

**ANALISIS TINGGI GELOMBANG EKSTRIM DENGAN PERIODE ULANG  
TERKAIT KESELAMATAN PELAYARAN DI PERAIRAN SELAT BALI**

**SKRIPSI**

Oleh:

**MUHAMMAD DIKATAMA  
NIM. 155080607111033**



**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN  
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA KELAUTAN DAN PERIKANAN  
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2019**

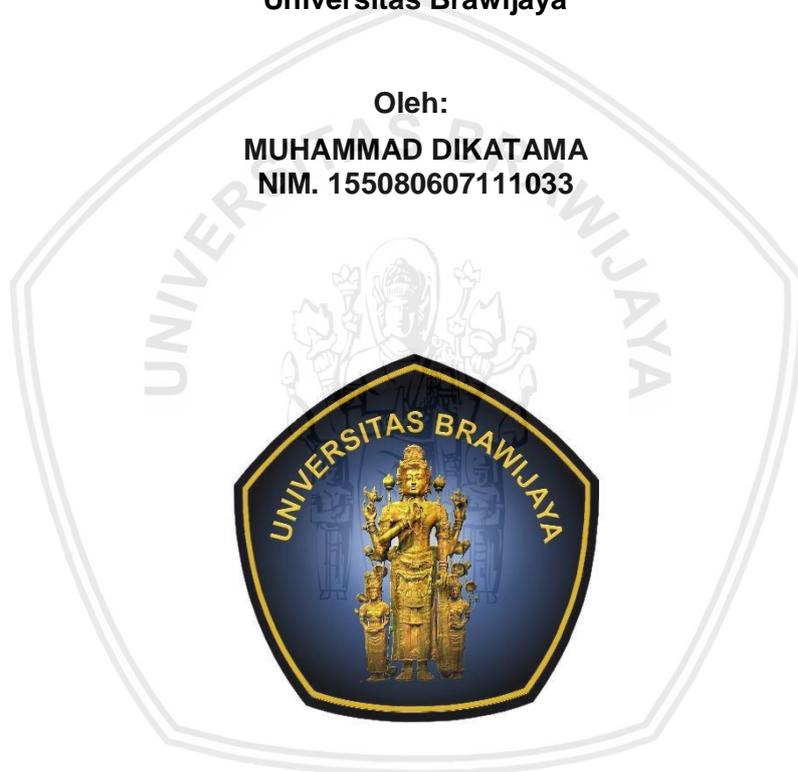
**ANALISIS TINGGI GELOMBANG EKSTRIM DENGAN PERIODE ULANG  
TERKAIT KESELAMATAN PELAYARAN DI PERAIRAN SELAT BALI**

**SKRIPSI**

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

Oleh:

**MUHAMMAD DIKATAMA  
NIM. 155080607111033**



**PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN  
JURUSAN PEMANFAATAN SUMBERDAYA KELAUTAN DAN PERIKANAN  
FAKULTAS PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2019**

**SKRIPSI**

**ANALISIS TINGGI GELOMBANG EKSTRIM DENGAN PERIODE ULANG  
TERKAIT KESELAMATAN PELAYARAN DI PERAIRAN SELAT BALI**

Oleh:

**MUHAMMAD DIKATAMA**

**NIM. 155080607111033**

Telah dipertahankan di depan  
penguji pada tanggal 28 Juni 2019  
dan dinyatakan telah memenuhi  
syarat

Menyetujui,

Dosen Pembimbing 1

Nurin Hidayati, ST., M.Sc.  
NIP. 19781102 200502 2 001

Tanggal : 18 JUL 2019

Menyetujui,

Dosen Pembimbing 2

Andik Isdianto, ST., MT.  
NIP . 201309 820928 1 001

Tanggal : 18 JUL 2019

Mengetahui :  
Ketua Jurusan Pemanfaatan Sumberdaya  
Perikanan dan Kelautan



Dr. Eng. Abu Bakar Sambah, S.PI, MT.  
NIP. 19780717 200502 1 004

Tanggal: 18 JUL 2019



**IDENTITAS TIM PENGUJI**

Judul : **ANALISIS TINGGI GELOMBANG EKSTRIM DENGAN PERIODE ULANG TERKAIT KESELAMATAN PELAYARAN DI PERAIRAN SELAT BALI**

Nama Mahasiswa : **MUHAMMAD DIKATAMA**  
NIM : **155080607111033**  
Program Studi : **Ilmu Kelautan**

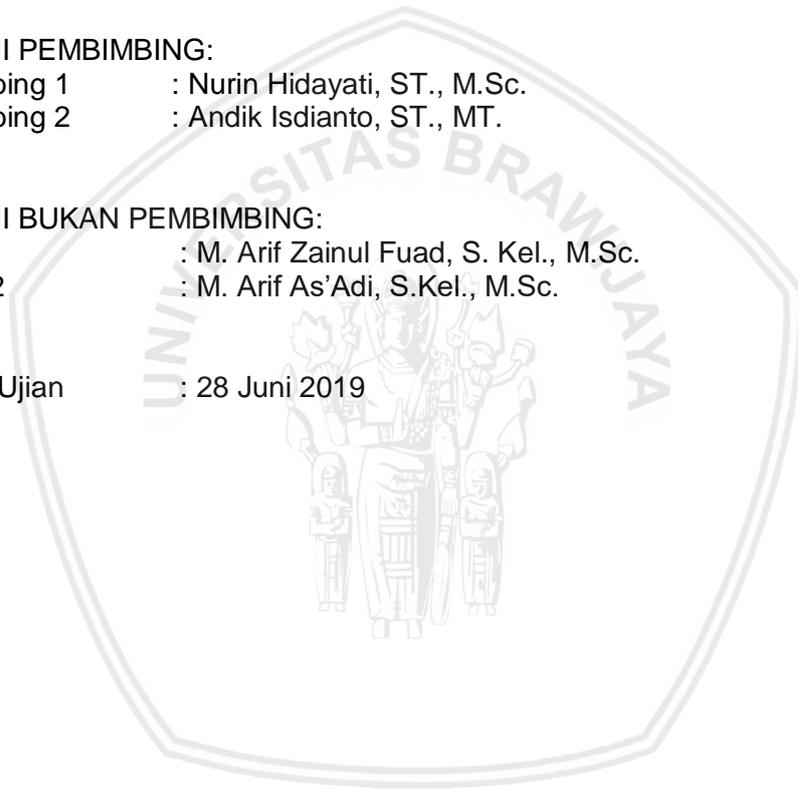
**PENGUJI PEMBIMBING:**

Pembimbing 1 : **Nurin Hidayati, ST., M.Sc.**  
Pembimbing 2 : **Andik Isdianto, ST., MT.**

**PENGUJI BUKAN PEMBIMBING:**

Penguji 1 : **M. Arif Zainul Fuad, S. Kel., M.Sc.**  
Penguji 2 : **M. Arif As'Adi, S.Kel., M.Sc.**

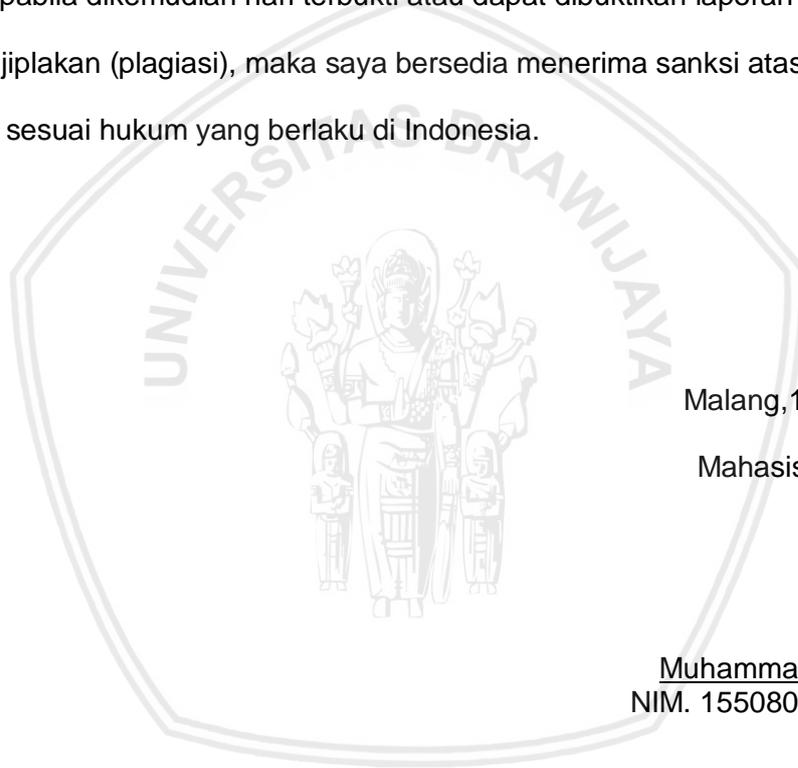
Tanggal Ujian : **28 Juni 2019**



## PERNYATAAN ORISINALITAS

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

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



Malang, 12 Juli 2019

Mahasiswa

Muhammad Dikatama  
NIM. 155080607111033

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang kepada beberapa pihak atas dukungan dalam penyelesaian Skripsi, sehingga Skripsi ini dapat selesai dengan lancar. Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi ini.
2. Orang Tua, kakak, dan Adik Penulis, serta keluarga terdekat yang selalu memberikan dukungan berupa doa, semangat, motivasi dan dukungan kepada penulis dalam pelaksanaan Skripsi dan penyusunan laporan Skripsi.
3. Ibu Defri Yona, S.Pi., M.Sc.Stud., D.Sc selaku Ketua Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya, Malang.
4. Ibu Nurin Hidayati, S.T, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing 1 Skripsi yang telah sabar memberikan masukan serta memberi arahan yang baik selama proses pelaksanaan kegiatan Skripsi mulai dari penyusunan proposal hingga penulisan laporan Skripsi.
5. Andik Isdianto, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 Skripsi yang telah sabar memberikan masukan serta memberi arahan yang baik selama proses pelaksanaan kegiatan Skripsi mulai dari penyusunan proposal hingga penulisan laporan Skripsi.
6. Bapak Ari Widjajanto, Mas Rizal, dan Kak Sintia dari Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak yang telah memberikan izin kepada penulis untuk memperoleh data gelombang di Selat Bali..
7. Dearta Debianza, Irgi, Dimas, Brein, dan Ardi yang telah memberi bantuan dan motivasi.

## RINGKASAN

**MUHAMMAD DIKATAMA.** Skripsi tentang Analisis Tinggi Gelombang Ekstrim Dengan Periode Ulang Terkait Keselamatan Pelayaran Di Perairan Selat Bali (dibawah bimbingan **Nurin Hidayati, ST., M.Sc.** dan **Andik Isdianto, ST., MT.**).

---

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan terbesar di dunia, secara keseluruhan sebagian besar wilayahnya adalah lautan. Kondisi ini menyebabkan jalur transportasi atau perdagangan Indonesia salah satunya melalui jalur laut. Informasi terhadap karakteristik parameter gelombang laut sangat diperlukan untuk aktivitas pelayaran, perencanaan bangunan pantai, dan untuk mengetahui dinamika pantai. Data gelombang yang digunakan untuk informasi tinggi gelombang dan perencanaan bangunan pantai adalah data gelombang secara *time series* selama beberapa tahun dan juga didapat dari data angin. Data gelombang ekstrim yang terjadi di suatu perairan diperoleh dari hasil peramalan periode ulang dengan menggunakan metode *Weibull*. Prediksi tinggi gelombang menggunakan periode ulang yang dilakukan pada penelitian ini berlokasi di Selat Bali. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik gelombang di Selat Bali, mengetahui peramalan tinggi gelombang dengan menggunakan periode ulang metode *Weibull*, dan mengetahui sebaran gelombang tinggi dengan periode ulang dan pengaruhnya terhadap keselamatan pelayaran di Selat Bali. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data tinggi gelombang *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) selama 15 tahun terakhir (2004-2018), data komponen angin berupa  $u$  dan  $v$ , dan data ketinggian gelombang yang didapatkan dari BMKG selama 5 tahun terakhir (2014-2018) sebagai validasi data.

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini berupa data karakteristik gelombang di perairan Selat Bali seperti data gelombang signifikan ( $H_s$ ), data gelombang maksimum ( $H_{maks}$ ), data gelombang rata rata ( $H_{100}$ ) dan data ketinggian gelombang periode ulang selama 100 tahun. Ketinggian gelombang tertinggi di Selat Bali terjadi pada musim Timur yaitu bulan Juni-Agustus. Selat Bali bagian Utara memiliki tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) 0,3-0,5 meter, ketinggian gelombang maksimumnya ( $H_{maks}$ ) 1-1,6 meter dan ketinggian gelombang rerata ( $H_{100}$ ) yaitu 0,2-0,3 meter. Sedangkan tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) Selat Bali bagian Selatan yaitu 2-2,2 meter, ketinggian gelombang maksimum ( $H_{maks}$ ) 3-4 meter, dan ketinggian gelombang rerata ( $H_{100}$ ) yaitu 1,6-1,8 meter. Tinggi gelombang periode ulang di Selat Bali berkisar 2,12-4,31 untuk periode ulang 10-100 tahun. Berdasarkan hasil perhitungan gelombang periode ulang, ketinggian gelombang yang mencapai 4 meter dapat membahayakan keselamatan kapal nelayan, kapal tongkang, dan kapal ferry yang berlayar di sekitar Selat Bali.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menulis Skripsi yang berjudul “Analisis Tinggi Gelombang Ekstrim Dengan Periode Ulang Terkait Keselamatan Pelayaran Di Perairan Selat Bali”. Penelitian tersebut menjadi salah satu syarat yang harus dipenuhi oleh mahasiswa untuk memperoleh gelar sarjana kelautan.

Skripsi ini secara garis besar terdiri dari lima bab, yaitu bab I yang membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, dan manfaat penelitian. Bab II pada usulan skripsi ini berisikan tinjauan pustakan. Bab III berisi mengenai metodologi penelitian. Bab IV berisi mengenai hasil dan pembahasan penelitian, serta bab V yang berisi kesimpulan dan saran.

Penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dan kesalahan dalam pembuatan skripsi ini. Dalam penulisan skripsi ini, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun kedepannya. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penulisan skripsi ini.

Malang, 28 Juni 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vi</b>
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Batasan Masalah.....	3
1.3. Rumusan Masalah .....	3
1.4. Tujuan .....	4
1.5. Manfaat .....	4
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Gelombang Laut.....	5
2.2 Penentuan Periode dan Tinggi Gelombang .....	6
2.3. Gelombang Representatif.....	7
2.4 Gelombang Signifikan .....	8
2.5 <i>European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)</i> .....	9
2.6 Data Gelombang .....	10
2.7 Peramalan Gelombang Menggunakan Data Angin.....	11
2.8 <i>Fetch</i> .....	12
2.9 Peramalan Gelombang Dengan Menggunakan Rumus.....	13
2.10 Metode <i>Weibull</i> .....	16
2.11 Keselamatan Pelayaran .....	19
2.12 Metode Uji Validasi Data Gelombang ECMWF dengan BMKG.....	21
<b>3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>23</b>
3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian .....	23
3.2. Alat dan Bahan.....	24
3.2.1. Alat .....	24
3.2.2. Bahan .....	25
3.3. Prosedur Penelitian .....	25
3.4. Teknik Pengumpulan data.....	27
3.5. Pengolahan Data.....	28
3.5.1. Pengolahan Data ECMWF .....	28
3.5.2. Pengolahan Data Angin untuk Peramalan Gelombang .....	29
3.5.3. Pengolahan Data Gelombang dari BMKG.....	30
3.5.4. Penentuan Karakteristik Gelombang Laut.....	31
3.5.5. Pengolahan Data Prediksi Gelombang Periode Ulang .....	32
3.5.6. Uji Validasi Data ECMWF dengan Data BMKG.....	34



3.6 Analisa Data.....	35
3.6.1 Karakteristik Gelombang .....	35
3.6.2 Peramalan Gelombang Periode Ulang.....	36
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>37</b>
4.1 Lokasi Penelitian .....	37
4.2 Validasi Data ECMWF dengan Data BMKG .....	38
4.3 Karakteristik Gelombang Berdasarkan Data ECMWF .....	38
4.3.1 Karakteristik Gelombang 15 Tahun.....	39
4.3.2 Gelombang Signifikan Rata-rata Bulanan Tahun 2004-2018 .....	45
4.3.3 Gelombang Signifikan Musiman.....	53
4.3.4 Peta Sebaran Tinggi Gelombang Signifikan Tahun 2004-2018.....	61
4.4 Prediksi Gelombang Periode Ulang menggunakan Metode Weibull .....	62
4.4.1 Sebaran Prediksi Tinggi Gelombang Periode Ulang .....	68
4.5 Analisis Data .....	76
4.5.1 Ketinggian Gelombang di Selat Bali.....	76
4.5.2 Hasil Tinggi Gelombang Periode Ulang .....	78
4.6 Pemanfaatan Data Karakteristik Gelombang dan Data Prediksi Tinggi Gelombang Periode Ulang Untuk Keselamatan Pelayaran.....	79
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>82</b>
5.1 Kesimpulan .....	82
5.2 Saran .....	83
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>84</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>87</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Pengertian gelombang.....	6
2. Cara penarikan garis <i>fetch</i> dengan sudut tertentu.....	13
3. Prosedur peramalan gelombang.....	16
4. Peta lokasi penelitian di Peraian Selat Bali .....	24
5. Diagram alir penelitian .....	26
6. Skema pengambilan data ECMWF .....	28
7. Sebaran stasiun gelombang pada ECMWF .....	29
8. Skema pengambilan data angin ECMWF .....	30
9. Peta lokasi penelitian secara spesifik.....	36
10. Tinggi gelombang Pada Stasiun 19 tahun 2004-2018.....	39
11. Periode gelombang Pada Stasiun 19 tahun 2004-2018 .....	37
12. Tinggi gelombang Pada Stasiun 38 tahun 2004-2018.....	38
13. Periode gelombang Pada Stasiun 38 tahun 2004-2018 .....	38
14. Tinggi gelombang Pada Stasiun 41 tahun 2004-2018.....	39
15. Periode gelombang Pada Stasiun 41 tahun 2004-2018 .....	40
16. Tinggi gelombang Pada Stasiun 46 tahun 2004-2018 .....	41
17. Periode gelombang Pada Stasiun 46 tahun 2004-2018 .....	41
18. Tinggi gelombang Pada Stasiun 47 tahun 2004-2018.....	42
19. Periode gelombang Pada Stasiun 47 tahun 2004-2018 .....	42
20. Peta sebaran tinggi gelombang signifikan dari tahun 2014-2018 .....	44
21. Tinggi Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 19.....	45
22. Periode Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 19 .....	46
23. Tinggi Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 38.....	47
24. Periode Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 38 .....	47
25. Tinggi Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 41 .....	48
26. Periode Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 41 .....	49
27. Tinggi Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 46.....	50
28. Periode Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 46 .....	50
29. Tinggi Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 47.....	51
30. Periode Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 47 .....	51
31. Rata rata tinggi gelombang bulanan di lima stasiun .....	52
32. Rata rata periode gelombang bulanan di lima stasiun.....	52
33. Grafik rata-rata musiman tinggi gelombang di Stasiun 19 .....	54
34. Grafik rata-rata musiman periode gelombang di Stasiun 19.....	54
35. Grafik rata-rata musiman tinggi gelombang di Stasiun 38 .....	55
36. Grafik rata-rata musiman periode gelombang di Stasiun 38.....	55
37. Grafik rata-rata musiman tinggi gelombang di Stasiun 41 .....	56
38. Grafik rata-rata musiman periode gelombang di Stasiun 41 .....	56
39. Grafik rata-rata musiman tinggi gelombang di Stasiun 46 .....	57
40. Grafik rata-rata musiman periode gelombang di Stasiun 46.....	57
41. Grafik rata-rata musiman tinggi gelombang di Stasiun 47 .....	58
42. Grafik rata-rata musiman periode gelombang di Stasiun 47 .....	58
43. Grafik tinggi gelombang musiman.....	59
44. Grafik periode gelombang musiman.....	59
45. Peta Sebaran Tinggi Gelombang Perairan Selat Bali (a) musim barat, (b) peralihan1, (c) musim timur, dan (d) peralihan 2 tahun 2004-2018 .....	60
46. Sebaran tinggi gelombang signifikan 15 tahun (2004-2018).....	61

47. Sebaran ketinggian gelombang periode ulang 10 tahunan..... 69  
48. Sebaran ketinggian gelombang periode ulang 15 tahunan..... 70  
49. Sebaran ketinggian gelombang periode ulang 20 tahunan..... 71  
50. Sebaran ketinggian gelombang periode ulang 25 tahunan..... 72  
51. Sebaran ketinggian gelombang periode ulang 50 tahunan..... 73  
52. Sebaran ketinggian gelombang periode ulang 75 tahunan..... 74  
53. Sebaran ketinggian gelombang periode ulang 100 tahunan..... 75



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
1. Koefisien untuk menghitung standar deviasi .....	18
2. Alat yang digunakan dalam penelitian.....	24
3. Bahan yang digunakan dalam penelitian.....	25
4. Perhitungan gelombang periode ulang dengan metode <i>weibull</i> .....	32
5. Gelombang dengan periode ulang tertentu .....	34
6. Analisis MRE .....	38
7. Ketinggian dan periode gelombang musiman Signifikan .....	53
8. Tinggi gelombang maksimum setiap tahun (2004-2018).....	62
9. Perhitungan probabilitas gelombang periode ulang Stasiun 19 .....	63
10. Ketinggian gelombang periode ulang 100 tahunan di Selat Bali.....	64
11. Ketinggian gelombang periode ulang 100 tahunan di Stasiun 38 .....	65
12. Ketinggian gelombang periode ulang 100 tahunan di Stasiun 41 .....	66
13. Ketinggian gelombang periode ulang 100 tahunan di Stasiun 46 .....	67
14. Ketinggian gelombang periode ulang 100 tahunan di Stasiun 47 .....	67
15. Hasil perhitungan tinggi gelombang periode ulang data ECMWF.....	78



## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan terbesar di dunia, secara keseluruhan sebagian besar wilayahnya adalah lautan. Kondisi ini menyebabkan jalur transportasi atau perdagangan Indonesia salah satunya melalui jalur laut. Oleh karena itu informasi terhadap karakteristik parameter gelombang laut sangat diperlukan. Menurut Loupatty (2013), gelombang laut merupakan salah satu fenomena alam berupa naikan dan penurunan air secara perlahan. Gelombang yang ada di laut terlihat tidak teratur dan berubah-ubah. Gelombang laut merupakan gerakan permukaan air laut yang diakibatkan oleh hembusan angin. Angin yang bertiup di atas permukaan air laut menimbulkan gelombang dan pergerakan angin tersebut membawa kecepatan yang memiliki energi.

Gelombang laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam berdasarkan gaya pembangkitnya, gelombang tersebut antara lain gelombang angin, yang dibangkitkan oleh tiupan angin di atas permukaan laut; gelombang pasang surut yang disebabkan oleh gaya tarik-menarik antara benda-benda langit terutama anatar bumi, bulan, dan matahari; gelombang *tsunami* yang dibangkitkan oleh letusan gunung berapi atau gempa di laut; dan gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak. Dari faktor-faktor tersebut, faktor angin yang berhembus diatas permukaan laut merupakan faktor yang paling menentukan (Triatmodjo, 1999).

Kondisi gelombang pada suatu perairan diperoleh dari data angin suatu perairan. Hal ini dilandasi oleh kondisi umum di laut, yaitu sebagian besar

gelombang yang ada di laut dibentuk oleh energi dari tiupan angin. Secara klimatologis wilayah Indonesia dipengaruhi oleh angin musim Timur dan musim Barat. Musim Timur terjadi pada bulan Juni – Agustus, sedangkan musim Barat terjadi pada bulan Desember – Februari. Diantara musim Barat dan musim Timur, terdapat musim peralihan I yang terjadi pada bulan Maret – Mei dan musim peralihan II terjadi pada bulan September - November. Tinggi dan periode gelombang memiliki nilai ketinggian yang berbeda-beda dari setiap musimnya (Kurniawan *et al.*, 2011).

Data gelombang laut sangat diperlukan untuk keperluan pelayaran, tata letak pelabuhan, perencanaan bangunan pantai, dan lain sebagainya. Data gelombang suatu perairan bisa didapatkan dengan melakukan peramalan dengan menggunakan data angin. Dari data hasil peramalan tersebut, maka akan didapatkan karakteristik gelombang ( $H_s$ ,  $H_{10}$ ,  $H_{100}$ , dan  $H_{maks}$ ) tahunan. Berdasarkan data karakteristik gelombang tersebut dapat diperkirakan tinggi suatu gelombang dapat disamai atau dilampaui satu kali dalam  $T$  tahun, dan gelombang tersebut dikenal sebagai gelombang periode ulang. Untuk menetapkan gelombang dengan periode ulang dibutuhkan data gelombang dalam jangka waktu pengukuran cukup panjang (beberapa tahun) (Triatmodjo, 1999). Metode peramalan gelombang periode ulang dapat digunakan untuk mengetahui gelombang ekstrim yang terjadi di suatu perairan. Metode peramalan gelombang periode ulang dapat dihitung dengan menggunakan metode *Weibull*.

Perairan Selat Bali terletak diantara Pulau Jawa di sebelah barat dan Pulau Bali di sebelah timur dengan posisi antara  $114^{\circ} 20'$ - $115^{\circ} 10'$  BT dan  $8^{\circ} 10'$ - $8^{\circ} 50'$  LS memiliki luas sekitar 2.500 km<sup>2</sup>. Selat Bali merupakan perairan yang menghubungkan Pulau Bali dengan Pulau Jawa. Transportasi tersebut

dilaksanakan dengan menggunakan sarana kapal penyeberangan berupa kapal Ferry. Kegiatan penyeberangan, pengangkutan penumpang dan bongkar muat barang dilakukan menggunakan fasilitas pelabuhan Ketapang di Banyuwangi dan Gilimanuk di Bali (Usman *et al.*,2004). Hasil penelitian yang dilakukan Pribadi dan Mulsandi (2014) menunjukkan bahwa tinggi gelombang di perairan Selat Bali pada bulan Juni 2014 antara 1,5 – 2 meter. Gelombang tertinggi di perairan Selat Bali terjadi pada musim Timur dengan Ketinggian mencapai 2.1 meter. Gelombang pada musim Timur terjadi pada bulan-bulan Juni-Agustus. Informasi mengenai tinggi gelombang sangat diperlukan untuk keselamatan pelayaran di sekitar perairan Selat Bali. Selain tinggi gelombang, faktor lainnya yang mempengaruhi keselamatan pelayaran ialah kondisi arus dan angin.

### **1.2. Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik gelombang laut dan prediksi gelombang ekstrim dengan periode ulang terkait keselamatan pelayaran di perairan Selat Bali.

### **1.3. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang dari penelitian ini, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik gelombang di Perairan Selat Bali?
2. Bagaimana prediksi tinggi gelombang dengan periode ulang metode *Weibull* di Perairan Selat Bali?
3. Bagaimana sebaran tinggi gelombang dengan periode ulang dan pengaruhnya terhadap keselamatan pelayaran di Perairan Selat Bali?

#### 1.4. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui karakteristik gelombang di Perairan Selat Bali.
2. Mengetahui peramalan gelombang periode ulang di Perairan Selat Bali dengan menggunakan metode *Weibull*.
3. Mengetahui sebaran tinggi gelombang dengan periode ulang dan pengaruhnya terhadap keselamatan pelayaran di Perairan Selat Bali.

#### 1.5. Manfaat

Adapun kegunaan dari penelitian ini adalah bagi mahasiswa diharapkan dapat mengaplikasikan ilmu yang didapatkan dibangku perkuliahan untuk melakukan penelitian khususnya mengenai gelombang laut. Selain itu, penelitian ini juga menjadi tugas akhir mahasiswa Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya untuk mendapatkan gelar sarjana. Selain itu dapat memberikan informasi mengenai prakiraan gelombang laut yang terjadi di Perairan Selat Bali untuk kepentingan pelabuhan dan perikanan.

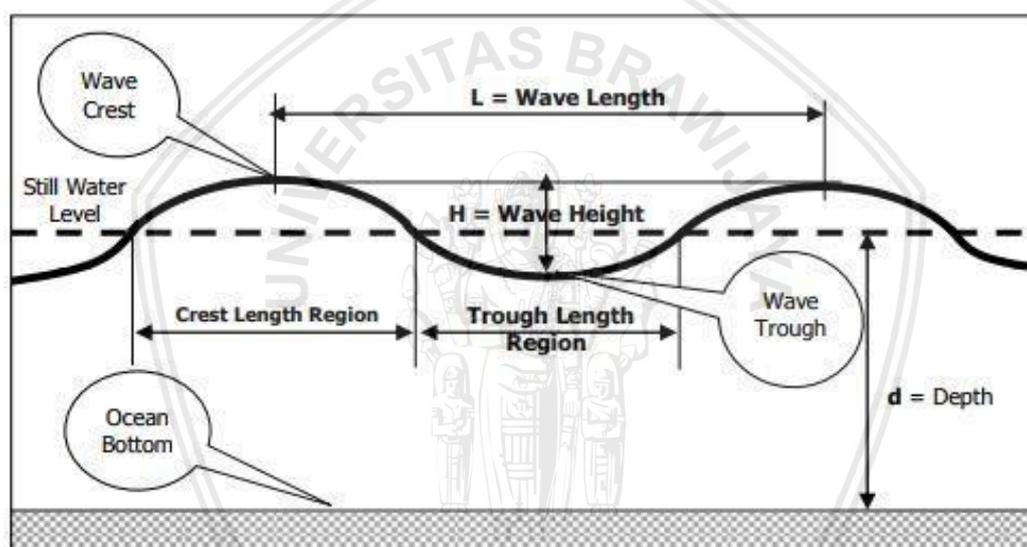
## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Gelombang Laut

Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Angin di atas lautan memindahkan tenaganya ke permukaan perairan, menyebabkan riak-riak, alunan/bukit, dan merubah menjadi apa yang kita sebut sebagai gelombang atau ombak (Utami, 2010). Gelombang yang terbentuk di lautan dapat dibagi berdasarkan gaya pembangkitnya. Gelombang di lautan dapat dibangkitkan oleh angin, gaya tarik menarik bumi-matahari-bulan, gempa vulkanik atau tektonik yang bersumber dari dasar laut, dan gelombang akibat adanya gerakan kapal. Menurut Kurniawan *et al.* (2011) gelombang di laut timbul karena adanya gaya pembangkit yang bekerja pada laut. Gelombang yang terjadi di lautan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam berdasarkan gaya pembangkitnya, gaya pembangkit tersebut terutama berasal dari angin, dari gaya tarik menarik bumi - bulan - matahari atau yang disebut dengan gelombang pasang surut dan gempa bumi.

Secara klimatologis wilayah Indonesia dipengaruhi oleh angin musim Timur dan musim Barat. Musim Timur terjadi pada bulan Juni – Agustus, sedangkan musim Barat terjadi pada bulan Desember – Februari. Diantara musim Barat dan musim Timur, terdapat musim peralihan I yang terjadi pada bulan Maret – Mei dan musim peralihan II terjadi pada bulan September - November. Tinggi dan periode gelombang memiliki nilai ketinggian yang berbeda-beda dari setiap musimnya (Kurniawan *et al.*, 2011).

Ilustrasi suatu gelombang menjalar pada sumbu x dapat dilihat pada Gambar 1.  $D$  (*depth*) merupakan kedalaman laut (jarak antara rata-rata air dengan dasar).  $H$  (*wave height*) merupakan tinggi gelombang,  $a$  (*amplitudo*) amplitudo gelombang,  $L$  (*wave length*) panjang gelombang atau jarak antara dua puncak gelombang,  $T$  (*periode gelombang*) interval waktu yang diperlukan partikel air untuk kembali lagi pada kedudukan dengan sebelumnya,  $C$  (*kecepatan rambat suatu gelombang*) (Hidayat, 2005).



Gambar 1. Pengertian gelombang  
(Sumber: Hidayat, 2005)

## 2.2 Penentuan Periode dan Tinggi Gelombang

Pengukuran parameter gelombang dilakukan dengan cara teknik langsung (*visual observation*) dengan menggunakan papan berskala, yaitu dengan mengamati elevasi puncak dan batas elevasi bawah yang melewati papan skala tersebut. Jarak antara puncak dan batas bawah dicatat dengan menggunakan *stopwatch* sebagai fungsi waktu antar puncak gelombang pertama yang melewati papan skala sampai puncak berikutnya (Hidayat *et al.*, 2013).

Sulitnya pengambilan data gelombang laut dengan cara insitu di laut menjadi suatu masalah tersendiri. Menurut Satriadi (2017), solusi dari masalah tersebut yaitu dengan menggunakan data angin untuk mengetahui periode dan tinggi gelombang signifikan. Konsep tinggi gelombang signifikan telah lama dikemukakan oleh Munk tahun 1944, dimana konsep tersebut dapat merepresentasikan tinggi gelombang yang sebenarnya di lapangan. Data angin yang digunakan pada peramalan gelombang dapat diperoleh dari hasil pengukuran di stasiun angin atau berasal dari data pemodelan yang telah dianalisis. Hal tersebut juga diperkuat oleh Taofiqurohman (2013) yang menyatakan bahwa salah satu cara untuk dapat memprediksikan tinggi gelombang adalah dengan menggunakan data distribusi angin.

### 2.3. Gelombang Representatif

Saat melakukan perencanaan untuk membangun bangunan pantai diperlukannya periode dan tinggi gelombang individu (*individual wave*) yang mewakili suatu spektrum gelombang. Gelombang tersebut dinamakan gelombang representatif (Triatmodjo, 1999). Tinggi gelombang dapat diurutkan dari nilai tertinggi ke nilai terendah atau sebaliknya pada suatu pencatatan. Dari hasil pencatatan tersebut dapat ditentukan tinggi dari  $H_n$  yang merupakan rerata dari  $n$  persen gelombang yang tertinggi. Ketinggian gelombang tersebut dapat ditentukan karakteristik gelombang dalam bentuk gelombang tunggal. Contoh dari gelombang tunggal adalah  $H_{10}$ ,  $H_s$  atau  $H_{33}$ ,  $H_{100}$ .  $H_{10}$  merupakan ketinggian rerata dari 10% gelombang yang tertinggi dari suatu pencatatan, lalu  $H_s$  atau  $H_{33}$  merupakan bentuk yang banyak digunakan atau tinggi rerata dari 33% nilai tertinggi dari suatu pencatatan, dan  $H_{100}$  merupakan tinggi rerata dari 100%

gelombang yang tertinggi dari suatu pencatatan gelombang atau disebut sebagai gelombang rata-rata (Ichsan dan Suleman, 2018).

Dalam jurnal Hidayat (2005), menyebutkan bahwa dari setiap tahun pencatatan dapat ditentukan gelombang representatif seperti  $H_s$ ,  $H_{10}$ ,  $H_1$ ,  $H_{maks}$  dan sebagainya. Berdasar data representatif untuk beberapa tahun pengamatan dapat diperkirakan gelombang laut yang diharapkan disamai atau dilampaui satu kali dalam T tahun, dan gelombang tersebut dikenal sebagai gelombang periode ulang T tahun atau gelombang T tahunan.

Hasil dari analisa dari gelombang representatif dapat dimanfaatkan untuk perencanaan di pantai maupun pada *offshore*. Sebagai contoh, pemanfaatan analisa tinggi gelombang ekstrim dengan menggunakan periode ulang puluhan tahun dapat digunakan sebagai data gelombang untuk mendesain struktur pengeboran minyak di lepas pantai. Data gelombang ekstrim juga dapat digunakan untuk menghitung elevasi ketinggian struktur agar aman dari serangan gelombang laut (Hidayati, 2017).

#### **2.4 Gelombang Signifikan**

Gelombang yang terjadi di tengah laut akibat dari tiupan angin sangat tidak beraturan (acak). Gelombang yang berada di laut bukan merupakan gelombang tunggal ( $H$ ,  $T$ , dan  $L$  tetap), tetapi merupakan gelombang acak ( $H$ ,  $T$ , dan  $L$  bermacam-macam). Pengamatan gelombang yang tidak beraturan tersebut meliputi periode, tinggi dan arah gelombang yang berbeda-beda. Bentuk dari gelombang acak tersebut sangat kompleks sehingga perlu dilakukannya penyederhanaan dengan idealisasi. Satu cara idealisasi yang sering dipakai yaitu dengan membentuk gelombang acak menjadi satu gelombang harmonik yang dapat mewakili gelombang acak tersebut. Gelombang harmonik ini dikenal

sebagai gelombang signifikan yang tingginya dinyatakan dengan  $H_s$  dan periodenya  $T_s$  (Setiyawan *et al.*, 2015).

Gelombang signifikan ( $H_s$ ) adalah  $H_{33}$  atau  $H_{1/3}$  nilai tertinggi dari hasil perhitungan gelombang yang telah diurutkan, begitu pula dengan periodenya (Ichsan I dan Abdul H.S, 2018). Untuk mendapatkan nilai gelombang signifikan dapat digunakan dengan persamaan berikut (Triatmodjo, 1999):

- Tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ )

$$n = 33,3\% \times \text{jumlah data}$$

$$H_s = \frac{H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_n}{n}$$

- Periode gelombang

$$T_s = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_n}{n}$$

Dimana :

$H_s$  = Tinggi gelombang signifikan (m)

$T_s$  = periode gelombang signifikan (detik)

$H_1, H_n$  = Tinggi gelombang ke 1, 2, ..... n (m)

$T_1, T_n$  = Periode gelombang ke 1, 2, ..... n (detik)

## 2.5 European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)

*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) adalah organisasi antar pemerintah independen yang telah didukung oleh 31 negara. ECMWF merupakan sebuah lembaga penelitian dan layanan operasional 24 jam, memproduksi dan menyebarkan prediksi cuaca numerik untuk negara-negara anggota. Data ini sepenuhnya tersedia untuk layanan meteorologi nasional di Amerika. Organisasi ini didirikan pada tahun 1975 dan sekarang mempekerjakan sekitar 280 staf dari lebih dari 30 negara. Data ketinggian gelombang ECMWF saat

ini dalam berfokus pada pengembangan analisis berulang (*reanalysis*) dari sistem iklim gabungan, termasuk atmosfer, permukaan tanah, laut, es laut, dan siklus karbon, selama bertahun-tahun. Pengembangan data analisis berulang meliputi pengumpulan, persiapan dan pengamatan iklim, mulai dari pengamatan *in-situ* hingga menggunakan data set satelit modern dengan resolusi tinggi. Resolusi spasial data ECMWF adalah  $0,125^\circ$  yang merupakan resolusi spasial terbaik yang dapat diperoleh dari situs resmi ECMWF (ECMWF, 2019).

European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF) merupakan organisasi internasional yang didukung oleh 31 negara benua Eropa serta beberapa organisasi meteorologi dunia seperti *World Meteorological Organization* (WMO), *European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellite* (EUMETSAT), *African Centre of Meteorological Applications for Development* (ACMAD), *Joint Research Centre* (JRC), *Preparatory Commision dor the Comprehensive Nuclear Test-Ban Treaty Organisation* (CTBTO), *Executive Body of the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution* (CLTRAP), dan *European Space Agency* (ESA). Metode prediksi berdasarkan *reanalysis* model dan asimilasi (*numerical weather prediction*) data satelit serta data *insitu*. Data hasil permodelan dan reanalysis ini didukung oleh data Observasi lautan : *surface BUOY*, *surface BATHY*, *surface TESAC*, dan *SYNOP ship*. Observasi dari pesawat udara : AMDAR, AIREP, dan ACAR. Data Satelit : SATEM dan SATOBS (Hadiyanti, 2014).

## 2.6 Data Gelombang

Data angin dan data gelombang yang didapat dari ECMWF berupa file NetCDF diolah menggunakan software ODV 4. Hasilnya berupa data dalam bentuk Text (.txt). Data tersebut ditampilkan di microsoft excel dan dikelompokan

sesuai musim sehingga didapat data angin dan data gelombang musiman dari tahun 2009-2014. Kemudian dilakukannya analisa lanjutan secara terpisah antara data angin dan gelombang (Denestiyanto *et al.*, 2015). Dalam penelitian ini penulis mengunduh data *Significant height of combined wind wave and swell* dari ECMWF tahun 2004-2018.

Data gelombang yang digunakan berasal dari *European Center for Medium range Weather Forecasting* (ECMWF) yang berupa data gelombang per enam jam yaitu mulai pukul 00.00, 06.00, 12.00, dan 18.00. Data gelombang ini diperlukan dalam menentukan arah dominan gelombang, nilai Hs, dan Ts digunakan sebagai inputan pemodelan ST Wave (Sugianto *et al.*, 2016).

## **2.7 Peramalan Gelombang Menggunakan Data Angin**

Salah satu cara untuk dapat memprediksikan tinggi gelombang laut adalah dengan menggunakan data distribusi angin (Taofiqurohman, 2013). Angin merupakan pembangkit utama dari gelombang yang terjadi di lautan. Karakteristik dari arah dan kecepatan angin sangat erat kaitannya dalam pembentukan gelombang laut. Angin yang berkecepatan tinggi disuatu perairan akan membangkitkan gelombang yang besar. Begi pula sebaliknya, jika angin pada satu perairan berhembus dengan kecepatan yang kecil, maka gelombang yang terbentuk pada perairan tersebut juga kecil. Maka disimpulkan bawah hubungan kecepatan angin dan gelombang yang dibangkitkan berbanding lurus (Hidayati, 2017).

Oleh karena pembangkit utama gelombang laut adalah angin, maka gelombang suatu perairan dapat diramalkan dari kondisi angin yang ada. Data angin untuk peramalan gelombang ada dua macam yakni data angin yang didapat dari pencatatan di laut dan di darat. Untuk data angin yang ada di darat dapat

diperoleh dari pengukuran langsung atau didapat dari bandar udara terdekat (Hidayati, 2017). Data angin yang digunakan untuk peramalan adalah data angin pada permukaan laut di lokasi pembangkit. Data tersebut dapat diperoleh dari pengukuran langsung di laut atau pengukuran langsung di darat di lokasi terdekat kemudian dikonversi menjadi data angin di laut (Franks dan Isak, 2013). Tinggi dan periode gelombang yang terjadi dipengaruhi oleh angin yang meliputi kecepatan angin, arah angin, lama hembus angin, dan *fetch* (Taofiqurohman, 2013).

## 2.8 Fetch

Menurut Taofiqurohman (2013), menyatakan bahwa *Fetch* merupakan daerah dengan arah dan kecepatan angin yang konstan. Arah angin dianggap konstan apabila perubahan-perubahannya tidak lebih dari  $15^{\circ}$ . *Fetch* berpengaruh pada tinggi dan periode gelombang yang dibangkitkan. Hal tersebut diperkuat dengan pernyataan Hidayati (2017), *fetch* merupakan jarak tanpa rintangan dimana angin bertiup dan mampu membangkitkan gelombang. Ketika angin bertiup mengenai daratan, maka kecepatan angin akan berubah melambat terutama pada pergerakan angin tersebut. *Fetch* erat kaitannya dengan pembangkit gelombang. Perairan tanpa dikelilingi daratan akan berpotensi gelombang yang besar. Gambar 2 merupakan contoh dari penentuan garis pada *fetch*

Perhitungan *fetch* efektif dilakukan dengan menggunakan metode *Sverdrup*, *Munk dan Bretschneider* (SMB) dimana arah angin dominan menjadi garis *fetch* untuk menentukan garis *fetch* kurang lebih  $45^{\circ}$  ke kanan dan ke kiri dengan interval  $6^{\circ}$  (Satriadi, 2017). Arah angin dominan menjadi komponen penting dalam analisa refraksi gelombang, terutama untuk menentukan dan menghitung *fetch*

gelombang (Siswanto, 2012). Persamaan *fetch* efektif dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

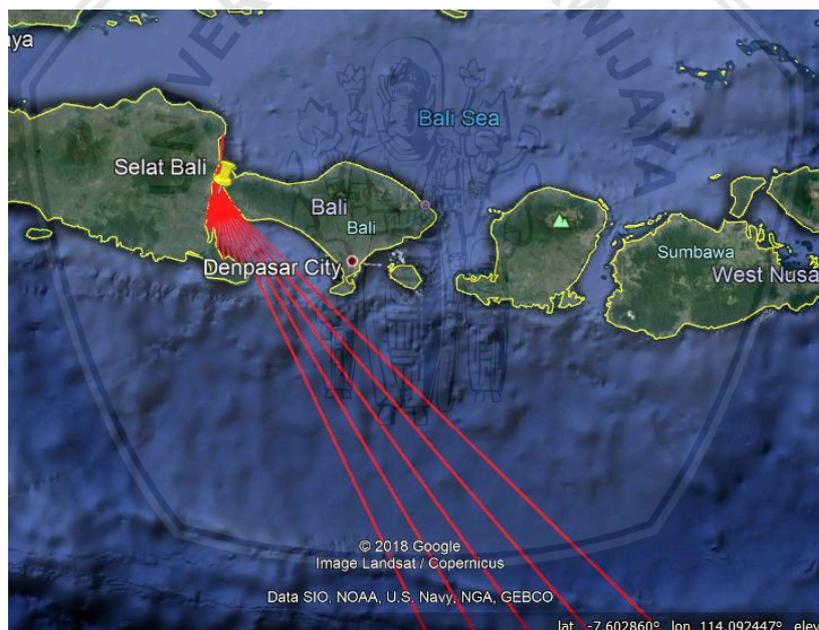
$$F_{eff} = \frac{\sum Xi \cos \alpha}{\sum \cos \alpha}$$

Dimana,

$F_{eff}$  = *fetch* efektif rata rata

$Xi$  = Panjang *fetch* yang diukur dari titik pengamatan gelombang sampai ujung *fetch* (km)

$\alpha$  = sudut deviasi pada kedua sisi dari segmen *fetch* berdasarkan arah angin



Gambar 2. Cara penarikan garis *fetch* dengan sudut tertentu

## 2.9 Peramalan Gelombang Dengan Menggunakan Rumus

Prediksi periode dan tinggi gelombang signifikan dapat dilakukan dengan menggunakan metode SMB (*Sverdrup, Munk dan Bretschneider*). Perhitungan pada tinggi gelombang signifikan di laut dengan menggunakan metode SMB perlu diperhatikan untuk kondisi tertentu. Data peralaman gelombang angin, kita kenal dua kondisi pembentukan gelombang yaitu:

a) *Fetch Limited* ( $t > t_c$ )

Pembentukan gelombang dibatasi oleh panjangnya *fetch*.

b) *Duration Limited*

Dimana angin bertiup dengan durasi yang singkat, sehingga gelombang belum jenuh dan pembentukan gelombang ditentukan oleh durasinya.

Rumus dan metode dalam perhitungan peramalan gelombang sebagai berikut:

1. Pengecekan kondisi pembentukan gelombang

Pengecekan kondisi pembentukan gelombang laut ini untuk melihat apakah *fully developed sea* atau *non fully developed sea*. Pengecekan kondisi tersebut menggunakan rumus:

$$\frac{gt}{Ua} = 68,8 \frac{gF}{Ua^2} \leq 7,15 \times 10^4$$

Penentuan gelombang *Fully Developed* ataukah *Non Fully Developed sea*:

$$\frac{gt}{Ua} \leq 7,15 \times 10^4 \text{ (Non Fully Developed)}$$

$$\frac{gt}{Ua} \geq 7,15 \times 10^4 \text{ (Fully Developed)}$$

2. Perhitungan periode dan tinggi gelombang signifikan untuk kondisi *Fully Developed Sea*

Perhitungan  $H_{mo}$  dan  $T_p$ , tinggi dan periode gelombang signifikan, untuk gelombang *fully developed sea* adalah:

$$H_{mo} = 0,2433 \frac{Ua^2}{g}$$

$$T_p = 8,134 \frac{Ua^2}{g}$$

3. Perhitungan periode dan tinggi gelombang signifikan untuk kondisi *Non Fully Developed*

Sebelum dilakukan perhitungan tinggi dan periode gelombangnya, dibutuhkan pengecekan kondisi antara  $t_c$  dan  $t$  (durasi kritis). Pengecekan kondisi durasi kritis ( $t_c$ ) dan  $t$

$$t_c = 68,8 \left( \frac{gF}{Ua^2} \right)^{2/3} \quad \frac{Ua}{g} \leq t$$

1. Bila  $t > t_c$  maka disebut kondisi *fetch limited*, dan perhitungan nilai  $H_{m0}$  dan  $T_p$  dengan rumus berikut:

$$\frac{g.H_{m0}}{Ua^2} = 0,0016 \left( \frac{gF}{Ua^2} \right)^{1/2}$$

dan

$$\frac{g.T_p}{Ua} = 2,2857 \left( \frac{gF}{Ua^2} \right)^{1/3}$$

Sehingga

$$H_{m0} = 0,0016 \frac{Ua^2}{g} \left( \frac{gF}{Ua^2} \right)^{1/2}$$

$$T_p = 0,2857 \frac{Ua}{g} \left( \frac{gF}{Ua^2} \right)^{1/3}$$

2. Bila  $t < t_c$  maka disebut kondisi *Duration Limited* maka perlu dihitung panjang *fetch* minimum

$$F_{min} = \frac{Ua^2}{g} \left( \frac{gt}{68,8.Ua} \right)^{3/2}$$

Kemudian hitung  $H_{m0}$  dan  $T_p$  dari rumus tersebut dengan mengganti  $F$  dengan  $F_{min}$

$$H_{m0} = 0,0016 \frac{Ua^2}{g} \left( \frac{gF_{min}}{Ua^2} \right)^{1/2}$$

$$T_p = 0,2857 \frac{Ua}{g} \left( \frac{gF_{min}}{Ua^2} \right)^{1/3}$$

Dimana:

$H_{m0}$  = Tinggi gelombang signifikan (m)

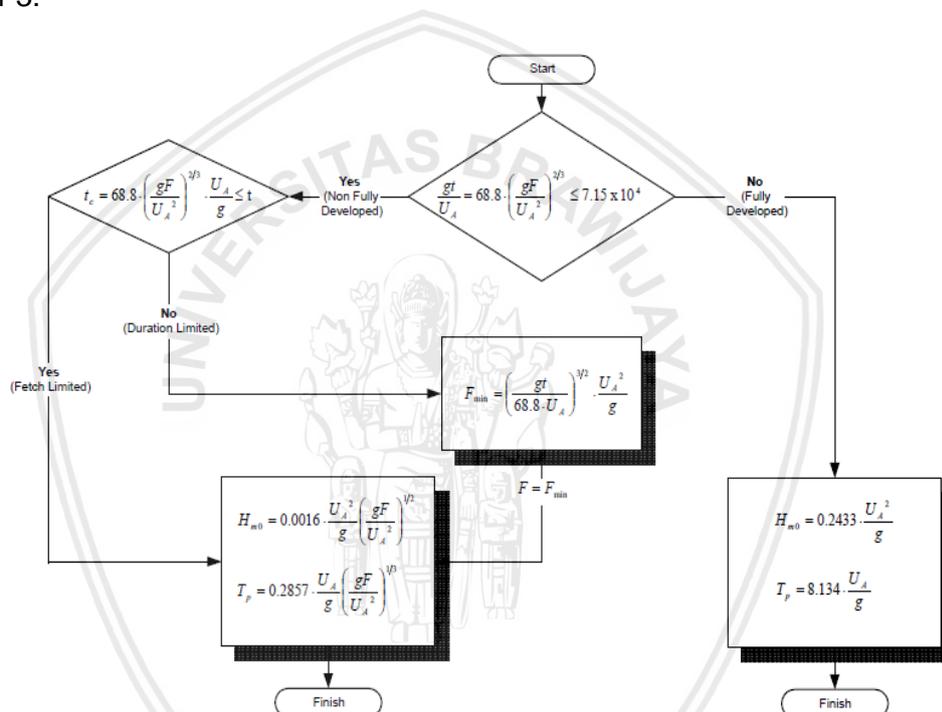
$T_m$  = Periode gelombang (s)

$g$  = Kecepatan grafitasi bumi (m/s)

$U_A$  = Kecepatan angin yang telah dikoreksi (m/s)

$F$  = Panjang *fetch* efektif (m)

Tahap-tahap pada prosedur peramalan gelombang dengan menggunakan rumus SMB dapat dilihat pada skema diagram alir peramalan gelombang pada Gambar 3.



Gambar 3. Prosedur peramalan gelombang (Hidayati, 2017)

## 2.10 Metode Weibull

Untuk mendapatkan hasil perencanaan pantai yang baik, maka diperlukannya analisa gelombang dalam kurun waktu yang panjang. Pada hal ini dibahas tentang gelombang berdasarkan periode ulang. Periode ulang adalah periode tahunan yang diharapkan gelombang terjadi dan terlampaui minimal satu kali. Untuk bisa memperoleh hasil analisa yang valid, maka data yang diperlukan harus dalam rentang waktu yang panjang minimal 10 tahun atau lebih (Hidayati, 2017).

Terdapat dua metode untuk memprediksi gelombang dengan periode ulang tertentu, yaitu dengan menggunakan distribusi *Gumbel* dan distribusi *Weibull*. Metode *Weibull* menghubungkan data seluruh gelombang kedalam suatu persamaan regresi linier (Hidayati, 2017). Dalam penelitian ini, metode prediksi ketinggian gelombang periode ulang dilakukan dengan menggunakan metode *Weibull*. Prediksi ketinggian gelombang periode ulang dengan menggunakan metode *Weibull* dilakukan dengan melakukan perhitungan sebagai berikut (Triatmodjo, 1999). Perhitungan dari probabilitas dari tinggi gelombang representatifnya, berdasarkan rumus:

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0.22 - \frac{0.27}{\sqrt{k}}}{N_T + 0.12 + \frac{0.23}{\sqrt{k}}} \quad (2.1)$$

Dengan:

$P(H_s \leq H_{sm})$  : Probabilitas dari tinggi gelombang representatif ke m yang tidak dilampaui

$H_{sm}$  : Tinggi gelombang urutan ke m

m : nomor urutan tinggi gelombang signifikan = 1, 2, 3, ..... N

$N_T$  : Jumlah kejadian gelombang selama pencatatan

Distribusi Weibull menghubungkan data seluruh gelombang ke dalam suatu persamaan regresi linier sebagai berikut:

$$H_{sm} = Ay_m + B \quad (2.2)$$

Dengan  $y_m$  sebagai berikut:

$$y_m = [-\ln\{1 - F(H_s \leq H_{sm})\}]^{1/k} \quad (2.3)$$

Untuk menentukan tinggi gelombang signifikan periode ulang tertentu dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$H_{sT} = H_{sr} + 1.28\sigma_r \quad (2.4)$$

$$H_{sr} = Ay_r + B \quad (2.5)$$

$$\sigma_r = \sigma_{nr} \sigma_H \quad (2.6)$$

dimana nilai  $y_r$  dapat diketahui dari persamaan berikut

$$y_r = \{\ln(L T_r)\}^{1/k} \quad (2.7)$$

Perkiraan interval keyakinan merupakan hal penting dalam analisis gelombang ekstrim. Hal ini disebabkan karena pencatatan gelombang pendek dan tingkat ketidakpastian yang tinggi pada perkiraan gelombang ekstrim. Batas keyakinan sangat dipengaruhi oleh penyebaran data, sehingga nilainya bergantung pada deviasi standar. Untuk menghitung deviasi standar dari metode *Weibull* dapat digunakan persamaan berikut:

$$\sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{N}} [1 + \alpha(y_r - c + \epsilon \ln v)^2]^{1/2} \quad (2.8)$$

dengan:

$$\alpha = \alpha_1 \cdot e^{\alpha_2 N^{-(1.3)+k} \sqrt{-\ln v}} \quad (2.9)$$

Dengan nilai koefisien empiris pada Tabel 1.

Tabel 1. Koefisien untuk menghitung standar deviasi

Distribusi	$\alpha_1$	$\alpha_2$	k	c	$\epsilon$
FT-1	0,64	9,0	0,93	0,0	1,33
Weibull (k = 0,75)	1,65	11,4	-0,63	0,0	1,15
Weibull (k = 1,0)	1,92	11,4	0,00	0,3	0,90
Weibull (k = 1,4)	2,05	11,4	0,69	0,4	0,72
Weibull (k = 2,0)	2,24	11,4	1,34	0,5	0,54

Nilai standar deviasi dari tinggi gelombang signifikan dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\sigma_{Hs} = \sqrt{\frac{\sum_{M=1}^N (H_{sm} - H_{sm})^2}{N-1}} \quad (2.10)$$

## 2.11 Keselamatan Pelayaran

Keselamatan dan Keamanan Pelayaran merupakan suatu keadaan dimana terpenuhinya persyaratan keselamatan dan keamanan yang menyangkut angkutan di perairan, kepelabuhanan, dan lingkungan maritim (Maulana dan Otiyas, 2018). Faktor alam juga memengaruhi keselamatan dalam pelayaran, menurut Andry dan Febri (2014), Penyebab kecelakaan angkutan perairan yang diakibatkan oleh cuaca badai atau gelombang pasang relatif mudah ditanggulangi, karena adanya sistem komunikasi dan laporan BMKG yang semakin cepat dan akurat. Sehingga informasi dari laporan BMKG sangat penting bagi nelayan dan kapal transportasi terkait keselamatan dalam pelayaran.

Sesuai dengan Undang-Undang Nomor 17 tahun 2008 tentang pelayaran, sistem informasi keselamatan dan keamanan pelayaran harus memuat mengenai:

1. Kondisi arus, angin, gelombang, dan pasang surut;
2. Kapasitas Sarana Bantu Navigasi-Pelayaran, Telekomunikasi-Pelayaran, serta alur dan perlintasan;
3. Kapal negara di bidang keselamatan dan keamanan pelayaran;
4. Sumber daya manusia bidang kepelautan;
5. Daftar kapal berbendera Indonesia, dan kerangka kapal;
6. Kecelakaan kapal
7. Lalu lintas kapal di perairan.

Menurut (Dewi *et al.*, 2012) kriteria tinggi gelombang yang dapat mempengaruhi pelayaran adalah sebagai berikut:

1. 1,25 – 2,0 m : berbahaya bagi perahu nelayan
2. 2,0 – 3,0 m : berbahaya bagi perahu nelayan dan tongkang
3. 3,0 – 4,0 m : berbahaya bagi perahu nelayan, tongkang dan ferry

4. > 4,0 m : berbahaya bagi semua kapal

Sesuai dengan peraturan dari Departemen Perhubungan Indonesia tahun 2019 ukuran kapal pelayaran sesuai dengan daerah pelayaran sebagai berikut

No	Daerah Pelayaran	Tinggi Gelombang (m)	Panjang Kapal (m)	Lebar Kapal (m)	Tinggi Kapal (m)	Sarat Kapal/draft Minimum(m)
1	Region A	1,25	25	6,6	3,1	1,5
2	Region B	1,5	30	7,7	3,5	1,7
3	Region C	2	40	9,6	4,2	2,2
4	Region D	2,5	50	11,4	4,8	2,6
5	Region E	3	60	12,9	5,3	3
6	Region F	3,5	70	14,3	5,8	3,5
7	Region G	4	80	15,5	6,3	4

Keterangan=

- Daerah region A dengan wilayah Selat Malaka bagian selatan, Perairan Lhokseumawe, Selat Sunda bagian utara, Perairan Kep. Riau, Selat Berhala, Selat Bangka, Perairan Pontianak, Perairan timur Lampung, Perairan utara Jawa Barat hingga Semarang,
- Daerah region B dengan dengan wilayah Perairan utara Flores, Teluk Bone, Perairan Kalimantan Utara, Perairan utara Sulawesi, Teluk Tomini, Perairan Manokwari, Teluk Cendrawasih
- Daerah region C dengan dengan wilayah Selat Malaka bagian utara, Perairan timur P. Simeulue, Perairan timur Kep. Mentawai, Selat Ombai, Laut Natuna Utara, Perairan Kep. Anambas hingga Kep. Natuna, Laut Natuna, Perairan timur Kep. Bintan hingga Kep. Lingga, Perairan utara Pangkalpinang, Selat Karimata, Selat Gelasa, Laut Jawa, Perairan utara Jepara hingga Kep. Kangean, Perairan selatan Kalimantan, Perairan Kotabaru hingga Balikpapan, Selat Makassar, Perairan Kep. Sabalana hingga Kep. Selayar, Selat Lombok bagian utara, Laut Bali, Laut Sumbawa, Laut Flores
- Daerah region D dengan dengan wilayah Perairan Baubau - Wakatobi, Perairan Manui - Kendari, Teluk Tolo, Laut Seram, Perairan Kep. Sermata hingga Kep. Letti, Laut Sulawesi, Perairan Kep. Sangihe hingga Kep. Talaud, Perairan timur Bitung, Perairan selatan Sulawesi Utara, Laut Maluku, Perairan Kep. Halmahera, Laut Halmahera, Perairan Sorong –

Raja Ampat, Perairan P. Biak hingga Jayapura, Perairan Fakfak - Kaimana, Perairan Agats – Amamapere, Samudera Pasifik utara Halmahera hingga Papua

- Daerah region E dengan dengan wilayah Perairan utara Sabang, Perairan barat Aceh, Perairan barat P. Simeulue hingga Kep. Nias, Laut Sawu, Samudera Hindia barat Aceh, Perairan P. Sawu hingga P. Rotte - Kupang, Selat Sumba bagian barat, Selat Sape bagian selatan, Laut Sawu, Laut Timor selatan NTT, Perairan timur Kep. Wakatobi, Perairan selatan Ambon, Laut Banda, Laut Arafuru, Perairan Kep. Letti hingga Kep. Tanimbar, Perairan selatan Kep. Kai - Kep. Aru
- Daerah region F dengan dengan wilayah Perairan barat Kep. Mentawai, Perairan barat P. Enggano - Bengkulu, Perairan barat Lampung, Samudra Hindia barat Kep. Nias hingga Lampung, Selat Sunda bagian selatan,
- Daerah region G dengan dengan wilayah Perairan selatan P. Jawa hingga P. Sumba, Selat Bali - Selat Lombok - Selat Alas bagian selatan, Samudra Hindia Jawa hingga NTT.

## 2.12 Metode Uji Validasi Data Gelombang ECMWF dengan BMKG

Pada penelitian kali ini penulis menggunakan metode uji validasi *Mean Relative Error* (MRE) pada data gelombang ECMWF dengan data gelombang BMKG. Tidak ada pengukuran yang bisa dilakukan dengan ketepatan sempurna. Kesalahan pada data hasil pengukuran merupakan sesuatu yang wajar, namun akurasi dari suatu penelitian perlu diketahui untuk mengetahui hasil pengukuran yang sesuai dengan kondisi lapang. Sebuah studi mengenai *error* suatu data hasil pengukuran merupakan langkah pertama dalam mengetahui keakuratan data. Kesalahan dalam suatu pengukuran disebabkan oleh kesalahan sistematis maupun kesalahan yang tidak disengaja (Hassen, 2006).

Besarnya *error* suatu data pengukuran dapat ditentukan dengan menggunakan metode *Mean Relative Error* (MRE). Metode MRE menunjukkan rasio presentase dari suatu *error* yang terjadi dan biasanya digunakan untuk suatu

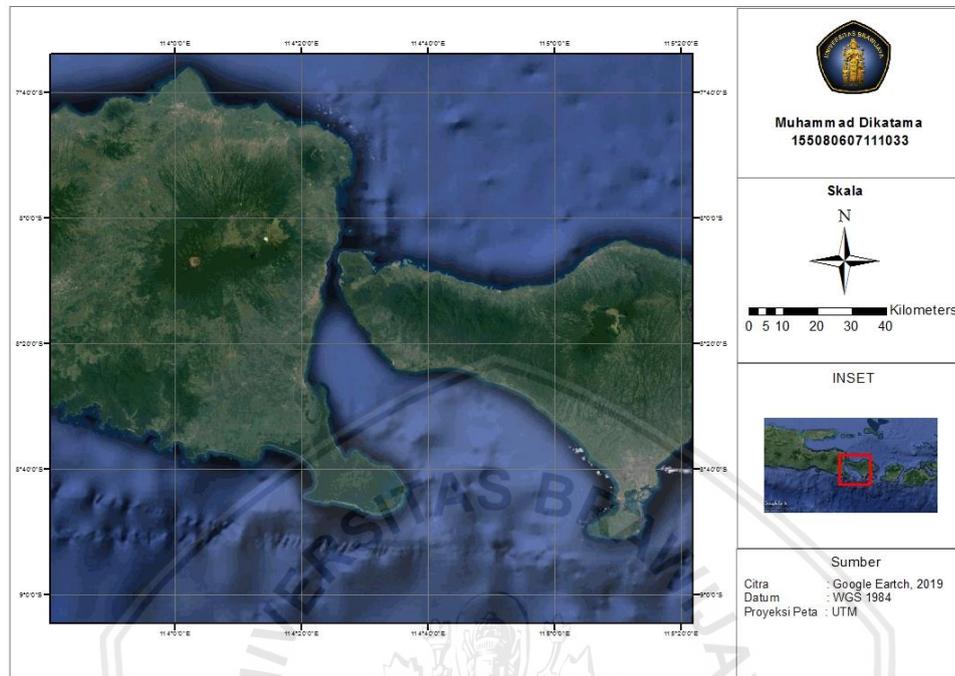
pengukuran maupun peramalan. Menurut Sugiyono (2011), statistik deskriptif digunakan untuk menganalisis data yang ada dengan cara mendeskripsikan atau menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan secara general.



### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian

Penelitian mengenai Analisis Karakteristik Gelombang Laut dan Prediksi Gelombang Ekstrim Dengan Periode Ulang Terkait Keselamatan Pelayaran di Perairan Selat Bali dilaksanakan pada bulan Desember 2018 sampai dengan Juni 2019. Daerah kajian penelitian mengenai karakteristik gelombang dan tinggi gelombang laut periode ulang ini mengambil daerah kajian yang berada di Perairan Selat Bali Penelitian ini mengambil daerah kajian pada Perairan Selat Bali. Peta lokasi penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4. Data yang digunakan adalah data utama dari website *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) dan divalidasi oleh data dari instansi BMKG Tanjung Perak. Waktu pelaksanaan penelitian dimulai pada Februari 2019 hingga Juni 2019, setelah itu dilakukan analisis data serta penyusunan laporan skripsi.



Gambar 4. Peta lokasi penelitian di Peraian Selat Bali

### 3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat-alat dan bahan-bahan yang digunakan untuk mengerjakan skripsi ini ialah sebagai berikut

#### 3.2.1. Alat

Alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini, mulai dari proses pengambilan data, proses pengolahan data dan penyusunan laporan dijelaskan pada Tabel 2.

Tabel 2. Alat yang digunakan dalam penelitian.

No.	Nama	Spesifikasi	Kegunaan
1.	Laptop	ASUS A555LB: NVDIA GEFORCE 930m, intel CORE i5	Alat untuk mengolah data penelitian dan penulisan karya tulis.
2.	USB Flashdisk	Kapasitas disc 16 GB	Alat dalam menyimpan data

3.	<i>Ocean Data View</i> (ODV)	ODV 2015	Untuk mengekstrak data gelombang dari ECMWF
4.	ArcGis	Versi 10.3	Membuat peta lokasi penelitian
5.	Surfer	Versi 10	Untuk menampilkan sebaran ketinggian gelombang periode ulang
6.	Google Earth Pro	Versi 2019	Untuk penentuan lokasi penelitian
7.	Ms. Excel	2016	Untuk mengolah data gelombang

### 3.2.2. Bahan

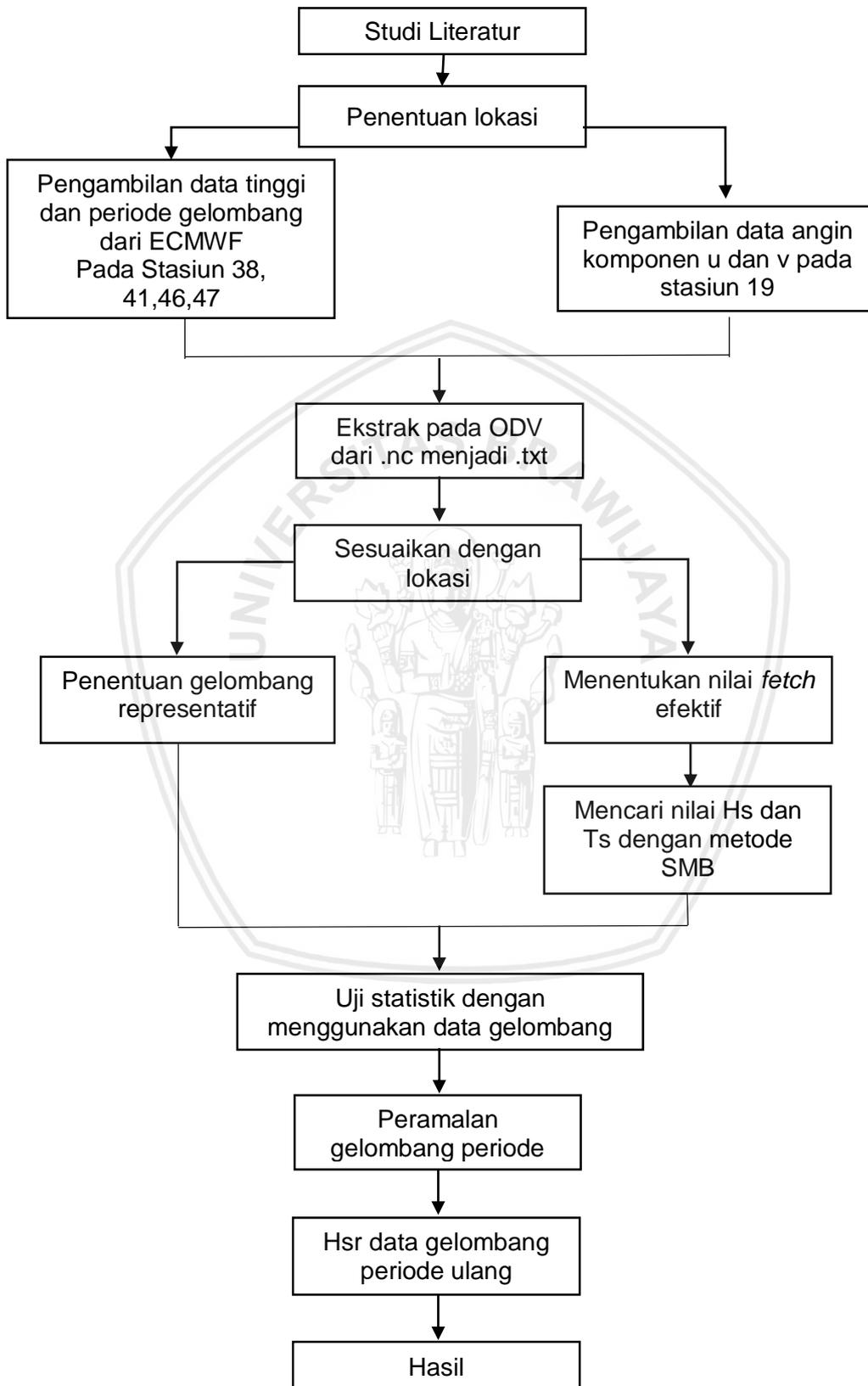
Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian dijabarkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Bahan yang digunakan dalam penelitian

No.	Bahan	Kegunaan
1.	Data gelombang ECMWF	Sebagai data yang digunakan untuk penelitian gelombang laut
2.	Data angin ECMWF	Sebagai data yang digunakan untuk peramalan gelombang menggunakan data angin
3.	Data gelombang BMKG	Sebagai data yang digunakan untuk penelitian gelombang laut

### 3.3. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian mengenai karakteristik gelombang laut ini meliputi penentuan titik lokasi yang akan diteliti, studi literatur, perolehan data sekunder, pengolahan data, hingga terakhir pada tahapan analisis data gelombang. Diagram alir dari penelitian terkait studi karakteristik gelombang ini disajikan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir penelitian

### 3.4. Teknik Pengumpulan data

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data sekunder yang diambil dari situs resmi *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) dan data gelombang yang didapat dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Tanjung Perak. Penulis menggunakan data sekunder dari ECMWF karena lokasi penelitian yang luas serta penulis memerlukan data tahun sebelumnya untuk prediksi gelombang periode ulang. Dalam penelitian ini data sekunder yang diambil dari ECMWF dapat digunakan karena data dari ECMWF merupakan data *reanalysis* dan asimilasi data satelit dan data *insitu*. Sudah banyak penelitian yang menggunakan data ECMWF seperti pada penelitian Satriadi (2017) yang menggunakan data angin dari ECMWF untuk memprediksi tinggi gelombang, Lubis M.A dan Hanah (2016) menggunakan data ECMWF untuk menghitung tinggi gelombang, kecepatan dan arah angin, Denestiyanto *et al.* (2015) menggunakan data ECMWF untuk gelombang dan angin sebagai perbandingan data lapang serta masih banyak penelitian lainnya.

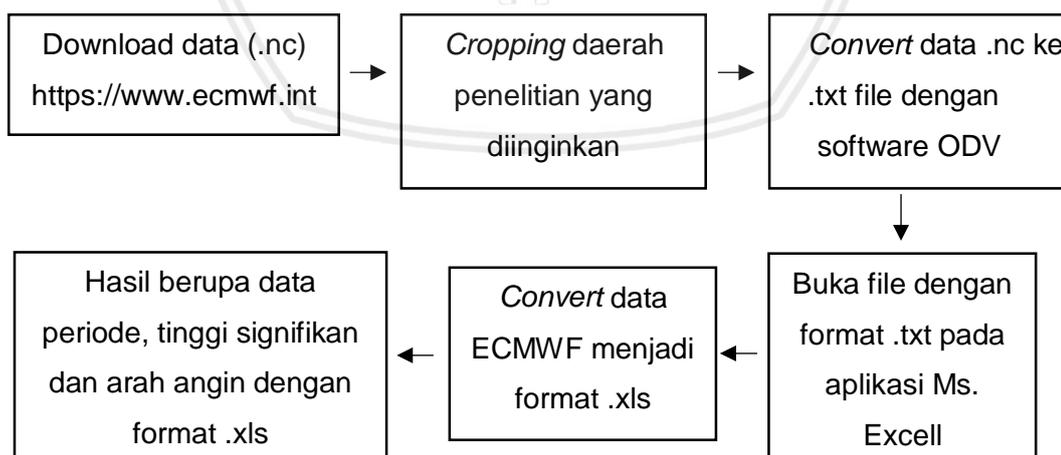
Data gelombang dari ECMWF diambil selama 15 tahun terakhir (2004-2018). Data gelombang dari ECMWF yang diperlukan ialah parameter tinggi signifikan gelombang, periode gelombang, arah datang gelombang, dan data angin dengan rentang waktu selama 15 tahun (2004 – 2018). Data gelombang ini digunakan untuk mengetahui karakteristik gelombang dan untuk peramalan gelombang periode ulang dengan menggunakan metode *Weibull*. Data gelombang yang diperlukan dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) ialah tinggi gelombang, periode gelombang, dan arah datang gelombang digunakan sebagai data pembanding dari hasil pengolahan data gelombang periode ulang ECMWF.

### 3.5. Pengolahan Data

Data gelombang yang telah diperoleh dari ECMWF dan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) selanjutnya dilakukan pengolahan untuk mendapatkan data hasil prediksi gelombang.

#### 3.5.1. Pengolahan Data ECMWF

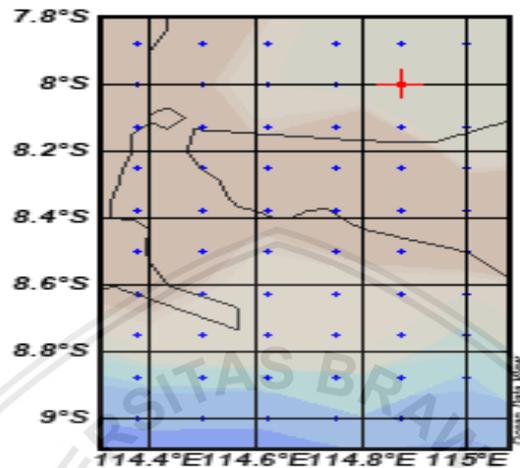
Pengambilan data gelombang dari ECMWF dilakukan secara *time-series* atau serangkaian nilai yang disusun berdasarkan waktu untuk mendapatkan data yang sudah diukur sejak beberapa waktu sebelumnya. Data gelombang didapatkan dengan cara mengunduh langsung dari situs resmi *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). Data gelombang yang diperoleh dari ECMWF tidak dapat langsung digunakan untuk memprediksi gelombang. Data gelombang tersebut harus dikonversi kedalam bentuk ASCII (bentuk angka). Data ASCII diperoleh dengan melakukan pengolahan data ECMWF pada aplikasi *Ocean Data View* (ODV) dan Ms. Excell. Langkah-langkah pengolahan data ECMWF adalah seperti Gambar 6.



Gambar 6. Skema pengambilan data ECMWF

Data ketinggian gelombang yang digunakan dari ECMWF terdiri dari 60 titik stasiun yang tersebar mulai dari perairan Selat Bali bagian utara sampai dengan

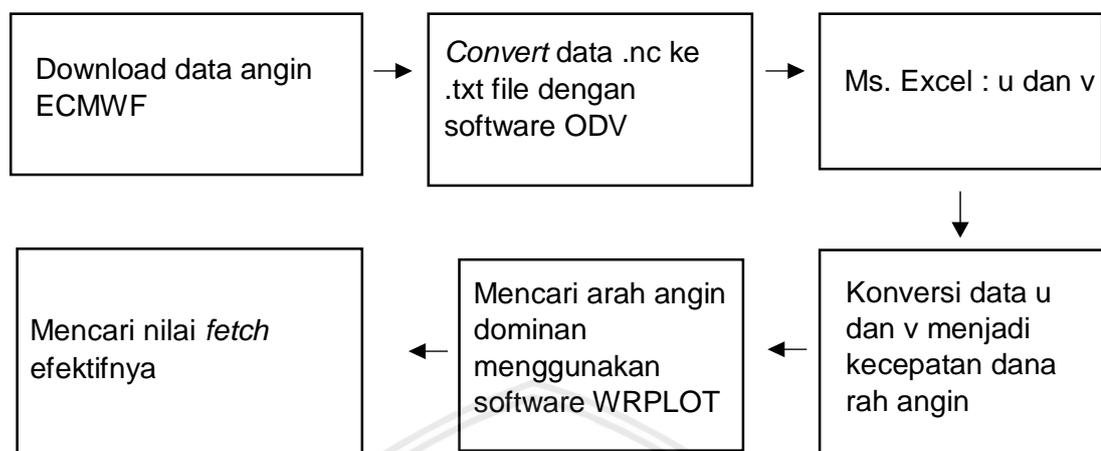
Selat Bali bagian Selatan. Sebaran stasiun data ketinggian gelombang dalam penelitian ini dapat dilihat seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Sebaran stasiun gelombang pada ECMWF

### 3.5.2. Pengolahan Data Angin untuk Peramalan Gelombang

Data angin untuk peramalan gelombang ini digunakan penulis sebagai pengganti data gelombang ECMWF yang tidak ada datanya. Pada kasus ini penulis menggunakan data angin di stasiun 19 pada data di ODV untuk mendapatkan data tinggi dan periode gelombang. Data angin diperoleh dari *European Centre for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF). Data yang telah diambil berupa data angin yang terdiri dari komponen u dan v, data tersebut merupakan data ramalan selama 15 tahun yakni dari Januari 2004 sampai Desember 2018 dengan interval waktu 6 jam. Data hasil download yang diperoleh dalam format Netcdf (.nc) lalu diekstrak menjadi \*.txt menggunakan program ODV versi 4 agar dapat diolah pada program Ms.Excel. Setelah itu konversi arah dan kecepatan rerata bulanan selama 15 tahun. Selain itu, juga dibuat windrose grafik dengan menggunakan perangkat lunak WR PLOT. Data angin yang didapat dari ECMWF merupakan data dengan ketinggian 10 meter dari tahun 2004-2018. Skema pengambilan data angin ECMWF dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Skema pengambilan data angin ECMWF

Data angin bulanan selama 1 tahun dari ECMWF dalam format .nc diekstrak dalam format .txt pada program ODV. Selanjutnya, komponen arah  $u$  dan komponen kecepatan  $v$  diolah pada program MS.Excel untuk dikonversi agar mendapatkan arah dan kecepatan kemudian dirata-rata bulanan selama 15 tahun. Setelah itu menggunakan program WR PLOT untuk mendapatkan windrose. Setelah mendapatkan arah mata angin yang dominan dapat dilihat pada Lampiran 11 lalu menentukan nilai *fetch* efektif dengan cara membuat garis *fetch* dari titik yang sudah ditentukan lalu menentukan garis *fetch* kurang lebih  $35^\circ$  ke kanan dan ke kiri dengan interval  $5^\circ$ . Kemudian didapatkan panjang *fetch* efektif

### 3.5.3. Pengolahan Data Gelombang dari BMKG

Data yang diperoleh dari BMKG terdiri dari data tinggi gelombang laut signifikan rata rata (*Average*), data ketinggian maksimum rata-rata (*Average*), dan data ketinggian maksimum tertinggi (*Highest*). Data BMKG berasal dari hasil pengukuran yang dilakukan oleh BMKG disetiap stasiun-stasiun pengamatan yang tersebar diseluruh Indonesia. Data ketinggian gelombang yang diperoleh dari BMKG digunakan sebagai pembandingan dengan hasil perhitungan gelombang dari data ECMWF.

### 3.5.4. Penentuan Karakteristik Gelombang Laut

Penentuan karakteristik gelombang laut menggunakan perhitungan dari gelombang representatif. Gelombang representatif terdiri dari tinggi gelombang maksimum ( $H_{max}$ ), tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ), tinggi gelombang rata-rata ( $H_{100}$ ), periode gelombang maksimum ( $T_{max}$ ), periode gelombang signifikan ( $T_s$ ), dan periode gelombang rata-rata ( $H_{100}$ ). Karakteristik gelombang laut dibedakan berdasarkan bulan, musim, dan tahun. Pada saat menentukan karakteristik gelombang laut data tinggi gelombang harus diurutkan terlebih dahulu dari nilai tertinggi ke nilai terendah, namun hal tersebut tidak berlaku untuk periode gelombang laut. Periode gelombang laut mengikuti sortasi dari tinggi gelombang laut.

Menentukan tinggi dan periode gelombang signifikan berdasarkan rata-rata 33% data tinggi dan periode gelombang maksimum yang telah disortasi. Tinggi dan periode gelombang rerata ( $H_{100}$  dan  $T_{100}$ ) merupakan hasil rerata data seluruh data atau 100% data dari tinggi dan periode gelombang. Perumusan dalam perhitungan gelombang representatif sebagai berikut:

- Tinggi gelombang signifikan

$$N = \text{jumlah data} \times \frac{1}{3}$$

$$H_s = H_{1/3} = \frac{\sum \text{tinggi gelombang}}{N}$$

$$T_s = T_{1/3} = \frac{\sum \text{periode gelombang}}{N}$$

- Tinggi gelombang 100% (rata-rata)

$N = \text{jumlah keseluruhan data}$

$$H_{100} = \frac{\sum \text{tinggi gelombang}}{N}$$

$$T_{100} = \frac{\sum \text{periode gelombang}}{N}$$

Hasil dari perhitungan gelombang representatif tersebut disajikan dalam grafik dan peta kemudian dianalisis. Berdasarkan analisis gelombang representatif, yang paling banyak digunakan sebagai acuan perencanaan bangunan pantai adalah tinggi gelombang signifikan. Sedangkan tinggi gelombang maksimum digunakan untuk prediksi tinggi gelombang ekstrim.

### 3.5.5. Pengolahan Data Prediksi Gelombang Periode Ulang

Analisis prediksi gelombang ekstrim atau gelombang tinggi pada Perairan Selat Bali menggunakan data dari ECMWF selama 15 tahun (2004-2018) dan validasi data menggunakan data tinggi gelombang BMKG. Prediksi gelombang periode ulang ini menggunakan metode *weibull* yang bertujuan untuk menganalisis gelombang ekstrim yang terjadi pada periode 10, 15, 25, 50, 75, dan 100 tahun kedepan.

Penentuan probabilitas gelombang dengan menggunakan metode *weibull* dapat dilakukan seperti pada tabel berikut:

Tabel 4. Perhitungan gelombang periode ulang dengan metode *weibull*

No Urut m	$H_{sm}$	P	$y_m$	$H_{sm}y_m$	$y_{m2}$	$(H_{sm}-H)^2$	$\hat{H}_{sm}$	$H_{sm}-\hat{H}_{sm}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Keterangan

1. Kolom 1 menunjukkan nomor urut dari tinggi gelombang signifikan dengan satuan meter (m)

2. Kolom 2 menunjukkan tinggi dari gelombang signifikan maksimum pada tiap tahunnya berdasarkan nilai tertinggi ke nilai terendah.
3. Kolom 3 menunjukkan perhitungan dari (2.1)
4. Kolom 4 didapatkan dari perhitungan (2.3)
5. Kolom 5 merupakan hasil perkalian dari kolom 2 dengan kolom 4
6. Kolom 6 merupakan hasil kuadrat dari kolom 4. Nilai dari kolom 5 dan kolom 6 digunakan untuk menentukan parameter A dan B
7. Kolom 7 merupakan hasil kuadrat dari selisi kolom 2 dengan nilai rata rata kolom 2. Hasil dari perhitungan ini merupakan standar deviasi dari gelombang signifikan.
8. Kolom 8 didapatkan berdasarkan perhitungan berikut: Berdasarkan tabel kolom 8, maka diperoleh beberapa parameter
  - $N$  (jumlah data tinggi gelombang signifikan)
  - $N_T$  (jumlah gelombang selama pencatatan)
  - $\nu = \frac{N}{N_T}$
  - $\hat{H}_{sm} = \frac{H_{sm}}{N_T}$
  - $k$  (panjang data)
  - $\hat{y}_m = \frac{\hat{y}_m}{N_T}$
  - $\sigma = \left[ \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (H_{sm} - \hat{H}_{sm})^2 \right]^{1/2}$

Berdasarkan perhitungan diatas, maka nilai pada parameter  $A$  dan  $B$  dapat dihitung dengan menggunakan data  $H_{sm}$  dan  $y_m$  yang terdapat pada kolom 2 dan kolom 4 melalui persamaan berikut:

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

Nilai  $A$  dan  $B$  didapatkan dari persamaan:

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

$$B = H_{sm} - A \hat{y}_m$$

Persamaan regresi untuk  $H_{sr}$  yang didapatkan adalah sebagai berikut:

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

2. Kolom 9 didapatkan dari selisih antara kolom 2 dengan kolom 8

Setelah mengerjakan langkah-langkah diatas, langkah selanjutnya ialah menentukan tinggi gelombang signifikan menggunakan periode ulang dengan perhitungan sebagai berikut:

Tabel 5. Gelombang dengan periode ulang tertentu

Periode Ulang (Tahun)	$y_r$ (Tahun)	$H_{sr}$ (m)	$\sigma_{nr}$	$\sigma_r$	$H_s - 1,28\sigma_r$ (m)	$H_s + 1,28\sigma_r$ (m)
1	2	3	4	5	6	7

### 3.5.6. Uji Validasi Data ECMWF dengan Data BMKG

Penelitian ini secara keseluruhan menggunakan metode analisis statistik deskriptif. Untuk mempermudah analisis ini, dilakukan analisis statistik dengan analisis perbandingan karakteristik gelombang periode ulang dari data ECMWF dan karakteristik gelombang dari data BMKG Surabaya dengan menggunakan metode *Mean Relative Error* (MRE). Perhitungan *Mean Relative Error* (MRE) menggunakan persamaan berikut ini :

$$RE = \frac{[x - c]}{x} \times 100\%$$

sehingga diperoleh persamaan MRE sebagai berikut :

$$MRE = \sum_0^n \frac{RE}{n}$$

Keterangan :

RE = Relative Error (%)

MRE = Mean Relative Error (%)

c = Data hasil simulasi

x = Data hasil lapang

n = Jumlah lapang

Metode analisis ini digunakan untuk membandingkan karakteristik gelombang periode ulang metode *Weibull* dengan data gelombang maksimum pada tahun pembanding. Pada penelitian ini data gelombang pembanding didapatkan dari BMKG stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak dari tahun 2014-2018. Menurut Atmodjo (2011), analisis model dapat diterima apabila nilai dari MRE berada pada kisaran 40%. Namun, menurut Denestiyanto *et al.* (2015), menyatakan bahwa data verifikasi tinggi gelombang (ECMWF) dengan data lapang dapat dikatakan valid apabila menunjukkan hasil perhitungan MRE kurang dari 50%. Sehingga dapat disimpulkan, nilai MRE dapat diterima apabila masih berada dibawah 50%.

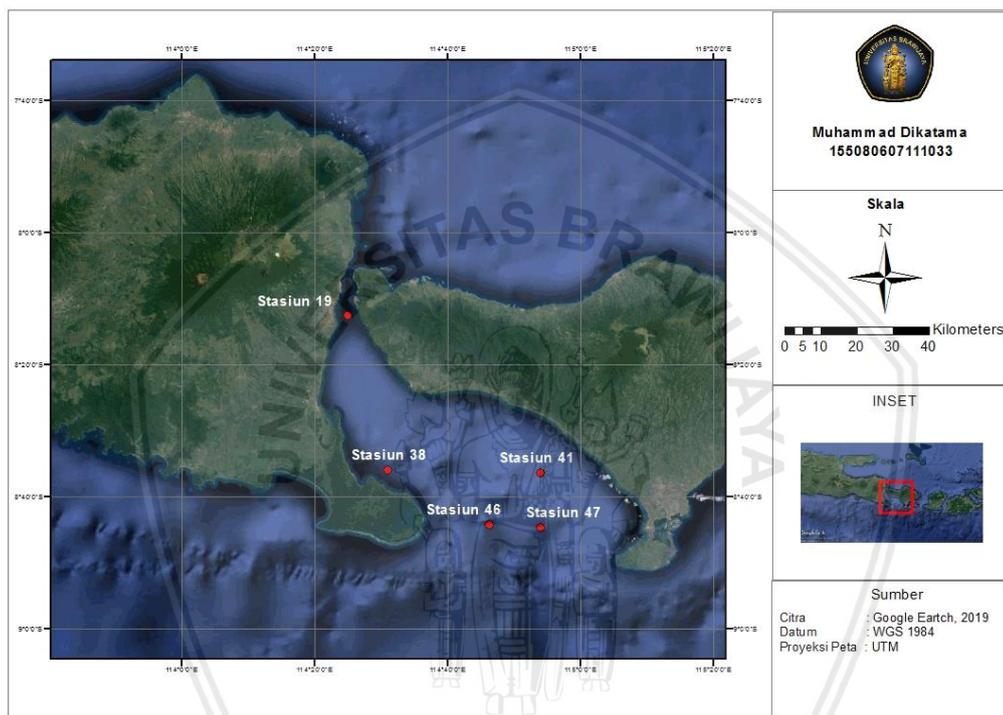
### 3.6 Analisa Data

Pada penelitian kali ini, analisa data diperlukan untuk mengetahui karakteristik gelombang, dan peramalan gelombang periode ulang di Selat Bali

#### 3.6.1 Karakteristik Gelombang

Dalam penelitian ini terdapat pada lima lokasi yang terdiri dari wilayah Selat Bali bagian Utara pada satasiun 19 yang mewakili alur penyebrangan Pulau Jawa-Pulau Bali, dan Selat Bali bagian Selatan pada stasiun 38, 41, 46, 47 dapat dilihat

pada Gambar 9. Karakteristik gelombang laut pada penelitian ini menggunakan perhitungan dari gelombang representatif pada wilayah Selat Bali bagian Utara dan Selatan. Penentuan karakteristik gelombang ini digunakan untuk mengetahui tren tinggi gelombang berdasarkan bulanan, tahunan, dan musiman.



Gambar 9. Peta lokasi penelitian secara spesifik

### 3.6.2 Peramalan Gelombang Periode Ulang

Prediksi gelombang ekstrim atau gelombang tinggi sangat diperlukan dalam hal perencanaan bangunan pantai, perlindungan pantai, dan keselamatan pelayaran. Pada keselamatan pelayaran dan perencanaan bangunan pantai perlu adanya prediksi gelombang dalam jangka waktu lama. Seringnya terjadi kecelakaan dalam pelayaran dan rusaknya bangunan pantai merupakan sebab dari kurangnya informasi mengenai prediksi gelombang laut. Keterbatasan alat untuk melakukan pengukuran langsung dan kondisi cuaca yang tidak menentu menyebabkan Informasi prediksi gelombang laut yang sangat minim.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Lokasi Penelitian

#### 4.1.1 Gambaran Umum Perairan Selat Bali

Perairan Selat Bali terletak diantara Pulau Jawa di sebelah Timur dan Pulau Bali di sebelah Barat dengan posisi antara  $114^{\circ} 20'$ - $115^{\circ} 10'$  BT dan  $8^{\circ} 10'$ - $8^{\circ} 50'$  LS memiliki luas sekitar 2.500 km<sup>2</sup>. Selat Bali merupakan perairan yang menghubungkan Pulau Bali dengan Pulau Jawa. Transportasi tersebut dilaksanakan dengan menggunakan sarana kapal penyeberangan berupa kapal Ferry. Kegiatan penyeberangan, pengangkutan penumpang dan bongkar muat barang dilakukan menggunakan fasilitas pelabuhan Ketapang di Banyuwangi dan Gilimanuk di Bali (Usman *et al.*,2004). Selat Bali memisahkan antara Pulau Bali dan Jawa dengan bentuk seperti corong, di bagian selatan Selat Bali melebar dengan lebar kurang lebih 35 km dan dibagian utara menyempit dengan lebar kurang lebih 2,5 km dengan luas sekitar 2.500 km<sup>2</sup> (Wiyono, 2011). Letak lokasi Selat Bali dipangaruhi oleh massa air Samudera Hindia di bagian selatan dibandingkan dengan massa air Laut Flores atau Selat Madura bagian Utara.

Menurut Suniada dan Eko (2017), Selat Bali merupakan salah satu perairan yang kaya akan sumberdaya ikan terutama ikan-ikan pelagis yang hidup bergerombol seperti lemuru (*Sardinella lemuru*), tongkol (*Euthynnus affinis*), layang (*Decapterus spp.*) dan kembung (*Rastrelliger kanagurta*) dan telah dimanfaatkan secara intensif sejak tahun1970-an. Karena potensi sumber daya ikan yang terdapat di Selat Bali sangat penting untuk menunjang industri pengolahan yang tersebar di Muncar, Banyuwangi - Jawa Timur maupun di

Pengembangan, Jembran-Bali, maka aktivitas nelayan akan sangat padat pada daerah Selat Bali.

#### 4.2 Validasi Data ECMWF dengan Data BMKG

Pada penelitian ini, data BMKG digunakan sebagai pengganti data primer. Analisis perbandingan data BMKG dan ECMWF menggunakan analisis *Mean Relative Error* (MRE). Analisis ini bertujuan untuk mengetahui tingkat persentasi dari kesalahan pada data gelombang ECMWF dengan data gelombang BMKG pada tahun 2014-2018.

Tabel 6. Analisis MRE

Stasiun	Data		MRE (%)
	BMKG	ECMWF	
19	0,58	0,41	28,9
38	1,56	2,22	41,7

Periode ulang yang digunakan pada analisis MRE ini adalah 5 tahun dengan menggunakan data tinggi gelombang BMKG pada tahun 2014-2018. Table 6 menunjukkan hasil analisis yang dilakukan pada Stasiun 19 dan Stasiun 38, hasil MRE pada dua stasiun ini berada dibawah 50%. Berdasarkan hasil uji MRE pada 2 stasiun selama 5 tahun tersebut dapat diketahui perbedaan antara data gelombang BMKG dan ECMWF tidak begitu besar sehingga kedua data tersebut dapat dinyatakan valid.

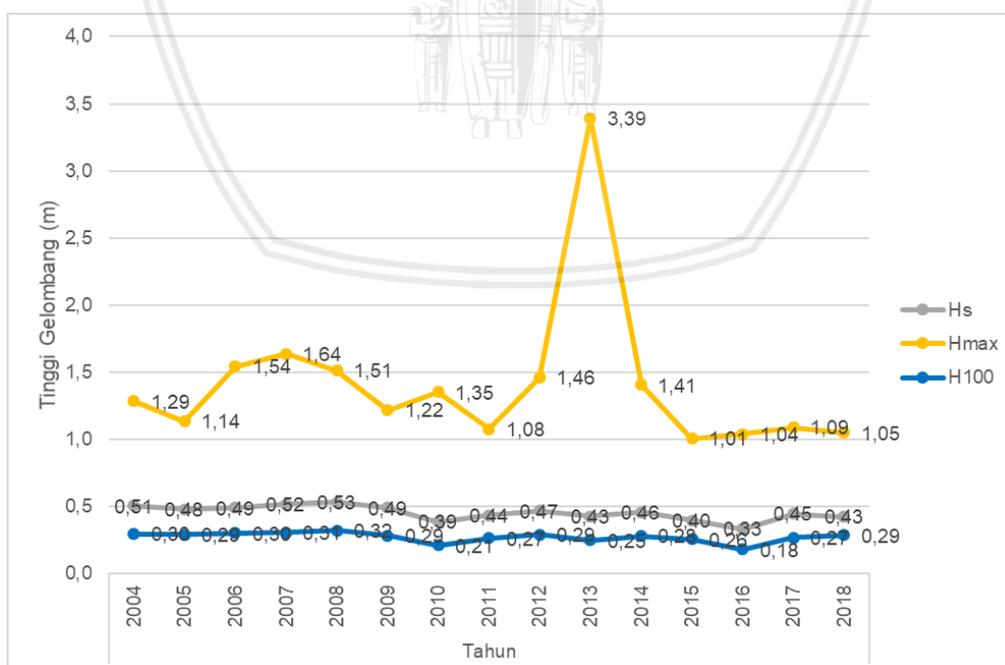
#### 4.3 Karakteristik Gelombang Berdasarkan Data ECMWF

Karakteristik gelombang di suatu perairan perlu diketahui nilainya untuk keperluan perencanaan bangunan pantai, pengeboran minyak lepas pantai, pelayaran, dan sebagainya. Karakteristik gelombang laut terdiri dari gelombang maksimum ( $H_{max}$ ), tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ), tinggi gelombang rerata ( $H_{100}$ ), periode gelombang maksimum ( $T_{max}$ ), periode gelombang signifikan ( $T_s$ ), dan

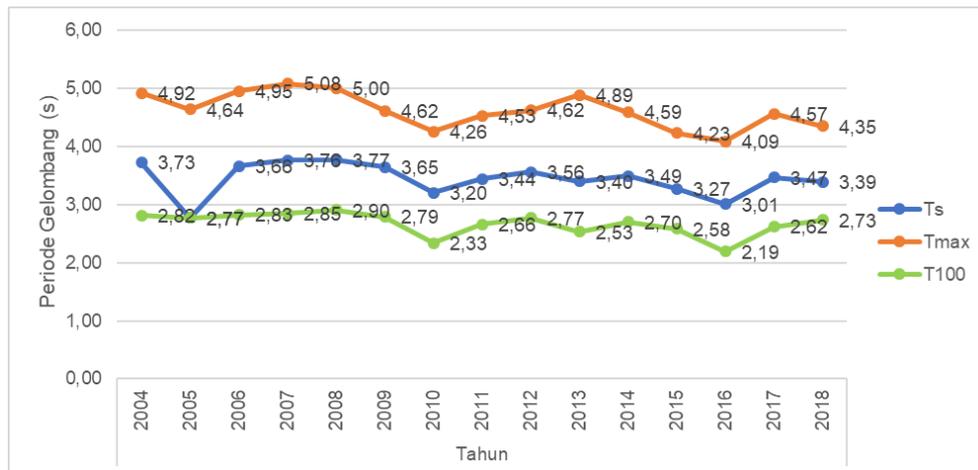
periode gelombang rerata ( $T_{100}$ ) yang diperoleh dari hasil pengolahan data gelombang selama 15 tahun (2004-2018). Data gelombang diperoleh dari *European Center for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF)* kemudian dilakukan perhitungan tinggi gelombang di seluruh titik koordinat sudah ditentukan

### 4.3.1 Karakteristik Gelombang 15 Tahun

Perhitungan tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) dilakukan di 5 titik stasiun yang berbeda dalam kurun waktu 15 tahun (2004-2018). Pada stasiun 19 terletak di bagian Utara Perairan Selat Bali yang mewakili dari alur penyebrangan antara Pulau Jawa-Pulau Bali. Stasiun 38 terletak di daerah Tanjung Angguk yang mewakili zona potensi penangkapan ikan atau aktivitas nelayan. Sementara itu stasiun 41, 46, dan 47 terletak di bagian Selatan Perairan Selat bali yang mewakili karakteristik gelombang pada daerah tersebut. Berikut merupakan tinggi dan periode gelombang di tiap 5 stasiun dalam kurun waktu 2004-2018.



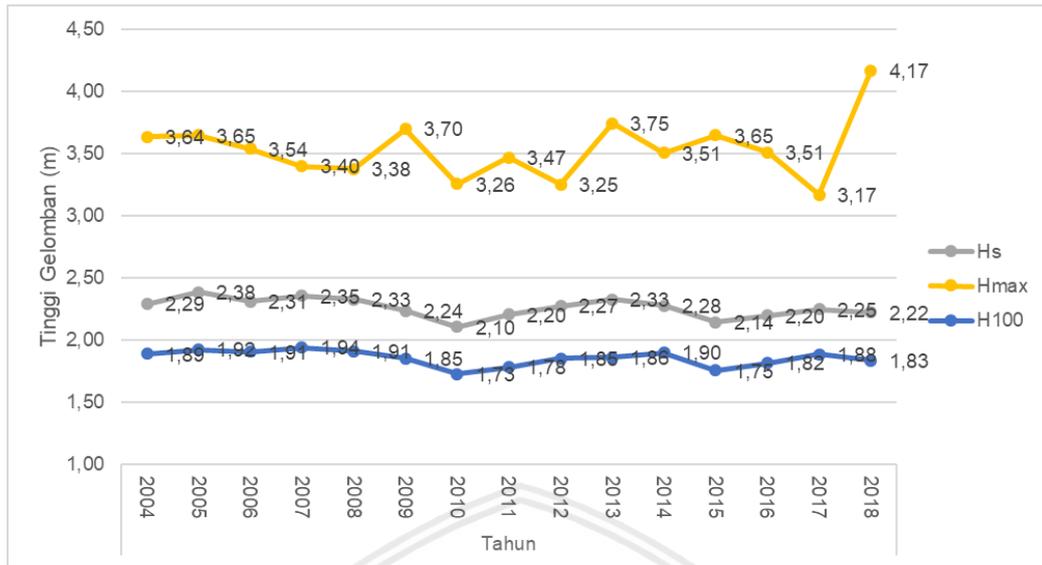
Gambar 10. Tinggi gelombang Pada Stasiun 19 tahun 2004-2018



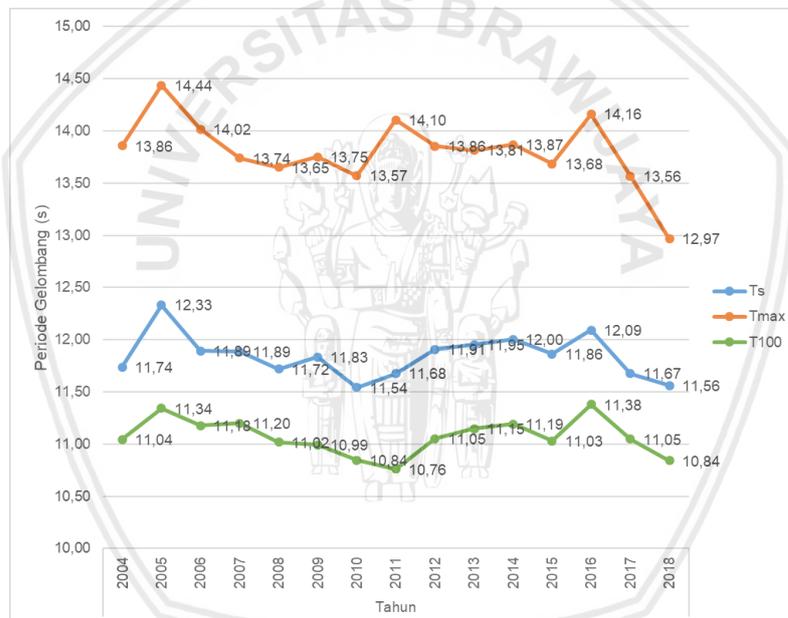
Gambar 11. Periode gelombang Pada Stasiun 19 tahun 2004-2018

Dua grafik pada Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan hasil perhitungan tinggi gelombang dan periode gelombang tahun 2004-2018 pada Perairan Selat Bali berdasarkan data tahunan di stasiun 19. Stasiun 19 terletak di sekitaran alur penyebrangan kapal antar pulau Jawa dan Bali. Pada stasiun ini tinggi gelombang signifikan cenderung stabil pada nilai 0,3-0,5 m. nilai tinggi gelombang signifikan terendah berada pada tahun 2016 yaitu sebesar 0,3 cm. Tinggi gelombang rata rata pada stasiun ini berkisar 0,2-0,3 meter. Ketinggian gelombang maksimum pada stasiun 19 berkisar 1 – 1,6 meter Sedangkan tinggi gelombang maksimum tertinggi berada pada tahun 2013 sebesar 3,4 meter

Gambar 11 menunjukkan periode gelombang yang terjadi pada stasiun 19. Nilai periode gelombang signifikan berada dikisaran 3 – 3,7 detik. Nilai periode signifikan terendah berada pada tahun 2005 yaitu sebesar 2,8 detik. Nilai periode gelombang rata rata atau  $T_{100}$  berkisar 2,2 – 2,8 detik. Sedangkan nilai periode maksimum berkisar 4,1 – 5,1 detik. Sedangkan periode maksimum tertinggi berada pada nilai 5,1 detik pada tahun 2007.



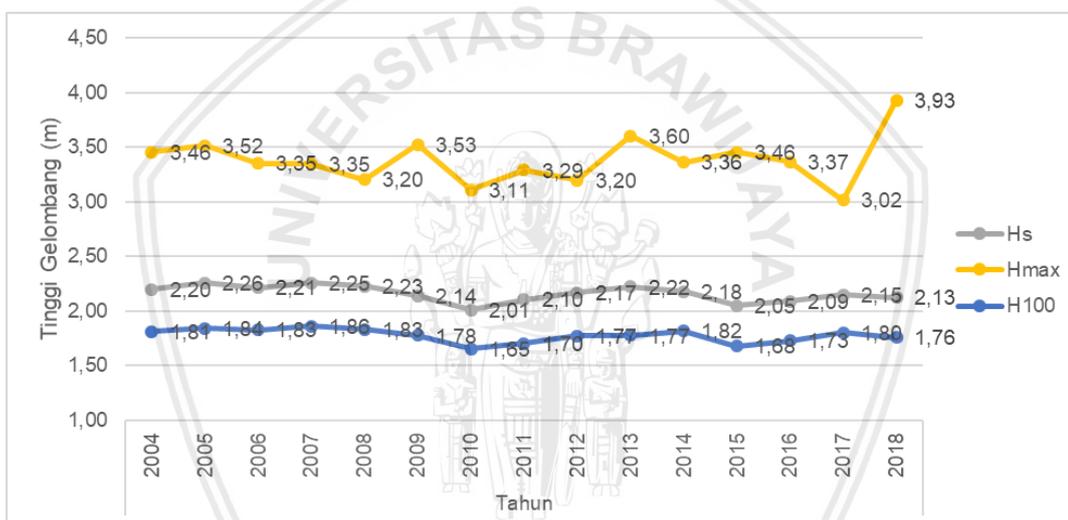
Gambar 12. Tinggi gelombang Pada Stasiun 38 tahun 2004-2018



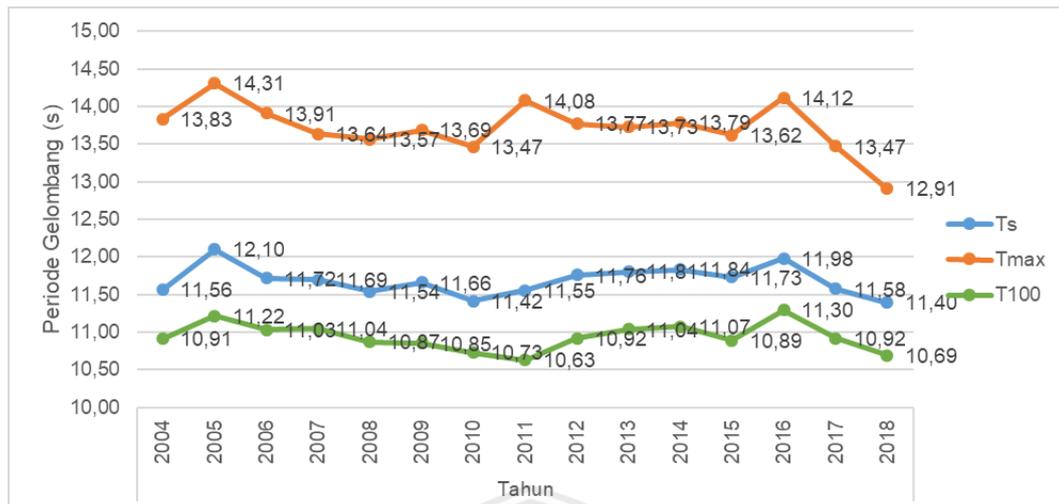
Gambar 13. Periode gelombang Pada Stasiun 38 tahun 2004-2018

Gambar 12 dan 13 menunjukkan hasil perhitungan tinggi dan periode gelombang pada stasiun 38. Stasiun 38 terletak pada bagian selatan Banyuwangi di daerah Tj. Angguk yang merupakan salah satu zona penangkapan ikan lemuru. Pada stasiun ini didapatkan nilai tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) tahun 2004-2018

diantara nilai 2,1-2,3 meter dengan periode gelombang antara 11-12 detik. Perbedaan tinggi gelombang signifikan tiap tahunnya tidak terlalu besar. Tinggi gelombang rata-rata pada stasiun 38 berkisar antara 1,7-1,9 meter dengan periode rata rata berkisar 10-11 detik. Sedangkan tinggi gelombang maksimum pada stasiun 38 berada pada nilai 3,17-4,17 meter dengan periode gelombang 12,97-14,4 detik. Tinggi gelombang maksimum yang diperoleh memiliki perbedaan ketinggian dari masing-masing tahun. Nilai tinggi gelombang maksimum tertinggi terjadi pada tahun 2018 dengan nilai 4,17 meter dengan periodenya 12,97 detik.

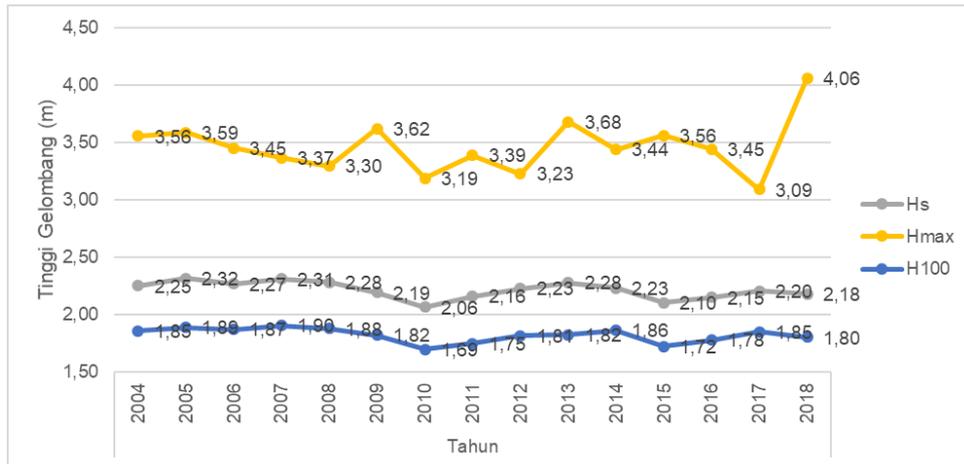


Gambar 14. Tinggi gelombang Pada Stasiun 41 tahun 2004-2018

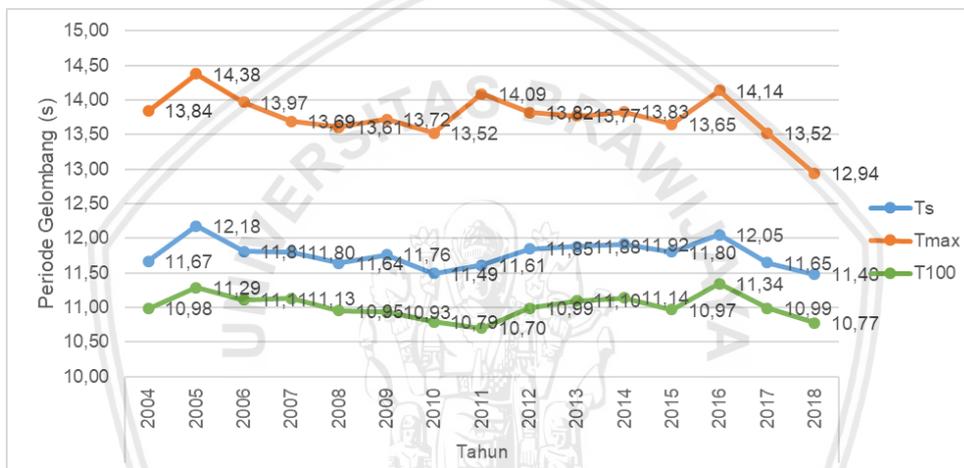


Gambar 15. Periode gelombang Pada Stasiun 41 tahun 2004-2018

Gambar 14 dan 15 menunjukkan hasil perhitungan tinggi dan periode gelombang pada stasiun 41. Stasiun 41 terletak pada Selat Bali bagian Selatan. Pada stasiun ini didapatkan nilai tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) tahun 2004-2018 yang cenderung stabil tidak ada perbedaan yang besar yakni diantara nilai 2,01-2,26 meter dengan periode gelombang antara 11,4-12,1 detik. Tinggi gelombang rata-rata pada stasiun 41 berkisar antara 1,6-1,8 meter dengan periode rata rata berkisar 10,6-11,3 detik. Sedangkan tinggi gelombang maksimum pada stasiun 41 berada pada nilai 3,1-3,9 meter dengan periode gelombang 12-14 detik. Tinggi gelombang maksimum yang diperoleh memiliki perbedaan ketinggian dari masing-masing tahun. Nilai tinggi gelombang maksimum tertinggi terjadi pada tahun 2018 dengan nilai 3,93 meter dengan periodenya 12,97 detik. Sedangkan tinggi gelombang maksimum terendah berada pada tahun 2017 dengan nilai 3,02 dengan periode 13,4 detik.



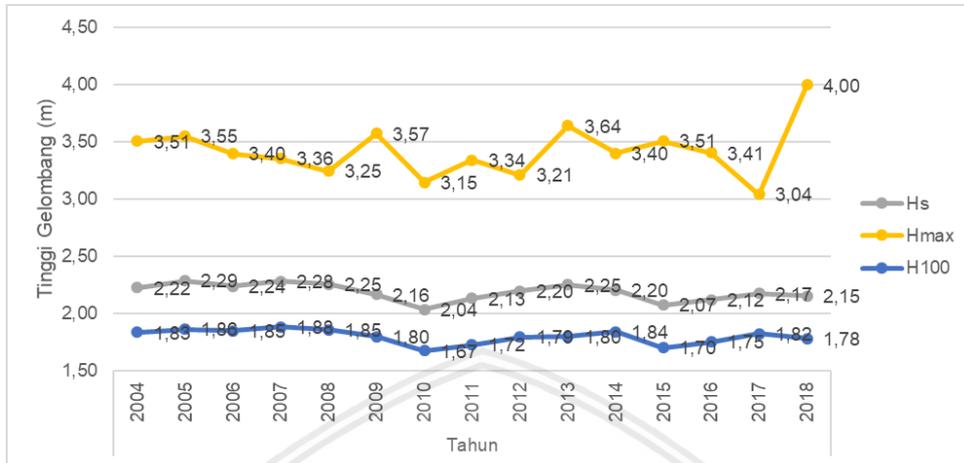
Gambar 16. Tinggi gelombang Pada Stasiun 46 tahun 2004-2018



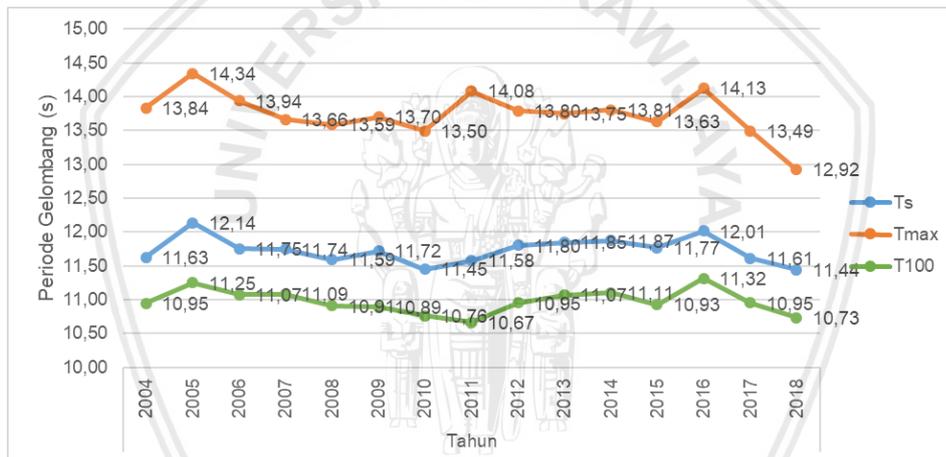
Gambar 17. Periode gelombang Pada Stasiun 46 tahun 2004-2018

Gambar 16 dan 17 menunjukkan hasil perhitungan tinggi dan periode gelombang pada stasiun 46. Stasiun 46 terletak pada Selat Bali bagian Selatan. Pada stasiun ini didapatkan nilai tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) tahun 2004-2018 yang cenderung stabil, tidak ada perbedaan yang besar yakni diantara nilai 2,06-2,3 meter dengan periode gelombang antara 11,4-12,18 detik. Tinggi gelombang rata-rata pada stasiun 46 berkisar antara 1,6-1,9 meter dengan periode rata rata berkisar 10,7-11,3 detik. Sedangkan tinggi gelombang maksimum pada stasiun 46 berada pada nilai 3,09-4,06 meter dengan periode gelombang 12-14 detik. Nilai

tinggi gelombang maksimum stasiun ini sama seperti stasiun 38 dan 41 yaitu terjadi pada tahun 2018 dengan nilai 4,03 meter dengan periodenya 12,94 detik



Gambar 18. Tinggi gelombang Pada Stasiun 47 tahun 2004-2018



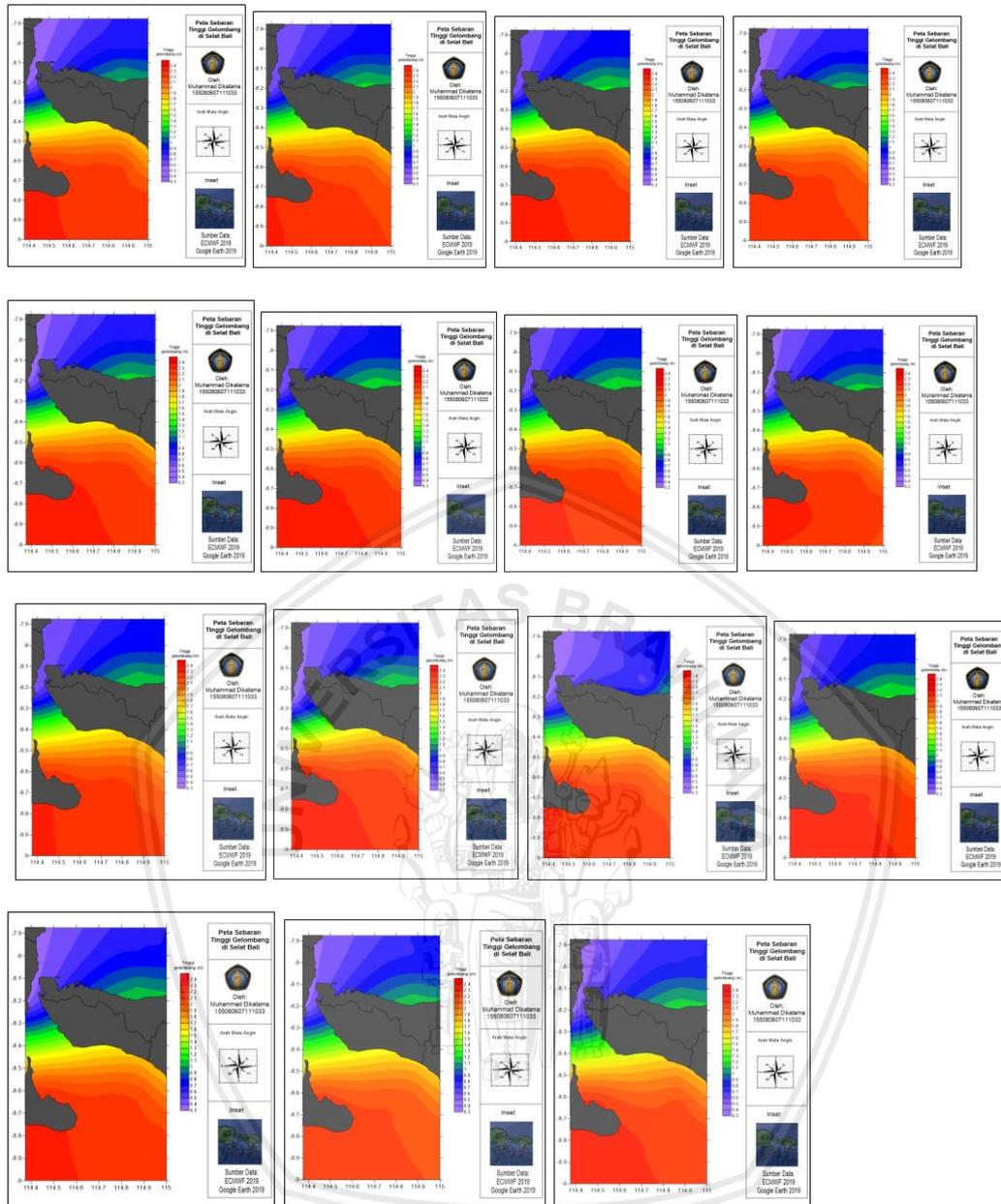
Gambar 19. Periode gelombang Pada Stasiun 47 tahun 2004-2018

Gambar 18 dan 19 menunjukkan hasil perhitungan tinggi dan periode gelombang pada stasiun 47. Stasiun 47 terletak pada Selat Bali bagian Selatan berdekatan dengan stasiun 46. Sama seperti stasiun 46 pada stasiun ini didapatkan nilai tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) tahun 2004-2018 yang cenderung stabil, tidak ada perbedaan yang besar yakni diantara nilai 2,04-2,2 meter dengan periode gelombang antara 11,44-12,14 detik. Tinggi gelombang rata-rata pada

stasiun 47 berkisar antara 1,7-1,8 meter dengan periode rata rata berkisar 10,6-11,3 detik. Sedangkan tinggi gelombang maksimum pada stasiun 47 berada pada nilai 3,04-4 meter dengan periode gelombang 12,92-14,34 detik. Nilai tinggi gelombang maksimum stasiun ini sama seperti stasiun 41 dan 46 yaitu terjadi pada tahun 2018 sebesar 4 meter dengan periodenya 12,92 detik.

Perhitungan gelombang representatif khususnya gelombang signifikan yang dilakukan dalam penelitian ini tidak hanya mencari nilai dari gelombang signifikan ( $H_s$ ) secara tahunan, tetapi juga nilai dari gelombang signifikan ( $H_s$ ) dicari berdasarkan perbulan dan permusim. Perhitungan bulanan dan musiman diperlukan untuk mengetahui ketinggian gelombang pada bulan dan musim tertentu selama periode pengukuran gelombang di suatu perairan.



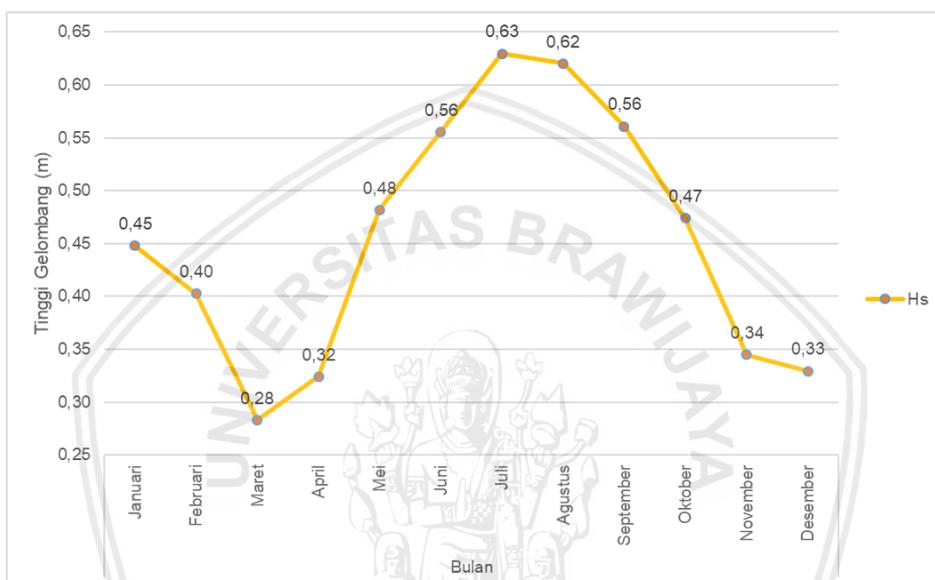


Gambar 20. Peta sebaran tinggi gelombang signifikan dari tahun 2004-2018

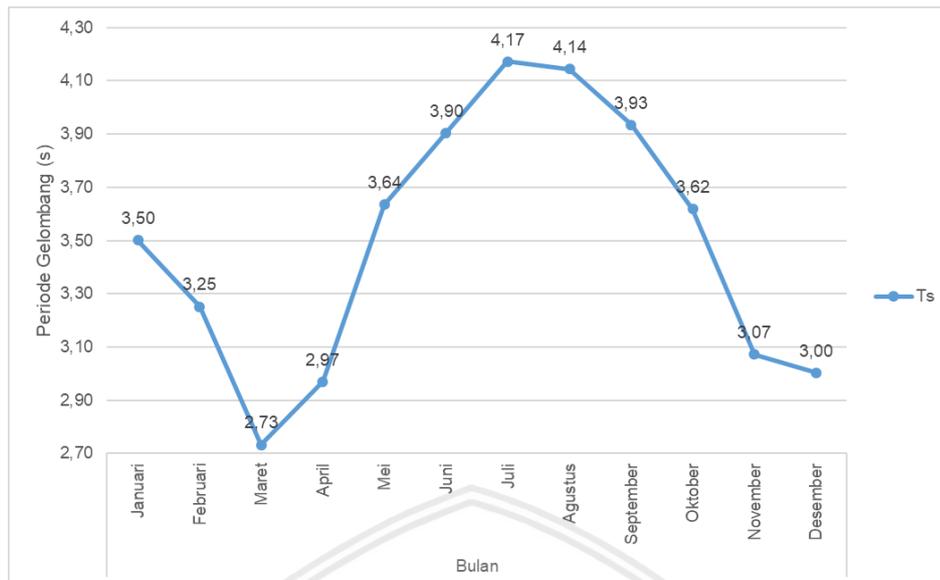
Gambar 20 peta sebaran tinggi gelombang signifikan tahun 2004-2018 yang lebih jelas dapat dilihat pada lampiran berupa peta sebaran dengan kertas berukuran A3

### 4.3.2 Gelombang Signifikan Rata-rata Bulanan Tahun 2004-2018

Perhitungan tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) dilakukan di 5 titik stasiun yang berbeda dalam kurun waktu 15 tahun (2004-2018). Data tinggi gelombang signifikan tersebut dipisahkan perbulan mulai bulan Januari hingga bulan Desember. Hasil perhitungan tersebut kemudian disajikan dalam bentuk grafik seperti pada gambar berikut.

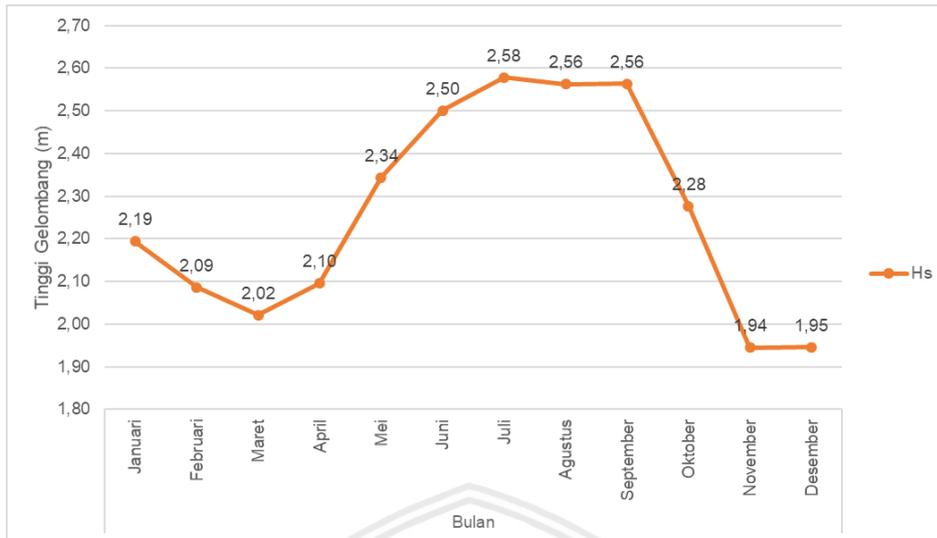


Gambar 21. Tinggi Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 19

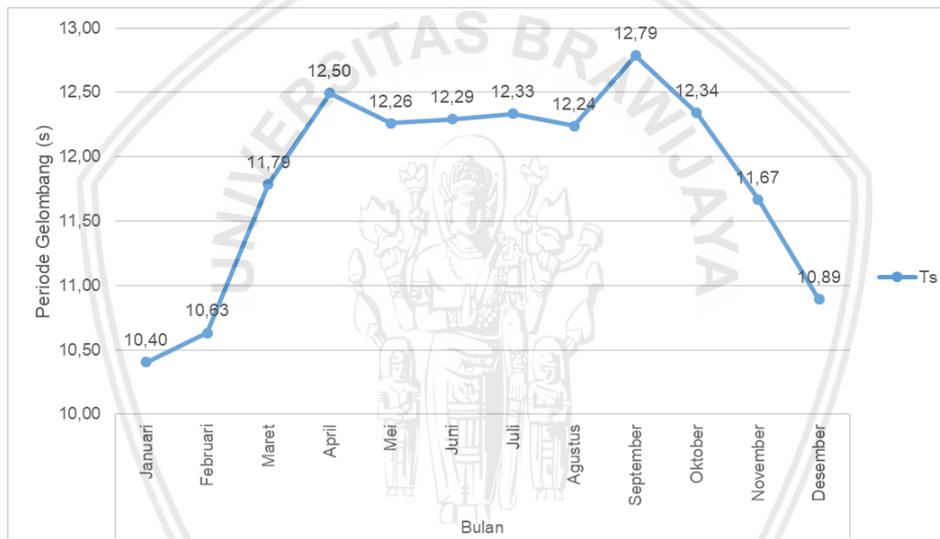


Gambar 22. Periode Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 19

Dua grafik pada Gambar 21 dan Gambar 22 menunjukkan hasil perhitungan tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang signifikan tahun 2004-2018 pada Perairan Selat Bali berdasarkan data bulanan di stasiun 19. Stasiun 19 terletak pada jalur pelayaran antara Pulau Jawa dan Bali. Pada stasiun ini tinggi gelombang signifikan tertinggi terjadi pada bulan Juli dan Agustus. Tinggi gelombang pada bulan tersebut mencapai 0,6 meter. Tinggi gelombang signifikan mengalami penurunan pada bulan september sampai dengan Desember 0,5-0,3 meter dengan periode signifikan 3-4 detik. Dibandingkan dengan Stasiun lainnya, stasiun 19 memiliki tinggi gelombang signifikan lebih rendah. Hal ini dikarenakan nilai *fetch* pada Selat Bali bagian Utara lebih rendah dibandingkan bagian Selatan karena bagian Utara dekat dengan Pulau-pulau.



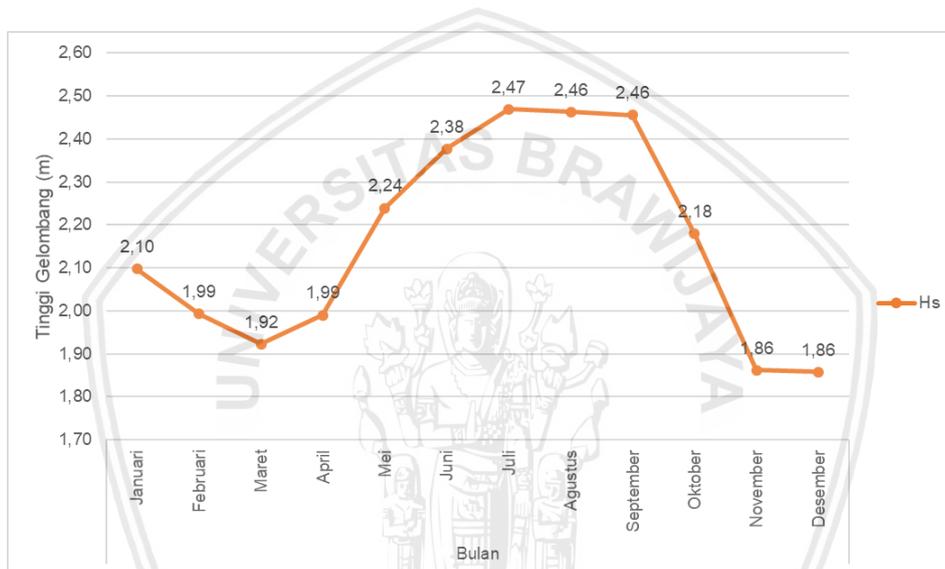
Gambar 23. Tinggi Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 38



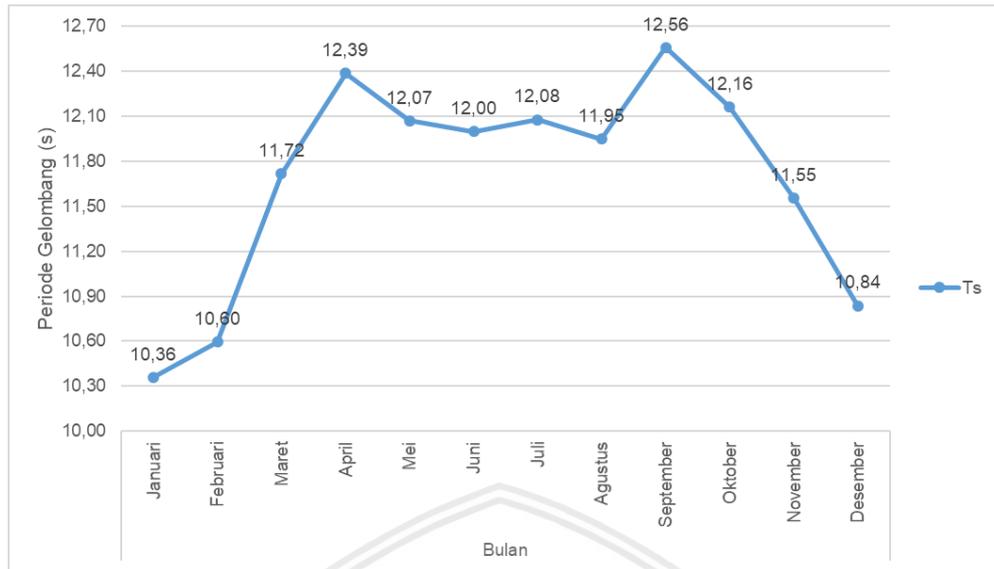
Gambar 24. Periode Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 38

Berdasarkan grafik diatas, didapatkan nilai rata-rata bulanan tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) di perairan Selat Bali pada Stasiun 38, stasiun 38 terletak pada bagian selatan Banyuwangi di daerah Tanjung Angguk yang merupakan salah satu zona potensi penangkapan ikan lemuru. Stasiun ini memiliki nilai tinggi signifikan perbulannya berkisar antara 1,9 – 2,5 meter dengan periode berkisar antara 10,4 – 12,7 detik. Nilai ketinggian gelombang rata-rata

bulanan paling tinggi terjadi pada bulan Juli hingga September dengan ketinggian mencapai 2,5 meter dan nilai rata-rata tinggi bulanan gelombang signifikan ( $H_s$ ) terendah terjadi pada bulan November hingga Desember dengan ketinggian 1,9 meter. Nilai periode gelombang signifikan ( $T_s$ ) bulanan paling tinggi terjadi pada bulan September dengan nilai 12,7 detik, sedangkan periode gelombang bulanan terendah terjadi pada bulan Januari dengan nilai periode gelombang 10,4 detik.

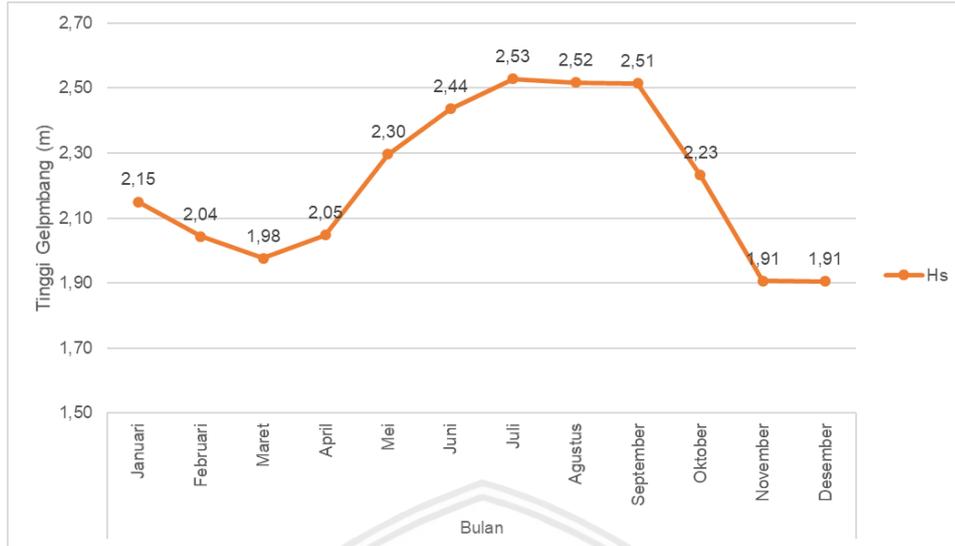


Gambar 25. Tinggi Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 41

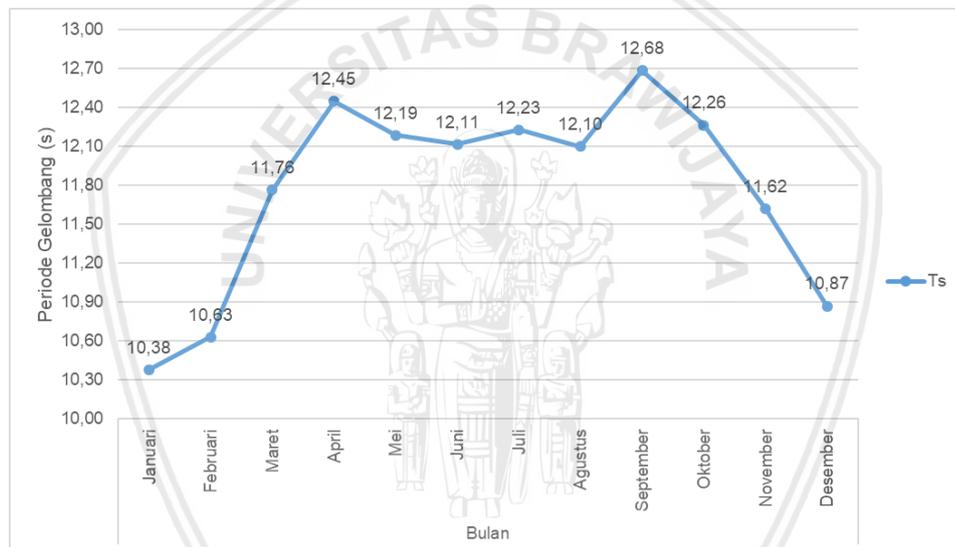


Gambar 26. Periode Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 41

Pada Gambar 25 Menunjukkan grafik tinggi gelombang signifikan pada stasiun 41 tahun 2004-2018 dengan periode bulanan. Stasiun 41 memiliki tinggi gelombang signifikan tertinggi pada bulan Juli hingga September dengan periode yang cukup lama. Tinggi gelombang pada bulan tersebut mencapai 2,4 meter. Bulan Juli menjadi bulan yang memiliki tinggi gelombang tertinggi jika dibandingkan dengan 11 bulan lainnya. Periode gelombang pada bulan tersebut terjadi selama 12,08 detik. Tinggi gelombang terendah terjadi pada bulan November dan Desember dengan tinggi mencapai 1,8 meter.



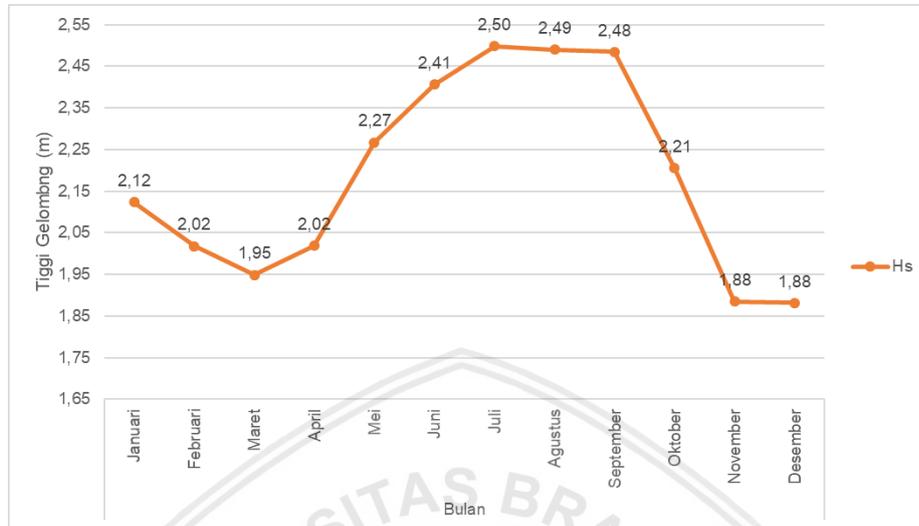
Gambar 27. Tinggi Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 46



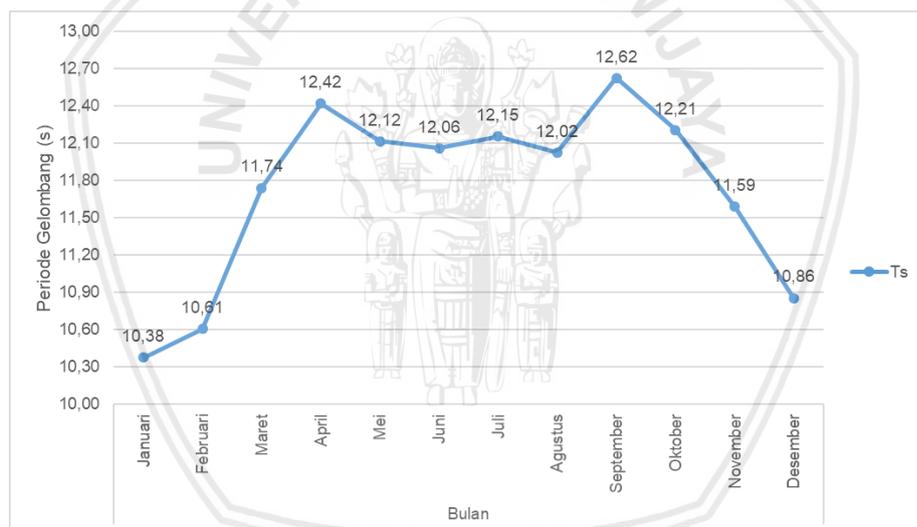
Gambar 28. Periode Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 46

Hasil perhitungan tinggi dan periode gelombang signifikan stasiun 46 ditunjukkan pada Gambar 27 dan Gambar 38. Pada stasiun 46, tinggi gelombang signifikan tertinggi terjadi pada bulan Juli hingga September dengan ketinggian mencapai 2,5 meter. Tinggi gelombang tertinggi pada stasiun ini sama dengan tinggi gelombang pada stasiun 38. Pada stasiun ini, tinggi gelombang tertinggi

terjadi pada bulan Juli dengan periode 12,23 detik. Stasiun 46 terletak di selatan Selat Bali.



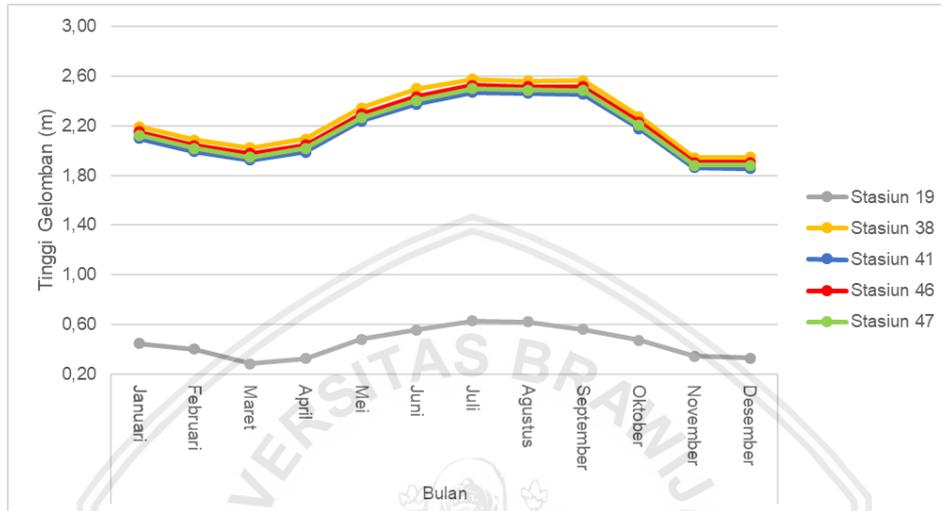
Gambar 29. Tinggi Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 47



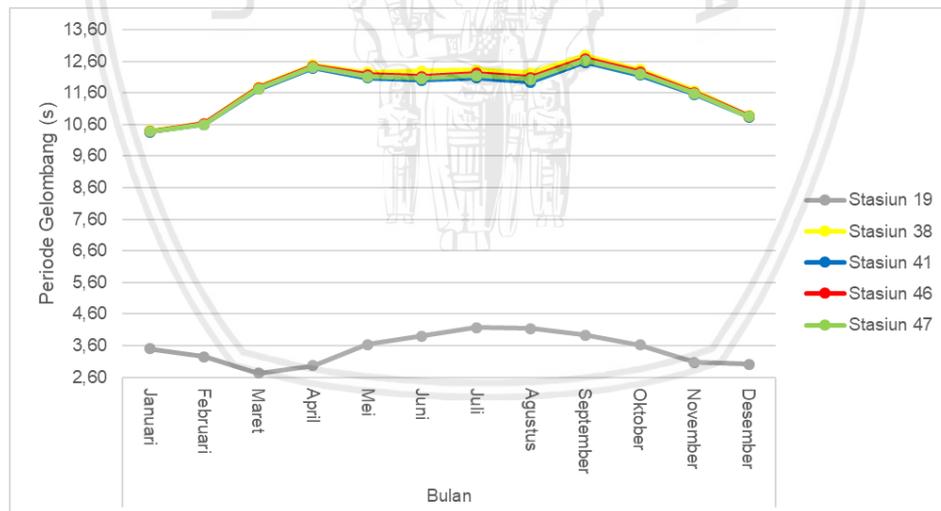
Gambar 30. Periode Gelombang Signifikan Bulanan Stasiun 47

Dua grafik pada Gambar 29 dan Gambar 30 menunjukkan hasil perhitungan tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang signifikan tahun 2004-2018 pada Perairan Selat Bali berdasarkan data bulanan di stasiun 47. Stasiun 47 terletak pada bagian Selatan perairan Selat Bali. Pada stasiun ini tinggi gelombang

signifikan tertinggi terjadi pada bulan Juli. Tinggi gelombang pada bulan tersebut mencapai 2,5 meter. Tinggi gelombang signifikan mengalami penurunan pada bulan oktober sampai dengan November 2,21-1,88 meter dengan periode signifikan 10-11 detik.



Gambar 31. Rata rata tinggi gelombang bulanan di lima stasiun



Gambar 32. Rata rata periode gelombang bulanan di lima stasiun

Tinggi gelombang signifikan rata-rata bulanan di tiap stasiun dapat dilihat pada Gambar 31 dan 32. Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa pada

stasiun 38, 41, dan 47 memiliki karakteristik tinggi gelombang signifikan yang sama, sementara stasiun 19 memiliki karakteristik gelombang yang berbeda dengan lainnya. Hal ini dapat dipengaruhi dari posisi stasiun 19 yang berada pada perairan Selat Bali bagian Utara sedangkan yang lainnya berada pada Selat Bali bagian Selatan. Tetapi dari kelima stasiun tersebut memiliki persamaan yaitu gelombang tertinggi berada pada bulan Juli sampai dengan bulan September dan akan menurun dari bulan Oktober hingga Desember.

#### 4.3.3 Gelombang Signifikan Musiman

Menurut Kurniawan *et al.* (2011) angin musiman yang terjadi di Indonesia terdiri dari dua musim, yaitu musim Barat dan musim Timur. Musim Barat terjadi pada bulan Desember hingga Februari, sedangkan musim Timur terjadi pada bulan Juni hingga Agustus. Diantara musim Barat dan musim Timur, terdapat musim peralihan yang terjadi pada bulan Maret hingga Mei dan bulan September hingga November. Tinggi dan periode gelombang memiliki nilai ketinggian yang berbeda-beda dari setiap musimnya. Tinggi dan periode rata-rata gelombang musiman di lokasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 7

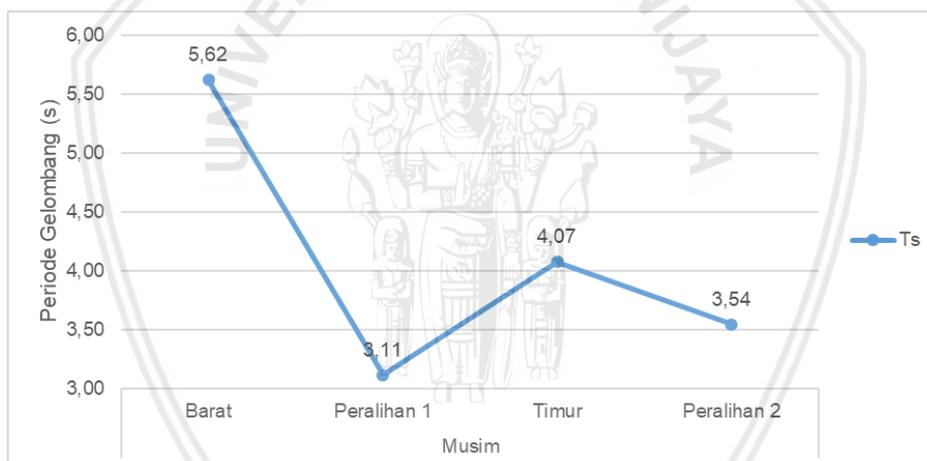
Tabel 7. Ketinggian dan periode gelombang musiman

Stasiun	Musim Barat		Musim Peralihan 1		Musim Timur		Musim Peralihan 2	
	H(m)	T(detik)	H(m)	T(detik)	H(m)	T(detik)	Hs(m)	T(detik)
19	0,39	5,62	0,36	3,11	0,6	4,07	0,46	3,54
38	2,08	10,64	2,15	12,18	2,55	12,29	2,26	12,27
41	1,98	10,6	2,05	12,6	2,44	12,1	2,17	12,09
46	2,03	10,63	2,11	12,13	2,49	12,15	2,22	12,19
47	2,01	16,61	2,08	12,09	2,46	12,08	2,19	12,14

Berdasarkan nilai ketinggian dan periode gelombang dari Tabel 9 maka dapat dilihat nilai rata-rata musiman dari periode dan ketinggian gelombang di Selat Bali didapatkan grafik seperti pada Gambar 35 dan Gambar 36.



Gambar 33. Grafik rata-rata musiman tinggi gelombang di Stasiun 19



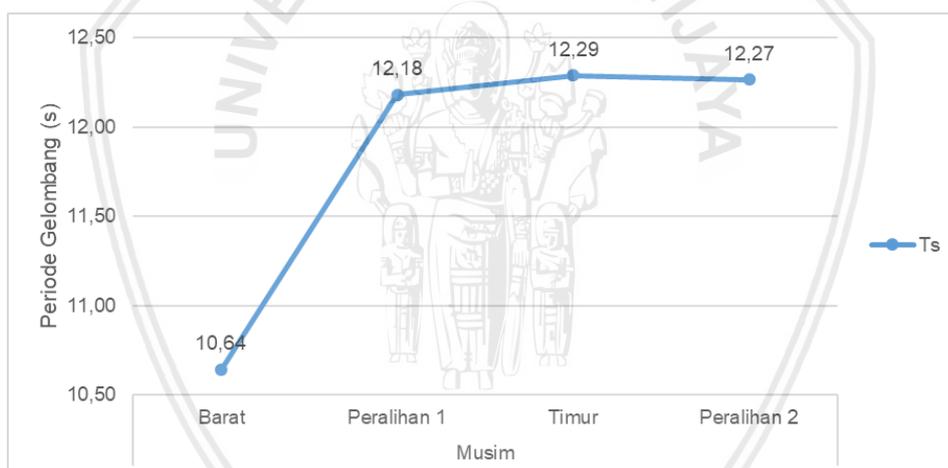
Gambar 34. Grafik rata-rata musiman periode gelombang di Stasiun 19

Berdasarkan grafik diatas, didapatkan rata-rata ketinggian gelombang berdasarkan musim di Stasiun 19 berkisar antara 0,36 – 0,6 meter dengan periode antara 3,1 – 5,6 detik. Ketinggian rata-rata gelombang musiman paling tinggi terjadi pada musim Timur dengan ketinggian mencapai 0,6 meter dan nilai terendah terjadi pada musim Peralihan I dengan ketinggian 0,36 meter. Periode

dari rata-rata musiman gelombang yang terjadi di Selat Bali memiliki nilai tertinggi pada musim Barat dengan nilai 5,62 detik dan nilai terendah terjadi pada musim Peralihan 1 dengan nilai 3,11 detik.



Gambar 35. Grafik rata-rata musiman tinggi gelombang di Stasiun 38



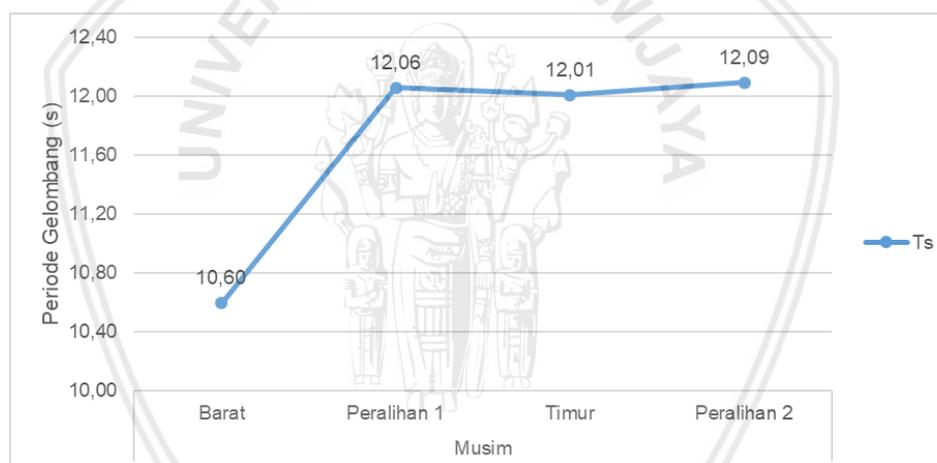
Gambar 36. Grafik rata-rata musiman periode gelombang di Stasiun 38

Berdasarkan grafik diatas, didapatkan nilai rata-rata ketinggian dan periode gelombang musiman di Stasiun 38 dengan ketinggian berkisar antara 2,08 – 2,55 meter dan rata-rata periode gelombang berkisar antara 10,64 – 12,2 detik. Ketinggian rata-rata gelombang musiman paling tinggi terjadi pada musim Timur dengan ketinggian mencapai 2,55 meter dan ketinggian minimum terjadi pada

musim Barat dengan ketinggian 2,08 meter. Nilai periode rata-rata musiman memiliki nilai tertinggi pada musim Timur dengan nilai 12,29 detik dan periode minimum terjadi pada musim Barat dengan nilai 10,64 detik.



Gambar 37. Grafik rata-rata musiman tinggi gelombang di Stasiun 41



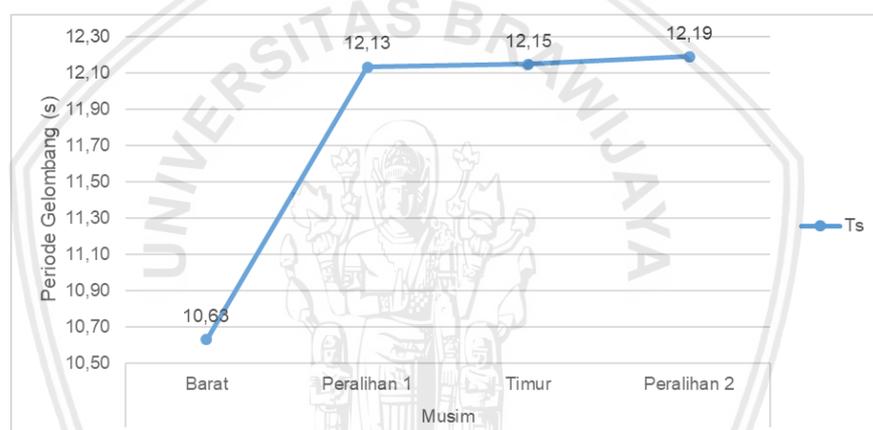
Gambar 38. Grafik rata-rata musiman periode gelombang di Stasiun 41

Karakteristik gelombang musiman pada stasiun 41 dijelaskan pada Gambar 37 dan Gambar 38. Berdasarkan grafik tinggi dan periode signifikan gelombang, rata-rata tinggi gelombang tertinggi terjadi pada musim timur, yaitu pada bulan Juni-Agustus. Rata-rata tinggi gelombang pada musim timur mencapai 2,44 meter dengan periode 12,01 detik. Rata-rata tinggi gelombang signifikan terendah terjadi

pada musim barat dengan rata-rata tinggi mencapai 1,98 meter dengan periode 10,6 detik.



Gambar 39. Grafik rata-rata musiman tinggi gelombang di Stasiun 46

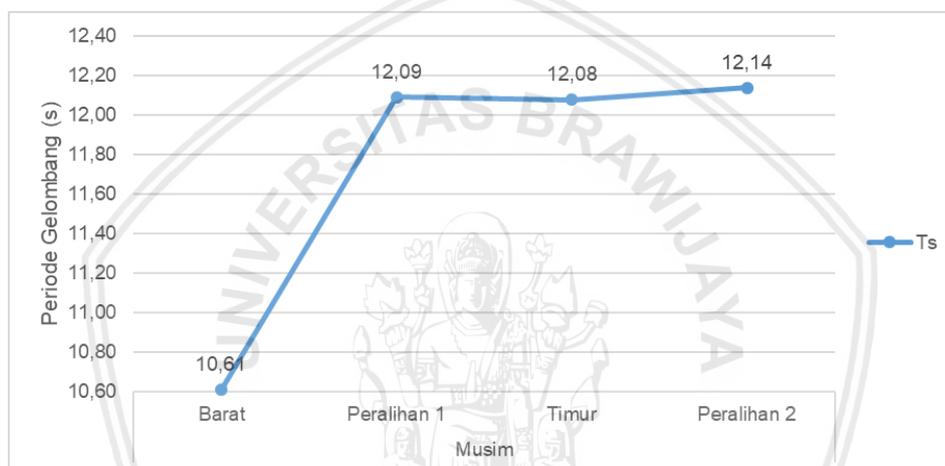


Gambar 40. Grafik rata-rata musiman periode gelombang di Stasiun 46

Karakteristik gelombang musiman pada stasiun 46 dijelaskan pada gambar 39 dan gambar 40. Berdasarkan grafik tinggi dan periode signifikan gelombang, rata-rata tinggi gelombang tertinggi terjadi pada musim timur, yaitu pada bulan Juni-Agustus. Rata-rata tinggi gelombang pada musim timur mencapai 2,49 meter dengan periode 12,15 detik. Rata-rata tinggi gelombang signifikan terendah terjadi pada musim barat dengan rata-rata tinggi mencapai 2,03 meter dengan periode 10,63 detik.

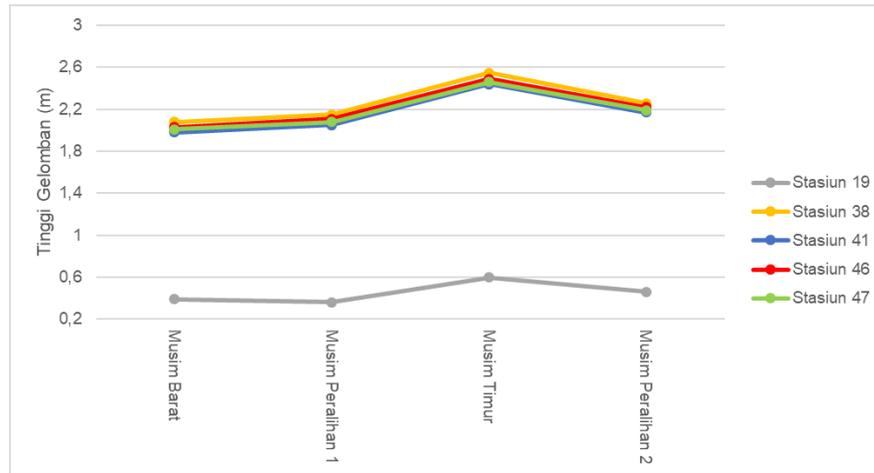


Gambar 41. Grafik rata-rata musiman tinggi gelombang di Stasiun 47



Gambar 42. Grafik rata-rata musiman periode gelombang di Stasiun 47

Pada Gambar 41 dan Gambar 42 dapat diketahui tinggi gelombang musiman tertinggi pada stasiun 47 terjadi pada musim timur. Musim timur pada stasiun 33 memiliki ketinggian 2,46 meter dengan periode sebesar 12,08 detik. Rata-rata tinggi gelombang terendah terjadi pada musim barat dengan ketinggian mencapai 2,01 meter dengan periode sebesar 10,61. Tinggi signifikan gelombang pada stasiun ini berkisar 2,01-2,46. Periode signifikan gelombang pada stasiun 47 berkisar antara 10,6-12,14 detik.

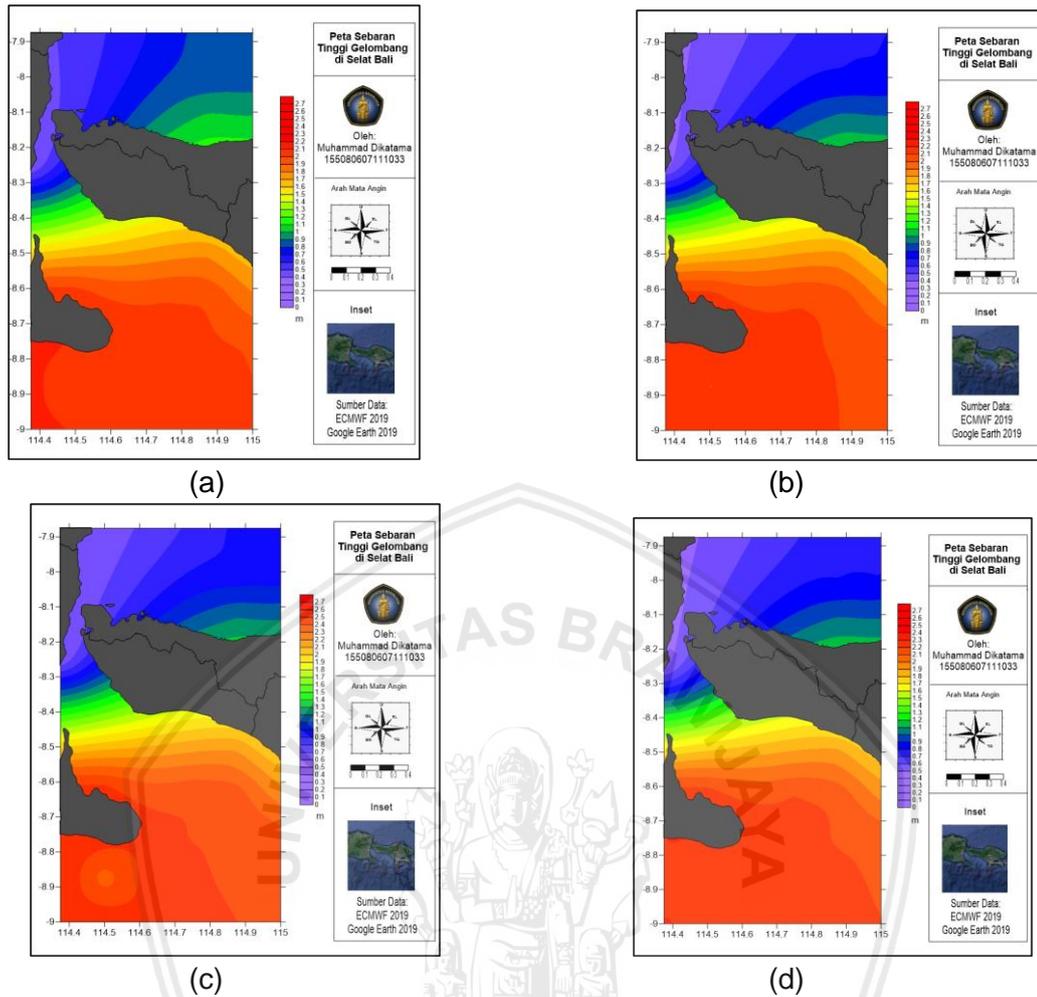


Gambar 43. Grafik tinggi gelombang musiman



Gambar 44. Grafik periode gelombang musiman

Berdasarkan perhitungan rata-rata tinggi gelombang signifikan tahun 2004-2018 pada lima stasiun dapat diketahui pada Perairan Selat Bali ketinggian gelombang signifikan tertinggi terjadi pada musim timur dengan kisaran tinggi 0,6-2,55 meter. Rata-rata tinggi signifikan gelombang terendah terjadi pada musim barat dengan kisaran tinggi 0,39-2,08 meter. Tinggi gelombang musiman terendah terjadi pada stasiun 19 dengan tinggi mencapai 0,3-0,6 meter dan tertinggi pada stasiun 38 mencapai 2,08-2,55 meter.



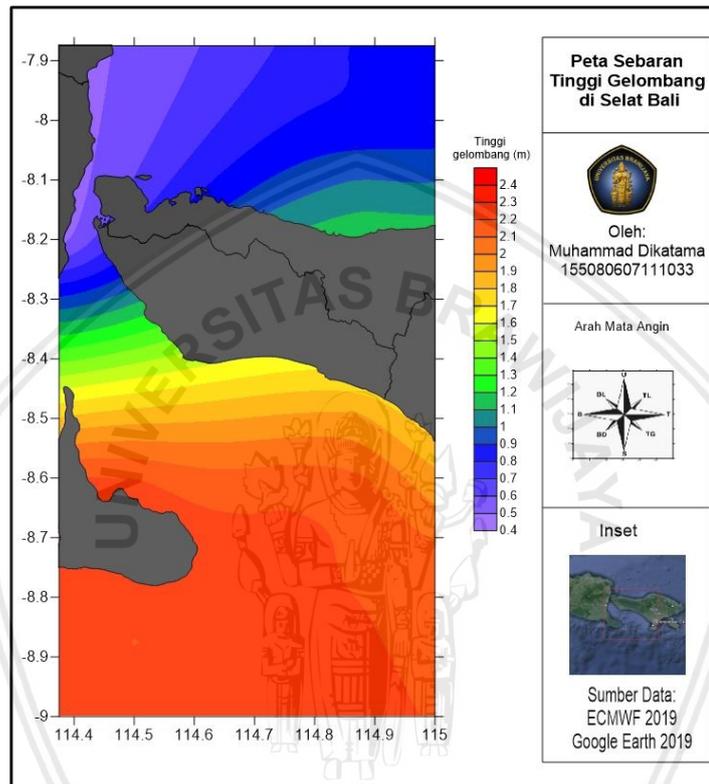
Gambar 45. Peta Sebaran Tinggi Gelombang Perairan Selat Bali (a) musim barat, (b) peralihan1, (c) musim timur, dan (d) peralihan 2 tahun 2004-2018

Tinggi gelombang musiman pada Perairan Selat Bali tidak terdapat perbedaan warna yang signifikan pada peta tersebut. Sebaran warna merah pekat tertinggi terdapat pada musim timur. Warna merah pekat tersebar pada sisi perairan bagian Barat Daya perairan Selat Bali, dan perubahan warna semakin terang saat memasuki perairan bagian Utara. Peta tersebut merupakan hasil interpolasi data tinggi gelombang signifikan, sehingga tinggi gelombang yang mendekati utara perairan Selat Bali memiliki sebaran warna yang terang, yaitu

warna kuning menuju biru muda dengan kisaran tinggi gelombang yang lebih rendah.

#### 4.3.4 Peta Sebaran Tinggi Gelombang Signifikan Tahun 2004-2018

Berikut ini merupakan peta sebaran tinggi gelombang tahun 2004-2018 pada Selat Bali



Gambar 46. Sebaran tinggi gelombang signifikan 15 tahun (2004-2018)

Nilai tertinggi yang terdapat pada perairan Selat Bali bagian Barat Daya hingga Utara. Tinggi gelombang signifikan ditunjukkan dengan warna merah pekat yang bernilai hingga 2,3 meter. Tinggi gelombang berubah saat memasuki arah Utara ditunjukkan dengan perubahan warna yang semakin terang yaitu warna kuning menuju biru muda. Peta tersebut merupakan hasil interpolasi dari data tinggi gelombang signifikan selama 15 tahun.

#### 4.4 Prediksi Gelombang Periode Ulang menggunakan Metode *Weibull*

Prediksi gelombang periode ulang diperlukan untuk mengetahui ketinggian gelombang pada waktu tertentu. Dalam penelitian ini, perhitungan ketinggian gelombang periode ulang dilakukan dengan menggunakan data ketinggian gelombang maksimum ( $H_{max}$ ) selama 15 tahun terakhir dimulai dari tahun 2004 sampai tahun 2018. Ketinggian gelombang maksimum ( $H_{max}$ ) digunakan dalam penelitian ini karena data ketinggian gelombang maksimum memberikan informasi mengenai gelombang tertinggi yang akan terjadi pada periode waktu tertentu. Data tinggi gelombang maksimum ( $H_{max}$ ) selanjutnya digunakan untuk perhitungan periode ulang gelombang untuk gelombang rencana 100 tahun (2004-2018), dan digunakan periode ulang 10, 15, 20, 25, 50, 75, dan 100 tahun. Ketinggian gelombang maksimum ( $H_{max}$ ) selama 15 tahun terakhir dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Tinggi gelombang maksimum setiap tahun (2004-2018)

No	Tahun	Tinggi Gelombang Maksimum (m)				
		Stasiun 19	Stasiun 38	Stasiun 41	Stasiun 46	Stasiun 47
1	2004	1,28	3,63	3,45	3,55	3,50
2	2005	1,13	3,64	3,51	3,58	3,55
3	2006	1,54	3,53	3,35	3,45	3,39
4	2007	1,64	3,40	3,34	3,36	3,35
5	2008	1,51	3,37	3,20	3,29	3,24
6	2009	1,21	3,70	3,52	3,62	3,57
7	2010	1,35	3,25	3,10	3,18	3,14
8	2011	1,07	3,47	3,29	3,39	3,34
9	2012	1,46	3,25	3,19	3,22	3,21
10	2013	3,39	3,74	3,60	3,68	3,64
11	2014	1,40	3,50	3,36	3,44	3,40
12	2015	1,00	3,64	3,45	3,56	3,50
13	2016	1,04	3,51	3,36	3,44	3,40
14	2017	1,09	3,16	3,01	3,08	3,04

No	Tahun	Tinggi Gelombang Maksimum (m)				
		Stasiun 19	Stasiun 38	Stasiun 41	Stasiun 46	Stasiun 47
15	2018	1,05	4,17	3,93	4,06	3,99
<b>Rata-rata</b>		1,41	3,53	3,38	3,46	3,42

Pengolahan data ketinggian gelombang periode ulang dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode *Weibull*. Pengolahan data dengan menggunakan metode *Weibull* dilakukan dengan mengurutkan data ketinggian gelombang maksimum selama 15 tahun terakhir (2004-2018) dari data tertinggi hingga data terendah, lalu dihitung data probabilitas gelombangnya. Perhitungan periode ulang metode *Weibull* dalam penelitian ini dilakukan dengan merujuk pada buku Teknik Pantai (Triatmodjo, 1999). Perhitungan periode ulang pada penelitian ini dilakukan pada lima titik berbeda di sekitar Selat Bali.

Perhitungan periode ulang metode *Weibull* di perairan Selat Bali pada stasiun 19 didapatkan hasil seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Perhitungan probabilitas gelombang periode ulang Stasiun 19

No. Urut m	Hsm	P	Ym	Hsm.Ym	Y <sup>2</sup> m	(Hsm - $\hat{Hsm}$ ) <sup>2</sup>	$\hat{Hsm}$	Hsm - $\hat{Hsm}$
1	3,39	0,97	5,64	19,15	31,86	3,91	2,81	0,57
2	1,64	0,90	3,76	6,17	14,15	0,05	2,16	-0,52
3	1,54	0,84	2,92	4,51	8,55	0,01	1,86	-0,32
4	1,51	0,77	2,38	3,60	5,66	0,01	1,67	-0,16
5	1,46	0,71	1,97	2,88	3,90	0,00	1,53	-0,07
6	1,40	0,64	1,65	2,32	2,73	0,00	1,42	-0,01
7	1,35	0,58	1,38	1,87	1,91	0,00	1,33	0,02
8	1,28	0,51	1,15	1,48	1,33	0,01	1,25	0,03
9	1,21	0,45	0,95	1,16	0,91	0,03	1,18	0,03
10	1,13	0,38	0,77	0,88	0,60	0,07	1,12	0,01
11	1,09	0,32	0,61	0,67	0,38	0,10	1,06	0,02
12	1,07	0,25	0,47	0,50	0,22	0,11	1,01	0,06
13	1,05	0,19	0,34	0,35	0,11	0,13	0,96	0,08



No. Urut m	Hsm	P	Ym	Hsm.Ym	Y <sup>2</sup> m	(Hsm - $\hat{Hsm}$ ) <sup>2</sup>	$\hat{Hsm}$	Hsm - $\hat{Hsm}$
14	1,04	0,12	0,21	0,22	0,04	0,13	0,92	0,11
15	1,01	0,06	0,10	0,10	0,01	0,16	0,88	0,12
Jumlah	21,23	7,76	24,37	45,95	72,43	4,79		

Hasil perhitungan probabilitas tinggi gelombang periode ulang dengan metode *Weibull* menunjukkan tinggi probabilitas gelombang periode ulang tidak selalu lebih tinggi daripada gelombang maksimum awal, kolom 9 pada Tabel 9 merupakan nilai dari selisih antara tinggi gelombang maksimum dengan probabilitas tinggi gelombang periode ulang. Nilai negatif pada kolom 9 menunjukkan bahwa probabilitas tinggi gelombang lebih tinggi dibandingkan nilai gelombang maksimum awal, sedangkan nilai positif menunjukkan bahwa nilai dari gelombang maksimum lebih tinggi dibandingkan nilai probabilitas tinggi gelombang periode ulang. Langkah berikutnya adalah perhitungan tinggi gelombang maksimum dengan periode ulang 100 tahunan, hasil perhitungan ketinggian gelombang periode ulang di Stasiun 19 dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Ketinggian gelombang periode ulang 100 tahunan di Selat Bali

Periode ulang (tahun)	Yr(tahun)	Hsr(m)	O <sub>nr</sub>	O <sub>r</sub>	Hs-1.28O <sub>r</sub>	Hs+1.28O <sub>r</sub>
10	3,65	2,12	1,45	0,85	1,03	3,21
15	4,29	2,34	1,70	0,99	1,07	3,62
20	4,75	2,50	1,88	1,10	1,09	3,91
25	5,10	2,63	2,02	1,18	1,11	4,14
50	6,21	3,01	2,45	1,43	1,18	4,85
75	6,85	3,24	2,70	1,58	1,21	5,26
100	7,31	3,39	2,88	1,68	1,24	5,55

Hasil perhitungan tinggi gelombang periode ulang dengan menggunakan metode *Weibull* berdasarkan Tabel 10 diatas menunjukkan bahwa ketinggian gelombang akan semakin meningkat berdasarkan pertambahan tahun. Ketinggian gelombang pada periode ulang 10 tahun didapatkan nilai 2,12 meter, pada periode ulang 15 tahun didapatkan nilai ketinggian 2,3 meter, pada periode ulang 20 tahun didapatkan nilai ketinggian 2,5 meter, pada periode ulang 25 tahun didapatkan nilai ketinggian 2,6 meter, pada periode ulang 50 tahun didapatkan nilai ketinggian 3,02 meter, pada periode ulang 75 tahun didapatkan nilai ketinggian 3,2 meter, dan ketinggian gelombang pada periode ulang 100 tahun didapatkan nilai sebesar 3,4 meter. Perhitungan periode ulang metode *Weibull* di Stasiun 38 didapatkan hasil seperti pada Tabel 11

Tabel 11. Ketinggian gelombang periode ulang 100 tahunan di Stasiun 38

Periode ulang (tahun)	Yr(tahun)	Hsr(m)	O <sub>nr</sub>	O <sub>r</sub>	Hs-1.28O <sub>r</sub>	Hs+1.28O <sub>r</sub>
10	3,65	3,47	1,46	0,36	3,00	3,93
15	4,30	3,56	1,71	0,42	3,02	4,11
20	4,76	3,63	1,88	0,47	3,03	4,23
25	5,11	3,69	2,02	0,50	3,04	4,33
50	6,21	3,85	2,45	0,61	3,07	4,63
75	6,85	3,95	2,70	0,67	3,09	4,81
100	7,31	4,02	2,88	0,72	3,10	4,94

Hasil perhitungan tinggi gelombang periode ulang dengan menggunakan metode *Weibull* berdasarkan Tabel 11 diatas menunjukkan bahwa ketinggian gelombang akan semakin meningkat berdasarkan pertambahan tahun. Ketinggian gelombang pada periode ulang 10 tahun didapatkan nilai 3,47 meter, pada periode ulang 15 tahun didapatkan nilai ketinggian 3,56 meter, pada periode ulang 20

tahun didapatkan nilai ketinggian 3,63 meter, pada periode ulang 25 tahun didapatkan nilai ketinggian 3,69 meter, pada periode ulang 50 tahun didapatkan nilai ketinggian 3,85 meter, pada periode ulang 75 tahun didapatkan nilai ketinggian 3,95 meter, dan ketinggian gelombang pada periode ulang 100 tahun didapatkan nilai sebesar 4,02 meter.

Tabel 12. Ketinggian gelombang periode ulang 100 tahunan di Stasiun 41

Periode ulang (tahun)	Yr(tahun)	Hsr(m)	O <sub>nr</sub>	O <sub>r</sub>	Hs-1.28O <sub>r</sub>	Hs+1.28O <sub>r</sub>
10	3,65	3,66	1,46	0,32	3,25	4,08
15	4,30	3,75	1,71	0,38	3,27	4,24
20	4,76	3,82	1,88	0,42	3,28	4,35
25	5,11	3,86	2,02	0,45	3,29	4,44
50	6,21	4,02	2,45	0,54	3,32	4,71
75	6,85	4,11	2,70	0,60	3,34	4,87
100	7,31	4,17	2,88	0,64	3,35	4,99

Hasil perhitungan tinggi gelombang periode ulang dengan menggunakan metode *Weibull* berdasarkan Tabel 12 diatas menunjukkan bahwa ketinggian gelombang akan semakin meningkat berdasarkan pertambahan tahun. Ketinggian gelombang pada periode ulang 10 tahun didapatkan nilai 3,66 meter, pada periode ulang 15 tahun didapatkan nilai ketinggian 3,75 meter, pada periode ulang 20 tahun didapatkan nilai ketinggian 3,82 meter, pada periode ulang 25 tahun didapatkan nilai ketinggian 3,86 meter, pada periode ulang 50 tahun didapatkan nilai ketinggian 4,02 meter, pada periode ulang 75 tahun didapatkan nilai ketinggian 4,11 meter, dan ketinggian gelombang pada periode ulang 100 tahun didapatkan nilai sebesar 4,17 meter.

Tabel 13. Ketinggian gelombang periode ulang 100 tahunan di Stasiun 46

Periode ulang (tahun)	Yr(tahun)	Hsr(m)	O <sub>nr</sub>	O <sub>r</sub>	Hs-1.28O <sub>r</sub>	Hs+1.28O <sub>r</sub>
10	3,65	3,76	1,46	0,34	3,32	4,21
15	4,30	3,86	1,71	0,40	3,34	4,38
20	4,76	3,93	1,88	0,45	3,36	4,50
25	5,11	3,98	2,02	0,48	3,37	4,59
50	6,21	4,14	2,45	0,58	3,40	4,88
75	6,85	4,24	2,70	0,64	3,42	5,06
100	7,31	4,31	2,88	0,68	3,43	5,18

Hasil perhitungan tinggi gelombang periode ulang dengan menggunakan metode *Weibull* berdasarkan Tabel 13 diatas menunjukkan bahwa ketinggian gelombang akan semakin meningkat berdasarkan penambahan tahun. Ketinggian gelombang pada periode ulang 10 tahun didapatkan nilai 3,76 meter, pada periode ulang 15 tahun didapatkan nilai ketinggian 3,86 meter, pada periode ulang 20 tahun didapatkan nilai ketinggian 3,93 meter, pada periode ulang 25 tahun didapatkan nilai ketinggian 3,98 meter, pada periode ulang 50 tahun didapatkan nilai ketinggian 4,14 meter, pada periode ulang 75 tahun didapatkan nilai ketinggian 4,24 meter, dan ketinggian gelombang pada periode ulang 100 tahun didapatkan nilai sebesar 4,31 meter.

Tabel 14. Ketinggian gelombang periode ulang 100 tahunan di Stasiun 47

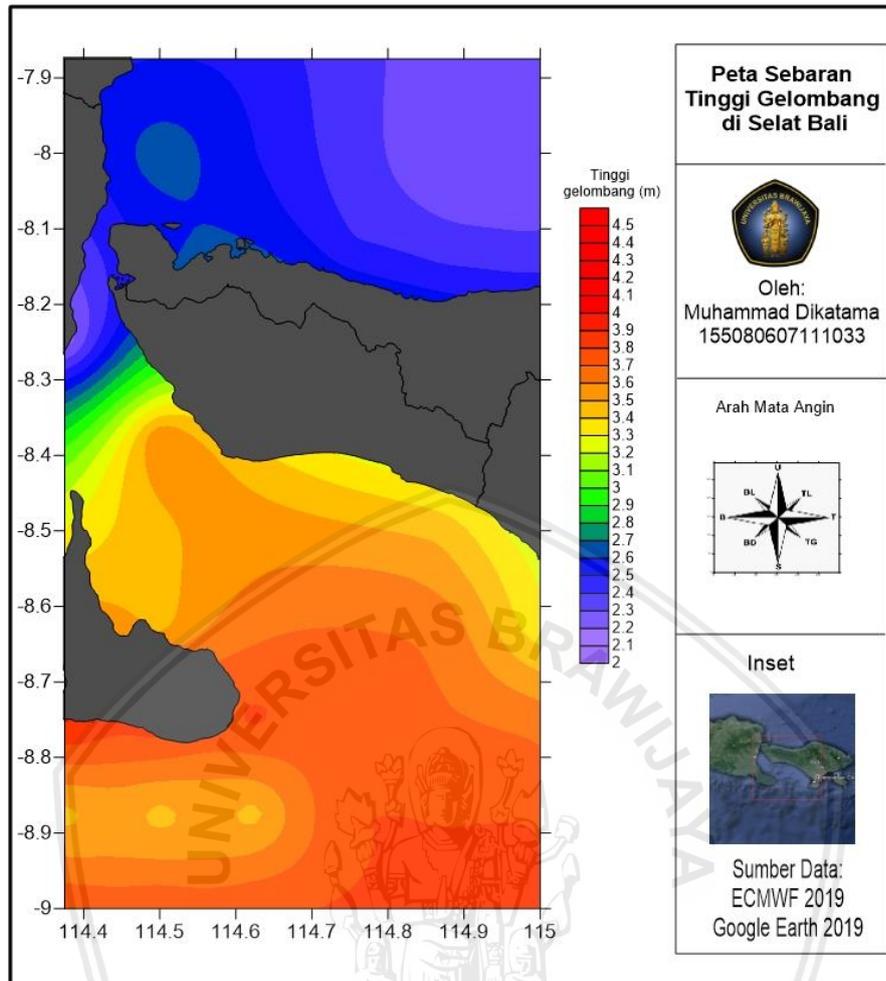
Periode ulang (tahun)	Yr(tahun)	Hsr(m)	O <sub>nr</sub>	O <sub>r</sub>	Hs-1.28O <sub>r</sub>	Hs+1.28O <sub>r</sub>
10	3,65	3,71	1,45	0,34	3,28	4,14
15	4,29	3,81	1,70	0,39	3,30	4,31
20	4,75	3,87	1,88	0,43	3,32	4,43
25	5,10	3,92	2,02	0,47	3,33	4,52

Periode ulang (tahun)	Yr(tahun)	Hsr(m)	O <sub>nr</sub>	O <sub>r</sub>	Hs-1.28O <sub>r</sub>	Hs+1.28O <sub>r</sub>
50	6,20	4,08	2,45	0,56	3,36	4,80
75	6,85	4,17	2,70	0,62	3,38	4,97
100	7,30	4,24	2,88	0,66	3,39	5,09

Hasil perhitungan tinggi gelombang periode ulang dengan menggunakan metode *Weibull* berdasarkan Tabel 14 diatas menunjukkan bahwa ketinggian gelombang akan semakin meningkat berdasarkan pertambahan tahun. Ketinggian gelombang pada periode ulang 10 tahun didapatkan nilai 3,71 meter, pada periode ulang 15 tahun didapatkan nilai ketinggian 3,81 meter, pada periode ulang 20 tahun didapatkan nilai ketinggian 3,87 meter, pada periode ulang 25 tahun didapatkan nilai ketinggian 3,92 meter, pada periode ulang 50 tahun didapatkan nilai ketinggian 4,08 meter, pada periode ulang 75 tahun didapatkan nilai ketinggian 4,17 meter, dan ketinggian gelombang pada periode ulang 100 tahun didapatkan nilai sebesar 4,24 meter

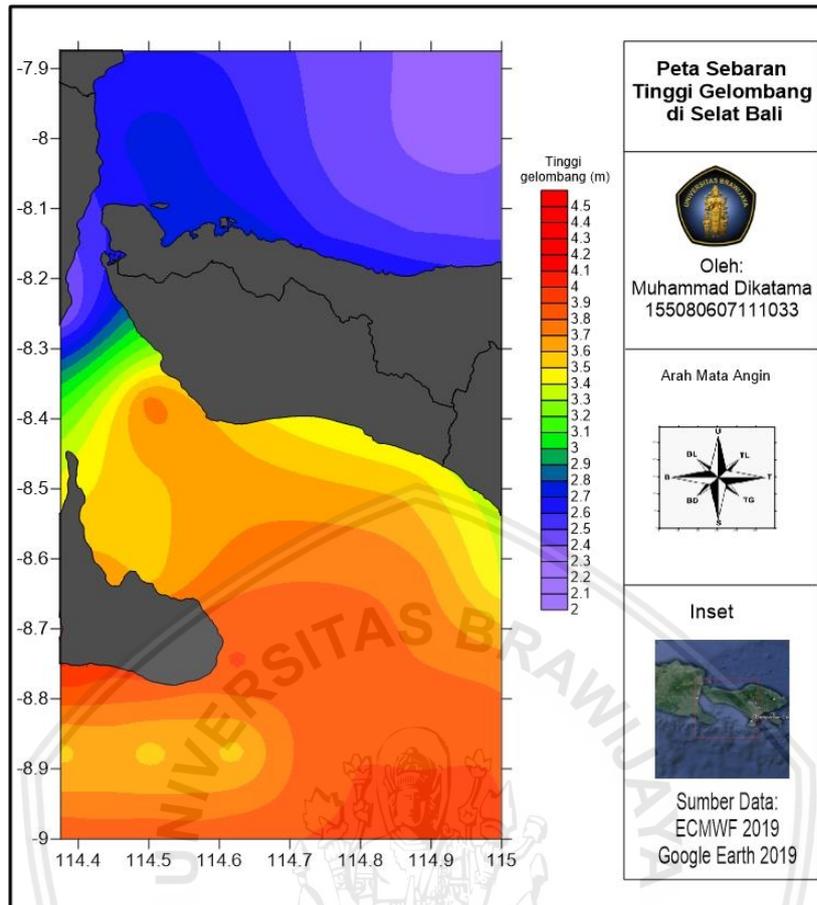
#### 4.4.1 Sebaran Prediksi Tinggi Gelombang Periode Ulang

Hasil perhitungan dari prediksi tinggi gelombang periode ulang, disajikan dalam bentuk peta untuk mengetahui perbandingan tinggi gelombang periode ulang 10 tahun, 15 tahun, 25 tahun, 50 tahun, 75 tahun, dan 100 tahun



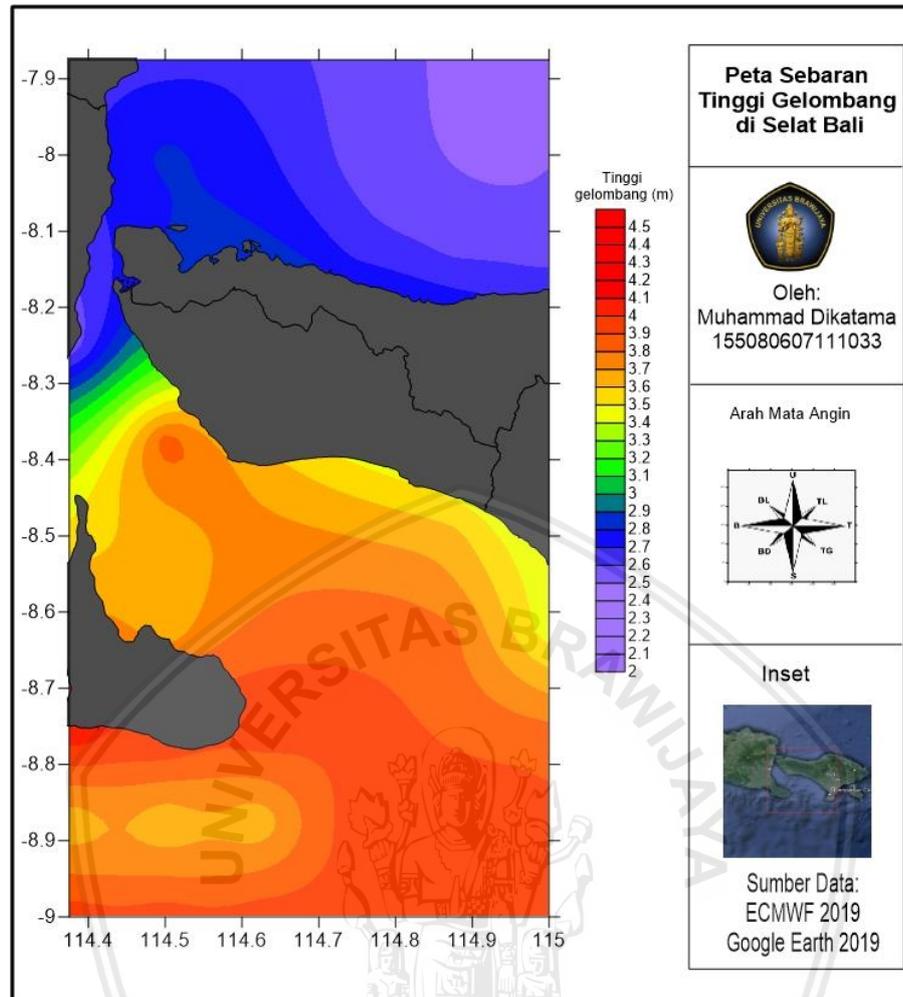
Gambar 47. Sebaran ketinggian gelombang periode ulang 10 tahunan

Pada Gambar 47 menunjukkan nilai tinggi maksimum hasil pengolahan metode *Weibull* periode ulang 10 tahun. Berdasarkan peta tersebut, tinggi gelombang berkisar antara 2 – 4 meter. Tinggi gelombang mengalami penurunan semakin ke arah Utara. Nilai  $H_{max}$  pada periode 10 tahunan akan mengalami peningkatan dengan ketinggian maksimum mencapai 4 meter.



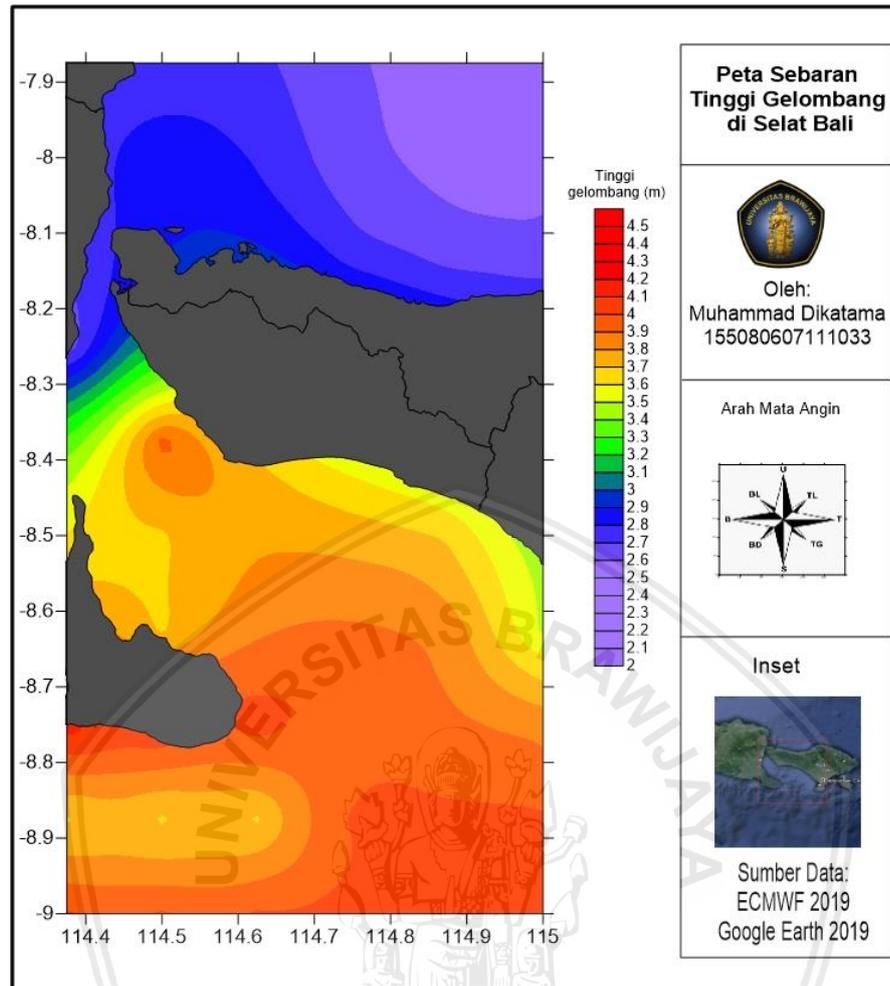
Gambar 48. Sebaran ketinggian gelombang periode ulang 15 tahunan

Pada Gambar 48 menunjukkan nilai tinggi maksimum hasil pengolahan metode *Weibull* periode ulang 15 tahun. Berdasarkan peta tersebut, tinggi gelombang berkisar antara 2,3 – 4,02 meter. Pada periode ulang 15 tahun, semakin ke arah Utara tinggi gelombang mengalami penurunan. Nilai  $H_{max}$  tertinggi berada pada periode ulang 15 tahun ini mencapai 4,02 meter. Sebaran tinggi gelombang pada periode ini mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan periode 10 tahun.



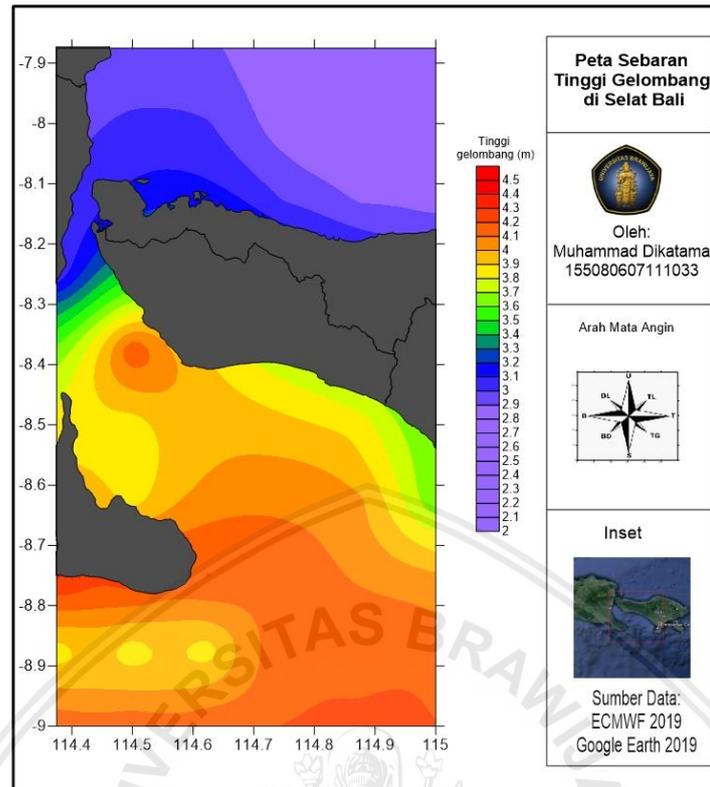
Gambar 49. Sebaran ketinggian gelombang periode ulang 20 tahunan

Pada Gambar 49 menunjukkan nilai tinggi maksimum hasil pengolahan metode *Weibull* periode ulang 20 tahun. Berdasarkan peta tersebut, tinggi gelombang berkisar antara 2,4 – 4,09 meter. Pada periode ulang 20 tahun, semakin ke arah Utara tinggi gelombang mengalami penurunan. Nilai  $H_{max}$  tertinggi berada pada periode ulang 20 tahun ini mencapai 4,09 meter. Sebaran tinggi gelombang pada periode ini mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan periode 15 tahun dilihat pada warna yang semakin pekat di tiap daerahnya.



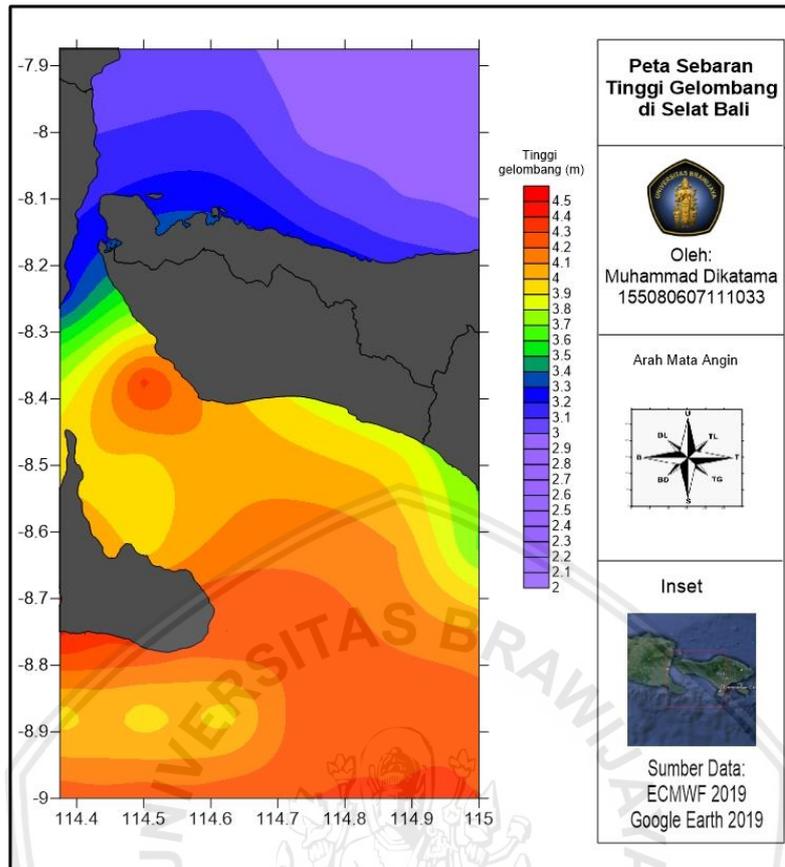
Gambar 50. Sebaran ketinggian gelombang periode ulang 25 tahunan

**Pada** Gambar 50 menunjukkan nilai tinggi maksimum hasil pengolahan metode *Weibull* periode ulang 25 tahun. Berdasarkan peta tersebut, tinggi gelombang berkisar antara 2,5 – 4,1 meter. Pada periode ulang 25 tahun, semakin ke arah Utara tinggi gelombang mengalami penurunan. Nilai  $H_{max}$  tertinggi berada pada periode ulang 25 tahun ini mencapai 4,1 meter. Sebaran tinggi gelombang pada periode ini mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan periode 20 tahun.



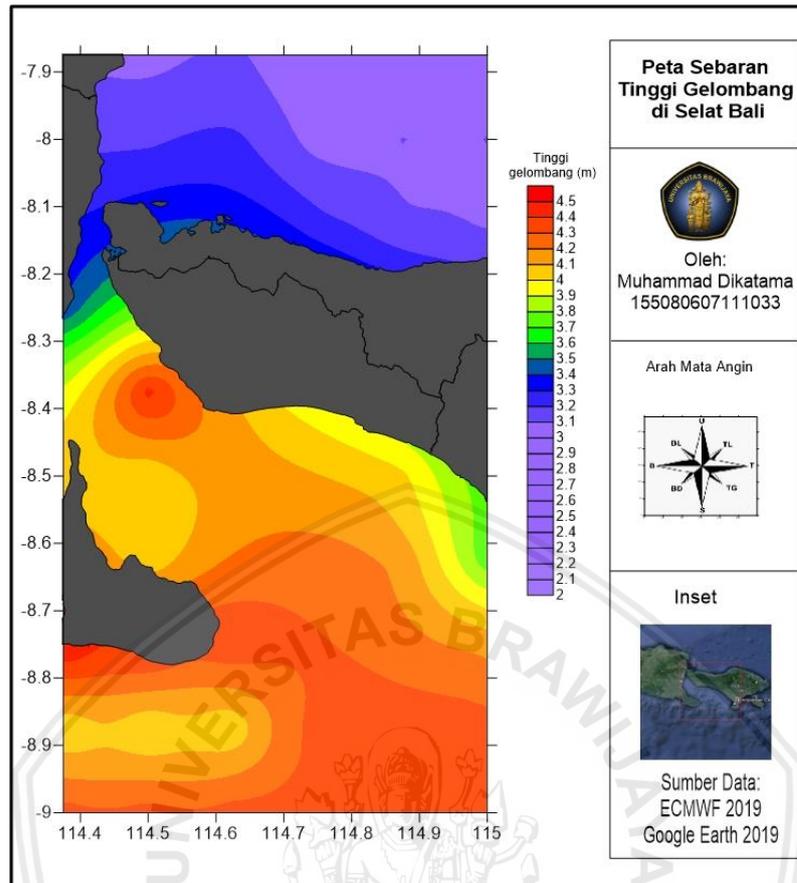
Gambar 51. Sebaran ketinggian gelombang periode ulang 50 tahunan

**Pada** Gambar 53 menunjukkan nilai tinggi maksimum hasil pengolahan metode *Weibull* periode ulang 50 tahunan. Berdasarkan peta tersebut, tinggi gelombang berkisar antara 2,8 – 4,3 meter. Pada periode ulang 50 tahunan, semakin ke arah Utara tinggi gelombang mengalami penurunan. Nilai  $H_{max}$  tertinggi berada pada periode ulang 50 tahun ini mencapai 4,3 meter. Sebaran tinggi gelombang pada periode ini mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan periode sebelumnya.



Gambar 52. Sebaran ketinggian gelombang periode ulang 75 tahunan

Pada Gambar 52 menunjukkan nilai tinggi maksimum hasil pengolahan metode *Weibull* periode ulang 75 tahun. Berdasarkan peta tersebut, tinggi gelombang berkisar antara 2,9 – 4,4 meter. Pada periode ulang 75 tahun, semakin ke arah Utara tinggi gelombang mengalami penurunan. Nilai  $H_{max}$  tertinggi berada pada periode ulang 75 tahun ini mencapai 4,4 meter. Sebaran tinggi gelombang pada periode ini mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan periode sebelumnya



Gambar 53. Sebaran ketinggian gelombang periode ulang 100 tahunan

Pada Gambar 53 menunjukkan nilai tinggi maksimum hasil pengolahan metode *Weibull* periode ulang 100 tahun. Berdasarkan peta tersebut, tinggi gelombang berkisar antara 3,01– 4,5 meter. Pada periode ulang 100 tahun, semakin ke arah Utara tinggi gelombang mengalami penurunan. Nilai  $H_{max}$  tertinggi berada pada periode ulang 100 tahun ini mencapai 4,5 meter. Sebaran tinggi gelombang pada periode ini mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan periode sebelumnya. Tinggi gelombang pada periode 100 tahun ini merupakan gelombang tertinggi dari periode tahun sebelumnya. Hal ini disebabkan karena rentang tahun juga semakin panjang. Semakin panjang rentang tahun yang

digunakan untuk memprediksi tinggi gelombang, tinggi gelombang juga akan mengalami peningkatan. Peluang terjadinya gelombang tinggi pada rentang tahun yang panjang akan semakin besar. Mengetahui prediksi tinggi gelombang akan sangat bermanfaat dalam perencanaan bangunan pantai, penentuan jalur pelayaran, dan untuk keselamatan pelayaran.

## 4.5 Analisis Data

### 4.5.1 Ketinggian Gelombang di Selat Bali

Selat Bali merupakan perairan yang memiliki karakteristik tinggi gelombang yang tinggi. Bagian Selatan pada Selat Bali berbatasan langsung dengan Samudera Hindia. Hal ini menyebabkan Perairan Selat Bali bagian Selatan memiliki karakter perairan yang dinamis dengan gelombang yang tinggi. Adanya gelombang tinggi tentu akan mengganggu aktivitas laut dan keselamatan pelayaran. Tinggi gelombang mengalami penurunan pada bagian Utara Selat Bali hingga Laut bali, hal tersebut dikarenakan nilai *fetch* lebih rendah akibat dekat dekat dengan pulau pulau.

Perairan Selat Bali, umumnya mengalami kenaikan tinggi gelombang signifikan pada bulan Juni hingga Agustus, yaitu pada saat musim timur. Menurut Suniada dan Eko (2017), perairan Indonesia dipengaruhi oleh sistem *monsoon* Asia-Australia yang biasa dikenal dengan *southeast monsoon* biasa disebut dengan musim timur dan *northwest monsoon* yang biasa disebut dengan musim barat. Sistem *monsoon* terjadi karena adanya perbedaan tekanan antara benua Australia dan Asia sebagai akibat dari perubahan posisi dan penyinaran matahari. Perbedaan tekanan tersebut menyebabkan perubahan pergerakan arah dan kecepatan angin. Oleh karena itu itu hal ini disebabkan adanya pengaruh dari

angin musim timur yang bergerak dari benua Australia menuju benua Asia. Saat musim timur, angin langsung mengenai perairan bagian selatan dan akan terus mengalami penurunan saat bergerak ke arah utara. Hendiarti *et al.*, (2005) menyatakan bahwa kecepatan angin yang maksimal terjadi pada saat musim timur yang menyebabkan tinggi gelombang tertinggi pada musim timur. Perairan Selat Bali akan mengalami penurunan tinggi gelombang signifikan pada bulan November hingga Februari, atau pada saat musim barat. Hal ini disebabkan pengaruh angin barat. Saat musim barat, angin akan bergerak dari benua Asia menuju benua Australia. Saat angin sampai pada perairan selatan, kekuatan angin menurun karena angin harus melewati beberapa daratan terlebih dahulu, oleh sebab itu, tinggi gelombang pada musim ini lebih rendah jika dibandingkan tiga musim lainnya.

Saat musim peralihan akan terjadi naik dan turun tinggi gelombang, hal ini disebabkan angin saat musim peralihan pergerakannya tidak menentu. Musim peralihan masih dipengaruhi oleh musim timur dan musim barat. Mengetahui karakteristik gelombang secara bulanan dan musiman dapat digunakan untuk perencanaan bangunan pantai, perlindungan pantai, dan keselamatan pelayaran.

Data ketinggian gelombang yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari ECMWF berdasarkan data angin. Data ketinggian gelombang ECMWF memiliki beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihan yang dimiliki dari data ECMWF adalah cakupan data yang luas serta memiliki keakuratan yang baik jika berada di tengah laut. Data ECMWF memiliki resolusi spasial sebesar  $0,125^\circ$  dan pengukuran data gelombang ECMWF dilakukan secara *real-time* setiap tahunnya.

Kelemahan dari data ECMWF adalah akurasi data gelombang yang diperoleh akan menurun ketika data berada di dekat daratan (Cavaleri dan Bertotti, 2003).

#### 4.5.2 Hasil Tinggi Gelombang Periode Ulang

Hasil peramalan peramalan tinggi gelombang periode ulang dengan menggunakan metode *Weibull* dan menggunakan data ECWMWF telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya. Hasil pengolahan data ketinggian gelombang periode ulang data ECMWF dapat dilihat seperti pada Tabel 15.

Tabel 15. Hasil perhitungan tinggi gelombang periode ulang data ECMWF

Periode Ulang (tahun)	Stasiun 19	Stasiun 38	Stasiun 41	Stasiun 46	Stasiun 47
	Hsr(m)	Hsr(m)	Hsr(m)	Hsr(m)	Hsr(m)
10	2,12	3,47	3,66	3,76	3,71
15	2,35	3,56	3,75	3,86	3,81
20	2,51	3,63	3,82	3,93	3,87
25	2,63	3,69	3,86	3,98	3,92
50	3,02	3,85	4,02	4,14	4,08
75	3,24	3,95	4,11	4,24	4,17
100	3,40	4,02	4,17	4,31	4,24

Hasil ketinggian gelombang periode ulang data ECMWF berdasarkan Tabel 15 secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa ketinggian gelombang periode ulang memiliki tren peningkatan ketinggian seiring bertambahnya tahun periode. Ketinggian gelombang yang semakin meningkat setiap periode ulang tahun terjadi karena semakin lama periode ulang tahunan, maka akan semakin banyak tinggi gelombang maksimum yang terjadi. Pada tahun tertentu terdapat kemungkinan tinggi gelombang yang terjadi melampaui tinggi gelombang sebelumnya, sehingga semakin bertambah tahun periode ulang maka gelombang yang terjadi akan semakin tinggi.

#### 4.6 Pemanfaatan Data Karakteristik Gelombang dan Data Prediksi Tinggi Gelombang Periode Ulang Untuk Keselamatan Pelayaran

Data karakteristik gelombang seperti gelombang signifikan ( $H_s$ ) dan gelombang maksimum ( $H_{max}$ ) pada tahun 2004 – 2018 dapat dijadikan informasi bagi masyarakat di sekitar perairan Selat Bali dan wilayah disekitarnya. Data ketinggian gelombang signifikan ( $H_s$ ) dapat digunakan untuk keperluan bangunan pantai, perlindungan pantai, dan keselamatan pelayaran. Data ketinggian gelombang maksimum ( $H_{max}$ ) dalam penelitian ini digunakan untuk prediksi gelombang periode ulang.

Berdasarkan pengolahan data gelombang bulanan dan musiman, diketahui bahwa ketinggian gelombang paling tinggi terjadi pada bulan Juli hingga September pada musim Timur. Perairan Selat Bali bagian Utara memiliki ketinggian gelombang tertinggi dengan ketinggian maksimum mencapai 1 - 3 meter. Perairan Selat Bali memiliki aktivitas penyeberangan yang cukup tinggi dengan rute penyeberangan antar pulau Jawa-Bali yaitu pelabuhan Ketapang dan Gilimanuk yang didominasi oleh kapal ferry. Hasil penelitian yang dilakukan Pribadi dan Mulsandi (2014) menunjukkan bahwa tinggi gelombang di perairan Selat Bali pada bulan Juni 2014 antara 1,5 – 2 meter. Gelombang tertinggi di perairan Selat Bali terjadi pada musim Timur dengan Ketinggian mencapai 2.1 meter. Gelombang pada musim Timur terjadi pada bulan-bulan Juni-Agustus

Menurut Usman *et.al.* (2004), terdapat jalur penyeberangan di perairan Selat Bali yaitu penghubung Pulau Jawa dan Bali. Kegiatan penyeberangan,

pengangkutan penumpang dan bongkar muat barang dilakukan dengan menggunakan fasilitas pelabuhan Ketapang di Banyuwangi dan Gilimanuk di Bali.

Menurut Wiyono (2011) dalam penelitiannya mengatakan bahwa terdapat beberapa daerah tangkapan (*fishing ground*) di daerah Selatan perairan Selat Bali yang mengakibatkan banyak nelayan yang beraktivitas didaerah tersebut untuk mencari ikan nama nama daerah penangkapan tersebut berdasarkan nama daratan terdekat, yaitu: Klosot (Wringinan-paparan Jawa), Senggrong (paparan Jawa), Tanjung Angguk (paparan Jawa), Karang Ente (paparan Jawa), Grajagan, (paparan Jawa), Pulukan, (paparan Bali), Seseh (paparan Bali), dan Uluwatu (paparan Bali).

Data prediksi tinggi gelombang periode ulang dengan metode *Weibull* yang dihasilkan dari penelitian ini merupakan tinggi gelombang maksimum ( $H_{max}$ ) yang ada di perairan Utara dengan tahun periode ulang 10, 15, 20, 25, 50, 75, dan 100 tahun. Data prediksi tinggi gelombang periode ulang digunakan untuk mengetahui ketinggian gelombang untuk kepentingan keselamatan pelayaran disekitar perairan Selat Bali. Nilai ketinggian gelombang periode ulang 10 tahun di perairan Utara Selat Bali berdasarkan Gambar 47 didapatkan nilai ketinggian gelombang berkisar antara 2,3 – 3 meter. Nilai ketinggian gelombang periode ulang 15 dan 20 tahun berdasarkan Gambar 48 dan Gambar 49 diperoleh nilai ketinggian gelombang berkisar antara 2,5-3,1 meter dan 2,6 – 3,2 meter. Nilai ketinggian gelombang periode ulang 25 dan 50 tahun berdasarkan Gambar 50 dan Gambar 51 diperoleh nilai ketinggian gelombang berkisar antara 2,7 – 3,3 meter dan 2,9 – 3,4 meter. Nilai ketinggian gelombang periode ulang 75 dan 100 tahun

berdasarkan Gambar 52 dan Gambar 53 diperoleh nilai ketinggian gelombang berkisar antara 3,1 – 3,5 meter dan 3,2 – 3,6 meter.

Sementara itu untuk nilai ketinggian gelombang periode ulang 10 tahun di perairan Selatan Selat Bali Gambar 47 didapatkan nilai ketinggian gelombang berkisar antara 3,3 – 3,6 meter. Nilai ketinggian gelombang periode ulang 15 dan 20 tahun berdasarkan Gambar 48 dan Gambar 49 diperoleh nilai ketinggian gelombang berkisar antara 3,5-3,6 meter dan 3,6 – 3,7 meter. Nilai ketinggian gelombang periode ulang 25 dan 50 tahun berdasarkan Gambar 50 dan Gambar 51 diperoleh nilai ketinggian gelombang berkisar antara 3,7 – 3,8 meter dan 3,8 – 3,9 meter. Nilai ketinggian gelombang periode ulang 75 dan 100 tahun berdasarkan Gambar 52 dan Gambar 53 diperoleh nilai ketinggian gelombang berkisar antara 3,9 – 4 meter dan 4-4,1 meter

Ketinggian gelombang paling tinggi berdasarkan hasil pengolahan data gelombang periode ulang berada di sekitar perairan Selat Bali bagian Utara dan Selat Bali bagian Selatan dengan ketinggian mencapai 3 dan 4 meter pada periode ulang 100 tahun. Secara keseluruhan, ketinggian gelombang periode ulang untuk waktu 100 tahun mendatang di perairan Selat Bali bagian Utara dapat dilalui kapal ferry, akan tetapi ketinggian gelombang di perairan Selat Bali bagian Selatan cukup berbahaya untuk dilalui oleh kapal nelayan yang berukuran kecil, kapal tongkang, dan kapal ferry khususnya pada bulan dengan ketinggian gelombang tinggi atau pada musim timur.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan mengenai penelitian analisis karakteristik gelombang dan prediksi tinggi gelombang menggunakan periode ulang dengan metode *Weibull* di perairan Selat Bali, dapat disimpulkan bahwa:

1. Karakteristik gelombang representatif ( $H_{100}$ ,  $H_s$ , dan  $H_{max}$ ) di Selat Bali selama kurun waktu 15 tahun (2004-2018) memiliki ketinggian gelombang yang bervariasi. Tinggi gelombang signifikan pada daerah Selat Bali bagian Utara cenderung lebih rendah dibandingkan dengan bagian Selat Bali bagian Selatan, hal tersebut dikarenakan nilai *fetch* di bagian Utara lebih rendah dikarenakan dekat dengan pulau-pulau. Selat Bali bagian Utara memiliki tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) 0,3-0,5 meter, ketinggian gelombang maksimumnya ( $H_{max}$ ) 1-1,6 meter dan ketinggian gelombang rerata ( $H_{100}$ ) yaitu 0,2-0,3 meter. Sedangkan tinggi gelombang signifikan ( $H_s$ ) Selat Bali bagian Selatan yaitu 2-2,2 meter, ketinggian gelombang maksimum ( $H_{max}$ ) 3-4 meter, dan ketinggian gelombang rerata ( $H_{100}$ ) yaitu 1,6-1,8 meter.
2. Berdasarkan hasil perhitungan ketinggian gelombang periode ulang di perairan Selat Bali, didapatkan nilai ketinggian gelombang periode ulang 10 tahun berkisar antara 2,12 – 3,76 meter. Nilai ketinggian gelombang periode ulang 15 dan 20 tahun diperoleh nilai ketinggian gelombang berkisar antara 2,35 – 3,86 meter dan 2,51 – 3,93 meter. Nilai ketinggian gelombang periode ulang 25 dan 50 tahun diperoleh nilai ketinggian gelombang berkisar antara

2,63 – 3,98 meter dan 3,02 – 4,14 meter. Nilai ketinggian gelombang periode ulang 75 dan 100 tahun diperoleh nilai ketinggian gelombang berkisar antara 3,24 – 4,24 meter dan 3,4 – 4,31 meter.

3. Ketinggian gelombang periode ulang yang terjadi di sekitar Selat Bali memiliki nilai yang bervariasi. Tinggi gelombang periode ulang di Selat Bali bagian Utara dapat mencapai ketinggian 3,4 meter pada periode ulang 100 tahunan. Tinggi gelombang periode ulang di Selat Bali Bagian Selatan memiliki ketinggian mencapai 4,31 meter pada periode ulang 100 tahunan. Tinggi gelombang periode ulang pada perairan Selat Bali bagian Utara akan berdampak bahaya terhadap aktivitas pelayaran kapal nelayan kecil yang akan melintasi perairan tersebut, sedangkan tinggi gelombang periode ulang yang mencapai 4,31 meter akan berdampak terhadap aktivitas nelayan di sekitar Selatan Selat Bali khususnya terhadap kapal-kapal nelayan kecil, kapal ferry dan beberapa jenis kapal tongkang yang akan melintasi perairan Selatan Selat Bali.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, penulis ingin memberikan saran kepada masyarakat yang akan melakukan aktivitas di sekitar Selat Bali agar lebih berhati-hati pada musim Timur pada bulan Juni-Agustus karena pada bulan tersebut ketinggian gelombang lebih besar dibandingkan bulan-bulan lainnya. Lalu penulis ingin memberikan saran untuk penelitian selanjutnya jika memungkinkan untuk menggunakan data pengukuran langsung agar data yang didapatkan lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Andry, M.A dan Febri Y. 2014. Implementasi Kebijakan Keselamatan Pelayaran. *Jurnal Administrasi Pembangunan*. Vol. 2, No. 3. Universitas Riau
- Atmodjo, W. (2011). Studi Penyebaran Sedimen Tersuspensi di Muara Sungai Porong Kabupaten Pasuruan. *Buletin Oseanografi Marina*, 60-81
- Cavaleri, L., and Bertotti, L. 2003. *The Accuracy of Modelled Wind and Waves Fields In Enclosed Seas*. European Centre for Medium Range Weather Forecasts. Reading: England.
- Denestiyanto, R., Denny N. Heryoso S. 2015. Analisis Karakteristik Gelombang Di Perairan Kabupaten Batu Bara, Sumatera Utara. *Jurnal Oseanografi*. Volume 4, Nomor 2, Halaman 402
- Departemen Perhubungan. 2019. <http://dephub.go.id/>. Rancangan Kriteria Di Bidang Transportasi Laut. Diakses pada 30 Juni 2019.
- Dewi, R., Pratomo, A., dan Jaya, Y. 2013. Pendugaan Tinggi Gelombang Berdasarkan Kecepatan Angin Pada Zona Alur Pelayaran Diperairan Tanjungpinang. Universitas Maritim Raja Ali Haji: Tanjung Pinang
- ECMWF. 2019. <http://www.ecmwf.int/en/about/who-we-are>. Diakses pada 27 Januari 2018 pukul 15.00 WIB
- Hadiyanti, A. 2014. Kajian Karakteristik Oseanografi di Perairan Utara Papua pada Tahun 2010-2012 Menggunakan Citra Modis. *Jurnal Oseanografi*. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta
- Hassen, S. 2016. Measurement & Error. Dept. of Electrical & Electronic Engineering. University of Mauritius
- Hendiarti, N., Suwarso, E. Aldrian, K. Amri, R. Andiaستی, S.I. Sachoemar, & Wahyono, I.B. 2005. Seasonal variation of pelagic fish catch around Java. *Oceanography*. 18(4), 112–123.
- Hidayat, J. J., M. Yusuf, Indrayanti. 2013. Dinamika Penjalaran Gelombang Menggunakan Model *Cms-Wave* Di Pulau Parang Kepulauan Karimunjawa. *Jurnal Oseanografi* Vol. 2 No. 3 (255-264). UNDIP: Semarang
- Hidayat, N. 2005. Kajian Hidro-Oseanografi Untuk Deteksi Proses-Proses Fisik di Pantai. *Jurnal SMARTek*, Vol. 3, No. 2 (73 – 85).
- Hidayati, N. 2017. *Dinamika Pantai*. UB Press: Malang

- Ichsan, I., dan Suleman, A. 2018. Analisis Perencanaan Break Water Dalam Penanganan Sedimentasi Pantai di Desa Botubarani. *Journal of Infrastructure & Science Engineering*. ISSN: 2614-4638. Vol. 1, No. 1.
- Kurniawan, R., Suratno., dan Habibie, M. 2011. Variasi Bulanan Gelombang Laut di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*. Volume 12 Nomor 3 (221 – 232). Puslitbang BMKG: Jakarta
- Loupatty, G. 2013. Karakteristik Energi Gelombang dan Arus Perairan di Provinsi Maluku. *Jurnal Berekeng*. Vol. 7 No. 1 (19 – 22). UNPATTI: Ambon.
- Maulana H. R., dan Oktiyas M.L. 2018. Studi Data Batimetri Untuk Keselamatan Pelayaran Di Perairan Ujung Pangkah Kabupaten Gresik Provinsi Jawa Timur. *Journal Ilmiah Rinjani* Vol.6 No. 1.
- Muanalifah, A. 2013. Pemanfaatan *Software* MatLab dalam Pembelajaran Metode Numerik dalam Pokok Bahasan Sistem Persamaan Linear Simultan. *Jurnal Phenomenon*. Vol. 1 No. 1.
- Parauba, R., M. I Jasin, dan Jeffrey. D. Mamoto. 2016. Analisis Karakteristik Gelombang Pecah Di Pantai Niampak Utara. *Jurnal Sipil Statik*. ISSN: 2337-6732. Vol.4 No.10
- Pribadi, B., dan Adi M. 2015. Simulasi Tinggi Gelombang Signifikan Dengan Menggunakan Model Wavewatch-III (Studi Kasus Kejadian Tanggal 15-16 Juni 2014 Di Perairan Selat Bali). *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika* Vol. 1, No. 1
- Rabung F., A.B. Muhiddin, M.P. Hatta, dan S. Malik. 2015. Deformasi Gelombang Di Pantai Makassar. *Hasil Penelitian Teknologi Terapan*. ISSN: 978-979-127255-0-6. Vol. 9.
- Satriadi, A. 2017. Peramalan Tinggi dan Periode Gelombang Signifikan Di Perairan Dangkal (Studi Kasus Perairan Semarang). ISSN : 2089-3507. *Buletin Oseanografi Marina* Vol. 6, No. 1(17-23). UNDIP; Semarang
- Setiyawan, A.R., Niang A. 2015. Analisis Peramalan Ketinggian Gelombang Laut Dengan Periode Ulang Menggunakan Metode Distribusi Weibull (Studi Kasus Pantai Lembasada Kabupaten Donggala). *INFRASTRUKTUR* Vol. 5 No. 1 Juni 2015 : 38 – 5.
- Siswanto, D.A. 2012. Studi Karakteristik Gelombang di Kabupaten Bangkalan Sebelum Jembatan Suramadu. *Jurnal Kelautan*. Vol 5, No. 1. ISSN: 1907-9931.
- Sugianto, D. N., Aris I. Astuti F. 2016. Analisis Transformasi Dan Spektrum Gelombang Di Perairan Balongan, Indramayu, Jawa Barat. Prosiding

Seminar Nasional Tahunan Ke-V Hasil-Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan

- Suniada, K.I., dan Eko Susilo. 2017. Keterkaitan Kondisi Oseanografi Dengan Perikanan Pelagis Di Perairan Selat Bali. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*. Vol. 23, No. 4.
- Sutirto dan Diarto Trisnoyuwono. 2014. Gelombang dan Arus Laut Lepas. GRAHA ILMU: Yogyakarta.
- Taofiqurohman, A. 2013. Pemodelan Tinggi Gelombang Untuk Penentuan Tingkat Kerentanan Pesisir Kabupaten Sukabumi. ISSN : 2087-121X. *Jurnal Harpodon Borneo* Vol.6 No1.
- Tarigan, A.P.M., dan Ahmad Syarif Zein. 2005. Analisa Refraksi Gelombang Pada Pantai. *Jurnal Teknik SIMETRIKA*. Vol. 4, No. 2 345-251
- Triatmodjo, B. 1999. *Teknik Pantai (Edisi Kedua)*, Beta Offset, Yogyakarta
- Undang-Undang Tentang Pelayaran. 2008. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 17 Tahun 2008: Jakarta.
- Usman, E., F. Novico, K. Budiono, P. Raharjo, D. Setiady, A. Yuningsih dan N. 2004. Yayu. Analisis Geoteknik Kelautan Pada Sisi Ketapang (Selat Bali) Untuk Pengembangan Penghubung Jawa – Bali. *Jurnal Geologi Kelautan*, vol. 2, no. 2.
- Utami, S. R. 2010. Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut Dengan Menggunakan Sistem *Oscilating Water Column* (OWC) di Tiga Puluh Wilayah Kelautan Indonesia. Skripsi. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia; Depok, Jawa Barat.
- Wiyono, B. 2011. Model Dinamis Perikanan Lemuru (*Sardinella lemuru*) di Selat Bali. Tesis. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.

## LAMPIRAN

Lampiran 1. Ketinggian gelombang representatif di Stasiun 19

Tahun	Bulan	$H_{max}(m)$	$H_s(m)$	$H_{100}(m)$	$T_{max}(s)$	$T_s(s)$	$T_{100}(s)$
2004	Januari	0,737	0,280	0,118	4,523	2,789	1,809
	Februari	1,286	0,637	0,253	5,975	4,203	2,651
	Maret	0,962	0,448	0,193	5,168	3,528	2,312
	April	0,700	0,481	0,316	4,408	3,652	2,963
	Mei	0,810	0,473	0,255	4,741	3,622	2,661
	Juni	1,009	0,694	0,443	5,292	4,388	3,508
	Juli	0,968	0,563	0,384	5,182	3,953	3,263
	Agustus	0,896	0,631	0,460	4,985	4,183	3,574
	September	0,883	0,602	0,444	4,949	4,088	3,510
	Oktober	0,930	0,543	0,350	5,081	3,883	3,114
	November	0,557	0,368	0,190	3,931	3,194	2,294
	Desember	0,834	0,374	0,168	4,810	3,221	2,157
2005	Januari	0,716	0,388	0,173	4,456	3,280	2,189
	Februari	0,580	0,350	0,158	4,010	3,116	2,091
	Maret	0,723	0,302	0,130	4,480	2,895	1,899
	April	0,730	0,471	0,238	4,502	3,613	2,570
	Mei	0,743	0,552	0,415	4,541	3,914	3,393
	Juni	0,820	0,479	0,279	4,770	3,645	2,784
	Juli	1,137	0,692	0,467	5,616	4,382	3,600
	Agustus	0,893	0,622	0,436	4,979	4,156	3,476
	September	0,841	0,628	0,454	4,832	4,174	3,549
	Oktober	0,908	0,573	0,368	5,019	3,989	3,197
	November	0,617	0,432	0,258	4,139	3,464	2,677
	Desember	0,673	0,269	0,121	4,322	2,735	1,830
2006	Januari	1,083	0,591	0,287	5,483	4,050	2,823
	Februari	0,817	0,327	0,147	4,762	3,013	2,017
	Maret	0,764	0,358	0,173	4,603	3,154	2,189
	April	0,740	0,361	0,172	4,530	3,166	2,184
	Mei	0,737	0,465	0,248	4,522	3,591	2,624
	Juni	0,978	0,720	0,510	5,208	4,469	3,761
	Juli	1,034	0,644	0,470	5,357	4,228	3,611
	Agustus	0,944	0,668	0,509	5,117	4,304	3,759

Tahun	Bulan	H <sub>max</sub> (m)	H <sub>s</sub> (m)	H <sub>100</sub> (m)	T <sub>max</sub> (s)	T <sub>s</sub> (s)	T <sub>100</sub> (s)
	September	0,749	0,546	0,419	4,559	3,894	3,410
	Oktober	0,667	0,464	0,324	4,303	3,587	2,998
	November	0,704	0,449	0,272	4,420	3,531	2,746
	Desember	1,544	0,320	0,115	6,546	2,980	1,785

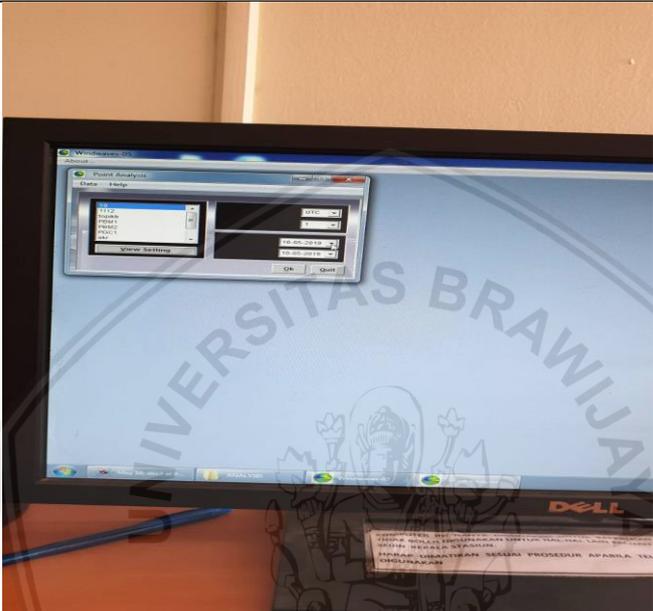
Lampiran 2. Ketinggian gelombang representatif di Stasiun 38

Tahun	Bulan	H <sub>s</sub> (m)	T <sub>s</sub> (s)	T <sub>100</sub> (s)	H <sub>100</sub> (m)	T <sub>max</sub> (s)	H <sub>max</sub> (m)
2004	Januari	1,913	10,047	10,334	1,503	11,640	2,959
	Februari	2,584	10,207	10,341	1,930	14,138	3,254
	Maret	2,111	10,895	10,602	1,786	13,083	2,641
	April	2,319	12,657	11,146	1,873	14,728	2,892
	Mei	2,469	12,289	11,393	1,911	14,775	3,183
	Juni	2,661	12,026	11,349	2,236	13,852	3,032
	Juli	2,417	12,682	11,771	2,129	14,641	2,887
	Agustus	2,709	12,990	11,785	2,259	15,060	3,639
	September	2,342	12,210	11,282	1,982	14,217	2,649
	Oktober	2,188	11,982	10,844	1,770	13,486	2,639
	November	1,834	11,028	10,952	1,613	12,986	1,950
	Desember	1,952	11,856	10,725	1,670	13,675	2,314
2005	Januari	2,142	11,950	10,797	1,703	14,613	2,773
	Februari	1,893	9,369	10,168	1,549	11,862	2,148
	Maret	1,859	12,095	10,945	1,499	13,414	2,183
	April	2,143	11,910	11,246	1,773	13,561	2,655
	Mei	2,593	12,829	11,301	2,008	16,129	3,300
	Juni	2,647	13,241	11,630	1,977	15,175	3,291
	Juli	2,708	12,194	11,570	2,280	13,648	3,096
	Agustus	2,554	12,927	11,509	2,100	14,541	3,064
	September	2,885	13,454	12,197	2,358	15,371	3,648
	Oktober	2,634	13,103	11,772	2,114	14,991	3,133
	November	2,466	13,097	11,688	1,942	15,751	3,498
	Desember	2,080	11,808	11,269	1,785	14,189	2,693
2006	Januari	2,396	9,649	10,095	1,928	12,654	2,761
	Februari	1,995	11,229	10,843	1,572	14,171	2,498
	Maret	2,116	11,881	11,224	1,801	13,786	2,385
	April	2,185	11,554	11,593	1,901	13,825	2,567
	Mei	2,071	11,780	10,871	1,710	13,879	2,751
	Juni	2,493	11,876	10,919	2,111	13,842	2,832



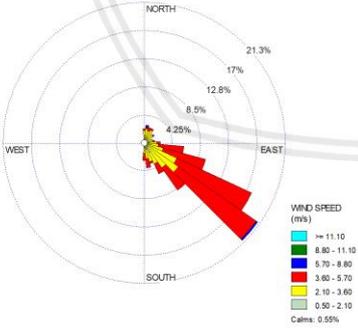
Tahun	Bulan	$H_s$ (m)	$T_s$ (s)	$T_{100}$ (s)	$H_{100}$ (m)	$T_{max}$ (s)	$H_{max}$ (m)
	Juli	2,934	13,479	11,975	2,383	15,268	3,539
	Agustus	2,785	12,542	11,445	2,299	15,511	3,450
	September	2,453	13,255	11,986	2,052	15,012	2,822
	Oktober	2,721	13,744	12,257	2,120	15,155	3,236
	November	1,785	11,200	10,587	1,558	12,802	2,198
	Desember	1,797	10,517	10,349	1,430	12,285	2,092

Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian

1		<p>Proses <i>running</i> data di BMKG</p>
2		<p>Pelabuhan Ketapang</p>

3		Pelabuhan Ketapang
4		TPI Muncar

Lampiran 4. Arah datang gelombang

No	Windrose	Keterangan Stasiun
1		Stasiun 19

No	Windrose	Keterangan Stasiun
2		Stasiun 38
3		Stasiun 41
4		Stasiun 46

No	Windrose	Keterangan Stasiun
5		Stasiun 47

