

**ANALISIS POLA PENJALARAN GELOMBANG TERHADAP DINAMIKA
PANTAI DENGAN MENGGUNAKAN MODEL CMS-WAVE PADA PULAU GILI
RAJA KABUPATEN SUMENEP MADURA**

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

Oleh:

**MAMIK MELANI
115080601111033**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2015**

**ANALISIS POLA PENJALARAN GELOMBANG TERHADAP DINAMIKA
PANTAI DENGAN MENGGUNAKAN MODEL CMS-WAVE PADA PULAU GILI
RAJA KABUPATEN SUMENEP MADURA**

**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:
MAMIK MELANI
NIM 115080601111033**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2015**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS POLA PENJALARAN GELOMBANG TERHADAP DINAMIKA
PANTAI DENGAN MENGGUNAKAN MODEL CMS-WAVE PADA PULAU GILI
RAJA KABUPATEN SUMENEP MADURA

Oleh:

MAMIK MELANI
115080601111033

Dosen Peguji I

(Dr. Eng. Abu Bakar Sambah, S.Pi, MT

NIP. 19780717 200501 1 002

Tanggal :

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

(Ir. Bambang Semedi M.Sc Ph. D)

NIP. 1962120 19880 31004

Tanggal :

Dosen Peguji II

(Dhira Khurniawan S, S.Kel, M.Sc)

NIK. 201201860115001

Tanggal :

Dosen Pembimbing II

(Nurin Hidayati ST, M.Sc)

NIP. 19781102 200502 2 001

Tanggal :

Mengetahui,
Ketua Jurusan

(Dr.Ir. Daduk Setyohadi, MP)

NIP. 196306081987031003

Tanggal :

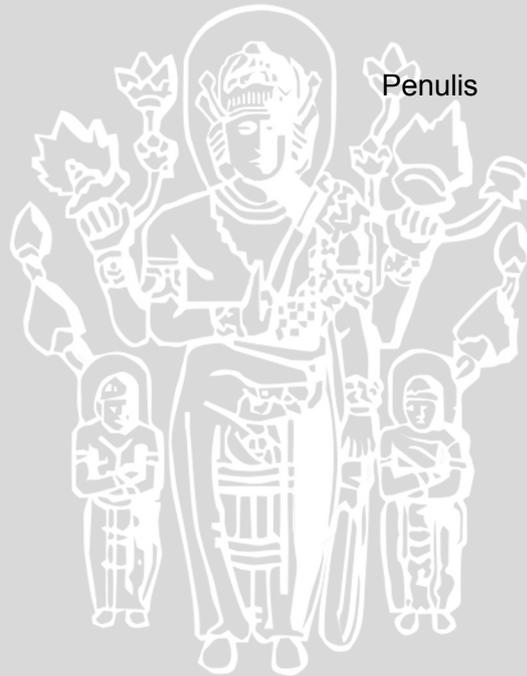
ORSINALITAS SKRIPSI

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi yang saya tulis ini benar merupakan hasil karya tulis saya sendiri, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis orang lain kecuali yang tertulis dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari dapat dibuktikan bahwa skripsi ini adalah hasil plagiasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas tindakan tersebut.

Malang, 12 Agustus 2015

Penulis



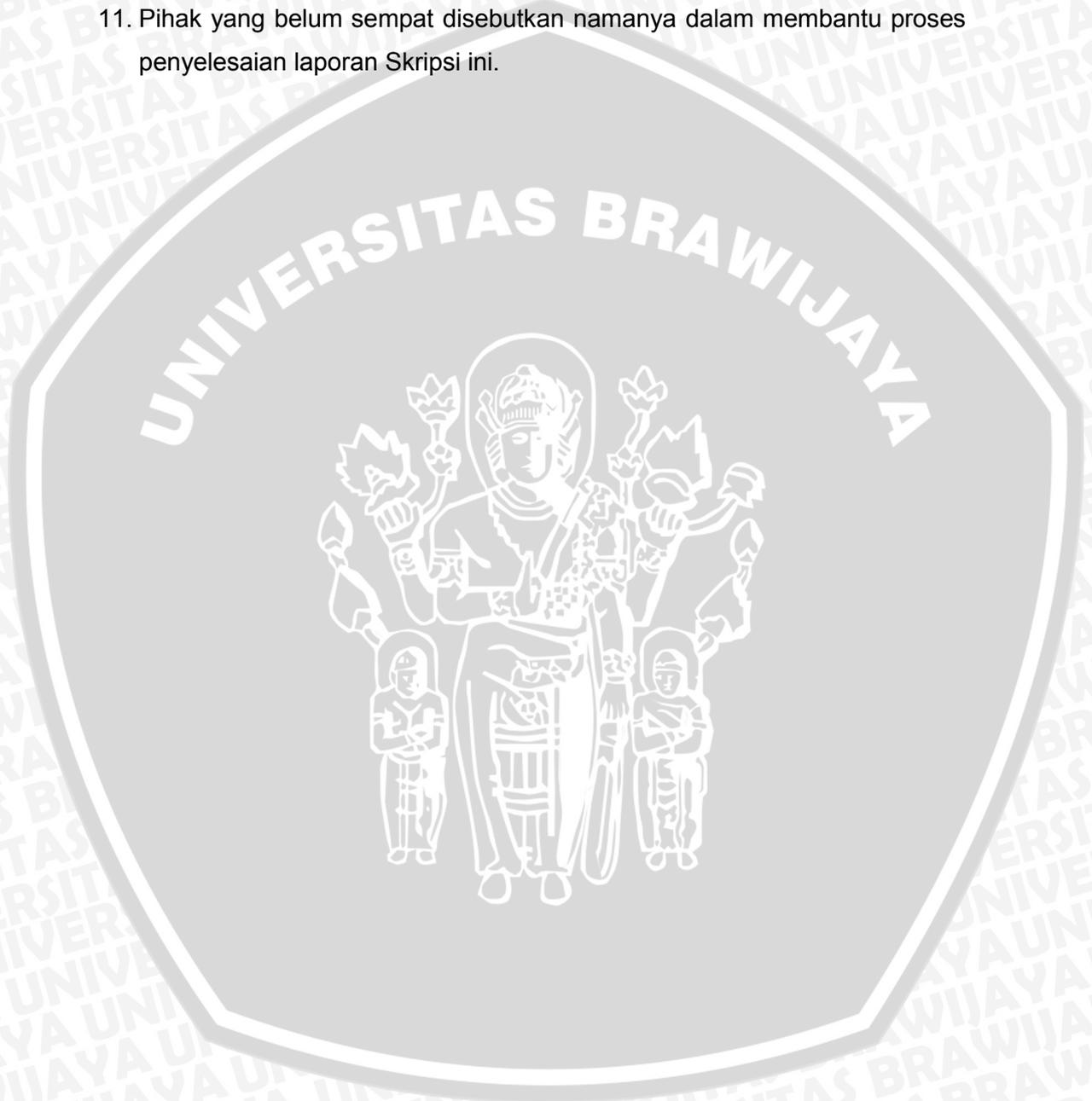
UCAPAN TERIMAKASIH

Atas terselesakainnya laporan penelitian ini, penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar besarnya kepada :

1. Kedua orang tua Bapak Sulani dan Ibu Nur Sipah yang senantiasa mendukung, selalu memberikan do'a, serta motivasi selama penulis duduk dibangku perkuliahan.
2. Bapak Ir. Bambang Semedi M.S.c., Ph.D dan Ibu Nurin Hidayati, ST, M.Sc. sebagai Dosen Pembimbing Skripsi, atas bimbingan arahan dan kebijaksanaan dalam pelaksanaan sampai dengan terselesaikannya laporan Skripsi ini.
3. Bapak Dr. Eng. Abu Bakar Sambah S.Pi, MT dan Bapak Dhira K. Saputra S.Kel, M.Sc sebagai Dosen Penguji Skripsi, dalam memberikan kritik dan masukan untuk dapat terciptanya kesempurnaan Laporan Skripsi ini.
4. Ucapan terimakasih penulis secara khusus sampaikan kepada Pak Jejen Jenhar Hidayat S.Kel atas kesabaran dan kesediaan waktu yang diberikan kepada penulis, serta dalam membantu amat teramat banyak dan memberikan saran kepada penulis dalam pengolahan permodelan gelombang *CMS-Wave*. Sekaligus *TeamViewer* yang menjadi media dalam pembelajaran pengolahan *CMS-Wave*.
5. Terimakasih kepada Ibu dan Bapak Kepala Desa Pulau Gili Raja Sumenep, Hj. Suciati dan H. Bambang serta kedua teman Wilda dan Nurul yang menerima penulis dengan tangan terbuka, memberikan bantuan dan fasilitas selama penulis mengambil data lapang.
6. Teman teman yang memberikan semangat serta membantu penulis dalam memantu pengambilan data lapang Adit Maret, Agung, Bastian, Desiana, Nurin, Sri, Titus dan Yulvan.
7. Terimakasih kepada Mbak Rohma yang membantu penulis sekaligus menjadi teman konsultasi dalam pengolahan *CMS-Wave*.
8. Terimakasih kepada teman dekat Leli, Nurul, Silvi, Luki, Desiana, Ela, Fahreza, Ucups, Iwan, Jefri, Akbar, Ukik, Adam, Ani, Dinka, Dika serta teman – teman Ilmu Kelautan 2011, kakak tingkat 2008, 2009, dan 2010.
9. Terimakasih kepada Atik, Dita, Hayin, Kethut, Risma, Muza, Atin, Anin, Lia, Ambar, Yuli, Lindha, Mbak Wulan, Mbak Tatha, Mbak Zela yang

memberikan semangat dan dukungan kepada penulis untuk melaksanakan sidang skripsi.

10. Terimakasih kepada keluarga besar *Oceanography Study Research* yang telah mejadi wadah untuk belajar bersama, wadah untuk bertukar ilmu dalam pembelajaran bidang Oseanografi.
11. Pihak yang belum sempat disebutkan namanya dalam membantu proses penyelesaian laporan Skripsi ini.



RINGKASAN

Mamik Melani. 115080601111033. Analisis Pola Penjalaran Gelombang Terhadap Dinamika Pantai dengan Menggunakan Model *CMS-Wave* pada Pulau Gili Raja Kabupaten Sumenep Madura. **Dibawah bimbingan Ir. Bambang Semedi M.Sc., Ph.D. dan Nurin Hidayati ST, M.Sc.**

Gelombang merupakan salah satu parameter oseanografi yang sangat mempengaruhi kondisi pantai. Gelombang laut dalam perjalanannya menuju pantai akan mengalami suatu proses deformasi yang terdiri dari refraksi, difraksi, serta refleksi. Gelombang yang sampai ke pantai setelah mengalami proses deformasi tersebut akan menimbulkan perubahan morfologi pantai (abrasi atau akresi). Perubahan garis pantai baik maju maupun mundur dapat menimbulkan permasalahan bagi manusia terutama pada wilayah pulau-pulau kecil yang dijadikan sebagai tempat pemukiman. Dengan adanya penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai penjalaran gelombang yang terjadi sehingga dapat digunakan untuk mengetahui proses dinamika pantai seperti laju perubahan abrasi dan sedimentasi yang terjadi pada Pulau Gili Raja. Sehingga, perlu dilakukan pengkajian yang lebih terkait dengan analisis pola penjalaran gelombang yang dikaitkan dengan pengaruhnya terhadap dinamika pantai.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pola penjalaran gelombang (refraksi dan difraksi) pada perairan Pulau Gili Raja, dan untuk mengetahui pengaruh penjalaran gelombang (refraksi dan difraksi) terhadap dinamika pantai. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode deskriptif analitik, yang merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memberikan gambaran yang lebih detail mengenai suatu gejala atau fenomena. Hasil akhir dari penelitian tersebut biasanya berupa tipologi atau pola-pola mengenai fenomena yang sedang dibahas.

Hasil permodelan penjalaran gelombang menunjukkan adanya pola deformasi gelombang yang terdiri dari proses refraksi dan *shoaling* (pendangkalan) dan proses difraksi. Untuk proses refraksi dan *shoaling* dapat dijumpai pada sisi sebelah utara, kanan dan kiri pulau. Proses refraksi tersebut karena pengaruh dari perubahan kedalaman yang mampu mengakibatkan pembelokan sehingga arah vektor gelombang semakin tegak lurus dengan pantai. Sedangkan untuk proses difraksi dapat dijumpai pada sisi sebelah utara pulau. Hasil permodelan jika dihubungkan dengan dinamika pantai, pada sisi sebelah utara pulau dianggap pada sisi tersebut terjadi arus menyusur pantai yang ditimbulkan oleh gelombang. Arus yang menyusur pantai tersebut mampu mempengaruhi gerakan sedimen, sehingga pada sisi sebelah utara pulau cenderung mengalami proses akresi. Sisi sebelah selatan barat pulau jika hasil permodelan menunjukkan adanya refraksi konvergen. Refraksi konvergen terjadi karena adanya pemusatan energi gelombang yang dapat mengakibatkan proses abrasi jika terjadi secara terus menerus.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran ALLAH SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan Laporan Skripsi yang berjudul Analisis Penjalaran Gelombang Terhadap Dinamika Pantai Dengan Menggunakan Model *CMS-Wave* pada Pulau Gili Raja Kabupaten Sumenep Madura. Laporan ini sebagai salah satu syarat untuk menerima gelar Sarjana di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih banyak kekurangan dan masih perlu diperbaiki. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang dapat membangun untuk kesempurnaan laporan ini dan diharapkan laporan Skripsi ini dapat bermanfaat untuk bagi para pembaca.

Malang, 12 Agustus 2015

Penulis



DAFTAR ISI

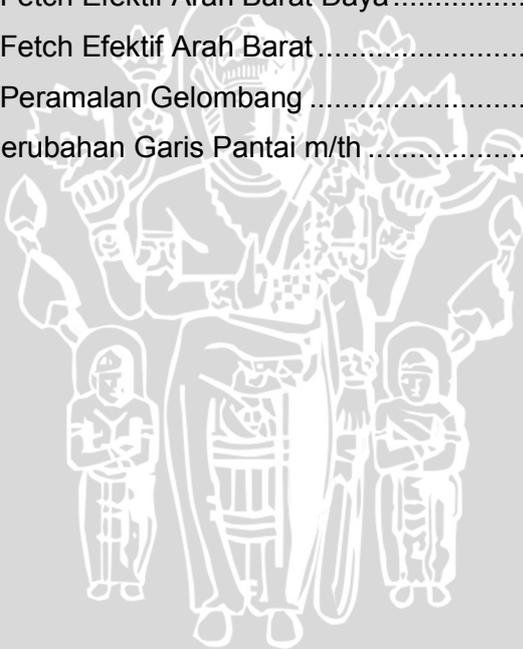
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ORSINALITAS SKRIPSI	iii
UCAPAN TERIMAKASIH.....	iv
RINGKASAN	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Kegunaan.....	4
1.5 Tempat dan Waktu Pelaksanaan.....	4
1.6 Batasan Masalah.....	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Angin	5
2.2 Gelombang.....	5
2.3 Deformasi Gelombang.....	7
2.3.1 Refraksi Gelombang.....	7
2.3.2 Difraksi Gelombang	9
2.3.3 Gelombang Pecah.....	11
2.4 Batimetri	12
2.5 CMS-Wave.....	13
2.6 Dinamika Pantai	13
3. METODE PENELITIAN	15
3.1 Keadaan Umum Pulau Gili Raja	15
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	16
3.3 Materi dan Metode Penelitian	17
3.3.1 Materi Penelitian.....	17
3.3.2 Metode Penelitian.....	18



3.4	Metode Pengambilan Data	19
3.5	Metode Pengolahan Data	19
3.5.1	Pengolahan Data Angin	19
3.5.2	Pengolahan Fetch	23
3.5.3	Pengolahan Gelombang Representatif	24
3.5.4	Pengolahan Modul <i>CMS-Wave</i>	27
3.5.5	Pengolahan Perubahan Garis Pantai	28
3.6	Diagram Alir Pengolahan Data	29
4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1	Analisis Data Gelombang <i>In-situ</i>	31
4.2	Analisis Data Gelombang Hasil Pembangkitan	33
4.2.1	Distribusi Arah Angin Dominan	33
4.2.2	Penentuan Fetch	34
4.2.3	Penentuan Gelombang Signifikan	38
4.3	Analisis Penjalaran Gelombang Modul <i>CMS-Wave</i>	42
4.4	Analisis Perubahan Garis Pantai	49
4.5	Analisis Hubungan Pola Penjalaran dan Dinamika Pantai	54
4.6	Kendala dan Hambatan Penelitian	57
5.	PENUTUP	58
5.1	Kesimpulan	58
5.2	Saran	58
DAFTAR PUSTAKA		60
LAMPIRAN		62

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Titik Stasiun Pengambilan Data	16
Tabel 2. Alat - alat Penelitian	16
Tabel 3. Bahan Penelitian	17
Tabel 4. Acuan Arah Angin	23
Tabel 5. Data Gelombang Pengukuran Insitu	31
Tabel 6. Data Gelombang Representatif	32
Tabel 7. Frekuensi Kejadian Angin 10 Tahun	34
Tabel 8. Perhitungan Fetch Efektif Arah Timur	35
Tabel 9. Perhitungan Fetch Efektif Arah Tenggara	36
Tabel 10. Perhitungan Fetch Efektif Arah Selatan	36
Tabel 11. Perhitungan Fetch Efektif Arah Barat Daya	37
Tabel 12. Perhitungan Fetch Efektif Arah Barat	37
Tabel 13. Perhitungan Peramalan Gelombang	39
Tabel 14. Besar Laju Perubahan Garis Pantai m/th	50



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Sket definisi gelombang	6
Gambar 2. Pola refraksi gelombang	8
Gambar 3. Difraksi gelombang dibelakan rintangan.....	10
Gambar 4. Peta Lokasi Penelitian.....	15
Gambar 5. Grafik untuk koreksi stabilitas (SPM,1984).....	21
Gambar 6. Grafik untuk koreksi efek lokasi (SPM,1984).....	22
Gambar 7. Diagram Alir Pembangkitan Gelombang	26
Gambar 8. Diagram Alir Pengolahan Modul CMS-Wave.....	27
Gambar 9. Diagram Alir Pengolahan Perubahan Garis Pantai.....	29
Gambar 10. Diagram Alir Penelitian.....	30
Gambar 11. Mawar Angin selama 10 Tahun.....	33
Gambar 12. Penarikan panjang Fetch yang dibatasi oleh daratan	35
Gambar 13. Grafik Tinggi Gelombang Hasil Peramalan.....	40
Gambar 14. Periode Gelombang Hasil Peramalan	41
Gambar 15. Pola Penjalaran dan Deformasi Gelombang.....	44
Gambar 16. Hasil Verifikasi Data Lapang dan Model.....	45
Gambar 17. Regresi Data Gelombang.....	46
Gambar 18. Pola Penjalaran Gelombang menggunakan Surfer.....	48
Gambar 19. Peta Perubahan Garis Pantai (2002 dan 2014).....	50



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Windrose	62
Lampiran 2. Pengolahan Perubahan Garis Pantai	64
Lampiran 3. Dokumentasi Pengambilan Data Lapang	65



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gelombang merupakan salah satu parameter Oseanografi yang sangat mempengaruhi kondisi pantai. Adanya gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transport sedimen dalam arah lurus pantai maupun sepanjang pantai. Gelombang laut dalam perjalanannya menuju pantai akan mengalami suatu proses deformasi yang terdiri dari refraksi, difraksi, serta refleksi. Refraksi terjadi akibat adanya pengaruh perubahan kedalaman laut dalam menuju pantai yang semakin dangkal. Difraksi terjadi akibat gelombang terhalang oleh rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau. Sedangkan refleksi adalah proses pemantulan gelombang oleh dinding atau bentuk garis pantai tertentu (Triatmodjo, 1999).

Refraksi dan difraksi gelombang laut yang terjadi merupakan proses - proses di daerah sekitar pantai yang berpengaruh secara langsung terhadap perubahan garis pantai, dimana refraksi berperan dalam perubahan topografi dasar laut dari pengaruh erosi dan sedimentasi, sedangkan difraksi berperan dalam peredaman energi gelombang laut dari laut dalam yang terhalang oleh penghalang atau rintangan di laut (Thirtasari dkk, 2015).

Gelombang yang sampai ke pantai setelah mengalami proses deformasi tersebut akan menimbulkan perubahan morfologi pantai (abrasi atau akresi). Gelombang mampu menimbulkan energi yang dapat menyebabkan terjadinya erosi pantai dan sebagai angkutan material dasar dekat pantai, lepas pantai dan sepanjang pantai (Rahayu, 2000). Perubahan garis pantai baik maju maupun mundur dapat menimbulkan permasalahan bagi manusia terutama pada wilayah pulau-pulau kecil yang dijadikan sebagai tempat pemukiman. Permasalahan

akibat adanya sedimentasi dapat mempengaruhi luasnya area lahan, pendangkalan pelabuhan, pendangkalan pada muara yang dapat menyebabkan banjir. Begitu pula pemasalahan akibat adanya abrasi yang dapat menyebabkan penyempitan lahan pemukiman dan rusaknya lahan tambak yang berada disekitar pantai.

Secara oseanografi eksistensi pulau-pulau kecil amat dipengaruhi oleh pergerakan arus, pasang surut dan gelombang. Pola arus, pasang surut dan gelombang yang dinamis akan mempengaruhi kondisi daratan disuatu pulau kecil. Pulau kecil sangat rentan terhadap perubahan alam atau perubahan dari manusia seperti bencana angin badai, gelombang serta fenomena kenaikan muka air laut, sebagai contoh adalah Pulau Gili Raja. Pulau Gili Raja merupakan salah satu pulau yang terletak di selatan Kabupaten Sumenep Madura. Pulau Gili Raja memiliki empat desa yang terdiri dari Desa Banmaleng yang berada di tepi barat, Desa Banbaru, Desa Jate yang keduanya berada ditengah, dan Desa Lombang yang berada di ujung timur. Pulau Gili Raja memiliki luas wilayah $\pm 12 \text{ km}^2$ dengan panjang rata-rata 6 km dan lebar 2 km (Dewi, 2011).

Terdapat dua faktor yang mempengaruhi keberlanjutan sumber daya di wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil, yaitu mengenai interaksi manusia dalam memanfaatkan sumber daya dan jasa-jasa lingkungan, baik secara langsung maupun tidak langsung, seperti pembangunan di Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, perikanan destruktif, reklamasi pantai, pemanfaatan mangrove dan pariwisata bahari. Serta proses-proses alamiah seperti abrasi, sedimentasi, ombak, gelombang laut, arus, angin, salinitas, pasang surut, gempa tektonik, dan tsunami (UU No.27 Tahun 2007).

Pemanfaatan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil dapat dilaksanakan dalam banyak hal, diantaranya adalah pembelajaran dinamika gelombang serta interaksinya dengan proses-proses yang terjadi. Terutama dengan

menggunakan modul *CMS-Wave* dalam melakukan permodelan gelombang yang terjadi. *CMS-Wave* dapat menggambarkan proses-proses penting pada gelombang disekitar pantai termasuk diantaranya adalah difraksi, refraksi, refleksi, mekanisme gelombang pecah, interaksi *wave-current*, serta pertumbuhan dan pembangkitan gelombang. Dengan adanya penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai penjalaran gelombang yang terjadi sehingga dapat digunakan untuk mengetahui proses dinamika pantai seperti laju perubahan abrasi dan sedimentasi yang terjadi pada Pulau Gili Raja. Sehingga, perlu dilakukan pengkajian yang lebih terkait dengan analisis pola penjalaran gelombang yang dikaitkan dengan pengaruhnya terhadap dinamika pantai.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan adapun rumusan masalah dalam Penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pola penjalaran gelombang (refraksi dan difraksi) pada perairan Pulau Gili Raja?
2. Apa pengaruh penjalaran gelombang (refraksi dan difraksi) terhadap dinamika pantai?

1.3 Tujuan

Tujuan dalam Penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pola penjalaran gelombang (refraksi dan difraksi) pada perairan Pulau Gili Raja.
2. Untuk mengetahui pengaruh penjalaran gelombang (refraksi dan difraksi) terhadap dinamika pantai.

1.4 Kegunaan

Kegunaan dari Penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat dijadikan sebagai sumber informasi keilmuan dasar untuk referensi tentang analisis pola penjalaran gelombang dengan menggunakan Modul *CMS-Wave*.
2. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini dapat dijadikan sebagai data dasar dan data pendukung untuk penelitian, dalam perencanaan dan pengembangan, serta pengelolaan lingkungan pantai pada daerah setempat.

1.5 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Pelaksanaan penelitian ini dilaksanakan selama tiga hari pada tanggal 24-26 Maret 2015, dimana tempat penelitian yang dikaji adalah Pulau Gili Raja, Madura.

1.6 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang dibahas dalam penelitian ini antara lain :

1. Analisis mengenai penjalaran gelombang hanya membahas refraksi dan difraksi gelombang pada Pulau Gili Raja, Madura.
2. Data angin yang digunakan selama 10 tahun (2005 – 2014) didapatkan dari ECMWF (*The European Center For Medium-Range Weather Forecasts*) dan pengolahan data menggunakan *Microsoft Excel*, *ArcGIS 10*, *WRPLOT*, *SMS 10*.
3. Analisis pengaruh penjalaran gelombang (refraksi dan difraksi) terhadap dinamika pantai hanya ditampilkan dengan menggunakan peta perubahan garis pantai melalui data sekunder.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Angin

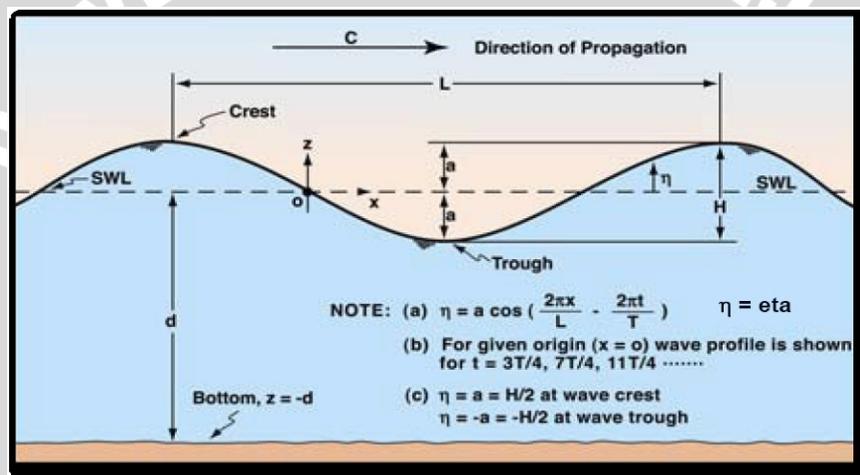
Angin yang berhembus di atas permukaan air laut akan memindahkan energinya ke air. Kecepatan angin akan menimbulkan tegangan pada permukaan laut, sehingga permukaan air yang semula tenang akan terganggu dan timbul riak gelombang kecil di atas permukaan air laut. Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut semakin besar dan apabila angin semakin berhembus pada akhirnya akan terbentuk gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin yang berhembus, semakin besar gelombang yang terbentuk. Besar kecilnya tinggi dan periode gelombang yang dibangkitkan oleh angin dipengaruhi oleh beberapa faktor yang meliputi kecepatan angin, lama hembusan angin atau durasi, arah angin, dan *fetch* (Hidayat, 2005).

Fetch merupakan panjang keseluruhan dari suatu daerah pembangkitan gelombang dimana angin berhembus dengan arah dan kecepatan yang konstan. Dalam peninjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh daratan yang mengelilingi laut. Nadia (2013), didalam tinjauan pembangkitan gelombang di laut, *fetch* dibatasi oleh bentuk daratan atau pulau yang mengelilingi laut. Jika data untuk menghitung *fetch* terbatas (di laut lepas), maka panjang *fetch* di laut lepas adalah 200 km.

2.2 Gelombang

Menurut Hutabarat dan Evans (1984), bahwa susunan gelombang dilautan baik bentuk maupun macamnya sangat bervariasi dan kompleks, sehingga tidak dapat diuraikan. Adapun beberapa istilah dan bagian gelombang meliputi :

- **Crest** : Titik tertinggi (puncak) gelombang.
- **Through** : Titik terendah (lembah) gelombang.
- **Wave Height** : Jarak vertikal antara *crest* dan *through*.
- **Wave Length** : Jarak berturut – turut antara dua buah *crest* atau dua buah *through*.
- **Wave Period** : Waktu yang dibutuhkan *crest* untuk kembali pada titik semula secara berturut-turut.
- **Wave steepness** : Perbandingan antara panjang gelombang dan tinggi gelombang.



(Sumber : Pilebuck international, 2015)

Gambar 1. Sket definisi gelombang

Gelombang dilaut dapat dibedakan menjadi beberapa macam berdasarkan gaya pembangkitnya. Gelombang tersebut adalah gelombang yang dibangkitkan oleh tiupan angin dipermukaan laut, gelombang pasang surut yang dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami karena letusan gunung berapi atau gempa dilaut dan gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak. Pada umumnya bentuk gelombang di alam sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidak-linear, tiga dimensi dan mempunyai bentuk

yang random (suatu deret gelombang mempunyai tinggi dan periode berbeda). Beberapa teori yang ada hanya menggambarkan bentuk gelombang yang sederhana dan merupakan pendekatan gelombang alam (Triatmodjo, 1999).

2.3 Deformasi Gelombang

Menurut Triatmodjo (1999), analisis transformasi gelombang sering dilakukan dengan konsep gelombang laut dalam ekuivalen yaitu tinggi gelombang di laut dalam jika tidak mengalami refraksi. Tinggi gelombang laut dalam ekuivalen diberikan dalam persamaan :

$$H'_0 = K'Kr H_0 \dots\dots (1)$$

Dimana :

H'_0 : tinggi gelombang laut dalam ekuivalen

H_0 : tinggi gelombang laut dalam

K' : koefisien difraksi

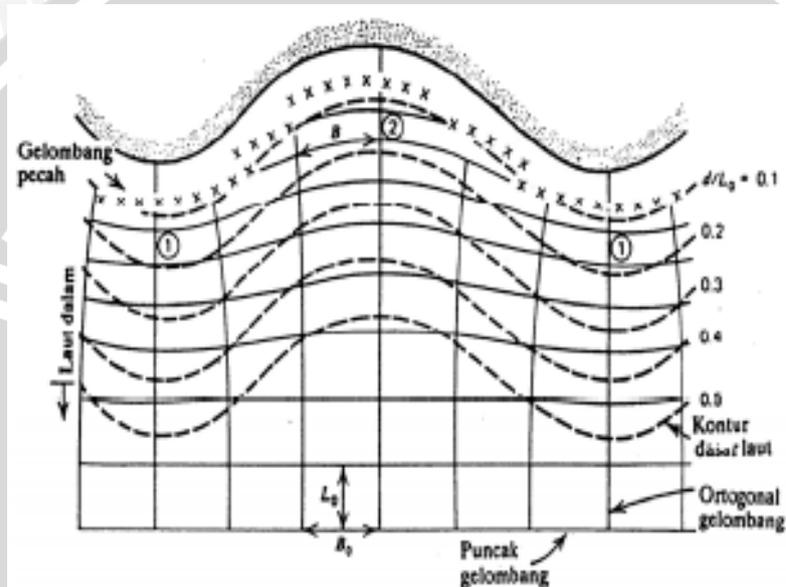
Kr : koefisien refraksi

2.3.1 Refraksi Gelombang

Menurut Sverdrup *et al.* (2005), bahwa gelombang mengalami proses refraksi ketika mereka bergerak dari kedalaman menuju perairan yang lebih dangkal yang diikuti pula perubahan panjang gelombang dan kecepatan gelombang. Ketika gelombang dari pusat strom mendekati pantai, mereka cenderung mendekati sudut pantai. Gelombang pada perairan dangkal bergerak lebih lambat jika dibandingkan dengan bagian gelombang di perairan yang lebih dalam. Hasilnya adalah bahwa pembelokkan puncak gelombang, atau refraksi cenderung menjadi sejajar pantai. Proses difraksi gelombang mirip dengan pembiasan cahaya gelombang suara.

Refraksi gelombang merupakan suatu peristiwa perubahan arah gelombang yang bergerak menuju pantai dari kedalaman air yang dalam menuju

kedalaman air yang dangkal. Hal tersebut terjadi karena adanya perubahan kedalaman air, peristiwa refraksi gelombang diakibatkan oleh perbedaan kecepatan gelombang yang biasanya disertai juga dengan perubahan panjang gelombang yang mengecil. Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa pola refraksi yang terjadi pada sebuah pulau kecil di lautan, di mana pola refraksi tersebut digambarkan oleh garis puncak gelombang (*wave crest*) dan sinar gelombang (*wave ray*) (Tarigan, 2005).



(Sumber : Tarigan, 2005)

Gambar 2. Pola refraksi gelombang

Menurut Triatmodjo (1999), bahwa suatu deretan gelombang yang bergerak menuju pantai akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses refraksi dan pendangkalan gelombang, difraksi, refleksi dan gelombang pecah. Proses refraksi terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Didaerah dimana kedalaman air lebih besar dari setengah panjang gelombang, yaitu dilaut dalam gelombang menjalar tanpa dipengaruhi dasar laut. Tetapi dilaut trasnsisi dan dangkal, dasar laut mempengaruhi gelombang. Didaerah ini, apabila ditinjau suatu garis puncak gelombang, bagian dari puncak gelombang yang berada diair yang lebih dangkal akan menjalar

dengan kecepatan yang lebih kecil daripada bagian di air yang lebih dalam. Sehingga garis puncak gelombang akan mengalami pembelokan dan berusaha untuk sejajar garis dengan garis kontur dasar laut. Akibat dari pendangkalan (*wave shoaling*) dan refraksi (berbeloknya gelombang akibat perubahan kedalaman) persamaan gelombang laut dalam menjadi :

$$H'0 = K_S Kr H_0 \dots\dots\dots(2)$$

$$K_S = \frac{H}{H'0} \dots\dots\dots(3)$$

$$\frac{H}{H_0} = \frac{H}{H'0} Kr \dots\dots\dots(4)$$

$$\frac{H'0}{H_0} = Kr \text{ sehingga } H'0 = Kr H_0 \dots\dots\dots(5)$$

Dimana,

K_s : Koefisien pendangkalan (*K_s* bias didapat langsung dari tabel fungsi d/L untuk penambahan nilai d/L₀)

K_r : Koefisien refraksi

$$: \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}}$$

α_0 : Sudut antara garis puncak gelombang dengan dasar dimana gelombang melintas

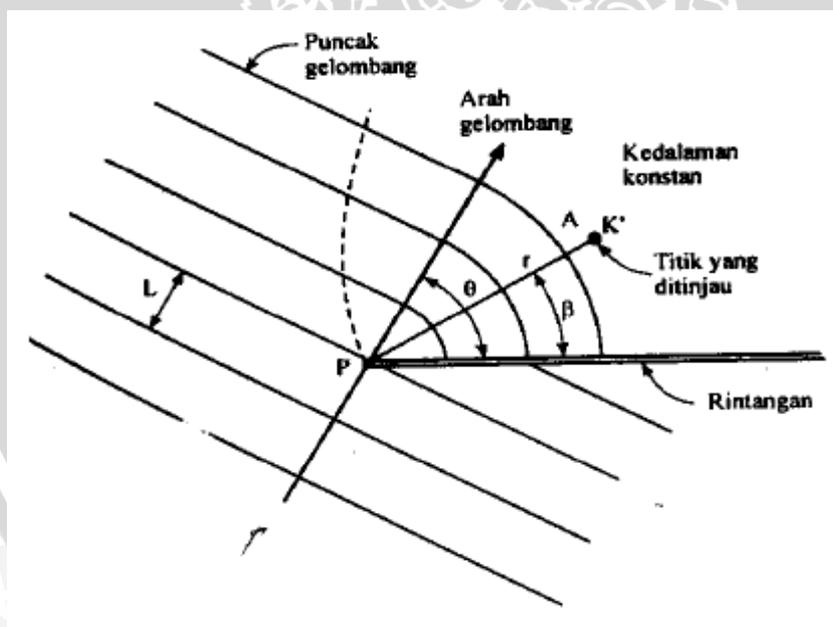
α : Sudut yang sama yang diukur saat garis puncak gelombang melintas kontur dasar berikutnya

2.3.2 Difraksi Gelombang

Fenomena lain yang berhubungan dengan gelombang ketika mendekati pantai atau hambatan lain adalah difraksi. Difraksi terjadi karena disebabkan oleh penyebaran energi gelombang menuju samping dari arah perjalanan gelombang. Sebagian dari difraksi energi gelombang diangkut menyamping dari arah sebenarnya (Sverdrup *et al.* 2005).



Apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok sekitar ujung rintangan dan masuk didaerah terlindung dibelakangnya. Fenomena tersebut dikenal dengan difraksi gelombang. Pada difraksi gelombang terjadi transfer energi dalam arah tegak lurus penjalaran gelombang menuju daerah terlindung. Transfer energi kedaerah terlindung menyebabkan terbentuknya gelombang didaerah tersebut, meskipun tidak sebesar gelombang diluar daerah terlindung. Garis puncak gelombang dibelakang rintangan membelok dan mempunyai bentuk busur lingkaran dengan pusatnya pada ujung rintangan dan dianggap bahwa kedalaman air adalah konstan. Pengetahuan tentang difraksi gelombang ini penting dalam perencanaan pelabuhan dan pemecah gelombang sebagai pelindung pantai.



(Sumber : Triatmodjo, 1999)

Gambar 3. Difraksi gelombang dibelakan rintangan

$$H_A = K'H_P \dots\dots\dots(6)$$

$$K' = f(\theta, \rho, r/L) \dots\dots\dots(7)$$

Dengan A merupakan titik yang ditinjau di belakang rintangan dan P merupakan ujung pemecah gelombang. Nilai K'' untuk α , ρ dan r/L tertentu diberikan dalam Tabel (Triatmodjo, 1999).

2.3.3 Gelombang Pecah

Menurut Triatmodjo (1999), bahwa gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Pengaruh kedalaman laut mulai terasa pada kedalaman lebih kecil dari setengah kali panjang gelombang. Dilaut dalam, profil gelombang adalah sinusoidal, semakin menuju keperairan yang lebih dangkal puncak gelombang semakin tajam dan lembah semakin datar. Selain itu kecepatan dan panjang gelombang berkurang secara berangsur-angsur sementara tinggi gelombang bertambah. Gelombang pecah dapat dibedakan menjadi tipe-tipe berikut ini:

1. *Spilling*, biasanya terjadi apabila gelombang dengan kemiringan yang kecil menuju ke pantai yang datar, gelombang mulai pecah pada jarak yang cukup jauh dari pantai dan pecahnya terjadi berangsur – angsur.
2. *Plunging*, apabila kemiringan gelombang dan dasar laut bertambah, gelombang akan pecah dan puncak gelombang akan memutar dengan masa air pada puncak gelombang akan terjun ke depan.
3. *Surging*, terjadi pada pantai dengan kemiringan yang cukup besar seperti yang terjadi pada pantai berkarang, daerah gelombang pecah sangat sempit dan energi di pantulkan kembali ke laut dalam.

Gelombang akan menjadi tidak stabil (pecah) jika terlampau curam atau tinggi gelombangnya mencapai batas batas tertentu. Tinggi maksimum gelombang diperairan dalam (*deep water*) terbatas pada kecuraman gelombang maksimum untuk bentuk gelombang relative stabil. Gelombang yang mencapai

batas kecuraman (*limited steepness*) akan mulai pecah yang mengakibatkan sebagian energinya hilang (CERC, 1984).

2.4 Batimetri

Kerapatan batimetri suatu perairan mempengaruhi pembelokkan gelombang sehingga gelombang berusaha sejajar dengan garis pantai di belakang pulau. Karena semakin rapat batimetri, maka semakin cepat terjadinya proses pembelokkan (refraksi) di dekat pantai pada pulau-pulau tersebut. Gelombang yang merambat mendekati pantai akan berusaha tegak lurus terhadap garis dasar laut dekat pantai, tetapi belum tentu gelombang datang akan tegak lurus terhadap garis pantai. Ini disebabkan karena garis batimetri tidak selalu sejajar dengan garis pantai. Apabila garis batimetri sejajar dengan garis pantai, maka gelombang datang akan tegak lurus terhadap pantai. Sedangkan garis batimetri tidak sejajar dengan garis pantai, maka gelombang datang akan membentuk sudut terhadap garis pantai (Samulano, 2011).

Menurut Ahmad (2011), peta batimetri dalam aplikasinya memiliki banyak manfaat dalam bidang kelautan antara lain penentu jalur pelayaran yang aman, perencanaan bangunan pinggir pantai, pendektasian adanya potensi bencana tsunami di suatu wilayah, pertambangan, minyak lepas pantai, dan pemeliharaan alur pelayaran. Selain itu, peta batimetri diperlukan untuk mengetahui kondisi morfologi suatu daerah perairan. Kondisi laut yang sangat dinamis sehingga peta batimetri harus selalu update dengan perubahan dan perkembangan kondisi suatu perairan.

Pada transformasi gelombang, batimetri memiliki peranan penting karena pada dasarnya gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju keparairan dangkal akan mengalami refraksi gelombang yang disebabkan oleh perubahan kontur dasar laut, sehingga terjadi perubahan pada gelombang berupa

perubahan tinggi dan arah penjarannya yang kemudian akan menimbulkan proses transformasi gelombang bergantung pada bentuk pantai dan adanya infrastruktur bangunan pantai pada lokasi tersebut (Afrianto dkk, 2014).

2.5 CMS-Wave

CMS-Wave merupakan komponen pada *Coastal Modelling System* yang dikembangkan oleh *US Army Corps of Engineers Coastal and Hydraulics Laboratory*. *CMS-Wave* adalah model 2-D transformasi gelombang spektral dengan menggunakan *forward-marching* dan metode *finite-difference*. Model ini beroperasi pada setengah pesisir sehingga gelombang primer dapat merambat hanya dari batas dari laut menuju pantai (Aquaveo, 2014).

Menurut Ramdani, dkk (2014), bahwa model *CMS-Wave* dapat mensimulasikan berbagai parameter gelombang dengan menggunakan inputan berupa data angin yang dikonversi menjadi data gelombang dengan metode *Sverdrup, Munk dan Bretschneider (SMB)* yaitu dapat menggambarkan proses perjalanan gelombang di sekitar pantai.

Model *CMS-Wave* yang dikembangkan untuk mensimulasikan gelombang pantai dari dua dimensi spektrum gelombang untuk saluran inlets dan navigasi pada pantai yang sering dilindungi oleh dermaga dan pemecah gelombang. *CMS-Wave* juga dapat menggambarkan proses-proses penting pada gelombang disekitar pantai termasuk diantaranya adalah difraksi, refraksi, refleksi, mekanisme gelombang pecah dan gelombang disipasi, interaksi *wave-current*, serta pertumbuhan dan pembangkitan gelombang (Lihwa *et al.* 2008).

2.6 Dinamika Pantai

Pantai selalu menyesuaikan bentuk profilnya sedemikian sehingga mampu menghancurkan energi gelombang yang datang. Penyesuaian bentuk tersebut merupakan tanggapan dinamis alami pantai terhadap laut. Ada dua tipe

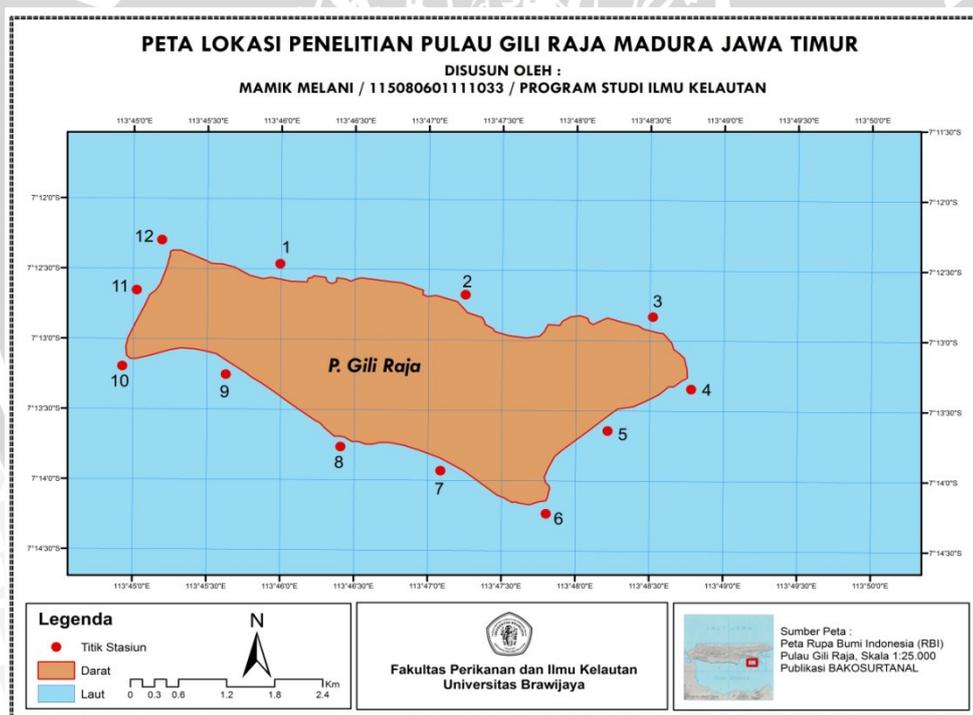
tanggapan pantai dinamis terhadap gerak gelombang, yaitu tanggapan terhadap kondisi gelombang normal dan tanggapan terhadap kondisi gelombang badai. Kondisi gelombang normal terjadi pada waktu yang lebih lama, dan energi gelombang dengan mudah dapat dihancurkan oleh mekanisme pertahanan alami pantai. Pada saat badai terjadi gelombang yang mempunyai energi besar. Sering pertahanan pantai tidak mampu menahan serangan gelombang sehingga pantai dapat tererosi (Triatmodjo, 1999).

Proses dinamis pantai sangat dipengaruhi oleh *litoral transport*, yang mendefinisikan sebagai gerak sedimen didaerah dekat pantai (*nearshore zone*) oleh gelombang dan arus. *Litoral transport* dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu transport sepanjang pantai (*Longshore transport*) dan transport tegak lurus (*onshore-offshore transport*). Material pasir yang yang ditranspor disebut *littoral drift*. Transpor tegak lurus pantai terutama ditentukan oleh kemiringan gelombang, ukuran sedimen dan kemiringan pantai. Pada umumnya gelombang dengan kemiringan besar menggerakkan material kearah laut dan gelombang kecil dengan periode panjang menggerakkan material kearah darat. Saat gelombang pecah sedimen didasar pantai terangkat yang selanjutnya terangkut oleh dua macam gaya penggerak yaitu komponen energi gelombang dan arus sepanjang pantai (yang dibangkitkan oleh gelombang pecah) (Pranoto, 2007).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Keadaan Umum Pulau Gili Raja

Lokasi penelitian terletak pada Pulau Gili Raja yang berada diperairan Selat Madura sebelah selatan daratan Sumenep. Letak geografis Pulau Gili Raja pada titik koordinat 07°13'10.774" LS dan 113°46'40.345" BT, termasuk dalam wilayah administrasi Kecamatan Giligenting Kabupaten Sumenep. Pulau Gili Raja memiliki luas sekitar 11.39 km² dan terdiri dari 4 desa, yaitu Desa Lombang (4.58 km²), Desa Jate (1.66 km²), Desa Banbaru (1.89 km²) dan Desa Banmaleng (3.26 km²) (KP3K, 2013).



Gambar 4. Peta Lokasi Penelitian

Lokasi pengambilan data primer berupa data gelombang yang terdiri dari tinggi dan periode gelombang serta arah datang gelombang pada Pulau Gili Raja. Lokasi pengambilan data gelombang terdiri dari dari beberapa titik stasiun

yang ditunjukkan seperti pada Gambar 4. Masing – masing titik koordinat pada titik stasiun tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Titik Stasiun Pengambilan Data

Stasiun	Titik Koordinat	
	Bujur (Timur)	Lintang (Selatan)
1	113.76950	-7.20964
2	113.78715	-7.21167
3	113.80028	-7.21325
4	113.81278	-7.21968
5	113.80327	-7.22697
6	113.79176	-7.23551
7	113.78472	-7.23086
8	113.77538	-7.22905
9	113.76537	-7.22276
10	113.74956	-7.22008
11	113.75003	-7.21464
12	113.75472	-7.20592

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat – alat dan bahan yang digunakan dalam Penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Alat - alat Penelitian

Alat	Fungsi
GPS	Menentukan posisi geografis dari titik stasiun
Tongkat Skala	Mengukur tinggi gelombang
Stopwatch	Mengukur periode gelombang
Roll meter	Mengukur jarak dari bibir pantai menuju laut
Camera Digital	Dokumentasi selama penelitian
Perangkat Lunak ArcGis 9.3	Untuk visual hasil analisis berupa peta
Perangkat Lunak WRPLOT	Untuk menentukan arah angin dominan
Perangkat Lunak ODV	Untuk mengekstrak data angin ECMWF
Software SMS modul CMS	Untuk memodelkan penjaralan

Alat	Fungsi
Wave Versi 10.0	gelombang
Microsoft Excel 2007	Untuk pengolahan data
Microsoft Word 2007	Untuk penyusunan laporan

Tabel 3. Bahan Penelitian

Bahan	Fungsi
Data Angin	Data sekunder untuk diolah menjadi data gelombang
Data Gelombang	Data primer untuk perbandingan atau verifikasi dengan hasil model
Data Batimetri	Data untuk inputan model <i>CMS-Wave</i>
Citra Landsat 7 (Tanggal 5 Februari 2002) dan Landsat 8 (Tanggal 12 Februari 2014)	Data untuk pengolahan perubahan garis pantai

3.3 Materi dan Metode Penelitian

3.3.1 Materi Penelitian

Materi penelitian terdiri dari data primer dan data sekunder. Pada data primer meliputi data gelombang insitu yang diukur secara langsung pada lokasi penelitian. Pengukuran data gelombang terdiri dari tinggi dan periode gelombang serta menentukan arah datang gelombang yang terjadi. Pengukuran data gelombang dilakukan selama tiga hari dengan satu hari pengukuran dilakukan tiga kali pengukuran gelombang selama 20 menit.

Menurut Triarmodjo, (1999) untuk mendapatkan sifat karakteristik gelombang dilakukan pencatatan gelombang dalam periode tertentu, yang biasanya selama 15-20 menit sehingga didapat suatu jumlah tertentu, dalam satu hari biasanya dilakukan tiga sampai empat kali pencatatan.

Data sekunder yang digunakan sebagai data pendukung dalam penelitian ini meliputi Peta Lingkungan Pantai Indonesia (LPI) yang dipublikasikan oleh

BAKOSURTANAL dengan skala 1: 50.000, Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) yang dipublikasikan oleh BAKOSURTANAL dengan skala 1: 25.000 dan data angin selama 10 tahun (2005-2014) yang diperoleh dari ECMWF (*The European Center For Medium-Range Weather Forecasts*).

Data gelombang yang telah diperoleh melalui pengukuran secara insitu, akan diolah untuk diverifikasi dengan data hasil model penjalaran gelombang dengan menggunakan Modul *CMS-Wave*. Hasil data verifikasi tersebut untuk mengetahui nilai relative error yang kemudian akan dapat diketahui suatu model dapat digunakan untuk memodelkan penjalaran gelombang disuatu perairan.

Penentuan titik lokasi sampling pengukuran gelombang ditunjukkan seperti pada Gambar 4. Dalam penentuan titik lokasi sampling tersebut adalah berdasarkan *Purposive sampling*, yaitu menentukan lokasi pengambilan data berdasarkan pertimbangan. Adapun pertimbangan yang digunakan adalah pada masing - masing titik lokasi tersebut diduga memiliki kondisi karakteristik gelombang yang berbeda, sehingga dilakukan pengambilan data pada masing-masing titik tersebut.

3.3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian pada dasarnya merupakan suatu cara ilmiah yang digunakan untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu. Berdasarkan hal tersebut, terdapat empat kata kunci yang perlu diperhatikan yang meliputi cara ilmiah, data, tujuan, dan kegunaan (Sugiyono, 2008).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode deskriptif analitik. Menurut Prasetyo dan Jannah, (2010) menjelaskan bahwa metode deskriptif merupakan metode yang digunakan untuk memberikan gambaran yang lebih detail mengenai suatu gejala atau fenomena.

Kemudian hasil akhir dari penelitian tersebut biasanya berupa tipologi atau pola-pola mengenai fenomena yang sedang dibahas.

3.4 Metode Pengambilan Data

Pengambilan data gelombang dilakukan dengan menggunakan tongkat skala dengan ukuran panjang 1,8 m, yaitu dengan mengamati batas elevasi puncak dan batas elevasi lembah yang mengenai tongkat skala. Hasil dari pencatatan puncak dan lembah gelombang dicatat sebagai tinggi gelombang. Serta lama waktu antara puncak dan lembah dicatat dengan menggunakan stopwatch yang dinyatakan sebagai data periode gelombang dalam satuan *second*. Kemudian untuk mengetahui arah datang gelombang yang terjadi adalah diamati dengan menggunakan bantuan kompas.

Pengukuran data gelombang secara insitu, dilakukan sebanyak tiga kali pengukuran dalam satu hari pengukuran. Dimana lama pengukuran dalam satu pengukuran adalah kurang lebih 15-20 menit yang bertujuan untuk mendapatkan karakteristik gelombang pada suatu perairan. Tiga kali pengukuran gelombang tersebut meliputi pagi, siang dan sore yang dengan mempertimbangkan kondisi pasang surut yang terjadi pada Pulau Gili Raja.

3.5 Metode Pengolahan Data

3.5.1 Pengolahan Data Angin

Data angin selama 10 tahun (2005 – 2014) pada penelitian ini didapatkan dari Situs ECMWF (*The European Center For Medium- Range Weather Forecasts*) yang beralamatkan <http://apps.ecmwf.int/>. Grid data dalam ECMWF yang digunakan adalah ukuran 0.125 x 0.125, grid tersebut merupakan grid yang paling kecil sehingga mampu menampilkan data angin pada titik koordinat dengan jarak yang pendek antara titik koordinat satu dengan titik koordinat yang lain pada suatu perairan. Data angin dari ECMWF tersebut di ekstrak dengan

menggunakan Perangkat Lunak ODV (*Ocean Data View*) yang akan menghasilkan format data dari .nc menjadi dalam format .txt file. Data dalam bentuk format .txt file diolah dengan menggunakan Perangkat Lunak *Microsoft Excel 2007*, format data .txt file terdiri dari komponen u dan komponen v yang kemudian akan diramalkan menjadi data gelombang dengan menggunakan metode SMB (*Sverdrup Munk Bretschneider*). Tahap koreksi terhadap data angin dilakukan berdasarkan metode Breschneider (1954) oleh Resio dan Vincent (1977) dalam CERC (1984) yang meliputi :

1. Koreksi Elevasi atau Ketinggian

Apabila data yang terukur pada stasiun pengukuran alat tidak berada pada ketinggian 10 meter, maka perlu dikakukannya konversi ketinggian dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$U_{10} = U_{(z)} \left(\frac{10}{z}\right)^{\frac{1}{7}} \text{ m/s} \quad \text{untuk } z < 20 \text{ m} \dots\dots(8)$$

Dimana,

U_{10} = Kecepatan angin pada ketinggian 10 m (m/s)

$U_{(z)}$ = Kecepatan angin pada ketinggian pengukuran (m/s)

z = Ketinggian pengukuran (m)

2. Koreksi Durasi

Persamaan yang digunakan dalam koreksi durasi yaitu :

$$t = \frac{1609}{U_t} \dots\dots\dots(9)$$

$$\frac{U_t}{U_{3600}} = 1.277 + 0.296 \tanh \left\{ 0.9 \log_{10} \cdot \frac{45}{t} \right\} \text{ untuk } 1 < t_1 < 360s.. (10)$$

$$\frac{U_t}{U_{3600}} = -0.15 \log t_1 + 1.5334 \text{ untuk } 3600 < t_1 < 3600 \text{ s} \dots\dots(11)$$

$$U_{t=3600} = \frac{U_t}{\frac{U_t}{U_{3600}}} \dots\dots\dots(12)$$



3. Koreksi Stabilitas

Koreksi stabilitas perlu dilakukan karena adanya perbedaan suhu udara tempat bertiupnya angin dengan tempat terbentuknya gelombang.

Persamaan yang digunakan dalam koreksi stabilitas yaitu :

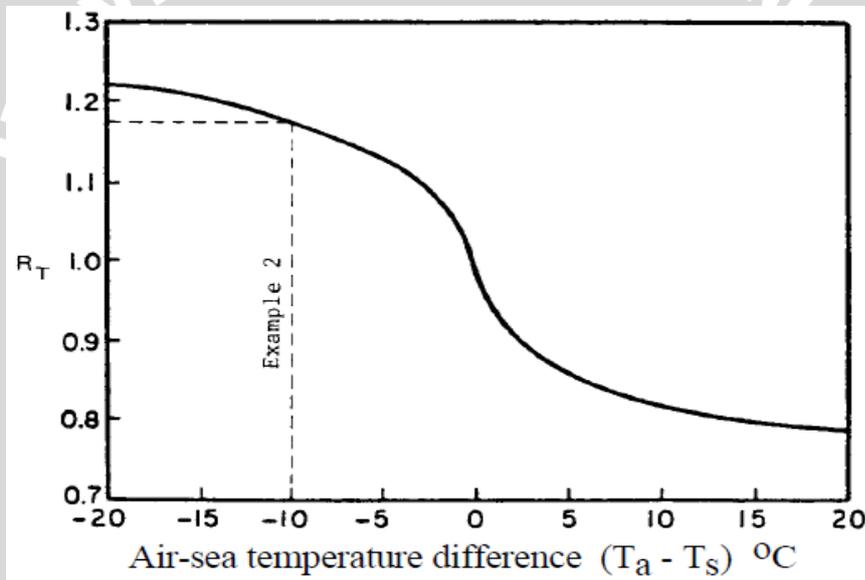
$$U = R_T(U_{10}) \text{ m/s} \dots\dots\dots(13)$$

Dimana,

U = Kecepatan angin setelah dikoreksi (m/s)

R_T = Koefisien stabilitas

U_{10} = Kecepatan angin sebelum dikoreksi (m/s)



Gambar 5. Grafik untuk koreksi stabilitas (SPM,1984)

Jika data suhu udara dan air tidak diketahui (data untuk membaca grafik), maka besarnya nilai R_T adalah 1.1.

4. Koreksi Efek Lokasi

Koreksi ini perlu dilakukan jika data angin yang diperoleh berasal dari stasiun darat bukan diukur langsung diatas permukaan laut.

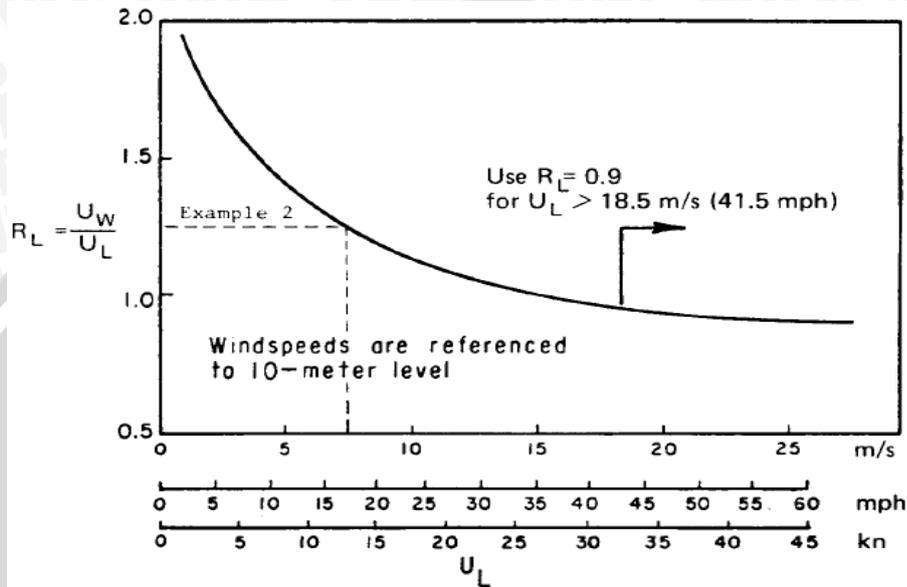
Persamaan yang digunakan dalam koreksi efek lokasi adalah :

$$U_W = 1.2 U_L \text{ m/s} \dots\dots\dots(14)$$

Dimana,

U_W = Kecepatan angin diatas permukaan laut (m/s)

U_L = Kecepatan angin didarat (m/s)



Gambar 6. Grafik untuk koreksi efek lokasi (SPM,1984)

5. Koefisien Gesek atau lebih dikenal dengan U_A

Kecepatan angin dikonversi menjadi faktor stress angin dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$U_A = 0.71 (U)^{1.23} \text{ m/s} \dots\dots\dots(15)$$

Dimana,

U_A = Wind stress factor (m/s)

U = Kecepatan angin (m/s)

Persamaan - persamaan empiris yang diberikan pada metode SMB adalah sebagai berikut (CERC,1984).

$$\frac{g^* H_{mo}}{U_A^2} = 1.6 \times 10^{-3} \times \left(\frac{g^* F}{U a^2}\right)^{1/2} \dots\dots\dots(16)$$

$$\frac{g^* T m}{U_A^2} = 2.857 \times 10^{-1} \times \left(\frac{g^* F}{U a^2}\right)^{1/3} \dots\dots\dots(17)$$



$$\frac{g^* t}{U_A^2} = 6.88 \times 10 \times \left(\frac{g^* F}{U_A^2}\right)^{2/3} \dots\dots\dots(18)$$

Persamaan diatas hanya berlaku hingga kondisi gelombang telah terbentuk penuh (*fully developed wave*), sehingga tinggi dan periode gelombang yang dihitung dibatasi dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{g^* H_{mo}}{U_A^2} = 2.433 \times 10^{-1} \dots\dots\dots(19)$$

$$\frac{g^* T_m}{U_A} = 8.134 \dots\dots\dots(20)$$

$$\frac{g^* t}{U_A} = 7.15 \times 10^4 \dots\dots\dots(21)$$

Dimana,

H_{mo} : Tinggi gelombang signifikan (m)

T_m : Periode gelombang (s)

F : Panjang fetch

U_A : Faktor tegangan angin (m/s)

3.5.2 Pengolahan Fetch

Proses penentuan panjang fetch terlebih dahulu harus diketahui arah dari mata angin. Delapan arah mata angin dapat dilihat dengan menggunakan acuan seperti pada Tabel 6.

Tabel 4. Acuan Arah Angin

Arah	Derajat
Utara	337.5 ⁰ - 22.5 ⁰
Timur Laut	22.5 ⁰ - 67.5 ⁰
Timur	67.5 ⁰ - 112.5 ⁰
Tenggara	112.5 ⁰ - 157.5 ⁰
Selatan	157.5 - 202.5 ⁰
Barat Daya	202.5 ⁰ - 247.5 ⁰
Barat	247.5 ⁰ - 292.5 ⁰
Barat Laut	292.5 ⁰ - 337.5 ⁰



Fetch merupakan daerah pembentukan gelombang yang diasumsikan memiliki kecepatan dan arah angin yang relatif konstan. Persamaan yang digunakan dalam menghitung Fetch adalah sebagai berikut :

$$F_{eff} = \frac{\sum Xi \cos \alpha}{\Sigma \cos \alpha} \dots\dots\dots(22)$$

Dimana,

F_{eff} = Fetch rerata efektif

Ξ = Panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir fetch

α = Sudut deviasi pada kedua sisi dari arah angin

Penarikan panjang Fetch pada peta dilakukan dengan menggunakan bantuan software AutoCAD 2009, dimana sudut deviasi yang digunakan adalah pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada sisi kanan dan sisi sebelah kiri dari arah anginnya. Dalam penarikan panjang Fetch untuk masing - masing arah dilakukan dari titik awal daerah yang dikaji ditarik sampai menyentuh daratan atau pulau yang terdekat.

3.5.3 Pengolahan Gelombang Representatif

Menurut Triatmodjo (1998) bahwa gelombang representatif didapatkan apabila tinggi gelombang dari suatu pencatatan diurutkan dari nilai tertinggi ke terendah atau sebaliknya, maka akan didapatkan H_n yang merupakan rerata dari n persen gelombang tertinggi. Dengan bentuk seperti itu akan dapat dinyatakan karakteristik gelombang alam dalam bentuk gelombang tunggal. Untuk mendapatkan nilai gelombang signifikan adalah dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$n = 33 \% \times N$$

$$H_s = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)}{n} \dots\dots\dots(23)$$

$$T_s = \frac{(T_1 + T_2 + \dots + T_n)}{n} \dots\dots\dots(24)$$

Dimana,

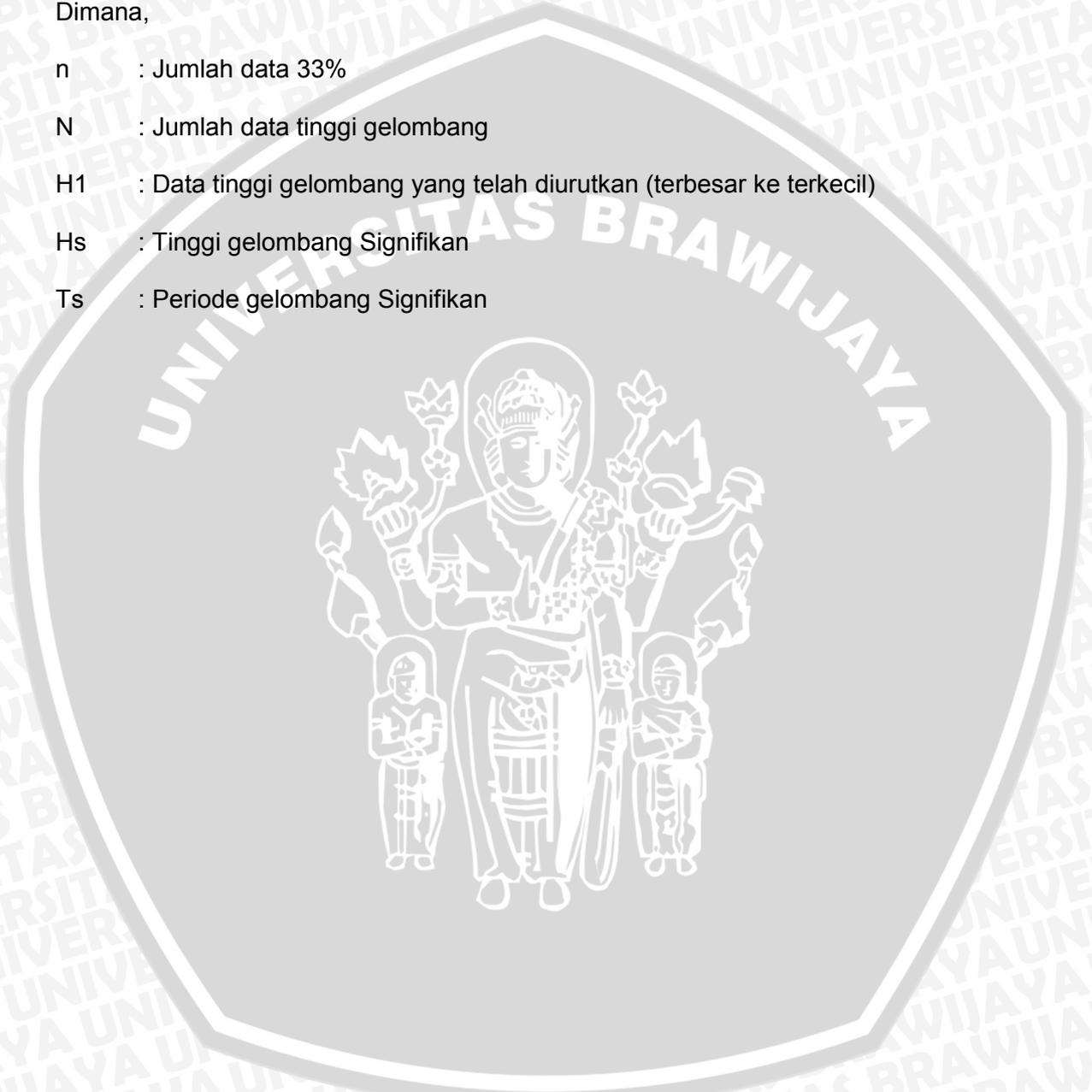
n : Jumlah data 33%

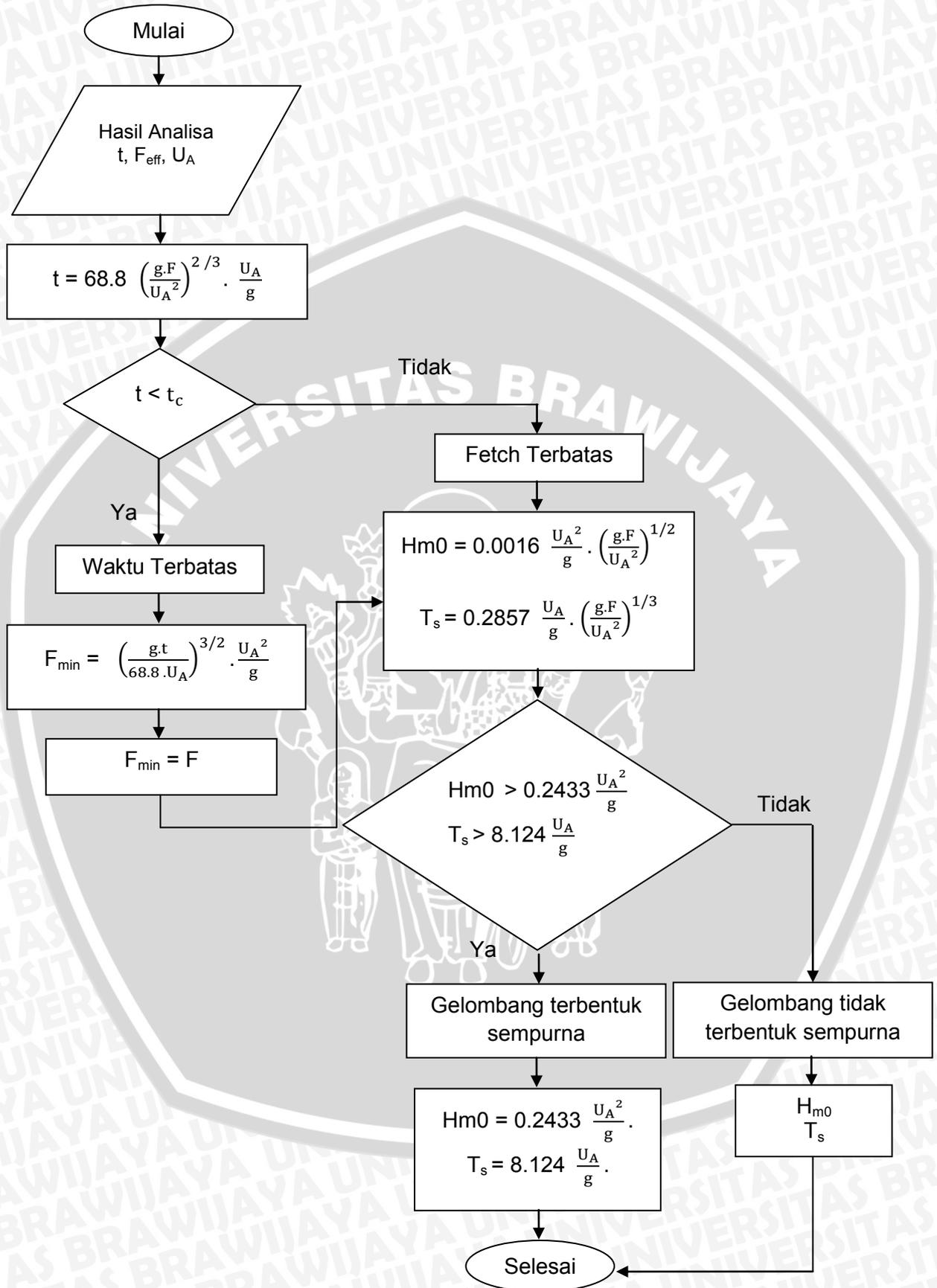
N : Jumlah data tinggi gelombang

H1 : Data tinggi gelombang yang telah diurutkan (terbesar ke terkecil)

Hs : Tinggi gelombang Signifikan

Ts : Periode gelombang Signifikan

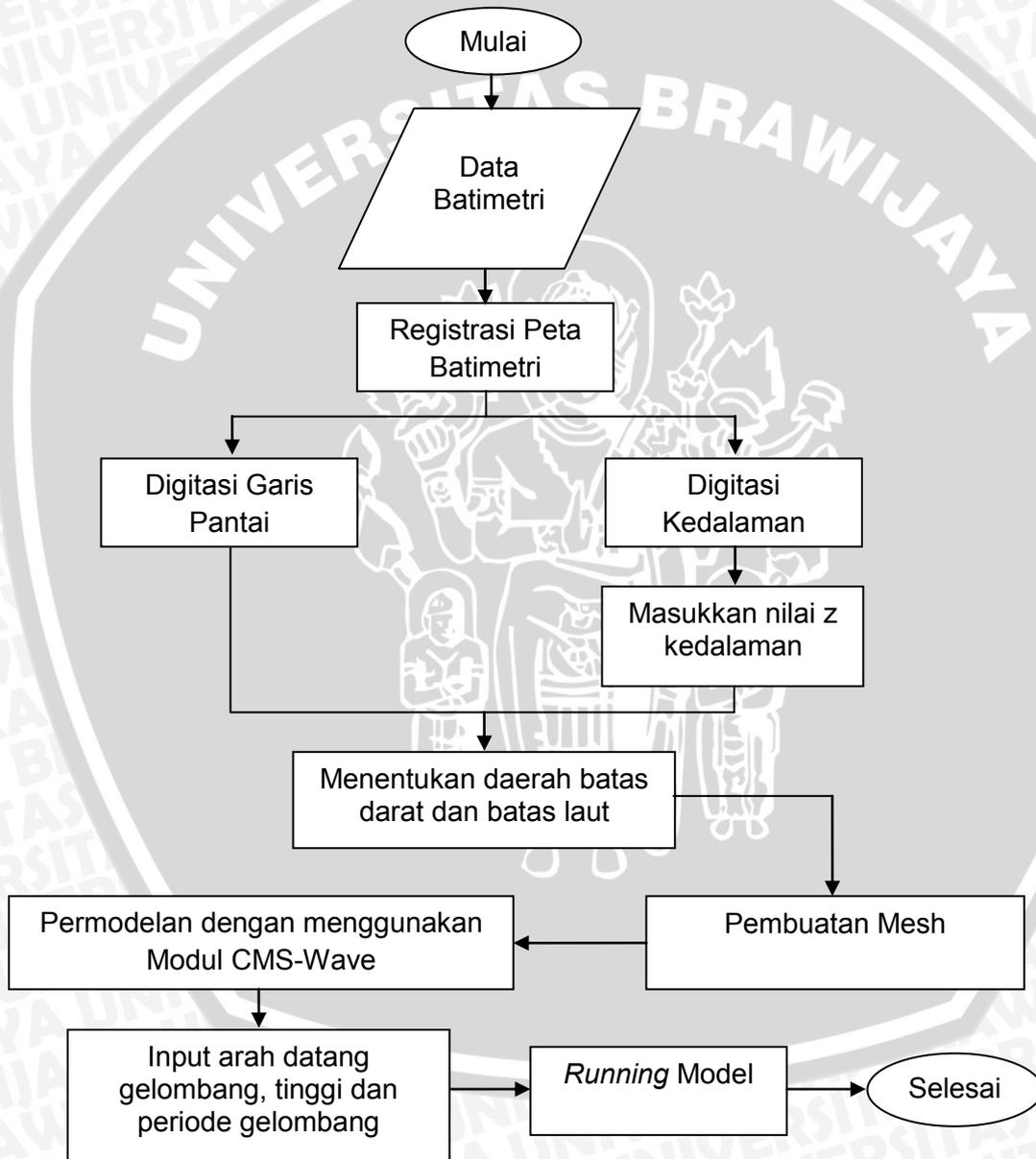




Gambar 7. Diagram Alir Pembangkitan Gelombang

3.5.4 Pengolahan Modul CMS-Wave

Permodelan pola penjalaran gelombang pada perangkat lunak SMS (*Surface Modelling System*) adalah dengan menggunakan modul *CMS-Wave*, dimana data yang digunakan adalah data gelombang serta data batimetri atau kedalaman. Dalam pengolahan tersebut harus diperhatikan syarat batas untuk menentukan daerah batasan darat dan batasan laut.



Gambar 8. Diagram Alir Pengolahan Modul CMS-Wave

Hasil pemodelan CMS-Wave akan digunakan dalam proses verifikasi dengan data lapang. Verifikasi tersebut bertujuan untuk mendapatkan nilai *Relative Error* dalam pengolahan suatu data yang nantinya dapat diketahui kelayakan suatu model dalam melakukan permodelan penjalaran gelombang. Menurut Triadmodjo (2002) bahwa perhitungan untuk mencari nilai perkiraan dan nilai eksak dapat dinyatakan dalam bentuk kesalahan relatif dengan menggunakan persamaan :

$$RE = \left| \frac{p-p^*}{p} \right| \cdot 100\% \dots\dots\dots(25)$$

Dimana,

RE : *Relatif Error*

P : nilai eksak

P* : nilai perkiraan

3.5.5 Pengolahan Perubahan Garis Pantai

Data yang digunakan dalam pengolahan perubahan garis pantai adalah dengan menggunakan citra satelit Landsat 7 dan Landsat 8. Data citra yang digunakan terdiri dari tahun lama (2002) dan tahun baru (2014) untuk dapat mengetahui pola perubahan garis pantai pada perairan Pulau Gili raja. Setelah dilakukan pengolahan untuk mengetahui perubahan garis pantai, kemudian dihitung laju perubahan. Menurut Kasim (2011), perhitungan untuk mengetahui besarnya laju perubahan garis pantai adalah dengan menggunakan formula :

$$Vc = \left(\frac{Lae}{\sum Nae} \right) \cdot Y^{-1} \dots\dots\dots(26)$$

Dimana,

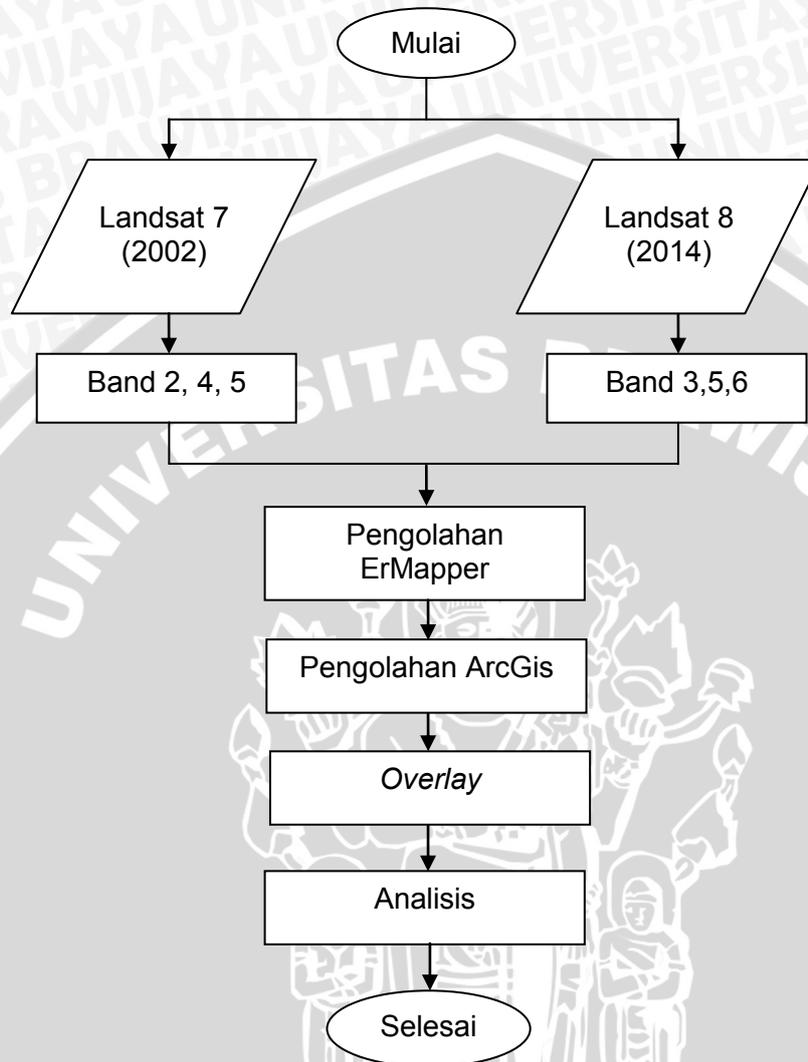
Vc : Rerata Kecepatan perubahan maju/mundur garis pantai (m/th)

Lae : Panjang keseluruhan *single transect* (yang meliputi akresi dan erosi)



$\sum N_{ae}$: Jumlah transek pada tiap grid pias

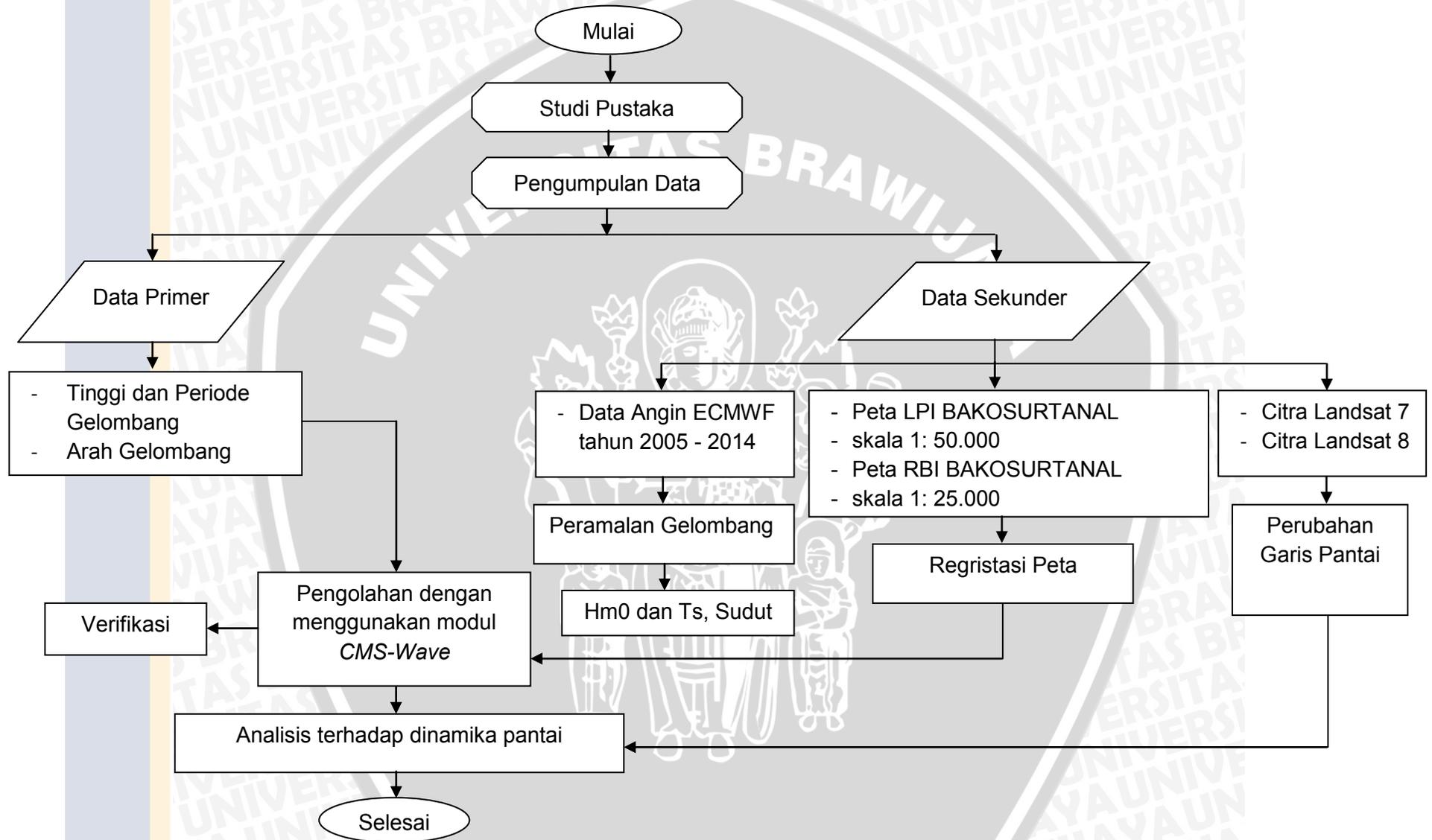
Y : Rentang waktu garis pantai



Gambar 9. Diagram Alir Pengolahan Perubahan Garis Pantai

3.6 Diagram Alir Pengolahan Data

Proses pengolahan data dan analisis dalam penelitian membutuhkan suatu gambaran sistematis berupa diagram alir secara menyeluruh untuk dapat memudahkan penelitian. Diagram alir pada penelitian ini disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data Gelombang *In-situ*

Data gelombang yang diukur secara *in-situ* terdiri dari tinggi, periode dan arah datang gelombang. Pengambilan data gelombang terdiri dari 12 titik stasiun, dimana pengambilan data pada 12 titik stasiun tersebut akan dapat mewakili kondisi karakteristik gelombang yang terjadi pada perairan Pulau Gili Raja. Pengukuran data gelombang dilakukan dalam satu hari pengukuran terdapat tiga kali pengukuran data gelombang selama kurang lebih 15-20 menit.

Contoh hasil pengukuran gelombang yang terdiri dari tinggi dan periode gelombang serta arah datang gelombang secara insitu disajikan seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Gelombang Pengukuran Insitu

No	Puncak	Lembah	Tinggi (cm)	Periode (s)	Arah Datang
1	45	43	2	2	62° (Timur) Laut
2	48	42	6	3	
3	46	44	2	2	
4	46	44	2	2	
5	46	44	2	2	
6	47	43	4	2	
7	46	43	3	2	
8	47	44	3	2	
9	47	46	1	1	
10	47	44	3	2	
11	47	44	3	2	
12	48	45	3	2	
13	48	46	2	2	
14	47	45	2	1	
15	47	46	1	1	
16	48	44	4	2	
17	49	45	4	2	
18	46	44	2	2	
19	48	45	3	2	

No	Puncak	Lembah	Tinggi (cm)	Periode (s)	Arah Datang
20	48	47	1	1	
21	48	44	4	2	
22	48	46	2	2	
23	45	43	2	2	
24	48	42	6	3	
25	46	44	2	2	

Hasil pengukuran data gelombang seperti pada Tabel 5 akan diolah untuk mendapatkan nilai tinggi dan periode gelombang signifikan (H_{33} atau disebut juga dengan H_s), yaitu dengan cara mengurutkan data gelombang dari nilai gelombang terbesar hingga nilai gelombang yang terkecil. Cara yang sama juga dapat dilakukan untuk periode gelombang. Selain data tinggi dan periode signifikan, dihitung pula nilai tinggi dan periode gelombang maksimum dan minimum (H_{max} , H_{min} , T_{max} , T_{min}).

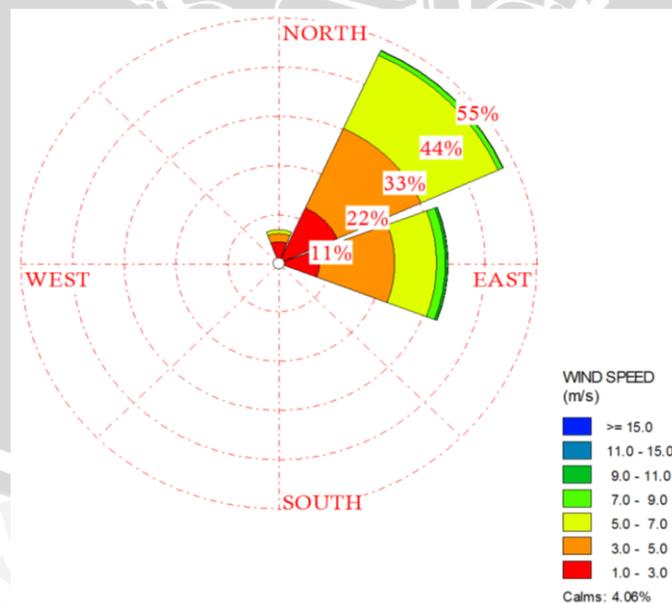
Tabel 6. Data Gelombang Representatif

Stasiun	Gelombang Representatif					
	H_s (cm)	T_s (s)	H_{max} (cm)	T_{max} (s)	H_{min} (cm)	T_{min} (s)
1	1.10	1.50	2	3	1	2
2	1.30	1.70	12	3	1	2
3	1.26	1.78	13	3	1	1
4	6.86	2.72	18	3	1	3
5	8.92	3.00	19	3	1	2
6	8.46	2.79	16	3	1	1
7	8.66	2.96	16	3	1	2
8	8.10	2.96	16	3	1	2
9	8.92	2.72	13	3	1	2
10	9.99	4.00	21	4	1	1
11	9.08	3.22	16	4	1	1
12	8.66	2.75	14	3	1	1

4.2 Analisis Data Gelombang Hasil Pembangkitan

4.2.1 Distribusi Arah Angin Dominan

Angin yang berhembus pada permukaan perairan akan dapat menyebabkan terjadinya gelombang, sehingga data angin dapat digunakan untuk memperkirakan tinggi dan arah gelombang sesuai dengan daerah yang akan dikaji. Dalam penelitian ini untuk menentukan arah angin dominan yang terjadi, adalah dengan menggunakan data angin sekunder di perairan Pulau Gili Raja yang didapatkan dari ECMWF (*The European Center For Medium-Range Weather Forecasts*). Data ECMWF tersebut diolah untuk dapat mengetahui arah angin dominan yang terjadi dalam kurun waktu 10 tahun (2005-2014). Pengolahan arah angin dominan dibantu dengan menggunakan perangkat lunak WRPLOT yang dapat menghasilkan gambar mawar angin, tabel frekuensi kejadian angin serta plot grafik angin dominan. Berikut ini adalah distribusi arah angin dominan yang disajikan dalam gambar mawar angin dan tabel frekuensi kejadian angin pada tahun 2005-2014 perairan Pulau Gili Raja.



Gambar 11. Mawar Angin selama 10 Tahun

Tabel 7. Frekuensi Kejadian Angin 10 Tahun

Arah	Kecepatan Angin							Total
	1 - 3 m/s	3 - 5 m/s	5 - 7 m/s	7 - 9 m/s	9 - 11 m/s	11 - 15 m/s	> 15 m/s	
337.50 - 22.50	0.0495	0.0184	0.0083	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0762
22.50 - 67.50	0.1375	0.1944	0.1793	0.0107	0.0014	0.0001	0.0000	0.5232
67.50 - 112.50	0.0877	0.1593	0.0888	0.0186	0.0050	0.0007	0.0000	0.3600
112.50 - 157.50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
157.50 - 202.50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
202.50 - 247.50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
247.50 - 292.50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
292.50 - 337.50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Sub-Total:	0.2746	0.3720	0.2763	0.0293	0.0064	0.0008	0.0000	0.9585
Calms:							0.0406	
Missing/Incomplete:							0.0009	
Total:								1

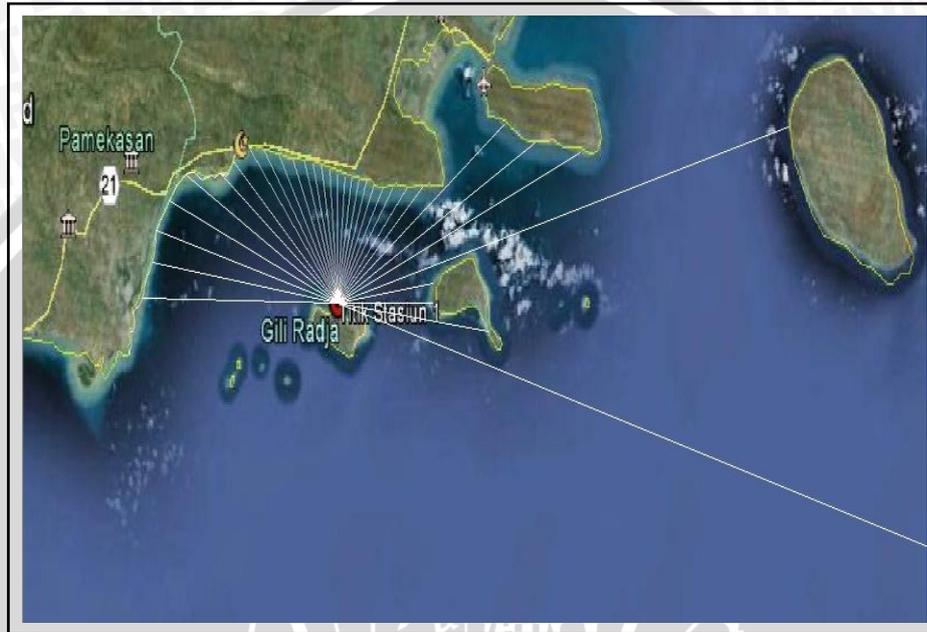
Berdasarkan Gambar Mawar Angin diatas, bahwa dominasi angin yang terjadi pada kurun waktu 10 tahun (2005-2014) dengan presentase kecepatan angin terbanyak adalah berkisar 3-5 m/s dengan nilai 0.1944%. Sehingga sesuai dengan skala Beaufort hal tersebut berpeluang untuk menimbulkan puncak gelombang mulai memecah dan terdapat buih-buih putih.

4.2.2 Penentuan Fetch

Fetch merupakan daerah pembentukan gelombang yang diasumsikan memiliki kecepatan dan arah angin yang relatif konstan. Fetch dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Daerah pembentukan gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Fetch berpengaruh terhadap periode dan tinggi gelombang yang dibangkitkan, semakin panjang jarak fetch yang terbentuk maka semakin besar ketinggian gelombang dan periode semakin lama pula (Triatmodjo, 1998).

Contoh hasil penarikan panjang Fetch pada perairan Pulau Gili Raja untuk titik stasiun sebelah utara pulau dapat dilihat seperti Gambar 12. Hasil

penarikan panjang Fetch tersebut menunjukkan arah Barat, Barat Laut, Utara, Timur Laut dan Timur yang mempunyai panjang Fetch. Untuk kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan (22) yang dijelaskan pada bab sebelumnya, agar mendapatkan nilai Fetch Efektif (F_{eff}) yang dirangkum seperti pada Tabel 10-14.



Gambar 12. Penarikan panjang Fetch yang dibatasi oleh daratan

Tabel 8. Perhitungan Fetch Efektif Arah Timur

Perhitungan Panjang Fetch Arah Timur				
Arah Utama	Deviasi sudut (α)	Cos (α)	Xi (km)	Xi.Cos (α)
B	42	0.74314	4.5306	7.97272086
	36	0.80902	4.7369	9.074636574
	30	0.86603	0	0
	24	0.91355	0	0
	18	0.95106	0	0
	12	0.97815	0	0
	6	0.99452	0	0
	0	1	0	0
	-6	0.99452	0	0
	-12	0.97815	0	0
	-18	0.95106	0	0
	-24	0.91355	0	0
	-30	0.86603	0	0
	-36	0.80902	0	0



	-42	0.74314	0	0
Jumlah		13.5109		17.04735743
Fetch Efektif				1.261746849 Km

Tabel 9. Perhitungan Fetch Efektif Arah Tenggara

Perhitungan Panjang Fetch Arah Tenggara				
Arah Utama	Deviasi sudut (α)	Cos (α)	Xi (km)	Xi.Cos (α)
	42	0.74314	2.591	4.559510826
	36	0.80902	2.6616	5.098915473
	30	0.86603	2.792	5.725631925
	24	0.91355	2.9505	6.382681327
	18	0.95106	3.1965	7.198771928
	12	0.97815	3.4157	7.911548483
	6	0.99452	3.7891	8.9233473
BL	0	1	4.2445	10.05087607
	-6	0.99452	4.6417	10.93122408
	-12	0.97815	4.7765	11.06347493
	-18	0.95106	0	0
	-24	0.91355	0	0
	-30	0.86603	0	0
	-36	0.80902	0	0
	-42	0.74314	0	0
Jumlah		13.5109		77.84598234
Fetch Efektif				5.761709595 Km

Tabel 10. Perhitungan Fetch Efektif Arah Selatan

Perhitungan Panjang Fetch Arah Selatan				
Arah Utama	Deviasi sudut (α)	Cos (α)	Xi (km)	Xi.Cos (α)
	42	0.74314	3.0512	5.369347523
	36	0.80902	2.847	5.454092408
	30	0.86603	2.6867	5.509690291
	24	0.91355	2.531	5.475196217
	18	0.95106	2.5665	5.779961881
	12	0.97815	2.541	5.885541674
U	6	0.99452	2.5193	5.93296267
	0	1	2.5542	6.048285465
	-6	0.99452	2.617	6.163046603
	-12	0.97815	2.7273	6.317055414
	-18	0.95106	2.8863	6.500176886
	-24	0.91355	3.0704	6.642055498
	-30	0.86603	3.2186	6.60047239

	-36	0.80902	3.6016	6.899704677
	-42	0.74314	4.0296	7.091086386
Jumlah		13.5109		91.66867598
Fetch Efektif				6.784785471 Km

Tabel 11. Perhitungan Fetch Efektif Arah Barat Daya

Perhitungan Panjang Fetch Arah Barat Daya				
Arah Utama	Deviasi sudut (α)	Cos (α)	Xi (km)	Xi.Cos (α)
TL	42	0.74314	3.1564	5.554473166
	36	0.80902	3.1917	6.11444564
	30	0.86603	200	410.1455534
	24	0.91355	7.7297	16.72130549
	18	0.95106	6.6166	14.90110882
	12	0.97815	6.1132	14.15958023
	6	0.99452	3.5776	8.425263862
	0	1	3.2088	7.598362854
	-6	0.99452	0	0
	-12	0.97815	0	0
	-18	0.95106	0	0
	-24	0.91355	0	0
	-30	0.86603	0	0
	-36	0.80902	0	0
	-42	0.74314	0	0
Jumlah		13.5109		483.6200934
Fetch Efektif				35.79476357 Km

Tabel 12. Perhitungan Fetch Efektif Arah Barat

Perhitungan Panjang Fetch Arah Barat				
Arah Utama	Deviasi sudut (α)	Cos (α)	Xi (km)	Xi.Cos (α)
T	42	0.74314	0	0
	36	0.80902	0	0
	30	0.86603	0	0
	24	0.91355	0	0
	18	0.95106	0	0
	12	0.97815	0	0
	6	0.99452	5.3569	12.61552325
	0	1	3.3101	7.838238869
	-6	0.99452	3.145	7.406488944
	-12	0.97815	3.6468	8.446829349
	-18	0.95106	9.2271	20.7801622
	-24	0.91355	7.1461	15.45883038

	-30	0.86603	6.4047	13.13429613
	-36	0.80902	3.853	7.381320003
	-42	0.74314	3.422	6.02186262
Jumlah		13.5109		99.08355174
Fetch Efektif				7.333591709 Km

4.2.3 Penentuan Gelombang Signifikan

Metode dalam prediksi gelombang yang dibangkitkan oleh angin telah banyak dikembangkan. Pengembangan formulasi empiris sederhana prediksi gelombang pertama kali dilakukan oleh Steven (1886) dan Molitor (1934). Sverdrup dan Munk (1974) mengembangkan konsep pertumbuhan energi gelombang sebagai teori prediksi gelombang dengan pendekatan beberapa pengujian data. Hasil tersebut ditinjau kembali oleh Bretschneider (1952,1958) berdasarkan pada rangkaian data angin dan gelombang tambahan. Metode prediksi gelombang tersebut sekarang disebut sebagai metode peramalan *Sverdrup-Munk-Bretschneider* (SMB), 1958. Metode peramalan gelombang dari Sverdrup, Munk, Bretschneider dan kemudian dikenal dengan singkatan SMB, metode ini menggunakan data fetch dan durasi untuk menentukan konstantanya. Sumber lain menyatakan bahwa metode SMB hampir sama dengan metode JONSWAP yang bergantung pada fetch dan kecepatan angin (Praktikto, 2000).

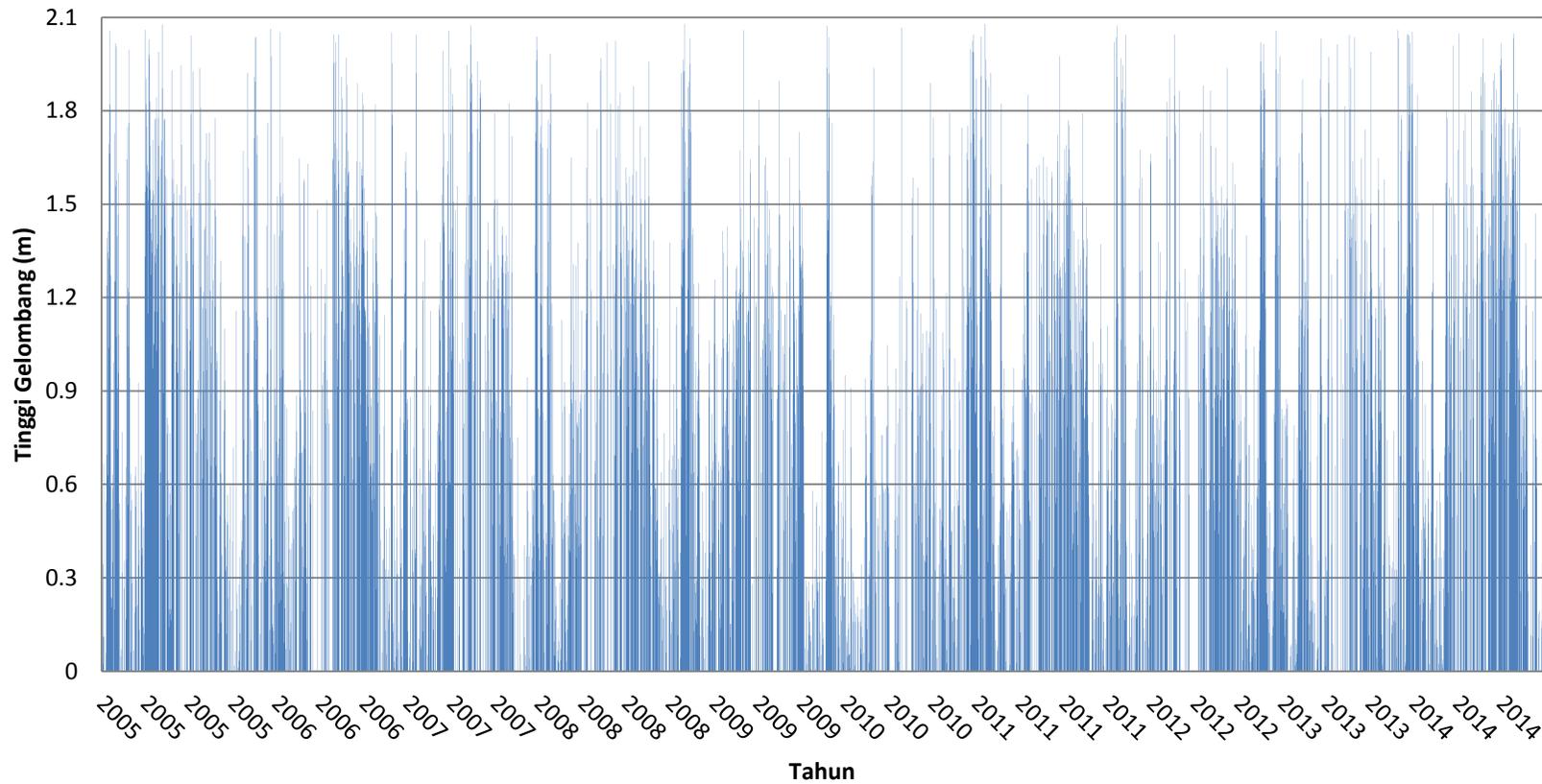
Peramalan gelombang untuk menentukan tinggi dan periode gelombang dengan menggunakan metode SMB (*Sverdrup Munk Bretschneider*) menunjukkan bahwa arah angin, kecepatan, dan panjang wilayah bertiupnya angin (*Fetch*) merupakan faktor yang paling menentukan terhadap tinggi dan periode gelombang. Prosedur peramalan gelombang melalui data angin dapat digunakan diagram alir seperti yang tertera pada Gambar (7). Contoh hasil perhitungan peramalan gelombang dengan menggunakan metode SMB dapat dilihat seperti pada Tabel 15.

Tabel 13. Perhitungan Peramalan Gelombang

u	v	Kec. (m/s)	Kuadran	Arah	UA	Arah	Feff (m)	Cek Fully/ Non Fully Developed	Rekapitulasi Perhitungan		
									Tipe	Hm0	Ts
2.81	2.05	3.478	K1	53.89	5.271	TL	35794.7635	37329.8	Fully Developed	0.689	4.152
1.19	0.97	1.535	K1	50.82	2.574	TL	35794.7635	97096.6	Fully Developed	0.164	2.027
0.22	-0.69	0.724	K2	17.68	1.318	U	6784.7854	78215.0	Fully Developed	0.043	1.038
0.79	0.87	1.175	K1	42.24	2.030	TL	35794.7635	133185.6	Fully Developed	0.102	1.599
-0.19	2.03	2.039	K4	5.35	3.305	U	6784.7854	22952.5	Fully Developed	0.271	2.603
0.38	0.61	0.719	K1	31.92	1.309	TL	35794.7635	239223.7	Fully Developed	0.042	1.031
2.16	-1.21	2.476	K2	60.74	3.919	TL	35794.7635	55427.2	Fully Developed	0.381	3.087
0.98	-1.38	1.693	K2	35.38	2.805	TL	35794.7635	86555.9	Fully Developed	0.195	2.210
1.46	0.22	1.476	K1	81.43	2.486	T	7333.5917	35334.5	Fully Developed	0.153	1.958
1.03	0.47	1.132	K1	65.47	1.964	TL	35794.7635	139204.7	Fully Developed	0.096	1.547
2.61	-2.01	3.294	K2	52.40	5.028	TL	35794.7635	39757.4	Fully Developed	0.627	3.960
3.03	-1.46	3.363	K2	64.27	5.119	TL	35794.7635	38811.4	Fully Developed	0.650	4.033
3.45	0.98	3.586	K1	74.14	5.413	T	7333.5917	12521.4	Fully Developed	0.727	4.264
1.84	-0.44	1.892	K2	76.55	3.094	T	7333.5917	26391.9	Fully Developed	0.237	2.437
1.92	-2.63	3.256	K2	36.13	4.977	TL	35794.7635	40295.9	Fully Developed	0.614	3.921
4.34	-0.85	4.422	K2	78.92	6.490	T	7333.5917	9830.4	Fully Developed	1.045	5.112
2.39	0.64	2.474	K1	75.01	3.916	T	7333.5917	19277.5	Fully Developed	0.380	3.085
2.53	-1.89	3.158	K2	53.24	4.846	TL	35794.7635	41754.5	Fully Developed	0.582	3.817
2.61	0.99	2.791	K1	69.23	4.352	T	7333.5917	16748.8	Fully Developed	0.470	3.428
1.89	-1.04	2.157	K2	61.18	3.473	TL	35794.7635	65109.5	Fully Developed	0.299	2.736
0.51	0.85	0.991	K1	30.96	1.74	TL	35794.7635	163012.5	Fully Developed	0.076	1.374

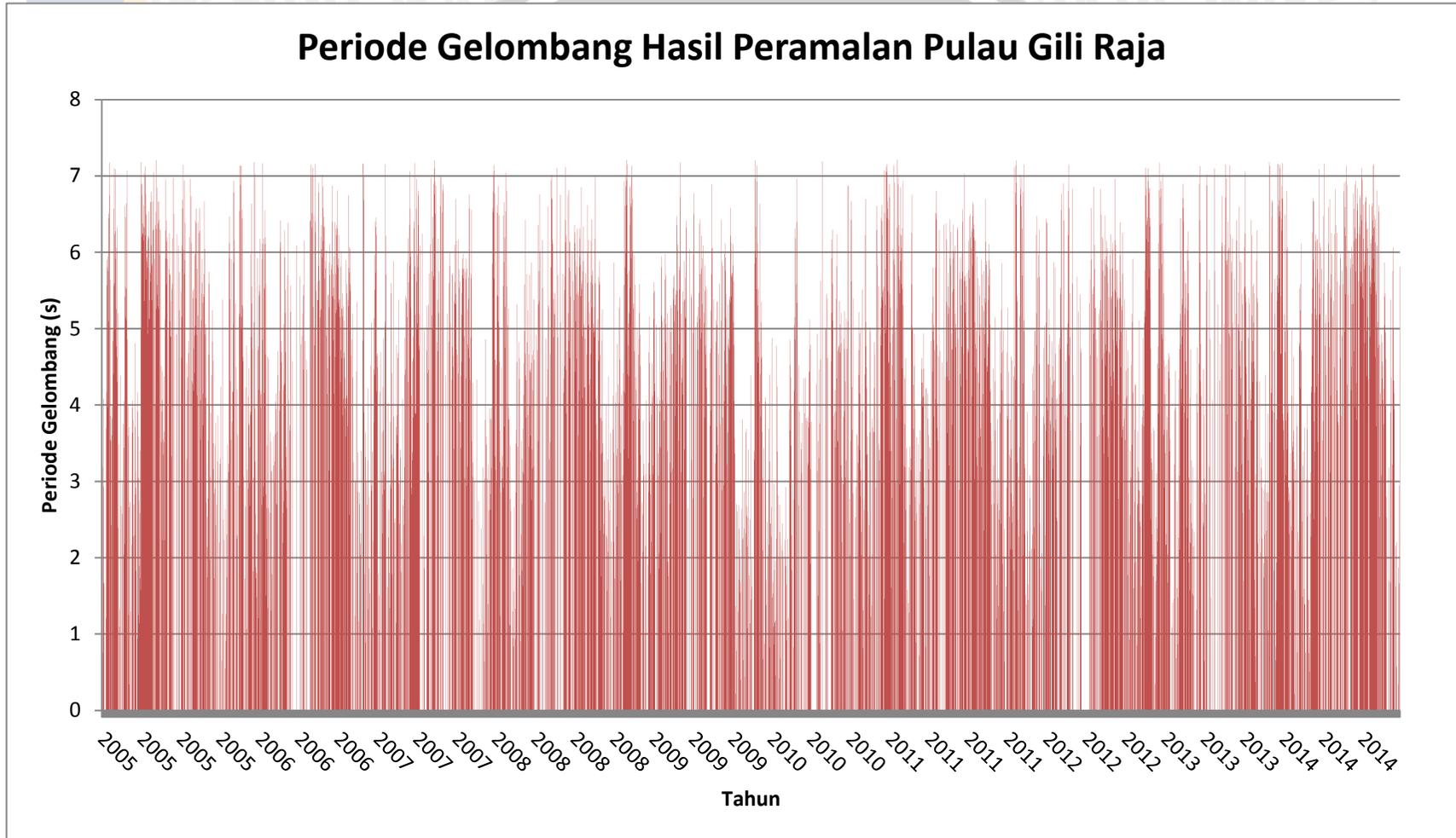


Tinggi Gelombang Hasil Peramalan Pulau Gili Raja



Gambar 13. Grafik Tinggi Gelombang Hasil Peramalan





Gambar 14. Periode Gelombang Hasil Peramalan



4.3 Analisis Penjalaran Gelombang Modul CMS-Wave

Gelombang yang merambat dari kedalaman menuju pantai akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses deformasi gelombang, seperti refraksi dan shoaling karena adanya pengaruh kedalaman laut, difraksi dan refleksi akibat bangunan pantai ataupun pulau. Berkurangnya kedalaman laut menyebabkan semakin berkurangnya panjang dan kecepatan gelombang serta bertambahnya tinggi gelombang (Triatmodjo,1999). Pola penjalaran gelombang pada penelitian ini dimodelkan menggunakan Modul *CMS-Wave* (*Coastal Modelling System-Wave*), yang kemudian akan divisualisasikan melalui gambar peta.

Inputan data dalam memodelkan penjalaran gelombang dengan menggunakan modul *CMS-Wave* adalah tinggi, periode dan arah datang gelombang dari pengukuran lapang. Output yang akan dihasilkan adalah pola penjalaran gelombang yang akan digambarkan dalam bentuk vektor serta gradasi warna yang menunjukkan besarnya nilai tinggi gelombang, sehingga dapat diketahui proses-proses deformasi yang terjadi pada Pulau Gili Raja.

Berdasarkan hasil permodelan penjalaran gelombang pada Pulau Gili Raja seperti pada Gambar 15, menunjukkan bahwa ketinggian gelombang yang dihasilkan mencapai 0.0 m – 0.08 m, dengan arah dominan pola penjalaran gelombang yang terjadi berasal dari arah barat daya. Gelombang yang datang dari arah tersebut berasal dari perairan dalam menuju perairan dangkal (pada saat menuju pantai), sehingga terjadi proses refraksi.

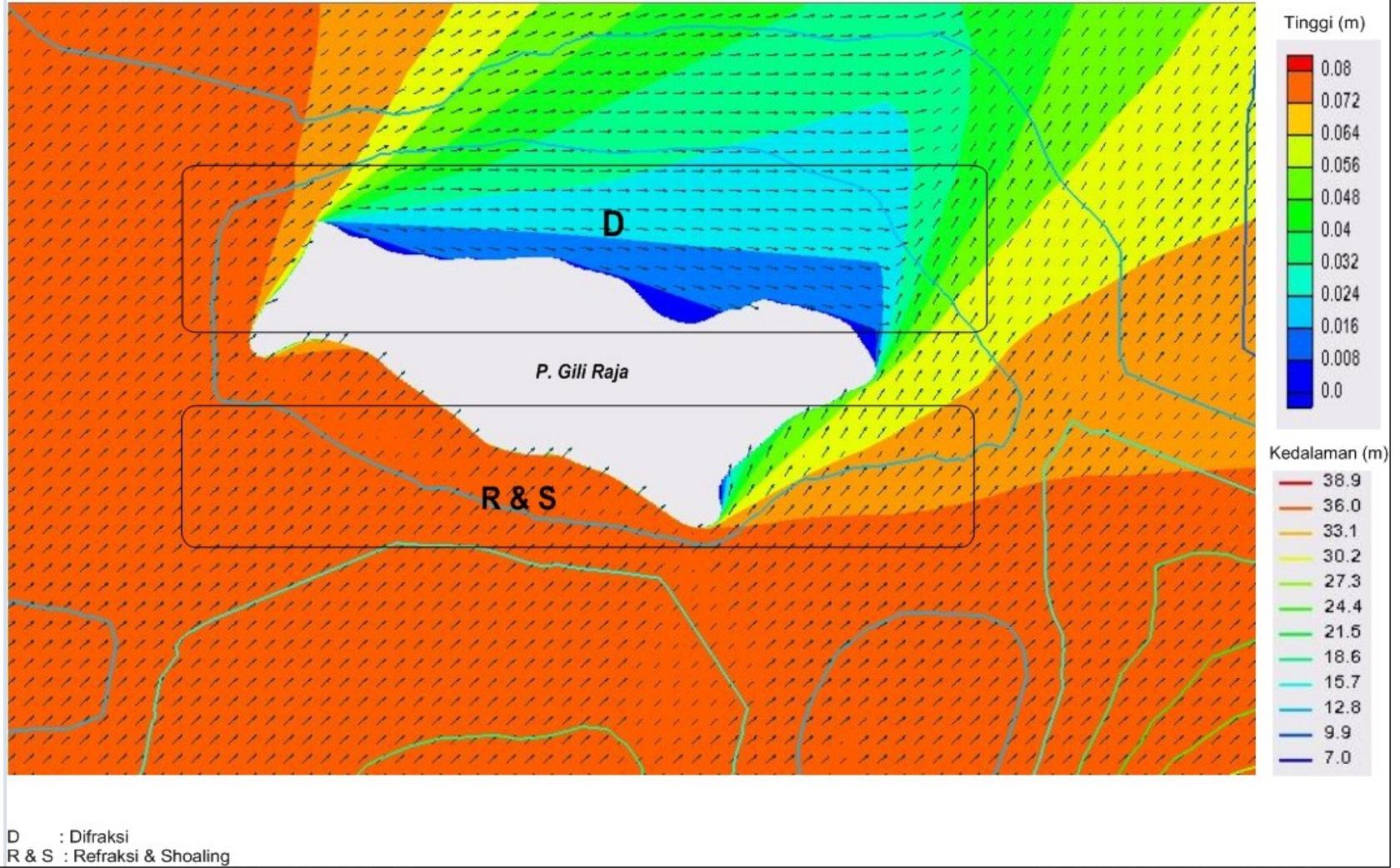
Hasil permodelan penjalaran gelombang (Gambar 15) menunjukkan bahwa terjadi proses refraksi dan *shoaling* (pendangkalan kedalaman) yang dapat dijumpai pada sisi sebelah selatan Pulau Gili Raja. Proses refraksi dan *shoaling* dapat dilihat pada lokasi R dan S pada Gambar 15. Begitu pula dengan sisi sebelah kanan dan kiri pada Pulau Gili Raja juga menunjukkan terjadinya

proses refraksi dan *shoaling*, namun pada sisi sebelah kanan pulau lebih tampak terlihat jelas karena hal tersebut dipengaruhi oleh kedalaman, sisi sebelah kanan pulau memiliki kedalaman yang rendah jika dibanding dengan sisi selatan dan barat. Proses penjalaran gelombang yang menjalar dari kedalaman menuju pantai mengalami perubahan arah penjalaran terhadap sudut datangnya akibat proses pedangkalan yang mengakibatkan vektor gelombang membelok sehingga arah vektor semakin tegak lurus dengan pantai.

Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Triadmodjo (1999), bahwa refraksi terjadi karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Di perairan dalam, gelombang menjalar tanpa dipengaruhi oleh dasar laut. Tetapi dilaut transisi dan dangkal, dasar laut akan mempengaruhi gelombang. Di daerah ini apabila ditinjau satu garis puncak gelombang, bagian dari puncak gelombang yang berada di dalam air yang lebih dangkal akan menjalar dengan kecepatan yang lebih kecil dari pada di bagian air yang lebih dalam, akibatnya garis puncak gelombang akan membelok dan berusaha untuk sejajar dengan garis kontur dasar laut.

Hasil permodelan penjalaran gelombang pada sisi sebelah utara pulau menunjukkan adanya proses difraksi yang ditunjukkan pada lokasi D pada Gambar 15. Adanya proses difraksi menyebabkan perbedaan energi yang tajam disepanjang puncak gelombang. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar pada sisi sebelah utara pulau menunjukkan warna biru yang menandakan nilai tinggi gelombang yang kecil jika dibandingkan dengan nilai tinggi gelombang disisi pulau yang lain. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Triatmodjo (1999), bahwa proses difraksi terjadi apabila gelombang yang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau maka gelombang tersebut akan membelok disekitar ujung rintangan dan masuk kedaerah yang terlindung di belakangnya.

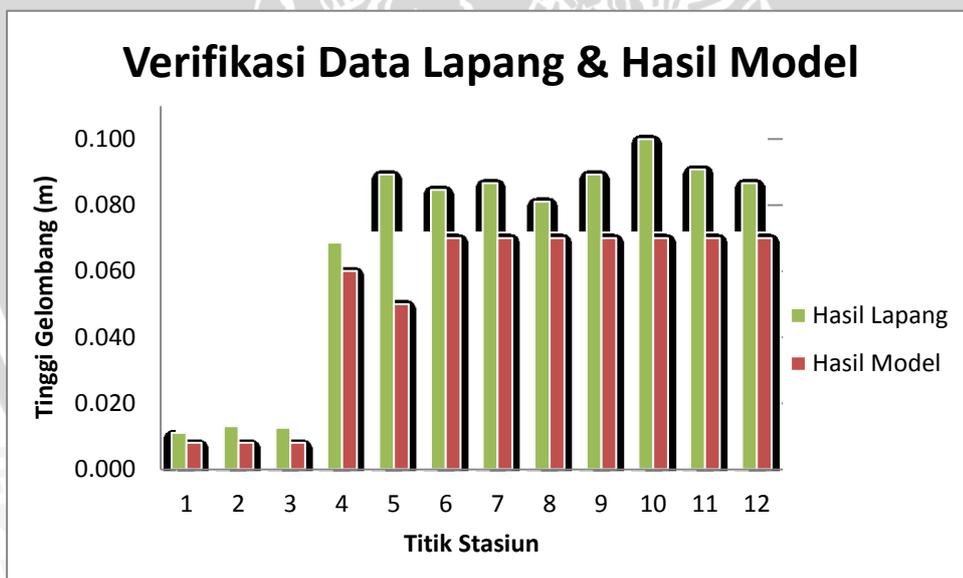
Pola Penjalaran Gelombang 24 - 26 Maret 2015



Gambar 15. Pola Penjalaran dan Deformasi Gelombang

Verifikasi data gelombang hasil pengukuran di lapang dan data gelombang dari hasil suatu model bertujuan untuk mengetahui kesalahan relatif yang menunjukkan tingkat kesalahan suatu data dalam presentase. Sehingga akan dapat diketahui kelayakan suatu model untuk dapat digunakan dalam mengetahui pola penjarangan gelombang pada suatu perairan.

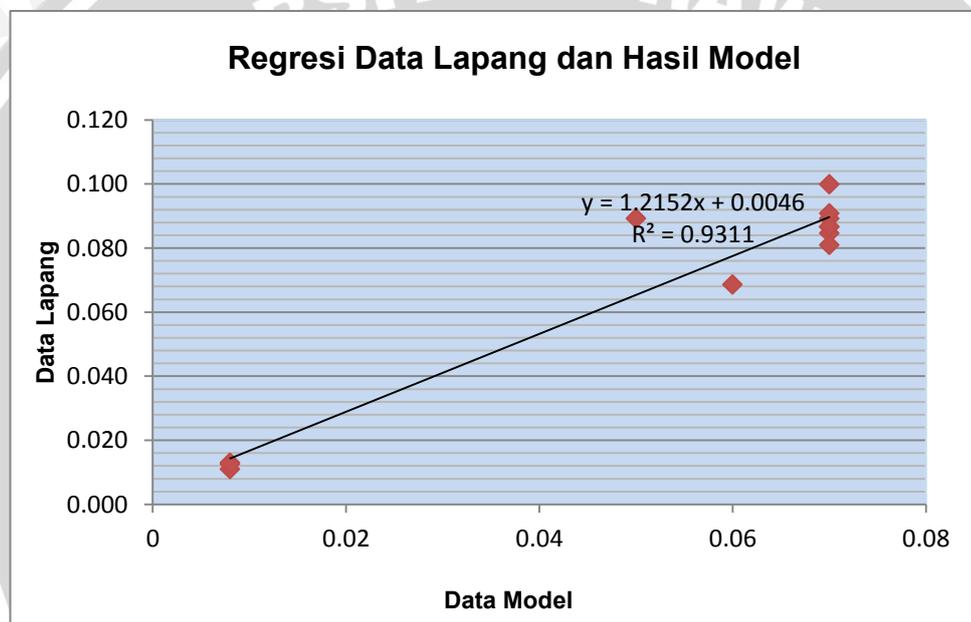
Verifikasi hasil model dilakukan dengan data lapang. Model penjarangan gelombang dijalankan dengan memasukkan nilai tinggi gelombang, periode gelombang dan arah datang gelombang hasil dari pengukuran lapang. Kemudian nilai tinggi gelombang hasil model yang diambil untuk proses verifikasi. Nilai ini didapatkan dari nilai tinggi gelombang pada titik yang sama dengan titik pengambilan data gelombang di lapang. Perhitungan verifikasi antara data lapang dan data hasil model dilakukan menggunakan persamaan kesalahan relatif (Persamaan (25)).



Gambar 16. Hasil Verifikasi Data Lapang dan Model

Hasil verifikasi menunjukkan data hasil permodelan dengan data lapang memiliki nilai yang berdekatan, dimana nilai *Relatif Error* yang didapatkan adalah sebesar 12.5 % - 43.9 %. Sehingga data gelombang hasil dari permodelan dapat

digunakan untuk mengetahui pola penjalaran gelombang disuatu perairan. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Sugiyono dalam Leksono (2013) bahwa verifikasi model yang masih dapat diterima jika masih berada didalam batas 50%. Hubungan antara hasil model dan data lapang untuk nilai tinggi gelombang juga dihitung dengan statistik regresi. Statistik regresi merupakan analisis statistika yang memanfaatkan hubungan antara dua atau lebih peubah kuantitatif sehingga salah satu peubah dapat diramalkan. Hasil perhitungan regresi hubungan antara hasil model dan data lapang menunjukkan nilai $R^2 = 0.931$ (Gambar 17).

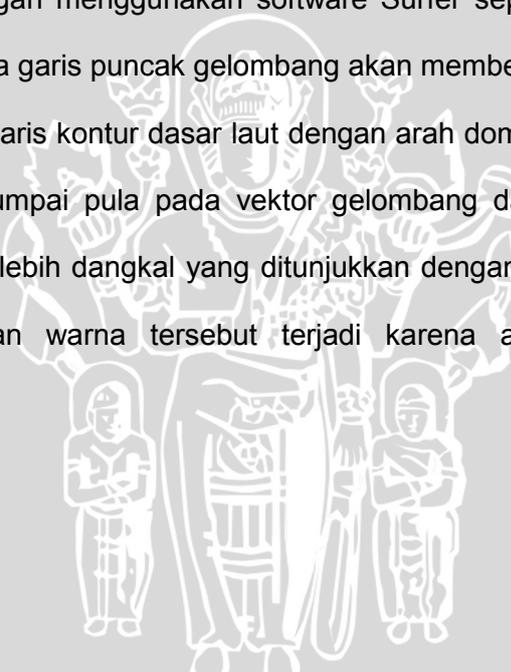


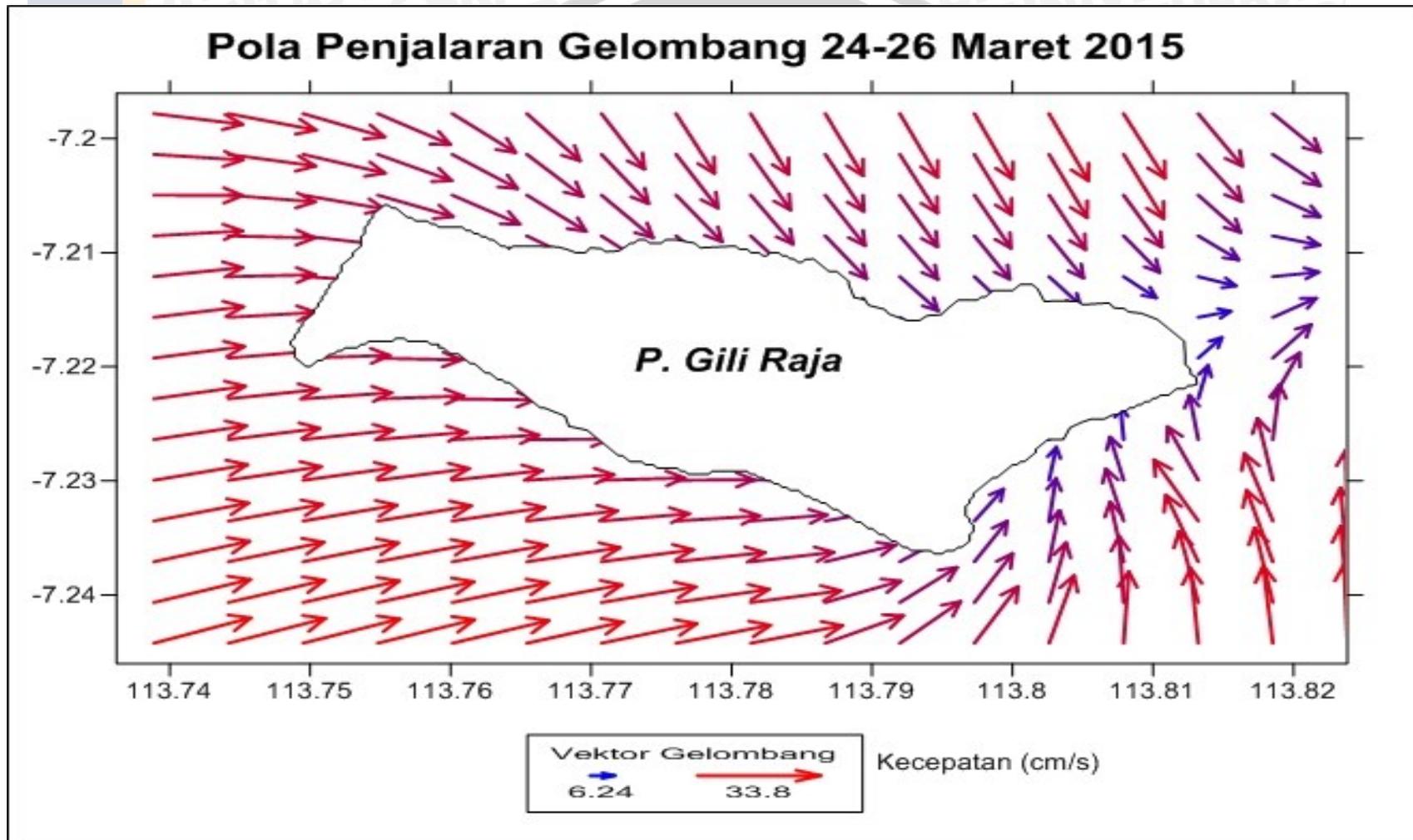
Gambar 17. Regresi Data Gelombang

Pola refraksi gelombang pada berbagai bentuk kontur kedalaman perairan dan garis pantai memperlihatkan bahwa pada garis pantai yang lurus dengan kontur kedalaman yang sejajar terhadap garis pantai, maka arah gelombang akan tegak lurus terhadap kontur kedalaman. Pantai dengan karakteristik daratan yang menjorok kelaut dengan kontur kedalaman lebih dekat, maka arah gelombang akan berbentuk konvergen. Pantai ini adalah daerah abrasi karena terjadi pemusatan energi. Pantai yang mempunyai lekukan dengan

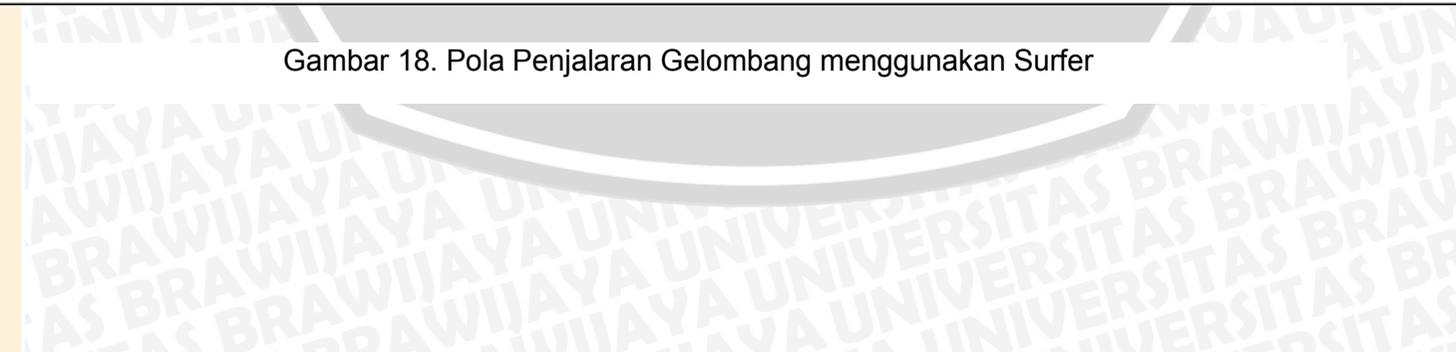
kontur kedalaman yang lebih jauh arah gelombang berbentuk divergen, pantai ini adalah daerah akresi karena terjadi penyebaran gelombang (Dewi, 2011).

Pengolahan pola penjalaran gelombang juga dilakukan dengan menggunakan software Surfer. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan pola penjalaran gelombang yang terjadi. Walaupun software Surfer tidak dirancang untuk permodelan akan tetapi mampu untuk menghasilkan pola penjalaran gelombang. Inputan data yang digunakan terdiri dari titik koordinat stasiun (x dan y), arah datang gelombang, kedalaman, dan cepat rambat gelombang, sehingga akan didapatkan komponen u dan v dalam bentuk grid. Hasil pengolahan dengan menggunakan software Surfer seperti pada Gambar 17 menunjukkan bahwa garis puncak gelombang akan membelok dan cenderung untuk sejajar dengan garis kontur dasar laut dengan arah dominan bergerak dari barat, serta dapat dijumpai pula pada vektor gelombang dari perairan dalam menuju perairan yang lebih dangkal yang ditunjukkan dengan perubahan warna pada peta. Perubahan warna tersebut terjadi karena adanya perbedaan kedalaman.





Gambar 18. Pola Penjalaran Gelombang menggunakan Surfer



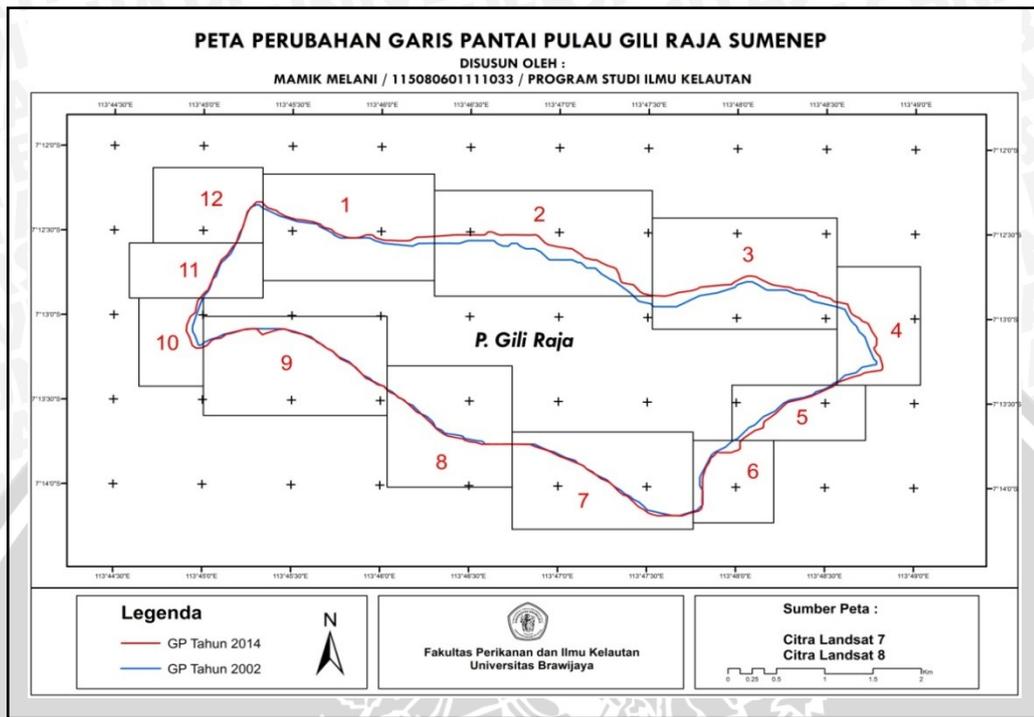
4.4 Analisis Perubahan Garis Pantai

Perubahan garis pantai terjadi sebagai akibat dari dua kejadian, yaitu akresi dan abrasi. Akresi pantai merupakan kondisi semakin majunya pantai karena penambahan material, sedangkan proses abrasi pantai adalah kerusakan pantai yang mengakibatkan semakin mundurnya garis pantai karena kegiatan air laut (Pardjaman 1977, dalam Sandaya 1996).

Kerusakan pantai dapat diakibatkan oleh gerakan angin sehingga dapat membangkitkan gelombang. Terjadinya gelombang menyebabkan berpindahnya material dari suatu tempat ke tempat lain, dan hal ini berlangsung secara terus menerus (pergerakan sedimen) sehingga dapat menyebabkan terjadinya perubahan garis pantai. Untuk analisis perubahan garis pada penelitian ini digunakan citra pada tahun 2002 dan tahun 2014. Dari kedua tahun tersebut akan dapat diketahui pada Pulau Gili Raja mengalami proses abrasi ataukah proses sedimentasi.

Pengolahan perubahan garis pantai pada penelitian ini adalah dengan membagi garis pantai dengan beberapa pias. Pembuatan pias tersebut digunakan untuk memudahkan melakukan analisis laju perubahan garis pantai, selain itu dengan adanya pias dapat semakin detail dalam mengetahui pola perubahan garis pantai yang terjadi. Pembuatan pias-pias tersebut adalah dengan mempertimbangkan kondisi geomorfologi dari masing-masing garis pantai dan dengan mempertimbangkan arah datangnya gelombang yang terjadi serta berdasarkan pengambilan titik stasiun pengukuran gelombang yang dilakukan secara insitu. Didalam masing-masing pias, terdapat beberapa transek dengan interval jarak 100 m. Pembuatan transek tersebut adalah dengan menggunakan metode *single transect* asli. Pengolahan metode *single transect* asli dilakukan terhadap *baseline* yang menjadi dasar dalam pembuatan transek yang dibuat dengan menggunakan *buffer tools*. Untuk kemudian pada *baseline*

dibuat garis-garis transek tegak lurus berjarak spasi tetap sebagai titik pengukuran.



Gambar 19. Peta Perubahan Garis Pantai (2002 dan 2014)

Berdasarkan hasil pengolahan kedua citra satelit, pada Pulau Gili Raja mengalami proses perubahan garis pantai yang membentuk pola garis maju (mengalami sedimentasi). Pola garis pantai maju tersebut dapat dijumpai pada hampir semua garis pantai Pulau. Selanjutnya untuk nilai laju perubahan yang terjadi disajikan seperti pada Tabel. Untuk lebih jelasnya pada masing-masing nilai perubahan garis pantai yang terjadi pada setiap transek dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 14. Besar Laju Perubahan Garis Pantai m/th

Pias	Rata – Rata Nilai Transek	Laju Perubahan (m/ 12 th)	Keterangan
1	41.238	3.437	Sedimentasi
2	109.448	9.121	Sedimentasi
3	73.353	6.113	Sedimentasi
4	96.316	8.026	Sedimentasi
5	37.481	3.123	Sedimentasi

Pias	Rata – Rata Nilai Transek	Laju Perubahan (m/ 12 th)	Keterangan
6	15.785	1.671	Sedimentasi
7	13.708	1.142	Sedimentasi
8	7.466	0.622	Sedimentasi
9	45.262	3.772	Sedimentasi
10	22.512	1.876	Sedimentasi
11	14.852	1.238	Sedimentasi
12	29.703	2.475	Sedimentasi

Perubahan laju perubahan pantai pada masing masing pias dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Analisis perubahan garis pantai pias 1

Pengolahan hasil perubahan garis pantai dari citra satelit selama 10 tahun pada pias 1 didapatkan pola perubahan pada Pulau Gili Raja adalah mengalami akresi, dan laju perubahan garis pantai yang terjadi sebesar 3.437 m/th. Berdasarkan survei lapang yang dilakukan bahwa kondisi pantai pada pias 1 banyak dijumpai warga setempat yang memanfaatkan lahan untuk pembuatan tambak garam.

- Analisis perubahan garis pantai pias 2

Perubahan laju akresi terbesar pada profil pantai Pulau Gili Raja adalah terletak pada sisi sebelah utara pulau yang berada pada pias 2 dengan nilai laju perubahan garis pantai pertahun sebesar 9.121 m/th. Hal tersebut sesuai dengan survei lapang, yaitu pada pias 2 banyak dijumpai kegiatan penambahan lahan untuk pembuatan tambak garam serta budidaya rumput laut.

- Analisis perubahan garis pantai pias 3

Garis pantai hasil pengolahan dari citra satelit selama 10 tahun didapatkan pola perubahan garis pantai pada pias 3 mengalami akresi dan laju perubahan pantai yang terjadi sebesar 6.113 m/th. Berdasarkan

survey lapang yang dilakukan bahwa, kondisi pantai pada pias 3 banyak dimanfaatkan untuk pembuatan tambak garam serta budidaya rumput laut.

- Analisis perubahan garis pantai pias 4

Pengolahan hasil dari citra satelit selama 10 tahun didapatkan pola perubahan garis pantai pada pias 4 mengalami akresi dan laju perubahan pantai yang terjadi sebesar 8.026 m/th. Hal tersebut sesuai dengan survei lapang yang dilakukan bahwa, kondisi pantai pada pias 4 banyak dimanfaatkan untuk penanaman bibit-bibit mangrove.

- Analisis perubahan garis pantai pias 5

Garis pantai hasil dari citra satelit selama 10 tahun didapatkan pola perubahan garis pantai pada pias 5 mengalami akresi dan laju perubahan pantai yang terjadi sebesar 3.123 m/th. Berdasarkan survei lapang yang dilakukan bahwa, kondisi pantai pada pias 5 banyak dimanfaatkan untuk penanaman bibit-bibit mangrove.

- Analisis perubahan garis pantai pias 6

Pengolahan hasil dari citra satelit selama 10 tahun didapatkan pola perubahan garis pantai pada pias 6 mengalami akresi dan laju perubahan pantai yang terjadi sebesar 1.671 m/th. Akan tetapi ada beberapa pola perubahan garis pantai yang mengalami abrasi dengan volume yang kecil pada beberapa ujung pias 6.

- Analisis perubahan garis pantai pias 7

Garis pantai hasil dari citra satelit selama 10 tahun didapatkan pola perubahan garis pantai pada pias 7 mengalami akresi dan laju perubahan pantai yang terjadi sebesar 1.142 m/th. Serta ada transek

dalam pias yang menunjukkan nilai – atau disebut juga dengan abrasi, namun dengan volume yang kecil.

- Analisis perubahan garis pantai pias 8

Perubahan laju akresi terkecil pada profil pantai Pulau Gili Raja adalah berada pada pias 8, laju perubahan garis pantai yang terjadi adalah sebesar 0.622 m/th hal tersebut tentunya kecil jika dibandingkan dengan pias-pias yang lainnya. Serta ada beberapa transek dalam pias yang menunjukkan nilai abrasi pantai. Jika dilihat berdasarkan morfologi pantainya, pada pias 8 memiliki garis pantai yang agak menonjol serta diikuti pula besarnya tinggi gelombang yang terjadi jika dibandingkan dengan pias yang lain.

- Analisis perubahan garis pantai pias 9

Garis pantai hasil dari citra satelit selama 10 tahun didapatkan pola perubahan garis pantai pada pias 9 mengalami akresi dan laju perubahan pantai yang terjadi sebesar 3.772 m/th. Berdasarkan survei lapang yang dilakukan bahwa, kondisi pantai pada pias 9 juga terdapat beberapa tumbuhan mangrove kecil yang ditanam. Serta jika dilihat dari morfologi pantai pada pias 9 memiliki bentuk pantai yang terlindungi dari terjangan gelombang serta terdapat bangunan pantai baru yang menjorok ke laut dengan ukuran kecil. Bangunan pantai tersebut di dimanfaatkan warga setempat untuk tempat memancing.

- Analisis perubahan garis pantai pias 10

Pengolahan hasil dari citra satelit selama 10 tahun didapatkan pola perubahan garis pantai pada pias 10 mengalami akresi dan laju perubahan pantai yang terjadi sebesar 1.876 m/th. Berdasarkan survey

lapang yang dilakukan bahwa, kondisi pantai pada pias 10 banyak dimanfaatkan untuk penanaman bibit-bibit mangrove.

- Analisis perubahan garis pantai pias 11

Garis pantai hasil dari citra satelit selama 10 tahun didapatkan pola perubahan garis pantai pada pias 11 mengalami akresi dan laju perubahan pantai yang terjadi sebesar 1.238 m/th. Berdasarkan survei lapang yang dilakukan bahwa, kondisi pantai pada pias 11 warga setempat banyak memanfaatkan lahan untuk pembuatan tambak garam.

- Analisis perubahan garis pantai pias 12

Pengolahan hasil dari citra satelit selama 10 tahun didapatkan pola perubahan garis pantai pada pias 12 mengalami akresi dan laju perubahan pantai yang terjadi sebesar 2.475m/th. Berdasarkan survei lapang yang dilakukan bahwa, kondisi pantai pada pias 12 warga setempat banyak memanfaatkan lahan untuk pembuatan tambak garam

4.5 Analisis Hubungan Pola Penjalaran dan Dinamika Pantai

Terdapat hubungan antara pola penjalaran gelombang (refraksi dan difraksi) dengan dinamika pantai. Menurut Thirtasari (2015), refraksi dan difraksi gelombang laut yang terjadi merupakan proses - proses di daerah sekitar pantai yang berpengaruh secara langsung terhadap perubahan garis pantai, dimana refraksi berperan dalam perubahan topografi dasar laut dari pengaruh erosi dan sedimentasi, sedangkan difraksi berperan dalam peredaman energi gelombang laut dari laut dalam yang terhalang oleh penghalang atau rintangan di laut.

Hasil pengolahan perubahan garis pantai, pada sisi sebelah utara pulau dominan mengalami akresi yang cukup besar jika dibandingkan dengan sisi sebelah pulau yang lain. Selain dimanfaatkan untuk pembukaan lahan sebagai tambak garam, pada sisi sebelah utara pulau jika dihubungkan dengan hasil

permodelan seperti pada Gambar 15 maka pada sisi tersebut terjadi arus menyusur pantai yang ditimbulkan oleh gelombang. Arus yang menyusur pantai tersebut mampu mempengaruhi gerakan sedimen, sehingga pada sisi sebelah utara pulau cenderung mengalami proses akresi.

Gelombang yang merangsang terjadinya arus menyusur pantai (*longshore current*) adalah penyebab utama dari gerakan sedimen, sedangkan arus-arus yang lainnya hanya efektif pada kondisi tertentu. Sebagai contoh pada mulut teluk, arus pasang menjadi kuat dan mungkin sekali berperan penting dalam pengangkutan sedimen pantai. Angin yang menghasilkan arus menyusur pantai, jika dikombinasikan dengan aksi gelombang akan efektif dalam pengangkutan sedimen (Rahayu, 2002 dalam Komar, 1983).

Sisi sebelah selatan barat pulau jika dilihat dari hasil permodelan gelombang menunjukkan adanya refraksi konvergen. Refraksi konvergen terjadi karena adanya pemusatan energi gelombang, dengan adanya pemusatan energi gelombang tersebut dapat mengakibatkan kerusakan pantai jika terjadi secara terus menerus. Sehingga jika dihubungkan antara hasil dari model penjalaran gelombang dan dinamika garis pantai pada sisi sebelah selatan barat pulau berpotensi mengalami proses abrasi, akan tetapi dari hasil pengolahan perubahan garis pantai dengan menggunakan citra Landsat pada daerah tersebut mengalami proses akresi. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan, berdasarkan kondisi geomorfologi di lapangan, sisi sebelah selatan memiliki substrat sedimen karang yang dapat meredam datangnya gelombang serta berfungsi sebagai penjebak sedimen.

Pola refraksi gelombang pada berbagai bentuk kontur kedalaman di suatu perairan dan garis pantai memperlihatkan bahwa pada garis pantai yang lurus dengan kontur kedalaman yang sejajar terhadap garis pantai, maka arah gelombang akan tegak lurus terhadap kontur kedalaman. Tipe pantai yang



mempunyai daratan yang menjorok ke laut dengan kontur kedalaman lebih dekat, memiliki arah gelombang berbentuk konvergen. Pantai tersebut merupakan daerah abrasi karena terjadi pemusatan energi. Pantai yang mempunyai lekukan dengan kontur kedalaman yang lebih jauh arah gelombang berbentuk divergen, pantai ini adalah daerah akresi karena terjadi penyebaran gelombang (Dewi, 2011).

Menurut UU No. 27 Tahun 2007, pemanfaatan pulau-pulau kecil dan perairan di sekitarnya dilakukan berdasarkan kesatuan ekologis dan ekonomis secara menyeluruh dan terpadu dengan pulau besar di dekatnya. Pemanfaatan Pulau-Pulau Kecil dan perairan tersebut diprioritaskan untuk salah satu atau lebih kepentingan, seperti :

- a. Konservasi
- b. Pendidikan dan pelatihan
- c. Penelitian dan pengembangan
- d. Budidaya laut
- e. Pariwisata
- f. Usaha perikanan dan kelautan dan industri perikanan secara lestari
- g. Pertanian organik
- h. Peternakan.

Pemanfaatan pesisir pada perairan Pulau Gili Raja mengarah untuk kepentingan konservasi dan budidaya laut. Dalam kepentingan kegiatan konservasi, warga setempat melakukan penanaman mangrove pada spot-spot tertentu. Hal tersebut bertujuan untuk mengurangi pengaruh gelombang yang terjadi, karena seperti yang kita ketahui bahwa keberadaan Pulau kecil seperti Pulau Gili Raja sangat rentan terhadap pengaruh dari faktor Oseanografi khususnya gelombang. Sedangkan untuk kepentingan budidaya laut, warga Pulau Gili Raja melakukan budidaya rumput laut pada kawasan utara Pulau.

Pemilihan lokasi budidaya rumput laut pada sisi sebelah utara sangat sesuai, dikarenakan pada sisi sebelah utara Pulau memiliki kondisi gelombang yang cukup tenang, serta sisi pada utara Pulau merupakan pusat aktivitas warga setempat. Adanya kepentingan konservasi Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil diselenggarakan untuk menjaga kelestarian ekosistem pesisir serta untuk melindungi habitat laut.

4.6 Kendala dan Hambatan Penelitian

Proses pelaksanaan sampai dengan penyelesaian dalam penelitian ini terdapat kendala dan hambatan diantaranya adalah :

1. Kurang tersedianya data angin secara *time series* yang dapat digunakan dalam permodelan gelombang akan mengakibatkan ketidaksinkronan antara data hasil model dengan data lapang.
2. Kurangnya ketrampilan dan pengetahuan dalam pengolahan modul *CMS-Wave* sehingga dituntut untuk belajar dan berusaha lebih ekstra. Hal tersebut merupakan hambatan yang paling utama dalam proses penyelesaian penelitian ini.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat disimpulkan dalam Penelitian ini adalah :

1. Hasil permodelan penjalaran gelombang menunjukkan adanya pola deformasi gelombang yang terdiri dari proses refraksi dan *shoaling* (pendangkalan) dan proses difraksi. Untuk proses refraksi dan *shoaling* dapat dijumpai pada sisi sebelah selatan, kanan dan kiri pulau. Proses refraksi tersebut karena pengaruh dari perubahan kedalaman yang mampu mengakibatkan pembelokan sehingga arah vektor gelombang semakin tegak lurus dengan pantai. Sedangkan untuk proses difraksi dapat dijumpai pada sisi sebelah utara pulau.
2. Hasil permodelan dianggap pada sisi utara pulau terjadi arus menyusur pantai yang ditimbulkan oleh gelombang. Arus yang menyusur pantai tersebut mampu mempengaruhi gerakan sedimen, sehingga pada sisi sebelah utara pulau cenderung mengalami proses akresi. Sisi sebelah selatan barat pulau jika dilihat dari hasil permodelan gelombang menunjukkan adanya refraksi konvergen. Refraksi konvergen mampu mengakibatkan pemusatan energi gelombang yang dapat berpotensi untuk merusak garis pantai.

5.2 Saran

Saran yang dapat disampaikan dalam penelitian selanjutnya adalah :

1. Proses pengambilan data gelombang dilapang seharusnya dilakukan dengan menggunakan instrument pengukuran yang lebih modern untuk dapat menunjang perolehan data secara maksimal.

2. Proses pengolahan data seharusnya menggunakan data angin *time series* dan menggunakan data batimetri yang lebih *up to date* untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal.
3. Proses analisis pola penjalaran gelombang sebaiknya dilakukan pengolahan berdasarkan musim dikarenakan pola penjalaran pada setiap musim akan berbeda sehingga dapat diketahui proses deformasi yang terjadi pada masing – masing musim dan ditambahkan hubungannya dengan arus sejajar pantai (*Longshore current*) yang mempengaruhi pergerakan butir sedimen akibat dari adanya proses deformasi gelombang.



DAFTAR PUSTAKA

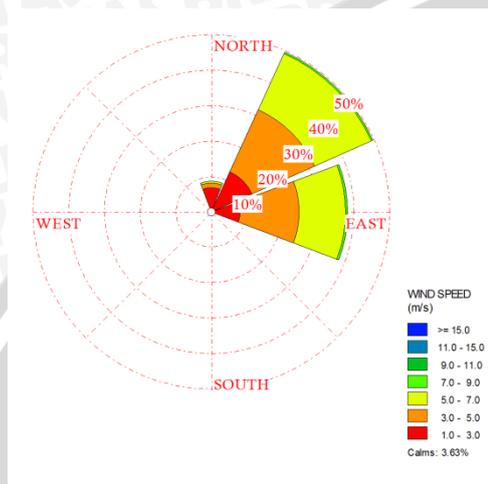
- Afrianto, D. 2014. *Analisis Karakteristik dan Pola Transformasi Gelombang di Sekitar Struktur Bangunan Pelabuhan Teluk Lamong, Surabaya*. FPIK. Universitas Brawijaya Malang. (Unpublished).
- Achmad, Z. 2011. *Analisis Pola Arus dan Laju Sedimentasi terhadap Perubahan Batimetri di Perairan Teluk Tomini Gorontalo*. Tugas Akhir-mo 091336. ITS. Surabaya.
- Aquaveo. 2014. www.aquveo.com. Diakses pada tanggal 13 Desember 2014.
- Azhar M. R. 2011. *Studi Pengamanan Pantai Tipe Pemecah Gelombang Tenggelam di Pantai Tanjung Kait*. Program Magister Manajemen Pengelolaan Sumberdaya Air.
- CERC. 1984. *Shore Protection Manual*. Fourth Edition Volume I, Washington U.S. Army Coastal Engineering Research Center.
- Dewi, I.P. 2011. *Perubahan Garis Pantai dari Pantai Teritip Balikpapan sampai Pantai Ambarawang Kutai Kertanegara Kalimantan Timur*. Institut Pertanian Bogor. Tesis.
- Dewi, Y. K. 2011. *Penentuan Prioritas Lokasi Pengembangan Pelabuhan di Pulau Gili Raja Kabupaten Sumenep*. Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XIII. ITS Surabaya.
- Hidayat, N. 2005. *Kajian Hidro-Oseanografi untuk Kajian Proses-Proses Fisik Pantai*. Jurnal SMARTek, Vol. 3, No. 2, Mei 2005 : 73 – 85.
- Hutarabarat, S. dan S.M. Evans. 1985. *Pengantar Oseanografi*. UI Press. Jakarta.
- KP3K. 2013. http://www.Ppk-kp3k.Kkp.go.id/direktori-pulau/index.php/public_c/pulau_info/4673. Diakses pada tanggal 28 Februari 2015 pada pukul 18.45 WIB.
- Lihwa, L., Z. Demirbilek, H. Mase, J. Zheng, dan F. Yamada. 2008. *CMS-Wave: A Nearshore Spectral Wave Processes Model for Coastal Inlets and Navigation Projects*. U.S. Army Engineer Research and Development Center.
- Nadia, P., M.. Ali, dan Besperi. 2013. *Pengaruh Angin Terhadap Tinggi Gelombang pada Struktur Bangunan Breakwater di Tapak Paderi Kota Bengkulu*. Jurnal Inersia Vol.5 No.1 April 2013.
- Pranoto, S. 2007. *Prediksi Perubahan Garis Pantai Menggunakan Model Genesis*. Vol. 13, No.3– Juli 2007, ISSN 0854-4549 Akreditasi No. 23a/DIKTI/KEP/2004.

- Praktikto, W.A., Suntoyo., Sholihin., K. Sambodho., Taufik., H. D. Yahya. 2000. *Struktur Pelindung Pantai*. Due-Like. ITS Surabaya.
- Prasetyo, B. dan L. M. Jannah. 2010. *Metode Penelitian Kuantitatif*. Rajawali Press. Jakarta.
- Rahayu, F. 2000. *Kondisi Gelombang dan Pengaruhnya terhadap Pergerakan Sedimen di Perairan Pantai Yogyakarta Cilacap pada Bulan April-Mei 1999*. Institut Pertanian Bogor. Skripsi
- Ramdani, M., Ismunarti, H. Dwi, dan S. Widada. 2014. *Analisis Refraksi Gelombang Laut Berdasarkan Model Cms-Wave di Pantai Keling Kabupaten Jepara*. Jurnal Oseanografi. Volume 3, Nomor 3, Tahun 2014, Halaman 392 – 400.
- Sugiyono. 2008. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Alfabeta. Bandung.
- Leksono, A., W. Atmodjo, dan L. Malukah. 2013. *Studi Arus Laut Pada Musim Barat Di Perairan Cirebon*. Jurnal Oseanografi Volume 2, Nomor 3, Tahun 2013.
- Samulano, I., dan M. Masa. 2011. *Refraksi dan Difraksi Gelombang Laut di daerah dekat Pantai Pariaman*. Jurnal Rekayasa Sipil Volume 7 No. 1, Februari 2011.
- Sandaya, N. 1996. *Studi Pengamatan Pola Pergerakan Sedimen dan Perubahan Garis Pantai di sebelah Timur Teluk Jakarta Menggunakan Citra Landsat TM*. Institut Pertanian Bogor. Skripsi
- Sverdrup, K., A., Duxbury, C., Alyn, and A. B. Duxbury. 2005. *An Introduction to The World's Oceans*. Mc Graw Hill. New York.
- Tarigan, A.P.M., dan A. S. Zein. 2005. *Analisa Refraksi Gelombang pada Pantai*. Jurnal Teknik Simetrika Vol.4 No.2 –Agustus 2005 hal 354:351.
- Thirtasari, R. D., A., Rifai, dan W. Atmodjo. 2015. *Dinamika Transformasi Gelombang Menggunakan Model Cms-Wave (Coastal Modelling System - Wave) di Pantai Boom Tuban, Jawa Timur*. Jurnal Oseanografi. Volume 4, Nomor 1, Tahun 2015, Halaman 195 – 205.
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Beta Offset. Yogyakarta.
- U.S. Army. 1992. *Shore Protection Manual Vol I dan II*. Washington DC.
- UU No. 27 Tahun 2007 Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau - Pulau Kecil.
- <https://www.pilebuckinternational.com/chapter-4-waves/>. Diakses pada 5 Agustus 2015.

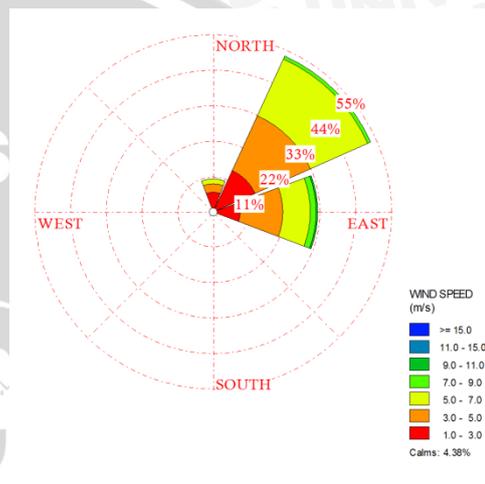
LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram Windrose

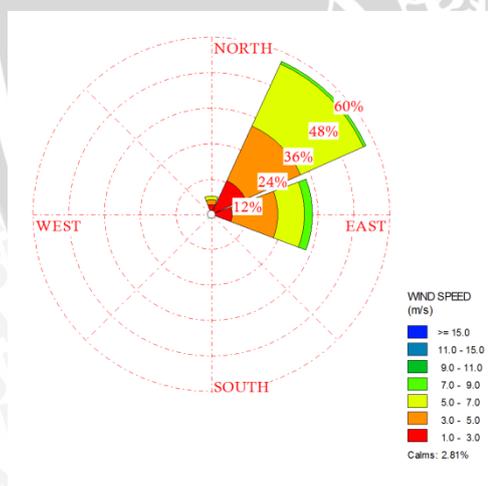
Tahun 2005



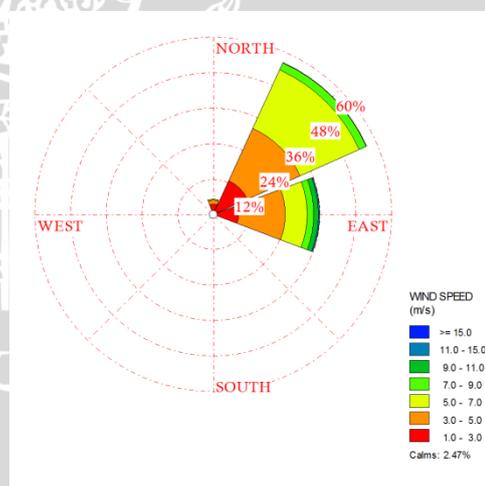
Tahun 2007



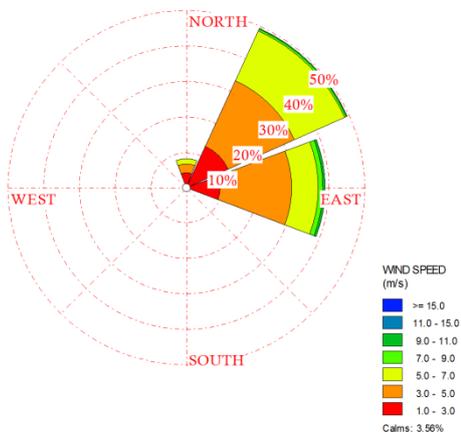
Tahun 2006



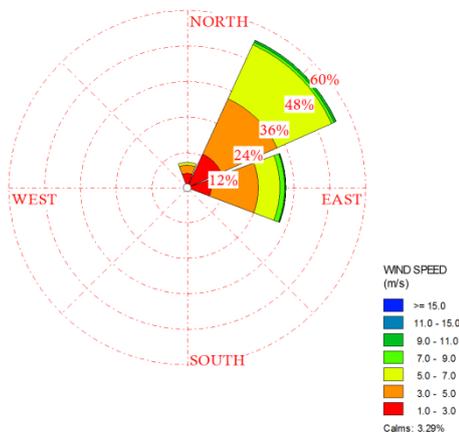
Tahun 2008



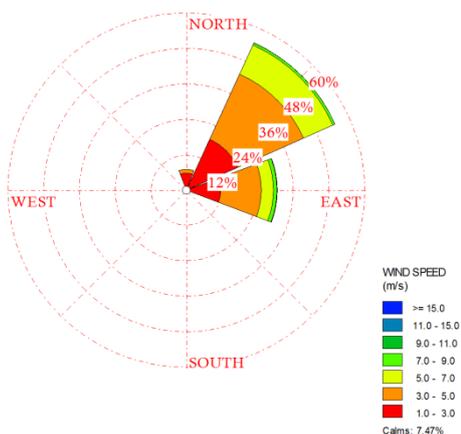
Tahun 2009



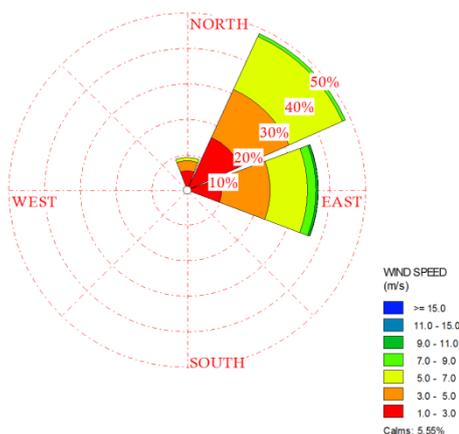
Tahun 2012



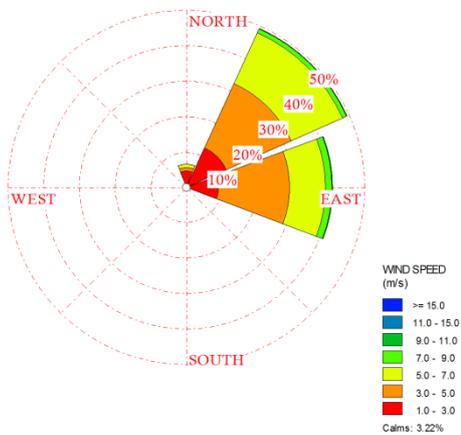
Tahun 2010



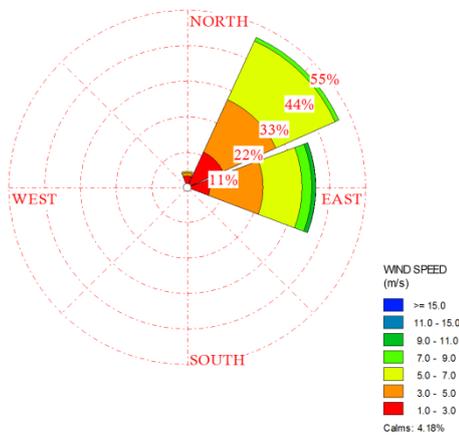
Tahun 2013



Tahun 2011



Tahun 2014



Lampiran 2. Pengolahan Perubahan Garis Pantai

Pias	Nilai Transek	Rata - Rata (m)	Laju (m/th)				
1	15.37	41.2382	3.1722	3	41.32	73.3525	5.6425
	40.14				88.27		
	33.66				99.53		
	26.2				90.14		
	16.91				119.47		
	23.24				126.4		
	22.81				160.38		
	16.06				125.28		
	20.28				106.5		
	26.2				95.15		
	13.8				82.13		
	1.278				55.33		
	27.36				66.1		
	36.33				65.1		
	35.49				66.1		
	42.15				71.11		
	51.08				70.11		
	87.7				44.66		
	71.56				41.72		
	77.37				46.92		
85.83	75.74						
94.84	83.66						
82.82	73.66						
2	61.41	109.4478	8.4191	4	71.3	96.3163	7.4089
	66.1				116.48		
	82.25				136.34		
	121.32				111.57		
	95.02				50.93		
	131.46				73.07		
	157.57				194.27		
	120.38				130.36		
	152.49				27.53		
	143.3				46.46		
	125.83				14.84		
	97.47				21.47		
	98.22				21.13		
88.45	22.18						
116.43	47.46						
134.09	65.5						
5				5		37.4814	2.8832

6	69.79	20.0534	1.5426	8	-0.03	7.4655	0.5743
	48.66				-3.16		
	70.86				14.69		
	102.95				2.85		
	11.54				4.09		
	10.15				10.85		
	8.59				-2.58		
	26.9				6.39		
	33.71				12.29		
	-5.04				-1.69		
	13.15				-0.29		
	12.72				-7.33		
	0.115				12.59		
	6.75				3.45		
	32.17				7.34		
	30.71				5.09		
	35.86				42.27		
	28.63				34.23		
	11.42				4.24		
	18.87				4.02		
0.639	7.78						
13.59	13.51						
2.08	34.1						
-0.17	84.49						
0.22	62.24						
12.61	69.45						
14.64	25.21						
10.68	44.08						
8.49	21.55						
7	19.52	13.7076	1.0544	10	22.5122	22.5122	1.7317
	1.87				3.081		
	-0.78				18.64		
	0.407				35.12		
	0.72				24.17		
	31.58				9.94		
	23.52				2.52		
	18.77				2.51		
	28.62				-1.18		
	14.31				37.37		
	5.91				37.53		
	22.53				45.09		
2.73	12	23.7620	1.8278				
22.2							

Lampiran 3. Dokumentasi Pengambilan Data Lapang



Pengukuran gelombang



Kondisi perairan sebelah utara Pulau Gili Raja



Kondisi perairan sebelah timur Pulau Gili Raja



Kondisi perairan sebelah selatan Pulau Gili Raja



Kondisi perairan sebelah barat Pulau Gili Raja



Area Pertambakan sebelah Utara dan Timur Pulau Gili Raja