

ANALISIS KARAKTERISTIK GELOMBANG LAUT DI PANTAI KUTA, BALI

LAPORAN SKRIPSI

PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN

JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA PERIKANAN DAN KELAUTAN

Oleh:

MUHAMMAD RAMADHANI MARFATAH

NIM. 125080600111060



FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2016

ANALISIS KARAKTERISTIK GELOMBANG LAUT DI PANTAI KUTA, BALI

LAPORAN 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:

MUHAMMAD RAMADHANI MARFATAH

NIM. 125080600111060



FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

MALANG

2016

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS KARAKTERISTIK GELOMBANG LAUT DI PANTAI KUTA, BALI

Oleh:
Muhammad Ramadhani Marfatah
NIM. 125080600111060

Telah dipertahankan didepan penguji
pada tanggal 26 Juli 2016
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dosen Penguji I

(Nurin Hidayati, S.T., M.Sc)
NIP. 19781102 200502 2 001
Tanggal : 18 AUG 2016

Menyetujui,
Dosen Pembimbing I

(Ir. Aida Sartimbul, M.Sc., Ph.D)
NIP. 19680901 199403 2 001
Tanggal : 18 AUG 2016

Dosen Penguji II

(Dhira Khurniawan S, S.Kel., M.Sc
NIK. 201201 860115 1 001
Tanggal : 18 AUG 2016

Dosen Pembimbing II

(Andik Isdianto, S.T., M.T)
NIK. 201309 820928 1 001
Tanggal : 18 AUG 2016

Mengetahui,
Ketua Jurusan

(Dr. Ir. Daduk Setyohadi, MP)
NIP. 19630608 198703 1 003

18 AUG 2016



PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Muhammad Ramadhani Marfatah

NIM : 125080600111060

Prodi : Ilmu Kelautan

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

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

Malang, 12 Agustus 2016

Muhammad Ramadhani Marfatah
NIM. 125080600111060

UCAPAN TERIMAKASIH

Dengan selesainya laporan Skripsi ini, tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT karena karunia-Nya penulis bisa menyelesaikan laporan skripsi
2. Ayah Edi Marfatah Irianto, Ibu Siti Rokhani, Mba Ririn, Mas Fani, Icha dan keluarga yang selalu memberi dukungan, motivasi dan doa restu kepada penulis
3. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang.
4. Ir. Aida Sartimbul, M.Sc., Ph.D dan Andik Isdianto, S.T., M.T selaku dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II, yang dengan sabar telah memberi masukan, pengarahan, dan bimbingan selama penyelesaian laporan skripsi.
5. Nurin Hidayati, S.T., M.Sc dan Dhira Khurniawan Saputra, S.Kel., M.Sc selaku dosen penguji I dan dosen penguji II atas masukan dan saran yang diberikan guna penyempurnaan laporan skripsi ini
6. Sahabat-sahabat dan orang terdekat penulis yang selalu menemani dan membantu dalam penyusunan skripsi (Indriani, Reyhan, Anthon, Maulana, Agung, Resky, Gilang). Teman-teman di UKM Forum Mahasiswa Bahasa Inggris (Formasi) (Haris, Siska, Bayu, Afdhal, Icha, Adjam). Teman-teman *Oceanography Study Club* (OSC) serta teman-teman kost Kertoasri 73 yang selalu memberikan dukungan, motivasi, dan bantuan dalam pengerjaan laporan ini
7. Teman-teman Poseidon Ilmu Kelautan UB 2012 atas segala bantuan, semangat, motivasi, dan informasi.

RINGKASAN

MUHAMMAD RAMADHANI MARFATAH. Skripsi dengan judul **Analisis Karakteristik Gelombang Laut di Pantai Kuta, Bali** (di bawah bimbingan **Ir. Aida Sartimbul, M.Sc., Ph.D** dan **Andik Isdianto, S.T., M.T**)

Gelombang laut merupakan salah satu parameter oseanografi yang sangat penting, sering lebih dipertimbangkan daripada parameter lingkungan lainnya yang mempengaruhi bangunan pantai dan laut. Gelombang laut sangat dipengaruhi oleh gaya tekanan atmosfer khususnya angin. Kebanyakan kondisi gelombang di suatu perairan diperoleh secara tidak langsung dari data angin yang terdapat di suatu kawasan perairan. Penelitian ini mengambil daerah kajian di Pantai Kuta. Pantai Kuta menyimpan permasalahan terutama masalah erosi. Berbatasan langsung dengan Samudera Hindia yang memiliki gelombang tinggi menyebabkan Pantai Kuta rawan tererosi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk Mengetahui distribusi arah dan kecepatan angin secara musiman di Pantai Kuta, mengetahui tinggi gelombang yang telah mengalami transformasi gelombang secara musiman di Pantai Kuta, mengetahui transformasi tinggi gelombang pada peramalan gelombang dengan tinggi gelombang periode ulang di Pantai Kuta. Kegiatan penelitian terdiri dari survei lokasi, pengukuran data, dan pengolahan data. Survei Lokasi dilakukan pada tanggal 8 Maret 2016 dan penelitian dilaksanakan pada tanggal 17 dan 18 Maret 2016 di Pantai Kuta, Bali. Analisis data secara keseluruhan berdasarkan cara pengolahannya dilakukan dengan metode analisis deskriptif yaitu, suatu metode penelitian yang bertujuan untuk memberikan gambaran obyek penelitian secara obyektif yang didukung dengan data-data secara kuantitatif. Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data pengukuran secara langsung di lapangan dilakukan pada tanggal 17 dan 18 Maret 2016, sedangkan data sekunder menggunakan data angin selama 10 tahun (2006-2015) yang didapat dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Kuta, Badung dan Data periode gelombang, tinggi gelombang, serta arah dan kecepatan angin selama 10 tahun (2006-2015) yang didapat dari ECMWF.

Hasil dari penelitian ini adalah arah dan kecepatan angin pada Musim Barat memiliki dominasi angin berhembus ke arah Timur dengan kecepatan dominan sebesar 2-4 m/s, Musim Peralihan 1 angin berhembus ke arah Barat Laut secara dominan dengan kecepatan rata-rata ada pada kecepatan 2-4 m/s, Musim Timur hembusan angin mengarah ke Barat Laut dengan nilai kecepatan dominan ada pada kecepatan 4-6 m/s, Musim Peralihan 2 angin secara dominan berhembus ke arah Barat Daya dengan dominasi nilai kecepatan ada pada rentang 4-6m/s, tinggi gelombang yang perhitungan transformasi gelombang didapatkan hasil tinggi gelombang yang memiliki nilai hampir sama pada kedalaman 0.8 dan 0.7 m. Pada Musim Barat didapat nilai tinggi gelombang 1.25 m, Musim Peralihan 1 1.52 m, Musim Timur 1.55 m, dan pada Peralihan 2 didapatkan nilai setinggi 1.61 m, tinggi gelombang periode ulang selama 100 tahun dengan Metode *Fisher-Tippet Type-1* yang telah dilakukan transformasi gelombang menunjukkan nilai 1.89 m pada analisis periode ulang 2 tahunan, nilai 1.98 untuk periode 5 tahunan, dan nilai 2.03 m, 2.10 m, 2.15 m, dan 2.20 m untuk periode ulang 10, 25, 50, dan 100 tahun secara berurutan.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah. Puji syukur atas kehadiran Allah SWT, atas kelimpahan rahmat dan hidayahnya pada akhirnya Proposal Skripsi yang berjudul “**ANALISIS KARAKTERISTIK GELOMBANG LAUT DI PANTAI KUTA, BALI**” dapat terselesaikan dengan baik, lancar dan tepat waktu.

Di dalam tulisan ini, disajikan pokok-pokok bahasan yang meliputi pengolahan data arah dan kecepatan angin ECMWF, pengolahan data gelombang ECMWF, transformasi gelombang, peramalan tinggi gelombang dengan metode periode ulang, dan mengenai karakteristik gelombang di Pantai Kuta, Bali.

Sebagaimana telah disadari bahwa masih ada kekurangan dalam penulisan Proposal Skripsi ini. Oleh karena itu, saya sebagai penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dan dapat menyempurnakan isi dari Proposal ini yang nantinya bermanfaat bagi pembaca. Semoga tulisan ini bias memberikan pengetahuan yang bermanfaat dan bisa digunakan sebagaimana seperlunya.

Malang, 12 Agustus 2016

Muhammad Ramadhani Marfatah

DAFTAR ISI

RINGKASAN	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Waktu dan Tempat Penelitian	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Karakteristik Gelombang	5
2.2 Gelombang	6
2.3 Angin	6
2.4 Pembangkitan Gelombang oleh Angin	7
2.5 Metode Peramalan Gelombang	8
2.6 Penggunaan Data Angin untuk Prediksi Gelombang	8
2.7 Transformasi Gelombang	13
2.8 Angin Monsun	14
2.9 <i>The European Center for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF)</i>	15
2.10 <i>Ocean Data View (ODV)</i>	16
2.11 <i>Wind Rose Plot View (WRPlot View)</i>	17
3. METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Lokasi Penelitian	18
3.2 Teknik Pengumpulan Data	18
3.2.1 Data Primer	18
3.2.2 Data Sekunder	19
3.3 Alat dan Bahan	20
3.4 Proses Pengolahan Data Angin	20
3.4.1 Penentuan Arah Angin Dominan Berdasarkan Musim	21
3.5 Pengolahan Data Gelombang Berdasarkan Data Angin	22
3.6 Penentuan Karakteristik Gelombang Laut	27
3.7 Tranformasi Gelombang	28
3.8 Perkiraan Gelombang dengan Periode Ulang (Analisis Frekuensi)	29
3.9 Analisis Data	33
3.9.1 <i>Mean Relative Error (MRE)</i>	35



3.9.2 Regresi	35
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Lokasi Penelitian	38
4.1.1 Keadaan Umum Pantai Kuta	38
4.1.2 Identifikasi Masalah.....	39
4.2 Pengukuran Gelombang Lapangan.....	40
4.3 Arah dan Kecepatan Data Angin ECMWF.....	42
4.3.1 Arah dan Kecepatan Angin Berdasarkan Musim	42
4.3.1.1 Musim Barat (Desember, Januari, Februari)	43
4.3.1.2 Musim Peralihan 1 (Maret, April, Mei).....	45
4.3.1.3 Musim Timur (Juni, Juli, Agustus).....	47
4.3.1.4 Musim Peralihan 2 (September, Oktober, November)	48
4.3.1.5 10 Tahun (2006-2015).....	50
4.4 Tinggi dan Periode Gelombang ECMWF	52
4.4.1 Transformasi Tinggi Gelombang ECMWF	54
4.5 Hubungan Antara Kecepatan Angin, Tinggi Gelombang dan Periode Gelombang	54
4.5.1 Hubungan Antara Periode Gelombang dengan Tinggi Gelombang	54
4.5.2 Hubungan Antara Kecepatan Angin dengan Tinggi Gelombang	55
4.5.3 Hubungan Antara Kecepatan Angin dengan Periode Gelombang	56
4.5.4 Kedekatan Antar Musim	56
4.6 Perkiraan Tinggi Gelombang Periode Ulang	57
4.6.1 Metode <i>Fisher Tippett Type-1</i>	57
4.6.2 Metode <i>Weibull</i>	58
4.6.3 Perbandingan Metode <i>Fisher Tippett Type-1</i> dan <i>Weibull</i>	59
4.6.4 Transformasi Tinggi Gelombang Periode Ulang Metode <i>Fisher Tippett Type-1</i>	61
4.7 Validasi Data.....	62
4.7.1 Validasi Data Lapangan dengan Data Transformasi Gelombang ECMWF	62
4.7.2 Validasi Data BMKG dengan Data ECMWF	62
4.8 Analisis Arah dan Kecepatan Angin	63
4.9 Analisis Karakteristik Gelombang.....	65
4.10 Keterkaitan antara Gelombang dengan Angin.....	66
5. PENUTUP.....	69
5.1 Kesimpulan	69
5.2 Saran	69
DAFTAR PUSTAKA.....	71
LAMPIRAN	74

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Gelombang Berdasarkan Kedalaman Relatif	5
Tabel 2. Klasifikasi Gelombang	5
Tabel 3. Alat-alat yang Digunakan Selama Penelitian	20
Tabel 4. Bahan-bahan yang Digunakan Selama Penelitian	20
Tabel 5. Arah Mata Angin	21
Tabel 6. Prediksi Gelombang	26
Tabel 7. Penentuan probabilitas gelombang pada metode <i>Fisher Tippet Type-1</i> dan <i>Weibull</i>	30
Tabel 8. tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang	31
Tabel 9. Koefisien empiris	32
Tabel 10. Interpretasi Koefisien Kolerasi Nilai r	37
Tabel 11. Data Hasil Pengukuran Tinggi dan Periode Gelombang serta Arah Datang Gelombang di Pantai Kuta, Bali	41
Tabel 12. Gelombang Representatif Hasil Pengukuran di Lapangan	42
Tabel 13. Distribusi Arah dan Kecepatan Angin Musim Barat dengan nilai Dominasi Hembusan Angin ke Arah Timur	45
Tabel 14. Distribusi Arah dan Kecepatan Angin Musim Peralihan 1 dengan Arah Dominan Hembusan ke Arah Barat Laut	46
Tabel 15. Distribusi Arah dan Kecepatan Angin Musim Timur dengan Arah Dominan Hembusan ke Arah Barat Laut	48
Tabel 16. Distribusi Arah dan Kecepatan Angin Musim Peralihan 2 dengan Arah Dominan Hembusan ke Arah Barat Laut dan Barat	50
Tabel 17. Distribusi Arah dan Kecepatan Angin Selama 10 Tahun dengan Arah Dominan Hembusan ke Arah Barat Laut	52
Tabel 18. Tinggi Gelombang Representatif (Tahun 2006-2015)	53
Tabel 19. Periode Gelombang Representatif (Tahun 2006-2015)	53
Tabel 20. Transformasi Tinggi Gelombang	54
Tabel 21. Tinggi Gelombang dengan Periode Ulang 100 Tahunan (2006-2106) dengan Metode <i>Fisher Tippet Type-1</i>	58
Tabel 22. Tinggi Gelombang dengan Periode Ulang 100 Tahunan (2006-2106) dengan Menggunakan Metode <i>Weibull</i>	58

Tabel 23. Analisis Perbandingan Tinggi Gelombang Periode Ulang Berdasarkan Nilai MRE 59

Tabel 24. Transformasi Tinggi Gelombang Periode Ulang metode *Fisher Tippet Type-1* 61

Tabel 25. Validasi Data Transformasi Gelombang ECMWF dengan Data Lapangan pada Tanggal 17-18 Maret 2016..... 62

Tabel 26. Validasi Tinggi Gelombang ECMWF dengan Data BMKG Berdasarkan Nilai MRE 62



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Koreksi Efek Lokasi.....	10
Gambar 2. Prosedur Peramalan Gelombang Melalui Data Angin	12
Gambar 3. Angin Monsun Barat.....	15
Gambar 4. Angin Monsun Timur	15
Gambar 5. Langkah-langkah Pengolahan Arah dan Kecepatan Angin di <i>WRPlot View</i>	22
Gambar 6. Diagram Alir Penelitian.....	34
Gambar 7. Pola Garis Lurus Hubungan Antara Variabel dalam Persamaan Regresi ..	36
Gambar 8. Peta Titik Lokasi Penelitian di Pantai Kuta	38
Gambar 9. Jenis Perlindungan di Pantai Kuta Bali (<i>Technical Report Consevation of Kuta, 2008</i>).....	40
Gambar 10. Hubungan antara Tinggi Gelombang dan Periode Gelombang di Tiap Pengulangan Pengukuran	42
Gambar 11. Diagram Mawar Angin Musim Barat Memiliki Arah Hembusan Dominan ke Arah Timur.....	44
Gambar 12. Grafik Frekuensi Kecepatan Angin Musim Barat Menunjukkan Kecepatan Dominan Berada pada Rentang 2-4 m/s.....	44
Gambar 13. Diagram Mawar Angin Musim Peralihan 1 Menampilkan Arah Hembusan Angin Dominan ke Arah Barat Laut.....	45
Gambar 14. Grafik Frekuensi Kecepatan Angin Musim Peralihan 1 Menunjukkan Frekuensi Kecepatan Angin dengan Nilai Rentang 2-4 m/s	46
Gambar 15. Diagram Mawar Angin Musim Timur Didapatkan Arah Dominan Hembusan Angin ke Arah Barat Laut.....	47
Gambar 16. Grafik Frekuensi Kecepatan Angin Musim Timur Menunjukkan Nilai Dominan antara 4-6 m/s dan 6-9 m/s.....	48
Gambar 17. Diagram Mawar Angin Musim Peralihan 2 Didapatkan Arah Dominan Hembusan Angin ke Arah Barat Laut dan ke Arah Barat	49
Gambar 18. Grafik Frekuensi Kecepatan Angin Musim Peralihan 2 Memperlihatkan Nilai Kecepatan Angin Dominan di Angka 4-6 m/s.....	49
Gambar 19. Diagram Mawar Angin Selama 10 Tahun Menunjukkan Arah Dominan Hembusan Angin ke Arah Barat Laut.....	51
Gambar 20. Grafik Frekuensi Kecepatan Angin Selama 10 Tahun Memiliki Nilai Dominan Kecepatan Angin 4-6 m/s.....	51

Gambar 21. Hubungan Antara Periode Gelombang dengan Tinggi Gelombang Tiap Musim..... 55

Gambar 22. Hubungan Antara Kecepatan Angin dengan Tinggi Gelombang Tiap Musim 55

Gambar 23. Hubungan Antara Kecepatan Angin dengan Periode Gelombang Tiap Musim..... 56

Gambar 24. Dendogram Analisis Hasil *Clustering* berdasarkan Karakteristik Kecepatan Angin dan Gelombang 57

Gambar 25. Grafik Regresi Perkiraan Gelombang dengan Metode *Fisher Tippet Type-1* 60

Gambar 26. Grafik Regresi Perkiraan Gelombang dengan Metode *Weibull*..... 60



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Contoh Data Tinggi dan Periode Gelombang ECMWF	74
Lampiran 2. Data Angin ECMWF	75
Lampiran 3. Data BMKG	76
Lampiran 4. Data Primer Pengukuran Tinggi dan Periode Gelombang	77
Lampiran 5. Perhitungan Probabilitas Gelombang Periode Ulang Metode <i>Fisher Tippet Type-1</i> dan <i>Weibull</i>	79
Lampiran 6. Perhitungan Probabilitas Gelombang Periode Ulang Metode <i>Weibull</i>	79
Lampiran 7. Perhitungan Transformasi Gelombang Stasiun 1	80
Lampiran 8. Perhitungan Transformasi Gelombang Stasiun 2	80
Lampiran 9. Perhitungan Transformasi Gelombang Metode <i>Fisher Tippet Type-1</i>	81
Lampiran 10. Dokumentasi Lapangan	82



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gelombang laut merupakan salah satu parameter oseanografi yang sangat penting, sering lebih dipertimbangkan daripada parameter lingkungan lainnya yang mempengaruhi bangunan pantai dan laut. Gelombang tersebut telah dijadikan prosedur standar dalam perencanaan bangunan pantai, berbeda dengan prosedur perencanaan untuk bangunan darat (Sulaiman, 1993; Triana, 2008). Gelombang laut terjadi akibat adanya gejala alam yang terjadi di laut seperti angin, gempa bumi, gaya gravitasi bumi, gaya coriolis, dan tegangan permukaan (Koutita, 1988; Agustino, 2014).

Gelombang laut sangat dipengaruhi oleh gaya tekanan atmosfer khususnya angin. Ada tiga faktor yang menentukan karakteristik gelombang yang dibangkitkan oleh angin menurut Hutabarat dan Evans (1985) yaitu: (1) kecepatan angin (2) lamanya angin bertiup (3) jarak tanpa rintangan dimana angin sedang bertiup (*fetch*). Semakin lama angin bertiup, semakin besar jumlah energi yang dapat dihasilkan dalam pembangkitan gelombang. Demikian halnya dengan *fetch*, gelombang yang bergerak keluar dari daerah pembangkitan gelombang hanya memperoleh sedikit tambahan energi.

Gelombang yang menuju ke pantai bentuk gelombangnya akan berubah dan akhirnya pecah begitu mereka sampai di pantai. Hal ini disebabkan karena gerakan melingkar dari partikel-partikel yang terletak di bagian paling bawah gelombang dipengaruhi oleh gesekan dari dasar laut di perairan yang dangkal. Bekas jalan kecil yang ditinggalkan oleh mereka kemudian berubah menjadi bentuk elips. Hal ini mengakibatkan perubahan yang besar terhadap sifat gelombang (Purwanto, 2011).

Kebanyakan kondisi gelombang di suatu perairan diperoleh secara tidak langsung dari data angin yang terdapat di suatu kawasan perairan. Hal tersebut didasari atas kondisi umum yang berlaku di laut, yaitu sebagian besar gelombang yang ditemui di laut dibentuk oleh energi yang ditimbulkan oleh tiupan angin. Prinsip terjadinya pembangkitan gelombang oleh angin yaitu, adanya perpindahan energi dari angin ke air melalui permukaan air. Angin yang berhembus di atas permukaan air yang semula tenang akan memindahkan energinya ke air yang dapat menyebabkan gangguan pada permukaan dengan timbulnya riak-riak gelombang. Besar kecilnya energi yang diperoleh bergantung pada lamanya angin bertiup, kecepatan angin dan jarak tempuh di atas air yang dilintasi angin selama berhembus. Semakin lama dan semakin kencang kekuatan angin berhembus, maka semakin besar pula gelombang yang terbentuk. Daerah dimana gelombang dibentuk disebut dengan daerah pembangkit atau pembentukan gelombang (Edy, 2013).

Pantai Kuta terletak di sebelah barat Pulau Bali tepatnya di Kecamatan Kuta, Kelurahan Kuta dengan batas-batas administrasi dan batas alam, yaitu sebelah utara Desa Adat Legian, sebelah barat Samudra Hindia sebelah selatan, Desa Adat Tuban sebelah timur Desa Adat Pemongan, sedangkan batas alam sebelah utara Pantai Legian, sebelah barat Samudra Hindia, sebelah selatan, Pantai Tuban, sebelah timur, jalan raya dan permukiman penduduk.

Pantai Kuta menyimpan permasalahan terutama masalah erosi. Berbatasan langsung dengan Samudera Hindia yang memiliki gelombang tinggi menyebabkan Pantai Kuta rawan tererosi. Salah satu ancaman terhadap lingkungan pesisir yaitu tingginya gelombang yang dapat menyebabkan kawasan pantai mengalami erosi dan sedimentasi (Nizam, 1986; Ladys, 2012). Menurut penelitian (Tanimoto dan Uda, 1990; Wijayanti *et al.*, 2012) terjadi abrasi sebesar 16.000 m³/tahun dalam rentang waktu 10 tahun yaitu pada 1978 sampai 1988.

Menurut penelitian Wicaksana *et al.*, (2004) menunjukkan bahwa elevasi Pantai Kuta rentan terhadap ancaman pantai khususnya gelombang. Pada pemberitaan Tempo (2016) gelombang tinggi mencapai 4 meter pada 8 Juni 2016 dan menggenangi sampai ke jalan yang berada di depan Pantai Kuta. Oleh sebab itu dalam pengembangan dan pengamanan daerah pesisir serta perlindungan penduduk maka perlu mengetahui karakteristik gelombang yang terjadi di pantai tersebut yang merupakan salah satu sumber erosi pantai. Berdasarkan hal tersebut penulis berkeinginan untuk melakukan analisis karakteristik gelombang yang ada di Pantai Kuta agar permasalahan yang ada di Pantai Kuta salah satunya erosi yang disebabkan oleh gelombang dapat teratasi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas rumusan masalah pada penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

1. Bagaimana distribusi arah dan kecepatan angin secara musiman di Pantai Kuta?
2. Bagaimana tinggi gelombang yang telah mengalami transformasi secara musiman di Pantai Kuta?
3. Bagaimana tinggi gelombang yang telah dilakukan transformasi gelombang pada peramalan tinggi gelombang periode ulang di Pantai Kuta?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui distribusi arah dan kecepatan angin secara musiman di Pantai Kuta
2. Mengetahui tinggi gelombang yang telah mengalami transformasi gelombang secara musiman di Pantai Kuta
3. Mengetahui transformasi tinggi gelombang pada peramalan gelombang dengan tinggi gelombang periode ulang di Pantai Kuta

1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang dari penelitian ini adalah:

1. Menambah pengetahuan, wawasan, dan kemampuan dalam menganalisis karakteristik gelombang yang sangat diperukan untuk studi bangunan pantai dan keadaan erosi di pantai
2. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini dapat dijadikan acuan untuk penelitian, perencanaan, pembangunan serta pengelolaan pantai pada daerah setempat

1.5 Waktu dan Tempat Penelitian

Rangkaian kegiatan dalam pelaksanaan penelitian ini terdiri dari penyusunan proposal, pengambilan data, pengolahan analisis data, dan pengerjaan laporan. Waktu penelitian dan pengerjaan laporan yaitu selama 5 bulan terhitung dari bulan Februari hingga Juni 2016.



2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Gelombang

Menurut Triatmodjo (1999), berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air (d) dan panjang gelombang (L) sehingga menjadi (d/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam. Klasifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 yaitu:

Tabel 1. Klasifikasi Gelombang Berdasarkan Kedalaman Relatif

Klasifikasi	Keterangan
Gelombang di laut dangkal	$d/L \leq 1/20$
Gelombang di laut transisi	$1/20 < d/L < 1/2$
Gelombang di laut dalam	$d/L \geq 1/2$

Menurut Nawisworo dan Sarlina (2006) berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air dan panjang gelombang L , (d/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi tiga macam dapat dilihat pada Tabel 2 yaitu:

Tabel 2. Klasifikasi Gelombang

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

Keterangan:

- L = panjang gelombang
- T = periode gelombang
- g = percepatan gravitasi
- π = phi (22/7)

- d = Kedalaman laut
- C = Kecepatan rambat gelombang (L/T)
- C_0 = Kecepatan rambat gelombang laut dalam (L/T)

2.2 Gelombang

Menurut Azis (2006), gelombang laut menggambarkan transmisi energi dan momentum. Gelombang laut selalu menimbulkan sebuah ayunan air yang bergerak tanpa henti-henti. Terjadi pada lapisan permukaan laut dan jarang dalam keadaan yang sama sekali diam. Hembusan angin pada cuaca yang sepoi-sepoi dan yang tenang sekalipun sudah dapat untuk menimbulkan riak gelombang. Sebaliknya, dimana dalam keadaan badai yang besar pula, yang dapat mengakibatkan suatu kerusakan di daerah pantai. Jika gelombang dalam skala besar dapat disebut dengan gelombang tsunami.

Gelombang adalah pergerakan naik turunnya air laut dengan arah yang tegak lurus yang membentuk kurva atau grafik *sinusoidal*. Angin merupakan salah satu pembangkit terjadinya gelombang di perairan. Angin yang bertiup di atas laut memindahkan energinya ke perairan laut sehingga menyebabkan terjadinya riak-riak dan selanjutnya akan berubah menjadi yang namanya disebut gelombang. Ada 3 faktor yang menentukan karakteristik gelombang yang dibangkitkan oleh angin, yaitu lamanya angin bertiup, kecepatan angin dan *fetch*. Semakin lama angin bertiup maka semakin besar juga gelombang yang akan ditimbulkan (Samulano, 2012).

2.3 Angin

Nybakken (1988) menyatakan bahwa gelombang terbesar biasanya terjadi pada laut terbuka, dimana angin dapat bertiup melalui jarak tempuh yang sangat jauh, setelah gelombang keluar dari daerah badai, maka tingginya berangsur-angsur berkurang dan sementara gelombang itu bergulung-gulung ke darat, dan ketika gelombang memasuki perairan dangkal dan mulai mengalami hambatan gesekan dari dasar perairan, gerakan maju dari gelombang akan terhambat dan

panjang gelombang akan berkurang, akibatnya tinggi gelombang meningkat dan menjadi makin terjal.

Tinggi dan periode ombak yang dibangkitkan oleh angin meliputi kecepatan angin, lama berhembus, arah angin, dan *fetch*. *Fetch* adalah daerah dimana kecepatan dan arah angin konstan. Arah angin dianggap konstan apabila perubahan-perubahannya tidak lebih dari 15° . Sedangkan kecepatan angin masih dianggap konstan jika perubahannya tidak lebih dari 5 knot (Triatmodjo,1999). Angin yang berhembus dengan kecepatan kurang dari 3 km per jam di atas air, akan membangkitkan ombak yang kecil. Sebaliknya bila kecepatan lebih dari 3 km per jam, ombak akan terbangkit lebih besar dan akan merambat sesuai dengan arah pergerakan dari angin (Kramadibrata, 1985).

2.4 Pembangkitan Gelombang oleh Angin

Pembangkitan gelombang oleh angin, angin yang berhembus di atas permukaan air 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. Apabila kecepatan angin bertambah, riak tersebut menjadi semakin besar, dan apabila angin berhembus terus akhirnya akan terbentuk gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus, semakin besar gelombang yang terbentuk (Triatmodjo, 1999).

Fetch dapat juga dikatakan sebagai panjang daerah dimana kecepatan dan arah angin adalah konstan. *Fetch* dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentukan gelombang, gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Arah angin masih dianggap konstan apabila perubahannya tidak lebih dari 15° , dan kecepatan anginnya masih tidak lebih dari 5 knot terhadap kecepatan rerata (Hidayat, 2005).

2.5 Metode Peramalan Gelombang

Cara melakukan prediksi gelombang dengan menggunakan data angin. Pertama menggunakan data angin yang telah melalui *filterisasi* durasi dan percepatan angin. Peramalan gelombang dilakukan dengan menggunakan metode SMB. Selain itu, peramalan gelombang dengan metode lain yaitu *Derby Shire*. Metode SMB digunakan untuk peramalan gelombang dalam. Sedangkan Metode *Derby Shire* digunakan untuk memprediksi gelombang perairan dangkal (Hadi dan Sugiarto, 2012).

Peramalan gelombang dapat digunakan dengan data angin. Data angin yang digunakan berasal dari data angin yang ada di permukaan laut pada lokasi pembangkit. Data angin merupakan data murni yang diperoleh dari pengukuran xangin langsung di laut atau di daratan terdekat. Satuan kecepatan angin di gunakan 1 knot: 1,852 km/jam. Peramalan data angin dilakukan dalam satu jam sekali (Hidayat, 2015).

2.6 Penggunaan Data Angin untuk Prediksi Gelombang

Variasi besar tingginya gelombang dipengaruhi oleh faktor musim angin dimana angin yang besar cenderung berpotensi menghasilkan gelombang besar yang dapat mengganggu keselamatan pelayaran. Pencatatan angin jam-jaman tersebut dapat diketahui angin dengan kecepatan tertentu dan durasinya, kecepatan angin maksimum, arah angin dan dapat pula dihitung kecepatan angin rerata harian. Pendugaan tinggi gelombang diperlukan untuk menjamin keselamatan bagi pengguna angkutan laut (Dewi, 2011).

Angin yang berhembus di atas permukaan air akan memindahkan eneginya 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. Apabila angin berhembus terus akhirnya akan terbentuk gelombang. Semakin lama dan semakin kuat angin berhembus,

semakin besar gelombang yang terbentuk. Tinggi dan periode gelombang yang dibangkitkan dipengaruhi oleh angin yang meliputi kecepatan angin, lama hembusan angin, arah angin dan *fetch* (Triatmodjo, 1999).

Angin dapat menyebabkan terjadinya gelombang laut, oleh karena itu data angin bisa digunakan untuk memperkirakan tinggi dan arah gelombang di lokasi penelitian. Data angin diperlukan sebagai data masukan dalam peramalan gelombang sehingga diperoleh tinggi gelombang rencana. *Hindcasting* gelombang akan menghasilkan perkiraan tinggi (H) dan perioda (T) gelombang akibat adanya angin dengan besar, arah, dan durasi tertentu. Jadi, *hindcasting* gelombang dimaksudkan untuk mengalih-ragamkan (transformasi) data angin menjadi data gelombang. Rumus perkembangan gelombang dipisahkan berdasarkan ciri atau kondisi kedalaman (CERC, 1984). Menentukan durasi minimum *fetch*, yang dibutuhkan untuk daerah gelombang menjadi *fetch limited*: Menentukan karakter dari perkembangan gelombang apakah *duration limited* atau *fetch limited*.

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:

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

Keterangan:

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

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

z = ketinggian pengukuran (m)

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

Persamaan yang digunakan dalam koreksi stabilitas yaitu:

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

Keterangan:

- U = kecepatan angin setelah dikoreksi (m/s)
- R_T = koefisien stabilitas
- U_{10} = kecepatan angin sebelum dikoreksi (m/s)

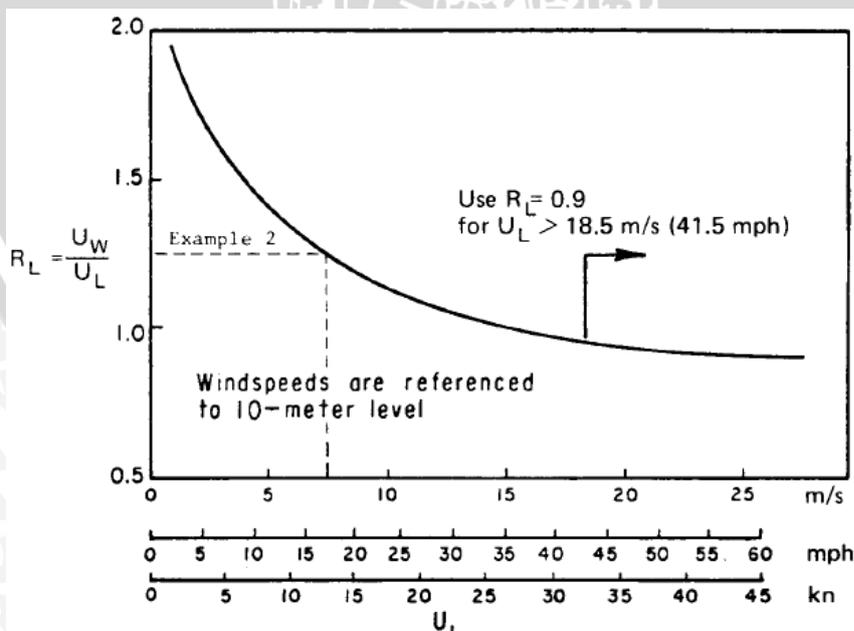
Jika data suhu udara dan air tidak diketahui (data untuk membaca grafik), maka besarnya nilai R_T adalah 1.1.

Koreksi ini perlu dilakukan jika data angin yang diperoleh berasal dari stasiun darat bukan diukur langsung diatas permukaan laut. Seperti pada Gambar 1 menunjukkan koreksi efek lokasi. Persamaan yang digunakan dalam koreksi efek lokasi adalah:

$$U_W = 1.2 U_L \text{ m/s}$$

Keterangan:

- U_W = kecepatan angin diatas permukaan laut (m/s)
- U_L = kecepatan angin didarat (m/s)



Gambar 1. Koreksi Efek Lokasi

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

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

Keterangan:

U_A = wind stress factor (m/s)
 U = kecepatan angin (m/s)

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 (Triatmodjo,1999). Persamaan yang digunakan dalam menghitung *Fetch* adalah sebagai berikut:

$$F_{eff} = \frac{\sum Xi \cos \alpha}{\sum \cos \alpha}$$

Keterangan:

F_{eff} = *fetch* rerata efektif
 Xi = panjang segmen *fetch* yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*
 α = sudut deviasi pada kedua sisi dari arah angin

Peramalan gelombang untuk menentukan tinggi dan periode gelombang adalah dengan menggunakan metode SMB (*Sverdrup Munk Bretschneider*). Pada metode SMB menunjukkan bahwa arah angin, kecepatan, dan panjang wilayah bertiupnya angin (*Fetch*) merupakan faktor yang paling menentukan terhadap tinggi dan periode gelombang. Persamaan-persamaan empiris yang diberikan pada metode SMB adalah sebagai berikut (CERC,1984).

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

$$\frac{g^* T_m}{U_A^2} = 2.857 \times 10^{-1} \times \left(\frac{g^* F}{U_A^2}\right)^{1/3}$$

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

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 :

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

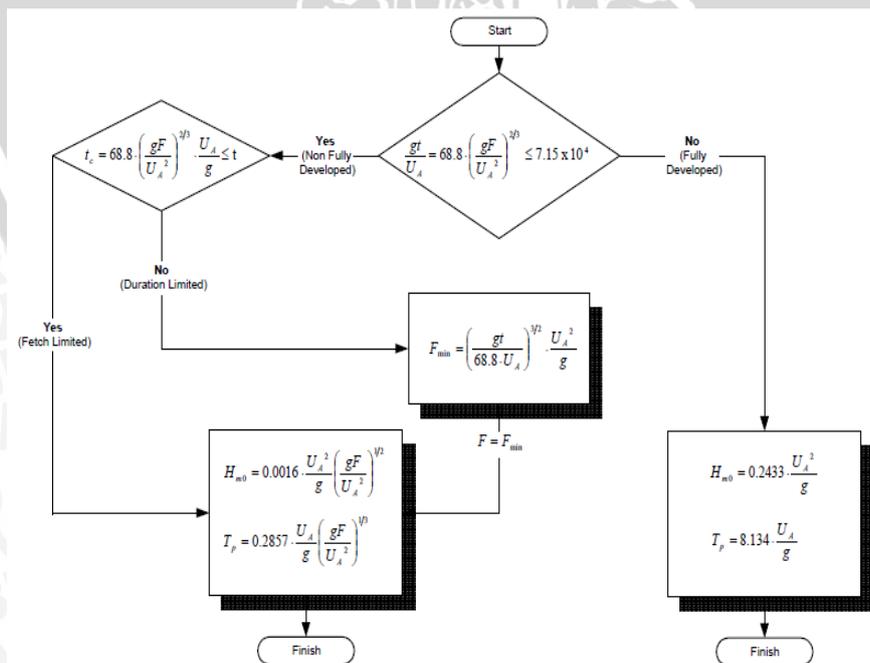
$$\frac{g^* T_m}{U_A} = 8.134$$

$$\frac{g^* t}{U_A} = 7.15 \times 10^4$$

Keterangan:

- H_{mo} = tinggi gelombang signifikan (m)
- T_m = periode gelombang puncak (s)
- F = panjang *fetch*
- U_A = Faktor tegangan angin (m/s)

Prosedur peramalan gelombang melalui data angin dapat digunakan diagram alir seperti yang tertera pada Gambar 2. Analisis perbandingan dengan menggunakan persamaan $\frac{gt}{U_A} = 68.8 \left(\frac{g F_{eff}}{U_A^2}\right)^{2/3} \leq 7.15 \times 10^4$



Gambar 2. Prosedur Peramalan Gelombang Melalui Data Angin

2.7 Transformasi Gelombang

Menurut US Army (1992) 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 berubah dengan berkurangnya kedalaman (*shoaling*), sehingga dapat diamati bahwa muka gelombang cenderung sejajar dengan kedalaman. Hal ini disebabkan perubahan bilangan gelombang yang mengakibatkan perubahan kecepatan fase gelombang. Bila keadaan pantai landai, ada kemungkinan bahwa gelombang tersebut tidak pecah tetapi pemantulan ombak (refleksi).

Menurut Ningsih (2000), pada pertumbuhan gelombang laut dikenal beberapa istilah seperti :

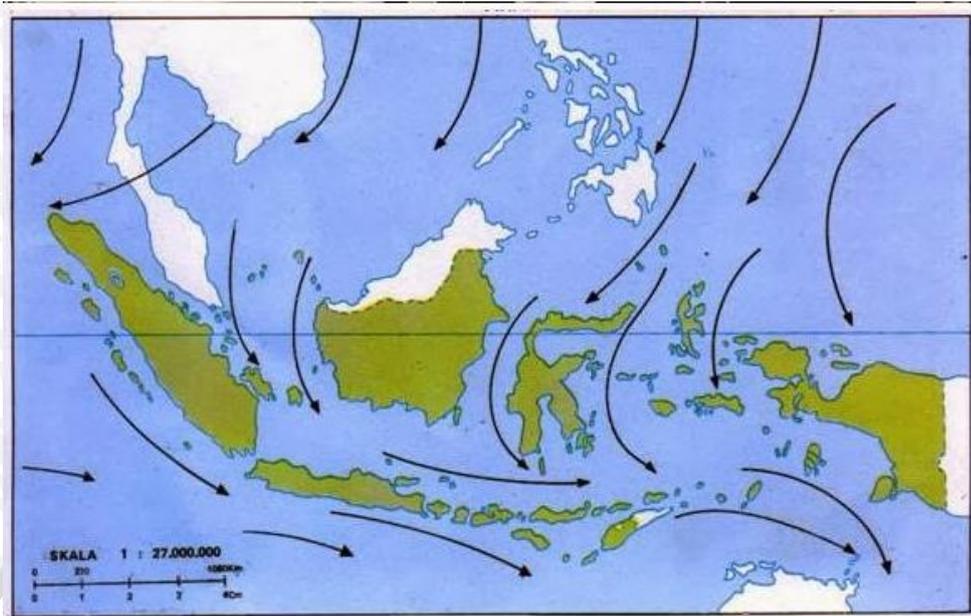
- 1) *Fully developed seas*, kondisi di mana tinggi gelombang mencapai harga maksimum (terjadi jika *fetch* cukup panjang).
- 2) *Fully limited-condition*, pertumbuhan gelombang dibatasi oleh *fetch*. Dalam hal ini panjang *fetch* (panjang daerah pembangkit angin) dapat dibatasi oleh garis pantai atau dimensi ruang dari medan angin
- 3) *Duration limited-condition*, pertumbuhan gelombang dibatasi oleh lamanya waktu dari tiupan angin
- 4) *Sea waves*, gelombang yang tumbuh di daerah medan angin. Kondisi gelombang di sini adalah curam yaitu panjang gelombang berkisar antara 10 sampai 20 kali lebih tinggi gelombang
- 5) *Swell waves (swell)*, gelombang yang tumbuh (menjalar) di luar medan angin.

Kondisi gelombang di sini adalah landai yaitu panjang gelombang berkisar antara 30 sampai 500 kali tinggi gelombang. Gelombang menjadi tidak stabil

(pecah) jika terlampau curam atau tinggi gelombangnya mencapai batas tertentu. Tipe-tipe gelombang pecah dapat dikategorikan menjadi 4 bagian yaitu: *spilling*, *plunging*, *surging* dan *collapsing*. *Spilling* terjadi pada pantai yang datar (kemiringan kecil) dimana gelombang dimulai pecah pada jarak yang cukup jauh dari pantai dan pecahnya terjadi berangsur-angsur. *Plunging* terjadi apabila kemiringan gelombang dan dasar bertambah, gelombang akan pecah dan puncak gelombang akan memutar dengan masa air pada puncak gelombang akan terjun ke depan. *Surging* terjadi pada pantai dengan kemiringan yang sangat besar seperti pada pantai berkarang. Sedangkan *collapsing* merupakan kombinasi dari *plunging* dan *surging* (Triatmodjo, 1999).

2.8 Angin Monsun

Angin monsun disebabkan oleh terjadinya pemanasan yang berlebihan di daerah Australia yang dimana pemanasan ini lebih besar bila dibandingkan dengan yang diterima di Asia Tenggara dan laut Cina selatan. Pemanasan ini pula yang menyebabkan terjadinya perbedaan tekanan udara di Australia dan Asia Tenggara dimana di bagian Australia memiliki tekanan udara yang lebih rendah dibandingkan dengan di Asia Tenggara. Perbedaan tekanan udara inilah yang menyebabkan arah angin di atas khatulistiwa bergerak ke arah timur laut, dan pada bagian selatan khatulistiwa bergerak ke arah barat laut. Angin monsun sendiri terbagi menjadi dua yaitu angin monsun barat dan angin monsun timur. Angin monsun barat sendiri merupakan hembusan angin yang berhembus dari laut Cina Selatan menuju Australia dan biasanya berlangsung pada Desember hingga Februari, sedangkan Angin monsun timur sendiri merupakan kebalikan dari angin monsun barat yang dimana angin monsun timur ini berhembus dari daerah Australia hingga ke Asia Tenggara dan terjadi pada bulan Juni hingga Agustus (Wyrтки, 1961). Gambar angin Monsun Barat dan Monsun Timur dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Angin Monsun Barat



Gambar 4. Angin Monsun Timur

2.9 *The European Center for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF)*

The European Center for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF) dikenal menyediakan ramalan cuaca global yang paling akurat dengan jarak sampai 15 hari dan prakiraan musiman sampai 12 bulan. Layanan Meteorologi Nasional Negara-negara Anggota dan Amerika bekerjasama menggunakan ECMWF adalah produk untuk tugas-tugas nasional mereka sendiri, khususnya

untuk memberikan peringatan dini pada warga jika terjadi cuaca buruk yang berpotensi merusak (Schlitzer, 2002).

The European Center for Medium-range Weather Forecasts (ECMWF) adalah organisasi antar pemerintah secara mandiri yang didukung oleh 34 negara. ECMWF merupakan sebuah lembaga penelitian dan dengan layanan operasional secara penuh, memproduksi dan menyebarkan prediksi cuaca secara numerik untuk negara-negara anggotanya. Data ini sepenuhnya tersedia untuk layanan meteorologi nasional di negara-negara anggota. Pusat juga menawarkan katalog data perkiraan yang dapat dibeli dan digunakan di seluruh dunia dan pelanggan komersial lainnya. Fasilitas superkomputer (terkait arsip data) di ECMWF adalah salah satu yang terbesar dari jenisnya di Eropa dan negara-negara anggota dapat menggunakan 25% dari kapasitas untuk tujuan mereka sendiri (Yuliarinda, 2012).

2.10 Ocean Data View (ODV)

Ocean Data View adalah suatu program komputer perangkat lunak yang dibuat oleh R. Schlitzer berfungsi untuk menampilkan hasil eksplorasi dari oseanografi dan tampilan geo-referensi, juga urutan data (*grid data*) secara interaktif. ODV menghasilkan *output* data dengan tipe file txt, *output* dari pengolahan dengan ODV berupa profil sebaran vertikal (berupa grafik menegak) dan bagian vertikal (iris melintang) (Yuliarinda, 2012).

Ocean Data View (ODV) adalah paket *freeware* untuk eksplorasi interaktif dan tampilan grafis dari multiparameter profil atau urutan data. Meskipun awalnya dikembangkan untuk pengamatan oseanografi saja, kemudian dikembangkan ke bidang lainnya seperti misalnya geologi, geofisika, geografi dan penelitian atmosfer dapat dieksplorasi dengan ODV juga. Format data ODV dirancang untuk penyimpanan dan akses data secara langsung, dan memungkinkan pembangunan kumpulan data yang sangat besar, bahkan terjangkau dan mudah digunakan. ODV

mendukung tampilan data asli dengan titik-titik berwarna atau nilai data secara aktual di lokasi pengukuran. (Schlitzer, 2002).

2.11 *Wind Rose Plot View (WRPlot View)*

Diagram angin mawar (*Wind rose Plot*) adalah bagan yang memberikan penjelasan dengan bagaimana kecepatan angin dan arah angin terdistribusi di lokasi secara khusus dalam periode waktu tertentu. Hal ini sangat mewakili keadaan karena kuantitas data diringkas dalam satu bagan. Pada tabel atau mawar angin tersebut maka karakteristik angin dapat dibaca dengan cepat. Tabel dan gambar tersebut menunjukkan presentasi kejadian angin dengan kecepatan tertentu dari berbagai arah dalam waktu pencatatan (Weblakes, 2013)

Lakes Environmental sebuah perusahaan penghasil perangkat lunak yang menawarkan aplikasi *Wind Rose Plot View (WRPlot View)* yang dapat melakukan perhitungan dalam menghasilkan diagram *wind rose* serta distribusi frekuensi data angin dengan cepat dan dapat ditumpangtindihkan ke dalam peta *google earth* sehingga informasi hasil analisis arah dan kecepatan angin landas pacu (*runway*) bandar udara menjadi lebih informatif dan interaktif. Salah satu perangkat lunak yang dihasilkan adalah *WRPlot View* yang dapat melakukan penghitungan frekuensi, prosentase, serta menampilkan diagram klasifikasi data arah dan kecepatan angin dalam jumlah yang besar (Fadhloli, 2013).

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari hingga Juni 2016. Data pengukuran secara langsung di lapangan dilakukan pada tanggal 17 dan 18 Maret 2016. Data yang didapat, diolah dan dianalisis di Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Brawijaya, Malang.

3.2 Teknik Pengumpulan Data

Sumber data merupakan subjek dari mana data dapat kita peroleh, jika data diperoleh dengan menggunakan kuisioner ataupun wawancara maka sumber data itu disebut responden. Tetapi jika sumber data tersebut merupakan benda, gerak atau proses tertentu, maka disebut dengan teknik observasi. Apabila diperoleh dengan menggunakan dokumentasi, maka dokumen atau catatan yang menjadi sumber data (Arikunto, 2006). Pada dasarnya teknik pengumpulan data yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ada dua macam, yaitu data primer dan data sekunder.

3.2.1 Data Primer

Data primer merupakan data yang dalam proses pengambilannya dilakukan oleh peneliti secara langsung di daerah yang menjadi tempat penelitian. Menurut Marshall dan Rosssman (2006) data primer dibagi menjadi tiga teknik yaitu observasi, partisipasi, dan wawancara dimana ketiga teknik tersebut mengutamakan pada seorang peneliti untuk mencatat dan merekam suatu kejadian atau perilaku dari suatu objek yang diteliti di lapangan.

Pada penelitian ini, peneliti mengumpulkan data primer berupa posisi koordinat stasiun dan data gelombang selama dua hari. Pengambilan sampel dilakukan dengan bantuan alat berupa tongkat skala, *stopwatch*, kompas, *Global Positioning Systems Maps (GPS Maps)* dan dicatat manual pada buku catatan.

Pengukuran gelombang di lapangan di lakukan di dua titik stasiun dengan dua kali pengulangan, diasumsukan kedua titik tersebut cukup untuk mewakili keadaan di lokasi penelitian.

3.2.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang didapatkan peneliti dari pertanyaan yang diajukan pada peneliti lain atau suatu lembaga, dalam pengumpulan data ini peneliti tidak berpartisipasi baik dari segi desain penelitian maupun pengumpulan data, data sekunder yang didapatkan berfungsi untuk menjawab pertanyaan penelitian secara umum (Boslaugh, 2007).

Menurut Marzuki (2002), data sekunder adalah data yang pengumpulannya bukan diusahakan sendiri secara langsung, tetapi diambil dari laporan-laporan, jurnal penelitian, majalah maupun bahan kepustakaan lainnya yang menunjang. Data sekunder pada penelitian ini terdiri dari dua macam data *ex situ*, yaitu:

1. Data angin selama 10 tahun (2006-2015) yang didapat dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Kuta, Badung, digunakan sebagai data pembanding untuk prediksi gelombang dan analisis karakteristik gelombang (H_s , H_{max} , H_{100}). Data BMKG yang didapat di stasiun POS Ngurah Rai, Kecamatan Kuta, Kabupaten Badung, Provinsi Bali dengan titik koordinat $008^{\circ}44'51''\text{LS}-115^{\circ}10'09''\text{BT}$
2. Data periode gelombang, tinggi gelombang, serta arah dan kecepatan angin selama 10 tahun (2006-2015) yang didapat dari ECMWF. Data ini data pengolahan untuk analisis karakteristik gelombang. Titik koordinat ECMWF diambil pada titik $008^{\circ}45'00''\text{LS}-115^{\circ}07'30''\text{BT}$, titik ini diambil karena titik terdekat dengan lokasi penelitian di Pantai Kuta

3.3 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini dibutuhkan beberapa alat dan bahan untuk mempermudah melaksanakan penelitian. Alat yang digunakan untuk mendukung penelitian ini digunakan dari tahap pengambilan, pengolahan, hingga verifikasi data. Adapun alat digunakan selama penelitian dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Alat-alat yang Digunakan Selama Penelitian

Alat	Fungsi
Laptop dengan spesifikasi RAM 4 GB, 64-bit	Untuk mengolah data
Tongkat skala (2 meter)	Untuk mengukur tinggi gelombang
<i>Stopwatch</i>	Untuk menghitung periode gelombang
Kompas	Untuk mengetahui arah mata angin
<i>Google Earth</i>	Untuk mencari <i>fetch</i>
<i>Microsoft Excel 2016</i>	Untuk pengolahan data
<i>ArcMap 10.2</i>	Untuk pembuatan peta lokasi
<i>WRPlot View</i>	Untuk pembuatan diagram angin
<i>Microsoft Word 2016</i>	Untuk pengerjaan laporan
Buku Catatan	Untuk alas mencatat tinggi dan periode gelombang

Sedangkan, bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Bahan-bahan yang Digunakan Selama Penelitian

Bahan	Fungsi
Data Angin BMKG	Data yang akan digunakan untuk perbandingan hasil pengolahan
Data tinggi dan periode gelombang ECMWF	Data akan digunakan untuk mengetahui karakteristik di lokasi penelitian
Data arah dan kecepatan angin ECMWF	Data akan digunakan untuk mengetahui sebaran arah dan kecepatan angin di lokasi penelitian

3.4 Proses Pengolahan Data Angin

Data yang digunakan dalam proses pengolahan adalah data angin perairan Kuta tahun 2006-2015 yang didapatkan dari ECMWF. Data angin tersebut diinterpolasi setiap 6 jam sekali yaitu 00:00, 06:00, 12:00, dan 18:00 yang terdiri dari tanggal, waktu pengukuran, arah dan kecepatan angin. Angin dapat menyebabkan terjadinya gelombang, sehingga data angin dapat digunakan untuk

memperkirakan persebaran arah gelombang sesuai dengan daerah yang akan dikaji.

3.4.1 Penentuan Arah Angin Dominan Berdasarkan Musim

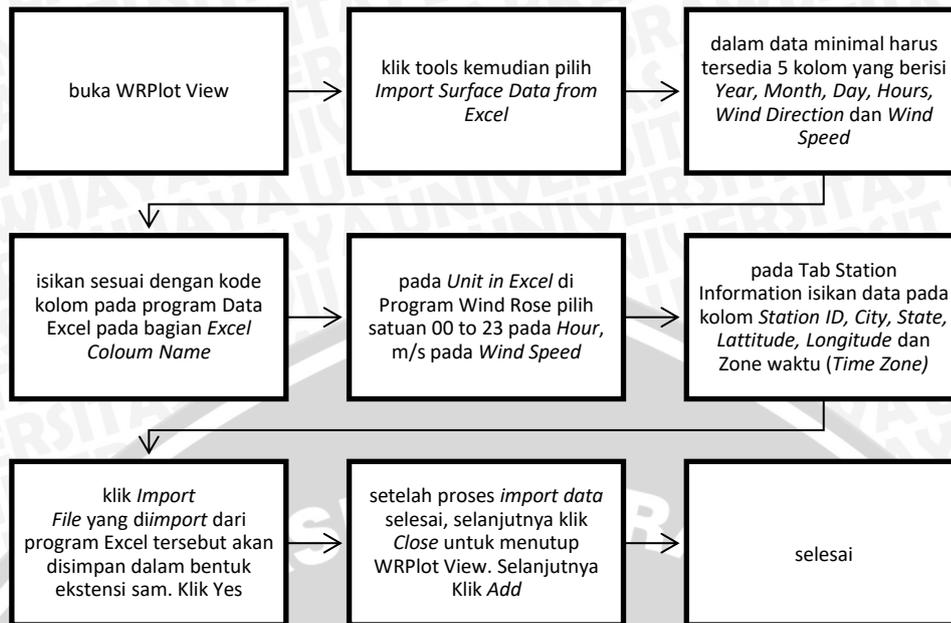
Pengolahan data angin untuk menentukan arah angin dominan berdasarkan musim dibagi menjadi empat yang meliputi Musim Barat (Desember, Januari, Februari), Musim Peralihan I (Maret, April, Mei), Timur (Juni, Juli, Agustus), dan Musim Peralihan II (September, Oktober, November). Pengolahan tersebut bertujuan untuk mengetahui arah angin dominan yang terjadi berdasarkan setiap musim yang ada, kemudian juga akan diketahui besarnya tinggi dan periode gelombang yang terjadi pada tiap - tiap musim. Arah mata angin dapat dilihat pada

Tabel 5.

Tabel 5. Arah Mata 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

Penentuan arah dan kecepatan angin diolah menggunakan *software WRPlot View*. Adapun langkah-langkah pengolahan arah dan kecepatan angin dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Langkah-langkah Pengolahan Arah dan Kecepatan Angin di WRPlot View

3.5 Pengolahan Data Gelombang Berdasarkan Data Angin

Angin merupakan faktor utama pembangkit gelombang di laut. Menurut Triatmodjo (1999), pembangkitan gelombang oleh angin bergantung pada kecepatan angin, lama hembusan angin (durasi), arah angin dan *fetch*. Sehingga untuk memprediksi data angin menjadi data gelombang perlu dilakukan pengumpulan empat data tersebut. Data angin yang ada, perlu dilakukan koreksi terlebih dahulu karena beberapa hal, misalnya pengukuran angin yang dilakukan di darat, pengukuran di atas kapal ataupun pengukuran data angin yang tidak pada ketinggian 10 meter di atas permukaan laut. Data-data pengukuran tersebut perlu dikoreksi berdasarkan metode SMB sesuai acuan dari data buku *Shore Protection Manual* (SPM) (1984). Langkah-langkah pengolahan data gelombang berdasarkan angin sebagai berikut:

- Penentuan arah angin dominan
- Penentuan arah angin dominan dilakukan menggunakan *WRPlot View*
- Penentuan panjang *fetch* efektif

Panjang *fetch* efektif diukur berdasarkan arah angin yang berhadapan dengan lokasi penelitian. Penentuan panjang *fetch* efektif ini dilakukan dengan menggunakan bantuan *google earth*, fungsinya agar dapat terlihat pulau-pulau atau daratan yang membatasi terbentuknya gelombang di lokasi yang akan diramalkan, hal ini karena pembentukan *fetch* dibatasi oleh daratan yang mengelilingi laut (Triatmodjo, 1999) yang dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cos \alpha}{\sum \cos \alpha}$$

Keterangan:

F_{eff} = *fetch* rerata efektif

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

α = sudut deviasi pada kedua sisi dari arah angin

– Penentuan *wind stress factor*

Koreksi ini dilakukan apabila data angin yang didapatkan tidak pada ketinggian 10 meter dari permukaan laut, lokasi pengukuran di darat dan adanya perbedaan suhu antara darat dan laut, maka data tersebut perlu dilakukan beberapa koreksi. Koreksi terhadap data angin yang harus dilakukan sebelum melakukan peramalan gelombang sebagai berikut:

- Elevasi

Koreksi elevasi ini dipakai jika data kecepatan angin yang ada untuk peramalan gelombang tidak pada ketinggian 10 meter di atas permukaan laut, akan tetapi data angin yang ada berada pada ketinggian z meter dari permukaan laut, maka data angin tersebut perlu dikonversi.

Konversi data angin pada z meter menjadi data angin pada ketinggian 10 meter dari muka air laut menggunakan persamaan:

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

Keterangan:

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

U_z = kecepatan angin pada ketinggian pengukuran (m/s)

z = ketinggian pengukuran (m)

Dimana U_{10} merupakan data kecepatan angin pada ketinggian 10 meter dari permukaan laut dan U_z merupakan data angin pada ketinggian z meter dari permukaan laut

- Koreksi lokasi pengamatan (R_L)

Koreksi lokasi ini dilakukan jika pengukuran angin dilakukan di daratan, padahal data angin yang diperlukan untuk permalan gelombang adalah data kecepatan angin di laut, sehingga perlu dilakukan koreksi transformasi dari data angin di darat terdekat dengan lokasi menjadi data angin di laut. Faktor koreksi ini disebut R_L . Untuk mendapatkan nilai R_L tersebut berdasarkan grafik hubungan antara angin di atas daratan dan angin di laut menurut grafik SPM. Apabila data kecepatan angin merupakan data yang dilakukan di laut, faktor koreksi R_L diabaikan atau dianggap faktor koreksi $R_L=1$

- Kecepatan rata-rata

Kecepatan rata-rata didapatkan dari data angin maksimum dengan durasi tertentu karena kecepatan maksimum mungkin terjadi hanya beberapa menit saja, sehingga kecepatan sisanya perlu ditentukan. Namun, apabila data tersebut merupakan kecepatan maksimum, tetapi data kecepatan rata-rata harian, maka koreksi kecepatan rata-rata sudah tidak diperlukan.

- Koreksi stabilitas (U)

Koreksi stabilitas perlu dilakukan karena adanya perbedaan suhu udara tempat bertiupnya angin dengan tempat terbentuknya gelombang. Persamaan yang digunakan dalam koreksi stabilitas yaitu:

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

Keterangan:

U = kecepatan angin setelah dikoreksi (m/s)

R_T = koefisien stabilitas

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

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

- Tegangan angin (U_A)

Untuk mendapatkan nilai tegangan angin setelah data angin dikonversi dengan koreksi di atas, maka dihitung dengan persamaan:

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

Keterangan:

U_A = *wind stress factor* (m/s)

U = kecepatan angin (m/s)

- Perhitungan tinggi gelombang peramalan (H_{mo}) dan periode gelombang (T_m), peramalan gelombang dilakukan setelah mendapatkan faktor tegangan angin setelah dilakukan berbagai koreksi (U_A), panjang *fetch* efektif dan arah angin (α), maka digunakan persamaan untuk peramalan tinggi dan periode gelombang sesuai metode SPM 1984, untuk kondisi *Fetch Limited* karena data durasi untuk data angin *time series* tidak ada dan lokasi Pantai Kuta ini merupakan perairan terbuka sehingga tinggi dan periode gelombang dibatasi panjang *fetch* yang ada di lokasi (Pujiharjo, 2009) dengan persamaan sebagai berikut:

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

$$\frac{g * T_m}{U_A} = 2.857 \times 10^{-1} \times \left(\frac{g * F}{U\alpha^2}\right)^{1/3}$$

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 :

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

$$\frac{g * T_m}{U_A} = 8.134$$

$$\frac{g * t}{U_A} = 7.15 \times 10^4$$

Keterangan:

- H_{mo} = tinggi gelombang signifikan (m)
- T_m = periode gelombang puncak (s)
- F = panjang *fetch*
- U_A = faktor tegangan angin (m/s)

Data prediksi gelombang yang akan dihitung jika berjumlah ratusan sampai ribuan data, maka digunakan tabel untuk mempermudah perhitungan, Tabel 6 perhitungan seperti di bawah ini:

Tabel 6. Prediksi Gelombang

Tanggal	Arah	Kec (U _L)	R _L	U _w	U _T	U _A	Fetch	H _{mo}	T _m
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Keterangan:

1. Kolom 1 menunjukkan tanggal peramalan gelombang
2. Kolom 2 menunjukkan arah angin
3. Kolom 3 menunjukkan besarnya kecepatan angin maksimum di darat pada satu hari pengukuran dalam satuan m/s
4. Kolom 4 merupakan koefisien koreksi kecepatan angin di darat agar menjadi data kecepatan angin di atas laut, penentuan nilai R_L berdasarkan grafik SPM 1984
5. Kolom 5 merupakan nilai kecepatan angin di atas laut yang telah dikoreksi dengan R_L, U_w = U_L · R_L



6. Kolom 6 menunjukkan koreksi kecepatan angin terhadap perbedaan suhu udara dan laut ($R_T = 1.1$), dimana U_T merupakan perkalian antara kecepatan angin di atas laut dengan koefisien R_T ($U_T = U_W \times 1.1$)
7. Kolom 7 menunjukkan nilai tegangan angin (U_A) yang didapatkan dari persamaan $U_A = 0.71(U_T)^{1.23}$
8. Kolom 8 menunjukkan nilai *fetch* berdasarkan arah
9. Kolom 9 menunjukkan hasil prediksi tinggi gelombang (H_{m0})
10. Kolom 10 menunjukkan hasil perhitungan prediksi periode gelombang (T_m) berdasarkan data angin

3.6 Penentuan Karakteristik Gelombang Laut

Data gelombang prediksi berdasarkan angin yang didapat, perlu dilakukan analisis untuk mendapatkan karakteristik gelombang yaitu gelombang representatif (H_s , H_{max} , H_{100}). Hasil dari gelombang representatif nantinya dapat digunakan untuk analisis gelombang periode ulang yang mewakili gelombang ekstrim, dimana gelombang ekstrim ini penting peranannya dalam dinamika pantai ataupun bangunan pantai (Triatmodjo, 1991). Gelombang representatif yang dibahas adalah gelombang signifikan (H_s), gelombang maksimum (H_{max}), dan gelombang rata-rata (H_{100}). Perhitungan karakteristik gelombang tersebut dilakukan dengan mengurutkan data gelombang data terbesar ke terkecil, kemudian dilakukan perhitungan sebagai berikut:

1. Tinggi gelombang signifikan (H_s)

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

$$H_s = \frac{\sum^n H_{m0}}{n}$$

2. Tinggi gelombang maksimum (H_{max})

$$H_{max} = \text{gelombang tertinggi yang diurutkan}$$

3. Tinggi gelombang rata-rata (H_{100})

$$H_{100} = \frac{\sum_n^i H_{mo}}{N}$$

Keterangan:

H_{mo} = tinggi gelombang prediksi yang telah diurutkan (terbesar ke terkecil)

N = jumlah gelombang prediksi

n = jumlah 33% data

3.7 Tranformasi Gelombang

Perhitungan koefisien refraksi dengan cara menentukan sudut datang gelombang (α), kemudian menentukan kedalaman untuk mengetahui perubahan tinggi gelombang. Selanjutnya menentukan tinggi dan periode gelombang rencana.

Untuk memperoleh periode gelombang maksimum berdasarkan perubahan kedalaman, maka dibuat hubungan tinggi gelombang maksimum dan periode gelombang maksimum yang telah dihitung dengan metode *hindcasting* untuk mendapatkan persamaan dari grafik hubungan. Selanjutnya, menghitung panjang gelombang laut dengan rumus di bawah ini

$$L_0 = 1.56T^2$$

Keterangan:

L_0 = panjang gelombang laut dalam

T = periode gelombang

- Kemudian dihitung nilai α dengan rumus sebagai berikut:

$$\alpha = d/L_0$$

Keterangan:

d = kedalaman laut

dan hasilnya dilihat berdasarkan nilai d/L dan n yang telah ditentukan dan diperoleh nilai L . Selanjutnya dihitung nilai cepat rambat gelombang dengan rumus:

$$C_0 = L_0/T \text{ dan } C = L/T$$

- Sehingga didapatkan nilai sudut datang gelombang dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$\sin \alpha = \frac{c}{c_0} \sin \alpha_0$$

- Kemudian menentukan nilai Koefisien Refraksi (K_r) dengan rumus:

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}}$$

- Selanjutnya menghitung nilai Koefisien Shoaling (K_s) dengan rumus:

$$K_s = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{nL}}$$

- Setelah perhitungan tersebut akan didapatkan nilai tinggi gelombang yang baru dengan rumus:

$$H = H_0 \cdot K_r \cdot K_s$$

- Selanjutnya dihitung nilai gelombang pecah dengan menggunakan grafik yang tersedia yaitu grafik hubungan antara dengan rumus:

$$\frac{H'_0}{gT^2} \text{ dan } \frac{H_b}{gT^2}$$

Dimana:

$$H'_0 = \frac{H_0}{K_s}$$

Nilai H_b didapatkan dari hasil plot antara nilai $\frac{H'_0}{gT^2}$ dan kemiringan pantai (m). Selanjutnya, ditentukan nilai gelombang pecah.

3.8 Perkiraan Gelombang dengan Periode Ulang (Analisis Frekuensi)

Perhitungan gelombang periode ulang dilakukan setelah didapatkan data gelombang representatif. Data dari gelombang representatif tersebut dipilih data gelombang untuk periode ulang berdasarkan kebutuhan. Perhitungan metode periode ulang ini dilakukan dengan dua metode yang berbeda berdasarkan acuan dari Triatmodjo (1999) yaitu metode *Fisher Tippet Type-1* dan *Weibull*. Periode ulang tahunan yang dipakai yaitu periode ulang 100 tahun karena bisa menjadi pertimbangan pengambilan kebijakan dalam perlindungan pantai. Pada dasarnya kedua metode ini hampir sama, hanya beberapa parameter yang berbeda.

Penentuan probabilitas gelombang pada metode *Fisher Tippet Type-1* dan

Weibull dilakukan dengan perhitungan seperti Tabel 7 di bawah ini:

Tabel 7. Penentuan probabilitas gelombang pada metode *Fisher Tippet Type-1* dan *Weibull*

No. Urut m	H _{sm}	P	Y _m	H _{sm} .Y _m	Y ² _m	$\frac{(H_{sm}-\bar{H}_{sm})^2}{H_{sm}}$	\bar{H}_{sm}	$\frac{H_{sm}}{\bar{H}_{sm}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Keterangan:

1. Kolom 1 menunjukkan nomor urut tinggi gelombang signifikan (m)
2. Kolom 2 menunjukkan tinggi gelombang signifikan maksimum pada setiap tahun yang telah diurutkan berdasarkan susunan tertinggi ke rendah
3. Kolom 3 merupakan perhitungan nilai $P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m-0,44}{NT+0,12}$

Keterangan:

- $P(H_s \leq H_{sm})$: probabilitas dari tinggi gelombang representatif ke-m
- H_{sm} : tinggi gelombang urutan ke-m
- m : nomor urut tinggi gelombang signifikan
- N_T : jumlah kejadian gelombang selama pencatatan

4. Kolom 4 didapatkan dari perhitungan $y_m = -\ln \{-\ln F(H_s \leq H_{sm})\}$
5. Kolom 5 merupakan hasil perkalian antara kolom 2 dengan kolom 4
6. Kolom 6 merupakan nilai pangkat 2 dari persamaan kolom 4, dimana kolom 5 dan kolom 6 ini digunakan untuk menentukan parameter A dan B
7. Kolom 7 dihitung dari pangkat dua selisih antara kolom 2 dengan rata-rata nilai dari kolom 2, hasil perhitungan ini merupakan standar deviasi dari gelombang signifikan
8. Kolom 8 didapat dari perhitungan di bawah ini:
 - N (jumlah data tinggi gelombang signifikan)
 - N_T (jumlah kejadian gelombang selama pencatatan)
 - $V = \frac{N}{N_T}$
 - $H_{sm} = H_{sm}/N_T$
 - K (panjang data)



- λ
- $\hat{y}_m = \frac{y_m}{NT}$
- $\sigma = \left[\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (H_{sm} - \hat{H}_{sm})^2 \right]^{1/2}$

Dari perhitungan dan nilai-nilai di atas, maka nilai parameter $\hat{A} + \hat{B}$ dapat dihitung berdasarkan data H_{sm} dan y_m berdasarkan data H_{sm} dan y_m pada kolom 2 dan 4 dengan persamaan berikut:

$$H_{sm} = \hat{A} y_m + \hat{B}$$

Dimana nilai A didapatkan dari:

$$\hat{A} = \frac{n \sum H_{sm} y_m - \sum H_{sm} \sum y_m}{n \sum y_m^2 - (\sum y_m)^2}$$

$$B = \hat{H}_{sm} - \hat{A} y_m$$

Persamaan regresi untuk H_{sr} yang diperoleh adalah:

$$H_{sm} = \hat{A} y_m + \hat{B}$$

9. Kolom 9 didapat dari selisih antara kolom 2 dan kolom 8

Keterangan perhitungan di atas digunakan pada metode *Fisher Tippet Type-1*, sedangkan pada metode *Weibull* langkah perhitungan secara garis besar sama, namun berbeda pada persamaan di kolom 2 dan kolom 4 dimana menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Kolom 2: } P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,22 \frac{0,27}{\sqrt{k}}}{Nr + 0,12 + \frac{0,23}{\sqrt{k}}}$$

$$\text{Kolom 4: } y_m = [-\ln\{1 - \ln F(H_s \leq H_{sm})\}]^{1/k}$$

Kemudian ditentukan tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang dengan perhitungan yang dapat dilihat Tabel 8 sebagai berikut:

Tabel 8. tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang

Periode ulang (tahun)	Yr(tahun)	Hsr(m)	O'nr	O'r	Hs-1.28O'r	Hs+1.28O'r
1	2	3	4	5	6	7

Keterangan:



1. Kolom 1 merupakan periode ulang yang dihitung (2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun)
2. Kolom 2 dihitung dengan rumus $y_r = -\ln \left\{ -\ln F\left(1 - \frac{1}{LT_r}\right) \right\}$

Keterangan:

T_r = periode ulang (tahun)

K = panjang data (tahun)

L = rerata jumlah kejadian per tahun = N_T/K

3. Kolom 3 merupakan perkiraan tinggi gelombang berdasarkan periode ulang yang dihitung dengan persamaan linier sesuai persamaan regresi untuk H_{sr}
4. Kolom 4 didapatkan dengan persamaan:

$$\sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{N}} [1 + \alpha(y_r - c + \epsilon \ln v)^2]^{1/2}$$

Keterangan:

σ_{nr} = standar deviasi yang dinormalkan dari tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_r

$$\alpha = \alpha_1 e^{\alpha_2 N^{-1.3 + k\sqrt{-\ln v}}}$$

Nilai $\alpha_1, \alpha_2, e, \epsilon, k$ merupakan koefisien empiris yang diberikan pada Tabel 9

Tabel 9. Koefisien empiris

Distribusi	α_1	α_2	e	ϵ	k
Fisher Tippet Type-1	0.64	9.00	0.93	0.00	1.33
Weibull (k= 0.75)	1.65	11.40	-0.63	0.00	1.15
Weibull (k= 1.00)	1.92	11.40	0.00	0.30	0.90
Weibull (k= 1.40)	2.05	11.40	0.69	0.40	0.72
Weibull (k= 2.00)	2.24	11.40	1.34	0.50	0.54

$$\alpha = 0.64 e^{9.0 \times 15^{-1.3 + 0.93\sqrt{-\ln 1}}$$

5. Kolom 5 didapat menggunakan rumus:

$$\sigma = \sigma_{nr} \sigma H_s$$

Keterangan:

σ_r = kesalahan standar dari tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_r

σH_s = standar deviasi dari tinggi gelombang signifikan

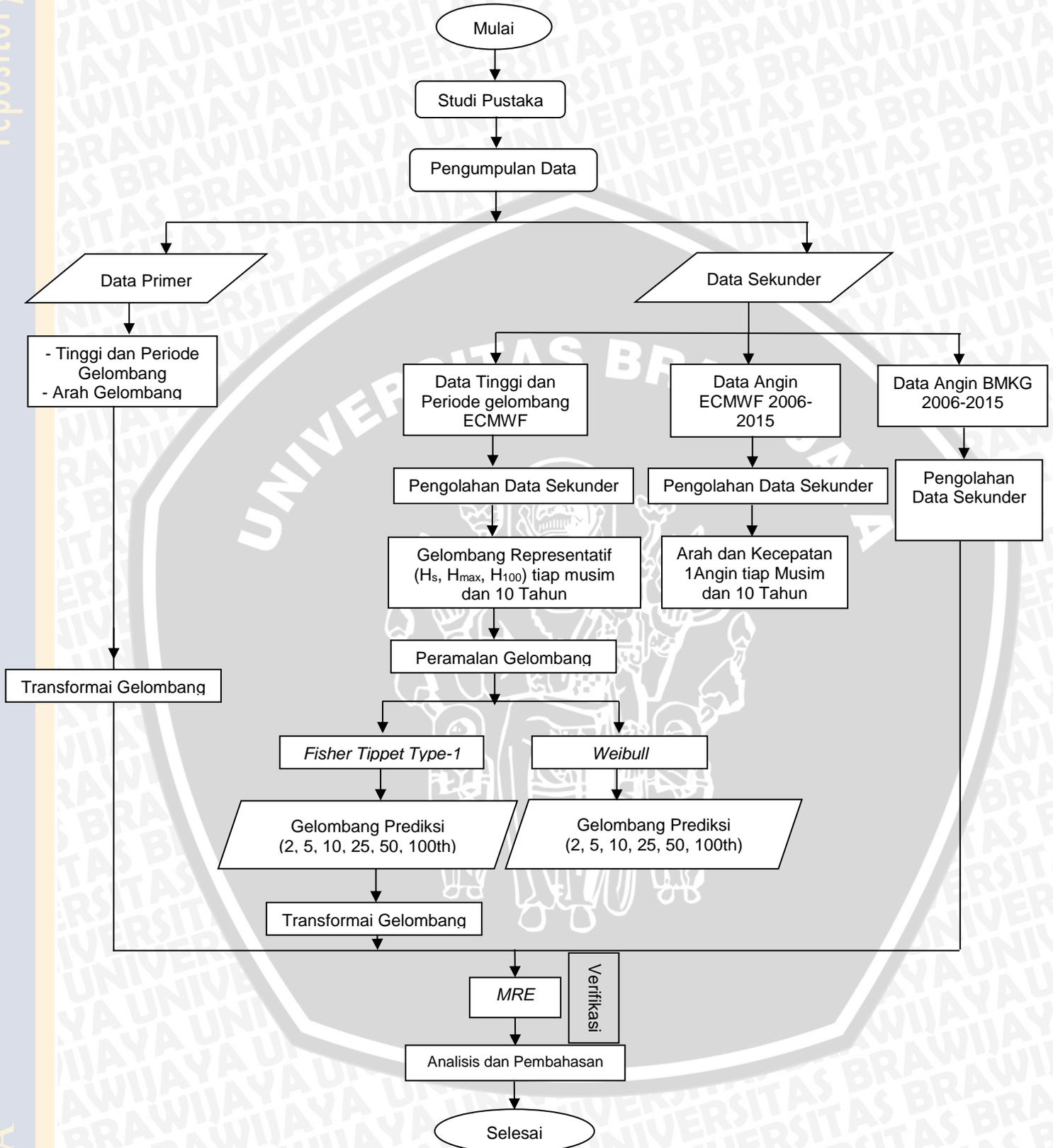
6. Kolom 6 didapatkan dari selisih antara kolom 3 dengan hasil perkalian antara koefisien interval keyakinan tinggi gelombang signifikan dengan kolom 5
7. Kolom 7 didapatkan dari penjumlahan kolom 3 dengan hasil perkalian antara koefisien interval keyakinan tinggi gelombang signifikan dengan kolom 5

Keterangan perhitungan di atas berlaku untuk metode *Fisher Tippett Type-1*, sedangkan pada metode *Weibull* digunakan langkah perhitungan yang sama dengan perbedaan persamaan pada kolom 2 dan kolom 4, dimana pada kolom 2 menggunakan persamaan seperti di bawah ini dan kolom 4 menggunakan koefisien sesuai Tabel 9.

$$yr = -\ln \{-\ln (LT_r)\}^{1/k}$$

3.9 Analisis Data

Analisis data secara keseluruhan berdasarkan cara pengolahannya dilakukan dengan metode analisis deskriptif yaitu, suatu metode penelitian yang bertujuan untuk memberikan gambaran obyek penelitian secara obyektif yang didukung dengan data-data secara kuantitatif. Menurut Hasan (2002) analisis deskriptif hanya berhubungan dengan menguraikan atau memberikan keterangan-keterangan mengenai suatu data keadaan atau fenomena. Dengan kata lain, analisis deskriptif hanya berfungsi menerangkan keadaan, gejala, atau persoalan. Untuk mempermudah dalam analisis deskriptif ini, dilakukan secara statistik yaitu dengan analisis tentang perbandingan karakteristik gelombang periode ulang dilakukan dengan metode *Mean Relatif Error* (MRE) dan regresi. Untuk lebih jelas diagram analisis data disajikan pada Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian



3.9.1 Mean Relative Error (MRE)

Mean Relative Error (MRE) merupakan metode untuk menentukan seberapa besar data yang tidak benar dari suatu pengukuran. Berbeda halnya dengan *absolute error* yang ditentukan dengan deviasi dari nilai kebenaran data, MRE menunjukkan rasio presentase dari eror absolut. Perhitungan MRE biasa digunakan untuk suatu pengukuran ataupun peramalan (Hanke dan Reitsch, 1992). Menurut pernyataan (Sugiyono, 2011; Leksono *et al.*, 2013) bahwa verifikasi model yang masih dapat diterima jika masih berada dalam batas 40%. Perhitungan MRE tersebut dirumuskan sebagai berikut:

- Perhitungan *Mean Relative Error* (MRE)

$$\Delta x = x - x_0$$

$$\text{MRE} = \frac{\Delta x}{x} \times 100\%$$

Keterangan :

- Δx = nilai deviasi absolut
- x = nilai data sebenarnya
- x_0 = nilai estimasi data peramalan

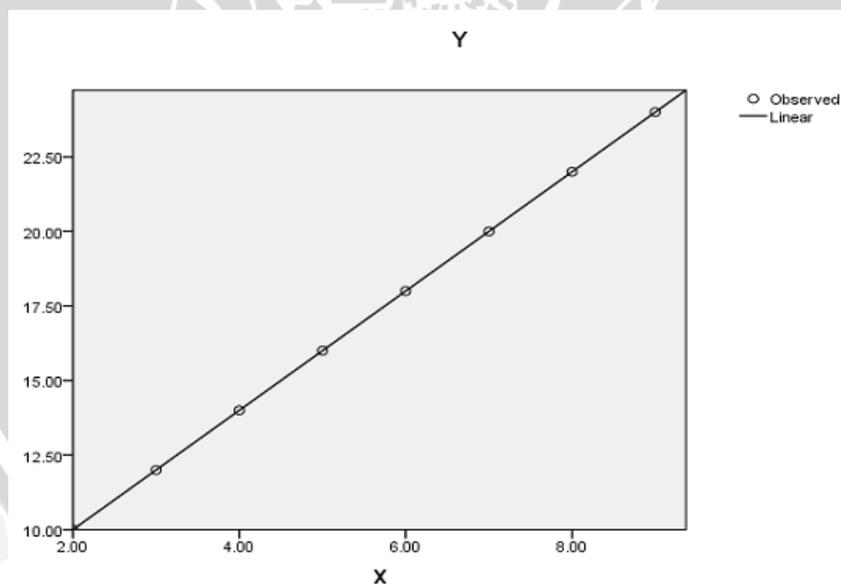
Analisis ini digunakan untuk membandingkan karakteristik gelombang periode ulang metode *Fisher Tippett Type-1* dan *Weibull* dengan data gelombang signifikan maksimum pada tahun pembandingan, pada penelitian ini data gelombang pembandingan adalah data gelombang tahun 2006 sampai 2015.

3.9.2 Regresi

Analisis regresi (*regression analysis*) merupakan suatu teknik untuk membangun persamaan dan menggunakan persamaan tersebut untuk membuat perkiraan. Dengan demikian analisis regresi juga dapat diartikan sebagai analisis perkiraan, karena merupakan suatu prediksi maka nilai prediksi tidak memberikan jawaban pasti tentang apa yang sedang dianalisis, semakin kecil tingkat penyimpangan antara nilai prediksi dengan nilai rilnya, maka semakin tepat persamaan regresi yang dibentuk. Tujuan utama regresi adalah untuk membuat

perkiraan nilai suatu variabel jika nilai variabel yang lain yang berhubungan dengannya (variabel lainnya) sudah ditentukan. Persamaan model regresi sederhana hanya memungkinkan bila pengaruh yang ada itu hanya dari *independent variabel* (variabel bebas) terhadap *dependent variabel* (variabel tak bebas). Jadi harga b merupakan fungsi dari koefisien korelasi. Bila koefisien korelasi tinggi, maka harga b juga besar, sebaliknya bila koefisien korelasi negatif maka harga b juga negatif, dan sebaliknya bila koefisien korelasi positif maka harga b juga positif (Sudjana, 2005).

Sifat hubungan antara variabel dalam persamaan regresi merupakan hubungan sebab akibat. Oleh karena itu, sebelum menggunakan persamaan regresi dalam menjelaskan hubungan antara dua atau lebih variabel, maka perlu dilakukan penganalisisan data agar dapat diketahui apakah variabel-variabel tersebut berkorelasi. Sehingga membentuk sebuah pola garis lurus seperti Gambar 7.



Gambar 7. Pola Garis Lurus Hubungan Antara Variabel dalam Persamaan Regresi

Di bawah ini merupakan tabel interpretasi koefisien korelasi yang ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Interpretasi Koefisien Kolerasi Nilai r

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0.80-1.000	Sangat kuat
0.60-0.799	Kuat
0.40-0.599	Cukup kuat
0.20-0.399	Rendah
0.00-0.199	Sangat rendah

Sandaran nilainya adalah, $-1 \leq r \leq 1$. Semakin tinggi nilai koefisien korelasi (semakin mendekati nilai 1) maka hubungan antara dua variabel tersebut semakin tinggi, jika nilai koefisiennya mendekati nilai 0 maka hubungannya semakin rendah. Adapun jika nilainya bertanda negatif, maka terjadi hubungan yang berlawanan arah, artinya jika suatu nilai variabel naik maka nilai variabel lain akan turun.

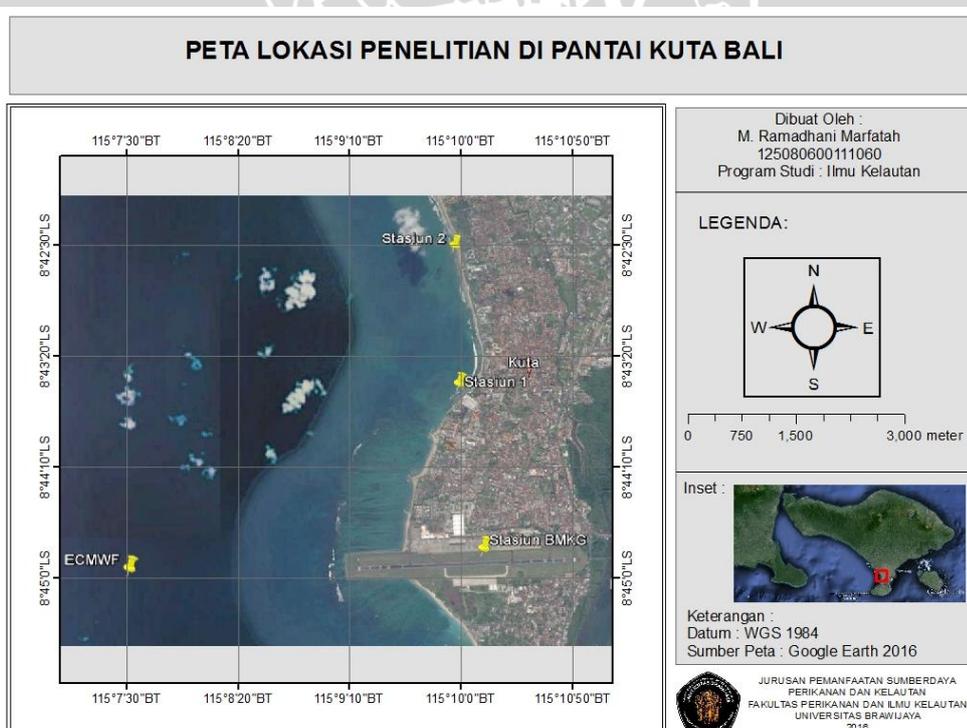


4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Lokasi Penelitian

4.1.1 Keadaan Umum Pantai Kuta

Pantai Kuta terletak di Pulau Bali, Kabupaten Badung. Kawasan Kuta secara geografis terletak pada posisi 08°36'20"- 08°50'80" Lintang Selatan (LS) dan 115°5'0"-115°14'30" Bujur Timur (BT), berbentuk dataran membentang dari pinggir pantai Samudera Indonesia, dengan ketinggian berada kurang lebih 500 meter di atas permukaan laut. Secara umum pantai Kuta Bali mempunyai topografi yang datar, terletak 1 meter di atas permukaan laut. Kawasan Pariwisata Kuta sangat dikenal oleh masyarakat umum terutama dengan wisata pantainya. Keindahan ombak dan pasir putih Pantai Kuta yang luar biasa memunculkan aktivitas tiga S-wisata pantai (*sea-sand-sun*). Selain itu Pantai Kuta juga dikenal dengan pemandangan matahari terbenamnya (*sunset*) (Handoko, 2007). Adapun lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 8.

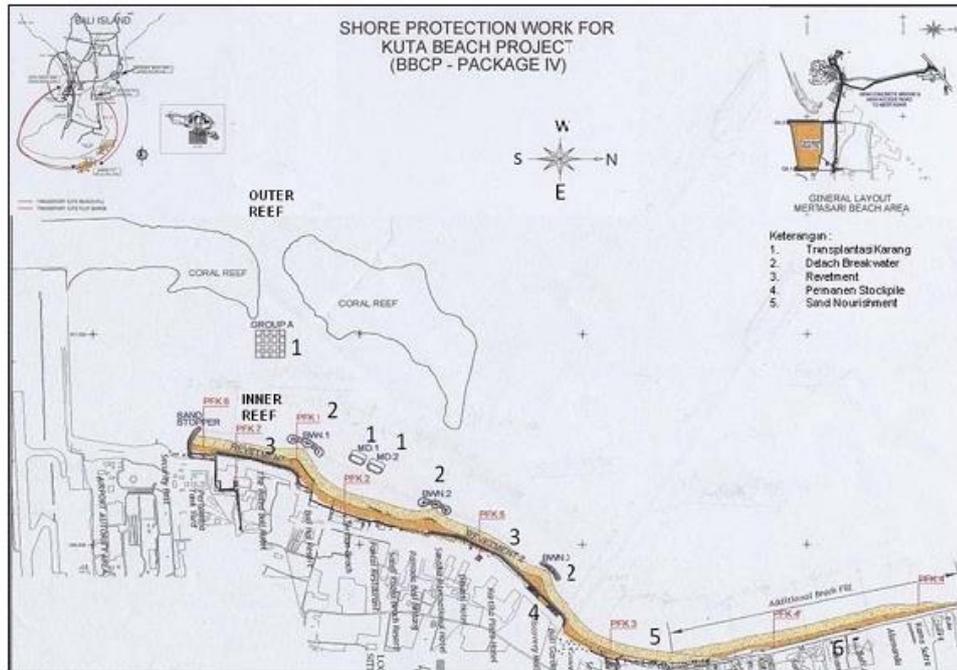


Gambar 8. Peta Titik Lokasi Penelitian di Pantai Kuta

4.1.2 Identifikasi Masalah

Pantai Kuta merupakan salah satu pantai yang menjadi unggulan Indonesia, karena merupakan sebuah tujuan wisata turis mancanegara, dan telah menjadi objek wisata andalan sejak awal tahun 70-an. Seiring dengan berjalannya waktu dan dari hasil pemantauan, maka ada beberapa lokasi di Pantai Kuta yang masih mengalami abrasi. Hal ini menunjukkan bahwa penanganan/perlindungan Pantai Kuta belum optimal dan masih perlu ditingkatkan. Menurut penelitian (Tanimoto dan Uda, 1990; Wijayanti *et al.*, 2012) dalam rentang waktu 10 tahun yaitu tahun 1978 hingga 1988 Pantai Kuta kehilangan sedimen 16.000 m³/tahun. Bila hal ini terus dibiarkan maka Pantai Kuta akan semakin tererosi hingga tidak menarik lagi menjadi daerah wisata. Pemerintah melalui Kantor Balai Wilayah Sungai Bali-Nusa Penida Dirjen Sumber Daya Air Departemen Pekerjaan Umum (PU), melakukan perlindungan Pantai Kuta yang tererosi dengan cara membangun:

1. Bangunan Pemecah Gelombang 3 unit dengan panjang total 370 m
2. *Revetment* 1.227 m
3. *Sand Nourishment* 420.000 m³
4. Jalan masuk Desa Tuban 408 m, jalan setapak 4.234 m²
5. Fasilitas umum, *landscape*, *drainase*, penahan pasir
6. *Permanent Sand Stockpile*
7. Jalan masuk Desa Mertasari 580 m
8. Transplantasi Karang Penanganan dan perlindungan Pantai Kuta tersebut selesai pada akhir tahun 2008. Gambar 9 merupakan peta lokasi pembangunan pelindung pantai di Pantai Kuta.



Gambar 9. Jenis Perlindungan di Pantai Kuta Bali (*Technical Report Conserveation of Kuta*, 2008)

Dari hasil analisis karakteristik gelombang diharapkan dapat dijadikan sebagai salah satu acuan pemerintah setempat dalam mengambil tindakan pencegahan ataupun pemeliharaan agar sektor pariwisata Pantai Kuta tetap terjaga.

4.2 Pengukuran Gelombang Lapangan

Data gelombang yang diukur di lapangan terdiri dari puncak, lembah, periode dan arah datang gelombang. Pengukuran data gelombang terdiri dari 2 titik stasiun dengan masing-masing pengulangan sebanyak dua kali, dimana pengambilan data tersebut sudah cukup mewakili kondisi karakteristik gelombang di Pantai Kuta. Pengukuran data gelombang dilakukan selama 2 hari pada tanggal 17 dan 18 Maret 2016.

Hasil pengukuran gelombang yang terdiri dari puncak, lembah, tinggi, periode, dan arah datang gelombang di lapangan disajikan seperti pada Tabel 11.

Tabel 11. Data Hasil Pengukuran Tinggi dan Periode Gelombang serta Arah Datang Gelombang di Pantai Kuta, Bali

No	Puncak	Lembah	Tinggi (cm)	Periode (s)	Arah Datang
1	148	108	40	10.95	251°
2	170	106	64	9.09	
3	143	109	34	11.12	
4	155	112	43	12.56	
5	152	109	43	11.96	
6	183	132	51	9.62	
7	128	93	35	9.93	
8	132	108	24	13.00	
9	181	111	70	12.78	
10	158	108	50	8.37	
11	166	108	58	12.30	
12	162	109	53	14.40	
13	173	121	52	11.75	
14	148	105	43	15.28	
15	151	112	39	10.40	
16	159	127	32	9.75	
17	147	102	45	13.35	
18	134	101	33	12.06	
19	145	111	34	13.65	
20	156	106	50	12.58	

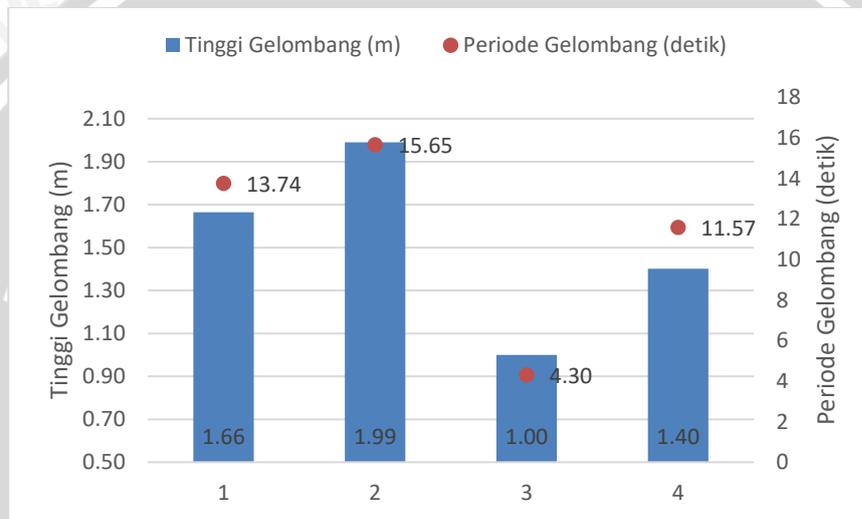
Hasil pengukuran pada Tabel akan diolah untuk mendapatkan nilai tinggi dan periode gelombang maksimal, minimal, serta signifikan. Untuk mendapatkan tinggi dan periode gelombang maksimal dengan cara mengurutkan dari data gelombang terbesar ke data yang terkecil. Sedangkan signifikan setelah data gelombang diurutkan dari yang terbesar kemudian dicari nilai 33% terbesar data gelombang dan dibagi rata-rata data.

Dari hasil pengukuran didapatkan nilai tinggi gelombang maksimal sebesar 1.99 m, nilai tinggi gelombang signifikan sebesar 1.66 m, tinggi gelombang minimal dengan tinggi 1.00 m, dan rata-rata pengukuran nilai tinggi gelombang sebesar 1.40 m. Selain itu dilakukan juga pengukuran periode gelombang. Dari hasil pengukuran didapat nilai periode maksimal sebesar 15.65 detik, periode signifikan sebesar 13.74 detik, periode minimal 4.30 detik, dan dari keseluruhan, rata-rata

nilai periode hasil pengukuran sebesar 11.57 detik. Tabel gelombang representatif dapat dilihat pada Tabel 12, sedangkan untuk melihat grafik hubungan antara periode gelombang dan periode gelombang dapat dilihat pada Gambar 10.

Tabel 12. Gelombang Representatif Hasil Pengukuran di Lapangan

Gelombang Representatif							
Hs (m)	T _s (detik)	H _{max} (m)	H _{min} (m)	T _{max} (detik)	T _{min} (detik)	H ₁₀₀ (m)	T ₁₀₀ (detik)
1.66	13.74	1.99	1.00	15.65	4.30	1.40	11.57



Gambar 10. Hubungan antara Tinggi Gelombang dan Periode Gelombang di Tiap Pengulangan Pengukuran

4.3 Arah dan Kecepatan Data Angin ECMWF

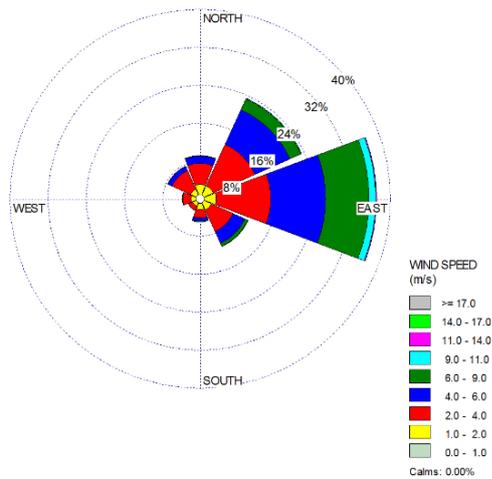
4.3.1 Arah dan Kecepatan Angin Berdasarkan Musim

Nilai arah dan kecepatan angin selama 10 tahun (2006-2015) didapat dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). Angin merupakan salah satu penggerak gelombang di lapangan. Angin berpengaruh pada terjadinya gelombang yang dapat digunakan untuk mempekirakan tinggi dan arah gelombang sesuai dengan daerah yang dikaji. Pengolahan data angin ini dibantu dengan software *Microsoft excel* untuk mengkonversi data ECMWF menjadi data dengan arah dan kecepatan angin, kemudian dari hasil konversi ini divisualisasikan dengan menggunakan software *WRPlot View* untuk mengetahui distribusi arah dan kecepatan pada tiap musim yang disajikan dalam bentuk

diagram gambar angin, grafik frekuensi kecepatan angin serta distribusi arah dan kecepatan angin. Pengolahan data tahunan dilakukan selama 10 tahun (2006-2015), sedangkan data musiman dibagi menjadi 4 musim yang terdiri dari Musim Barat, Musim Timur, Musim Peralihan 1 dan Musim Peralihan 2. Hal ini sesuai dengan pendapat Safitri *et al* (2012) yaitu analisis musiman untuk menentukan nilai parameter fisika di perairan laut Indonesia adalah dengan merata-ratakan data pertiga bulan pada setiap tahun sesuai dengan periode musimnya, yaitu Musim Barat (Desember, Januari, Februari), Musim Peralihan 1 (Maret, April, Mei), Musim Timur (Juni, Juli Agustus), dan Musim Peralihan 2 (September, Oktober, November). Berikut ini disajikan data distribusi arah dan kecepatan angin dalam bentuk diagram gambar angin, grafik frekuensi kecepatan angin serta distribusi arah dan kecepatan angin.

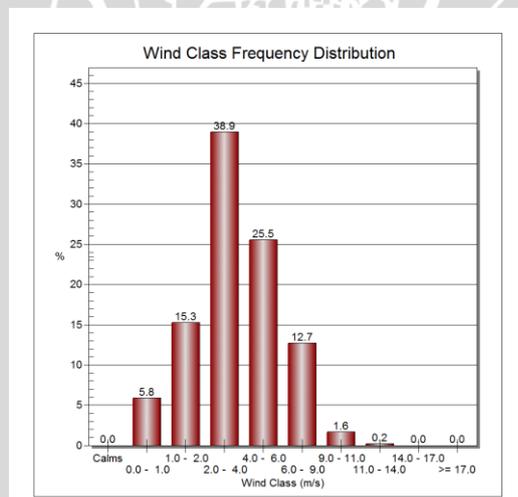
4.3.1.1 Musim Barat (Desember, Januari, Februari)

Arah dan kecepatan nilai angin di Pantai Kuta pada Musim Barat didapatkan dari menghitung rata-rata data ECMWF bulan Desember, Januari, Februari dari tahun 2006 sampai dengan 2016. Pada Musim Barat arah dominan angin berhembus ke arah Timur dari arah Barat. Namun, hembusan angin pada Musim Barat cukup merata ke beberapa arah mata angin. Seperti dari arah Barat Laut ke Arah Timur Laut, dan hembusan juga mengarah ke utara, tenggara, barat daya, dan selatan namun tidak dominan. Diagram mawar angin dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram Mawar Angin Musim Barat Memiliki Arah Hembusan Dominan ke Arah Timur

Nilai kecepatan angin pada Musim Barat di Pantai Kuta didominasi dengan kecepatan 2-4 m/s dengan prosentase sebanyak 38.9%. Kemudian nilai dominan kecepatan angin kedua berada pada kecepatan 4-6 m/s dengan total 25.5% dari keseluruhan nilai kecepatan angin. Grafik nilai dominasi kecepatan angin dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Frekuensi Kecepatan Angin Musim Barat Menunjukkan Kecepatan Dominan Berada pada Rentang 2-4 m/s

Dilihat dari nilai arah dan kecepatan angin, bisa disimpulkan bahwa pada Musim Barat di Pantai Kuta, arah angin bergerak dominan ke arah Timur dengan total dominasi sebesar 36.97%. Sedangkan, hembusan angin paling lemah yaitu

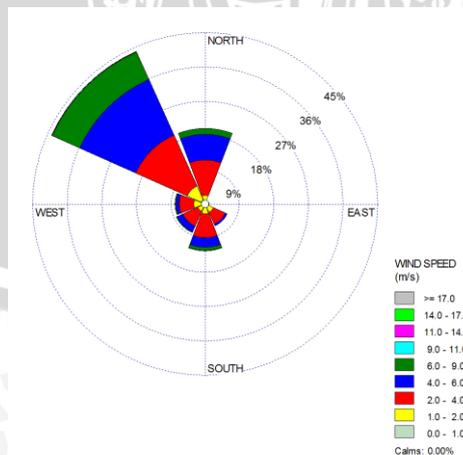
ke arah Barat Daya dengan nilai prosentasi hanya sebesar 2.81%. Distribusi Arah dan Kecepatan Angin pada Musim Barat dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Distribusi Arah dan Kecepatan Angin Musim Barat dengan nilai Dominasi Hembusan Angin ke Arah Timur

Arah	Kecepatan Angin (m/s)									Total
	0.0 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 4.0	4.0 - 6.0	6.0 - 9.0	9.0 - 11.0	11.0 - 14.0	14.0 - 17.0	>= 17.0	
337.5 - 22.5	0.00777	0.02385	0.04396	0.01555	0.0008	0	0	0	0	0.09191
22.5 - 67.5	0.0067	0.02466	0.09542	0.07987	0.02519	0.00134	0.00027	0	0	0.23339
67.5 - 112.5	0.00884	0.026	0.11364	0.11471	0.09086	0.01421	0.00161	0	0	0.36977
112.5 - 157.5	0.00616	0.02064	0.04958	0.02734	0.00697	0.0008	0	0	0	0.11147
157.5 - 202.5	0.01126	0.01287	0.01715	0.0067	0.00214	0	0	0	0	0.05011
202.5 - 247.5	0.00563	0.0126	0.00965	0.00027	0	0	0	0	0	0.02814
247.5 - 292.5	0.00563	0.01501	0.01715	0.00107	0	0	0	0	0	0.03885
292.5 - 337.5	0.00643	0.01689	0.04262	0.00965	0.00054	0	0	0	0	0.0761
Sub-Total	0.05841	0.15247	0.38907	0.25509	0.12647	0.01635	0.00188	0	0	0.99973
Calms										0
Missing/Incomplete										0.00027
Total										1

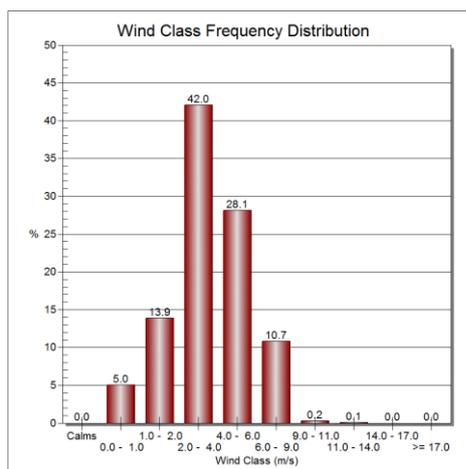
4.3.1.2 Musim Peralihan 1 (Maret, April, Mei)

Perolehan arah dan nilai kecepatan angin di Pantai Kuta pada Musim Peralihan 1 didapatkan dari penghitungan rata-rata data ECMWF bulan Maret, April, dan Mei dari tahun 2006 sampai 2015. Berdasarkan Gambar dapat dilihat bahwa arah dominan angin ke arah Barat Laut, kemudian arah dominan kedua arah angin menuju ke arah Utara. Gambar 13 menunjukkan diagram Mawar Angin Musim Peralihan 1.



Gambar 13. Diagram Mawar Angin Musim Peralihan 1 Menampilkan Arah Hembusan Angin Dominan ke Arah Barat Laut

Nilai Kecepatan dominan di Pantai Kuta pada Musim Peralihan 1 diperoleh nilai sebesar 2-4m/s dengan total prosentase dominasi sebesar 42% secara keseluruhan. Sedangkan nilai terendah kecepatan angin berada di nilai kecepatan 11-14 m/s dengan prosentase hanya 0.1% dari total keseluruhan nilai kecepatan angin. Grafik nilai kecepatan angin dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik Frekuensi Kecepatan Angin Musim Peralihan 1 Menunjukkan Frekuensi Kecepatan Angin dengan Nilai Rentang 2-4 m/s

Distribusi arah dan kecepatan angin di Pantai Kuta pada Musim Peralihan 1 didapatkan kesimpulan bahwa kecepatan dominan pada Musim Peralihan 1 yaitu ke arah Barat Laut dengan nilai total dominasi prosentase sebesar 43.47 % dari. sedangkan nilai terendah yaitu ke arah timur dengan nilai prosentase sebesar 1.12 %. Tabel distribusi arah dan kecepatan angin Musim Peralihan 1 dapat dilihat pada Tabel 14.

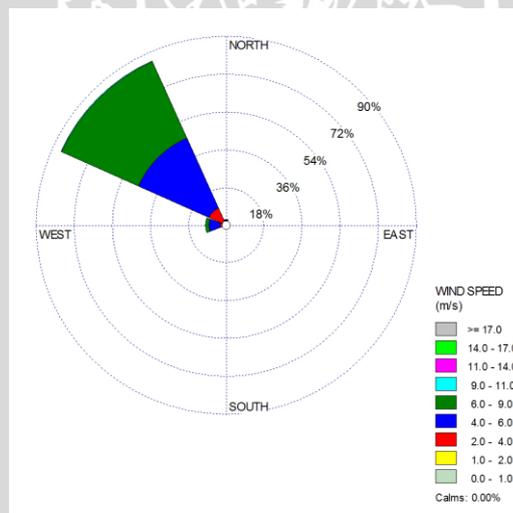
Tabel 14. Distribusi Arah dan Kecepatan Angin Musim Peralihan 1 dengan Arah Dominan Hembusan ke Arah Barat Laut

Arah	Kecepatan Angin (m/s)									Total
	0.0 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 4.0	4.0 - 6.0	6.0 - 9.0	9.0 - 11.0	11.0 - 14.0	14.0 - 17.0	>= 17.0	
337.5 - 22.5	0.00465	0.01917	0.09255	0.06681	0.01533	0	0	0	0	0.19701
22.5 - 67.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67.5 - 112.5	0.00219	0.00411	0.00548	0.00055	0	0	0	0	0	0.01223
112.5 - 157.5	0.00712	0.01835	0.03341	0.0052	0	0	0	0	0	0.06359
157.5 - 202.5	0.00767	0.01944	0.06243	0.02519	0.00849	0.00082	0	0	0	0.1231
202.5 - 247.5	0.00739	0.01506	0.04244	0.01643	0.00219	0	0	0	0	0.08288

Arah	Kecepatan Angin (m/s)									Total
	0.0 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 4.0	4.0 - 6.0	6.0 - 9.0	9.0 - 11.0	11.0 - 14.0	14.0 - 17.0	>= 17.0	
247.5 - 292.5	0.00821	0.02273	0.03751	0.00794	0.00246	0.00055	0	0	0	0.0788
292.5 - 337.5	0.0126	0.0397	0.14622	0.15909	0.07886	0.0011	0.00055	0	0	0.43478
Sub-Total	0.04946	0.1375	0.41685	0.27908	0.10652	0.00245	0.00054	0	0	0.99239
Calms										0
Missing/ Incomplete										0.00761
Total										1

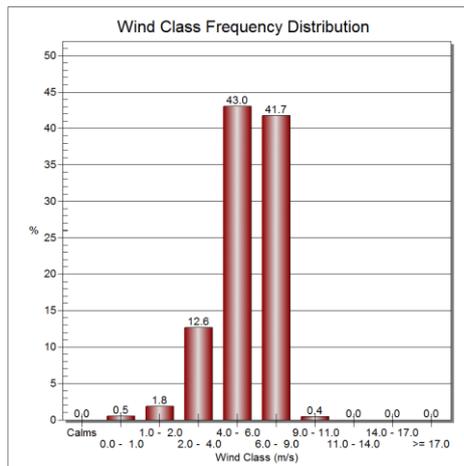
4.3.1.3 Musim Timur (Juni, Juli, Agustus)

Penghitungan arah dan nilai kecepatan angin di Pantai Kuta pada Musim Timur didapatkan dari penghitungan rata-rata data ECMWF pada bulan Juni, Juli Agustus dari tahun 2006 sampai pada tahun 2015. Arah angin dominan menuju ke arah Barat Laut dari arah Tenggara. Diagram Mawar Angin Musim Timur dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Diagram Mawar Angin Musim Timur Didapatkan Arah Dominan Hembusan Angin ke Arah Barat Laut

Nilai frekuensi kecepatan angin di Pantai Kuta pada Musim Timur didapat nilai yang hampir sama antara 4-6 m/s dan 6-9 m/s dengan nilai prosentase sebesar 43 % dan 41.7 % secara berurutan. Sedangkan nilai terendah angin pada Musim Timur adalah 0-1 m/s dengan presentasi hanya 0.5 % secara keseluruhan. Grafik nilai frekuensi kecepatan angin dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik Frekuensi Kecepatan Angin Musim Timur Menunjukkan Nilai Dominan antara 4-6 m/s dan 6-9 m/s

Paparan hasil distribusi arah dan kecepatan angin pada Musim Timur cenderung ke arah Barat Laut dengan prosentase sebesar 85.49% dari total keseluruhan arah hembusan angin, sedangkan nilai minimum dengan nilai 0.05 % ke arah Tenggara. Tabel distribusi arah dan nilai kecepatan angin Musim Timur dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15. Distribusi Arah dan Kecepatan Angin Musim Timur dengan Arah Dominan Hembusan ke Arah Barat Laut

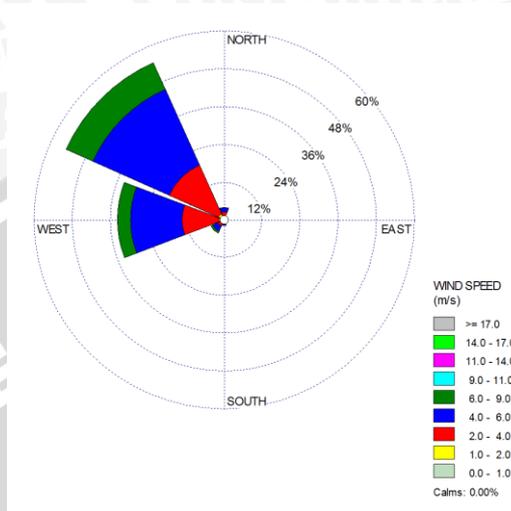
Arah	Kecepatan Angin (m/s)									Total
	0.0 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 4.0	4.0 - 6.0	6.0 - 9.0	9.0 - 11.0	11.0 - 14.0	14.0 - 17.0	>= 17.0	
337.5 - 22.5	0.00054	0.00299	0.01006	0.01251	0.00462	0	0	0	0	0.03071
22.5 - 67.5	0.00027	0.00054	0.00163	0.00027	0	0	0	0	0	0.00272
67.5 - 112.5	0.00027	0.00027	0	0.00027	0	0	0	0	0	0.00082
112.5 - 157.5	0.00027	0	0.00027	0	0	0	0	0	0	0.00054
157.5 - 202.5	0.00027	0.00136	0.00054	0	0	0	0	0	0	0.00217
202.5 - 247.5	0.00109	0.00245	0.00381	0	0	0	0	0	0	0.00734
247.5 - 292.5	0.00136	0.00544	0.0242	0.05247	0.01659	0.00027	0	0	0	0.10027
292.5 - 337.5	0.00082	0.00489	0.08592	0.36433	0.39587	0.00353	0	0	0	0.85489
Sub-Total	0.00489	0.01793	0.12636	0.42962	0.41685	0.0038	0	0	0	0.99946
Calms										0
Missing/ Incomplete										0.00054
Total										1

4.3.1.4 Musim Peralihan 2 (September, Oktober, November)

Pada Musim Peralihan 2 arah dan nilai kecepatan angin di Pantai Kuta pada Musim Peralihan didapatkan dari data ECMWF bulan September, Oktober, dan

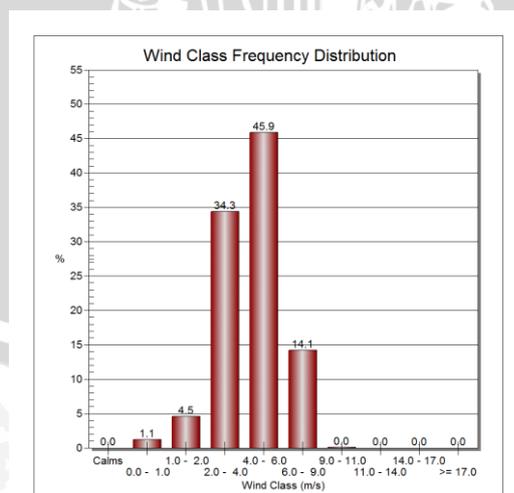


November tahun 2006 sampai pada tahun 2015. Arah dominan angin cenderung ke arah Barat Laut, kemudian arah dominan yang kedua cenderung ke arah Barat. Diagram mawar angin Musim Peralihan 2 dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Diagram Mawar Angin Musim Peralihan 2 Didapatkan Arah Dominan Hembusan Angin ke Arah Barat Laut dan ke Arah Barat

Perolehan nilai kecepatan angin pada Musim Peralihan didapatkan bahwa nilai dominasi kecepatan angin berada di rentang 4-6 m/s dengan prosentase sebesar 45.9%, kemudian persentase terbesar nilai kecepatan kedua sebesar 34.3% berada pada kecepatan 2-4 m/s. Grafik nilai kecepatan angin dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 18. Grafik Frekuensi Kecepatan Angin Musim Peralihan 2 Menunjukkan Nilai Kecepatan Angin Dominan di Angka 4-6 m/s

Pada Tabel 16 menunjukkan distribusi dan nilai Kecepatan Angin Musim Peralihan di dominasi ke arah Barat Laut dengan persentasi 54.50% dari nilai keseluruhan. Arah dominasi angin pada Musim Peralihan 2 juga cenderung ke arah Barat dengan nilai total prosentase sebesar 33.63 %. Tabel distribusi arah dan kecepatan angin Musim Peralihan 2 dapat dilihat pada Tabel 16.

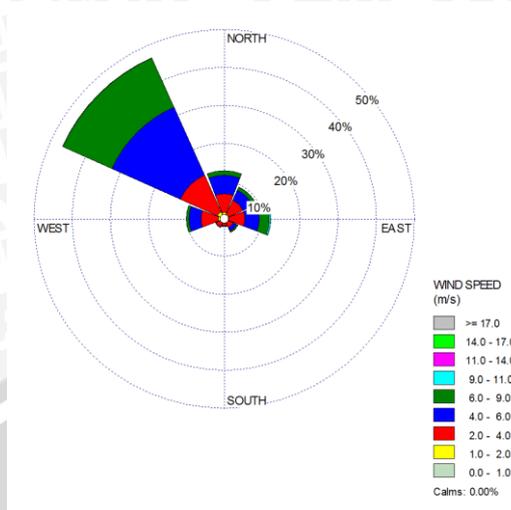
Tabel 16. Distribusi Arah dan Kecepatan Angin Musim Peralihan 2 dengan Arah Dominan Hembusan ke Arah Barat Laut dan Barat

Arah	Kecepatan Angin (m/s)									Total
	0.0 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 4.0	4.0 - 6.0	6.0 - 9.0	9.0 - 11.0	11.0 - 14.0	14.0 - 17.0	≥ 17.0	
337.5 - 22.5	0.00055	0.0044	0.02227	0.01265	0.0011	0	0	0	0	0.04093
22.5 - 67.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67.5 - 112.5	0	0	0.00082	0	0	0	0	0	0	0.00082
112.5 - 157.5	0.00055	0.00192	0.0044	0.00082	0	0	0	0	0	0.00769
157.5 - 202.5	0.0011	0.0033	0.01155	0.00357	0.00082	0	0	0	0	0.02033
202.5 - 247.5	0.00165	0.0033	0.01897	0.0176	0.0066	0	0	0	0	0.04808
247.5 - 292.5	0.00357	0.01457	0.11575	0.16167	0.04097	0	0	0	0	0.33626
292.5 - 337.5	0.00385	0.01787	0.16937	0.2623	0.09183	0.00027	0	0	0	0.54505
Sub-Total	0.01126	0.04533	0.34286	0.45824	0.14121	0.00027	0	0	0	0.99918
Calms										0
Missing/ Incomplete										0.00082
Total										1

4.3.1.5 10 Tahun (2006-2015)

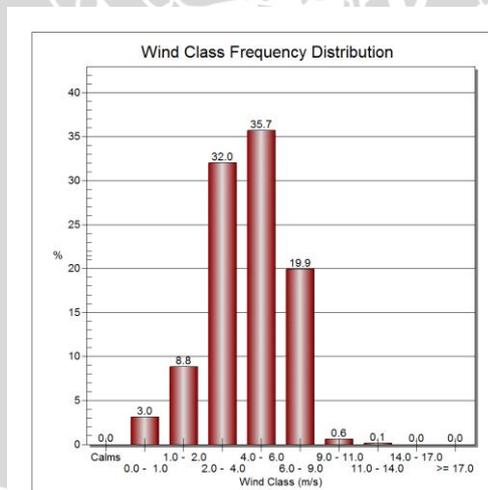
Nilai kecepatan dan arah arus rata-rata selama 10 tahun di Pantai Kuta dari tahun 2006 sampai 2015 didapat dari data ECWMF bahwa arah dominan angin mengarah ke Barat Laut. Diagram Angin rata-rata selama 10 tahun dapat dilihat pada Gambar 19.





Gambar 19. Diagram Mawar Angin Selama 10 Tahun Menunjukkan Arah Dominan Hembusan Angin ke Arah Barat Laut

Gambar 20 menunjukkan bahwa nilai kecepatan dominasi angin selama 10 tahun didapat 4-6 m/s dengan persentase sebesar 35.7% dari keseluruhan nilai kecepatan angin. Kemudian nilai dominasi kedua nilai kecepatan angin yaitu pada kecepatan 2-4 m/s. Sedangkan nilai minimum kecepatan angin berada pada kecepatan 11-14 m/s dengan persentase hanya 0.1%.



Gambar 20. Grafik Frekuensi Kecepatan Angin Selama 10 Tahun Memiliki Nilai Dominan Kecepatan Angin 4-6 m/s

Pada Tabel 16 distribusi arah dan nilai kecepatan angin didapat bawah selama 10 tahun di Pantai Kuta, arah angin dominan ke arah Barat Laut dengan prosentasi sebesar 46.49%. Sedangkan, arah minimum hembusan angin

berhembus ke arah Barat Daya dengan nilai prosentase sebesar 2.25 % dari total keseluruhan hembusan angin. Tabel 17 menunjukkan distribusi arah dan kecepatan angin selama 10 tahun.

Tabel 17. Distribusi Arah dan Kecepatan Angin Selama 10 Tahun dengan Arah Dominan Hembusan ke Arah Barat Laut

Arah	Kecepatan Angin (m/s)									Total
	0.0 - 1.0	1.0 - 2.0	2.0 - 4.0	4.0 - 6.0	6.0 - 9.0	9.0 - 11.0	11.0 - 14.0	14.0 - 17.0	>= 17.0	
337.5 - 22.5	0.00425	0.0141	0.04889	0.04868	0.01185	0	0	0	0	0.12774
22.5 - 67.5	0.00431	0.01041	0.03985	0.02924	0.0089	0.00034	0.00007	0	0	0.0931
67.5 - 112.5	0.00322	0.01007	0.04197	0.03766	0.02609	0.00383	0.00041	0	0	0.12322
112.5 - 157.5	0.00301	0.00719	0.01698	0.01007	0.00322	0.00048	0.00014	0	0	0.04107
157.5 - 202.5	0.00418	0.00664	0.00883	0.00205	0.00068	0.00014	0	0	0	0.02252
202.5 - 247.5	0.00349	0.00883	0.0128	0.00157	0	0	0	0	0	0.0267
247.5 - 292.5	0.0037	0.01328	0.04485	0.03177	0.00685	0.00007	0	0	0	0.10049
292.5 - 337.5	0.00425	0.01719	0.10572	0.19582	0.14112	0.00096	0	0	0	0.46495
Sub-Total	0.03039	0.08769	0.31982	0.35679	0.19866	0.00582	0.00062	0	0	0.99979
Calms										0
Missing/ Incomplete										0.00021
Total										1

4.4 Tinggi dan Periode Gelombang ECMWF

Agar data yang digunakan lebih spesifik maka tinggi dan periode gelombang langsung didapat dari ECMWF tidak dilakukan pengolahan dengan data angin ECMWF. Data tinggi dan periode gelombang yang didownload dari merupakan data harian selama 10 tahun, dimulai dari tahun dari 2006 – 2015. Di bawah ini disajikan data tinggi dan periode gelombang musiman, yaitu Musim Barat (Desember, Januari, Februari), Musim Peralihan 1 (Maret, April, Mei), Musim Timur (Juni, Juli Agustus), dan Musim Peralihan 2 (September, Oktober, November).

Hasil pengolahan tinggi gelombang representatif musiman selama 10 tahun menunjukkan bahwa nilai tertinggi rata-rata didapat pada Musim Timur dengan nilai tinggi gelombang signifikan sebesar 2.44 m/s, nilai tinggi gelombang minimal sebesar 1.05 m, dan nilai tinggi gelombang maksimal sebesar 3.44 m, yang

merupakan nilai tinggi gelombang tertinggi kedua setelah Musim Peralihan 2 dengan nilai tinggi gelombang sebesar 3.59 m.

Sedangkan nilai tinggi gelombang representatif musiman selama 10 tahun terendah terdapat pada Musim Barat dengan nilai tinggi gelombang signifikan sebesar 2.05 m, nilai tinggi gelombang minimal 0.64 dan nilai tinggi gelombang signifikan sebesar 3.28 merupakan nilai terendah kedua setelah Musim Peralihan 1. Tabel 18 menunjukkan tinggi gelombang representatif Musiman selama 10 tahun dari tahun 2006 sampai 2015.

Tabel 18. Tinggi Gelombang Representatif (Tahun 2006-2015)

Tinggi Gelombang Representatif (Tahun 2006-2015)			
Musim	H_s (m)	H_{max} (m)	H₁₀₀ (m)
Barat	2.05	3.28	1.61
Peralihan 1	2.08	3.21	1.68
Timur	2.44	3.44	2.00
Peralihan 2	2.27	3.60	1.77
10 Tahun	2.24	3.60	1.76

Hasil periode gelombang representatif selama 10 tahun (2006-2015) yang dikelompokkan berdasarkan Musim Barat, Musim Peralihan 1, Musim Timur dan Musim Peralihan 2 didapat bahwa nilai periode tertinggi didapat pada Musim Peralihan 1 dengan nilai periode gelombang maksimal sebesar 16.45 detik, sedangkan nilai periode signifikan terbesar berada di Musim Peralihan 2. Di antara semua musim, Musim Barat memiliki Periode Gelombang yang paling rendah dengan nilai periode minimal 6.5 detik. Periode gelombang representatif musiman selama 10 tahun dari tahun 2006 sampai 2015 dapat dilihat pada Tabel 19.

Tabel 19. Periode Gelombang Representatif (Tahun 2006-2015)

Periode Gelombang Representatif (Tahun 2006-2015)			
Musim	T_s (detik)	T_{max} (detik)	T₁₀₀ (detik)
Barat	10.55	14.14	10.38
Peralihan 1	11.96	16.45	11.31
Timur	11.94	15.42	10.90
Peralihan 2	12.25	15.88	11.03
10 Tahun	12.44	16.45	10.90

4.4.1 Transformasi Tinggi Gelombang ECMWF

Pada tinggi gelombang ECMWF perlu dilakukan transformasi gelombang, karena suatu deretan gelombang yang menuju pantai akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh refraksi dan pendangkalan gelombang. Sehingga, akan didapatkan nilai tinggi gelombang yang disebut gelombang laut dalam ekuivalen. Berikut, nilai tinggi gelombang setelah dilakukan transformasi gelombang dengan dua stasiun masing-masing pada kedalaman 0.8 m dan 0.7 m yang disajikan pada Tabel 20.

Tabel 20. Transformasi Tinggi Gelombang

Musim	Transformasi Gelombang Stasiun 1 (m)	Transformasi Gelombang Stasiun 2 (m)	Tinggi Gelombang ECMWF (m)
Barat	1.25	1.25	1.61
Peralihan 1	1.52	1.52	1.68
Timur	1.55	1.55	2
Peralihan 2	1.61	1.61	1.77

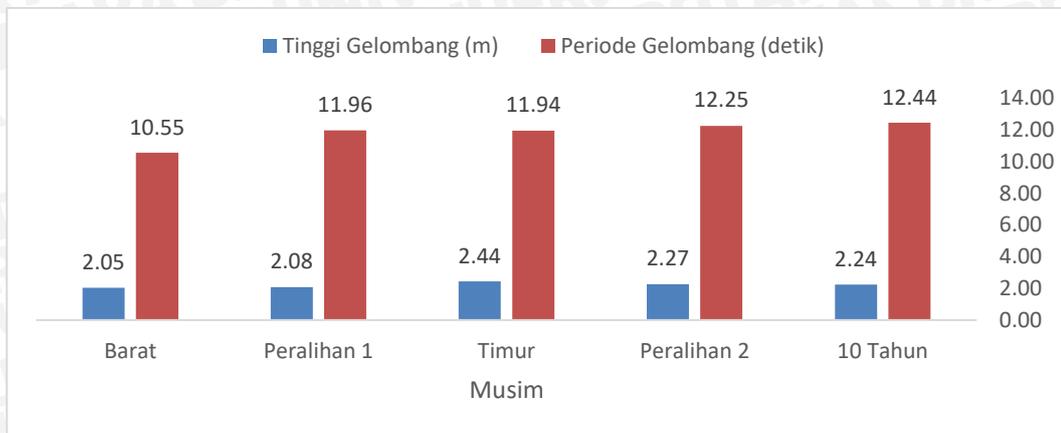
Berdasarkan perhitungan transformasi gelombang didapatkan hasil tinggi gelombang yang memiliki nilai hampir sama pada kedalaman 0.8 dan 0.7 m. Pada Musim Barat didapat nilai tinggi gelombang 1.25 m, Musim Peralihan 1 1.52 m, Musim Timur 1.55 m, dan pada Peralihan 2 didapatkan nilai setinggi 1.61 m.

4.5 Hubungan Antara Kecepatan Angin, Tinggi Gelombang dan Periode Gelombang

4.5.1 Hubungan Antara Periode Gelombang dengan Tinggi Gelombang

Pada grafik hubungan antara periode gelombang dengan tinggi gelombang menunjukkan pada periode gelombang Musim Barat memiliki nilai tinggi gelombang setinggi 2.05 m dengan periode 10.55 detik, kemudian pada Musim Peralihan 1 didapat tinggi 2.08 m dan periode 11.96, pada Musim Timur didapat nilai tinggi gelombang yang paling tinggi di antara musim yang lain yaitu 2.44 m dengan periode 11.94, sedangkan pada Peralihan 2 didapat nilai tinggi gelombang setinggi

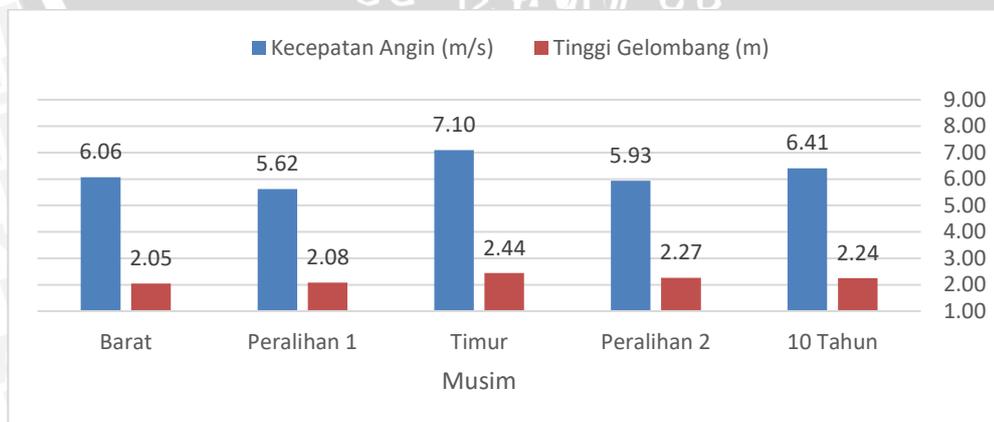
2.27 m dan periode 12.25 detik. Grafik hubungan antara periode gelombang dengan tinggi gelombang dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Hubungan Antara Periode Gelombang dengan Tinggi Gelombang Tiap Musim

4.5.2 Hubungan Antara Kecepatan Angin dengan Tinggi Gelombang

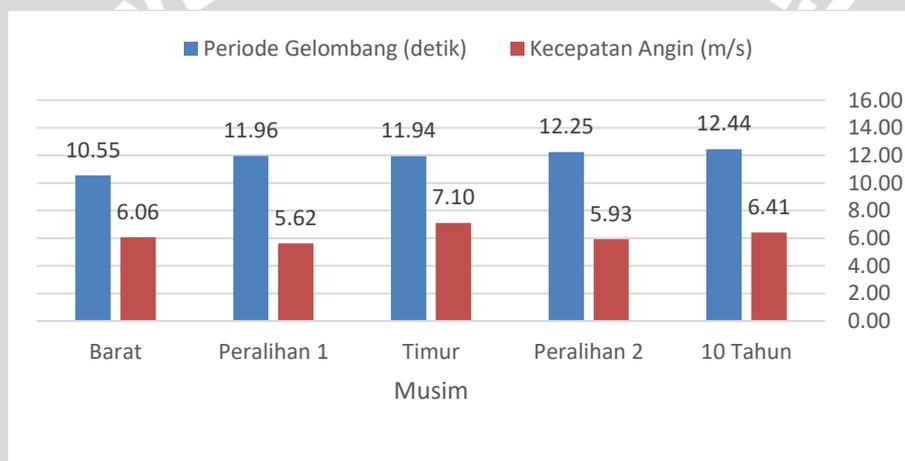
Pada Gambar 22 menunjukkan hubungan antara kecepatan angin dengan tinggi gelombang tiap musimnya. Hubungan antara kecepatan angin dan tinggi gelombang pada Musim Barat dengan kecepatan angin senilai 6.06 m/s dengan tinggi gelombang 2.05 m, pada Musim Peralihan 1 didapat nilai kecepatan angin dengan nilai kecepatan sebesar 5.62 m/s dengan tinggi gelombang 2.08 m, nilai kecepatan angin pada Musim Timur merupakan yang paling tinggi dengan nilai 7.10 m/s dengan tinggi gelombangnya 2.44 m, sedangkan Musim Peralihan memiliki nilai kecepatan sebesar 5.93 m/s dengan tinggi gelombang 2.27 m.



Gambar 22. Hubungan Antara Kecepatan Angin dengan Tinggi Gelombang Tiap Musim

4.5.3 Hubungan Antara Kecepatan Angin dengan Periode Gelombang

Hubungan antara kecepatan angin dan periode gelombang dapat dilihat pada Gambar 23. Pada Musim Barat nilai periode gelombang didapat nilai periode 10.55 detik dengan nilai kecepatan angin sebesar 6.06 m/s, pada Musim Peralihan 1 didapat nilai periode gelombang sebesar 11.96 detik dengan nilai kecepatan angin sebesar 5.62, periode gelombang Musim Timur didapat nilai sebesar 11.94 detik dengan kecepatan angin sebesar 7.10 m/s, sedangkan pada Musim Peralihan 2 didapat nilai periode gelombang tertinggi yaitu 12.25 detik namun dengan kecepatan angin yang rendah dengan nilai 5.93 m/s.

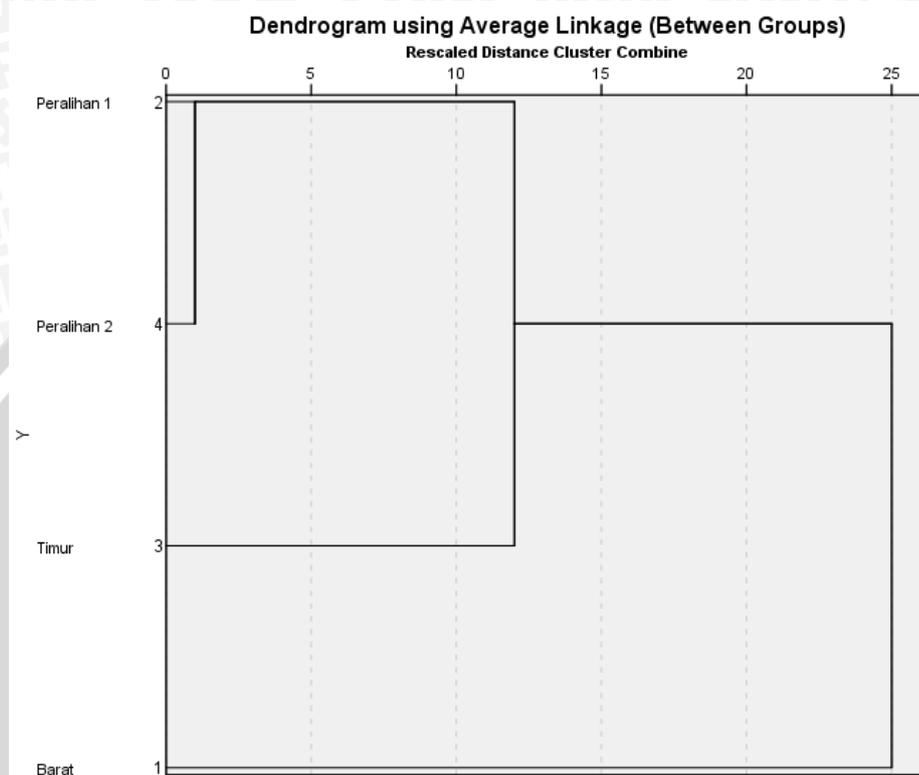


Gambar 23. Hubungan Antara Kecepatan Angin dengan Periode Gelombang Tiap Musim

4.5.4 Kedekatan Antar Musim

Gambar 24 merupakan hasil proses *clustering* dengan metode "*Between Group Linkage*". Proses ini untuk mengetahui kesamaan karakteristik gelombang yang dilihat dari gelombang representatif dan kecepatan serta arah angin. Berdasarkan Gambar 20 dapat dilihat bahwa terdapat 2 kelompok yang memiliki kemiripan karakteristik angin dan gelombang . Pada Kelompok 1 terdiri dari Musim Peralihan 1, Musim Peralihan 2, dan Musim Timur. Sedangkan pada Kelompok 2 terdapat Musim Barat. Dari Gambar juga dapat disimpulkan bahwa Musim Peralihan 1 dan Musim Peralihan 2 merupakan Musim yang memiliki karakter yang

hampir sama satu sama lainnya, diikuti dengan Musim Timur. Selain itu, Musim Barat juga merupakan Musim yang paling berbeda karakteristiknya dibanding dengan Musim lainnya.



Gambar 24. Dendrogram Analisis Hasil *Clustering* berdasarkan Karakteristik Kecepatan Angin dan Gelombang

4.6 Perkiraan Tinggi Gelombang Periode Ulang

Periode ulang gelombang diperlukan untuk menentukan tinggi gelombang rencana. Yuwono (1982) menyatakan bahwa tinggi gelombang rencana yang digunakan tergantung pada jenis konstruksi yang akan dibangun dan nilai daerah yang akan dilindungi. Perencanaan bangunan pelindung pantai biasanya menggunakan gelombang signifikan (H_s) dengan periode ulang tertentu. Perkiraan tinggi gelombang periode ulang menggunakan 100 tahunan dengan rincian 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun dengan metode *Fisher Tippet Type-1* dan *Weibull*.

4.6.1 Metode *Fisher Tippet Type-1*

Hasil perhitungan tinggi gelombang periode ulang Metode *Fisher Tippet Type-1* pada Tabel 21 menunjukkan bahwa tinggi gelombang semakin meningkat

berdasarkan penambahan tahun. Hal ini terlihat pada periode ulang 2 tahun menunjukkan nilai tinggi gelombang 3.31 m, 5 tahun= 3.46, 10 tahun= 3.55 m, 25 tahun= 3.67 m, 50 tahun= 3.76 m, dan pada 100 tahun nilai tinggi gelombang periode ulang menunjukkan angka 3.85 m. Hal ini terjadi karena semakin lama periode ulang tahunan, maka semakin banyak tinggi gelombang maksimum yang terjadi.

Tabel 21. Tinggi Gelombang dengan Periode Ulang 100 Tahunan (2006-2106) dengan Metode *Fisher Tippet Type-1*

Periode ulang (tahun)	Yr (tahun)	Hsr (m)	O _{nr}	O _r	Hs-1.28O _r	Hs+1.28O _r
2	0.37	3.31	0.34	0.05	3.25	3.38
5	1.50	3.46	0.57	0.09	3.35	3.57
10	2.25	3.55	0.78	0.12	3.40	3.71
25	3.20	3.67	1.06	0.16	3.47	3.88
50	3.90	3.76	1.28	0.19	3.51	4.01
100	4.60	3.85	1.49	0.23	3.56	4.14

4.6.2 Metode *Weibull*

Pada Tabel 22 menunjukkan hasil perhitungan tinggi gelombang periode ulang metode *Weibull*. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai tinggi gelombang semakin meningkat sering penambahan waktu, misalnya pada periode ulang 2 tahun nilai tinggi gelombang sebesar 3.31 m, 5 tahun= 3.37 m, 10 tahun, 3.43 m, 25 tahun= 3.52, 50 tahun= 3.60 m, dan pada 100 tahun periode ulang nilai tinggi gelombang mencapai 3.68 m. Hal ini terjadi karena semakin lama periode ulang tahunan, maka semakin banyak tinggi gelombang maksimum yang terjadi. Tren periode ulang ini memiliki rata-rata pertumbuhan nilai tinggi gelombang sebesar 0.17 m.

Tabel 22. Tinggi Gelombang dengan Periode Ulang 100 Tahunan (2006-2106) dengan Menggunakan Metode *Weibull*

Periode ulang (tahun)	Yr (tahun)	Hsr (m)	O _{nr}	O _r	Hs-1.28O _r	Hs+1.28O _r
2	0.61	3.31	0.46	0.07	3.22	3.40
5	1.89	3.37	1.07	0.16	3.17	3.58
10	3.04	3.43	1.67	0.26	3.11	3.76
25	4.75	3.52	2.59	0.39	3.02	4.03
50	6.16	3.60	3.35	0.51	2.95	4.25



Periode ulang (tahun)	Yr (tahun)	Hsr (m)	O _{nr}	O _r	Hs-1.28O _r	Hs+1.28O _r
100	7.66	3.68	4.15	0.63	2.87	4.49

4.6.3 Perbandingan Metode Fisher Tippet Type-1 dan Weibull

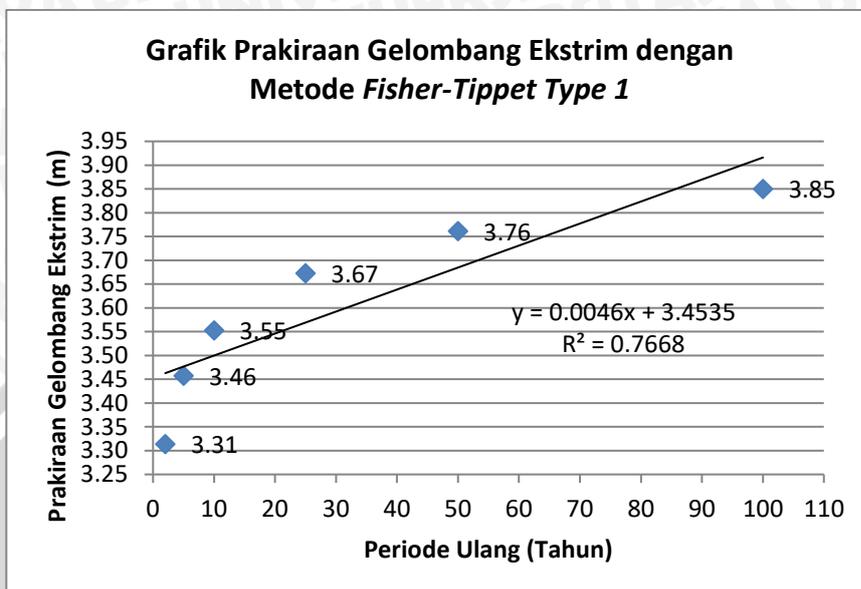
Analisis perbandingan antara metode *Fisher Tippet Type-1* dan *Weibull* dilakukan dengan membandingkan antara data hasil perhitungan kedua metode dengan data gelombang signifikan maksimum yang didapatkan dari ECMWF pada rentang tahun yang sama. Data yang sama pada penelitian ini yaitu periode ulang 2 tahunan (2006-2007), 5 tahunan (2006-2010), dan 10 tahunan (2006-2010). Data dengan tahun yang sama tersebut dianalisis menggunakan nilai *Mean Relative Error* (MRE) untuk mengetahui prosentase error antara tinggi gelombang periode ulang dengan data ECMWF. Data dengan prosentase MRE rendah berarti baik. Hasil perhitungan MRE antara tinggi gelombang periode ulang metode *Fisher Tippet Type-1* dan *Weibull* dengan data ECMWF tersaji pada Tabel 24 sebagai berikut:

Tabel 23. Analisis Perbandingan Tinggi Gelombang Periode Ulang Berdasarkan Nilai MRE

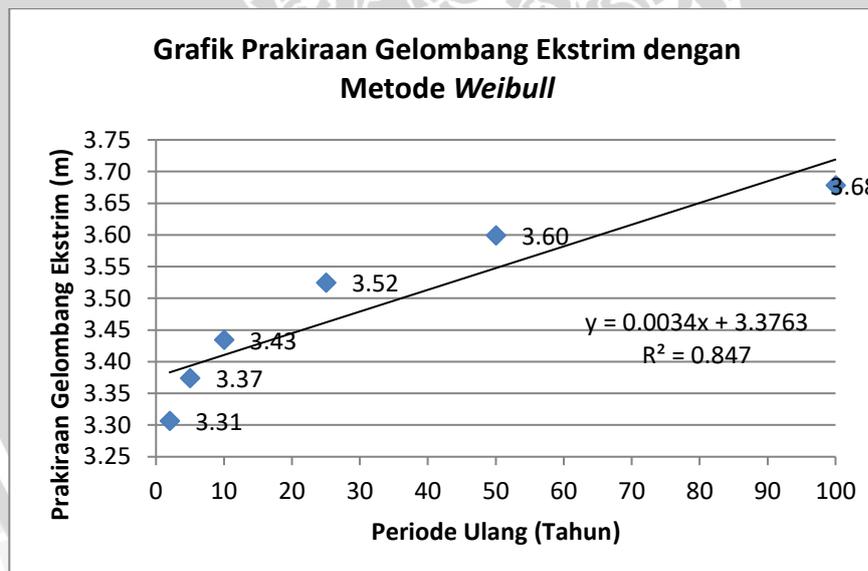
Tahun Periode Ulang	Data ECMWF (m)	<i>Fisher Tippet Type-1</i> (m)	<i>Weibull</i> (m)
2	3.51	3.31	3.31
MRE (%)		6.06	6.31
5	3.51	3.46	3.37
MRE (%)		1.66	4.19
10	3.34	3.55	3.43
MRE (%)		5.84	2.60

Hasil peramalan tinggi gelombang berdasarkan periode ulang metode *Fisher Tippet Type-1* dan *Weibull* terhadap data ECMWF berdasarkan nilai MRE sesuai Tabel menunjukkan bahwa nilai MRE bervariasi untuk metode yang sama. Terlihat bahwa nilai rata-rata MRE pada metode *Fisher Tippet Type-1* didapat nilai 3.91% sedangkan nilai rata-rata MRE pada metode *Fisher* sebesar 2.56%. Disimpulkan bahwa metode periode ulang yang lebih mendekati data tinggi gelombang BMKG adalah metode *Weibull* untuk perairan Panta Kuta. Untuk lebih

detailnya hasil tinggi gelombang metode *Fisher Tippet Type-1* dan *Weibull* dilakukan uji regresi, hasil regresi dapat dilihat pada Gambar 25 dan Gambar 26.



Gambar 25. Grafik Regresi Prakiraan Gelombang dengan Metode *Fisher Tippet Type-1*



Gambar 26. Grafik Regresi Prakiraan Gelombang dengan Metode *Weibull*

Nilai R^2 terletak antara 0 – 1, dan kecocokan model dikatakan lebih baik kalau R^2 semakin mendekati 1. Berdasarkan Gambar 26 dan Gambar 27 di atas, nilai R^2 pada metode *Weibull* sebesar 0.847, sedangkan pada metode *Fisher Tippet Type-1* nilai regresi sebesar 0.766. Nilai R^2 tinggi berarti semakin kuat dan baik persamaan linier tersebut, hal ini berarti metode *Weibull* lebih kuat hubungan

liniernya dengan tahun periode ulangnya dibandingkan dengan metode *Fisher Tippet Type-1*.

Hasil analisis regresi ini sama dengan analisis menggunakan MRE, dimana pada analisis MRE metode *Weibull* juga lebih baik dibandingkan dengan metode *Fisher Tippet Type-1*. Jadi, bisa disimpulkan bahwa metode *Weibull* lebih baik dibanding dengan metode *Fisher Tippet Type-1* untuk wilayah perairan Pantai Kuta.

4.6.4 Transformasi Tinggi Gelombang Periode Ulang Metode *Fisher Tippet Type-1*

Pada tinggi gelombang periode ulang, metode *Fisher Tippet Type-1* dipilih berdasarkan nilai ketinggian dalam 100 tahun lebih tinggi dibanding Metode *Weibull*, sehingga untuk transformasi tinggi gelombang dipilih yang memiliki tinggi gelombang paling tinggi. Hal ini dikarenakan untuk perencanaan bangunan pelindung pantai harus dipilih metode yang menghasilkan gelombang lebih tinggi. Berikut hasil transformasi tinggi gelombang dilihat pada Tabel 23.

Tabel 24. Transformasi Tinggi Gelombang Periode Ulang metode *Fisher Tippet Type-1*

Tahun	Transformasi Gelombang <i>Fisher Tippet Type-1</i> (m)	Tinggi Periode Ulang <i>Fisher Tippet Type-1</i> (m)
2	1.89	3.31
5	1.98	3.46
10	2.03	3.55
25	2.10	3.67
50	2.15	3.76
100	2.20	3.85

Pada Tabel 23 dapat dilihat transformasi gelombang menunjukkan nilai 1.89 m pada analisis periode ulang 2 tahunan, nilai 1.98 untuk periode 5 tahunan, dan nilai 2.03 m, 2.10 m, 2.15 m, dan 2.20 m untuk periode ulang 10, 25, 50, dan 100 tahun secara berurutan.

4.7 Validasi Data

4.7.1 Validasi Data Lapangan dengan Data Transformasi Gelombang ECMWF

Validasi data dilakukan untuk mengetahui keakuratan data transformasi gelombang ECMWF perlu dilakukan validasi data pengukuran lapangan secara langsung. Pada pengukuran lapangan kemarin dilakukan pada tanggal 17 dan 18 Maret 2016, untuk keakuratan data maka data ECMWF juga menggunakan tanggal 17 dan 18 Maret 2016. Pada Tabel 25 menunjukkan validasi data menggunakan nilai MRE. Nilai MRE hasil validasi lapangan didapat nilai yaitu 24.14 %.

Tabel 25. Validasi Data Transformasi Gelombang ECMWF dengan Data Lapangan pada Tanggal 17-18 Maret 2016

	Data ECMWF (m)	Data Lapangan (m)
	1.13	1.4
MRE (%)	24.14	

4.7.2 Validasi Data BMKG dengan Data ECMWF

Verifikasi waktu merupakan perbandingan antara data ECMWF dan data BMKG yang dilakukan pada waktu sama yaitu pada tahun 2006 sampai 2015 yang dilakukan berdasarkan musim, yaitu Musim Barat, Musim Peralihan 1, Musim Timur, dan Musim Peralihan 2. Verifikasi ini dilakukan untuk melihat keakuratan data ECMWF yang menjadi sumber data utama. Data tersebut dianalisis menggunakan nilai MRE untuk mengetahui prosentase MRE galat antara tinggi gelombang menggunakan data ECMWF dengan data konversi angin BMKG ke tinggi gelombang. Hasil perhitungan MRE untuk verifikasi data ECMWF dan BMKG dapat dilihat pada Tabel 26.

Tabel 26. Validasi Tinggi Gelombang ECMWF dengan Data BMKG Berdasarkan Nilai MRE

Musim	Data BMKG (m)	Data ECMWF (m)
Barat	1.17	1.25
MRE (%)	7.46	
Peralihan 1	0.89	1.52
MRE (%)	63.77	
Timur	1.24	1.55
MRE (%)	31.23	

Musim	Data BMKG (m)	Data ECMWF (m)
Peralihan 2	1.24	1.61
MRE (%)	34.86	

Hasil perhitungan nilai MRE didapatkan hasil masing-masing prosentase pada Musim Barat= 7.46 %, Musim Peralihan 1= 63.77 %, Musim Timur= 31.23 %, dan Musim Peralihan 2= 34.86 %. Nilai yang paling mendekati data BMKG ada pada Musim Barat dengan prosentasi galat sebesar 7.46 %, sedangkan nilai MRE yang paling jauh dari data BMKG ada pada Musim Peralihan 1 dengan nilai MRE sebesar 63.77 %. Namun, rata-rata keseluruhan musim memiliki nilai MRE sebesar 34.86 %.

4.8 Analisis Arah dan Kecepatan Angin

Analisis arah dan kecepatan angin di Pantai Kuta didasarkan pada hasil musiman yaitu Musim Barat (Desember, Januari, Februari), Musim Peralihan 1 (Maret, April, Mei), Musim Timur (Juni, Juli, Agustus), Musim Peralihan 2 dan (September, Oktober, November) selama 10 Tahun (2006-2015).

Pada analisis arah angin ini rata-rata memiliki arah yang hampir sama kecuali pada Musim Barat. Pada Musim Timur, Musim Peralihan 1, dan Musim Peralihan 2 arah hembusan angin cenderung ke arah Timur Laut. Namun, pada Musim Barat hembusan angin berbeda dimana arah angin berhembus ke arah Barat Laut. Pada Musim Timur di wilayah Indonesia, terjadi angin Monsun Australia yang bertiup dari Tenggara melintasi wilayah Indonesia menuju ke Barat. Sedangkan, kecenderungan Musim Barat di Indonesia yang berhembus ke arah Timur juga sesuai dengan Monsun Asia, dimana angin bertiup dari benua Asia menuju Australia melintasi Indonesia atau dari Arah Utara Wilayah Indonesia kemudian menuju ke Timur. Pada Peralihan 1 dan Peralihan 2, arah dan kecepatan masih dalam pengaruh Monsun Australia karena sumber angin yang lebih dekat dibanding dengan Monsun Asia. Hal ini sesuai dengan penelitian Martono (2011)

dimana pada Musim Barat mempunyai pola pergerakan angin yang berbeda dengan Musim lainnya yaitu angin bergerak ke arah Timur, pada Musim Peralihan 1 angin bergerak ke arah Barat dan Barat Laut, Musim Timur angin juga bergerak ke arah Barat dan Barat Laut, sedangkan pada Musim Peralihan 2 angin menunjukkan pola yang sama yaitu bergerak ke arah Barat.

Pola yang terjadi pada peralihan 1 dan peralihan 2 memiliki karakter yang sama jika dilihat dari analisis *clustering*, hal ini merupakan akibat dari perubahan yang terjadi atau masa peralihan dari Musim Barat ke Musim Timur dan juga dari Musim Timur ke Musim Barat. Pada Musim Peralihan 1 dan Musim Peralihan 2 sama-sama mengalami pelemahan kecepatan angin yang disebabkan oleh perubahan secara berkala tekanan yang terjadi. Sehingga, dapat disimpulkan dari penjelasan tersebut peralihan 1 dan peralihan 2 memiliki kedekatan karakter musim yang sama. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan (2011) dimana mengemukakan bahwa pada Musim Peralihan 1 maupun Musim Peralihan 2 pada kondisi kecepatan angin mengalami pelemahan akibat posisi matahari berada di sekitar wilayah ekuator, dengan demikian gradien suhu antara Asia dan Australia tidak besar sehingga kecepatan aliran angin dari kedua benua yang melintasi Indonesia rendah.

Musim Barat merupakan musim dengan kecepatan angin yang paling lemah dibanding dengan musim lainnya, hal ini disebabkan oleh pada Musim Barat terjadi Munson Barat dimana angin berhembus dari Asia menuju Australia. Pada sebelah selatan ekuator angin yang bertiup lebih lemah karena mengalami hambatan (pembelokan) ketika melintasi daerah akibat adanya gaya yang ditimbulkan oleh rotasi bumi. Sehingga, ketika memasuki perairan sebelah selatan ekuator, *fetch* yang terbentuk lebih pendek dibanding dengan di sebelah utara (Kurniawan, 2011). Hal lain yang menyebabkan Musim Barat memiliki kecepatan

angin yang paling rendah juga karena keberadaan gugusan pulau sepanjang perairan Indonesia juga mempengaruhi *fetch* yang terbentuk.

Perbedaan mendasar ini disebabkan oleh pembangkitan arah angin karena adanya perubahan tekanan di daratan sekitarnya sebagai akibat dari berubahnya posisi matahari (Wyrski, 1961). Akibatnya secara musiman baik arah maupun kecepatan angin yang bertiup di atas perairan ini selalu berubah.

4.9 Analisis Karakteristik Gelombang

Pada analisis karakteristik gelombang angin di Pantai Kuta didasarkan pada hasil musiman yaitu Musim Barat (Desember, Januari, Februari), Musim Peralihan 1 (Maret, April, Mei), Musim Timur (Juni, Juli, Agustus), Musim Peralihan 2 dan (September, Oktober, November) selama 10 Tahun (2006-2015).

Ditinjau dari frekuensi kejadiannya, gelombang angin merupakan gelombang yang paling dominan terjadi di laut. Sehingga, tinggi gelombang bisa diprediksi dari kejadian angin yang terjadi. Pada Musim Timur tingginya gelombang disebabkan karena terjadi pada Monsun Australia dimana angin berhembus dari Australia menuju Asia. Pantai Kuta terletak dekat dengan Australia sehingga angin berhembus melewati permukaan Pantai Kuta dipengaruhi Monsun Australia dan mengakibatkan pada Musim Timur terjadi tinggi gelombang rata-rata tertinggi. Sedangkan pada Musim Barat bisa disimpulkan karena terjadi pada Monsun Asia yang berhembus dari Asia menuju Australia, pada Musim Barat tinggi gelombang yang dihasilkan tidak terlalu tinggi mengingat pusat hembusan angin yang terjadi jauh dari titik lokasi yaitu dari Asia.

Kesamaan karakteristik gelombang yang terjadi pada Musim Timur, Musim Peralihan 1, dan Musim Peralihan 2 bisa disebabkan karena letak lokasi Pantai Kuta yang berdekatan dengan Australia dimana terjadi Angin Monsun Australia dan karakter pada musim-musim tersebut masih terdapat pengaruh dari Monsun Australia. Musim Barat merupakan Musim yang paling rendah tinggi gelombangnya

di Pantai Kuta. Menurut Kurniawan (2011) pada Musim Barat tinggi gelombang cenderung rendah disebabkan oleh letak letak matahari yang berada di bawah ekuator sehingga gradien suhu antara Asia dan Australia menjadi tinggi dan menyebabkan angin yang terjadi tidak terlalu kuat mengakibatkan tinggi gelombang yang terbentuk cenderung lebih rendah dibanding musim lainnya. Sedangkan, pada Musim Timur sedang aktif Monsun Australia, dimana angin secara konsisten berhembus dari Australia menuju Asia melintasi Indonesia sehingga menyebabkan gelombang di Indonesia juga tinggi.

4.10 Keterkaitan antara Gelombang dengan Angin

Pada Musim Timur di Pantai Kuta kecepatan angin paling cepat dibanding dengan musim lainnya, sejalan dengan tinggi gelombang rata-rata yang paling tinggi dibanding musim lainnya. Kecepatan angin ini didapat paling tinggi dari arah timur. Sedangkan, kecepatan angin terendah kedua setelah Musim Peralihan 1 terdapat pada Musim Barat, namun dengan tinggi gelombang rata-rata terendah dibanding dengan musim lainnya. Tingginya hal ini berkaitan juga dengan *fetch*. Angin berhembus pada perairan mengubah permukaan menjadi riak dan gelombang kecil. Sejalan dengan tumbuhnya tinggi gelombang, angin mendorong gelombang semakin tinggi. Riak gelombang, terbentuk pada kecepatan angin 0.23 m/s, dan menjadi gelombang kecil sejalan dengan arah angin. Namun, sejalan dengan kecepatan angin yang meningkat, gelombang kecil di permukaan menjadi semakin tinggi. Saat angin berturbulensi dengan permukaan perairan dan mulai memindahkan energinya ke angin (Anthoni, 2000). Pembentukan gelombang yang sempurna juga bergantung pada durasi dan *fetch*. Pada beberapa musim tidak selalu mengalami gelombang tinggi, meskipun gelombang rendah, banyak gelombang yang memiliki tinggi tertentu dan terkadang gelombang terjadi jauh lebih tinggi. Ketika angin berhembus secara terus-menerus dari arah yang sama, gelombang yang terbentuk akan mencapai maksimum tinggi, kecepatan dan

periodenya melebihi jarak *fetch* tertentu dari pantai. Tinggi gelombang juga bergantung pada periode dan kemiringan pantai di suatu wilayah.

Angin mulai bertiup sampai bertiup kencang untuk beberapa waktu. Petumbuhan gelombang yang tidak signifikan terjadi jika kecepatan angin melebihi 1 m/s. kemudian gelombang curam yang kecil akan terbentuk dengan meningkatnya kecepatan angin. Bahkan sampai angin mencapai kecepatan yang konstan, gelombang terus tumbuh dengan kenaikan yang cepat sampai mencapai ukuran dan panjang gelombang (dan kemudian kecepatan) yang sebanding dengan $1/3$ kecepatan angin. Di bawah posisi ini, gelombang terus meningkat ukurannya, panjang gelombang dan kecepatannya, tetapi dengan laju yang berkurang. Selanjutnya gelombang tumbuh terus sampai kecepatan yang sama dengan kecepatan angin, namun dalam prakteknya pertumbuhan gelombang berhenti pada saat kecepatan gelombang masih di bawah kecepatan angin.

Angin yang bertiup di atas permukaan laut merupakan pembangkit utama gelombang. Bentuk gelombang yang dihasilkan cenderung tidak menentu dan bergantung pada beberapa sifat gelombang periode dan tinggi dimana gelombang dibentuk. Tinggi gelombang rata-rata yang dihasilkan oleh angin merupakan fungsi dari kecepatan angin, waktu dimana angin bertiup, dan jarak dimana angin bertiup tanpa rintangan. Umumnya semakin kencang angin bertiup semakin besar gelombang yang terbentuk dan pergerakan gelombang mempunyai kecepatan yang tinggi sesuai dengan panjang gelombang yang besar (Hutabarat dan Evans, 1985).

Tinggi gelombang ini memang tidak selalu oleh kecepatan angin, atau bisa dikatakan tidak linear. Banyak hal yang menyebabkan sulitnya memaksimalkan penelitian mengenai gelombang ini. Perlu pertimbangan lain seperti tekanan angin, topografi, dan pergerakan angin. hal ini seperti penelitian yang dilakukan oleh Hokimoto (2012) mengungkapkan sulitnya untuk memprediksi fenomena yang

repository.ub.ac.id

berkaitan dengan laut adalah karena kompleksitas mekanisme fisik pembentukan gelombang. Ketika laut menjadi tinggi karena angin, pergerakan permukaan air laut disebabkan oleh interaksi dari faktor meteorologikal, seperti pergerakan angin dan tekanan atmosfer dan faktor topografi yang berbeda di tiap wilayah.



5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini, maka dapat ditarik kesimpulan terkait karakteristik gelombang di Pantai Kuta adalah:

1. Arah dan kecepatan angin Musim Barat memiliki dominasi angin berhembus kecepatan dominan sebesar 2-4 m/s, pada Musim Peralihan 1 angin berhembus ke arah Barat Laut secara dominan dengan kecepatan 2-4 m/s, pada Musim Timur hembusan angin mengarah ke Barat Laut dengan nilai kecepatan dominan 4-6 m/s, dan Musim Peralihan 2 angin secara dominan berhembus ke arah Barat Daya dengan dominasi nilai kecepatan ada pada rentang 4-6 m/s
2. Transformasi gelombang didapatkan hasil tinggi gelombang yang memiliki nilai hampir sama pada kedalaman 0.8 dan 0.7 m. Pada Musim Barat didapat nilai tinggi gelombang 1.25 m, Musim Peralihan 1 1.52 m, Musim Timur 1.55 m, dan pada Peralihan 2 didapatkan nilai setinggi 1.61 m
3. Tinggi gelombang periode ulang selama 100 tahun dengan Metode *Fisher-Tippet Type-1* yang telah dilakukan transformasi gelombang menunjukkan nilai 1.89 m pada analisis periode ulang 2 tahunan, nilai 1.98 untuk periode 5 tahunan, dan nilai 2.03 m, 2.10 m, 2.15 m, dan 2.20 m untuk periode ulang 10, 25, 50, dan 100 tahun secara berurutan.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut adalah diperlukan penelitian tentang studi bangunan pelindung pantai yang tepat guna mengetahui bangunan pelindung pantai yang cocok sebagai bangunan pelindung pantai di Pantai Kuta yang diakibatkan oleh gelombang. Selain itu penelitian kenaikan muka air laut dan pasang surut juga diperlukan guna mengetahui ketepatan penempatan

bangunan pelindung pantai di lingkungan Pantai Kuta. Hal yang lebih penting yang harus diperhatikan adalah dalam pengambilan data di lapangan. Pengambilan data perlu dilakukan sebanyak-banyaknya agar hasil yang diharapkan bisa sesuai dengan kondisi lapangan.



DAFTAR PUSTAKA

- Agustino, O., I.B Prasetyawan, dan A. Ismanto. 2014. Kajian Penjalaran dan Transformasi Gelombang Di Perairan Tanjung Kelian Kabupaten Bangka Barat. *Jurnal Oseanografi*. Volume 3, Nomor 2, Tahun 2014, Halaman 236 – 245
- Andayani, H.N.L dan N.N Yulianthini. 2013. Pengembangan Selancar (Surfing) di Kawasan Wisata Pantai Kuta, Kabupaten Badung Melalui Pemberdayaan Masyarakat (Community Based Development)
- Anthoni, J.F. 2000. *Oceanography: Waves Theory and Principles of waves, How They Work and What Causes Them*. www.seafriends.org.nz/oceano/waves.htm diakses pada tanggal 12 Juli 2016
- Arikunto, S. 2006. *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta
- Azis, M.F. 2006. Gerak Air Dilaut. *Jurnal oseana*. Volume XXXI Nomor 4 Tahun 2006 : 9 – 21
- Boslaugh, S. 2007. *Secondary Data Sources for Public Health*. USA: Cambridge University Press
- CERC, 1984. *Shore Protection Manual*. US Army Coastal Engineering, Research Center. Washington.
- Dewi, R., A. Pratomo, dan Y.V. Jaya. *Pendugaan Tinggi Gelombang Berdasarkan Kecepatan Angin pada Zona Alur Pelayaran di Perairan Tanjungpinang*. Universitas Riau. Riau
- Edy, H. 2013. *Model Distribusi Kecepatan Angin dan Pemanfaatannya dalam Peramalan Gelombang di Wilayah Timur Indonesia*. Volume 14 No. 01 Maret 2013. ISSN: 977 – 197997
- Hadi, S dan D.N. Sugianto. 2012. *Model Distribusi Kecepatan Angin Untuk Peramalan Gelombang dengan Menggunakan Metode Darbyshire dan SMB di Perairan Semarang*. *Bulletin Oseanografi Mariana*. Vol 1(1) : 25-32
- Hokimoto, T. 2012. *Prediction of Wave Height Based on the Monitoring of Surface Wind*. ISBN: 978-953-51-0301-1
- Handoko, P. 2007. *Mediasi Konflik Penanganan Kerusakan Pantai (Studi Kasus Penanganan Abrasi Pantai Kuta Bali)*
- Hanke, J.E. dan A.G. Reitsch. 1992. *Business Forecasting, 4th Edition*, Allyn and Bacon
- Hasan, I. 2002. *Analisis Data Penelitian dengan Statistik*. PT. Bumi Aksara: Jakarta
- Hidayat, F.W., A. Hendriawan, B. Sumantri dan F. Arifin. 2011. *Desain Sistem Kontrol Autopilot Menggunakan GPS pada Kapal*. PENS ITS : Surabaya

- Hutabarat, S dan S.M. Evans. 1985. Pengantar Oseanografi. Jakarta :UI Press
- Kramadibrata, S. 1985. Perencanaan Pelabuhan. Bandung: Ganeca Exact
- Ladys, M., H. Surbakti dan Hartoni. 2012. Penentuan Perubahan Garis Pantai dengan Teknologi Penginderaan Jauh dan Model Numerik di Kabupaten Batang Provinsi Jawa Tengah. *Maspari Journal*, 2012, 4 (2), 231-237
- Leksono, A., W. Atmodjo, dan L. Maslukah. 2013. Studi Arus Laut pada Musim Barat di Perairan Cirebon. *Jurnal Oseanografi Volume 2, Nomor 3, Tahun 2013*
- Marshall, C., dan G.B. Rosssman. 2006. *Designing Qualitative Research*. London: SAGE Publications
- Martono, Halimmurahman, R. Komarudin, Syarief, S. Priyatno, dan D. Nugraha. 2008. Studi Variabilitas Atas Perairan Samudera Hindia Berbasis Model Laut
- Marzuki. 2002. *Metodologi Riset*. Yogyakarta: Prasetya Widya Pratama
- Nawisworo, N dan Y.E. Sarlina. 2006. Perencanaan Sistem Perlindungan Pantai Kampung Cina Tua Provinsi Irian Jaya Tengah
- Ningsih, N.S. 2000. *Gelombang Laut*. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Nybakken, J.W. 1988. *Biologi Laut. Suatu Pendekatan Ekologis*. Jakarta: Gramedia
- Pujiharjo, A. 2009. *Teknik Pantai Bagian 1. Bahan Ajar. Teknik Sipil Universitas Brawijaya: Malang*
- Purwanto. 2011. Analisis Spektrum Gelombang Berarah di Perairan Pantai Kuta, Kabupaten Badung, Bali. volume 1 halaman 45 - 59 Oktober 2011. ISSN: 2089-3507
- Safitri, M, S.Y. Cahyarani, dan M.R. Putri. 2012. Variasi Arus Arlindo dan Parameter Oseanografi di Laut Timor Sebagai Indikasi Kejadian ENSO. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis Volume 4 (2) : 369-377*
- Samulano, I. 2012. Refraksi dan Fikrasik Gelombang Laut di Daerah Dekat Pantai Pariaman. Padang. Pascasarjana-Universitas Andalas
- Schlitzer, R. 2002. *User Guid for Ocean Data View*. Bremerhaven: Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research
- Sudjana. 2005. *Metode Statistika Edisi ke-6*. Bandung : Tarsito
- Sugiyono. 2010. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif & RND*. Bandung: Alfabeta
- Tempo. 2016. <https://m.tempo.co/read/news/2016/06/08/058777989/pantai-kuta-dan-sanur-terendam-penghasilan-pedagang-anjlok>. Diakses pada tanggal 27 Juni 2016
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Betta Offset.
- Triana, Y. 2008. Longshore Current yang Ditimbulkan oleh Transformasi Gelombang di Eretan Kulon, Indramayu. IPB: Tesis

U.S. Army. 1992. *Shore Protection Manual Vol. I & II*. U.S Government Printing office. Washington DC.

Weblakes. 2013. *WRPlot View*. <http://www.weblakes.com/products/wrplot/index.html> diakses pada tanggal 8 Desember 2013 pukul 22.32 WIB

Wicaksana, T.F., Suntoyo., dan K. Sambodho. 2004. Analisis Kerentanan Pantai Terhadap Erosi Akibat Kenaikan Muka Air Laut di Pantai Kuta dengan Modifikasi Model Bruun. Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Wijayanti, A., Suripin., dan Suharyanto. 2012. Kajian Efektifitas Pengamanan Pantai Kuta Bali Secara Struktural Dengan Menggunakan Nemos. Tesis. Universitas Diponegoro: Semarang

Wyrcki, K. 1961. *Physical Oceanography of the South East Asian Waters*, Institute Oceanography: California.

Yuliarinda, R.E., Muslim, dan Atmodjo, W. 2012 Studi Struktur Lapisan Termoklin di Perairan Selat Makassar. *Jurnal Oseanografi*. Semarang: Universitas Diponegoro

Yuwono, N. 1982. *Teknik Pantai*. Fakultas Teknik UGM: Yogyakarta



LAMPIRAN

Lampiran 1. Contoh Data Tinggi dan Periode Gelombang ECMWF

time_ISO8601	latitude [degrees_north]	longitude [degrees_east]	mwp [s]	swh [m]
2005-12-01T00:00:00	-8.75	115.125	11.41	1.70
2005-12-01T06:00:00	-8.75	115.125	11.41	1.73
2005-12-01T12:00:00	-8.75	115.125	11.16	1.68
2005-12-01T18:00:00	-8.75	115.125	10.90	1.61
2005-12-02T00:00:00	-8.75	115.125	11.09	1.65
2005-12-02T06:00:00	-8.75	115.125	10.85	1.5
2005-12-02T12:00:00	-8.75	115.125	10.66	1.49
2005-12-02T18:00:00	-8.75	115.125	10.64	1.46
2005-12-03T00:00:00	-8.75	115.125	10.68	1.44
2005-12-03T06:00:00	-8.75	115.125	10.68	1.41
2005-12-03T12:00:00	-8.75	115.125	10.65	1.38
2005-12-03T18:00:00	-8.75	115.125	10.60	1.36
2005-12-04T00:00:00	-8.75	115.125	11.01	1.43
2005-12-04T06:00:00	-8.75	115.125	10.95	1.38
2005-12-04T12:00:00	-8.75	115.125	11.08	1.38
2005-12-04T18:00:00	-8.75	115.125	11.26	1.38
2005-12-05T00:00:00	-8.75	115.125	10.94	1.34
2005-12-05T06:00:00	-8.75	115.125	10.82	1.35
2005-12-05T12:00:00	-8.75	115.125	11.51	1.41
2005-12-05T18:00:00	-8.75	115.125	12.13	1.50



Lampiran 2. Data Angin ECMWF

Waktu	x	y	u	v	Kecepatan	Arah	Mata Angin
2005-12-01T00:00:00	115.125	-8.75	2.772	1.922	3.37	55.26	TL
2005-12-01T06:00:00	115.125	-8.75	0.765	0.568	0.95	53.40	TL
2005-12-01T12:00:00	115.125	-8.75	0.919	1.176	1.49	38.006	TG
2005-12-01T18:00:00	115.125	-8.75	1.357	-0.615	1.48	114.38	T
2005-12-02T00:00:00	115.125	-8.75	1.507	-0.515	1.59	108.86	T
2005-12-02T06:00:00	115.125	-8.75	0.776	0.202	0.80	75.41	S
2005-12-02T12:00:00	115.125	-8.75	0.699	-2.851	2.93	166.22	TG
2005-12-02T18:00:00	115.125	-8.75	1.354	-1.947	2.37	145.18	S
2005-12-03T00:00:00	115.125	-8.75	-	-2.543	2.58	190.23	S
2005-12-03T06:00:00	115.125	-8.75	0.231	-1.975	1.98	186.67	S
2005-12-03T12:00:00	115.125	-8.75	0.919	-3.785	3.89	166.35	TG
2005-12-03T18:00:00	115.125	-8.75	1.124	-1.833	2.15	148.48	TG
2005-12-04T00:00:00	115.125	-8.75	0.322	-0.214	0.38	123.60	S
2005-12-04T06:00:00	115.125	-8.75	0.501	-2.117	2.17	166.68	S
2005-12-04T12:00:00	115.125	-8.75	0.265	-0.687	0.73	158.90	B
2005-12-04T18:00:00	115.125	-8.75	2.199	0.814	2.34	290.31	B
2005-12-05T00:00:00	115.125	-8.75	3.009	-1.208	3.24	248.12	S
2005-12-05T06:00:00	115.125	-8.75	0.249	-2.907	2.91	184.89	S
2005-12-05T12:00:00	115.125	-8.75	0.534	-1.485	1.57	199.77	BD

Lampiran 3. Data BMKG

No	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	8.1	7.3	7.5	8.5	7.7	6.1	7.6	8.9	9.3	9.1
2	5.8	4.4	8.1	8.3	4	7	4.9	6.5	6.2	5.3
3	6.7	7.2	3.6	3.3	3.9	6.6	6.7	5.3	4.4	5.3
4	6.2	4.7	5.8	4.4	3.7	5.3	5.1	5.3	4.3	4.7
5	5.5	6.3	7.5	4.8	6.5	5.7	7.3	4.5	5.7	5.9
6	8.7	7.7	7	5.6	7	7.6	7.1	5.1	8.5	7.5
7	8.6	8.1	8.1	6.8	6.9	8.2	8	8.3	7.5	7.6
8	9.1	8.1	8.6	7.4	7.7	7.8	7.6	7.6	9.1	7.6
9	6.4	5.5	4.6	4.7	6.6	6.3	5.3	6.5	6.2	7
10	5.2	4.5	4.9	4.6	5.2	5.1	5.7	5	5.6	6.4
11	4.8	5	3.6	5.1	3.8	3.9	4.2	4.6	5.1	4.7
12	4.6	6	5.6	5.6	5.6	6	5	5.8	6.1	6.3



Lampiran 4. Data Primer Pengukuran Tinggi dan Periode Gelombang

Tinggi Gelombang (cm)			
Stasiun 1		Stasiun 2	
Pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 1	Pengukuran 2
148	170	112	127
170	131	119	136
143	152	139	122
155	173	158	123
152	190	127	144
183	160	123	115
128	163	119	107
132	173	112	133
181	166	116	106
158	161	130	130
166	199	118	140
162	150	128	127
173	175	102	118
148	170	120	116
151	165	103	109
159	183	108	115
147	167	119	121
134	151	132	158
145	172	134	134
156	159	140	150
121	139	123	142
118	143	111	123
109	155	137	127
100	149	114	133
132	156	112	146

Periode Gelombang (detik)			
Stasiun 1		Stasiun 2	
Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Stasiun 4
10.95	14.84	13.28	12.09
9.09	12.12	14.40	12.12
11.12	11.25	15.65	8.65
12.56	9.15	8.34	14.93
11.96	10.71	5.96	9.65
9.62	13.03	6.53	13.87
9.93	10.06	6.78	15.28
13.00	12.66	12.71	11.62
12.78	12.12	10.53	12.71
8.37	10.71	10.18	12.62

Periode Gelombang (detik)			
Stasiun 1		Stasiun 2	
Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3	Stasiun 4
12.30	9.50	11.59	12.15
14.40	12.50	12.25	13.50
11.75	11.62	14.34	13.33
15.28	10.65	13.28	12.62
10.40	10.12	13.53	8.46
9.75	14.69	9.43	12.03
13.35	12.15	10.78	9.80
12.06	11.53	10.21	12.56
13.65	12.34	9.84	13.15
12.58	12.03	10.59	12.31
11.28	11.56	10.25	12.59
11.65	11.31	11.93	13.43
15.17	12.97	7.78	12.78
12.37	11.50	4.81	14.53
7.37	12.75	4.30	14.75



Lampiran 5. Perhitungan Probabilitas Gelombang Periode Ulang Metode Fisher Tippet Type-1 dan Weibull

No. Urut m	Hsm	P	Ym	Hsm.Ym	Y ² m	(Hsm-Hsm) ²	^Hsm	Hsm-^Hsm
1	3.595	0.9447	2.866	10.3033	8.2140	0.0670	3.6306	-0.0356
2	3.515	0.8458	1.787	6.2823	3.1944	0.0320	3.4940	0.0210
3	3.442	0.7470	1.232	4.2413	1.5184	0.0112	3.4237	0.0183
4	3.352	0.6482	0.836	2.8016	0.6986	0.0002	3.3735	-0.0215
5	3.345	0.5494	0.513	1.7148	0.2628	0.0001	3.3326	0.0124
6	3.342	0.4506	0.227	0.7575	0.0514	0.0000	3.2964	0.0456
7	3.279	0.3518	-0.044	-0.1436	0.0019	0.0033	3.2622	0.0168
8	3.203	0.2530	-0.318	-1.0189	0.1012	0.0177	3.2274	-0.0244
9	3.192	0.1542	-0.626	-1.9977	0.3917	0.0208	3.1885	0.0035
10	3.097	0.0553	-1.063	-3.2914	1.1294	0.0572	3.1331	-0.0361
Jumlah	33.36	5.0000	5.410	19.6494	15.5637	0.2095		

Lampiran 6. Perhitungan Probabilitas Gelombang Periode Ulang Metode Weibull

No. Urut m	Hsm	P	Ym	Hsm.Ym	Y ² m	(Hsm-Hsm) ²	^Hsm	Hsm-^Hsm
1	3.595	0.9533	4.452	16.0060	19.8230	0.0670	3.5088	0.0862
2	3.515	0.8578	2.437	8.5662	5.9392	0.0320	3.4026	0.1124
3	3.442	0.7622	1.621	5.5790	2.6272	0.0112	3.3595	0.0825
4	3.352	0.6667	1.134	3.8002	1.2853	0.0002	3.3339	0.0181
5	3.345	0.5711	0.801	2.6791	0.6415	0.0001	3.3163	0.0287
6	3.342	0.4756	0.558	1.8643	0.3112	0.0000	3.3035	0.0385
7	3.279	0.3800	0.374	1.2258	0.1398	0.0033	3.2938	-0.0148
8	3.203	0.2845	0.232	0.7445	0.0540	0.0177	3.2864	-0.0834
9	3.192	0.1889	0.124	0.3969	0.0155	0.0208	3.2807	-0.0887
10	3.097	0.0934	0.045	0.1400	0.0020	0.0572	3.2765	-0.1795
Jumlah	33.36	5.2337	11.779	41.00222	30.83871	0.2095		

Lampiran 7. Perhitungan Transformasi Gelombang Stasiun 1

Musim	T	Lo	d	d/L0	d/L	L(m)	Co(m/s)	C(m/s)	α_0	$\sin\alpha_0$	$\sin \alpha$	α	$\cos\alpha$	$\cos\alpha_0$	$\cos\alpha_0/\cos\alpha$	Kr
BARAT	10.38	168.19	0.80	0.0048	0.026	30.80	16.20	2.97	277.75	-0.99	-0.18	-10.65	0.98	0.13	0.14	0.37
P 1	11.31	199.44	0.80	0.0040	0.023	33.77	17.64	2.99	277.75	-0.99	-0.17	-9.84	0.99	0.13	0.14	0.37
TIMUR	10.90	185.31	0.80	0.0043	0.024	32.40	17.00	2.97	277.75	-0.99	-0.18	-10.16	0.98	0.13	0.14	0.37
P2	11.03	189.85	0.80	0.0042	0.024	32.84	17.21	2.98	277.75	-0.99	-0.17	-10.05	0.98	0.13	0.14	0.37

d	d/L0	n	n0	L	Ks	kr	H0	H	m	H'0	H'0/gT ²	Hb/H'0	Hb
0.8	0.0048	0.9900	0.5	29.42	1.70	0.37	1.61	1.01	0.0410	0.59	0.0006	2.1	1.25
0.8	0.0040	0.9917	0.5	33.29	1.74	0.37	1.68	1.08	0.0410	0.62	0.0005	2.45	1.52
0.8	0.0043	0.9910	0.5	33.29	1.68	0.37	2.00	1.24	0.0410	0.74	0.0006	2.1	1.55
0.8	0.0042	0.9912	0.5	34.26	1.67	0.37	1.77	1.10	0.0410	0.66	0.0005	2.45	1.61

Lampiran 8. Perhitungan Transformasi Gelombang Stasiun 2

Musim	T	L0	d	d/L0	d/L	L(m)	Co(m/s)	C(m/s)	α_0	$\sin\alpha_0$	$\sin \alpha$	α	$\cos\alpha$	$\cos\alpha_0$	$\cos\alpha_0/\cos\alpha$	Kr
BARAT	10.38	168.19	0.70	0.0042	0.026	26.95	16.20	2.60	277.75	-0.99	-0.16	-9.31	0.99	0.13	0.14	0.37
P 1	11.31	199.44	0.70	0.0035	0.023	29.55	17.64	2.61	277.75	-0.99	-0.15	-8.60	0.99	0.13	0.14	0.37
TIMUR	10.90	185.31	0.70	0.0038	0.024	28.35	17.00	2.60	277.75	-0.99	-0.15	-8.88	0.99	0.13	0.14	0.37
P2	11.03	189.85	0.70	0.0037	0.024	28.74	17.21	2.60	277.75	-0.99	-0.15	-8.79	0.99	0.13	0.14	0.37

d	d/L0	n	n0	L	Ks	kr	H0	H	m	H'0	H'0/gT ²	Hb/H'0	Hb
0.7	0.0042	0.9917	0.5	29.42258	1.697658	0.37	1.607536	1.01	0.0410	0.59481	0.0006	2.1	1.249103
0.7	0.0035	0.9935	0.5	33.29172	1.736337	0.37	1.683107	1.08	0.0410	0.62208	0.0005	2.45	1.524095
0.7	0.0038	0.9935	0.5	33.29172	1.6737	0.37	1.996899	1.24	0.0410	0.73843	0.0006	2.1	1.550702
0.7	0.0037	0.9937	0.5	34.26124	1.669801	0.37	1.772189	1.09	0.0410	0.65522	0.0005	2.45	1.605292

Lampiran 9. Perhitungan Transformasi Gelombang Metode *Fisher Tippet Type-1*

Periode ulang (tahun)	T	L0	d	d/L0	d/L	L(m)	Co(m/s)	C(m/s)	α_0	$\sin \alpha_0$	$\sin \alpha$	α	$\cos \alpha$	$\cos \alpha_0$	$\cos \alpha_0 / \cos \alpha$	Kr
2	12.25	234.18	0.8	0.0034	0.027	29.42	19.11	2.40	277.75	-0.99	-0.13	-7.28	0.99	0.13	0.14	0.37
5	12.25	234.18	0.8	0.0034	0.027	29.42	19.11	2.40	277.75	-0.99	-0.13	-7.28	0.99	0.13	0.14	0.37
10	12.25	234.18	0.8	0.0034	0.027	29.42	19.11	2.40	277.75	-0.99	-0.13	-7.28	0.99	0.13	0.14	0.37
25	12.25	234.18	0.8	0.0034	0.027	29.42	19.11	2.40	277.75	-0.99	-0.13	-7.28	0.99	0.13	0.14	0.37
50	12.25	234.18	0.8	0.0034	0.027	29.42	19.11	2.40	277.75	-0.99	-0.13	-7.28	0.99	0.13	0.14	0.37
100	12.25	234.18	0.8	0.0034	0.027	29.42	19.11	2.40	277.75	-0.99	-0.13	-7.28	0.99	0.13	0.14	0.37

d	d/L0	n	n0	L	Ks	kr	H0	H	m	H'0	H'0/gT ²	Hb/H'0	Hb
0.7	0.0030	0.8645	0.5	29.42258	2.145558	0.368712	3.306456	2.615711	0.0410	1.21913	0.00083	1.9	2.316344
0.7	0.0030	0.8924	0.5	33.29172	1.98525	0.368712	3.373523	2.469367	0.0410	1.24386	0.00085	1.9	2.363328
0.7	0.0030	0.8924	0.5	33.29172	1.98525	0.368712	3.43436	2.513899	0.0410	1.26629	0.00086	1.9	2.405948
0.7	0.0030	0.898	0.5	34.26124	1.950848	0.368712	3.524585	2.535235	0.0410	1.29956	0.00088	1.9	2.469155
0.7	0.0030	0.898	0.5	34.26124	1.950848	0.368712	3.598963	2.588734	0.0410	1.32698	0.00090	1.9	2.52126
0.7	0.0030	0.898	0.5	34.26124	1.950848	0.368712	3.677886	2.645504	0.0410	1.35608	0.00092	1.9	2.57655

Lampiran 10. Dokumentasi Lapangan



Pengukuran arah mata angin



Pengukuran tinggi gelombang dan periode gelombang

