

**ANALISIS KARAKTERISTIK DAN POLA TRANSFORMASI GELOMBANG DI
SEKITAR STRUKTUR BANGUNAN PELABUHAN TELUK LAMONG,
SURABAYA, JAWA TIMUR**

SKRIPSI

PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN

JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN

Oleh:

DIAN AFRIANTO

NIM. 105080601111022



FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2014

**ANALISIS KARAKTERISTIK DAN POLA TRANSFORMASI GELOMBANG DI
SEKITAR STRUKTUR BANGUNAN PELABUHAN TELUK LAMONG, SURABAYA,
JAWA TIMUR**

**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:

DIAN AFRIANTO

NIM. 105080601111022



**FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

MALANG

2014

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS KARAKTERISTIK DAN POLA TRANSFORMASI GELOMBANG DI SEKITAR STRUKTUR BANGUNAN PELABUHAN TELUK LAMONG, SURABAYA, JAWA TIMUR

Oleh :

DIAN AFRIANTO
105080601111014

telah dipertahankan didepan penguji
pada tanggal : 20 Agustus 2014
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui,

Dosen Penguji I

(Ir. BAMBANG SEMEDI, M.Sc, Ph.D)
NIP. 19621220 198803 1 004
Tanggal :

Dosen Penguji II

(M Arif Zainul Fuad,S.Kel, MSc)
NIP. 19801005 200501 1 002
Tanggal :

Dosen Pembimbing I

(Dr. H. RUDIANTO MA.)
NIP. 19570715 198603 1 024
Tanggal :

Dosen Pembimbing II

(NURIN HIDAYATI, ST. M.Sc.)
NIP. 19781102 200501 2 002
Tanggal :

Mengetahui,
Ketua Jurusan

(Dr. Ir. Daduk Setyohadi, MP)
IP.19630608 198703 1 003
Tanggal :

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : DIAN AFRIANTO

NIM : 105080601111073

Prodi : Ilmu Kelautan

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tulisan pembuatan Laporan skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat tulisan, pendapat atau bentuk lain yang telah diterbitkan oleh orang lain kecuali tertulis dalam laporan ini di Daftar Pustaka.

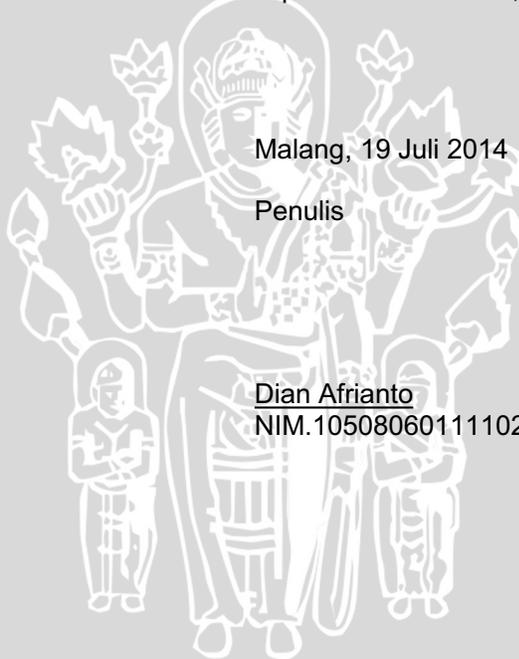
Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan laporan Skripsi ini hasil jiplakan (plagiasi), maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut, sesuai hukum yang berlaku di Indonesia.

Malang, 19 Juli 2014

Penulis

Dian Afrianto

NIM.105080601111022



UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Terima kasih yang dalam penulis persembahkan kepada ibu dan bapak atas doa, waktu, dukungan, perhatian, cinta dan materi yang telah diberikan.
2. Bapak Dr. H. Rudianto MA. dan Ibu Nurin Hidayati ST. M.Sc. selaku pembimbing 1 dan pembimbing 2 atas bimbingan dan ilmu yang telah dituangkan dalam penyusunan laporan skripsi.
3. Affan Fazumi, Faiz yaniar, Yuni Ardi Candra, Wikan Baskara dan Fikri Al Farisyi yang telah banyak berkontribusi dalam setiap tahap dan proses penyusunan laporan skripsi..
4. Semua Teman -Teman Ilmu Kelautan Khususnya angkatan 2010

Malang, 19 Juli 2014



DIAN AFRIANTO
105080601111022

RINGKASAN

DIAN AFRIANTO. Skripsi tentang Analisis Transformasi Gelombang Di Sekitar Pembangunan Pelabuhan Teluk Lamong, Surabaya, Jawa Timur. (di bawah bimbingan **Rudianto Dan Nurin Hidayati**).

Teluk Lamong merupakan wilayah strategis sebagai pengembangan transportasi laut, pelabuhan, industri dan penangkapan ikan yang juga mendukung berbagai aktifitas yang berada pada Teluk Lamong. Untuk mendukung aktifitas transportasi laut meka dilakukan pembangunan pelabuhan peti kemas yang berada di Teluk Lamong dengan reklamasi menambahkan material pasir kedalam badan air Teluk Lamong yang dikhawatirkan akan mempengaruhi pola penjalaran gelombang yang terjadi pada sekitar struktur bangunan pelabuhan Teluk Lamong. Penelitian ini dilakukan di Teluk Lamong, Surabaya, Jawa Timur pada bulan Mei 2014. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik dan pola transformasi gelombang (refraksi, difraksi dan refleksi gelombang) di sekitar pembangunan pelabuhan Teluk Lamong serta mengetahui tinggi gelombang di sekitar pelabuhan Teluk Lamong. Penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi kondisi perairan Teluk Lamong dengan menggunakan transformasi gelombang dan memberi gambaran pada area yang terkena paparan arah penjalaran gelombang serta dampak yang mungkin terjadi pada area sekitar perairan Teluk Lamong.

Penelitian ini dilakukan dengan cara *in situ* dan perhitungan matematis. Pengukuran gelombang dilakukan untuk memperoleh tinggi, lembah, periode, kedalaman dan arah datang yang dilakukan pada empat titik lokasi di sekitar struktur bangunan pelabuhan. Perhitungan matematis dilakukan pada data *time series* gelombang untuk memperoleh nilai koefisien refraksi (K_r), koefisien difraksi (K') dan koefisien refleksi yang kemudian digunakan untuk melakukan peramalan tinggi gelombang baru. Transformasi gelombang yang terjadi berupa refraksi, difraksi dan refleksi berada di sekitar struktur bangunan pelabuhan yang berdampak dengan berkurangnya tinggi gelombang.

Penjalaran arah gelombang datang menuju struktur bangunan diperoleh hasil di titik D1 dan D2 yang terkena dampak dari adanya proses difraksi nilai koefisien difraksi (K') di titik D1 sebesar 0,22 dan di titik D2 sebesar 0,1. Titik D3 terkena dampak dari adanya refleksi dan refraksi dengan nilai koefisien refraksi (K_r) sebesar 1,05. Titik D4 memperoleh dampak dari adanya refleksi gelombang yang membentur struktur bangunan pelabuhan dengan nilai koefisien refleksi 0,6. keseluruhan tinggi gelombang yang diperoleh baik dari pengukuran lapang dan hasil peramalan tinggi gelombang menunjukkan pola yang sama yaitu pada titik D1 dan D2 yang berada pada daerah terlindung oleh struktur bangunan pelabuhan memiliki nilai yang paling rendah akibat terkena dampak dari adanya difraksi gelombang. Titik D4 yang terletak pada ujung bangunan sebelah kanan yang terkena dampak dari refleksi gelombang memiliki nilai tinggi gelombang yang tertinggi, sedangkan pada titik D3 yang berada pada bagian kanan belakang dari struktur bangunan pelabuhan yang terkena dampak dari refraksi dan difraksi gelombang memiliki nilai tinggi gelombang yang relatif tinggi.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir Skripsi sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana yang berjudul **Analisis Transformasi Gelombang Di SekitarPembangunan Pelabuhan Teluk Lamong, Surabaya, Jawa Timur**. Dalam tulisan ini, disajikan bahasan yang berisi tentang pola transformasi gelombang yang terjadi di sekitar struktur bangunan pelabuhan Teluk Lamong dan tinggi gelombang setelah terjadinya transformasi gelombang.

Dalam pembuatan laporan skripsi ini penulis telah berusaha sebaik-baiknya dengan berpegang kepada ketentuan yang berlaku, namun karena keterbatasan pengetahuan dan waktu maka penulis menyadari dalam penyajiannya jauh dari sempurna. Penulis mengharapkan saran yang membangun agar tulisan ini bermanfaat bagi yang membutuhkan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

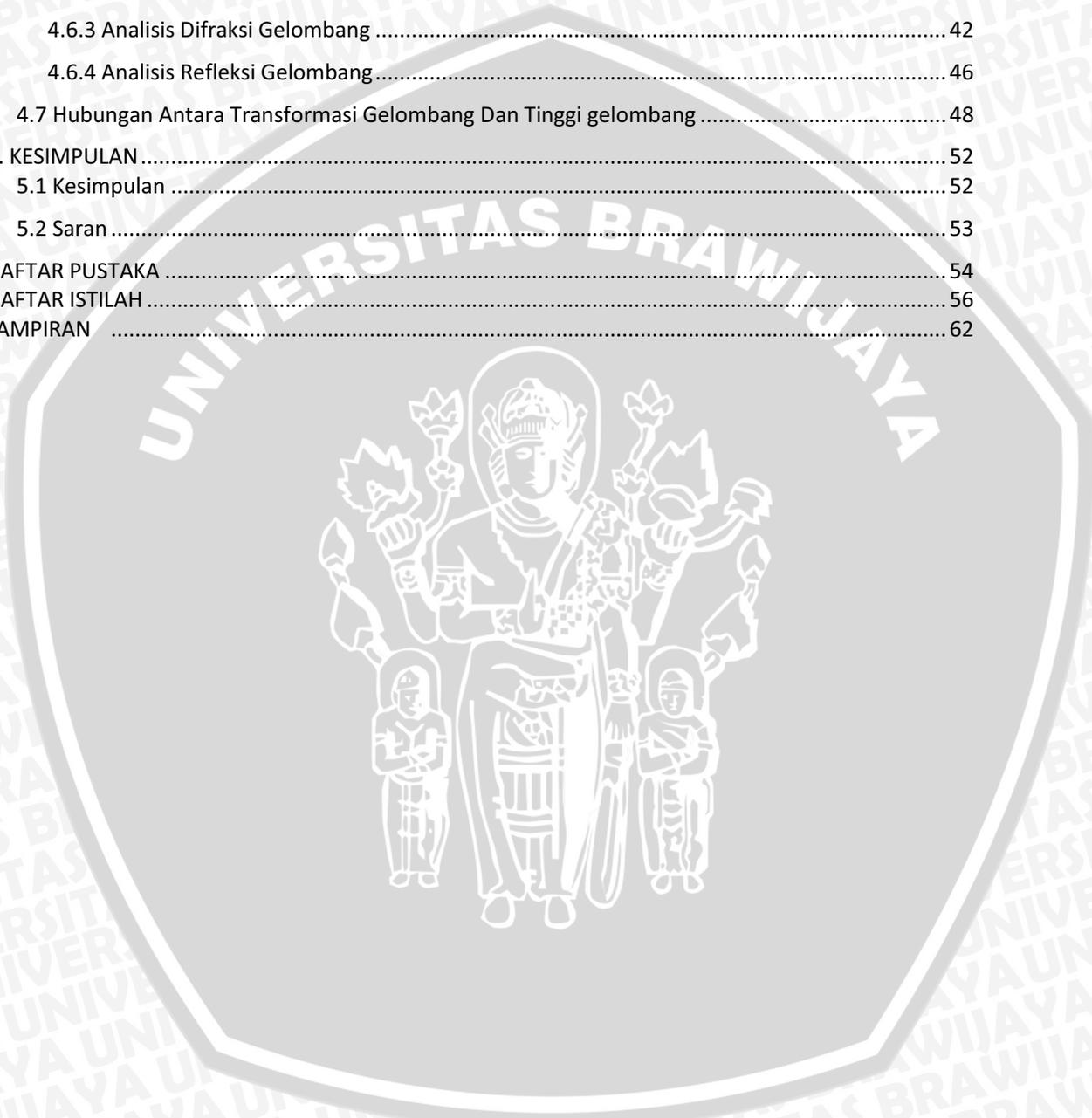
Malang, 19 Juli 2014

DIAN AFRIANTO
105080601111022

DAFTAR ISI

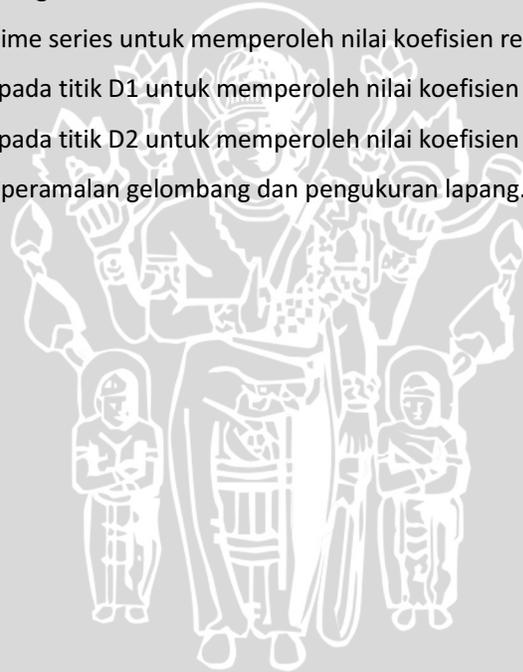
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
RINGKASAN	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Kegunaan	3
1.5 waktu dan Tempat.....	4
1.6 Batasan Masalah.....	4
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Gelombang.....	5
2.2 Deformasi Gelombang	7
2.2.1 Refraksi Gelombang.....	7
2.2.2 Shoaling (pendangkalan)	8
2.2.3 Difraksi Gelombang	9
2.2.4 Refleksi Gelombang.....	11
2.2.5 Gelombang Pecah.....	12
2.3 Reklamasi.....	13
2.3 Kedalaman Laut	14
3. METODE PENELITIAN	16
3.1 Keadaan Umum Teluk Lamong	16
3.2 penentuan Titik Lokasi	17
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	18
3.2 Teknik Pengumpulan Data	19
3.3 Metode Penelitian dan Pengolahan Data	20
3.3.1 Pengolahan Data Transformasi Gelombang.....	20
3.3.2 Pengolahan Data Batimetri.....	22
3.4 Diagram Alir pengolahan Data	23
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Tinggi Gelombang Datang.....	25
4.2 Arah Pergerakan Gelombang.....	28
4.3 Data Pengukuran Lapangan Gelombang	30

4.4 Analisis Kedalaman	33
4.5 Struktur pembangunan Pelabuhan.....	35
4.6 Analisis Transformasi Gelombang	37
4.6.1 Analisis Refraksi Gelombang.....	38
4.6.2 Analisis Pendangkalan Gelombang.....	41
4.6.3 Analisis Difraksi Gelombang	42
4.6.4 Analisis Refleksi Gelombang.....	46
4.7 Hubungan Antara Transformasi Gelombang Dan Tinggi gelombang	48
5. KESIMPULAN	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	53
DAFTAR PUSTAKA	54
DAFTAR ISTILAH	56
LAMPIRAN	62



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Koefisien Refleksi.	11
Tabel 3. Deskripsi titik Pengambilan Sampel.	18
Tabel 4. Titik Koordinat Lokasi Penelitian.	18
Tabel 5. Alat dan Bahan Penelitian.	18
Tabel 6. Data time series tinggi gelombang.	25
Tabel 7. Data hasil pengolahan matematis tinggi gelombang.	27
Tabel 8. Data pengukuran lapang gelombang.	31
Tabel 9. Perhitungan Peramalan tinggi gelombang ($H'O$).	32
Tabel 10. Rata – rata tinggi gelombang pengukuran lapang.	32
Tabel 11. Data kedalaman dan arah gelombang.	33
Tabel 12. Data time series gelombang tahun 2009 – 2013.	39
Tabel 13. Hasil pengolahan data time series untuk memperoleh nilai koefisien refraksi (K_r).	40
Tabel 14. Hasil perhitungan data pada titik D1 untuk memperoleh nilai koefisien difraksi (K').	44
Tabel 15. Hasil perhitungan data pada titik D2 untuk memperoleh nilai koefisien difraksi (K').	45
Tabel 16. Tinggi gelombang Hasil peramalan gelombang dan pengukuran lapang.	50



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Sket definisi gelombang (Triatmodjo, 1999).....	6
Gambar 2. Refraksi Gelombang (Triatmodjo, 1999).....	8
Gambar 3. Difraksi Gelombang Saat Mengenai Rintangan (Triatmodjo, 1999).	10
Gambar 4. Peta Lokasi Penelitian.	17
Gambar 5. Pengolahan data transformasi gelombang.....	21
Gambar 6. Alur pengambilan data lapang gelombang.	22
Gambar 7. Alur pengolahan data batimetri.....	23
Gambar 8. Skema Pelaksanaan Penelitian.....	24
Gambar 9. Arah dominan pergerakan gelombang dengan Flow Vector (blowing to).....	29
Gambar 10. Peta arah datang gelombang.....	30
Gambar 11. peta kontur kedalaman Teluk Lamong 2D.....	34
Gambar 12. Peta kontur kedalaman Teluk Lamong.....	34
Gambar 13. Rancang bangun pelabuhan Teluk Lamong (Pelindo III, 2011).....	36
Gambar 14. sket bangunan pelabuhan Teluk Lamong.....	37
Gambar 15. Titik lokasi D1 terjadinya difraksi.....	43
Gambar 16. Titik lokasi D2 terjadinya difraksi.....	44
Gambar 17. Tumpukan batu pada struktur bangunan pelabuhan Teluk Lamong.....	48
Gambar 18. Perbandingan hasil perhitungan tinggi gelombang.....	51
Gambar 19. Peta pola penjalaran gelombang.....	51



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Contoh data mentah gelombang 62
Lampiran 2. Dokumentasi lapang..... 64



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pola transformasi gelombang terjadi apabila gelombang bergerak menuju pantai dan akan mengalami perubahan bentuk akibat proses refraksi dan pendangkalan gelombang, difraksi, refleksi dan gelombang pecah. Jika suatu gelombang terhalang oleh rintangan seperti pemecah gelombang, bangunan pantai (pelabuhan) atau pulau akan terjadi difraksi. Gelombang akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya ketika menjalar menuju suatu rintangan (pantai atau bangunan pantai), jenis rintangan akan mempengaruhi besar kecilnya gelombang yang dipantulkan. Tinggi gelombang dan pola (bentuk) sangat dipengaruhi oleh refraksi, difraksi, refleksi gelombang dan gelombang pecah. Tinggi gelombang dan arah datang gelombang sangat penting untuk menentukan arus dan transpor sedimen di daerah pantai (Triatmodjo, 1999).

Gelombang pada dasarnya dibangkitkan oleh adanya pasang surut, pelayaran kapal, aktifitas vulkanik dan angin, pada proses transformasi gelombang tinggi dan periode gelombang dipengaruhi oleh angin yang meliputi kecepatan angin, lama hembusan angin, arah angin dan *fetch*. *Fetch*, merupakan jarak tempuh gelombang dari awal pembangkitannya. Semakin panjang jarak *fetch*, maka ketinggian gelombang akan semakin besar. Panjang *fetch* membatasi waktu yang diperlukan gelombang untuk terbentuk karena pengaruh angin, jadi mempengaruhi waktu untuk mentransfer energi angin ke gelombang. Gelombang dengan periode panjang akan terjadi jika *fetch* besar. gelombang dilautan bisa mempunyai periode 20 detik atau lebih, tetapi pada umumnya berkisar antara 10 dan 15 detik.

Teluk Lamong terletak di Kecamatan Asemrowo, Kota Surabaya, Provinsi Jawa Timur. Teluk Lamong merupakan wilayah strategis yang terletak di tepi pantai utara Provinsi Jawa Timur serta berbatasan langsung dengan Selat Madura sebagai pengembangan transportasi laut, pelabuhan, industri dan penangkapan ikan yang juga mendukung berbagai aktifitas yang berada pada Teluk Lamong. Wilayah Teluk Lamong merupakan daerah yang memiliki aktivitas yang tinggi dengan pembangunan daerah pelabuhan, pada umumnya pantai utara Surabaya memiliki keadaan gelombang dan angin yang lebih kecil dengan kedalaman berkisar 0,2-2 meter dan kedalaman alur pelayaran mencapai 12 meter, sehingga sangat memungkinkan didominasi oleh industri terutama industri bongkar muat dan peti kemas (Badan Perencanaan dan Pembangunan Kota Surabaya, 2012).

Penelitian ini menitik beratkan pada pola penjalaran gelombang dengan memperhitungkan proses refraksi, difraksi dan refleksi gelombang yang terjadi pada Teluk Lamong di sekitar struktur bangunan pelabuhan peti kemas untuk menunjang perkembangan sektor industri Jawa Timur. Adanya pembangunan pelabuhan peti kemas yang berada di Teluk Lamong maka dilakukan reklamasi dengan menambahkan material pasir kedalam badan air Teluk Lamong dikhawatirkan akan mempengaruhi pola penjalaran gelombang yang terjadi pada sekitar struktur bangunan pelabuhan Teluk Lamong.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana analisis pola penjalaran gelombang (difraksi dan refleksi) di area pembangunan pelabuhan Teluk Lamong?

2. Bagaimana pola transformasi gelombang berdasarkan adanya pembangunan pelabuhan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini agar dapat diperoleh hasil sebagai berikut :

1. Mengetahui karakteristik dan pola transformasi gelombang (refraksi, difraksi dan refleksi gelombang) di sekitar pembangunan pelabuhan Teluk Lamong.
2. Mengetahui tinggi gelombang di sekitar pelabuhan Teluk Lamong.

1.4 Kegunaan

Beberapa kegunaan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi Peneliti

Memberi pengetahuan tentang pola transformasi gelombang yang terjadi pada area pembangunan pelabuhan di Teluk Lamong. Sebagai informasi berupa analisis pola transformasi gelombang berdasarkan eksisting bangunan pantai.

2. Bagi Masyarakat

Informasi kepada masyarakat tentang gelombang yang terjadi dilokasi tersebut.

3. Bagi Instansi Terkait

Sebagai informasi bahwa deretan gelombang akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh adanya proses transformasi gelombang, proses tersebut dapat merusak atau mempengaruhi garis pantai dan mempengaruhi infrastruktur wilayah pesisir.

1.5 waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada 28 April 2014 – 24 Mei 2014 yang bertempat di Teluk Lamong Surabaya, Jawa Timur.

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Fokus pengolahan data hanya pada gelombang yang didasarkan pada analisis pola transformasi gelombang.
2. Data gelombang yang digunakan merupakan data pengukuran *in situ* dan data *time series* yang diperoleh dari BMKG Stasiun Meteorologi Maritim Perak II Surabaya. Pembahasan hasil pengolahan transformasi gelombang lebih pada refraksi, difraksi dan refleksi gelombang, sedangkan pada shoaling tidak dibahas terlalu dalam karena pada umumnya shoaling terjadi pada pantai tanpa ada struktur bangunan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang

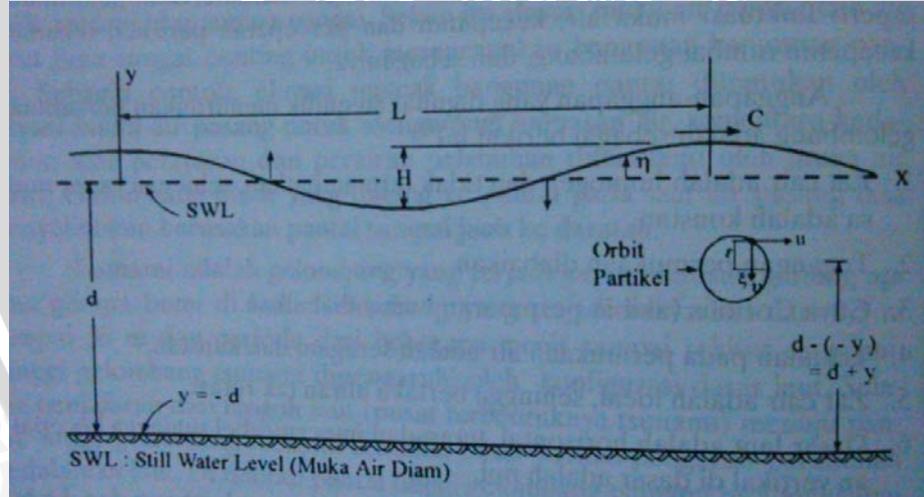
Gelombang dapat dibedakan menjadi beberapa macam tergantung pada pada gaya pembangkitnya yaitu gelombang yang dibangkitkan oleh tiupan angin dipermukaan laut sehingga terjadi transfer energi akibat variasi tekanan angin pada permukaan air yang diikuti oleh pergerakan gelombang serta transfer momentum energi dari gelombang frekuensi tinggi ke gelombang frekuensi rendah dan gelombang pasang surut yang dibangkitkan oleh gaya tarik bumi dan bulan. Gelombang dapat menimbulkan energi untuk membentuk pantai, menimbulkan arus dan transport sedimen serta menimbulkan gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pantai. Oleh karena itu perlu dipahami dengan baik karakteristik dan perilaku gelombang baik dilaut dalam, selama perjalanan menuju pantai atau di daerah pantai dan pengaruhnya terhadap bangunan pantai (Triatmodjo, 1999).

Fenomena fisika kelautan merupakan salah satu diantara fenomena yang terjadi di perairan Indonesia. Fenomena fisika yang terjadi di perairan Indonesia diantaranya adalah gelombang, arus, dan pasang surut (Nontji dalam Ismunarti, 2012). Gelombang akan mengalami perubahan arah akibat variasi kedalaman dasar laut, peristiwa berubahnya arah perjalanan dan tinggi gelombang disebut dengan *refraksi*. Jika gelombang yang merambat terhalangi oleh suatu bangunan laut (pemecah gelombang atau pelabuhan) akan terjadi penyebaran energi gelombang, peristiwa semacam ini yang disebut *difraksi* (Wardana, 2000).

Menurut Hutabarat, 2012. Susunan gelombang di laut baik bentuk maupun macamnya sangat bervariasi dan kompleks oleh karena itu digunakan

istilah-istilah untuk menerangkan susunan gelombang. Istilah dan bagian-bagian dari gelombang adalah seperti berikut :

1. *Crest* : Titik tertinggi (puncak) gelombang.
2. *Trough* : Titik terendah (lembah) gelombang.
3. *Wave (H)* : Jarak vertikal antara *crest* dan *trough*.
4. Panjang gelombang (*L*) : Jarak berturut-turut antara dua *crest* atau dua buah *trough*.
5. Periode gelombang (*T*) : Waktu yang dibutuhkan *crest* untuk kembali pada titik semula secara berturut-turut.
6. Kemiringan gelombang : perbandingan antara panjang gelombang dengan tinggi gelombang.
7. Kedalaman (*d*) : kedalaman laut.
8. Kecepatan gelombang (*C*) : diperoleh dari perbandingan *L* dan *T*.



Gambar 1. Sket definisi gelombang (Triatmodjo, 1999).

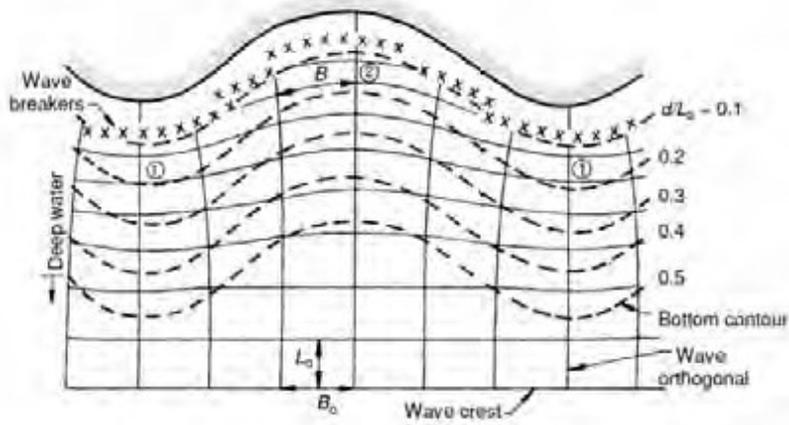
2.2 Deformasi Gelombang

Gelombang yang bergerak menuju pantai dan membentuk suatu deretan akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses refraksi dan pendangkalan gelombang, difraksi, refleksi dan gelombang pecah. Refraksi terjadi karena pengaruh perubahan kedalaman, di laut dalam gelombang menjalar tanpa dipengaruhi oleh dasar laut sedangkan diperairan yang lebih dangkal gelombang akan menjalar dengan kecepatan yang lebih kecil daripada dibagian di air yang lebih dalam. Difraksi terjadi apabila tinggi gelombang disuatu titik lebih pada puncak gelombang lebih tinggi daripada titik didekatnya, difraksi terjadi apabila suatu gelombang terhalang oleh rintangan (Triatmodjo, 1999).

Masih dalam Triatmodjo, 1999. Gelombang yang menjalar menuju suatu rintangan (pantai atau bangunan pantai), sebagian atau seluruh gelombang akan dipantulkan kembali. Bentuk dan jenis rintangan akan berpengaruh pada besar kecilnya gelombang yang dipantulkan. Refraksi dan pengaruh pendangkalan, difraksi, refleksi gelombang dan gelombang pecah akan menentukan tinggi gelombang, pola garis puncak gelombang disuatu tempat di daerah pantai. Tinggi gelombang dan arah datang gelombang penting dalam menentukan transpor sedimen dan arus di daerah pantai.

2.2.1 Refraksi Gelombang

Triatmodjo, 1999 menyatakan bahwa tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang sangat ditentukan oleh adanya refraksi dan pendangkalan gelombang (*wave shoaling*). Perubahan arah gelombang akibat refraksi akan menyebabkan konvergensi atau divergensi energi gelombang dan mempengaruhi energi gelombang yang terjadi disuatu tempat di daerah pantai.



Gambar 2. Refraksi Gelombang (Triatmodjo, 1999).

Prinsip yang terjadi karena adanya pengaruh pendangkalan yang disebabkan oleh refraksi gelombang menjadi :

$$H = K_s K_r H_0$$

$$K_s = \frac{H}{H_0}$$

$$\frac{H}{H_0} = \frac{H}{H_0} \text{ sehingga menjadi } H_0 = K_r H_0$$

Keterangan :

K_s : Koefisien pendangkalan (dapat diperoleh dari tabel fungsi d/L_0 untuk pertambahan nilai d/L_0)

K_r : koefisien refraksi $\left(\sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \right)$

2.2.2 Shoaling (pendangkalan)

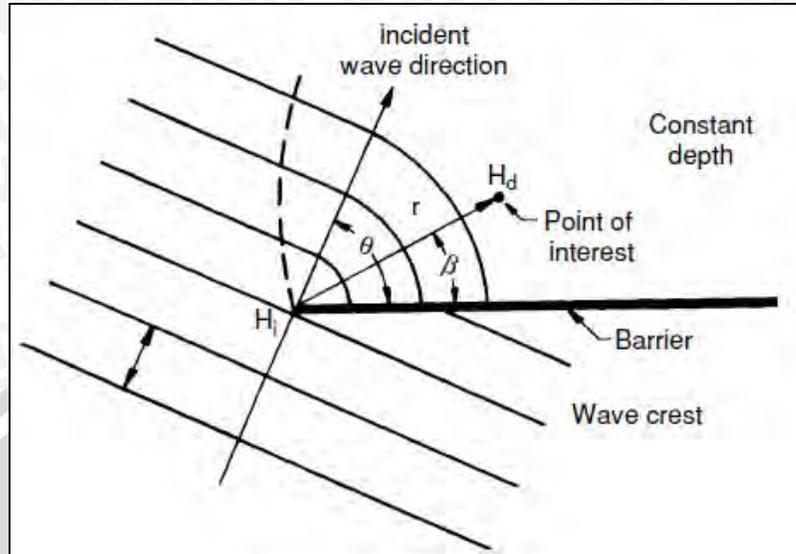
Jika suatu muka barisan gelombang datang membentuk sudut miring terhadap tepi pantai yang mempunyai kemiringan dasar landai dengan kontur-

kontur kedalaman sejajar dengan pantai, maka muka gelombang akan berubah arah dan cenderung menjadi sejajar dengan garis pantai atau mengalami proses pembiasan (*refraksi*). Selanjutnya arah perambatan berangsur-angsur berubah dengan berkurangnya kedalaman (*shoaling*), sehingga dapat diamati bahwa muka gelombang cenderung sejajar dengan kedalaman.

Proses *shoaling* adalah kenaikan tinggi suatu gelombang yang memenuhi kawasan perairan yang lebih dangkal akibat terjadi perubahan kedalaman dasar laut, dimana tinggi gelombang dari laut dalam akan menurun pada laut transisi dan dangkal, dan pada perairan yang sangat dangkal tinggi gelombang membesar sampai terjadi pecah. Hal ini sesuai dengan pendapat Carter (1988), bahwa dari proses pembiasan (*refraksi*), selanjutnya arah perambatan berangsur-angsur berubah dengan berkurangnya kedalaman (*shoaling*), sehingga dapat diamati bahwa muka gelombang cenderung sejajar dengan kedalaman.

2.2.3 Difraksi Gelombang

Menurut Triatmodjo, 1999. Pembelokan gelombang datang yang terhalang rintangan atau pulau di sekitar ujung rintangan dan masuk ke daerah terlindung yang berada di belakangnya dikenal dengan fenomena difraksi. Akan terjadi transfer energi dalam arah tegak lurus penjalaran gelombang menuju daerah terlindung, daerah dibelakang rintangan akan menjadi tenang jika tidak terjadi difraksi gelombang. Saat terjadi proses difraksi maka terbentuk gelombang di daerah terlindung dibelakang rintangan meskipun tidak sebesar gelombang yang berada diluar daerah terlindung. Tinggi gelombang biasanya akan berkurang di sepanjang puncak gelombang menuju daerah terlindung. Difraksi gelombang penting dalam perencanaan pelabuhan dan pemecah gelombang sebagai pelindung pantai. Proses difraksi gelombang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Difraksi Gelombang Saat Mengenai Rintangan (Triatmodjo, 1999).

Pada rintangan (pemecah gelombang) tunggal, tinggi gelombang di suatu tempat ditentukan oleh beberapa faktor. Untuk mengetahuinya maka dibuat perbandingan antara tinggi gelombang di titik yang terletak di daerah terlindung dan tinggi gelombang datang disebut koefisien difraksi K' , dengan persamaan seperti berikut :

$$H_A = K' H_P$$

$$K' = f(\Theta, \beta, r/L)$$

Dimana :

A : titik yang ditinjau dibelakang rintangan

P : ujung pemecah gelombang

r : jarak terhadap rintangan

β : sudut antara rintangan dan garis yang menghubungkan penjalaran gelombang dan rintangan

θ : sudut rintangan

2.2.4 Refleksi Gelombang

Refleksi gelombang terjadi karena gelombang yang membentur struktur bangunan pantai (pelabuhan atau pemecah gelombang) dipantulkan kembali keseluruhan atau sebagian yang bergantung pada tipe bangunan sehingga menimbulkan interferensi antara gelombang yang datang dengan gelombang yang memantul (Ahrens 1987, Van der Meer 1991 dalam Azhar, 2011).

Menurut Triatmodjo (1999), besar kemampuan suatu bangunan memantulkan gelombang diberikan oleh koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi H_r dan tinggi gelombang datang H_i , dengan persamaan sebagai berikut :

$$X = \frac{H_r}{H_i}$$

Koefisien refleksi diberikan diperkirakan berdasar tes model. Adapun koefisien refleksi beberapa tipe bangunan diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Koefisien Refleksi.

Tipe Bangunan	X
Dinding vertikal dengan puncak di atasnya	0,7 - 1,0
Dinding vertikal dengan puncak terendam	0,5 - 0,7
Tumpukan batu sisi miring	0,3 – 0,6
Tumpukan batu blok beton	0,3 – 0,5
Bangunan vertikal dengan peredam energi (diberi lobang)	0,05 – 0,2

(Sumber : Buku Teknik Pantai Triatmodjo,1999).

2.2.5 Gelombang Pecah

Gelombang perairan dalam akan bergerak menuju ke arah pantai, tetapi tidak semua gelombang yang datang dari perairan bebas tersebut dapat mendekati pantai. Hanya gelombang dengan frekuensi tertentu yang dapat mencapai pantai, sedangkan gelombang lainnya memberikan energinya kepada gelombang tertentu tersebut (Sidjabat, 1973).

Gelombang pecah dipengaruhi oleh kemiringannya, yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Di laut dalam kemiringan gelombang maksimum dimana gelombang mulai tidak stabil. Pada kemiringan tersebut kecepatan partikel di puncak gelombang sama dengan kecepatan rambat gelombang. Kemiringan yang lebih tajam dari batas maksimum tersebut menyebabkan kecepatan partikel di puncak gelombang lebih besar dari kecepatan rambat gelombang sehingga terjadi ketidak setabilan dan gelombang pecah (Triatmodjo, 1999).

Batas kecuraman pada perairan dangkal akan menurun sebagai fungsi dari rasio antara kedalaman perairan dengan panjang gelombang dan kemiringan pantai. Gelombang yang bergerak ke arah pantai akan mengalami perubahan ketinggian. Perubahan tinggi ini disertai dengan perubahan bentuk gelombang. Puncak gelombang akan menyempit dan curam sedangkan bentuknya menjadi panjang dan datar. Selanjutnya gelombang tersebut akan mencapai suatu kedalaman yang cukup untuk mulai pecah dengan ketinggian gelombang pecah pada jarak tertentu dari garis pantai. Gelombang yang telah pecah akan menghamburkan energinya ke atas muka pantai (Sverdrup, 1942).

Gelombang akan menjadi tidak stabil (pecah) jika terlampaui curam atau tinggi gelombangnya mencapai batas-batas tertentu. Tinggi maksimum gelombang di perairan dalam (*deep water*) terbatas pada kecuraman gelombang maksimum untuk bentuk gelombang yang relatif stabil. Gelombang yang

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

2.3 Reklamasi

Reklamasi pada umumnya menggunakan sistem urugan, yaitu tanggul/talud dibuat terlebih dahulu untuk melindungi lahan reklamasi dari hempasan ombak. Sistem reklamasi urugan yang dilakukan. Penggunaan material urugan dengan kondisi semacam ini akan memberikan peluang hanyutnya material urugan pada saat terhempas gelombang (Samulano, 2011).

Reklamasi merupakan subsistem dari sistem pantai, sedangkan dalam hukum positif di Indonesia pengaturan mengenai reklamasi dapat dilihat dalam Undang-Undang No. 27 Tahun 2007 tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil pasal 1 butir 23 memberikandefinisi bahwa reklamasi adalah kegiatan yang dilakukan oleh orang dalam rangka meningkatkan manfaat sumber daya lahan ditinjau dari sudut lingkungan dan socialekonomi dengan cara pengurugan, pengeringan lahan, atau drainase. Dalam pasal 34 menjelaskan bahwa hanya dapat dilaksanakan jika manfaat sosial dan ekonomi yang diperoleh lebih besar dari biaya sosial dan biaya ekonominya. Namun demikian, pelaksanaan reklamasi juga wajib menjaga dan memperhatikan beberapa hal seperti (a) keberlanjutan kehidupan dan penghidupan masyarakat, (b) keseimbangan antara kepentingan pemanfaatan dan pelestarian lingkungan pesisir, serta persyaratan teknis pengambilan, pengerukan, dan penimbunan materil (Rellua, 2013).

Masih dalam Rellua (2013) secara umum dampak reklamasi dapat merubah konfigurasi pantai sehingga mampu mengganggu karakteristik fisik perairan laut. Dampak fisik yang terjadi pada aktifitas reklamasi pantai yaitu

seperti adanya perubahan hidro-oceanografi, erosi pantai dapat berupa bentang alam (geomorfologi) dan aliran air (hidrologi) di kawasan reklamasi. Gelombang laut yang mengarah kepantai akan mengalami perubahan dari pola alaminya sehingga akan mengakibatkan abrasi, tingkat kelandaian, pola pasang surut, pola arus serta potensi gangguan terhadap lingkungan.

2.3 Kedalaman Laut

Dasar laut Indonesia terbagi menjadi tiga struktur besar yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan Indo-Australia. Lempeng Eurasia mencakup pulau Sumatera, Jawa dan Kalimantan yang memiliki struktur laut dangkal karena adanya paparan sunda yang stabil dan memiliki endapan dari lumpur dan lumpur berpasir. Lempeng Pasifik dan Indo-Australia berperan dalam pembentukan Indonesia bagiantimur, struktur dasar lautnya lebih kompleks dengan adanya deretan pulau - pulau yang berbentuk busur lengkung, dipisahkan oleh laut dalam yang mempunyai palung maupun gunung bawah laut dan memiliki endapan lumpur asal darat maupun lumpur vulkanik (Nontji dalam Mazedo, 2013).

Batimetri (*bathimetry*) dapat diartikan sebagai pengukuran dan pemetaan topografi dasar laut. Informasi kedalaman laut (batimetri) di suatu perairan merupakan hal yang sangat penting dalam kegiatan analisis hidro-oceanografi. Salah satu penerapan ilmu oseanografi maupun hidrografi adalah survei batimetri (Umam, 2011). Survei batimetri adalah proses penggambaran dasar perairan, dimulai dari pengukuran, pengolahan, hingga visualisasi dasar perairan (Poerbandono dan Djunarsjah, 2005).

Pada proses transformasi gelombang, batimetri memiliki peran penting karena pada dasarnya gelombang yang menjalar dari laut dalam (*deep water*) menuju keperairan dangkal akan mengalami refraksi gelombang yang

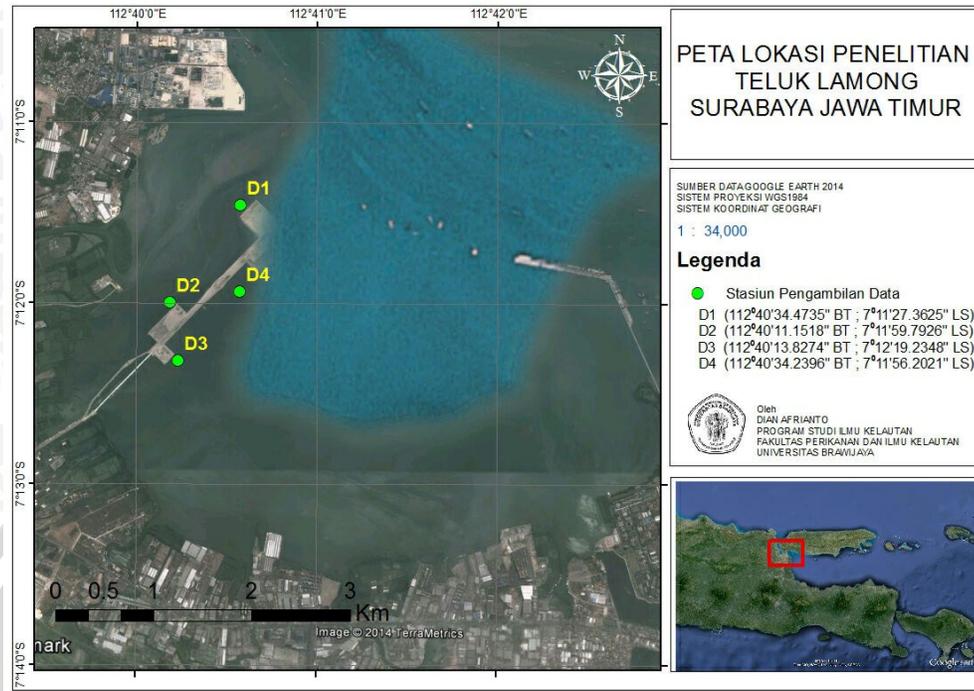
disebabkan oleh perubahan kontur dasar laut sehingga terjadi perubahan pada gelombang berupa perubahan tinggi dan arah penjalarannya yang kemudian akan menimbulkan proses transformasi gelombang bergantung pada bentuk pantai dan adanya infrastruktur bangunan pantai pada lokasi tersebut.



3. METODE PENELITIAN

3.1 Keadaan Umum Teluk Lamong

Penelitian ini berlokasi di Teluk Lamong, Surabaya, Jawa Timur yang berada di utara Surabaya dengan luasan 2.500 Ha, merupakan muara dari beberapa sungai yaitu sungai Lamong, Kalianak, Greges, manukan dan Sememi. Kedalaman perairan berkisar 0,2-2 m, kedalaman alur pelayaran mencapai 12 m dan pemanfaatan saat ini sebagai tujuan penangkapan ikan, kawasan konservasi Pulau Galang, perumahan pesisir serta pengembangan pelabuhan dan alur pelayaran kapal besar. Kawasan Teluk Lamong telah ditetapkan sebagai kawasan strategis untuk kepentingan pertumbuhan ekonomi (*waterfront city* dan pelabuhan Teluk Lamong) (Dinas tata kota dan pemukiman, 2012). Data gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah data gelombang yang berada pada area Teluk Lamong termasuk dalam kawasan Pelabuhan Teluk Lamong. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta Lokasi Penelitian.

3.2 penentuan Titik Lokasi

Penentuan titik lokasi pengukuran gelombang berada pada empat titik yang dapat dilihat pada Gambar 4. Deskripsi titik pengukuran gelombang dapat dilihat pada Tabel 3. pengukuran gelombang dilakukan dengan sengaja pada titik-titik yang telah ditentukan di lokasi (*purposive sampling*). Hal ini dikarenakan diduga terjadi pengaruh berbeda terhadap transformasi gelombang yang terjadi pada sekitar area struktur bangunan pelabuhan Teluk Lamong. Deskripsi dan Koordinat titik lokasi tertera pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Deskripsi titik Pengambilan Sampel.

Titik pengukuran gelombang	Deskripsi
D1	Titik D1 berada pada ujung bagian barat struktur bangunan pelabuhan
D2	Titik D2 berada di tengah bagian barat struktur bangunan pelabuhan
D3	Titik D3 berada disebelah timur struktur bangunan pelabuhan bagian belakang
D4	Titik 4 berada disebelah timur struktur bangunan pelabuhan bagian depan

Tabel 4. Titik Koordinat Lokasi Penelitian.

Titik Lokasi	X	Y
D1	112,676243 BT	7,190934 LS
D2	112,669764 BT	7,199942 LS
D3	112,670508 BT	7,205343 LS
D4	112,676178 BT	7,198945 LS

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan untuk mendukung dalam penelitian ini tertera pada

Tabel 5.

Tabel 5. Alat dan Bahan Penelitian.

No	Nama Alat	Fungsi
1	GPS CS 60	Menentukan lokasi penelitian
2	Kamera digital	Alat dokumentasi
3	Notebook ASUS A44H	Alat pengolahan data
4	Microsoft Excel	pegolahan data matematis gelombang
5	Perangkat lunak ArcGIS 9.3	Pembuatan peta lokasi penelitian
6	Tide Staf	Mengukur tinggi dan lembah gelombang
7	Perangkat lunak Global Mapper 14	Pembuatan peta batimetri

No	Nama Alat	Fungsi
8	Perangkat lunak WRPLOT View	Untuk mencari arah dominan pergerakan gelombang
9	Stopwatch	Untuk mengukur tinggi gelombang

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data gelombang, data batimetri dan dimensi pembangunan pelabuhan. Data gelombang yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan dua data gelombang, data pertama diperoleh dengan melakukan pengukuran lapang menggunakan *Tide Staf* untuk mengetahui tinggi, lembah, periode, kedalaman dan arah datang gelombang setelah mengalami proses difraksi dan refleksi akibat adanya bangunan pelabuhan di Teluk Lamong. Data gelombang kedua merupakan data sekunder gelombang yang didapatkan dari pengukuran oleh instansi terkait yaitu Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Stasiun Meteorologi Maritim Perak II Surabaya, Jawa Timur berupa data *time series* gelombang. Data gelombang yang telah diperoleh akan digunakan dalam perhitungan matematis dan analisis refraksi, difraksi dan refleksi gelombang yang terjadi akibat adanya pembangunan pelabuhan Teluk Lamong.

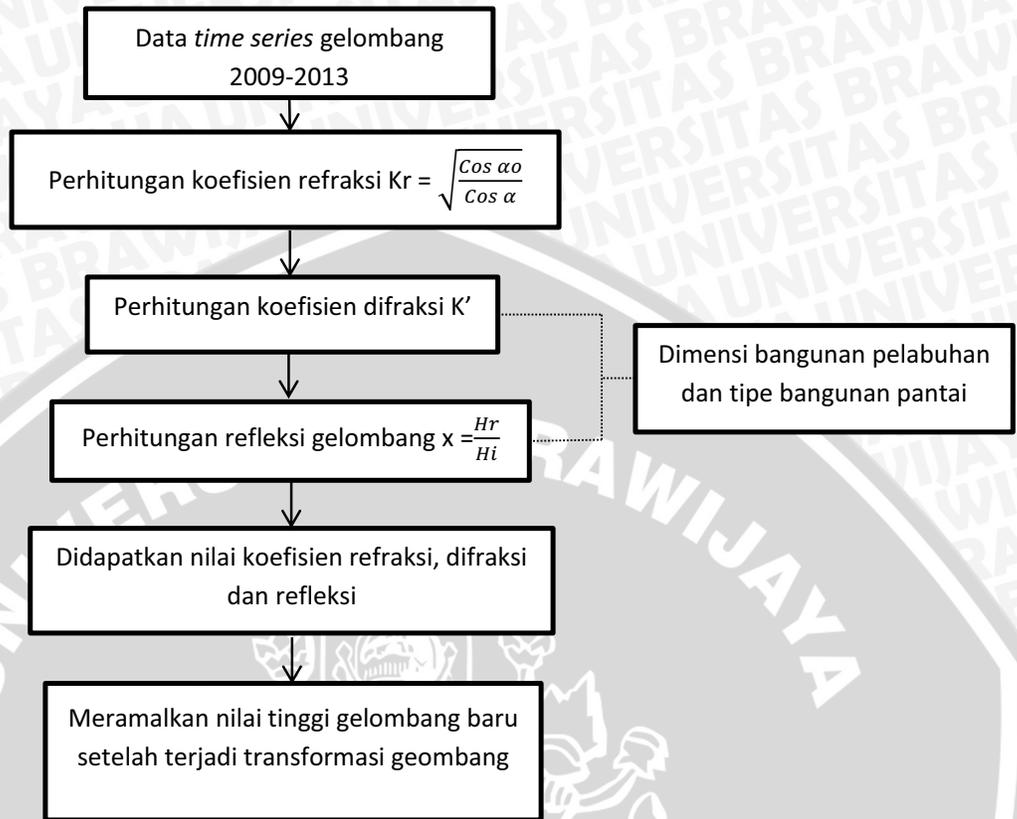
Data batimetri dalam penelitian ini diperoleh dari data satelit yang akan digunakan untuk mendukung perhitungan transformasi gelombang yang terjadi pada lokasi penelitian. Dimensi bangunan pelabuhan akan digunakan untuk mengetahui seberapa besar dampak yang ditimbulkan oleh adanya reklamasi dengan menambah suplai sedimen ke pantai dengan kontruksi yang dibangun kira-kira tegak lurus pantai dan sambung kepantai terhadap pola transformasi gelombang di Teluk Lamong.

3.3 Metode Penelitian dan Pengolahan Data

Beberapa metode penelitian yang banyak dikenal di dunia ilmu pengetahuan bertujuan untuk melaksanakan penelitian guna memahami ilmu pengetahuan yang terkandung dalam fenomena alam dan social yang diamati dapat dibedakan dalam beberapa metode. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif analitik, metode ini digunakan untuk mendeskripsikan, menginterpretasikan sesuatu fenomena, misalnya kondisi atau hubungan yang ada, pendapat yang berkembang, dengan menggunakan prosedur ilmiah untuk menjawab masalah secara aktual (Sulipan, 2011). Dalam metode ini juga diselidiki kedudukan fenomena atau faktor dan melihat hubungan antara suatu faktor dengan faktor yang lain.

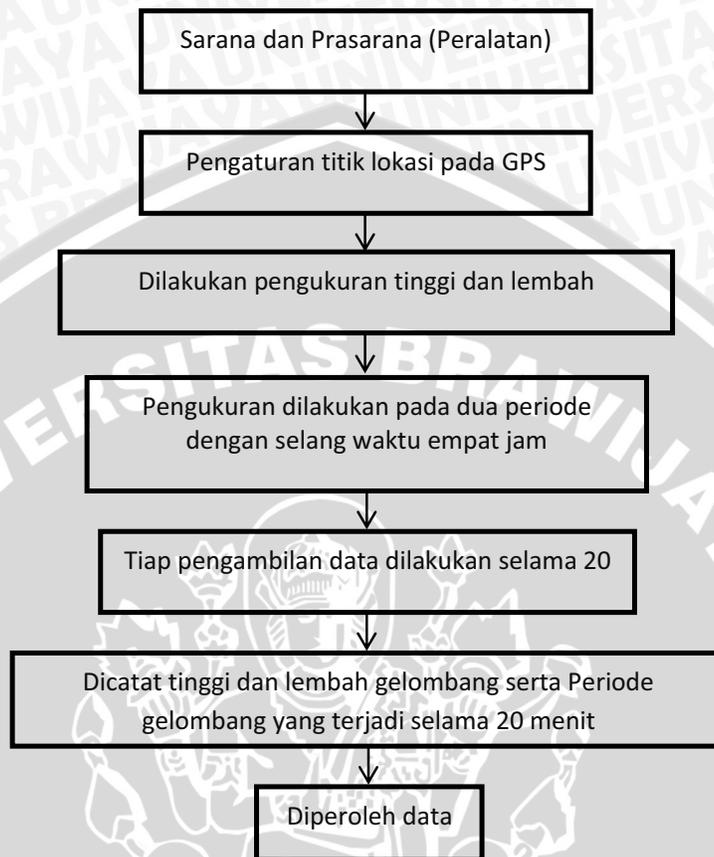
3.3.1 Pengolahan Data Transformasi Gelombang

Data gelombang yang telah diperoleh dari instansi terkait berupa data *time series* selama 5 tahun dilakukan pengolahan untuk mendapatkan hasil refraksi, difraksi dan refleksi gelombang yang terjadi akibat adanya pembangunan pelabuhan Teluk Lamong. pengolahan data ini dilakukan dengan perhitungan matematis yang dirujuk dari buku Teknik Pantai. Adapun alur pengolahan data transformasi gelombang tersaji pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengolahan data transformasi gelombang.

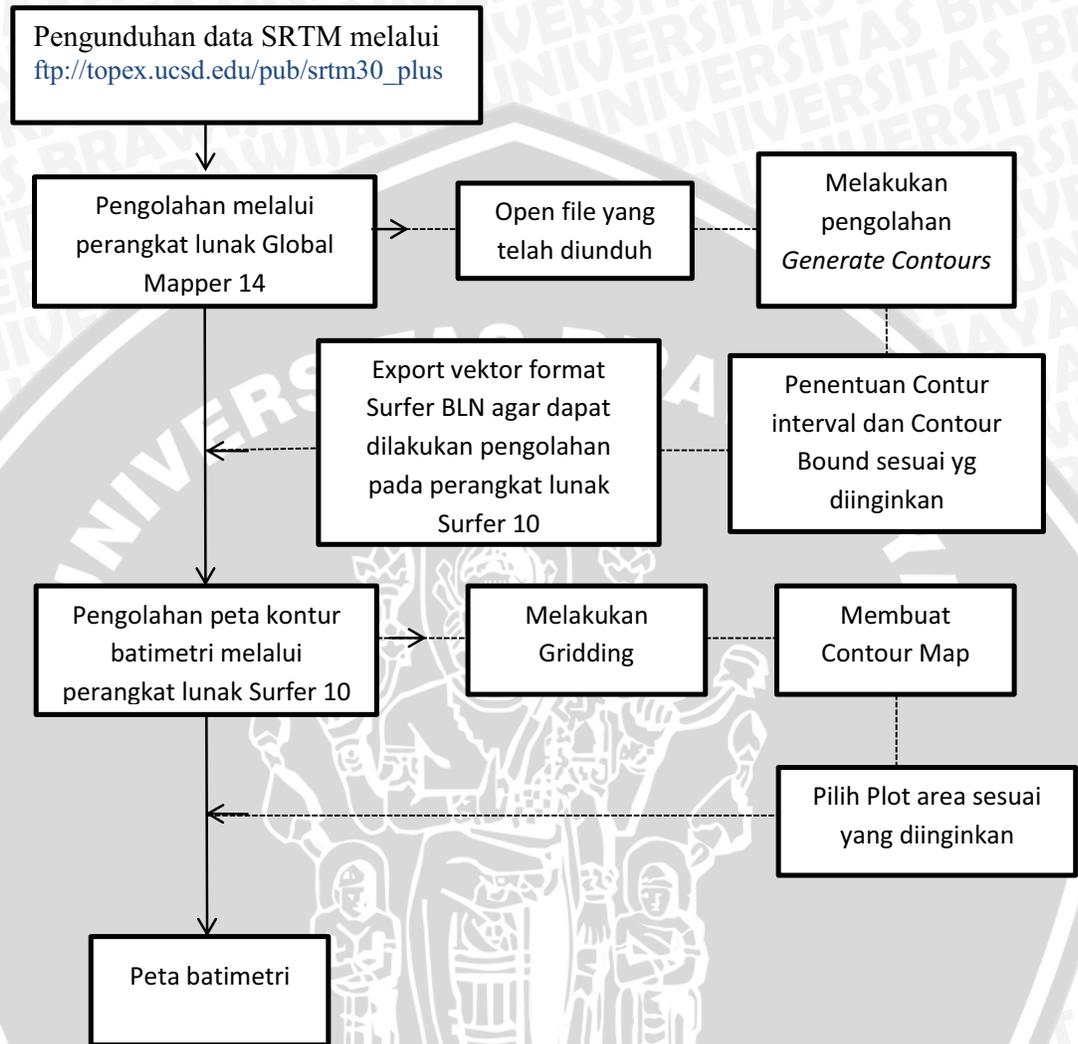
Pada data gelombang yang diperoleh dari pengukuran gelombang yang dilakukan di lokasi penelitian terdapat empat titik lokasi pengukuran yang berada pada area pembangunan pelabuhan Teluk Lamong digunakan untuk membandingkan nilai tinggi gelombang hasil peralaman dengan gelombang hasil pengukuran lapang. Adapun alur pengambilan data gelombang tertera pada Gambar 6.



Gambar 6. Alur pengambilan data lapang gelombang.

3.3.2 Pengolahan Data Batimetri

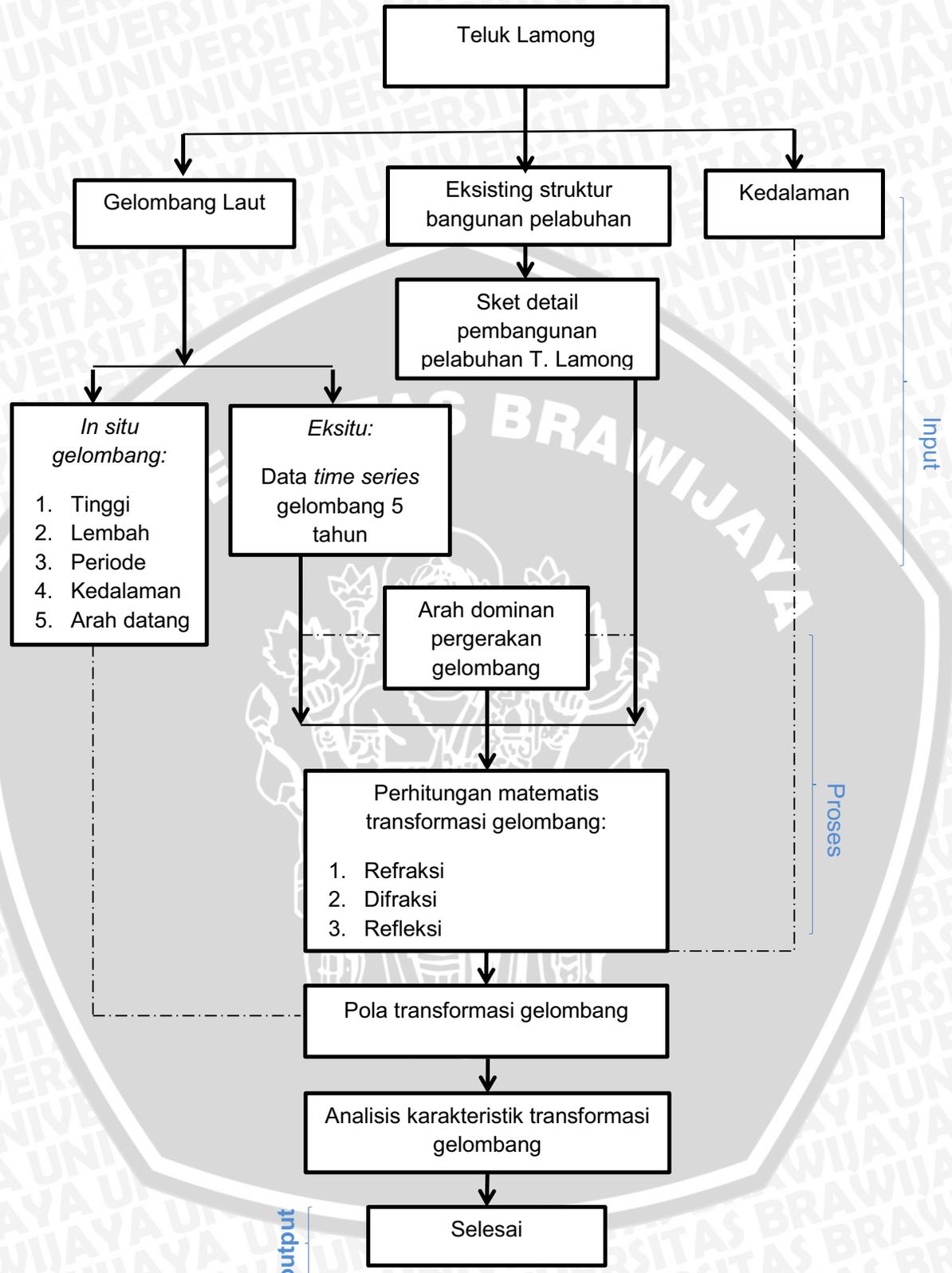
Data batimetri pada penelitian ini diperoleh menggunakan data SRTM 30PLUS, pengunduhan data SRTM ini mencakup sepanjang area Teluk Lamong melalui ftp://topex.ucsd.edu/pub/srtm30_plus yang kemudian dilakukan pengolahan menggunakan perangkat lunak Global Mapper 14 untuk mendapatkan kontur batimetri sesuai area yang diinginkan. Setelah diperoleh kontur batimetri dari pengolahan melalui Global Mapper kemudian dilakukan plot pada perangkat lunak Surfer 10 untuk melakukan Gridding dan pembuatan kontur peta batimetri. Adapun alur pengolahan data batimeri tersaji pada Gambar 7.



Gambar 7. Alur pengolahan data batimetri.

3.4 Diagram Alir pengolahan Data

Analisis data dilakukan dengan melakukan perhitungan matematis refraksi, difraksi, refleksi dimana didasarkan pada pergerakan gelombang yang mengarah pada Teluk Lamong dengan eksisting bangunan pantai (pelabuhan) yang berada kawasan perairan Teluk Lamong. Langkah pengolahan data transformasi gelombang berdasarkan eksisting bangunan pantai dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Skema Pelaksanaan Penelitian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinggi Gelombang Datang

Menurut Bambang Triatmodjo (1999), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam tergantung kepada gaya pembangkitan seperti angin (gelombang angin), gaya tarik menarik bumi-bulan-matahari (gelombang pasang-surut), gempa (vulkanik atau tektonik) di dasar laut (gelombang tsunami), ataupun gelombang yang disebabkan oleh gerakan kapal. Gelombang yang sehari-hari terjadi dan diperhitungkan dalam bidang teknik pantai adalah gelombang angin dan pasang-surut (pasut). Hal ini karena gelombang tersebut dapat membentuk dan merusak pantai serta berpengaruh pada bangunan-bangunan pantai.

Pengolahan data tinggi gelombang yang terjadi pada perairan Teluk Lamong merupakan langkah awal dalam melakukan perhitungan matematis pengolahan gelombang, yang kemudian akan dilanjutkan untuk melakukan perhitungan transformasi gelombang berupa refraksi dan difraksi gelombang yang terjadi pada perairan Teluk Lamong. Perhitungan tinggi gelombang datang dilakukan dengan menggunakan data *time series* gelombang selama kurun waktu lima tahun dimulai dari tahun 2009-2013. Adapun contoh data *time series* yang digunakan dalam pengukuran tinggi gelombang datang tersaji pada Tabel 6.

Tabel 6. Data time series tinggi gelombang.

No	Waktu	Jam (WIB)	Tinggi Gelombang (H 1/100)
1	01/01/2009	1	0,43
2	01/01/2009	2	0,43
3	01/01/2009	3	0,42
4	01/01/2009	4	0,42
5	01/01/2009	5	0,41

No	Waktu	Jam (WIB)	Tinggi Gelombang (H 1/100)
6	01/01/2009	6	0,41
7	01/01/2009	7	0,4
8	01/01/2009	8	0,39
9	01/01/2009	9	0,38
10	01/01/2009	10	0,37
11	01/01/2009	11	0,36
12	01/01/2009	12	0,35
13	01/01/2009	13	0,33
14	01/01/2009	14	0,32
15	01/01/2009	15	0,31
16	01/01/2009	16	0,3
17	01/01/2009	17	0,29
18	01/01/2009	18	0,28

(Sumber : BMKG, 2014).

Dari data *time series* yang telah diperoleh kemudian dilakukan perhitungan tinggi gelombang datang (H_0), pada nilai tinggi gelombang (H) menggunakan nilai tinggi gelombang H 1/100 yang merupakan rerata tinggi gelombang yang terjadi pada tiap satu jam pengukuran. Selanjutnya dilakukan filter data tinggi gelombang H 1/100 dengan cara mensortir dan filter data dari yang memiliki nilai terbesar ke nilai terkecil, hal ini dilakukan untuk mempermudah dalam melakukan perhitungan tinggi signifikan gelombang (H_s). Setelah data tinggi gelombang tersortir selanjutnya dilakukan pengambilan data yang akan digunakan dalam perhitungan tinggi signifikan gelombang (H_s), dimana tinggi signifikan gelombang (H_s) merupakan rata-rata dari 1/3 keseluruhan gelombang yang terjadi selama lima tahun. adapun data hasil perhitungan matematis tinggi gelombang datang tersaji pada Tabel 7.

$$H \frac{1}{3} = \frac{1}{3} \times \text{Jumlah data } (H \frac{1}{100})$$

$$H_s = \text{Rata-rata } H \frac{1}{100} \text{ yang diperoleh dari } H \frac{1}{3}$$

Keterangan :

H_s : Tinggi signifikan gelombang sebagai tinggi gelombang datang.

$H_{\frac{1}{100}}$: Nilai tinggi gelombang yang terjadi pada pengukuran data BMKG

$H_{\frac{1}{3}} : \frac{1}{3}$ data dari keseluruhan data tinggi gelombang yang diperoleh

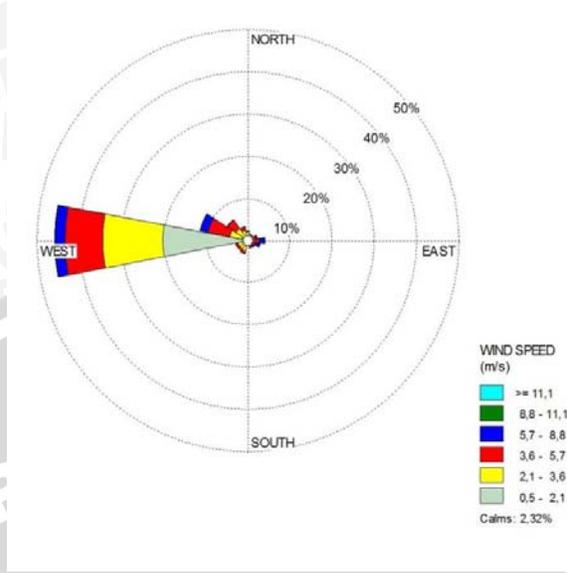
Tabel 7. Data hasil pengolahan matematis tinggi gelombang.

No	Waktu	Jam (WIB)	Filter data Tinggi Gelombang	Tinggi Gelombang datang 1/3 ($H_{1/3}$) (m)	Tinggi Gelombang (H_s) (cm)
1	10/01/2013	6	1,85	1,85	35,36
2	10/01/2013	7	1,85	1,85	
3	10/01/2013	5	1,84	1,84	
4	10/01/2013	4	1,83	1,83	
5	10/01/2013	3	1,82	1,82	
6	10/01/2013	8	1,82	1,82	
7	10/01/2013	1	1,81	1,81	
8	10/01/2013	2	1,81	1,81	
9	15/03/2012	19	1,79	1,79	
10	10/01/2013	9	1,79	1,79	
11	15/03/2012	18	1,75	1,75	
12	10/01/2013	0	1,75	1,75	
13	10/01/2013	10	1,75	1,75	
14	15/03/2012	20	1,74	1,74	
15	10/01/2013	11	1,72	1,72	
16	15/03/2012	17	1,71	1,71	
17	15/03/2012	21	1,7	1,7	
18	09/01/2013	23	1,7	1,7	

Dari pengolahan data tersebut diketahui total data *time series* tinggi gelombang sebanyak 43746, kemudian dilakukan sortir dan filter yang pada akhirnya diambil 1/3 data dari keseluruhan data gelombang dari tinggi gelombang terbesar ke terkecil dan dihitung rata-rata sebagai tinggi gelombang signifikan (H_{sig}) dengan nilai sebesar 0,35361 m (35,36 cm). Nilai H_s digunakan sebagai nilai tinggi gelombang datang dari laut dalam yang menjalar menuju perairan yang lebih dangkal, nilai H_s akan sangat berpengaruh pada hasil tinggi gelombang peralaman setelah terjadi proses transformasi gelombang berupa refraksi, difraksi dan refleksi gelombang. H_s akan digunakan dalam penentuan peralaman tinggi gelombang yang terjadi karena adanya proses transformasi gelombang dengan cara mengalikan nilai koefisien transformasi gelombang yang terjadi.

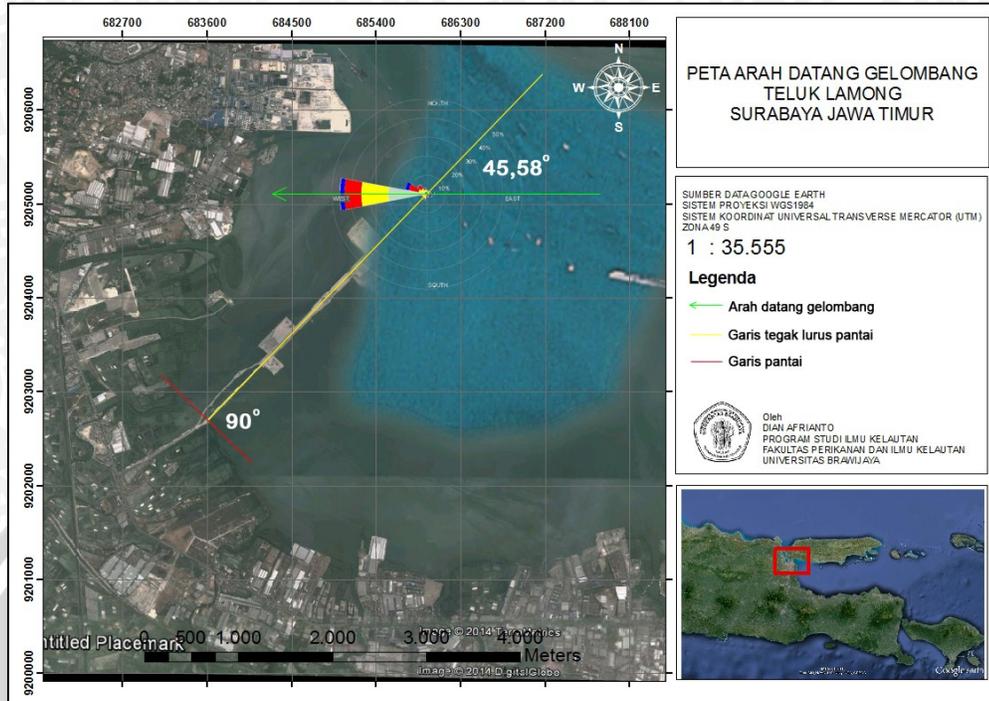
4.2 Arah Pergerakan Gelombang

Penentuan pergerakan arah dominan gelombang yang terjadi pada Teluk Lamong diperoleh dengan melakukan input data arah gelombang (*wave direction*) yang terdapat pada data *time series* gelombang selama lima tahun. data arah gelombang (*wave direction*) kemudian diolah menggunakan perangkat lunak WRPLOT untuk mendapatkan visualisasi data berupa mawar angin (*wind rose*) sehingga dapat diketahui kemana arah dominan pergerakan gelombang yang terjadi pada perairan Teluk Lamong. Adapun hasil pengolahan data arah dominan gelombang tersaji pada Gambar 9.



Gambar 9. Arah dominan pergerakan gelombang dengan Flow Vector (blowing to).

Dari hasil pengolahan data gelombang melalui perangkat lunak WRPLOT dapat diperoleh arah dominan pergerakan gelombang yang menunjukkan bahwa gelombang di Teluk Lamong secara keseluruhan mengarah dari timur ke barat yaitu menuju ujung bangunan pelabuhan Teluk Lamong. maka dari arah dominan pergerakan gelombang tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam melakukan perhitungan transformasi gelombang berupa refraksi, difraksi dan refleksi gelombang. Adapun arah dominan pergerakan gelombang menuju struktur bangunan pelabuhan dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Peta arah datang gelombang.

4.3 Data Pengukuran Lapangan Gelombang

Pengukuran gelombang secara *in situ* dilakukan pada empat stasiun pengukuran yang telah ditentukan guna mengetahui tinggi gelombang setelah membentur struktur bangunan pelabuhan ($H'0$). Langkah dalam melakukan perhitungan matematis untuk mendapatkan nilai tinggi gelombang setelah membentur struktur bangunan pelabuhan ($H'0$) pada dasarnya sama dengan melakukan perhitungan matematis untuk mendapatkan nilai tinggi gelombang datang ($H0$), yang membedakan hanyalah data gelombang yang digunakan. Pada pengukuran tinggi gelombang setelah membentur struktur bangunan pelabuhan ($H'0$) data gelombang yang digunakan adalah data gelombang hasil pengukuran lapang yang berisi tinggi, lembah dan periode gelombang. Adapun contoh data pengukuran lapang gelombang disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Data pengukuran lapang gelombang.

D1		
Tinggi	Lembah	Periode
136	120	9
137	131	7
137	129	8
138	128	6
137	127	9
143	134	9
141	133	7
140	130	8
141	138	9
139	132	6
142	137	4
140	139	8
139	134	9
142	132	8

Setelah dilakukan perhitungan matematis untuk menentukan nilai $H'0$ diperoleh hasil pada stasiun D1 pengukuran pertama sebesar 9,88 cm dan pengukuran kedua sebesar 6,14 cm, pada stasiun D2 pengukuran pertama sebesar 7,27 cm dan pengukuran kedua sebesar 5,48 cm, stasiun D3 pengukuran pertama 10,30 Cm dan pengukuran kedua sebesar 9,73 cm, pada stasiun D4 pengukuran pertama sebesar 12,83 cm dan pengukuran kedua sebesar 12,54 cm. adapun data hasil perhitungan matematis tinggi gelombang setelah membentur struktur bangunan pelabuhan ($H'0$) tersaji pada Tabel 9.

Tabel 9. Perhitungan Peramalan tinggi gelombang ($H'0$).

D1					
Tinggi	Lembah	Periode	Tinggi gelombang	H 1/3	H signifikan (cm)
136	120	9	16	16	9,88
144	129	3	15	15	
141	129	9	12	12	
142	130	8	12	12	
141	129	8	12	12	
140	128	5	12	12	
138	128	6	10	10	
137	127	9	10	10	
140	130	8	10	10	
142	132	8	10	10	
141	131	6	10	10	
143	134	9	9	9	
145	136	7	9	9	
143	134	7	9	9	

Setelah diperoleh nilai hasil tinggi gelombang pengukuran lapang yang dilakukan dalam dua kali periode pengukuran, kemudian dihitung rata-rata tinggi gelombang tersebut yang selanjutnya akan digunakan sebagai pembanding pada tinggi gelombang yang telah didapat pada perhitungan transformasi gelombang. Adapun nilai rata-rata dari tinggi gelombang pengukuran lapang tersaji pada Tabel 10.

Tabel 10. Rata – rata tinggi gelombang pengukuran lapang.

Stasiun	Tinggi gelombang Pengukuran Lapang		Rata2 (cm)
	Pengukuran 1 (cm)	Pengukuran 2 (cm)	
D1	9,88	6,14	8,01
D2	7,27	5,48	6,38
D3	10,30	9,73	10,015
D4	12,83	12,54	12,69

Data pengukuran lapang juga meliputi data kedalaman dan arah datang gelombang pada empat stasiun pengukuran. Adapun contoh data pengukuran lapang gelombang disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Data kedalaman dan arah gelombang.

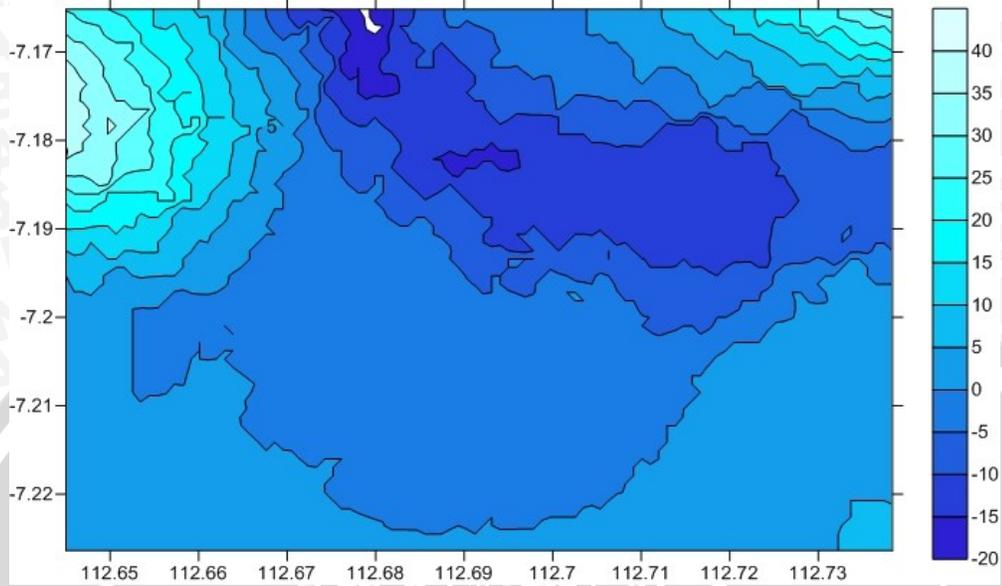
Stasiun	Kedalaman	Arah Datang Gelombang
D1	114,7 cm	Barat Laut
D2	80,6 cm	Barat
D3	79,64 cm	Tenggara
D4	114,1 cm	Timur

4.4 Analisis Kedalaman

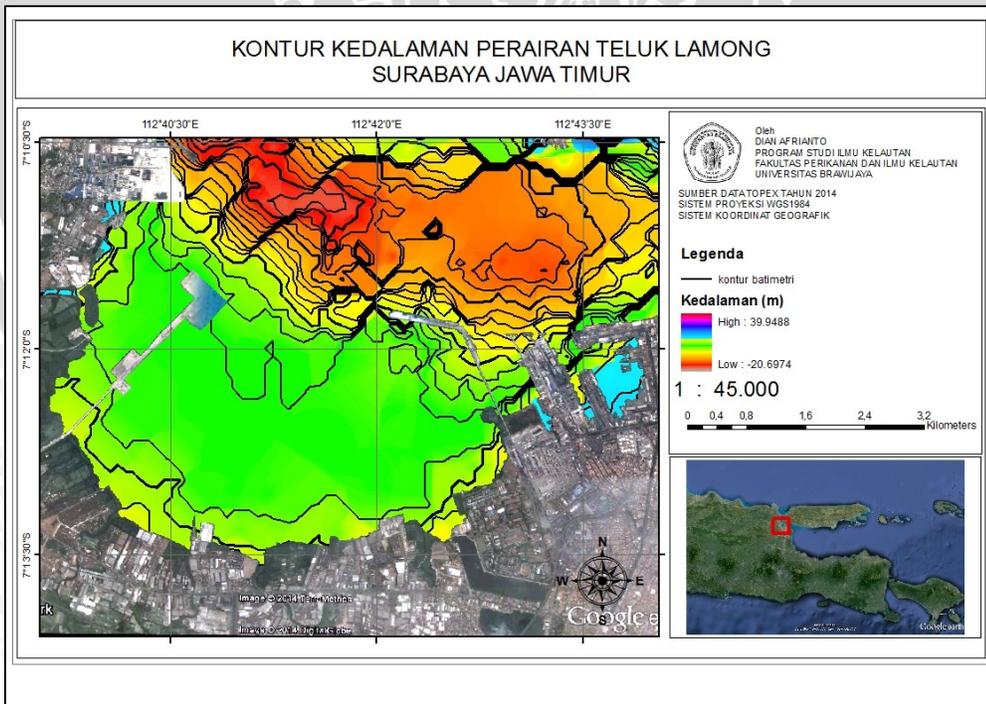
Data mengenai kedalaman dasar laut merupakan data pendukung yang digunakan dalam penelitian ini sehingga perlu diketahui kondisi dasar laut perairan Teluk Lamong. Untuk mengetahui kondisi batimetri perairan Teluk Lamong dapat dilakukan dengan menggunakan citra satelit Topex dengan format file berupa SRTM. Data tersebut dilakukan pengolahan menggunakan perangkat lunak Global Mapper 14 dengan melakukan open own data file yang telah diunduh, kemudian dilakukan generate counturs dengan merubah interval counturs sesuai yang diinginkan, pada penentuan interval counturs dipilih interval 0,1 m dengan tujuan agar diperoleh kontur batimetri yang semakin detail. Untuk pembuatan peta batimetri dilakukan plot data yang telah diolah pada perangkat lunak Global Mapper 14 ke perangkat lunak Surfer 10 untuk mendapatkan peta kontur batimetri berupa peta 2D dan 3D.

Kedalaman perairan yang semakin menurun menyebabkan ketinggian gelombang meningkat secara cepat yang menyebabkan profil gelombang tidak simetris dan akhirnya pecah (Horikawa, 1988). Dari pengolahan data tersebut diperoleh nilai rata-rata kedalaman perairan Teluk Lamong sebesar 7,959 m

dengan nilai maksimum kedalaman sebesar 20,6 m dan nilai terendah sebesar 0,1 m. Adapun peta kontur batimetri tersaji pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11. peta kontur kedalaman Teluk Lamong 2D



Gambar 12. Peta kontur kedalaman Teluk Lamong

Ketika mencapai pantai, gelombang akan mengalami perubahan yang diakibatkan oleh proses pendangkalan (*shoaling*), refraksi, difraksi dan pada akhirnya gelombang pecah. Perubahan yang dimaksudkan terjadi secara bertahap diawali dengan penurunan ketinggian gelombang saat memasuki perairan dangkal, kemudian meningkat secara bertahap dan bagian muka gelombang tetap simetris (Komar dalam kalay, 2009).

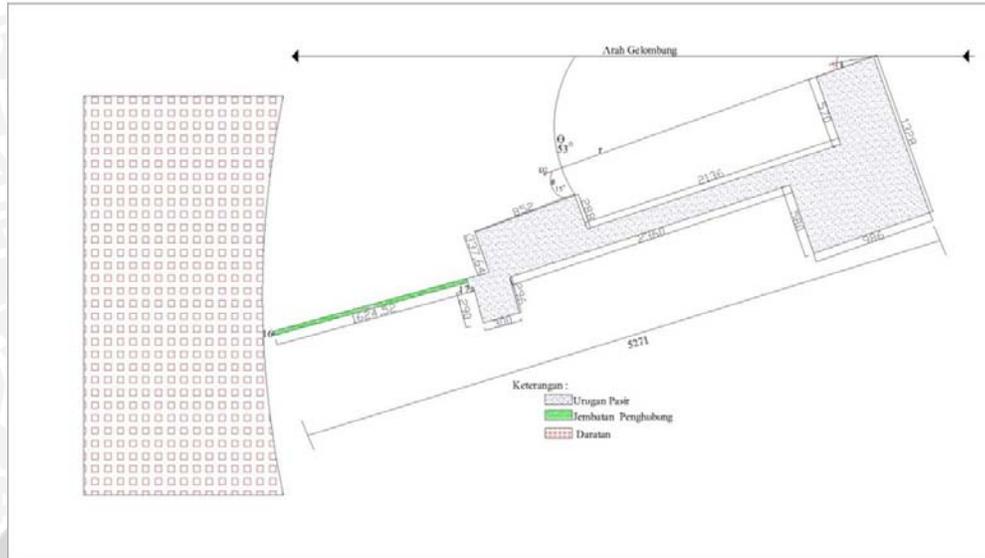
4.5 Struktur pembangunan Pelabuhan

Pelabuhan Teluk Lamong merupakan bagian dari Pelabuhan Tanjung Perak yang disiapkan untuk dapat melayani kapal ukuran besar dengan draft -14 m LWS karena kapasitas fasilitas Pelabuhan Tanjung Perak yang ada saat ini terbatas, baik dari aspek kemampuan konstruksi maupun ketersediaan lahan. Pembangunan Pelabuhan Teluk Lamong dilaksanakan secara bertahap dan direncanakan beroperasi pada tahun 2014. Di tahun 2011 pembangunan fisik dermaga dan jembatan penghubung mulai dilaksanakan. Adapun simulasi rancang bangun pelabuhan Teluk Lamong disajikan pada Gambar 13.



Gambar 13. Rancang bangun pelabuhan Teluk Lamong (Pelindo III, 2011)

Pembangunan pelabuhan Teluk Lamong terdiri dari dua bagian yaitu jembatan dan struktur utama bangunan pelabuhan. Bangunan jembatan terdapat pada bagian bibir pantai hingga struktur utama bangunan pelabuhan dengan panjang bangunan jembatan 1624,52 m dan lebar 16 m. Bangunan utama struktur pelabuhan Teluk Lamong dimulai dari ujung bangunan jembatan hingga bangun paling ujung dari struktur pelabuhan, panjang struktur utama bangunan pelabuhan Teluk Lamong adalah 1022,48 m dan lebar bangunan 1328 m. Panjang total bangunan pelabuhan Teluk Lamong yang terdiri dari jembatan dan struktur utama bangunan pelabuhan memiliki panjang sebesar 5271 m. Adapun sket bangunan pelabuhan Teluk Lamong Tersaji pada Gambar 14.



Gambar 14. sket bangunan pelabuhan Teluk Lamong.

4.6 Analisis Transformasi Gelombang

Pada dasarnya gelombang akan mengalami perubahan arah akibat adanya variasi kedalaman kontur dasar perairan dikarenakan cepat rambat gelombang bergantung pada kedalaman kontur dasar perairan. Peristiwa perubahan arah penjalaran gelombang ini dapat disebut dengan refraksi gelombang.

Jika suatu gelombang yang sedang menjalar terhalangi oleh suatu bangunan pantai maka akan terjadi penyebaran energi gelombang kearah samping, belakang dan daerah yang terlindung oleh bangunan pantai tersebut, peristiwa seperti ini disebut dengan difraksi gelombang (Wardhana, 2000).

Jika suatu gelombang mengenai benda yang menghalangi laju gelombang tersebut, maka bisa dipastikan gelombang tersebut mengalami apa yang disebut refleksi. Demikian halnya yang terjadi pada gelombang yang mengenai suatu struktur pelindung pantai (Kurniawidhi, 2001). Pada analisis transformasi gelombang ini akan membahas perubahan suatu deretan

gelombang yang menjalar menuju pantai yang akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses refraksi, difraksi dan refleksi gelombang.

Transformasi gelombang yang terjadi di sekitar struktur bangunan pelabuhan berupa refraksi, difraksi dan refleksi gelombang. Refraksi gelombang terjadi pada sebelah kanan bangunan yang menjalar di belakang bangunan sebelah kanan pada titik D3. Difraksi terjadi pada sebelah kiri area struktur bangunan pelabuhan di bagian ujung sampai belakang struktur bangunan pelabuhan pada titik D1 dan D2. Refleksi terjadi di ujung bangunan sebelah kanan hingga bagian belakang sebelah kanan yang juga terjadi proses refraksi pada titik lokasi D3 dan D4. Pada titik lokasi D3 terjadi dua proses transformasi gelombang berupa refraksi dan refleksi gelombang.

4.6.1 Analisis Refraksi Gelombang

Refraksi gelombang terjadi akibat adanya cepat rambat gelombang yang bergantung pada perubahan kontur dasar perairan dimana gelombang menjalar. Adanya variasi cepat rambat gelombang akan menyebabkan terbentuknya suatu sudut terhadap garis kedalaman laut, karena gelombang yang terjadi pada laut dalam mampu bergerak lebih cepat dari pada gelombang yang berada di laut yang lebih dangkal. Variasi tersebut membuat gelombang mengalami pembelokan dan berusaha untuk sejajar dengan garis kontur dasar laut.

Perubahan arah penjalaran gelombang tersebut diakibatkan karena adanya proses refraksi sehingga menghasilkan konvergensi (penguncupan) atau divergensi (penyebaran) energi gelombang dan mampu mempengaruhi energi gelombang yang terjadi disuatu tempat di daerah pantai (Triatmodjo, 1999).

Langkah awal dalam melakukan perhitungan matematis refraksi gelombang adalah melakukan pengumpulan data berupa data *time series* gelombang dari tahun 2009 – 2013. Dari data tersebut akan dilakukan

pengolahan untuk memperoleh koefisien refraksi (K_r) yang kemudian akan dilakukan analisis. Contoh data *time series* yang digunakan dalam perhitungan koefisien refraksi tersaji pada Tabel 12.

Tabel 12. Data time series gelombang tahun 2009 – 2013.

No	Waktu (Hr/Bln/Th)	Jam WIB	Arah Datang Angin (Derajat/°)	Arah Datang Gelombang (Derajat/°)	Periode Gelombang (T) (S)	Panjang Gelombang (L) (m)
1	01/01/2009	1	286,15	338,02	3,93	24,1
2	01/01/2009	2	283,25	337,99	3,91	23,83
3	01/01/2009	3	279,95	337,96	3,89	23,55
4	01/01/2009	4	276,21	337,94	3,86	23,27
5	01/01/2009	5	271,96	337,91	3,84	23
6	01/01/2009	6	267,14	337,88	3,82	22,73
7	01/01/2009	7	261,72	337,86	3,79	22,45
8	01/01/2009	8	258,53	337,86	3,76	22,08
9	01/01/2009	9	255,66	337,86	3,73	21,71
10	01/01/2009	10	253,09	337,86	3,7	21,35
11	01/01/2009	11	250,77	337,86	3,67	20,98
12	01/01/2009	12	248,68	337,86	3,64	20,62
13	01/01/2009	13	246,79	337,86	3,6	20,27
14	01/01/2009	14	245,08	337,94	3,6	20,24
15	01/01/2009	15	243,52	338,03	3,6	20,21
16	01/01/2009	16	242,1	338,12	3,6	20,18
17	01/01/2009	17	240,81	338,2	3,59	20,15
18	01/01/2009	18	239,62	338,29	3,59	20,13
19	01/01/2009	19	238,52	338,38	3,59	20,1
20	01/01/2009	20	241,61	338,38	3,61	20,37
21	01/01/2009	21	244,28	338,38	3,64	20,65
22	01/01/2009	22	246,59	338,38	3,66	20,92
23	01/01/2009	23	248,62	338,38	3,69	21,2
24	02/01/2009	0	250,4	338,38	3,71	21,48

(Sumber : BMKG, 2014)

Data tersebut diatas merupakan data pengukuran gelombang dan angin tiap jam dalam satu hari dengan kurun waktu lima tahun yang akan digunakan dalam pengukuran koefisien refraksi. Data tersebut berisi waktu data tersebut diambil, arah datang angin, arah datang gelombang, periode gelombang dan

panjang gelombang yang terjadi. Perhitungan koefisien refraksi (K_r) dapat diperoleh dengan melakukan perhitungan matematis dengan memperoleh hasil akar dari cos sudut datang gelombang (α_0) dibagi dengan cos sudut datang angin (α) (Triatmodjo, 1999).

Setelah dilakukan perhitungan matematis untuk mendapatkan nilai koefisien refraksi (K_r) ada beberapa hasil perhitungan yang mendapatkan nilai negatif, dimana nilai negatif tersebut harus dilakukan pengubahan untuk memperoleh nilai positif mutlak. Adapun hasil pengolahan data untuk memperoleh nilai koefisien refraksi tersaji pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil pengolahan data time series untuk memperoleh nilai koefisien refraksi (K_r).

Waktu (Hr/Bln/Th)	Jam WIB	Refraksi				Kr
		Gelombang		Angin		
		α_0 -	α_0	α -	α	
01/01/2009	1	0,294364	0,294364	-0,96507	0,965075	1,296466
01/01/2009	2	0,265565	0,265565	0,87437	0,87437	1,226477
01/01/2009	3	0,236527	0,236527	-0,93997	0,93997	1,283842
01/01/2009	4	0,217048	0,217048	0,968874	0,968874	1,313254
01/01/2009	5	0,18767	0,18767	-0,21065	0,210646	1,002321
01/01/2009	6	0,158123	0,158123	-0,99453	0,994532	1,346224
01/01/2009	7	0,138345	0,138345	-0,5671	0,567105	1,083635
01/01/2009	8	0,138345	0,138345	0,606295	0,606295	1,097846
01/01/2009	9	0,138345	0,138345	-0,37074	0,370736	1,030845
01/01/2009	10	0,138345	0,138345	-0,19062	0,190618	1,004349
01/01/2009	11	0,138345	0,138345	0,848627	0,848627	1,22408
01/01/2009	12	0,138345	0,138345	-0,88036	0,880358	1,247062
01/01/2009	13	0,138345	0,138345	-0,17409	0,174085	1,002819
01/01/2009	14	0,217048	0,217048	0,99936	0,99936	1,343723
01/01/2009	15	0,303906	0,303906	0,046553	0,046553	0,977348
01/01/2009	16	0,388303	0,388303	-0,98059	0,980587	1,289598
01/01/2009	17	0,460705	0,460705	-0,46015	0,460148	0,999862
01/01/2009	18	0,538613	0,538613	0,653227	0,653227	1,039693
01/01/2009	19	0,61216	0,61216	0,97109	0,97109	1,20418
01/01/2009	20	0,61216	0,61216	-0,95749	0,957487	1,192432
01/01/2009	21	0,61216	0,61216	0,721917	0,721917	1,044235

Dari hasil perhitungan seperti pada Tabel 5 diperoleh nilai rata-rata koefisien refraksi dengan nilai sebesar 1,05, nilai maksimum dari koefisien refraksi sebesar 1,36 dan nilai minimum koefisien refraksi adalah sebesar 0,74. Dari nilai koefisien refraksi yang telah diperoleh maka selanjutnya akan digunakan untuk menentukan nilai tinggi gelombang baru ($H'0$) pada titik lokasi D3 diduga yang terkena dampak dari adanya proses refraksi dan refleksi pada area kanan struktur bangunan pelabuhan Teluk Lamong.

Menurut CERC (1984) refraksi dan *shoaling* menentukan ketinggian gelombang pada kedalaman tertentu dan distribusi energi gelombang sepanjang pantai. Selain itu, gelombang akan menimbulkan arus yang bergerak tegak lurus garis pantai (*rip current*) dan arus menyusur pantai (*longshore current*).

4.6.2 Analisis Pendangkalan Gelombang

Pendangkalan dasar laut menyebabkan terjadi perubahan kecepatan, panjang dan tinggi gelombang yang merambat ke pantai (Samulano, 2012). proses dimana terjadinya kenaikan tinggi suatu gelombang, dimana gelombang tersebut memasuki kawasan perairan yang lebih dangkal disebut dengan pendangkalan gelombang (*shoaling*), pada proses pendangkalan gelombang (*shoaling*) tinggi gelombang bisa meningkat hingga lebih dari dua kali amplitude awal. Pada proses ini kecepatan gelombang jga mengalami penurunan dan keadaan ini juga diimbangi oleh kepadatan energi yang meningkat. Meningkatnya kepadatan energi inilah yang menyebabkan peningkatan tinggi gelombang (Dauhan, 2013). Adapun rumus untuk memperoleh nilai koefisien pendangkalan (*shoaling*) adalah sebagai berikut :

$$K_s = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{n L}}$$

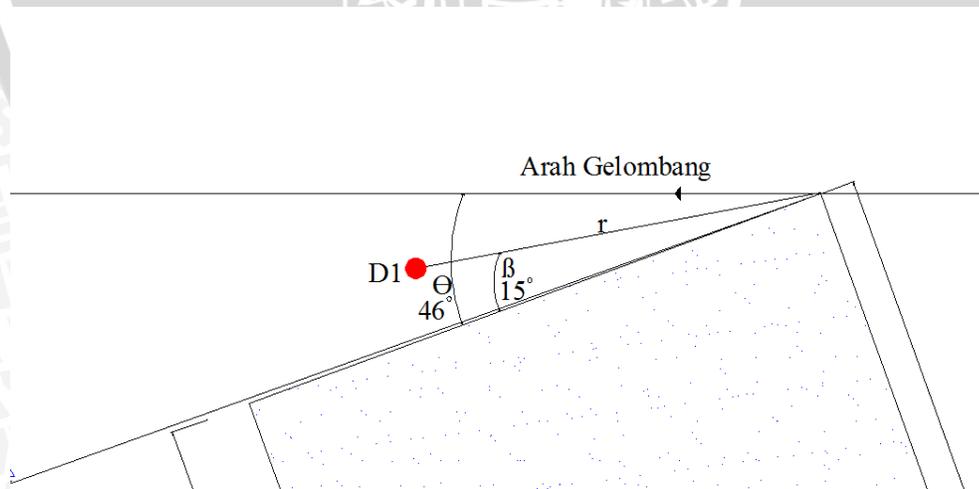
Dimana L adalah panjang gelombang dan L_0 adalah panjang gelombang di laut dalam. Dari perhitungan koefisien pendangkalan (K_s) diperoleh nilai rata-rata koefisien pendangkalan sebesar 0,258 dengan nilai minimum sebesar 0,19 dan nilai maksimum sebesar 0,36, dengan demikian nilai koefisien pendangkalan memiliki perubahan yang tidak signifikan dengan nilai antara 0,1 – 0,3. Refraksi dan pendangkalan gelombang (*wave shoaling*) dapat menentukan ketinggian gelombang pada kedalaman tertentu serta distribusi energi gelombang sepanjang pantai. akibat menurunnya cepat rambat gelombang dan terjadi proses *shoaling* yakni proses pembesaran tinggi gelombang karena pendangkalan dasar laut, dimana tinggi gelombang dari laut dalam akan menurun pada laut transisi dan dangkal, dan pada perairan yang sangat dangkal tinggi gelombang membesar sampai terjadi pecah. Hal ini sesuai dengan pendapat Carter (1988), bahwa dari proses pembiasan (refraksi),selanjutnya arah perambatan berangsur-angsur berubah dengan berkurangnya kedalaman (*shoaling*), sehingga dapat diamati bahwa muka gelombang cenderung sejajar dengan kedalaman (Darmiati, 2013). Berdasarkan hasil perhitungan nilai koefisien pendangkalan, proses pendangkalan tidak terjadi pada laut dangkal. Proses pendangkalan terjadi pada laut transisi dan laut dalam dengan nilai kejadian sebesar 81,55% terjadi di laut transisi dan 18,45% terjadi pada laut dalam. Proses pendangkalan gelombang (*shoaling*) biasa terjadi pada pantai yang langsung menghadap pada laut lepas sedangkan pada pantai dengan struktur bangunan sering diabaikan (Awaliyah, 2010).

4.6.3 Analisis Difraksi Gelombang

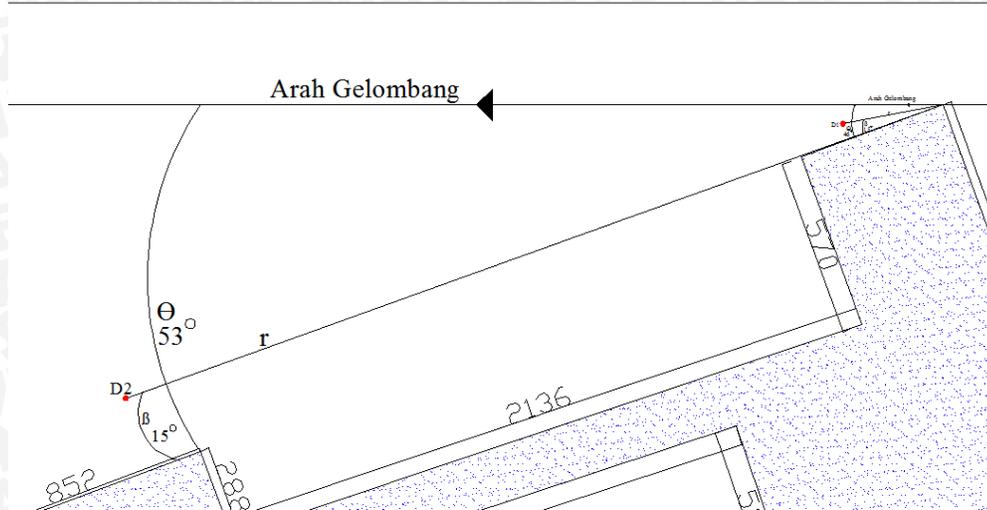
Difraksi terjadi apabila suatu deretan gelombang terhalang oleh rintangan seperti pemecah gelombang atau suatu pulau yaitu apabila tinggi gelombang di suatu titik pada garis puncak gelombang lebih besar daripada titik didekatnya maka menyebabkan perpindahan energi sepanjang puncak gelombang ke arah

tinggi gelombang yang lebih kecil (Dauhan, 2013). Perairan Teluk Lamong memiliki struktur bangunan pelabuhan serta berbatasan langsung dengan Selat Madura yang membawa gelombang menuju bangunan pantai, dengan demikian akan memberi pengaruh adanya difraksi gelombang yang mengakibatkan berubahnya pola penjalaran gelombang.

Ringtangan utama penghalang dalam penjalaran gelombang adalah struktur bangunan pelabuhan Teluk Lamong dimana ujung struktur bangunan pelabuhan merupakan rintangan terluar yang menghalangi garis penjalaran gelombang. Arah dominan gelombang menuju struktur bangunan pelabuhan dapat dilihat pada Gambar 6 yang menunjukkan arah dominan gelombang menuju kearah barat, dengan demikian arah gelombang tepat menuju ujung struktur bangunan pelabuhan Teluk Lamong. Sehingga dapat diketahui jarak titik lokasi terhadap ujung rintangan (r), sudut antara rintangan dan garis yang menghubungkan titik lokasi dengan ujung rintangan (β) dan sudut antara arah penjalaran gelombang dan rintangan (Θ). Adapun sketsa penentuan koefisien difraksi tersaji pada Gambar 15 dan Gambar 16.



Gambar 15. Titik lokasi D1 terjadinya difraksi.



Gambar 16. Titik lokasi D2 terjadinya difraksi.

Dari Gambar 11 dan Gambar 12 maka dapat diperoleh arah penjalaran gelombang menuju struktur bangunan pelabuhan (rintangan), nilai β dengan sudut 15° pada titik lokasi D1 dan D2, nilai θ dengan sudut 46° untuk titik lokasi D1 dan sudut 53° untuk titik lokasi D2 serta nilai r sebesar 115 m untuk titik lokasi D1 dan 1373 m untuk titik lokasi D2. Setelah diperoleh nilai – nilai tersebut diatas maka dapat dilakukan perhitungan nilai koefisien difraksi pada kedua titik lokasi seperti pada Tabel 14 dan Tabel 15.

Tabel 14. Hasil perhitungan data pada titik D1 untuk memperoleh nilai koefisien difraksi (K').

Titik Lokasi D1				
θ (derajat/ $^\circ$)	β (derajat/ $^\circ$)	r (m)	Pendekatan tabel r/L	K' (Tabel)
46	30	155	10	0,22
46	30	155	10	0,22
46	30	155	10	0,22
46	30	155	10	0,22
46	30	155	10	0,22
46	30	155	10	0,22
46	30	155	10	0,22
46	30	155	10	0,22

pada titik lokasi D2 adalah sebesar 0,1. Dari nilai koefisien difraksi yang telah diperoleh maka selanjutnya akan digunakan untuk menentukan nilai tinggi gelombang baru (H_0) pada titik D1 dan D2 yang terkena dampak dari adanya proses difraksi pada wilayah terlindung oleh struktur bangunan pelabuhan Teluk Lamong. Tinggi gelombang baru akibat dampak dari adanya proses difraksi diperoleh melalui perhitungan dengan mengalikan tinggi gelombang datang dengan nilai koefisien difraksi pada titik lokasi D1 dan D2, dari perhitungan tinggi gelombang baru diperoleh nilai gelombang baru di titik lokasi D1 sebesar 7,8 cm sedangkan pada titik lokasi D2 diperoleh nilai tinggi gelombang baru sebesar 3,9 cm, dengan demikian menunjukkan bahwa tinggi gelombang setelah adanya proses difraksi mengalami penurunan jika dibandingkan saat gelombang datang. Difraksi secara sederhana adalah peristiwa pembelokan gelombang akibat adanya bangunan penghalang yang disebabkan oleh transfer energi gelombang. Gelombang yang tertahan suatu penghalang akan berhenti, sedangkan gelombang yang tidak tertahan akan terus merambat dan mengalami transformasi bentuk gelombang seperti penyebaran, pembelokan, dan perubahan tinggi gelombang (Dauhan, 2013).

4.6.4 Analisis Refleksi Gelombang

Tinjauan refleksi gelombang penting di dalam perencanaan bangunan pantai, terutama pada bangunan pelabuhan. Gelombang yang membentur suatu pulau atau struktur bangunan akan mengalami refleksi gelombang dan dipantulkan kembali sehingga menimbulkan interferansi antara gelombang yang datang dengan gelombang yang memantul. Refleksi gelombang di dalam pelabuhan akan menyebabkan ketidak-tenangan di dalam perairan pelabuhan.

Proses refleksi gelombang akibat membentur bangunan pantai bergantung pada bagaimana tipe struktur bangunan-bangunan pantai. Tipe

bangunan pada pelabuhan Teluk Lamong merukapakan urugan pasir dengan tumpukan batu sisi miring pada samping bangunan. Dengan demikian maka dapat ditentukan nilai koefisien refleksi yang merujuk pada Tabel 2, yang menunjukkan nilai koefisien refleksi yang terjadi adalah 0,3 - 0,6. Pada bangunan pelabuhan untuk mendapatkan ketenangan pada kolam pelabuhan maka bangunan-bangunan yang ada dipelabuhan harus bisa menyerap/menghancurkan energi gelombang. Suatu bangunan yang mempunyai sisi miring dan terbuat dari tumpukan batu akan bisa menyerap energi gelombang lebih banyak dibandingkan dengan bangunan tegak dan masif, sedangkan pada bangunan vertikal, halus dan dinding tidak permeable, gelombang akan dipantulkan seluruhnya. Penentuan nilai koefisien refleksi suatu bangunan dalam memantulkan suatu gelombang yang datang dan membentur struktur bangunan dapat diperkirakan melalui tes model koefisien refleksi berbagai tipe bangunan bangunan yang diberikan pada Tabel 2 (triatmodjo, 1999).

Nilai tinggi gelombang baru di titik lokasi D4 sebesar 21,24 cm sedangkan pada titik lokasi D3 diperoleh nilai tinggi gelombang baru sebesar 22,23 cm. Nilai tinggi gelombang baru di titik lokasi D3 lebih tinggi dibandingkan titik D4, hal ini dikarenakan pada titik D3 terkena dampak yang lebih besar terhadap transformasi gelombang berupa refleksi dan refraksi gelombang sedangkan pada lokasi D4 hanya terkena dampak refleksi gelombang. Adapun tumpukan batu pada struktur bangunan pelabuhan Teluk Lamong tersaji pada Gambar 17.



Gambar 17. Tumpukan batu pada struktur bangunan pelabuhan Teluk Lamong.

4.7 Hubungan Antara Transformasi Gelombang Dan Tinggi gelombang

Teluk Lamong adalah suatu daerah yang mencakup perairan yang cukup luas dan dalam uraian ini perairan Teluk Lamong secara tidak langsung terbagi dalam dua area yaitu perairan pelayaran dan perairan dangkal pada sepanjang daerah pantai yang digunakan dalam pembangunan pelabuhan Teluk Lamong, Keadaan pantai pada umumnya terdiri dari lumpur dan landai. Kedalaman rata-rata Teluk Lamong adalah sebesar 7,959 m dengan nilai rentang kedalaman antara 0,1 m - 20,6 m, dengan demikian perairan Teluk Lamong tergolong pada perairan dangkal.

Penjalaran gelombang yang terjadi pada suatu perairan akan sangat terpengaruh oleh kontur batimetri dikarenakan energi gelombang yang menjalar menuju daerah yang lebih dangkal (pantai) akan dibalikan kelaut, besaran energi gelombang tersebut akan bergantung pada kemiringan kontur batimetri, semakin dangkal suatu perairan maka akan semakin kecil pula energi gelombang yang akan dipantulkan. Gelombang yang merambat dari laut dalam (*deep water*) menuju pantai mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses

transformasi gelombang seperti *refraksi*, *difraksi*, dan *refleksi* karena pengaruh perubahan kedalaman laut dan adanya rintangan. Berkurangnya kedalaman laut dan adanya penghalang menyebabkan semakin berkurangnya panjang dan kecepatan gelombang serta bertambahnya tinggi gelombang. Pada saat tinggi gelombang mencapai batas maksimum, gelombang akan pecah dengan membentuk sudut tertentu terhadap garis pantai (Triadmodjo, 1999).

Selain pengaruh dari kontur batimetri penjalaran gelombang yang terjadi pada perairan Teluk Lamong juga dipengaruhi oleh adanya struktur bangunan pelabuhan, dimana terjadi transformasi penjalaran gelombang yang bergerak dari laut dalam menuju perairan teluk. Transformasi penjalaran gelombang ini meliputi proses refraksi, difraksi dan refleksi. Refraksi gelombang pada perairan Teluk Lamong terjadi karena adanya perubahan kontur batimetri yang menyebabkan gelombang akan berubah arah dan cenderung akan menjadi sejajar dengan garis pantai. Pada keadaan tertentu gelombang mengalami refleksi akibat adanya pemantulan gelombang jika membentur suatu rintangan (bangunan pantai). arah penjalaran gelombang juga dapat berubah akibat mengalami difraksi, proses difraksi dapat terjadi jika suatu deretan gelombang menjalar dan mengenai suatu ujung rintangan sehingga gelombang akan dibelokkan menuju daerah terlindung dari rintangan tersebut.

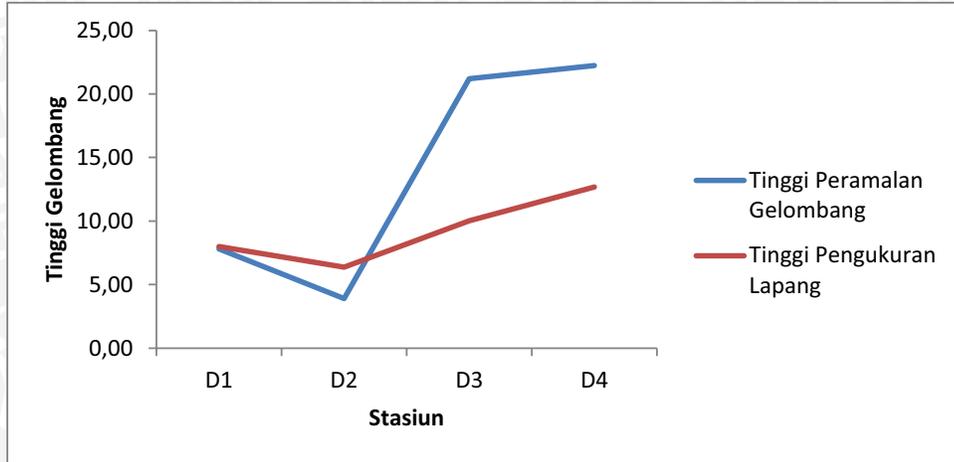
Dari analisis transformasi gelombang melalui peramalan gelombang menggunakan data *time series* gelombang selama 5 tahun diperoleh nilai tinggi gelombang baru yang terkena dampak dari adanya proses transformasi gelombang di titik lokasi D1, D2, D3 dan D4 secara berurutan adalah sebesar 7,8 cm, 3,9 cm, 21,20 cm dan 22,23 cm. Hasil pengukuran lapang tinggi gelombang yang telah dilakukan diperoleh hasil di titik lokasi D1, D2, D3 dan D4 secara berurutan sebesar 8,01 cm, 6,38 cm, 10,015 cm dan 12,69 cm. Adapun

tinggi gelombang hasil peramalan gelombang dan pengukuran lapang tersaji pada Tabel 16.

Tabel 16. Tinggi gelombang Hasil peramalan gelombang dan pengukuran lapang.

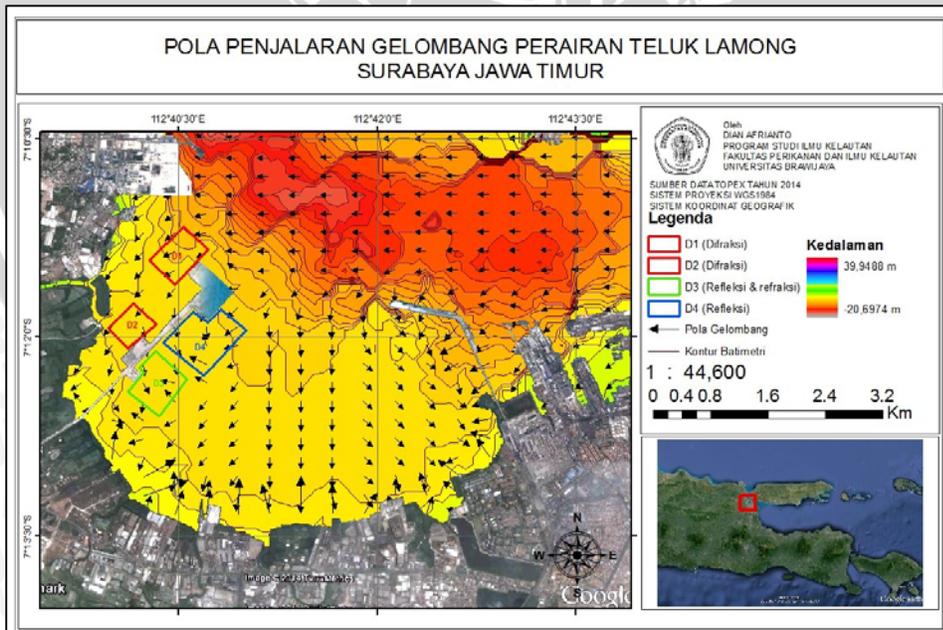
Stasiun	Tinggi Gelombang		Arah Datang Gelombang (θ)
	Tinggi Peramalan Gelombang (cm)	Tinggi Pengukuran Lapang (cm)	
D1	7,80	8,01	Barat Laut
D2	3,90	6,38	Barat
D3	21,20	10,015	Tenggara
D4	22,23	12,69	Timur

Setelah dilakukan perhitungan matematis peramalan gelombang dari data *time series* dan pengukuran lapang menunjukkan perbedaan nilai tinggi gelombang yang diperoleh, hal ini bisa saja terjadi karena data peramalan gelombang yang digunakan adalah data *time series* selama 5 tahun dimana data tersebut sangat fluktuatif akibat adanya faktor-faktor yang mempengaruhi dinamika pada tinggi gelombang seperti adanya hembusan angin, terjadinya bulan purnama dan lain-lain, sehingga nilai perhitungan tinggi gelombang dari data pada pengukuran lapang tidak selalu sesuai dengan hasil perhitungan peramalan gelombang dari data *time series* dikarenakan pengambilan data pengukuran lapang hanya dilakukan selama satu hari. Meskipun kedua hasil perhitungan tinggi gelombang tersebut tidak memiliki nilai yang sama secara signifikan tetapi keduanya memiliki fluktuasi tinggi gelombang yang sama pada titik-titik lokasi secara keseluruhan, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 18.



Gambar 18. Perbandingan hasil perhitungan tinggi gelombang

Pada laut dalam gelombang tidak mengalami perubahan, akan tetapi di laut transisi dan dangkal, kontur kedalaman sangat mempengaruhi karakteristik gelombang yang disebut dengan refraksi. Refraksi gelombang adalah perubahan bentuk pada gelombang akibat adanya perubahan kedalaman laut (*Triatmodjo*, 1999). Adapun pola penjalaran gelombang Teluk Lamong tersaji pada Gambar 19.



Gambar 19. Peta pola penjalaran gelombang

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

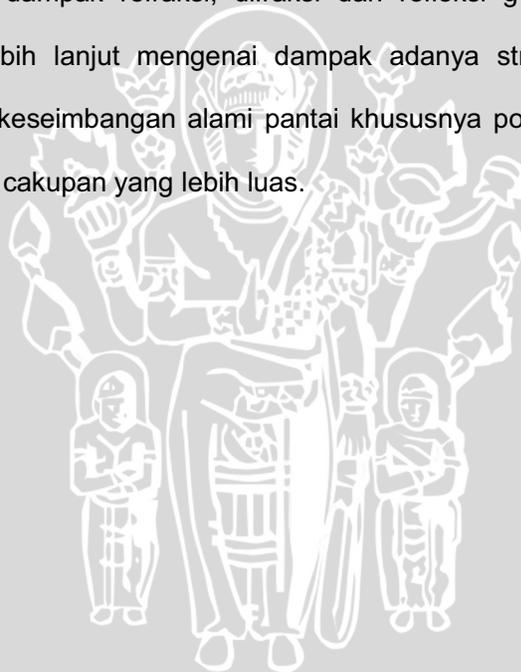
Dari kajian yang dilakukan mengenai transformasi gelombang dan tinggi gelombang yang terjadi di sekitar struktur bangunan pelabuhan Teluk Lamong maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari penjalaran arah gelombang datang menuju struktur bangunan diperoleh hasil bahwa area sebelah kiri bangunan pada titik D1 dan D2 yang terkena dampak dari adanya proses difraksi pada wilayah terlindung oleh struktur bangunan pelabuhan Teluk Lamong dengan nilai koefisien difraksi (K') di titik D1 sebesar 0,22 dan di titik D2 sebesar 0,1. Pada titik D3 yang berada disebelah kanan area struktur bangunan pelabuhan terkena dampak dari adanya refleksi dan refraksi dengan nilai koefisien refraksi (K_r) sebesar 1,05. Titik D4 memperoleh dampak dari adanya refleksi gelombang yang membentur struktur bangunan pelabuhan dengan nilai koefisien refleksi 0,6.
2. Dari keseluruhan tinggi gelombang yang diperoleh menunjukkan bahwa pada titik D1 dan D2 yang berada pada daerah terlindung oleh struktur bangunan pelabuhan memiliki nilai yang paling rendah akibat terkena dampak dari adanya difraksi gelombang dengan nilai tinggi gelombang pada titik D1 dan D2 hasil peramalan sebesar 7,80 cm dan 3,90 cm serta hasil pengukuran lapangan pada titik D1 dan D2 sebesar 8,01 cm dan 6,38 cm. Titik D4 yang terletak pada ujung bangunan sebelah kanan yang terkena dampak dari refleksi gelombang memiliki nilai tinggi gelombang yang tertinggi dengan nilai tinggi gelombang hasil peramalan sebesar 22,23 cm dan hasil pengukuran lapangan sebesar 12,69 cm. Sedangkan

pada titik D3 yang berada pada bagian kanan belakang dari struktur bangunan pelabuhan yang terkena dampak dari refraksi dan refleksi gelombang memiliki nilai tinggi gelombang yang relatif tinggi dengan nilai tinggi gelombang hasil peramalan sebesar 21,20 cm dan hasil pengukuran lapangan sebesar 10,015 cm.

5.2 Saran

Pada penelitian ini peneliti menitik beratkan terhadap pola transformasi dan tinggi gelombang yang terjadi disekitar struktur bangunan pelabuhan dengan menanalisis adanya dampak refraksi, difraksi dan refleksi gelombang. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai dampak adanya struktur bangunan pelabuhan terhadap keseimbangan alami pantai khususnya pola hidrodinamika pantai agar diperoleh cakupan yang lebih luas.



DAFTAR PUSTAKA

- [CERC] Coastal Engineering Research Center, 1984. Shore Protection Manual. Fourth Edition Volume I, , Washington: U,S, Army Coastal Engineering Research Center
- Awaliyah, Wa Ode.2010. Model Perubahan Garis Pantai Dengan Metode *One-Line Model* (Studi Kasus : Pantai Mangarabombang – Galesong Selatan, Kabupaten Takalar). Universitas Hasanuddin Makassar
- Azhar M, Rian.2011. Studi Pengamanan Pantai Tipe Pemecah Gelombang Tenggelam Di Pantai Tanjung Kait. Program Magister Manajemen Pengelolaan Sumber Daya Air
- Badan Perencanaan dan Pembangunan Kota Surabaya. 2012. Profil Kabupaten Kota Surabaya
- Carter, R.W.G. 1988. Coastal Environmental, An Introduction to the physical, Ecological dan Cultural System of Coasts Lines. London: Academic Press.
- Danial, M. M., 2008. *Rekayasa Pantai*. Alfabeta: Bandung.
- Darmiati.2013. Hidrodinamika Perairan Pantai Bau-Bau Dan Transformasi Gelombang Di Atas Terumbu Karang Alami. Universitas Hasanuddin Makassar
- Dauhan, S Kristie. 2013. Analisis Karakteristik Gelombang Pecah Terhadap Perubahan Garis Pantai Di Atepe Oki.
- Dinas tata kota dan pemukiman. 2012. Profil Kabupaten Kota Surabaya
- Horikawa K, 1988. Nearshore Dynamics and Coastal Procesess.
- Hutabarat, Salaha dkk. 2012. Pengantar Oceanografi. Jakarta: UI-Press
- Ismunarti, Dwi.2012. Kajian Pola Arus Laut Sebelum dan Sesudah Pembangunan Pelabuhan Khusus Pabrikasi Baja Di Perairan Paciran, Kabupaten Lamongan
- Kalay, Degan E.2009. Karakteristik Gelombang Pada Perairan Teluk Indramayu. Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan: FPIK IPB

- Kurniawidhi, Dimas.2001. Refleksi Oleh Floaton Floating Breakwater Tipe Zig-Zag. Staf Pengajar Teknik Kelautan : ITS
- Mazeda, Dinda.2013. Studi Konfigurasi Refleksi Seismik dan Karakteristik Sedimen Dasar Di Perairan Batuata, Sulawesi Tenggara. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
- Poerbandono dan E. Djunarsjah. 2005. *Survey Hidrografi*. Refika Aditama, Bandung.
- Progresive Improvement Laporan Tahunan 2011. PT Pelabuhan Indonesia III (Persero)
- Rellua, Ovianty.2013. Proses Perizinan dan Dampak Lingkungan Terhadap Kegiatan Reklamasi Pantai. Lex Administratum
- Samulano, Itto.2011. Refraksi dan Difraksi Gelombang Laut Di Daerah Dekat Pantai Pariaman. Jurnal Rekayasa Sipil
- Sidjabat, M.M. 1973. *Pengantar Oseanografi*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sulipan. 2011. Penelitian Deskriptif Analitis. Universitas Negeri Surabaya, Surabaya
- Svedrup, H.U., M.W. Johnson, dan R.H. Fleming. 1942. *The Oceans, Their Physics, Chemistry and General Biology*. New Jersey: Prentice Hall. Inc.
- Triatmodjo, Bambang. 1999. Teknik Pantai. Beta Offset: Yogyakarta
- Umam, S.K, et al. 2011. *Studi Penggunaan Magnetometer dalam Pembuatan Peta Sebaran Logam untuk Mendukung Pemasangan Pipa Bawah Laut*. Program Studi Teknik Geomatika, FTSP, ITS Surabaya.
- Wardana, Kharisma. 2000. Analisa Perubahan Garis Pantai Semarang dan Kondisi Lingkung Di Sekitarnya dengan Menggunakan Empirical Orthogonal Function (eof). Staf Pengajar Teknik Kelautan ITS, Surabaya.

DAFTAR ISTILAH

- Batimetri* : pengukuran dan pemetaan keadaan dasar laut.
- Crest* : Titik tertinggi (puncak) gelombang.
- Deformasi gelombang* : Suatu perubahan sifat gelombang pada saat gelombang bergerak menuju ke pantai.
- Difergensi* : proses penyebaran gelombang.
- Difraksi* : peristiwa pembelokan gelombang akibat adanya bangunan penghalang yang disebabkan oleh transfer energi gelombang.
- Fetch* : merupakan jarak tempuh gelombang dari awal pembangkitannya.
- Gelombang Pecah* : Berkurang kecepatan dan panjang gelombang secara berangsur-angsur sementara tinggi gelombang bertambah yang akan mencapai suatu ketinggian tertentu dan ia akan menjadi tidak stabil kemudian pecah dan mengakibatkan timbulnya energi.
- Kemiringan gelombang* : perbandingan antara panjang gelombang dengan tinggi gelombang.
- Koefisien Difraksi* : perbandingan antara H (tinggi gelombang) daerah difraksi dengan tinggi gelombang datang yang digunakan untuk analisis karakteristik spektrum gelombang disuatu titik daerah yang terlindung oleh struktur pelindung pantai atau pulau.
- Koefisien Refleksi* : perbandingan tinggi gelombang yang terpantulkan dengan tinggi gelombang datang.
- Konvergensi* : proses penguncupan gelombang.
- limited steepness* : Batas kecuraman gelombang peca.
- Panjang gelombang* : Jarak berturut-turut antara dua *crest* atau dua buah *trough*.
- Periode gelombang* : Waktu yang dibutuhkan *crest* untuk kembali pada titik semula secara berturut-turut.
- purposive sampling* : penentuan titik lokasi pengambilan sampel dengan sengaja karena adanya dugaan – dugaan tertentu.

Refleksi : Gelombang yang membentur suatu pulau atau struktur bangunan seperti pemecah gelombang akan dipantulkan kembali sebagian atau seluruhnya.

Refraksi : perubahan bentuk gelombang yang diakibatkan oleh berubahnya kedalaman laut.

Reklamasi : menciptakan daratan baru dilahan yangyang sebelumnya terdiri dari air dengan memasukan material-material tertentu ke dalam badan air.

Shoaling : proses dimana terjadinya kenaikan tinggi suatu gelombang, dimana gelombang tersebut memasuki kawasan perairan yang lebih dangkal.

Trough : Titik terendah (lembah) gelombang.

Wave : Jarak vertikal antara *crest* dan *trough*.



LAMPIRAN

Lampiran 1. Contoh data mentah gelombang

No	Date	Time(WIB)	WindDir(TN)	WindDir	WindSpd(knot)	WaveDir(TN)	HTot(m)	H1/10(m)	H1/100(m)	PTot(s)	WaveLen(m)
1	01/01/2009	1	286,15	WNW	2,14	338,02	0,26	0,33	0,43	3,93	24,1
2	01/01/2009	2	283,25	WNW	2,01	337,99	0,26	0,33	0,43	3,91	23,83
3	01/01/2009	3	279,95	W	1,89	337,96	0,25	0,32	0,42	3,89	23,55
4	01/01/2009	4	276,21	W	1,77	337,94	0,25	0,32	0,42	3,86	23,27
5	01/01/2009	5	271,96	W	1,66	337,91	0,25	0,31	0,41	3,84	23
6	01/01/2009	6	267,14	W	1,56	337,88	0,24	0,31	0,41	3,82	22,73
7	01/01/2009	7	261,72	W	1,48	337,86	0,24	0,31	0,4	3,79	22,45
8	01/01/2009	8	258,53	WSW	1,56	337,86	0,23	0,3	0,39	3,76	22,08
9	01/01/2009	9	255,66	WSW	1,65	337,86	0,23	0,29	0,38	3,73	21,71
10	01/01/2009	10	253,09	WSW	1,74	337,86	0,22	0,28	0,37	3,7	21,35
11	01/01/2009	11	250,77	WSW	1,83	337,86	0,21	0,27	0,36	3,67	20,98
12	01/01/2009	12	248,68	WSW	1,93	337,86	0,21	0,26	0,35	3,64	20,62
13	01/01/2009	13	246,79	WSW	2,02	337,86	0,2	0,25	0,33	3,6	20,27
14	01/01/2009	14	245,08	WSW	2,12	337,94	0,19	0,25	0,32	3,6	20,24
15	01/01/2009	15	243,52	WSW	2,23	338,03	0,19	0,24	0,31	3,6	20,21
16	01/01/2009	16	242,1	WSW	2,33	338,12	0,18	0,23	0,3	3,6	20,18
17	01/01/2009	17	240,81	WSW	2,43	338,2	0,18	0,22	0,29	3,59	20,15
18	01/01/2009	18	239,62	WSW	2,54	338,29	0,17	0,22	0,28	3,59	20,13
19	01/01/2009	19	238,52	WSW	2,65	338,38	0,16	0,21	0,27	3,59	20,1
20	01/01/2009	20	241,61	WSW	2,85	338,38	0,17	0,22	0,28	3,61	20,37

21	01/01/2009	21	244,28	WSW	3,06	338,38	0,17	0,22	0,29	3,64	20,65
22	01/01/2009	22	246,59	WSW	3,28	338,38	0,18	0,23	0,3	3,66	20,92
23	01/01/2009	23	248,62	WSW	3,5	338,38	0,18	0,23	0,31	3,69	21,2
24	02/01/2009	0	250,4	WSW	3,73	338,38	0,19	0,24	0,32	3,71	21,48
25	02/01/2009	1	251,98	WSW	3,96	338,38	0,19	0,25	0,32	3,74	21,77
26	02/01/2009	2	253,39	WSW	4,19	338,38	0,2	0,25	0,33	3,7	21,31
27	02/01/2009	3	254,64	WSW	4,42	338,38	0,2	0,26	0,34	3,66	20,86
28	02/01/2009	4	255,77	WSW	4,66	338,38	0,21	0,27	0,35	3,62	20,41
29	02/01/2009	5	256,79	WSW	4,9	338,38	0,21	0,27	0,36	3,58	19,97
30	02/01/2009	6	257,72	WSW	5,14	338,38	0,22	0,28	0,37	3,54	19,54
31	02/01/2009	7	258,56	WSW	5,38	338,38	0,23	0,29	0,38	3,5	19,1
32	02/01/2009	8	256,81	WSW	5,02	338,38	0,21	0,27	0,36	3,48	18,87

Lampiran 2. Dokumentasi lapang



Perjalanan menuju lokasi penelitian



Lokasi penelitian di samping bangunan pelabuhan



Kondisi urugan pasir



Titik prngukuran gelombang



Pengukuran gelombang



Titik pengukuran Gelombang