	3,90	K1	195,61	S	4,29	412,16	4,26	200000.00
4,60	-1,22	4,76	K2	345,14	U	5,23	338,09	5,44	103328.472
5,47	1,00	5,56	K1	190,37	S	6,12	289,35	6,59	200000.00

u	v	Kecepatan (m/s)	Kuadran	Arah	Mata Angin	Uw	t	UA	Feff (m)
4,71	-1,14	4,85	K2	346,39	U	5,33	332,03	5,56	103328.472
4,93	-0,90	5,01	K2	349,65	U	5,51	321,06	5,80	103328.472
6,04	-1,91	6,33	K2	342,44	U	6,97	253,99	7,73	103328.472
4,65	-0,46	4,67	K2	354,35	U	5,14	344,34	5,32	103328.472
4,11	-0,90	4,21	K2	347,64	U	4,63	382,42	4,67	103328.472
5,24	-1,21	5,38	K2	346,99	U	5,92	299,19	6,32	103328.472
5,47	-1,75	5,74	K2	342,25	U	6,32	280,16	6,85	103328.472
4,13	-1,89	4,54	K2	335,40	BL	5,00	354,26	5,14	39891.436
5,07	-2,85	5,82	K2	330,64	BL	6,40	276,64	6,96	39891.436
5,66	-1,56	5,87	K2	344,58	U	6,46	274,06	7,04	103328.472
5,33	-2,18	5,76	K2	337,74	U	6,33	279,41	6,88	103328.472
4,26	-3,26	5,36	K2	322,56	BL	5,90	299,95	6,30	39891.436
4,51	-1,73	4,83	K2	339,00	U	5,31	333,10	5,54	103328.472
5,27	-1,83	5,58	K2	340,84	U	6,14	288,42	6,61	103328.472
5,63	-2,06	6,00	K2	339,89	U	6,59	268,39	7,23	103328.472
4,14	-1,07	4,28	K2	345,50	U	4,70	376,28	4,77	103328.472
5,18	-0,69	5,23	K2	352,41	U	5,75	307,90	6,10	103328.472
4,65	0,53	4,68	K1	186,51	S	5,15	343,80	5,33	200000.00
5,28	-2,95	6,05	K2	330,79	BL	6,65	266,03	7,30	39891.436
4,82	-0,43	4,84	K2	354,90	U	5,32	332,50	5,55	103328.472
4,72	0,04	4,72	K1	180,49	S	5,19	340,88	5,38	200000.00
4,83	-0,19	4,83	K2	357,75	U	5,32	332,87	5,54	103328.472
5,89	-1,39	6,05	K2	346,71	U	6,66	265,87	7,31	103328.472
4,99	-0,95	5,08	K2	349,22	U	5,59	316,76	5,89	103328.472
4,30	-0,05	4,30	K2	359,33	U	4,73	374,16	4,80	103328.472
3,74	0,54	3,78	K1	188,22	S	4,16	425,80	4,10	200000.00
6,01	-0,63	6,04	K2	354,01	U	6,65	266,26	7,30	103328.472
4,38	0,33	4,39	K1	184,31	S	4,83	366,31	4,93	200000.00
5,18	-0,80	5,24	K2	351,22	U	5,77	306,98	6,12	103328.472
4,89	-0,14	4,89	K2	358,36	U	5,38	328,90	5,63	103328.472
5,92	-2,15	6,30	K2	340,03	U	6,93	255,46	7,68	103328.472
4,69	-0,61	4,73	K2	352,59	U	5,20	340,20	5,40	103328.472
4,32	-1,23	4,49	K2	344,10	U	4,94	358,22	5,07	103328.472
5,03	-0,51	5,06	K2	354,21	U	5,56	318,25	5,86	103328.472
5,48	-1,39	5,65	K2	345,76	U	6,22	284,60	6,72	103328.472
4,60	-1,23	4,76	K2	345,02	U	5,24	337,91	5,44	103328.472
4,85	-0,93	4,94	K2	349,14	U	5,43	325,82	5,69	103328.472

u	v	Kecepatan (m/s)	Kuadran	Arah	Mata Angin	Uw	t	UA	Feff (m)
4,11	-1,76	4,47	K2	336,81	BL	4,92	359,88	5,04	39891.436
5,30	-2,71	5,95	K2	332,90	BL	6,55	270,30	7,16	39891.436
5,14	-0,64	5,18	K2	352,90	U	5,70	310,64	6,04	103328.472
3,11	-0,17	3,11	K2	356,87	U	3,43	516,59	3,23	103328.472
2,22	-0,14	2,22	K2	356,39	U	2,45	723,34	2,13	103328.472
2,21	-2,73	3,51	K2	308,97	BL	3,86	458,09	3,74	39891.436
3,09	-0,28	3,10	K2	354,82	U	3,41	518,59	3,21	103328.472
2,56	1,33	2,88	K1	207,47	BD	3,17	557,74	2,94	154454.536
2,85	0,11	2,85	K1	182,21	S	3,14	564,14	2,90	200000.00
3,32	-0,88	3,43	K2	345,15	U	3,78	468,46	3,64	103328.472
3,03	0,67	3,10	K1	192,48	S	3,41	518,50	3,21	200000.00
3,97	0,14	3,97	K1	182,02	S	4,37	405,04	4,36	200000.00
3,58	0,39	3,60	K1	186,22	S	3,96	446,80	3,86	200000.00
3,89	-1,08	4,04	K2	344,48	U	4,44	398,55	4,44	103328.472
4,22	0,72	4,28	K1	189,69	S	4,71	375,85	4,77	200000.00
2,82	0,62	2,89	K1	192,41	S	3,18	557,26	2,94	200000.00

Lampiran 4. Perhitungan Perkiraan Tinggi Gelombang Ekstrim (metode Fisher Tippet Type I)

No. Urut m	Hsm	P	Ym	HsmYm	Ym ²	(Hsm-Hsm) ²	\hat{H}_{sm}	Hsm- \hat{H}_{sm}
1	0,579621	0,963	3,277	1,899	10,739	0,193	1,202	-0,622
2	0,550281	0,897	2,217	1,220	4,917	0,220	1,131	-0,580
3	0,542207	0,831	1,685	0,913	2,838	0,227	1,095	-0,553
4	0,514891	0,765	1,315	0,677	1,729	0,254	1,070	-0,555
5	0,500709	0,698	1,025	0,513	1,050	0,269	1,051	-0,550
6	0,49871	0,632	0,780	0,389	0,608	0,271	1,034	-0,536
7	0,485599	0,566	0,564	0,274	0,318	0,285	1,020	-0,534
8	0,46432	0,500	0,367	0,170	0,134	0,308	1,007	-0,542
9	0,455269	0,434	0,180	0,082	0,033	0,318	0,994	-0,539
10	0,361529	0,368	0,000	0,000	0,000	0,432	0,982	-0,620
Jumlah	4,953	6,653	11,409	6,138	22,366	2,776	10,584	-5,631

Diketahui	Nilai
Nt	10
\hat{H}_{sm}	0,495
\hat{A}	0,173
\hat{B}	0,982
\bar{Y}_m	1,141
K	15
L	0,6666666667
α	0,835
ε	1,33
c	0
v	1
σ_{Hs}	0,6452



Lampiran 5. Perhitungan Koefisien Refraksi, Koefisien Pendangkalan (*wave shoaling*) dan tinggi gelombang pecah

1. Perhitungan Koefisien refraksi dan pendangkalan

$$L_0 = 1,56 T^2$$

$$= 1,56 (3)^2$$

$$= 14,04 \text{ m}$$

$$C_0 = \frac{L_0}{T} = \frac{14,04}{3} = 4,68 \text{ m/s}$$

$$\frac{d}{L_0} = \frac{4}{14,04} = 0,285$$

nilai d/L_0 digunakan untuk melihat d/L dengan menggunakan tabel $L - 1$,
(Tabel $L - 1$ dapat dilihat pada Triadmodjo, 2012)

$$\frac{d}{L} = 0,298$$

$$L = \frac{d}{0,298} = 13,39 \text{ m}$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{13,39}{3} = 4,46 \text{ m/s}$$

arah datang gelombang dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\sin \alpha = \frac{C}{C_0} \sin \alpha_0 = \frac{4,46}{4,68} \sin 53^\theta = 0,4151$$

$$\alpha = 24,32^\theta$$

Koefisien Refraksi (K_r) dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} = \sqrt{\frac{0,602}{0,687}} = 0,94$$

untuk mencari nilai koefisien pendangkalan, maka dicari dulu nilai n dengan

menggunakan tabel $L - 1$ berdasarkan nilai $\frac{d}{L_0}$, nilai $n = 0,588$,

diketahui bahwa nilai $n_0 = 0,5$

Koefisien pendangkalan dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$K_s = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{n L}} = \sqrt{\frac{0,588 \times 14,44}{0,5 \times 13,39}} = 1,11$$

2. Perhitungan tinggi Gelombang Pecah

Diketahui nilai kemiringan pantai $1:34,7 = 0,023$, tinggi gelombang 0,34 meter dengan periode 3 detik dan nilai Koefisien refraksi 0,94 meter.

Tinggi Gelombang Laut dalam dihitung dengan persamaan:

$$H'_0 = K_r H_0 = 0,94 \times 0,34 = 0,32$$

Kemudian dihitung nilai berikut:

$$\frac{H'_0}{gT^2} = \frac{2,1}{9,81 \times 10^2} = 0,0036$$

Dari nilai $\frac{H'_0}{gT^2}$ dan nilai kemiringan pantai, kemudian dilihat nilai $\frac{H_b}{H'_0}$ pada tabel penentuan tinggi gelombang pecah di buku teknik pantai (Triatmodjo,2012).

Diperoleh hasil, sebagai berikut:

$$\frac{H_b}{H'_0} = 1,2$$

$$H_b = 1,2 \times 0,319 = \mathbf{0,38} \text{ meter}$$



Lampiran 6. Perhitungan skenario kenaikan Muka Air Laut

DWL (*Design Water Level*) = skenario kenaikan muka air laut

S_w = Wave set up = kenaikan muka air akibat gelombang

MHWL (*Mean High Water Level*) = rata-rata tinggi pasang air laut tertinggi

SLR (*Sea Water Rise*) = kenaikan muka air laut akibat pemanasan global

DWL dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut,

$$DWL = MHWL + S_w + SLR \dots \text{Persamaan (10)}$$

MHWL diperoleh dari nilai perhitungan admiralty

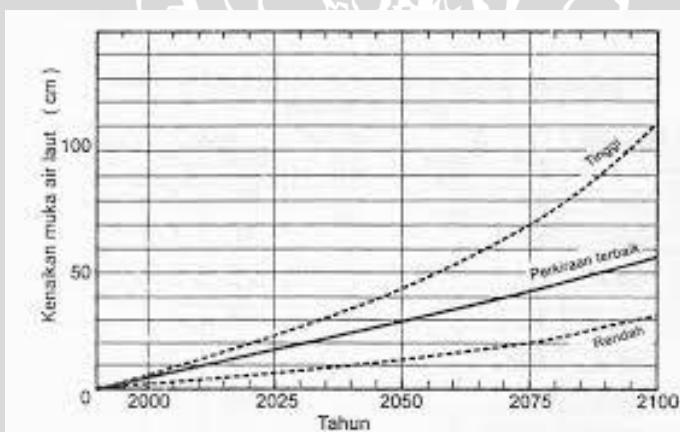
MHWL = 2.65 meter

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

Diketahui nilai $H_b = 0,38$ meter, $T = 3$ detik

$$S_w = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{0,38}{9,81(3)^2}} \right] 0,38 = \mathbf{0,059 \text{ meter}}$$

SLR dapat diperkirakan beberapa tahun yang akan datang, nilai *SLR* dapat dilihat pada grafik rencana kenaikan muka iar laut akibat pemanasan global (Triatmodjo, 2012)

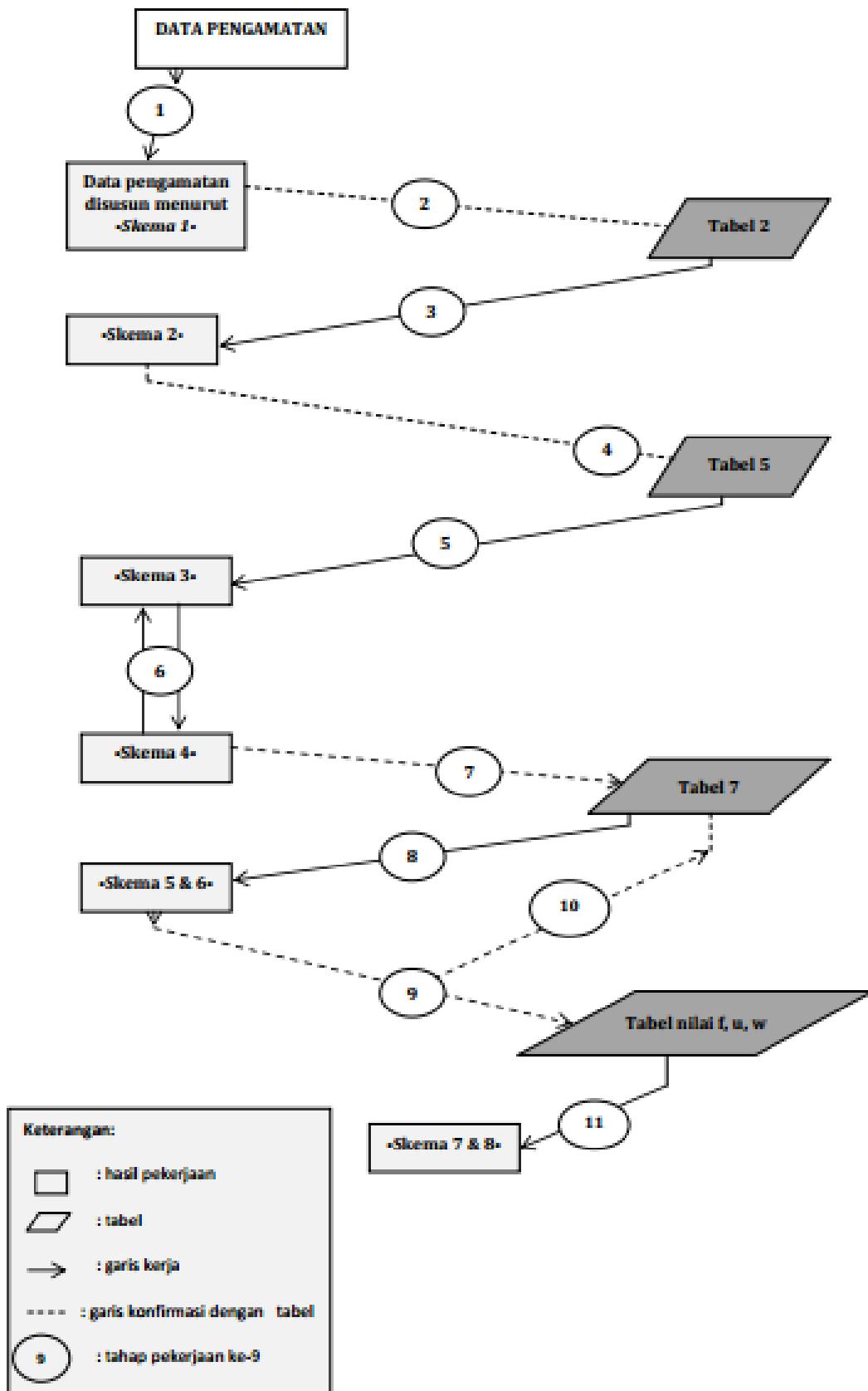


Grafik rencana kenaikan muka air laut akibat pengaruh pemanasan global

Berdasarkan grafik rencana kenaikan muka air laut dan persamaan 10 diperoleh nilai SLR dan DWL sebagai berikut,

Tahun	<i>SLR (m)</i>	<i>DWL (m)</i>
2020	0,21	2,92
2025	0,25	2,96
2050	0,54	3,25
2100	1,04	3,75

Lampiran 7. Proses Perhitungan Pasang Surut dengan Metode Admiralty



Skema 1. Penyusunan data pasang surut

Jam Tgl \	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
01/03/2016	130	150	150	150	150	150	140	140	140	150	160	170	190	200	200	210	200	190	180	170	150	140	130	130
02/03/2016	120	130	130	130	140	140	150	150	160	170	170	180	190	200	200	200	200	200	190	170	160	140	130	
03/03/2016	120	110	110	110	120	130	140	160	160	170	170	170	180	180	190	190	200	210	210	210	200	180	160	140
04/03/2016	120	100	90	90	100	110	130	160	170	180	180	180	170	170	170	180	190	200	210	220	220	210	190	160
05/03/2016	150	100	80	70	80	90	120	150	180	190	190	190	170	160	160	160	170	180	210	230	240	240	220	190
06/03/2016	180	110	80	60	60	70	100	140	180	200	210	200	180	160	150	140	140	160	190	220	240	260	250	220
07/03/2016	210	130	90	60	50	50	80	120	170	200	220	220	200	170	140	120	120	130	160	190	230	260	270	250
08/03/2016	240	160	110	70	40	40	60	100	150	200	230	240	220	190	150	120	100	100	120	160	210	250	270	270
09/03/2016	260	190	140	90	50	40	50	80	130	180	230	250	240	210	170	130	10	90	100	130	170	220	260	270
10/03/2016	260	230	170	120	70	50	50	70	110	160	210	250	250	230	200	150	110	80	80	90	130	180	220	260
11/03/2016	250	250	210	150	110	70	50	60	100	140	190	230	260	250	220	180	130	100	70	80	100	140	180	220
12/03/2016	210	250	220	190	140	100	70	70	90	120	170	210	250	250	240	210	160	120	90	70	80	100	140	180
13/03/2016	170	230	230	200	170	130	110	90	90	120	150	190	230	250	250	230	200	160	120	90	80	90	110	140
14/03/2016	130	190	210	200	190	160	140	120	110	120	140	170	200	230	240	230	220	190	150	120	100	90	90	110
15/03/2016	100	150	170	180	190	180	170	150	140	140	140	160	180	200	220	230	220	210	190	160	130	110	90	90
16/03/2016	80	110	130	150	170	180	180	180	170	160	160	160	170	180	190	210	220	220	210	190	170	140	110	90
17/03/2016	90	80	90	110	130	160	180	190	190	190	180	170	160	160	170	180	200	210	220	220	200	180	150	120
18/03/2016	110	70	70	80	100	130	160	190	210	210	200	190	170	160	150	160	170	190	210	230	230	210	190	150
19/03/2016	140	80	60	50	70	100	140	180	210	220	220	210	190	160	140	140	140	160	190	220	240	240	220	190
20/03/2016	180	100	70	50	50	70	110	150	200	230	240	230	200	170	150	130	120	140	160	200	230	250	240	220
21/03/2016	210	130	90	50	40	50	80	130	180	220	240	240	220	190	150	130	110	110	140	170	210	240	250	240
22/03/2016	230	160	120	80	50	50	70	100	150	200	230	240	230	200	200	170	130	110	110	140	180	220	250	250
23/03/2016	240	190	150	100	70	60	60	90	140	180	220	240	240	210	180	140	110	100	100	120	160	200	230	250
24/03/2016	230	210	170	130	90	70	70	90	130	170	210	230	240	220	190	150	120	100	90	100	130	170	210	230
25/03/2016	220	220	190	150	120	90	90	100	130	160	200	230	240	230	200	160	130	100	90	90	110	140	180	210
26/03/2016	200	220	190	170	140	110	110	110	130	160	190	220	230	230	210	170	140	110	90	90	100	120	150	180
27/03/2016	180	200	190	170	150	130	120	120	140	160	190	220	230	230	220	190	150	120	100	90	90	110	130	160
28/03/2016	150	190	180	170	160	140	130	130	150	170	190	210	230	230	220	200	170	140	120	100	100	120	140	
29/03/2016	130	160	170	170	160	150	140	140	150	170	190	210	220	230	220	210	190	160	140	120	100	100	110	120

Hasil Penyusunan Skema 2 dan 3

X1	Y1		X2		Y2		X4		Y4		Xo	X1	Y1	X2	Y2	X4	Y4	
+	-	+	-	+	-	+	-	+	-		2000	2000	2000	2000	2000	2000		
2090	1780	2090	1780	1900	1970	2070	1800	1280	1290	1940	1930	3870	2310	2310	1930	2270	1990	2010
2120	1780	2160	1740	1880	2020	1960	1940	1290	1300	1960	1940	3900	2340	2420	1860	2020	1990	2020
2120	1800	2250	1670	1880	2040	1850	2070	1300	1310	1970	1950	3920	2320	2580	1840	1780	1990	2020
2080	1820	2290	1610	1920	1980	1690	2210	1280	1310	1930	1970	3900	2260	2680	1940	1480	1970	1960
2020	1900	2330	1590	2040	1880	1570	2350	1300	1320	1950	1970	3920	2120	2740	2160	1220	1980	1980
1960	1940	2310	1590	2200	1700	1490	2410	1300	1310	1930	1970	3900	2020	2720	2500	1080	1990	1960
1890	1950	2240	1600	2360	1480	1470	2370	1300	1270	1890	1950	3840	1940	2640	2880	1100	2030	1940
1860	1940	2160	1640	2530	1270	1540	2260	1290	1260	1870	1930	3800	1920	2520	3260	1280	2030	1940
1770	1920	2000	1690	2620	1070	1620	2070	1300	1230	1870	1820	3690	1850	2310	3550	1550	2070	2050
1870	1860	1980	1750	2620	1110	1920	1810	1280	1220	1870	1860	3730	2010	2230	3510	2110	2060	2010
1910	1830	1930	1810	2540	1200	2180	1560	1250	1240	1900	1840	3740	2080	2120	3340	2620	2010	2060
1960	1770	1890	1840	2340	1390	2340	1390	1230	1250	1890	1840	3730	2190	2050	2950	2950	1980	2050
2070	1760	1950	1880	2160	1670	2450	1380	1250	1290	1940	1890	3830	2310	2070	2490	3070	1960	2050
2110	1740	1970	1880	1920	1930	2390	1460	1250	1300	1940	1910	3850	2370	2090	1990	2930	1950	2030
2160	1740	2030	1870	1750	2150	2230	1670	1280	1320	1960	1940	3900	2420	2160	1600	2560	1960	2020
2200	1730	2100	1830	1680	2250	2010	1920	1290	1320	1960	1970	3930	2470	2270	1430	2090	1970	1990
2180	1750	2170	1760	1740	2190	1740	2190	1310	1310	1950	1980	3930	2430	2410	1550	1550	2000	1970
2160	1780	2220	1720	1880	2060	1560	2380	1310	1320	1960	1980	3940	2380	2500	1820	1180	1990	1980
2300	1610	2230	1680	2070	1940	1430	2480	1320	1280	1950	1960	3910	2690	2550	2130	950	2040	1990
2070	1820	2210	1680	2280	1610	1430	2460	1310	1310	1920	1970	3890	2250	2530	2670	970	2000	1950
1940	1640	2160	1660	2420	1250	1480	2020	1250	1250	1900	1920	3580	2300	2500	3170	1460	2000	1980
1930	1840	2090	1680	2500	1270	1630	2140	1280	1250	1860	1910	3770	2090	2410	3230	1490	2030	1950
1560	1540	2040	1740	2530	1250	1790	1660	1320	1250	1880	1900	3100	2020	2300	3280	2130	2070	1980
1920	1830	1950	1800	2480	1270	1920	1830	1260	1240	1870	1880	3750	2090	2150	3210	2090	2020	1990
1970	1810	1880	1900	2420	1360	2050	1730	1270	1240	1910	1870	3780	2160	1980	3060	2320	2030	2040
2010	1760	1820	1950	2300	1470	2120	1650	1250	1250	1910	1860	3770	2250	1870	2830	2470	2000	2050
2090	1700	1820	1970	2220	1570	2160	1630	1260	1270	1910	1880	3790	2390	1850	2650	2530	1990	2030
2170	1670	1870	1970	2130	1710	2180	1660	1260	1290	1930	1910	3840	2500	1900	2420	2520	1970	2020
2230	1630	1920	1940	2030	1830	2170	1690	1270	1290	1920	1940	3860	2600	1980	2200	2480	1980	1980

Hasil Penyusunan Skema 4

Index	Tanda	X	Y	X	Y
		Tambahan		Jumlah	
00	+	110360		110360	
10	+	65080	66840		
	-	58000	58000	7080	8840
12	+	35540	33140		
	-	29540	33700		
(29)	(-)	2000	2000	4000	-2560
1b	+	26220	24920		
	-	27520	30540	-1300	-5620
13	+	33570	34510		
	-	31510	32330		
(29)	(-)	2000	2000	60	180
1c	+	31050	32950		
	-	31610	31730	-560	1220
20	+	73450	56250		
	-	58000	58000	15450	-1750
22	+	31500	33880		
	-	41950	22370		
(29)	(-)	2000	2000	-12450	9510
2b	+	35280	29290		
	-	25950	16880	9330	12410
23	+	35410	30400		
	-	38040	25850		
(29)	(-)	2000	2000	-4630	2550
2c	+	36060	28480		
	-	35790	25210	270	3270
42	+	29690	30180		
	-	28360	27820		
(29)	(-)	2000	2000	-670	360
4b	+	24110	24360		
	-	23950	23740	160	620
44	+	30050	29860		
	-	28000	28140		
(29)	(-)	2000	2000	50	-280
4d	+	23890	24030		
IV	-	24170	24070	-280	-40



Skema 5 dan 6

			So	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4
(29) : Daftar 3a (15) : Daftar 3b	X 00	=	110360	110360,00						
	X 10	=	7080				7080,000	-566,400		
	X 12 - Y 1b	=	9620		673,400		-192,400	9620,00		192,400
	X 13 - Y 1c	=	-1160							
	X 20	=	15450		-463,500	15450,00	-463,500			
	X 22 - Y 2b	=	-24860		-24860,00	-372,900	-820,380	-49,720	1441,880	870,100
	X 23 - Y 2c	=	-7900		474,000		-7900,00			
	X 42 - Y 4b	=	-1290		-38,700					-1290,00
V	X 44 - Y 4d	=	90						90,000	7,200
VI	Y 10	=	8840				8840,00	-707,200		
	Y 12 + X 1b	=	-3860		-270,200		77,20	-3860,00		-115,80
	Y 13 + X 1c	=	-380							
	Y 20	=	-1750		52,50	-1750,00	52,50			
	Y 22 + X 2b	=	18840		18840,00	282,60	602,88		-1092,72	-659,40
	Y 23 + X 2c	=	2820		-169,20		2820,00			
	Y 42 + X 4b	=	520		15,60				5,20	520,00
	Y 44 + X 4d	=	-560						-560,00	-44,80

		So	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4
V	PR cos r	110360,000	-24214,800	15077,100	-9183,880	6837,880	10495,480	90,000	-220,300
V	I PR sin r		18468,700	-1467,400	3475,380	8917,200	-5659,920	-554,800	-300,000
	PR	110360,000	30454,054	15148,340	9819,466	11237,129	11924,336	562,053	372,199
Daftar 3a	: P	696,000	559,000	448,000	566,000	439,000	565,000	507,000	535,000
Hasil hitung	: f		0,988	1,000	0,988	1,049	1,079	0,977	0,988
Hasil Hitung	: 1+W		1,000	0,762	1,157	1,306	1,000	1,000	0,762
Hasil Hitung	V		180,704	0,000	72,610	354,683	186,021	1,408	180,704
Hasil Hitung	u		2,031	0,000	2,031	7,942	-9,316	4,061	2,031
Hasil Hitung	w		0,000	-0,780	5,629	0,638	0,000	0,000	-0,780
Daftar 3a (3b) : p		333,000	345,000	327,000	173,000	160,000	307,000	318,000	
Hasil Hitung	: r		142,667	354,441	159,272	52,518	331,663	279,214	233,709
Jumlah	: s		658,402	698,661	566,542	588,781	668,368	591,683	733,663

	So	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4
g		298,402	338,661	206,542	228,781	308,368	231,683	13,663
PR / [P X f X (1 + W)] = A	158,563	55,123	44,366	15,175	18,673	19,556	1,135	0,924

Skema 7

VII : K1 : V	=	354,683
VII : K1 : u	=	7,942
Jumlah : V + u	=	362,625
S2 : w/f	=	-0,703
W/f	=	-0,214
K2 f	=	1,110
w	=	-0,780
W	=	-0,238
1 + W	=	0,762

VII : K1 : 2V	=	709,365
VII : K1 : u	=	7,942
Jumlah : 2V + u	=	-2,692
K1 : wf	=	0,669
K1 : Wf	=	0,331
w	=	0,638
W	=	0,306
1 + W	=	1,306



VII : M2 : 3V =	542,112
VII : N2 : 2V =	145,220
selisih (M2 - N2) =	396,891
N2 : w =	5,629
N2 : 1+W =	1,157

Skema 8

M2 , O1 , M4 :	$W = 0 : w = 0$
S2 :	$f = 1 : V, u = 0$
N2 , MS4 :	f, u sama dengan M2
M4 :	$f = (f M2)^2$ $= 0,977$ $V = (V M2) \times 2$ $= 361,4077941$ $u = (u M2) \times 2$ $= 4,061132576$
MS4	$V = V M2$ $= 180,703897$
K2 :	$A = A S2 \times 0.23$ $= 10,20426377$ $g = g S2$ $= 338,661$
P1 :	$A = A K1 \times 0.33$ $= 6,162180135$ $g = g K1$ $= 228,781$

Hasil akhir

HASIL TERAKHIR											
	So	M2	S2	N2	K2	K1	O1	P1	M4	MS4	
A cm	159	55	44	15	10	19	20	6	1	1	
G	298	339	207	339	229	308	229	229	232	14	



Lampiran 8. Dokumentasi



Bangunan Pantai Tampak Samping



Bangunan Pantai Tampak Depan



Pengukuran Tinggi Gelombang



Pengukuran Kemiringan Pantai



Bangunan Pantai Tampak Memanjang



Pengukuran Spesifikasi Bangunan
(Lebar)



Pengukuran Spesifikasi Bangunan
(Panjang)

