



TUGAS AKHIR - MO 141326

**ANALISA STABILITAS *BREAKWATER* PADA KOLAM LABUH
PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) SUDIMORO
PACITAN**

**NORMAN AKROMUDIN
NRP. 4313 100 005**

Dosen Pembimbing:

**Haryo D Armono, ST, M.Eng,
Sujantoko, ST, MT**

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 60111
2017**



FINAL PROJECT - MO 141326

**STABILITY ANALYSIS ON BREAKWATER OF BERTHING
POND AT STEAM POWER PLANT (PLTU) SUDIMORO
PACITAN**

NORMAN AKROMUDIN

NRP. 4313 100 005

Supervisors :

**Haryo D Armono, ST, M.Eng,
Sujantoko, ST, MT**

**DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 60111
2017**

**ANALISA STABILITAS *BREAKWATER* PADA KOLAM
LABUH PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP SUDIMORO
PACITAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Norman Akromudin

NRP. 4313 100 005

Disetujui oleh :

1. Haryo D. Armono, ST, M.Eng., Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Sujantoko, S.T., M.T. (Pembimbing 2)

3. Drs. Mahmud Mustain, M.Sc., P.h.D. (Penguji 1)

4. Dr.Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng. (Penguji 2)

5. Dr.Eng. Muhammad Zikra, S.T., M.Sc. (Penguji 3)

SURABAYA, JULI 2017

**ANALISA STABILITAS BREAKWATER PADA KOLAM
LABUH PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU)
SUDIMORO PACITAN**

Nama : Norman Akromudin
NRP : 4313 100 005
Departemen : Teknik Kelautan FTK - ITS
Dosen Pembimbing : Haryo Dwito Armono ST, M.Eng, PhD
Sujantoko, ST, MT

ABSTRAK

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Sudimoro Pacitan mempunyai *breakwater* yang berfungsi melindungi kolam labuh. Kolam labuh tersebut berfungsi untuk bongkar muat batubara. *Breakwater* yang digunakan untuk pelindung kolam labuh mengalami kerusakan susunan, maka dibutuhkan penanganan lebih lanjut supaya tidak mengganggu sistem di PLTU Sudimoro Pacitan. Salah satu cara penanganan hilangnya susunan batu adalah penambahan berat *armour* atau mengganti dengan tipe *armour* yang digunakan. Pada tugas akhir ini dilakukan analisa berat dan tipe *armour* untuk pemecah gelombang di PLTU Sudimoro supaya *breakwater* bisa berfungsi lagi. Untuk menganalisa tinggi gelombang dalam tugas akhir ini menggunakan bantuan *software SMS (Surface Water Modeling System)*. Dalam pemodelan tinggi gelombang menggunakan *software SMS* didapatkan tinggi gelombang maksimum dari arah tenggara dengan tinggi 6,4 meter. Dari hasil perbandingan menggunakan persamaan Hudson dari berbagai jenis *rubblemound* didapatkan yang paling ringan yaitu BPPT-lock. Jenis BPPT-Lock lebih ringan dibandingkan dengan yang lain karena mempunyai nilai koefisien KD yang tinggi yaitu 17 untuk bagian lengan dan 13 untuk bagian kepala. Untuk tinggi gelombang 6,4 meter maka dibutuhkan berat per butir *armour* 10,22 Ton untuk bagian lengan (*trunk*) *breakwater* dan 13,37 Ton untuk bagian kepala (*head*) *breakwater*.

Keyword : *breakwater*, CGWAVE, SMS, *rubblemound*, BPPT-lock

**STABILITY ANALYSIS ON BREAKWATER OF BERTHING
POND AT STEAM POWER PLANT (PLTU) SUDIMORO
PACITAN**

Student Name : Norman Akromudin
Reg. Number : 4313 100 005
Department : Ocean Engineering FTK - ITS
Supervisors : Haryo Dwito Armono ST, M.Eng, PhD
Sujantoko, ST, MT

ABSTRACT

Sudimoro Steam Power Plant, known as PLTU Sudimoro, which is located in Pacitan has breakwater to protect its berthing pond. The berthing pond is used to support coal loading and unloading process. A structural failure occurred to the breakwater causing a problem to the plant. There are several treatments to solve the failure such as increasing its armour weight or change the armour type. In this final project, a study about armour weight and type has been conducted. Waves are simulated in SMS (Surfer Water Modelling System). It is found that 6.4 m wave-height coming from south-east direction. BPPT-lock is used on breakwater analysis because it is the lightest rubblemound. It has high number of K_D , 17 at the trunk and 13 at the head. It is found that 10.22 ton is needed for the trunk and 13.37 for head of breakwater to stand a 6.4 metre wave-height.

Keyword : *breakwater, CGWAVE, SMS, rubblemound, BPPT-lock*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan hidayah dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Stabilitas *Breakwater* pada Kolam Labuh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Sudimoro Pacitan” dengan baik.

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Studi Sarjana (S-1) di departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Dalam pengerjaan dan penulisan Tugas Akhir ini penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Maka dari itu penulis mengharapkan adanya saran yang membangun untuk menyempurnakan laporan Tugas Akhir ini ataupun untuk penelitian selanjutnya. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan kontribusi dan bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan.

Surabaya, Juli 2017

Norman Akromudin

UCAPAN TERIMA KASIH

Sehubungan dengan terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini, pertama penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada Allah SWT karena dengan izinnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir beserta laporannya, serta pihak-pihak yang telah membantu, maka dalam lembar ini saya mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang selalu menyayangi, menodoakan, dan memberikan motivasi dan dukungan secara moral maupun material kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan perkuliahan tahap sarjana serta Tugas Akhir ini dengan baik.
2. Bapak Dr.Eng. Muhammad Zikra, S.T, M.Sc., selaku dosen wali yang selama banyak membantu selama proses perkuliahan di departemen Teknik Kelautan
3. Bapak Haryo Dwito Armono ST., M.Eng, PhD., selaku dosen pembimbing I penulis yang berkenan meluangkan waktu untuk membimbing, mengarahkan, memberikan masukan serta ilmu yang berguna dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini
4. Bapak Sujantoko, ST, MT., selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu untuk membimbing dan memberikan masukan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.
5. Teman-teman “Valtameri” angkatan 2013 Teknik Kelautan FTK-ITS, atas kebersamaannya dalam menjalani perkuliahan.
6. Teman-teman “Duroh” atas kebersamaan dalam segala canda, tawa, susah dan senang yang telah dilalui Bersama selama menjalani kehidupan di Surabaya.
7. Teman-teman kos yang memberikan bantuanya diluar bangku perkuliahan.
8. Seluruh dosen, karyawan, dan teman di departemen Teknik Kelautan yang telah membantu menyelesaikan perkuliahan.

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Permasalahan.....	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat	4
1.5. Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1. Tinjauan Pustaka.....	5
2.2. Dasar Teori.....	6
2.1.1 Pemecah Gelombang.....	6
2.1.2 Konversi Data Angin ke Gelombang	7
2.1.3 Analisis Kala Ulang	10
2.2.4. Perambatan Gelombang	12
2.2.4.1. Kondisi Gelombang Pada Kedalaman Air di Rencana Lokasi ..	14
2.2.4.2. Gelombang Laut Dalam Ekuivalen.....	14
2.2.4.3. Pendangkalan Gelombang (wave shoaling).....	15
2.2.4.5. Difraksi Gelombang.....	16
2.2.4.6. Refleksi Gelombang.....	17
2.2.5 Perencanaan Dimensi Breakwater.....	18
2.2.5.1 Penentuan elevasi puncak breakwater	18
2.2.5.2 Berat butir lapis pelindung.....	19
2.2.6. Jenis Batu Pelindung	21
2.2.6.1 Dolos	21
2.2.6.2 BPPT-lock.....	22
2.2.7 Software SMS (Surface Water Modeling System).....	24
2.2.7.1 CGWAVE.....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Metode Penelitian	27
3.2 Prosedur Penelitian	29
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	33
4.1. Daerah Penelitian	33
4.2. Arah dan Kecepatan Angin Setiap Bulan.....	34

4.3. Arah dan Kecepatan Angin Setiap Tahun	36
4.4. Fecth Setiap Tahun	39
4.5. Tinggi Gelombang dari Peramalan Data Angin	44
4.6. Analisa Kala Ulang	46
4.7. Membuat Model dalam SMS 12.2	53
4.7.1. Meshing Lokasi Studi	53
4.7.2. Pemodelan dari Arah Tenggara.....	55
4.7.3. Pemodelan Gelombang dari Arah Selatan	57
4.7.4. Pemodelan Gelombang dari Arah Barat Daya	58
4.8. Perhitungan Berat Unit Armour Tipe Dolos	60
4.9. Analisa Penyebab Kerusakan	61
4.10. Perhitungan Berat Unit Armour Berbagai Jenis Rubblemound	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	679
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Lokasi breakwater PLTU Sudimoro Pacitan.....	1
Gambar 1.2. Bagian breakwater yang mengalami kerusakan	2
Gambar 2.1. Grafik hubungan kecepatan angin di laut dan di darat.....	8
Gambar 2.2. Difraksi gelombang di belakang rintangan	17
Gambar 2.3. Berat rubble mound sesuai dengan lapisan	21
Gambar 2.4. Armour tipe dolos	21
Gambar 2.5. Armour tipe BPPT-lock	23
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	28
Gambar 4.1. Lokasi breakwater PLTU Sudimoro Pacitan	33
Gambar 4.2. Bagian breakwater yang mengalami kerusakan	34
Gambar 4.3. Wind rose per bulan di wilayah studi tahun 2004 – 2017.....	36
Gambar 4.4. Wind rose per tahun di wilayah studi tahun 2004 – 2017.....	38
Gambar 4.5. Wind rose dan pengelompokan angin di Wilayah Studi tahun 2004 – 2017.....	39
Gambar 4.6. Hubungan antara kecepatan angin di laut dan darat.....	40
Gambar 4.7. Grafik peramalan gelombang	41
Gambar 4.8. Fetch arah dominan tenggara	41
Gambar 4.9. Grafik hasil analisa kala ulang	50
Gambar 4.10. Kontur Batimetri Lokasi Studi	54
Gambar 4.11. Mesh pada lokasi studi	54
Gambar 4.12. Interpolasi kontur kedalaman laut di lokasi studi.....	55
Gambar 4.13. Elevasi permukaan laut arah tenggara.....	56
Gambar 4.14. Tinggi gelombang arah tenggara.....	56
Gambar 4.15. Elevasi permukaan laut arah selatan	57
Gambar 4.16. Tinggi gelombang arah selatan	57
Gambar 4.17. Elevasi permukaan laut arah barat daya	58
Gambar 4.18. Tinggi gelombang arah barat daya	58
Gambar 4.19. Lokasi pengamatan tinggi gelombang.....	59
Gambar 4.20. Perbandingan tinggi gelombang.....	60
Gambar 4.21. Arah gelombang menuju breakwater	62

Gambar 4.22. Perbandingan nilai K_D armour sesuai dengan tipe rubblemound bagian lengan	64
Gambar 4.23. Perbandingan nilai K_D armour sesuai dengan tipe rubblemound bagian kepala.....	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Konstanta Nilai c_1 dan c_2	11
Tabel 2.2. Distribusi Model	11
Tabel 2.3. Koefisien stabilitas K_D untuk berbagai macam butir	20
Tabel 2.4. Karakteristik dan perbandingan jumlah unit lapis lindung	23
Tabel 2.5. Berat unit lapis lindung pada kondisi lapangan yang sama	24
Tabel 4.1. Distribusi arah dan kecepatan angin 2004 – 2017	38
Tabel 4.2. Feff tahun 2004 arah tenggara	42
Tabel 4.3. Feff tahun 2004-2017 arah tenggara	43
Tabel 4.4. Feff tahun 2004-2017 arah selatan.....	43
Tabel 4.5. Feff tahun 2004-2017 arah barat daya	43
Tabel 4.6. Perhitungan tinggi gelombang arah tenggara tahun 2004.....	44
Tabel 4.7. Tinggi gelombang signifikan dan periode setiap tahun dari arah tenggara.....	45
Tabel 4.8. Tinggi gelombang signifikan dan periode setiap tahun dari arah selatan	46
Tabel 4.9. Tinggi gelombang signifikan dan periode setiap tahun dari arah barat daya	46
Tabel 4.10. Nilai konstanta c_1 dan c_2	47
Tabel 4.11. Metode Weibull	47
Tabel 4.12. Metode Gumbell	48
Tabel 4.13. Metode Log Normal.....	48
Tabel 4.14. Nilai hasil dari grafik	50
Tabel 4.15. Hasil analisa kala ulang gelombang dari arah tenggara.....	50
Tabel 4.16. Hasil analisa kala ulang periode dari arah tenggara.....	51
Tabel 4.17. Hasil analisa kala ulang gelombang dari arah selatan.....	51
Tabel 4.18. Hasil analisa kala ulang periode dari arah selatan	52
Tabel 4.19. Hasil analisa kala ulang gelombang dari arah barat daya	52
Tabel 4.20. Hasil analisa kala ulang periode dari arah barat daya.....	52
Tabel 4.21. Analisa kala ulang dari LPPM ITS	53
Tabel 4.22. Spesifikasi breakwater pada kolam labuh PLTU Pacitan	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Permasalahan

Pembangkit Listrik Tenaga Uap Sudimoro Pacitan merupakan salah satu PLTU yang terletak di pantai selatan dengan luas lahan 65 ha, tepatnya terletak di desa Sukorejo, kecamatan Sudimoro, sekitar 30 km arah timur dari kota Pacitan, Provinsi Jawa Timur, Indonesia.



Gambar 1.1. Lokasi *breakwater* PLTU Sudimoro Pacitan

(Sumber: www.google.co.id/maps)

Pembangunan PLTU ini dimulai sejak tahun 2007 dan berkapasitas 2 x 315 MW untuk daerah Jawa Tengah dan Jawa Timur. Pembangkit listrik di wilayah Pacitan Timur ini dibangun juga untuk menunjang program diversifikasi energi

untuk pembangkit tenaga listrik ke non bahan bakar minyak (BBM) dengan memanfaatkan batubara berkalori rendah. PLTU Sudimoro diharapkan menjadi barometer dan juga pusat listrik yang menjadi cadangan energi di Indonesia. Hal ini menjadi penting mengingat saat ini kebutuhan listrik semakin banyak, sementara pusat pembangkit listrik di Indonesia semakin sedikit



Gambar 1.2. Bagian *breakwater* yang mengalami kerusakan

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Sudimoro Pacitan mempunyai *breakwater* yang berfungsi melindungi kolam labuh yang digunakan bersandar kapal untuk bongkar muat batubara. *Breakwater* yang digunakan untuk pelindung kolam labuh mengalami kerusakan susunan, maka dibutuhkan penanganan lebih lanjut supaya tidak mengganggu sistem di PLTU Sudimoro Pacitan.

Penelitian terkait kurang efektifnya suatu bangunan pelindung pantai sudah banyak dilakukan. (Widiyanto, 2004) menganalisa efektifitas *breakwater* di pangkalan pendaratan ikan (PPI) Puger, Jember menggunakan bantuan software SMS (Surface Water Modelling System) mendapatkan hasil reduksi 0,321 tinggi

gelombang di mulut alur dengan layout breakwater modifikasi. Penelitian terkait bangunan perlindungan pantai juga pernah dilakukan (Cempaka, 2012) tentang Perencanaan pemecah gelombang pelabuhan perikanan pondok minbo Situbondo didapatkan berat *armour* jenis batu pecah 1,8 ton.

Sistem manajemen PLTU Pacitan mengharapkan tidak hanya menambah jumlah volume *breakwater*, akan tetapi dibutuhkan perhitungan lebih detail agar breakwater menjadi lebih kuat dan aman. Berdasarkan permasalahan kerusakan susunan di *breakwater* PLTU Sudimoro, perlu adanya evaluasi kembali terkait besarnya gelombang disekitar *breakwater*, tinggi gelombang yang menghantam *breakwater*, dan juga berat *armour* penyusun *breakwater* yang akan digunakan. Oleh karena itu tugas akhir ini akan membahas tentang analisis breakwater di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Sudimoro Pacitan. Analisis gelombang pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pemodelan *software* CGWAVE SMS.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah yang diambil dalam tugas akhir ini adalah :

1. Berapa tinggi gelombang disekitar *breakwater* PLTU Sudimoro Pacitan ?
2. Berapa tinggi gelombang yang menghantam *breakwater* PLTU Sudimoro Pacitan ?
3. Apa tipe dan berat *armour* unit yang digunakan supaya breakwater tidak mengalami kerusakan susunan lagi ?

1.3. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui tinggi gelombang disekitar *breakwater* PLTU Sudimoro Pacitan
2. Mengetahui tinggi gelombang yang menghantam *breakwater* PLTU Sudimoro Pacitan
3. Mengetahui tipe dan berat *armour* unit untuk *breakwater* supaya tidak mengalami kerusakan susunan.

1.4. Manfaat

Manfaat dari penulisan tugas akhir ini yaitu untuk mencari penyebab rusaknya susunan *breakwater* dan memberikan salah satu solusi untuk mengatasi kerusakan susunan *breakwater* yang ada di PLTU Pacitan. Sehingga ombak besar yang ada dipantai selatan tidak mengganggu proses yang ada di kolam labuh PLTU Pacitan.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

- a. Rencana anggaran biaya (RAB) tidak diperhitungkan
- b. Data lingkungan yang digunakan merupakan data sekunder
- c. Lokasi analisa yaitu *breakwater* PLTU Sudimoro Pacitan
- d. Pemodelan gelombang menggunakan software CGWAVE SMS
- e. Analisis gelombang di sekitar *breakwater* dan di *breakwater*
- f. *Settlement* dan *Scouring* diabaikan
- g. Analisa berat *armour* menggunakan rumus Hudson.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

1.1. Tinjauan Pustaka

Banyak permasalahan yang terdapat di pelabuhan salah satunya yaitu bangunan perlindungan pantai. Bangunan perlindungan pantai yang sering digunakan yaitu *breakwater*, *breakwater* atau pemecah gelombang berfungsi untuk melindungi kolam labuh dari serangan gelombang (Triatmodjo, 2002) sehingga kapal bisa bersandar di *jetty* dengan mudah.

Breakwater adalah struktur yang dirancang untuk melindungi daerah sepanjang garis pantai dari hempasan gelombang laut. Biasanya dibangun secara paralel terhadap pantai dan berada di lepas pantai pada jarak tertentu (CERC,SPM,Vol 1, 1984). Konstruksi ini dirancang untuk melindungi dermaga atau daerah pantai yang tidak dikehendaki terjadi erosi. Biasanya dibangun berupa *rubble mound*, struktur beton, *sheet -piling* dan sebagainya, atau dapat juga berupa struktur *floating*.

Penelitian terkait kurang efektifnya suatu bangunan pelindung pantai sudah banyak dilakukan. (Widiyanto, 2004) menganalisa efektifitas *breakwater* di pangkalan pendaratan ikan (PPI) Puger, Jember menggunakan bantuan software SMS (Surface Water Modelling System) mendapatkan hasil reduksi 0,321 tinggi gelombang di mulut alur dengan layout *breakwater* modifikasi. Penelitian terkait bangunan perlindungan pantai juga pernah dilakukan (Cempaka, 2012) tentang Perencanaan pemecah gelombang pelabuhan perikanan pondok minbo Situbondo didapatkan berat *armour* jenis batu pecah 1,8 ton.

Salah satu cara untuk mengatasi gelombang yang besar adalah dengan membangun *breakwater*, dalam pembangunan *breakwater* perlu adanya analisa yang mendalam sehingga bisa optimal sebagaimana fungsinya. Pantai selatan terkenal dengan keganasan gelombangnya, pembangunan *breakwater* di PLTU Sudimoro Pacitan belum efektif karena terdapat kerusakan susunan di *breakwater*. Sehingga, saat gelombang besar menghantam *breakwater* terjadi *run-up dan overtopping* gelombang yang mengakibatkan perairan kolam labuh tidak tenang.

Berdasarkan permasalahan kerusakan susunan di *breakwater* PLTU Sudimoro, perlu adanya evaluasi kembali terkait besarnya gelombang disekitar *breakwater*, tinggi gelombang menghantam *breakwater*, dan juga berat dan tipe *armour* penyusun *breakwater* yang akan digunakan. Oleh karena itu tugas akhir ini akan membahas tentang analisis breakwater di Pembangkit Listrik Tenaga Uap Sudimoro Pacitan. Pemodelan gelombang pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pemodelan software CGWAVE SMS.

1.2. Dasar Teori

2.1.1 Pemecah Gelombang

Pemecah gelombang adalah bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah perairan pelabuhan dari serangan gelombang (Triatmodjo, 2002). Bangunan ini memisahkan daerah perairan dari laut bebas, sehingga perairan pelabuhan tidak banyak dipengaruhi oleh gelombang besar dari laut. Daerah perairan dihubungkan dengan laut oleh mulut pelabuhan dengan lebar tertentu, dan kapal keluar/masuk pelabuhan melalui mulut pelabuhan tersebut. Dengan adanya pemecah gelombang, daerah perairan pelabuhan menjadi lebih tenang dan kapal bisa melakukan bongkar muat dengan mudah.

Breakwater adalah struktur yang dirancang untuk melindungi daerah sepanjang garis pantai dari hempasan gelombang laut. Biasanya dibangun secara paralel terhadap pantai dan berada di lepas pantai pada jarak tertentu (CERC,SPM,Vol 1, 1984). Konstruksi ini dirancang untuk melindungi dermaga atau daerah pantai yang tidak dikehendaki terjadi erosi. Biasanya dibangun berupa *rubble mound*, struktur beton, *sheet -piling* dan sebagainya, atau dapat juga berupa struktur *floating*. Ada dua jenis *breakwater* yang biasa di bangun, yaitu *Shore-connected Breakwater* dan *offshore breakwater*. *Shore-connected Breakwater* dicirikan bahwa struktur ini berhubungan langsung dengan daratan. Sedangkan *offshore breakwater* sebaliknya tidak berhubungan secara fisik dengan daratan, keduanya hampir dapat dipastikan mempunyai kesamaan dalam kegunaanya. Pada dasarnya *breakwater* beroperasi dengan mereduksi energi yang menyertai terjadinya gelombang di pantai. Struktur tersebut memantulkan

gelombang dan memindahkan energi gelombang dalam bentuk difraksi gelombang setelah tumbukan (CERC, SPM Vol 1, 1984).

Hasil reduksi energi gelombang ini akan mengurangi pula perpindahan sedimen ke lepas pantai yang diakibatkan oleh pengaruh gelombang. Dengan demikian sedimen akan dipindahkan dari daerah tersebut hanya pada arah sejajar garis pantai atau akan mengumpul dibalik struktur akan semakin besar. Sedimen yang menendap dibalik struktur ini akan membentuk tembolo.

Jenis – jenis material penyusun *vertikal wall breakwater* terbuat dari :

1. Balok beton (*concrete block*)
2. *Concrete / steel caissons*
3. *Rock fill – steel sheet pile cell.*
4. *Rock fill timber crib.*
5. *Perforated concrete crib*
6. *Concrete atau steel sheet – pile walls.*
7. *Concrete block.*

Perlindungan kawasan pantai maupun pelabuhan dengan menggunakan konstruksi *breakwater* harus mempertimbangkan kondisi dimana *breakwater* tersebut ditempatkan. Ditinjau dari bentuk penampang melintangnya, *breakwater* dapat dibedakan menjadi tiga kelompok (Triatmodjo, 1999) yaitu:

1. Pemecah gelombang dengan sisi miring
2. Pemecah gelombang dengan sisi tegak
3. Pemecah gelombang bertipe campuran.

2.1.2 Konversi Data Angin ke Gelombang

Dari data angin yang diperoleh kemudian akan digunakan untuk mendapatkan data gelombang yang terjadi. Gelombang diasumsikan oleh adanya angin yang berhembus dengan jarak fetch tertentu. Parameter tinggi

gelombang H dan periode gelombang T kemudian dapat digunakan sebagai inputan pemodelan menggunakan software SMS.

Tahap awal untuk mendapatkan parameter H dan T adalah dengan membuat data angin menjadi mawar angin sehingga dapat diketahui arah dan kecepatan yang terjadi. Kemudian diketahui panjang fetch yang terjadi. Fetch merupakan daerah hembusan angin yang terjadi pada suatu perairan. Fetch rerata efektif diberikan oleh persamaan berikut (Triatmodjo, 1999).

$$F_{\text{eff}} = \frac{\sum X_i \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i} \dots\dots\dots (1)$$

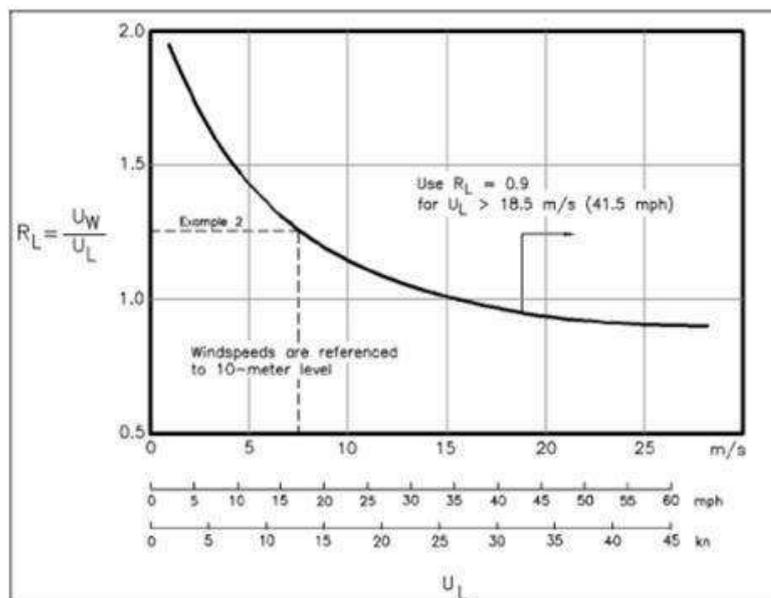
Dengan :

F_{eff} = fetch efektif

X_i = panjang garis fetch (Km)

$\cos \alpha$ = deviasi pada kedua sisi dari arah angin, dengan menggunakan pertambahan 6° sampai sudut sebesar 42° pada kedua sisi dari arah angin.

Kemudian dengan menggunakan grafik hubungan antara kecepatan angin di laut dan di darat, akan di dapatkan nilai U_w angin berikut:



Gambar 2.1. Grafik hubungan kecepatan angin di laut dan di darat
(Sumber: Triatmodjo, 1999)

Dengan:

RL = koreksi terhadap pencatan angin yang dilakukan di darat

UW = kecepatan angin di ukur di darat dekat laut

UL = kecepatan angin di ukur di darat

Dalam peramalan gelombang maka kecepatan angin tersebut harus diubah ke dalam Wind Stress Faktor, U_A , dengan menggunakan formulasi pada persamaan berikut ini.

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

dengan:

U = kecepatan angin (m/second)

U_A = wind stress factor

Tinggi gelombang signifikan (H_S), periode signifikan (T_S) didapatkan dengan cara memasukkan nilai wind stress factor, U_A , panjang fetch efektif (F_{eff}) pada grafik SPM (Shore Protection Manual) atau dengan memasukkan nilai-nilai tersebut kedalam formulasi persamaan forecasting gelombang laut dalam berikut ini yang merupakan formulasi pendekatan dari grafik menurut SPM, 1984 vol. 1 sebagai berikut.

$$H_0 = 5.112 \times 10^{-4} U_A F^{1/2} \dots\dots\dots (3)$$

$$T_0 = 6.238 \times 10^{-2} \times (U_A \times F)^{0.3} \dots\dots\dots (4)$$

$$H_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^n H^2} \dots\dots\dots (5)$$

$$H_{1/3} = 1.42 H_{rms} \dots\dots\dots (6)$$

Dengan :

H_o = tinggi gelombang laut dalam (m)

T_o = periode gelombang laut dalam (s)

F = Fetch efektif (m)

U_A = Faktor tegangan angin

H_{rms} = H root mean square (m)

H_s = tinggi gelombang signifikan

2.1.3 Analisis Kala Ulang

Frekuensi gelombang-gelombang besar merupakan factor yang mempengaruhi perencanaan bangunan pantai. Untuk menetapkan gelombang dengan periode ulang tertentu dibutuhkan data gelombang dalam jangka waktu pengukuran cukup panjang (beberapa tahun). Data tersebut bisa berupa data pengukuran gelombang atau data gelombang hasil prediksi (peramalan) berdasarkan data angin.

Dari setiap tahun pencatatan dapat ditentukan gelombang representatif, seperti H_s , H_{10} , H_{maks} dan sebagainya. Berdasarkan data representatif untuk beberapa tahun pengamatan dapat diperkirakan gelombang yang diharapkan disamai atau dilampaui satu kali dalam T tahun, dan gelombang tersebut dikenal dengan gelombang periode ulang T tahun atau gelombang T tahunan. Misalkan apabila $T = 30$, gelombang yang diperkirakan adalah gelombang 30 tahunan atau gelombang dengan periode ulang 30 tahun, artinya bahwa gelombang tersebut diharapkan disamai atau dilampaui rata – rata sekali dalam 30 tahun. Hal ini berarti bahwa gelombang 30 tahunan hanya akan terjadi satu kali dalam setiap periode 30 tahun yang berurutan; melainkan diperkirakan bahwa gelombang tersebut jika dilampaui k kali dalam periode panjang M tahun akan mempunyai nilai k/M yang kira – kira sama dengan $1/30$.

Ekstrapolasi adalah proses memperkirakan, di luar jangkauan pengamatan asli, nilai variabel atas dasar hubungannya dengan variabel lain. Hal ini mirip dengan interpolasi, yang menghasilkan perkiraan antara pengamatan yang

diketahui, namun ekstrapolasi cenderung pada ketidakpastian yang lebih besar dan risiko yang lebih tinggi menghasilkan hasil yang tidak berarti. Ekstrapolasi juga berarti perpanjangan metode, dengan asumsi metode yang serupa akan berlaku. Rumus untuk mencari P (*The exceedence probability*) dengan menggunakan konstanta pada tabel 2.2.

$$Q = \frac{i-c1}{N+c2} \dots\dots\dots(7)$$

Dengan :

- i : peringkat data
- N : jumlah data
- c1 dan c2 : nilai konstanta

Tabel 2.1. Konstanta Nilai c1 dan c2

Distribution	c1	c2
Normal	0.375	0.375
Log Normal	0.25	0.125
Gumbel	0.44	0.12
Weibull	0.2 + 0.27/α	0.2 + 0.23/α

Dalam tabel 2.2 dapat dilihat persamaan untuk menentukan nilai S_H , $S_{\ln H}$, γ , dan β yang didapatkan nilai A dan B dari hasil grafik perhitungan.

Tabel 2.2. Distribusi Model

Model	Equation	Y	X	A	B
Normal	$P = \Phi\left(\frac{H - \bar{H}}{s_H}\right)$	$\Phi^{-1}(P)=Z$	H	$\frac{l}{s_H}$	$\frac{\bar{H}}{s_H}$
Log-Normal	$P = \Phi\left(\frac{\ln H - \ln \bar{H}}{s_{\ln H}}\right)$	$\Phi^{-1}(P)=Z$	$\ln H$	$\frac{l}{s_{\ln H}}$	$\frac{\ln \bar{H}}{s_{\ln H}}$
Gumbel	$P = \exp\left(-\exp\left(-\frac{H - \gamma}{\beta}\right)\right)$	$-\ln\left(\ln \frac{l}{P}\right)$	H	$\frac{l}{\beta}$	$-\frac{\gamma}{\beta}$
Weibull	$Q = \exp\left(-\left\{\frac{H - \gamma}{\beta}\right\}^\alpha\right)$	$\left(\ln \frac{l}{Q}\right)^{1/\alpha}$	H	$\frac{l}{\beta}$	$\frac{\gamma}{\beta}$

$$P = 1 - Q \dots\dots\dots(8)$$

Persamaan untuk mencari H_{TR} untuk distribusi normal adalah

$$H_{TR} = \bar{H} + S_H \Phi^{-1}(P) = \bar{H} + S_H \Phi^{-1}\left(1 - \frac{1}{\lambda T_R}\right) \dots\dots\dots(9)$$

Persamaan untuk mencari H_{TR} untuk distribusi log normal adalah

$$H_{TR} = e^{\left(\ln \bar{H} + S_{\ln H} \Phi^{-1}\left(1 - \frac{1}{\lambda T_R}\right)\right)} \dots\dots\dots(10)$$

Persamaan untuk mencari H_{TR} untuk distribusi Gumbel adalah

$$H_{TR} = \gamma - \beta \ln \left[\ln \frac{1}{P} \right] = \gamma - \beta \ln \left[\ln \left\{ \frac{\lambda T_R}{\lambda T_R - 1} \right\} \right] \dots\dots\dots(11)$$

Persamaan untuk mencari H_{TR} untuk distribusi weibull adalah

$$H_{TR} = \gamma + \beta \ln \left[\ln \frac{1}{Q} \right]^{1/\alpha} = \gamma + \beta [\ln \{ \lambda T_R \}]^{1/\alpha} \dots\dots\dots(12)$$

Dimana H_{TR} adalah tinggi gelombang untuk periode ulang, \bar{H} adalah tinggi gelombang rata-rata, S_H adalah deviasi standar tinggi gelombang, T_R adalah kala ulang, α adalah parameter dalam distribusi Weibull, β dan γ adalah parameter dalam distribusi Weibull dan Gumbel, dan λ adalah jumlah kejadian per tahun.

2.2.4. Perambatan Gelombang

Di laut dalam karakteristik gelombang tidak terpengaruh oleh kedalaman akan tetapi lebih sebagai fungsi dari kecepatan angin. Gesekan antara angin dan air laut menimbulkan gelombang (*swell*). Hubungan besaran-besaran pada laut dalam (Triatmodjo, 1999) sebagai berikut:

$$L_0 \frac{g^2 T}{2\eta} = C \dots\dots\dots(13)$$

dengan :

L_0 = panjang gelombang dilaut dalam

T = periode gelombang

C_0 = cepat rambat dilaut dalam

η = Fluktuasi muka air terhadap muka air diam

Didalam perambatannya menuju pantai kedalaman semakin berkurang yang menyebabkan kecepatan gerak gelombang semakin berkurang. Apabila arah gelombang relatif miring terhadap dari pada garis-garis kontur kedalaman akan terjadi refraksi, yaitu pembelokan arah gelombang. Antara *shoaling* dan refraksi saling berpasangan. Persamaan gerak gelombang :

Untuk laut dangkal ($25d < L$) maka:

$$L = T \sqrt{gd} C \dots\dots\dots(14)$$

Untuk laut transisi ($25d < L < 2d$) maka:

$$L = \frac{g^2 T}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \dots\dots\dots(15)$$

Di dalam perambatannya, gelombang mengalami pecah di laut dalam atau dangkal, sesuai dengan persamaan berikut:

$$\frac{H}{L} = \frac{1}{7} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \dots\dots\dots(16)$$

persamaan tersebut bisa disederhanakan jika untuk laut dalam:

$$\frac{H}{L} = \frac{1}{7} \dots\dots\dots(17)$$

dan untuk laut dangkal disederhanakan sebagai berikut:

$$\frac{H}{L} = \frac{12\pi d}{7L} \dots\dots\dots(18)$$

Dengan :

D = kedalaman laut

C = cepat rambat dilaut dangkal

H = panjang gelombang dilaut dangkal

Run-up yaitu perjalanan gelombang pada kemiringan struktur. Tingginya *run-up* tergantung dari bentuk struktur, kekasaran, kedalaman struktur, kemiringan topografi di dasar laut, di depan struktur dan karakteristik gelombang yang datang.

2.2.4.1. Kondisi Gelombang Pada Kedalaman Air di Rencana Lokasi

Teori gelombang linier yang menjadi dasar dalam menganalisa distribusi gelombang. Keterangan yang paling mendasar dari gelombang sinusoidal yang menjadi acuan dari teori gelombang ini adalah gelombang panjang (L), tinggi gelombang (H), periode (T) dan kedalaman air (d). Diselidiki kondisi gelombang pada kedalaman air di rencana lokasi pemecah gelombang, yaitu apakah gelombang pecah atau tidak. Dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$d/L_o \dots\dots\dots(19)$$

Dengan :

- d = kedalaman dasar laut
- L_o = panjang gelombang

Untuk nilai d/L_o dari tabel L-1 buku Teknik Pantai (Triatmodjo, 1999).

2.2.4.2. Gelombang Laut Dalam Ekuivalen

Analisis transformasi gelombang sering dilakukan dengan konsep gelombang laut dalam ekuivalen, yaitu tinggi gelombang di laut dalam apabila gelombang tidak mengalami refraksi. Pemakaian gelombang ini bertujuan untuk menetapkan tinggi gelombang yang mengalami refraksi, difraksi dan transformasi lainnya, sehingga perkiraan transformasi dan deformasi gelombang dapat dilakukan dengan lebih mudah. Tinggi gelombang laut dalam ekuivalen diberikan oleh bentuk :

$$H'_0 = K' K_r H_0 \dots\dots\dots(20)$$

Dengan :

- H'₀ = tinggi gelombang laut dalam ekuivalen

H_0 = tinggi gelombang laut dalam

K' = koefisien difraksi

K_r = koefisien refraksi

Konsep tinggi gelombang laut dalam ekivalen ini digunakan dalam analisis gelombang pecah, limpasan gelombang dan proses lain.

2.2.4.3. Pendangkalan Gelombang (wave shoaling)

Jika suatu gelombang menuju perairan dangkal, maka terjadi perubahan karakteristik gelombang yang meliputi perubahan tinggi, panjang dan kecepatan gelombang. Proses pendangkalan gelombang (shoaling) adalah proses berkurangnya tinggi gelombang akibat perubahan kedalaman. Kecepatan gerak gelombang juga berkurang seiring dengan pengurangan kedalaman dasar laut, sehingga menyebabkan puncak gelombang yang ada di air dangkal bergerak lebih lambat dibandingkan puncak gelombang yang berada di perairan yang lebih dalam.

Koefisien Shoaling dapat dituliskan dalam bentuk :

$$K_s = \sqrt{\frac{C}{2g} \left[\frac{16}{n} \right]^{-1/4} \frac{L}{L_0}} \quad \text{Atau}$$
$$K_s = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{n L}} \dots\dots\dots (21)$$

Dengan :

n_0 = 0,5 (di dalam laut)

K_s = koefisien shoaling

(diperoleh dari tabel L-1 buku Teknik Pantai-Triatmodjo 1999).

Maka tinggi gelombang pada kedalaman H_0 akibat adanya refraksi dan shoaling adalah :

$$H = K_s \cdot K_r \cdot H_o \dots\dots\dots (22)$$

Dengan :

K_s = koefisien Shoaling

K_r = koefisien Refraksi

H_o = tinggi gelombang di laut dalam.

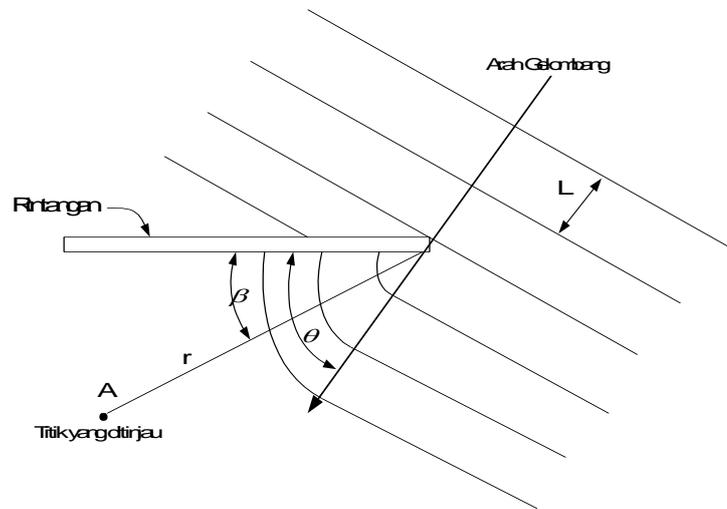
2.2.4.5. Difraksi Gelombang

Apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang atau pulau, maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung di belakangnya. Difraksi terjadi ketika terdapat perbedaan energi gelombang yang tajam di sepanjang puncak gelombang. Pada awalnya kondisi di daerah yang terlindung penghalang cukup tenang (tidak terdapat gelombang), saat gelombang melintasi penghalang. Perairan yang jauh dari penghalang akan memiliki energi lebih banyak (energi gelombang awal) dibandingkan perairan di belakang penghalang yang semula tenang (tidak ada energi karena tidak ada gelombang), terjadilah proses pemindahan energi di panjang puncak gelombang tersebut ke arah daerah yang terlindung bangunan pantai.

Transfer energi ke daerah terlindung menyebabkan terbentuknya gelombang di daerah tersebut, meskipun tidak sebesar gelombang di luar daerah terlindung. Garis puncak gelombang di belakang rintangan membelok dan mempunyai bentuk busur lingkaran dengan pusatnya pada ujung rintangan. Dianggap bahwa kedalaman air adalah konstan. Apabila tidak maka selain difraksi juga terjadi refraksi gelombang. Biasanya tinggi gelombang berkurang di sepanjang puncak gelombang menuju daerah terlindung.

Ketika gelombang berjalan melewati sebuah struktur maka akan terjadi transfer energi gelombang sejalan dengan puncak gelombang ke balik struktur gambar (2.2). Konsentrasi densitas energi akan menuju periode gelombang yang lebih tinggi dari spektrum. Dengan menentukan K_D untuk jarak dari periode gelombang dan arah, salah satu dapat mengevaluasi

karakteristik dari spektrum gelombang di suatu titik di daerah yang terlindung oleh struktur pantai guna perencanaan bangunan peredam gelombang.



Gambar 2.2. Difraksi gelombang di belakang rintangan

(Sumber: Triatmodjo, 1999).

Tinggi gelombang di suatu tempat di daerah terlindung tergantung pada jarak titik tersebut terhadap ujung rintangan r , sudut antar rintangan dan garis yang menghubungkan titik tersebut dengan ujung rintangan β , dan sudut antara arah penjalaran gelombang dan rintangan θ , dan perbandingan antara tinggi gelombang di titik yang terletak di daerah terlindung dan tinggi gelombang datang (r/L) disebut koefisien difraksi K_d .

$$H_A = K_d \cdot H_P \dots\dots\dots(23)$$

2.2.4.6. Refleksi Gelombang

Refleksi gelombang adalah pemantulan gelombang baik itu dipantulkan sebagian ataupun seluruhnya, refleksi disebabkan karena gelombang yang datang mengenai ataupun membentur suatu rintangan. Refleksi gelombang di dalam pelabuhan akan menyebabkan ketidak tenang di dalam perairan pelabuhan. Suatu bangunan yang mempunyai sisi miring dan terbuat dari tumpukan batu akan bisa menyerap energi gelombang lebih banyak dibandingkan bangunan tegak dan masif. Apabila refleksi sempurna maka

koefisien refleksi (X) = 1, gelombang dengan tinggi gelombang H_i menurut teori gelombang amplitudo kecil fluktuasi muka air yang datang adalah :

$$\eta = H_i \cos kx \cos \sigma t \dots\dots\dots(24)$$

Persamaan diatas menunjukkan fluktuasi muka air dari gelombang berdiri (*standing wave* atau *clapotis*) yang periodik terhadap waktu (t) dan terhadap jarak (x). Apabila $\cos kx = \cos \sigma t = 1$ maka tinggi maksimum adalah $2H_i$, yang berarti bahwa tinggi gelombang didepan bangunan vertikal bisa mencapai dua kali tinggi gelombang datang.

2.2.5 Perencanaan Dimensi Breakwater

Pemecah gelombang tumpukan batu (*Rubble mount breakwater*) yaitu suatu struktur yang terdiri dari lapisan bawah (*bedding layer*) dan inti(*core*) yang terdiri batu pecah (*quarry stone*) yang ditutupi satu atau dua lebih lapisan batu yang lebih besar, bisa batu pecah atau cetakan beton (*concrete armour unit*). Ada beberapa pertimbangan penting dalam perencanaan *breakwater*

2.2.5.1 Penentuan elevasi puncak breakwater

Penentuan elevasi puncak pemecah gelombang sangat tergantung pada tinggi muka air maksimum, tinggi gelombang rencana pada lokasi *breakwater*, *wave run-up* dan *overtopping*. *Wave run-up* adalah peristiwa merayap / melompatnya gelombang sepanjang tepi struktur tersebut. Adapun tinggi rayapan tersebut tergantung pada bentuk struktur, kekasaran permukaan kedalaman ujung bawah *brekwater*, karakteristik gelombang datang, bila gelombang yang mengenai breakwater adalah gelombang pecah.

Elevasi puncak breakwater dengan memperhitungkan tinggi kebebasan 0.5 meter adalah :

$E_{\text{pemecah gelombang}} = \text{HWL} + \text{tinggi kebebasan}$

Dari elevasi puncak gelombang, maka dapat dihitung tingginya pemecah gelombang yaitu dengan persamaan:

$H_{\text{pemecah gelombang}} = E_{\text{pemecah gelombang}} + E_{\text{dasar laut}}$

2.2.5.2 Berat butir lapis pelindung

Stabilitas *breakwater* tergantung berat satuan dan bentuk dari masing-masing batu pelindung. Hal ini karena *breakwater* merupakan struktur gravitasi, yaitu struktur yang bekerja berdasarkan beratnya sendiri. Syarat perluasan ke bawah ke arah kaki struktur berdasarkan pada kedalaman air relatif terhadap tinggi gelombang. Oleh karena itu instabilitas dapat terjadi pada perpotongan antara lapisan dan sediman (Bagian bawah konstruksi) dan dapat pula dimulai pada ujung lapisan puncak. Untuk *breakwater* type *rouble mound* yang terdiri dari batuan-batuan yang disusun bertumpuk yang memungkinkan batuan-batuan ini akan dapat terlepas dari susunannya. Untuk mencegah adanya hal ini maka bidang datar pemecah gelombang harus cukup lebar. Lebar puncak pemecah gelombang ditentukan berdasarkan jumlah *armour* unit yang akan diletakkan pada puncaknya untuk $n=3$ (minimum) (SPM Vol 2, 1984). Berat batu lapis pelindung dihitung dengan rumus Hudson berikut ini:

$$W = \frac{\gamma_r(H)^3}{K_D(S_r - 1)^3 \cot \theta} ; S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_a} \dots\dots\dots (25)$$

dengan :

- W = berat rerata butir batu (ton)
- γ_r = berat jenis batu (ton/m³)
- H = tinggi gelombang rencana (m)
- S_r = perbandingan antara berat jenis batu dan berat jenis air laut

Dalam menghitung berat butir *armour* besarnya nilai K_D berpengaruh terhadap besar kecilnya berat butir *armour*. Nilai K_D berbeda tergantung dengan tipe *rubblemound*, jumlah lapisan (*layer*), cara penempatan (pemasangan di lapangan), penempatan (lengan atau kepala, gelombang pecah atau tidak, kemiringan. Pada tabel 2.3 koefisien stabilitas K_D sesuai dengan tipe *rubble mound*.

Tabel 2.3. Koefisien stabilitas K_D untuk berbagai macam butir

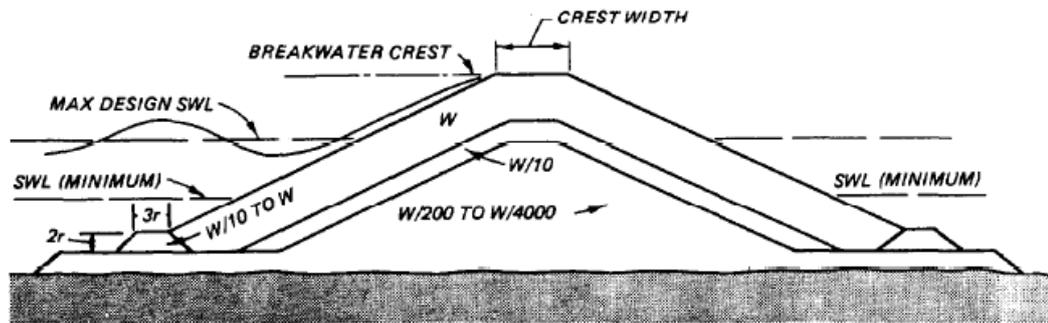
(Sumber: Army Corps of Engineers, 1986)

Lapis lindung	n	Penempatan	Lengan Bangunan		Ujung (kepala) Bangunan		Kemiringan Cot θ
			K_D		K_D		
			Gelomb. Pecah	Gelomb. Tidak Pecah	Gelomb. Pecah	Gelomb. Tidak Pecah	
Batu pecah							
Bulat halus	2	Acak	1,2	2,4	1,1	1,9	1,5-3,0
Bulat halus	>3	Acak	1,6	3,2	1,4	2,3	* ²
Bersudut kasar	1	Acak	* ¹	2,9	* ¹	2,3	* ²
Bersudut kasar	2	Acak	2,0	4,0	1,9	3,2	1,5
					1,6	2,8	2,0
					1,3	2,3	3,0
Bersudut kasar	>3	Acak	2,2	4,5	2,1	4,2	* ²
Bersudut kasar	2	Khusus ^{*3}	5,8	7,0	5,3	6,4	* ²
Paralelepipedum	2	Khusus	7,0-20,0	8,5-24,0	-	-	
Tetrapod dan Quadripod	2	Acak	7,0	8,0	5,0	6,0	1,5
					4,5	5,5	2,0
					3,5	4,0	3,0
Tribar	2	Acak	9,0	10,0	8,3	9,0	1,5
					7,8	8,5	2,0
					6,0	6,5	3,0
Dolos	2	Acak	15,8	31,8	8,0	16,0	2,0
					7,0	14,0	3,0
Kubus modifikasi	2	Acak	6,5	7,5	-	5,0	* ²
Hexapod	2	Acak	8,0	9,5	5,0	7,0	* ²
Tribar	1	Seragam	12,0	15,0	7,5	9,5	* ²

*1 : penggunaan n=1 tidak disarankan untuk kondisi gelombang pecah

*2 : sampai ada ketentuan lebih lanjut tentang nilai K_D , penggunaan K_D dibatasi pada kemiringan 1:1,5 sampai 1:3

*3 : batu ditempatkan dengan sumbu panjangnya tegak lurus permukaan bangunan



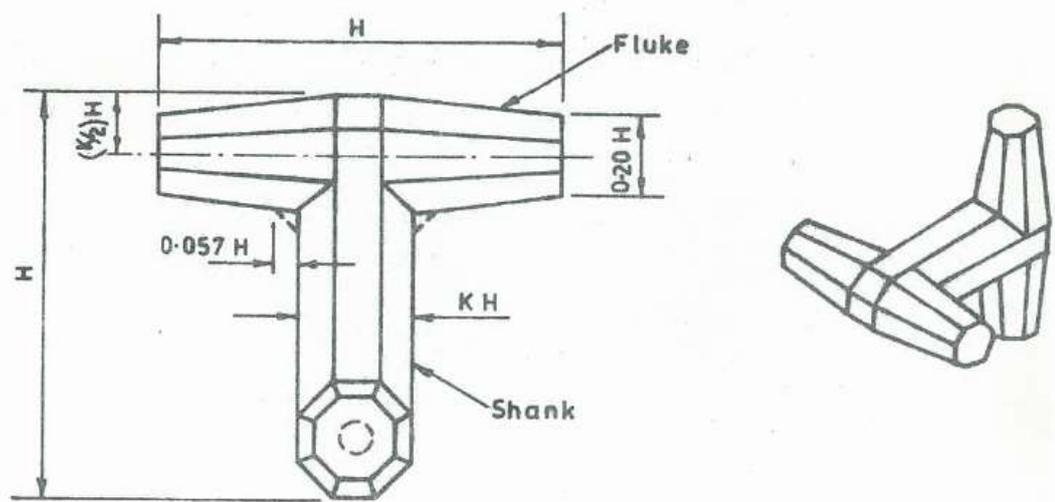
Gambar 2.3. Berat rubble mound sesuai dengan lapisan

(Sumber: Army Corps of Engineers, 1986)

2.2.6. Jenis Batu Pelindung

2.2.6.1 Dolos

Saat mendesain struktur perlindungan pantai di daerah dengan gelombang yang besar maka menggunakan *armour* unit supaya biayanya lebih terjangkau. Sejak diperkenalkan jenis *armour* unit dengan jumlah banyak berbentuk khusus pada tahun 1950 yaitu Tetrapod, *concrete armour* unit dikembangkan dan yang baru-baru yaitu Dolos. Dolos ini didesain dan dikembangkan pada tahun 1965 oleh E.M. Merrieffield, System Engineer, South African Railways, Harbours Administration, East London.



Gambar 2.4. Armour tipe dolos

(Sumber: E.J. Silva, D.N. Foster, 1974)

2.2.6.2 BPPT-lock

BPPT-lock didesain sejak tahun 2009 dan telah diuji stabilitas hidraulik dan kekuatan strukturnya. Pengujian stabilitas hidraulik dilaksanakan untuk menentukan nilai stabilitas hidraulik. Pengujian dilaksanakan secara mandiri dan dengan membandingkan performanya dengan unit lapis lindung yang sudah ada (*existing*) baik yang bertipe lapis ganda maupun lapis tunggal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa BPPT-lock terbukti lebih unggul dan memiliki koefisien stabilitas hidraulik (KD) yang lebih tinggi. Pengujian kekuatan struktur dilaksanakan untuk menjamin kekuatan struktur BPPT-lock dan telah dilaksanakan dengan metode FEM, dimana hasilnya BPPT-lock cukup kuat secara struktur.

a. Stabilitas Hidraulik

Dengan merujuk formula Hudson, nilai Koefisien Stabilitas Hidraulik (KD) BPPT-lock yang cukup tinggi, sebagai berikut:

- 17 untuk bagian badan (*trunk*) breakwater
- 13 untuk bagian kepala (*head*) breakwater

b. Kekuatan Struktur

Kekuatan struktur BPPT-lock lebih dari cukup untuk menerima gaya yang terutama berasal dari serangan gelombang laut. Uji kekuatan struktur menggunakan FEM telah dilaksanakan pada beberapa posisi; berdiri, tegak, menggantung, miring, bertumpu pada hidung, dll.

c. Keuntungan dari Segi Ekonomi

1. Kebutuhan Beton Sedikit

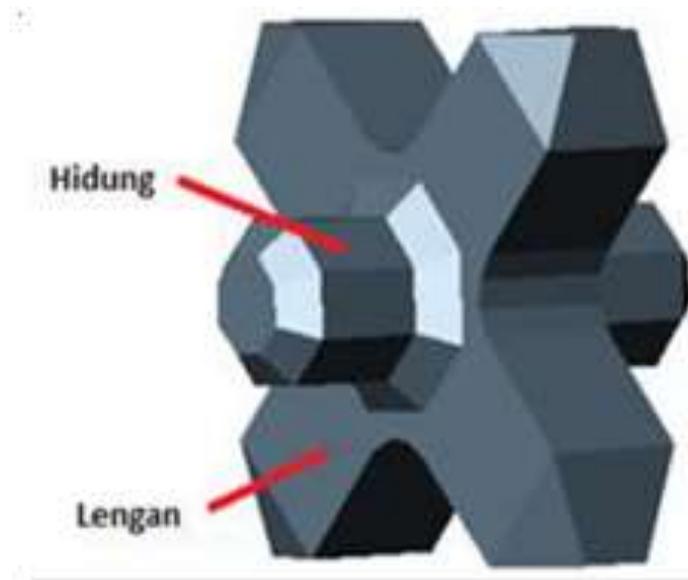
Bertipe lapis tunggal, sehingga cukup satu lapis saja dalam menutup breakwater. Memiliki KD yang besar, sehingga dimensi BPPT-lock relatif lebih kecil dibanding unit lapis lindung yang sudah ada (*existing*).

2. Mudah dalam Pembuatan

Rangka Besi pengecoran (*Bekisting*) hanya terdiri atas dua bagian simetris. Sistem mur-baut *bekisting* sederhana dan mudah.

3. Mudah dalam Pemasangan di Pantai

BPPT-lock dapat dipasang di pantai secara acak (random). Untuk ketahanan yang jauh lebih baik dapat dipasang dengan pengaturan sederhana.



Gambar 2.5. Armour tipe BPPT-lock

(Sumber: Balai Pengkajian Dinamika Pantai-BPPT)

Berikut adalah perbandingan Karakteristik dan Penggunaan BPPT-lock, Tetrapod, dan Batu Kali

Tabel 2.4. Karakteristik dan perbandingan jumlah unit lapis lindung/satuan luasan

(Sumber: Balai Pengkajian Dinamika Pantai-BPPT)

Lapis Lindung	Jumlah Lapisan (n)	Koef Stabilitas (Kd)	Koef Lapisan (K Δ)	Koef Porositas (p)	Perb Unit/Sat-luasan
BPPT-lock	1	17	0.99	52	1.000
Tetrapod	2	8	1.04	50	2.190
Batu Kasar	2	4	1.02	37	2.700
Batu Halus	2	2	1.00	38	2.600

Pada tabel 2.5 merupakan perbandingan berat unit *armour* sesuai dengan tipe *rubblemound* BPPT-lock, tetrapod, batu kasar, dan batu halus. Dimana perbandingan itu menggunakan tinggi gelombang yang sama dan juga kemiringan yang sama.

Tabel 2.5. Berat unit lapis lindung pada kondisi lapangan yang sama

(Sumber: Balai Pengkajian Dinamika Pantai-BPPT)

Lapis Lindung	Kemiringan Lereng	Gelombang Desain (m)	Berat Lapis (ton)	Gelombang Desain (m)	Berat Lapis Lindung (ton)
BPPT-lock	1:2	3	1.01	5	4.68
Tetrapod	1:2	3	2.15	5	9.95
Batu Kasar	1:2	3	4.30	5	19.89
Batu Halus	1:2	3	8.59	5	39.79

2.2.7 Software SMS (Surface Water Modeling System)

Surface Modeling System (SMS) adalah salah satu software untuk pemodelan lingkungan dengan model satu, dua atau tiga dimensi yang dikembangkan oleh Environmental Modeling Research Laboratory (EMRL) di Brigham Young University (lebih dikenal dengan Engineering Computer Graphics Laboratory) bekerjasama dengan the U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station (USACE-WES), dan the U.S. Federal Highway Administration (FHWA).

Pemodelan numerik akan dihitung dengan berbagai informasi yang dapat diaplikasikan kedalam Surface Modeling System. Pada prinsipnya, aplikasi ini akan memodelkan hidrodinamika pada daerah perairan termasuk di dalamnya perhitungan pasang surut dan kecepatan aliran untuk permasalahan perairan dangkal. Dalam pemodelannya di lengkapi dengan dua model yaitu model steady dan model dinamis. Selain itu, aplikasi tambahan yang juga termasuk dalam Surface Modeling System adalah model dari perpindahan intrusi air laut, sedimen transport (baik yang scouring atau depositan), disperse energy gelombang, properti gelombang (arah, amplitude).

Untuk pemodelan dengan berbagai metode ini digunakan beberapa modul yang berbeda.

Diantaranya modul yang digunakan yaitu :

1. RMA2, HIVEL2D dan Flow2dh ; Pemodelan 2D untuk sirkulasi arus sungai dan muara (estuary).
2. ADCIRC dan M2D pemodelan sirkulasi arus pantai.
3. CGWAVE dan BOUSS2D pemodelan gelombang phase.
4. STWAVE pemodelan gelombang non phase.
5. RMA4 dan SED2D-WES pemodelan transportasi massa.
6. HEC-RAS pemodelan 1 D untuk sungai.

2.2.7.1 CGWAVE

CGWAVE merupakan salah satu pemodelan di software Surface Modeling System (SMS). CGWAVE adalah model elemen hingga 2 dimensi berdasarkan persamaan gelombang *eliptic-mild slope*. CGWAVE secara bersamaan dapat mensimulasikan efek gelombang pecah, refraksi, difraksi, refleksi oleh batimetri dan struktur. Kemampuan komputasi model CGWAVE memungkinkan pemodelan dilakukan daerah pesisir yang luas. Persamaan pengatur dalam CGWAVE adalah persamaan gelombang *mild-slope* dua dimensi yang telah dimodifikasi. Persamaan gelombang tersebut dapat ditulis sebagai berikut :

$$\nabla \cdot (CC_g \nabla \eta) + \frac{C_g}{c} \sigma^2 \eta = 0 \dots\dots\dots (26)$$

Dengan :

$\eta(x,y)$ = fungsi elevasi gelombang yang di estimasi

σ = frekuensi gelombang (rad/s)

$C(x,y)$ = cepat rambat gelombang = σ/k

$C_g(x,y)$ = cepat rambat kelompok gelombang = $\delta\sigma/\delta k = nC$

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh 2kd} \right) \dots\dots\dots (27)$$

$k(x,y)$ = wave number ($2\pi/L$), hubungannya dengan kedalaman local $d(x,y)$ melalui dispersi linier adalah :

$$\sigma^2 = gk \tanh(kd) \dots\dots\dots (28)$$

Fungsi dari CGWAVE ini yaitu untuk mengetahui :

1. Pola gelombang
2. Tinggi gelombang
3. Fase gelombang dipermukaan perairan

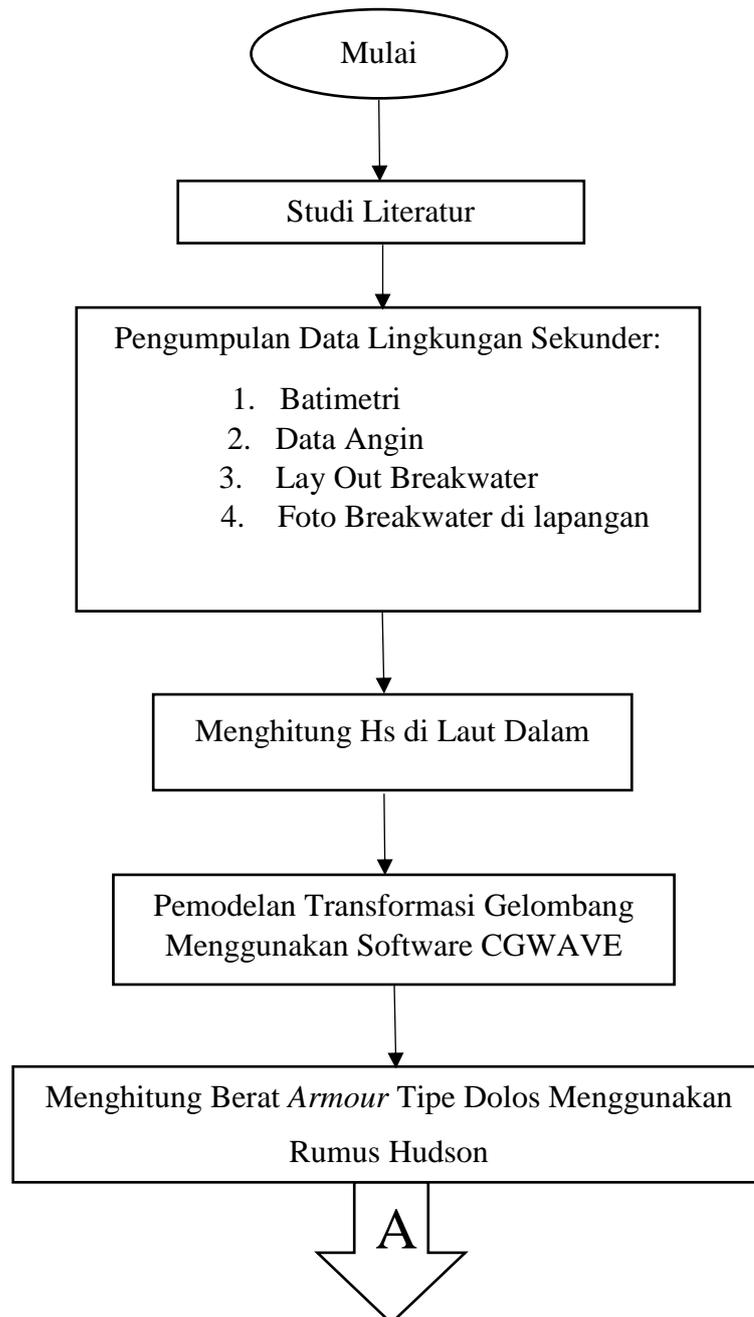
Data yang diperlukan untuk CGWAVE yaitu :

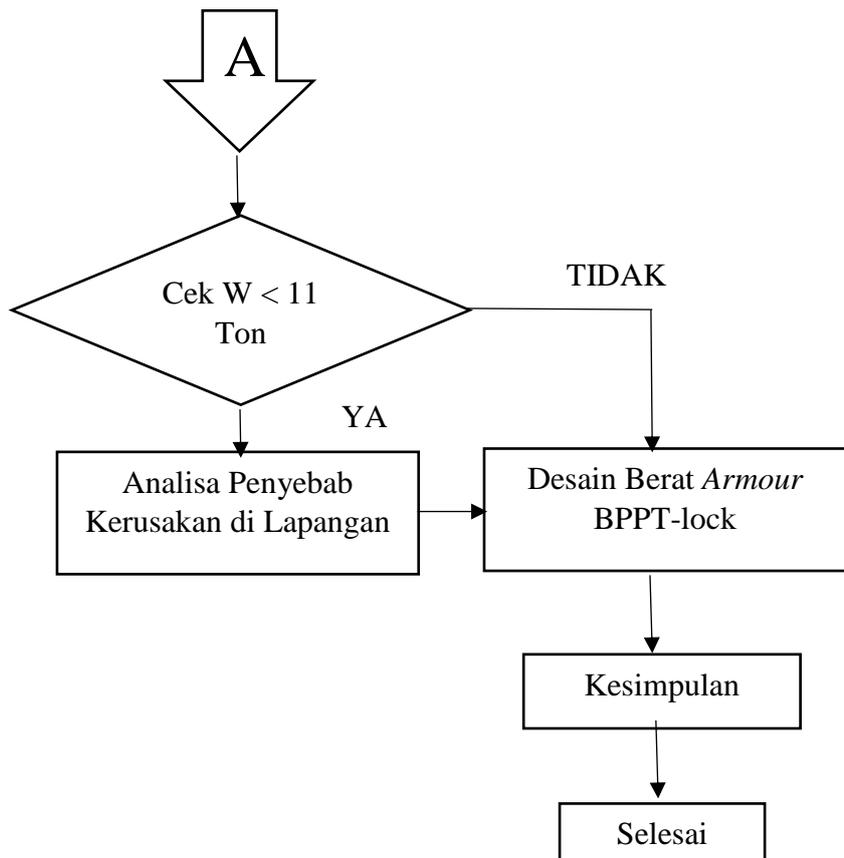
1. Peta bathimetri
2. Tinggi gelombang di laut dalam
3. Periode gelombang di laut dalam
4. Arah datang gelombang

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Langkah-langkah yang digunakan untuk menyusun tugas akhir ini dapat dijelaskan dengan diagram alir. Penjelasan mengenai diagram alir dapat dilihat pada gambar 3.1 :





Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.2 Prosedur Penelitian

Pengerjaan laporan tugas akhir ini dilakukan dengan tahap seperti disajikan pada sub bab 3.1. diagram alir penelitian diatas. Adapun uraian dari pengerjaan seperti dibawah ini:

1. Studi Literatur

Studi literatur digunakan untuk mengetahui lebih awal mengenai pokok permasalahan yang akan dibahas serta teori-terori yang digunakan untuk menganalisis permasalahan. Dalam studi literatur ini dillakukan dengan mempelajari beberapa literatur berupa buku, jurnal, laporan penelitian, serta sumber informasi ilmiah terkait permasalahan yang relevan dengan tugas akhir ini.

2. Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam pengerjaan laporan ini merupakan data sekunder yang didapatkan dari hasil pengukuran dan penelitian pihak lain. Adapun data-data lingkungan yang digunakan dalam analisis pemodelan dengan menggunakan software CGWAVE SMS: antara lain:

1. Batimetri
2. Data angin dari BMKG
3. Tinggi gelombang di laut dalam
4. Periode gelombang di laut dalam
5. Arah datang gelombang

3. Perhitungan Hs di Laut Dalam

Dalam menghitung tinggi gelombang signifikan (Hs) memerlukan data angin untuk dikonfersikan ke *fetch* efektif. dalam menentukan tinggi gelombang signifikan bisa menggunakan rumus yang ada pada SPM, 1984 vol. 1.

4. Pemodelan gelombang dengan Menggunakan Software CGWAVE SMS

a) Input Model

Dalam pemodelan dengan menggunakan CGWAVE SMS, data lingkungan yang dimasukkan antara lain:

1. Batimetri
2. Tinggi gelombang di laut dalam
3. Periode gelombang di laut dalam
4. Arah datang gelombang

b) Simulasi Model

Setelah data lingkungan dimasukkan, kemudian dilakukan *running program*, dan untuk selanjutnya dilakukan analisis tinggi gelombang.

c) Analisis Gelombang

Setelah menjalankan program, akan keluar hasil berupa data numerik beserta gambar pemodelan data. Pada hasil pemodelan gelombang nantinya akan menjadi dasar dalam menganalisis berat *armour* unit.

5. Menghitung Berat *Armour* Tipe Dolos

Dari hasil simulasi pemodelan gelombang dengan menggunakan CGWAVE SMS, kemudian dilakukan perhitungan berat *armour* tipe dolos menggunakan rumus Hudson. Menghitung berat *armour* tipe dolos menggunakan rumus Hudson. Jika hasil dari berat *armour* lebih besar dari 11 Ton maka diperlukan pergantian dengan tipe BPPT-lock. Jika berat *armour* kurang dari 11 ton maka perlu pengecekan apa penyebab kerusakan yang ada di lapangan.

6. Analisa Penyebab Kerusakan

Pada tugas akhir ini analisa penyebab kerusakan berguna untuk menganalisa penyebab apa saja yang memungkinkan menjadi faktor rusaknya struktur *breakwater*.

7. Menghitung Berat *Armour* berbagai tipe *rubblemound*

Dari hasil simulasi pemodelan gelombang dengan menggunakan CGWAVE SMS, kemudian dilakukan perhitungan berat *armour* berbagai tipe menggunakan rumus Hudson. Kemudian hasilnya dibandingkan untuk mendapatkan berat yang paling ringan.

6. Kesimpulan

Dalam tahap kesimpulan, akan ditampilkan hasil akhir analisis yang menjadi tujuan dilakukannya penelitian ini serta memberikan saran yang dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Daerah Penelitian

Daerah yang menjadi objek penelitian tugas akhir ini terletak di Kecamatan Sudimoro Pacitan, daerah ini mempunyai Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). PLTU ini sendiri mempunyai kolam labuh yang digunakan untuk bersandar kapal bermuatan batu bara yang digunakan untuk bahan bakar utama pembangkit listrik tersebut. Karena letak PLTU yang ada di pantai selatan maka diperlukan *breakwater* yang berfungsi untuk menahan serangan gelombang yang cukup tinggi supaya perairan di kolam labuh tetap tenang untuk proses bongkar muat batubara.



Gambar 4.1. Lokasi *breakwater* PLTU Sudimoro Pacitan

(Sumber: www.google.co.id/maps)

Breakwater yang sudah ada sejak pembangunan PLTU mengalami kerusakan sehingga mengganggu proses bongkar muat batu bara karena gelombang di sekitar kolam labuh cukup tinggi.

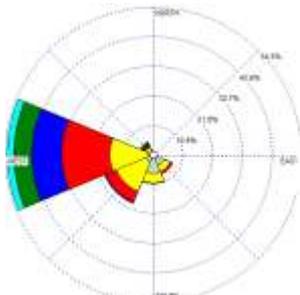


Gambar 4.2. Bagian *breakwater* yang mengalami kerusakan

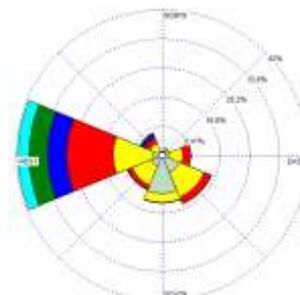
4.2. Arah dan Kecepatan Angin Setiap Bulan

Untuk mengetahui kecenderungan arah angin dari laut menuju *breakwater* Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Sudimoro Pacitan maka perlu dianalisa menggunakan bantuan *software WRPLOT*. Dalam menganalisa arah angin menuju *breakwater* dibagi menjadi dua yang pertama analisa setiap bulan yang kedua setiap tahun. Data yang digunakan yaitu data sekunder dari BMKG berupa data arah dan kecepatan angin, hasil plotting *wind rose* bulanan dapat dilihat pada gambar 4.3. Pada hasil plotting dapat dilihat pada bulan April sampai Juni angin dominan berhembus dari arah timur dengan kecepatan mencapai 10-12,5 m/s dan kecepatan angin dari arah timur rata-rata 7,5-10 m/s. Pada bulan Juli terjadi peralihan dari arah timur ke arah tenggara sampai bulan November dengan kecepatan angin mencapai 10-12,5 m/s dan kecepatan angin dari arah tenggara rata-rata 5-7,5 m/s. Pada bulan Desember terjadi peralihan dari arah tenggara ke arah barat sampai bulan Februari

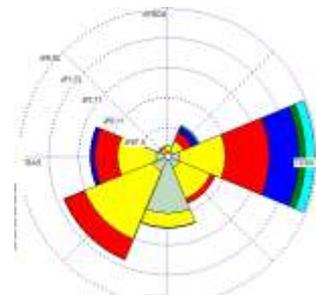
dengan kecepatan angin maksimum 12,5 m/s dan kecepatan angin dari arah barat rata-rata 5-7,5 m/s.



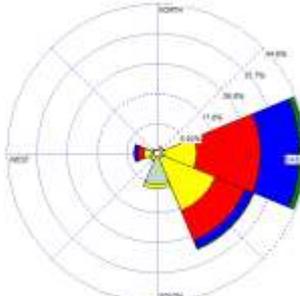
Januari



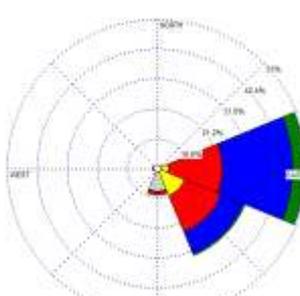
Februari



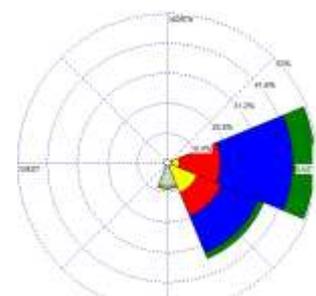
Maret



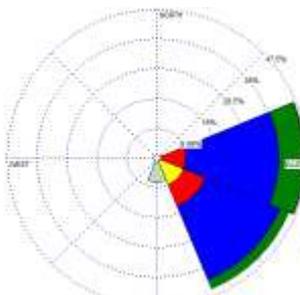
April



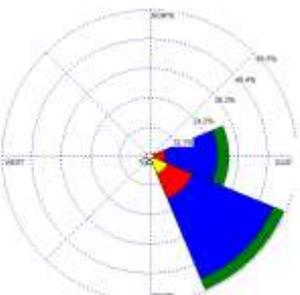
Mei



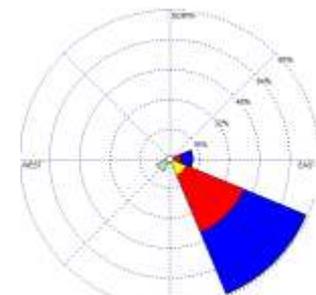
Juni



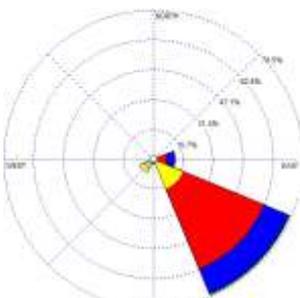
Juli



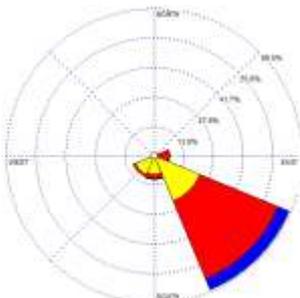
Agustus



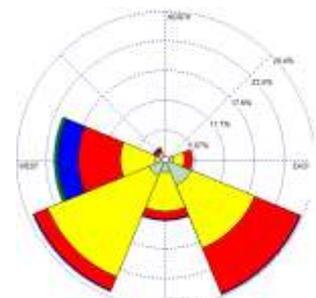
September



Oktober



November



Desember

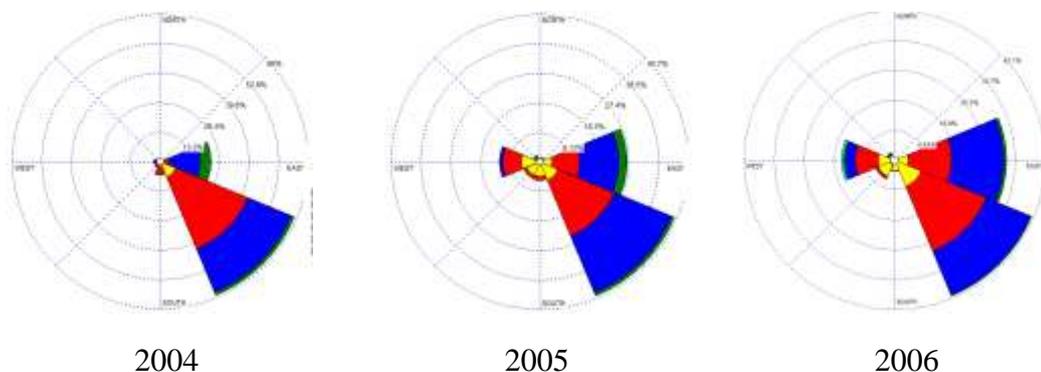


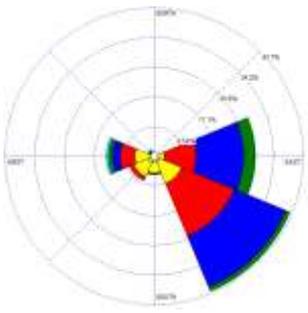
Keterangan kecepatan angin (m/s)

Gambar 4.3. *Wind rose* per bulan di wilayah studi tahun 2004 – 2017

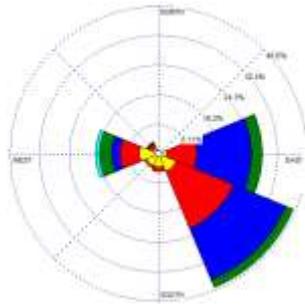
4.3. Arah dan Kecepatan Angin Setiap Tahun

Untuk mengetahui kecenderungan arah angin dari laut menuju *breakwater* Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Sudimoro Pacitan maka perlu dianalisa menggunakan bantuan *software WRPLOT*. Hasil plotting *wind rose* setiap tahun dapat dilihat pada gambar 4.4. Pada hasil plotting dapat dilihat pada bulan April sampai Juni angin dominan berhembus dari arah timur dengan kecepatan mencapai 10-12,5 m/s dan kecepatan angin dari arah timur rata-rata 7,5-10 m/s. Pada tahun 2004 sampai 2009 dan 2012 sampai 2015 angin dominan berhembus dari arah tenggara dengan kecepatan angin mencapai 10-12,5 m/s dan kecepatan rata-rata dari arah tenggara 5-7,5 m/s. Dari plotting tersebut dapat disimpulkan jika angin dominan berhembus dari arah tenggara setiap tahunnya. Pada tahun 2010, 2011, 2016 analisa tidak bisa dikatan valid karena terjadi kesalahan pencatatan dari BMKG, sedangkan tahun 2017 karena hanya bulan Januari.

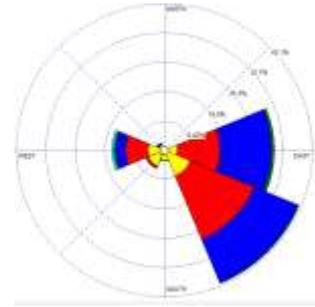




2007



2008



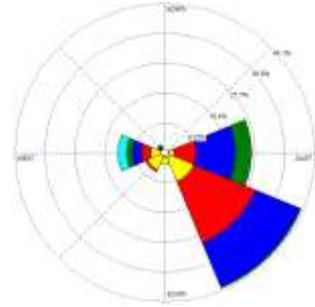
2009



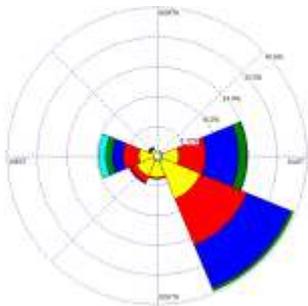
2010



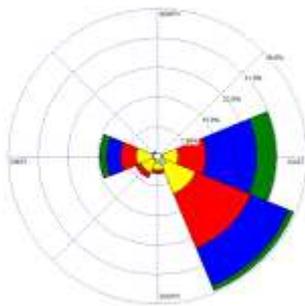
2011



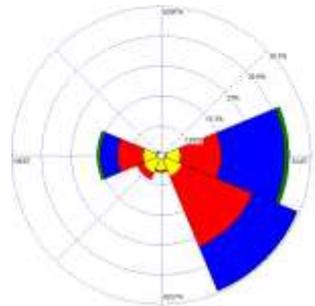
2012



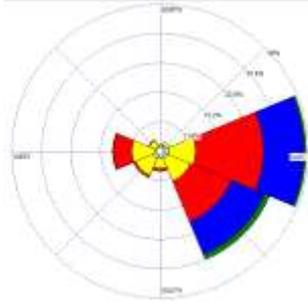
2013



2014



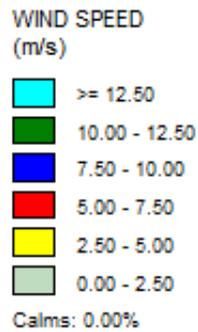
2015



2016



2017



Keterangan kecepatan angin (m/s)

Gambar 4.4. *Wind rose* per tahun di wilayah studi tahun 2004 – 2017

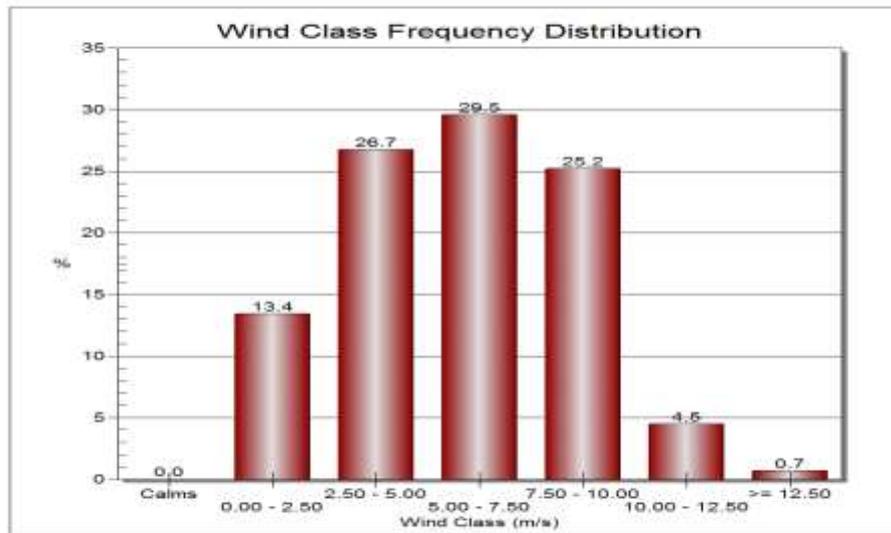
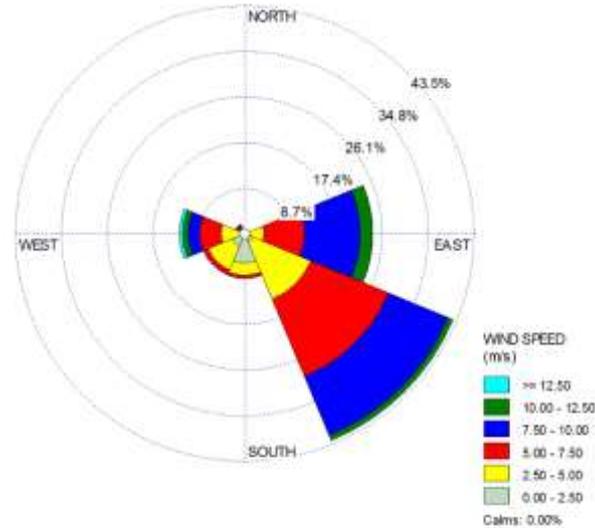
Berdasarkan gambar di atas, terlihat kecepatan angin 2,5 – 10 m/det (kuning, merah, dan biru) dominan terjadi sepanjang tahun, sementara pada tahun 2008,2009,2012, dan 2013 kecepatan bisa mencapai lebih dari 12.5 m/det (warna biru muda). Tabel 4.1 di bawah ini menunjukkan Distribusi arah dan kecepatan angin untuk kurun waktu 2004 – 2017. Pad tabel tersebut dapat dilihat kecepatan angin dominan dari arah tenggara mencapai 42,65 % kecepatan rata-rata mencapai 5-7,5 m/s

Tabel 4.1. Distribusi arah dan kecepatan angin 2004 – 2017

(Sumber : Hasil pengolahan Data BMKG)

Directions	0.00 - 2.50	2.50 - 5.00	5.00 - 7.50	7.50 - 10.00	10.00 - 12.50	>= 12.50	Total (%)
N	0.377	0.196	0.015	0.00	0.00	0.00	0.59
NE	0.477	0.328	0.063	0.00	0.00	0.00	0.87
E	0.888	2.846	7.648	10.54	2.31	0.01	24.25
SE	1.845	11.785	15.842	12.17	1.00	0.00	42.65
S	5.708	2.316	0.609	0.04	0.00	0.00	8.67
SW	2.687	4.894	0.868	0.06	0.00	0.00	8.51
W	0.950	3.660	4.025	2.16	1.05	0.60	12.44
NW	0.475	0.705	0.477	0.19	0.10	0.05	2.01
Sub-Total	13.408	26.730	29.547	25.17	4.47	0.67	99.99
Calms							0.00
Missing							0.01
Total							100.00

Pada gambar 4.5 dapat dilihat hasil plotting untuk seluruh data angin dalam kurun waktu 2004 – 2017 berdasarkan Tabel 4.1 di ditunjukkan juga histogram distribusi kecepatan angin.

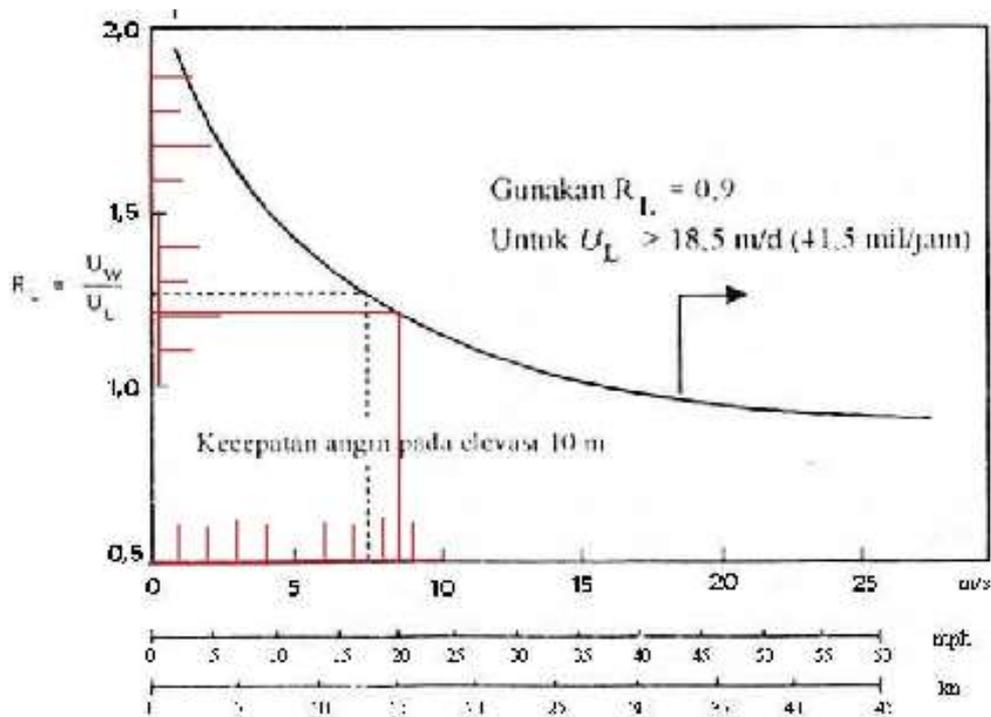


Gambar 4.5. *Wind rose* dan pengelompokan angin di Wilayah Studi tahun 2004 – 2017

4.4. Fetch Setiap Tahun

Untuk mengetahui *fetch* efektif atau jarak pembangkit gelombang oleh angin perlu mengetahui jarak titik dengan daerah pembangkit gelombang. Dengan menarik garis lurus pada peta perairan di titik lokasi menuju arah angin dominan.

Dari grafik hubungan antara kecepatan angin di laut bisa di cari nilai R_L . Setelah mendapatkan nilai R_L maka bisa didapatkan nilai kecepatan angin di laut untuk dimasukan di grafik peramalan gelombang sehingga mendapatkan nilai panjang maksimum. Panjang maksimum dimasukan di tabel *fetch* efektif maka didapatkan nilai feff. Tahun 2004 arah dominann angin berhembus dari arah tenggara dengan kecepatan angin signifikan 8.6 m/s.



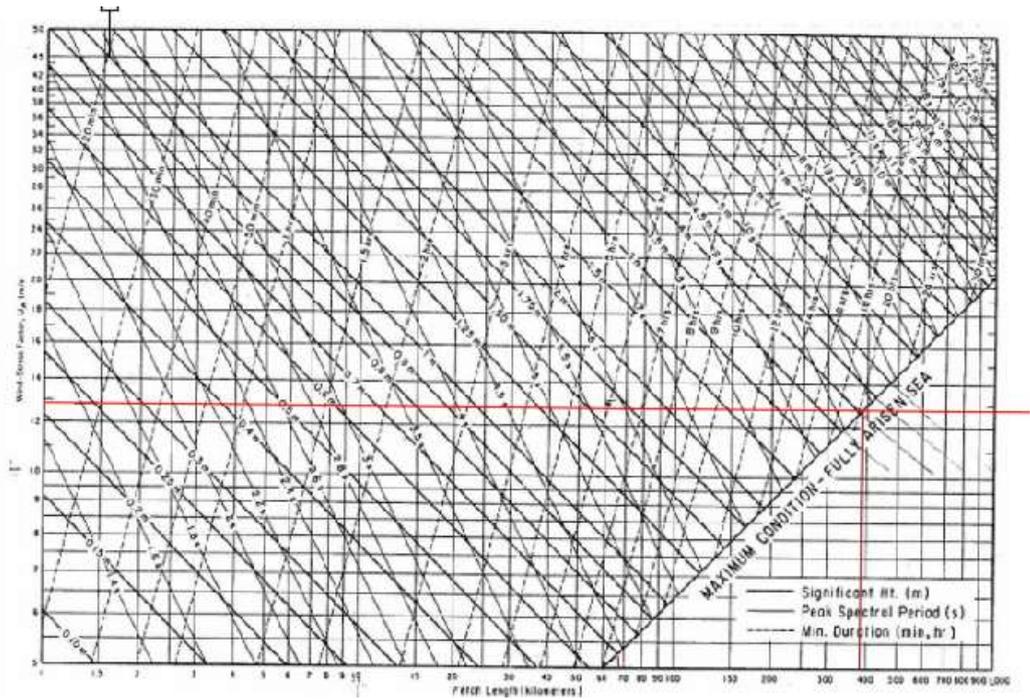
Gambar 4.6. Hubungan antara kecepatan angin di laut dan darat

$$R_L = \frac{U_W}{U_L} = 1.22$$

$$U_W = R_L \times U_L = 1.22 \times 8.6 = 10.492 \text{ m/d}$$

$$U_A = 0.71 U_W^{1.23} = 12.79 \text{ m/d}$$

Hasil nilai dari U_A dimasukkan ke grafik peramalan gelombang untuk mendapatkan nilai panjang *fetch* yang tidak mengenai pulau. Dengan memasukan nilai 12.79 bisa kita tarik garis di grafik peramalan gelombang dengan hasil 390.



Gambar 4.7. Grafik peramalan gelombang

Dalam gambar 4.8 dibawah ini merupakan hasil dari penarikan garis setiap 6^0 sebanyak 7 kali dari 0^0 menuju arah tenggara dengan bantuan *software* AutoCad. Untuk garis yang mengenai pulau dihitung berapa panjangnya, sedangkan untuk panjang garis yang tidak mengenai pulau hasil dari grafik peramalan gelombang.



Gambar 4.8. Fetch arah dominan tenggara [km]

Dari grafik peramalan gelombang didapatkan nilai 390, nilai 390 digunakan untuk panjang *fetch* yang tidak mengenai pulau untuk menghitung *fetch* efektif. Dalam tabel 4.2 merupakan hasil *fetch* efektif tahun 2004 arah tenggara.

Tabel 4.2. Feff tahun 2004 arah tenggara

2004					
Arah Mata Angin 135 (tenggara)					
kecepatan angin rata-rata 8.6					
a	cos a	x awal	skala (km)	Xi (km)	Xi cos a
42	0.74	390		390	288.6
36	0.81	390		390	315.9
30	0.87	390		390	339.3
24	0.91	390		390	354.9
18	0.95	390		390	370.5
12	0.98	390		390	382.2
6	0.99	390		390	386.1
0	1	390		390	390
6	0.99	390		390	386.1
12	0.98	390		390	382.2
18	0.95	390		390	370.5
24	0.91	4.28	2	8.56	7.7896
30	0.87	3.63	2	7.26	6.3162
36	0.81	3.6	2	7.2	5.832
42	0.74	3.71	2	7.42	5.4908
Total	13.5				3991.7286
				Feff (km)	295.6836

Cara pengerjaan diatas adalah cara pengerjaan untuk tahun 2004 arah tenggara, untuk pengerjaan dengan arah dan tahun yang lain menggunakan cara yang sama. Berikut merupakan hasil perhitungan *fectch* efektif arah tenggara, selatan, barat daya pada tahun 2004 sampai 2017:

Tabel 4.3. Feff tahun 2004-2017 arah tenggara

Tahun	Fetch
2004	295.68
2005	310.75
2006	303.22
2007	310.75
2008	314.52
2009	284.38
2012	284.38
2013	314.52
2014	299.45
2015	280.62

Tabel 4.4. Feff tahun 2004-2017 arah selatan

Tahun	Fetch
2004	210.00
2005	165.00
2006	125.00
2007	160.00
2008	185.00
2009	110.00
2012	125.00
2013	135.00
2014	185.00
2015	145.00

Tabel 4.5. Feff tahun 2004-2017 arah barat daya

Tahun	Fetch
2004	165.00
2005	170.00
2006	165.00
2007	155.00
2008	155.00
2009	170.00
2012	150.00
2013	195.00
2014	187.50
2015	137.50

Untuk *fecth* efektif tahun 2010, 2011, 2016 tidak digunakan karena ada kesalahan pencatatan data angin dari BMKG, sedangkan untuk tahun 2017 tidak digunakan karena data angin hanya bulan Januari.

4.5. Tinggi Gelombang dari Peramalan Data Angin

Untuk menghitung tinggi gelombang signifikan dan periode gelombang dibutuhkan data panjang fetch dan juga kecepatan angin sesuai range pengolahan data angin. Kecepatan angin sesuai dengan hasil dari *wr plot* yaitu 2,5 sampai dengan 12,5 untuk arah dari tenggara. Beerikut merupakan persamaan yang digunakan dalam perhitungan yang digunakan pada tabel 4.6.

$$H_0 = 5.112 \times 10^{-4} U_A F^{1/2}$$

$$T_0 = 6.238 \times 10^{-2} \times (U_A \times F)^{0.33}$$

$$H_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^n H^2}$$

$$H_{1/3} = 1.42 H_{rms}$$

Dengan :

H_0 = tinggi gelombang laut dalam (m)

T_0 = periode gelombang laut dalam (s)

F = Fetch efektif (m)

U_A = faktor tegangan angin

H_{rms} = H root mean square (m)

H_s = tinggi gelombang signifikan (m)

Tabel 4.6. Perhitungan tinggi gelombang arah tenggara tahun 2004

U_L	R_t	R_L	U_w	U_A	135°		
m / s			m / s	m / s	$F_{eff} (m)$	$H_0 (m)$	$T_0 (s)$
2.50	1.00	1.650	4.12	4.05	295683.60	1.13	6.32
5.00	1.00	1.400	6.99	7.77		2.16	7.84
7.50	1.00	1.250	9.37	11.13		3.10	8.83
10.00	1.00	1.130	11.30	14.01		3.89	9.52
12.50	1.00	1.050	13.12	16.85		4.68	10.12
					Σ	14.96	42.63

135		$H_{0\ 1/3} (m)$	= 1.42 x Hrms	
n	$n \times H_0^2 (m)$	Hrms	$H_{0\ 1/3} (m)$	$n \times T_0^2 (s)$
16	20.31	3.33	4.72	639.84
435	2027.66			26723.27
2025	19398.67			157784.13
1224	18555.33			110969.07
87	1907.60			8909.08
3787	41909.57			305025.39
Hrms	3.33		Trms	8.97
			$T_{0\ 1/3} (s)$	12.74

$H_s =$	4.72	m
$T_s =$	12.74	s

Tabel diatas adalah nilai tinggi signifikan dan periode untuk tahun 2004. Untuk nilai tinggi gelombang dan periode pada tahun yang lain perhitungannya sama seperti diatas, berikut ini tabel hasil perhitungan dari arah tenggara, selatan, dan barat daya. Pada tabel dibawah ini merupakan hasil dari perhitungan tinggi gelombang signifikan dan periode setiap tahun dari arah tenggara, selatan dan juga dari arah barat daya

Tabel 4.7. Tinggi gelombang signifikan dan periode setiap tahun dari arah tenggara

Tahun	$H_s [m]$	$T_s [s]$
2004	4.72	12.74
2005	5.03	13.17
2006	4.84	12.87
2007	4.80	12.84
2008	5.16	13.34
2009	4.51	12.44
2012	4.47	12.36
2013	4.84	12.90
2014	4.51	12.45
2015	4.49	12.39

Tabel 4.8. Tinggi gelombang signifikan dan periode setiap tahun dari arah selatan

Tahun	Hs [m]	Ts [s]
2004	3.37	10.73
2005	2.42	9.20
2006	1.86	8.08
2007	2.15	8.72
2008	2.63	9.66
2009	1.76	7.72
2012	1.72	7.84
2013	1.97	8.31
2014	2.28	9.04
2015	2.07	8.55

Tabel 4.9. Tinggi gelombang signifikan dan periode setiap tahun dari arah barat daya

Tahun	Hs [m]	Ts [s]
2004	2.40	9.11
2005	2.38	9.18
2006	2.37	9.14
2007	2.19	8.76
2008	2.24	8.89
2009	3.02	9.65
2012	2.14	8.70
2013	2.75	9.84
2014	2.59	9.58
2015	2.29	8.76

Dari tabel diatas dapat dilihat tinggi gelombang dan periode yang paling besar berasal dari arah tenggara pada tahun 2008 yaitu 5,16 m dan periode 13,34 detik. Gelombang dari arah tenggara yang cukup tinggi dipengaruhi oleh kecepatan angin dari arah tenggara yang besar.

4.6. Analisa Kala Ulang

Untuk menentukan gelombang dengan periode ulang tertentu dibutuhkan data gelombang dalam jangka waktu pengukuran cukup panjang. Dari hasil peramalan tinggi gelombang di tabel 4.7. selanjutnya akan digunakan sebagai data utama

penentuan tinggi gelombang desain. Terdapat 4 metode yang digunakan untuk menentukan tinggi gelombang desain yaitu Log Normal, Weibull, Gumbel. Berikut adalah cara pengerjaannya.

$$Q = \frac{i - c1}{N + c2}$$

Dengan :

i : nilai urutan
 N : jumlah data
 c1, c2 : konstanta
 alpha : 1.7

Tabel 4.10. Nilai konstanta c1 dan c2

Metode	c1	c2
Normal	0.375	0.375
Log Normal	0.25	0.125
Gumbel	0.44	0.12
Weibull	0.36	0.34

Pada tabel 4.11 dibawah ini merupakan dari nilai H (tinggi gelombang) dan W (*Weibull reduce variate*) dari metode Weibull yang digunakan sebagai nilai X dan Y yang digunakan untuk mencari persamaan garis, nilai dari persamaan garis digunakan untuk mencari nilai β dan γ .

Tabel 4.11. Metode Weibull

Weibull			
i	H [m]	Q	W
1	5.16	0.06	1.82
2	5.03	0.16	1.43
3	4.84	0.26	1.20
4	4.84	0.35	1.03
5	4.80	0.45	0.88
6	4.72	0.55	0.74
7	4.51	0.64	0.62
8	4.51	0.74	0.49
9	4.49	0.84	0.36
10	4.47	0.93	0.21

Pada tabel 4.12 dibawah ini merupakan hasil dari nilai H dan G (*Gumbel reduce variate*) dari metode Gumbel yang digunakan sebagai nilai X dan Y yang digunakan untuk mencari persamaan garis, nilai dari persamaan garis digunakan untuk mencari nilai β dan γ .

Tabel 4.12. Metode Gumbell

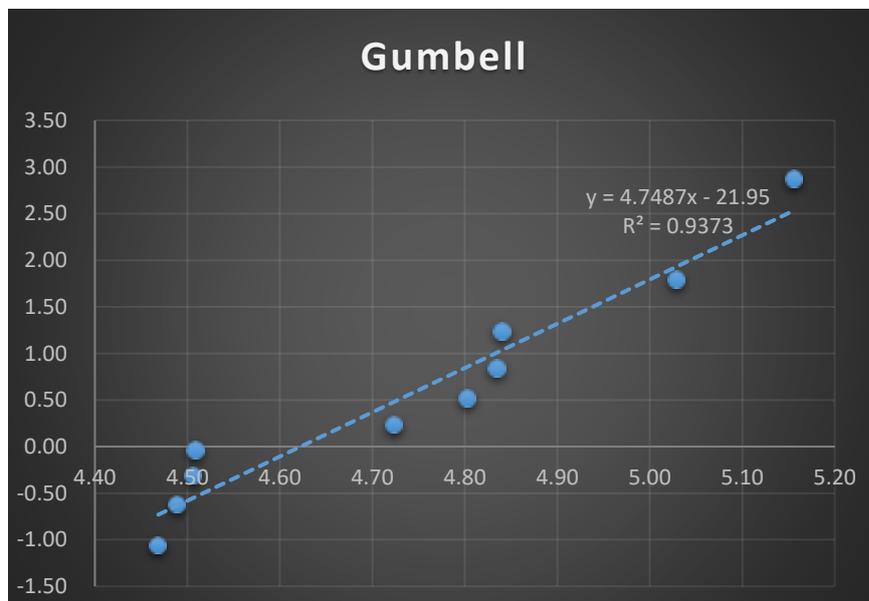
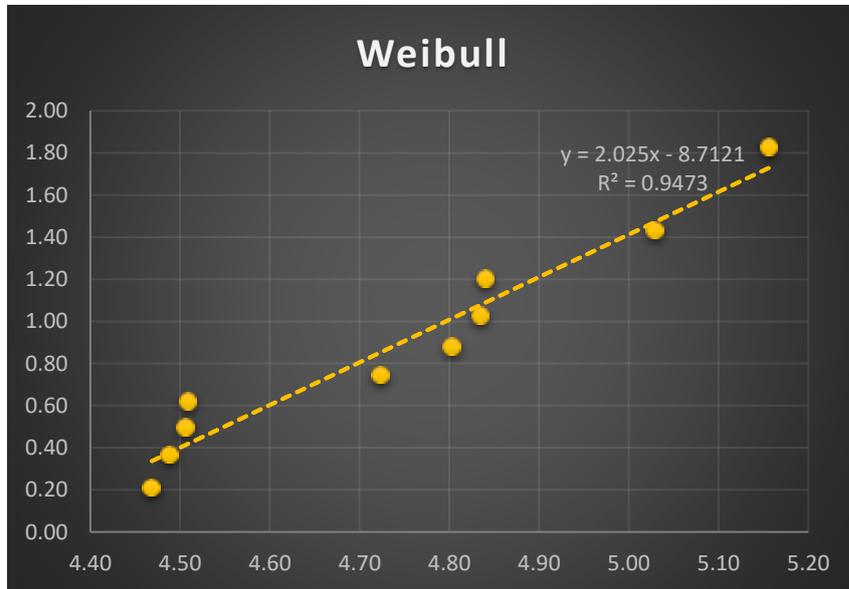
Gumbell				
i	H [m]	Q	P	G
1	5.16	0.06	0.94	2.87
2	5.03	0.15	0.85	1.79
3	4.84	0.25	0.75	1.23
4	4.84	0.35	0.65	0.84
5	4.80	0.45	0.55	0.51
6	4.72	0.55	0.45	0.23
7	4.51	0.65	0.35	-0.04
8	4.51	0.75	0.25	-0.32
9	4.49	0.85	0.15	-0.63
10	4.47	0.94	0.06	-1.06

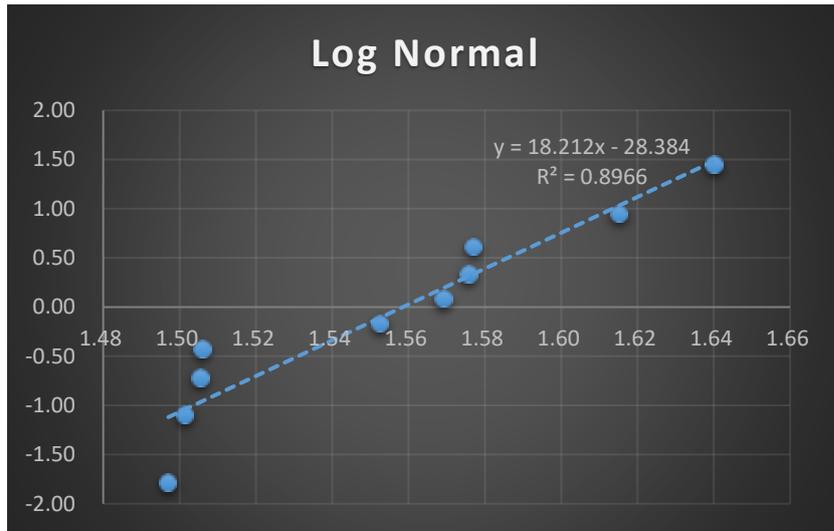
Pada tabel 4.13 dibawah ini merupakan hasil dari nilai H dan Z (*Reduce variate*) dari metode Log Normal yang digunakan sebagai nilai X dan Y yang digunakan untuk mencari persamaan garis, nilai dari persamaan garis digunakan untuk mencari nilai $S \ln H$ dan $\ln H$.

Tabel 4.133. Metode Log Normal

Log Normal				
H [m]	ln H	Q	P	z
5.16	1.64	0.07	0.93	1.45
5.03	1.62	0.17	0.83	0.94
4.84	1.58	0.27	0.73	0.61
4.84	1.58	0.37	0.63	0.33
4.80	1.57	0.47	0.53	0.08
4.72	1.55	0.57	0.43	-0.17
4.51	1.51	0.67	0.33	-0.43
4.51	1.51	0.77	0.23	-0.72
4.49	1.50	0.86	0.14	-1.10
4.47	1.50	0.96	0.04	-1.79

Dalam gambar 4.9 merupakan persamaan garis hasil plotting dari nilai H , W , G , dan Z sesuai dengan metode yang digunakan. Hasil persamaan garis $y = A \cdot x - B$ didapatkan nilai A dan B yang digunakan untuk mencari nilai β , γ , H , SH , $S \ln H$, dan $\ln H$.





Gambar 4.9. Grafik hasil analisa kala ulang

Dari grafik diatas didapatkan nilai A dan B dari persamaan garis. Nilai dari A dan B dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

Tabel 4.144. Nilai hasil dari grafik

GRAPH	A	B	R ²	Beta	Gamma
Weibull	2.03	-8.71	0.9473	0.49	4.30
Gumbel	4.75	-21.95	0.9373	0.21	4.62
				S LN H	LN H
Log Normal	18.21	-28.38	0.8966	0.05	1.50

Pada tabel 4.15 didapatkan nilai β , γ , H , SH , $S \ln H$, dan $\ln H$ yang digunakan untuk menghitung periode ulang. Berikut merupakan hasil dari perhitungan analisa kala ulang arah tenggara :

Tabel 4.155. Hasil analisa kala ulang gelombang dari arah tenggara

Weibull				Return Period					
Lam	AI	Beta	Gamma	5	10	15	20	25	30
1.00	1.7	0.49	4.30	4.96	5.11	5.19	5.24	5.28	5.32
Gumbel				Return Period					
Lam		Beta	Gamma	5	10	15	20	25	30
1.00		0.21	4.62	4.94	5.10	5.19	5.25	5.30	5.33
Log Normal				Return Period					
Lam		S LN H	LN H	5	10	15	20	25	30
1.00		0.05	1.56	4.98	5.10	5.16	5.20	5.23	5.26

Untuk menghitung periode juga menggunakan pengerjaan yang sama, berikut merupakan hasil dari perhitungannya :

Tabel 4.166. Hasil analisa kala ulang periode dari arah tenggara

Weibull				Return Period [tahun]					
Lam	AI	Beta	Gamma	5	10	15	20	25	30
1.00	1.7	0.69	12.12	13.04	13.25	13.37	13.44	13.50	13.54
Gumbel				Return Period					
Lam		Beta	Gamma	5	10	15	20	25	30
1.00		0.29	12.59	13.03	13.25	13.38	13.47	13.53	13.59
Log Normal				Return Period					
Lam		S LN H	LN H	5	10	15	20	25	30
1.00		0.03	2.55	13.09	13.25	13.34	13.39	13.43	13.46

Hasil analisa kala ulang dari arah selatan dan barat daya menggunakan cara yang sama, berikut merupakan hasil analisa tinggi gelombang dan periode dari arah selatan dan barat daya :

Tabel 4.177. Hasil analisa kala ulang gelombang dari arah selatan

Weibull				Return Period [tahun]					
Lam	AI	Beta	Gamma	5	10	15	20	25	30
1.00	0.9	0.47	1.72	2.53	2.92	3.16	3.33	3.46	3.57
Gumbel				Return Period					
Lam		Beta	Gamma	5	10	15	20	25	30
1.00		0.43	1.99	2.63	2.95	3.13	3.26	3.36	3.44
Log Normal				Return Period					
Lam		S LN H	LN H	5	10	15	20	25	30
1.00		0.22	0.80	2.67	2.95	3.09	3.19	3.27	3.33

Tabel 4.188. Hasil analisa kala ulang periode dari arah selatan

Weibull				Return Period [tahun]					
Lam	AI	Beta	Gamma	5	10	15	20	25	30
1.00	1.3	1.40	7.50	9.53	10.17	10.53	10.77	10.96	11.11
Gumbel				Return Period					
Lam		Beta	Gamma	5	10	15	20	25	30
1.00		0.78	8.36	9.53	10.12	10.45	10.68	10.86	11.00
Log Normal				Return Period					
Lam		S LN H	LN H	5	10	15	20	25	30
1.00		0.11	2.18	9.66	10.12	10.37	10.53	10.65	10.75

Tabel 4.1919. Hasil analisa kala ulang gelombang dari arah barat daya

Weibull				Return Period [tahun]					
Lam	AI	Beta	Gamma	5	10	15	20	25	30
1.00	1.1	0.35	2.10	2.64	2.85	2.96	3.05	3.11	3.16
Gumbel				Return Period					
Lam		Beta	Gamma	5	10	15	20	25	30
1.00		0.24	2.31	2.66	2.84	2.94	3.01	3.06	3.11
Log Normal				Return Period					
Lam		S LN H	LN H	5	10	15	20	25	30
1.00		0.12	0.89	2.70	2.84	2.92	2.97	3.01	3.04

Tabel 4.200. Hasil analisa kala ulang periode dari arah barat daya

Weibull				Return Period [tahun]					
Lam	AI	Beta	Gamma	5	10	15	20	25	30
1.00	1.7	0.83	8.43	9.53	9.79	9.92	10.01	10.08	10.13
Gumbel				Return Period					
Lam		Beta	Gamma	5	10	15	20	25	30
1.00		0.35	8.97	9.50	9.77	9.92	10.02	10.10	10.17
Log Normal				Return Period					
Lam		S LN H	LN H	5	10	15	20	25	30
1.00		0.05	2.22	9.56	9.77	9.87	9.94	9.99	10.03

Hasil perhitungan analisa kala ulang dari arah tenggara dibandingkan dengan penelitian sebelumnya untuk memastikan hasil perhitungan kala ulang bisa dikatakan valid. Berikut merupakan analisa kala ulang jasa kajian kelayakan pelabuhan fasilitas pelabuhan khusus PLTU Pacitan PT PLN (persero) unit pembangkit Jawa-Bali oleh lembaga penelitian dan pengabdian kepada masyarakat (LPPM) ITS.

Tabel 4.211. Analisa kala ulang dari LPPM ITS

(Sumber: LPPM ITS, 2015)

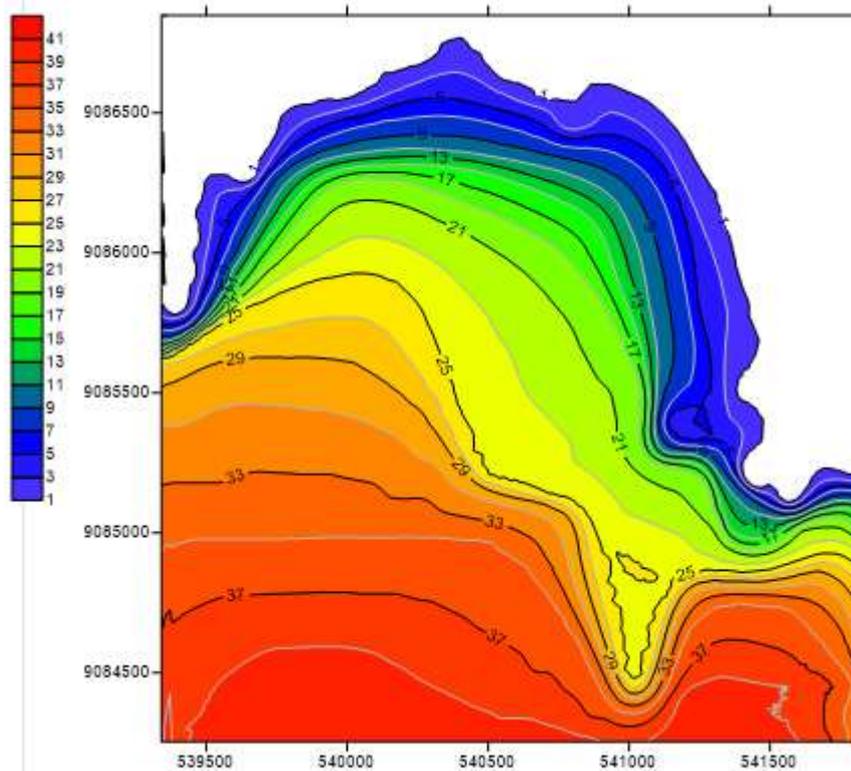
Return Period (year)	Prob of exceedance in period of design life-50 years (%)	Wave Height (m)	Period (sec)	Wave length (m)
2	100	2.31	8.0	88.8
5	100	3.12	9.8	118.0
10	100	3.87	10.9	135.4
20	100	4.54	12.5	160.0
25	99.5	5.12	12.9	166.1
33	87	5.76	13.5	175.2
50	63.6	6.34	13.8	179.7
100	39.5	7.20	15.6	206.5
200	22.2	8.10	16.4	218.3
1000	4.88	9.65	19.4	262.0

4.7. Membuat Model dalam SMS 12.2

Secara garis besar pemodelan gelombang menggunakan CGWAVE pada SMS ada 2 tahap. Tahapan tersebut yaitu meshing dengan memasukan data batimetri dalam bentuk file xyz, dan simulasi transformasi gelombang menggunakan CGWAVE.

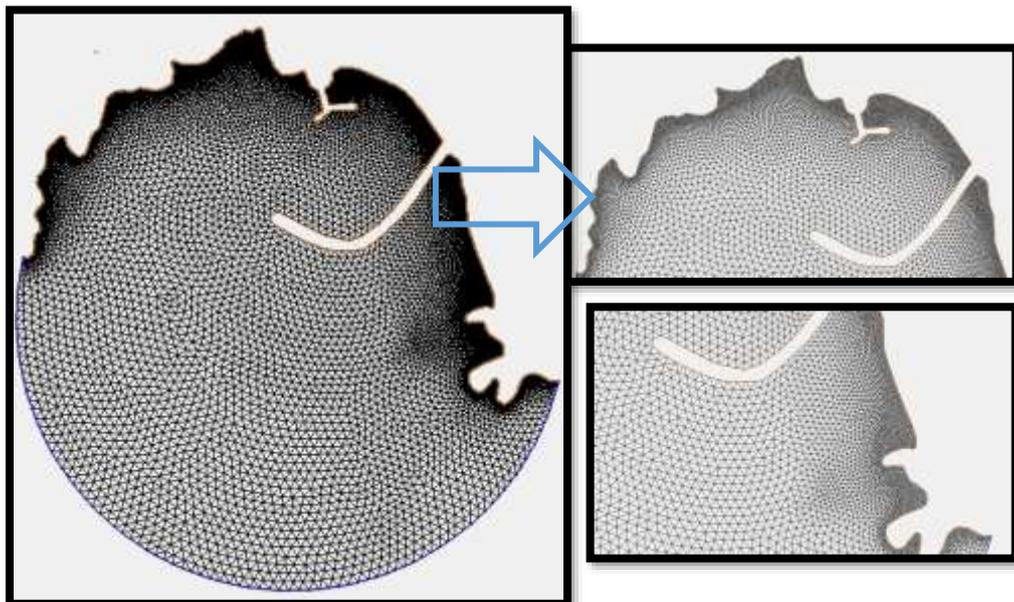
4.7.1. Meshing Lokasi Studi

Dalam pemodelan hidrodinamika yang pertama dilakukan adalah membuat meshing. Meshing ini digunakan sebagai dasar untuk membuat berbagai macam tipe model yang diinginkan. Untuk membuat meshing data yang digunakan yaitu batimetri, data batimetri yang digunakan yaitu batimetri Jawa Timur yang selanjutnya didigitasi untuk mendapatkan batimetri lokasi studi dalam bentuk koordinat X, Y, dan Z. Untuk melakukan meshing dalam pemodelan hidrodinamika digunakan data input koordinat X, Y, dan Z. Setelah memasukan data batimetri ke software SMS didapatkan hasil scatter.



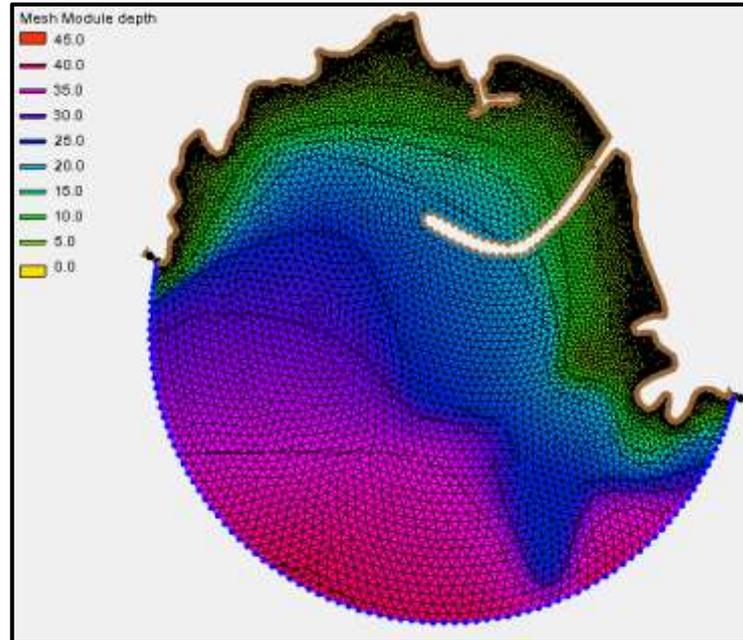
Gambar 4.10. Kontur Batimetri Lokasi Studi [m]

Setelah scatter didapatkan maka dilanjutkan membuat *wavelength function* dan *size function*. Untuk membuat meshing yang dilakukan terlebih dahulu yaitu membuat garis pantai dan *boundary* (kondisi batas). Hasil dari pembuatan meshing lokasi studi dapat dilihat di gambar 4.11.



Gambar 4.11. Mesh pada lokasi studi

Pada gambar 4.12 dapat dilihat garis warna coklat menunjukkan garis pantai (*coastline*) sedangkan warna biru menunjukkan garis batas yang menghadap ke laut (*open ocean*). Kedalaman di lokasi studi dari hasil meshing juga dapat dilihat pada gambar 4.12. Hasil dari meshing dilanjutkan merubah tipe model ke CGWAVE untuk pemodelan tinggi gelombang.



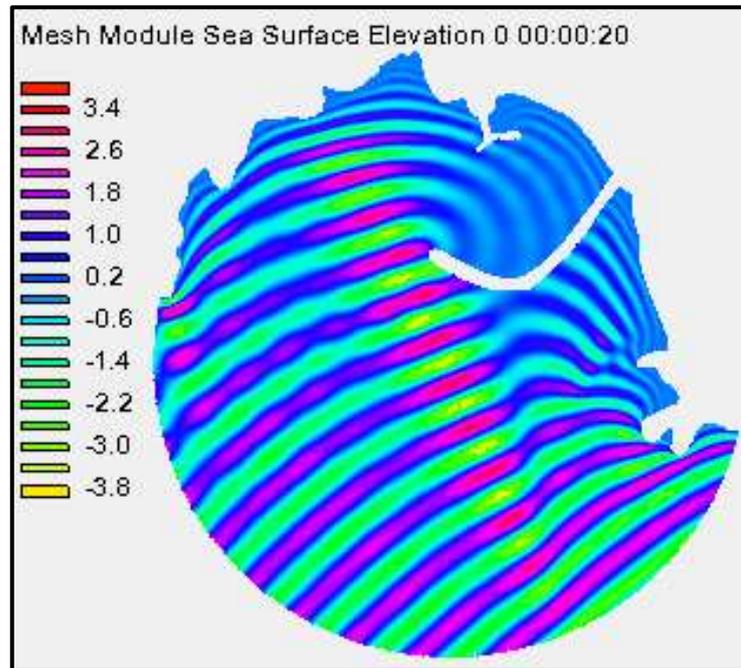
Gambar 4.12. Interpolasi kontur kedalaman laut di lokasi studi [m]

Untuk mengetahui hasil interpolasi dari meshing dapat dilihat pada gambar 4.12. Kedalaman dari interpolasi dipengaruhi oleh kontur dari batimetri yang digunakan sebagai inputan awal. Dalam gambar tersebut dapat dilihat kedalaman di lokasi studi dari 0,1 m sampai 40,4 m. Kedalaman di sekitar *breakwater* yang panjang (dekat dengan *jetty*) mencapai 21 m sedangkan disekitar *breakwater* yang dekat dengan *temporary jetty* yaitu 1,8 m.

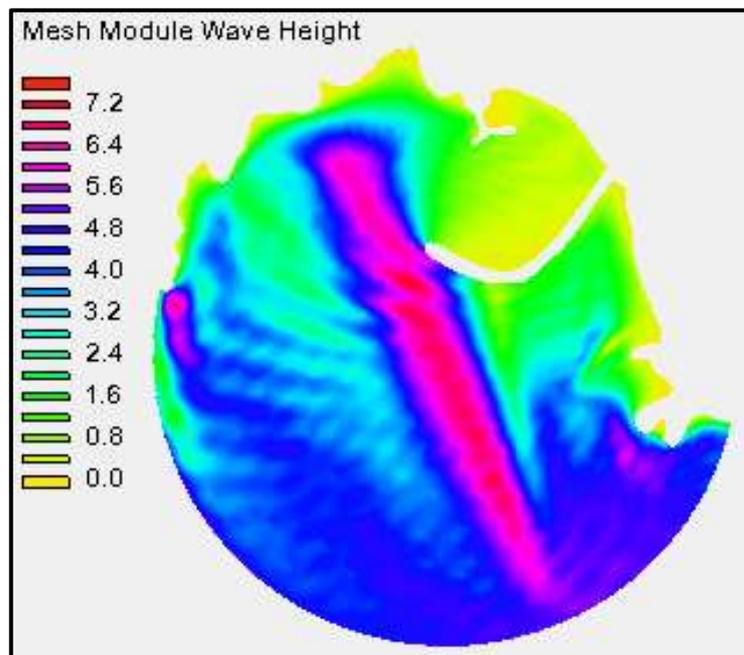
4.7.2. Pemodelan dari Arah Tenggara

Hasil meshing yang sudah selesai dikerjakan bisa digunakan untuk pemodelan gelombang. Data yang digunakan untuk diinputkan meliputi arah, periode, dan amplitude. Setelah semua data diinput maka pemodelan bisa

dirunning. Berikut merupakan hasil dari running lokasi studi arah tenggara dengan periode 13,54 detik dan amplitude 2,66 m.



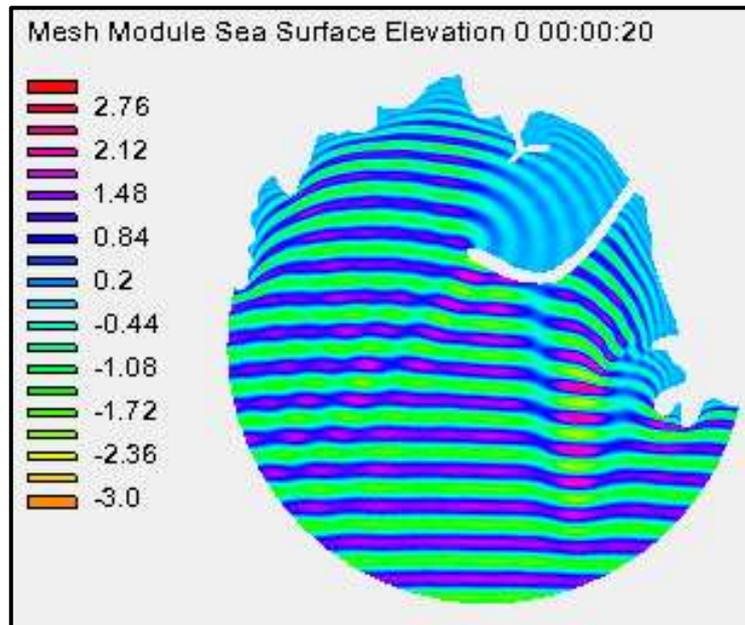
Gambar 4.13. Elevasi permukaan laut arah tenggara [m]



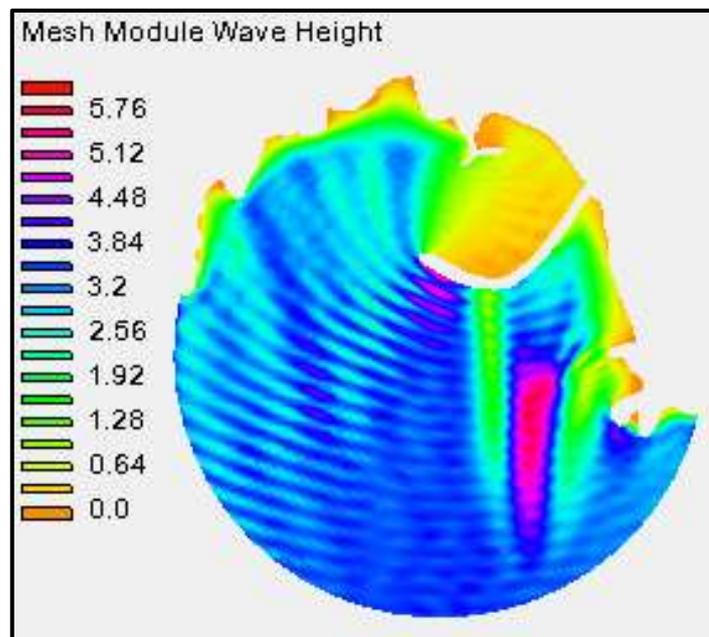
Gambar 4.14. Tinggi gelombang arah tenggara [m]

4.7.3. Pemodelan Gelombang dari Arah Selatan

Untuk pemodelan gelombang dari arah barat menggunakan step yang sama, dengan data arah Selatan periode 11.11 detik dan amplitudo 1.79 m. Berikut merupakan hasil pemodelanya.



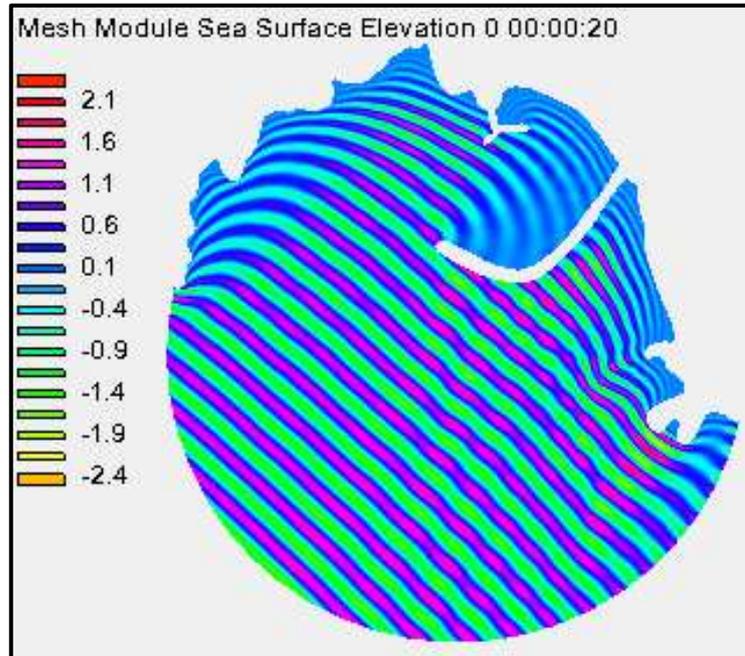
Gambar 4.15. Elevasi permukaan laut arah selatan [m]



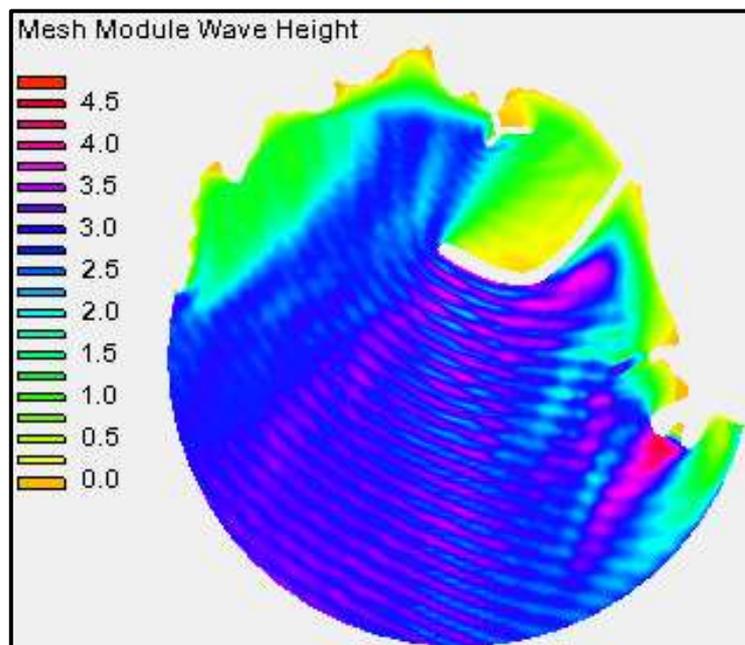
Gambar 4.16. Tinggi gelombang arah selatan [m]

4.7.4. Pemodelan Gelombang dari Arah Barat Daya

Untuk pemodelan gelombang dari arah barat menggunakan step yang sama, dengan data arah Timur periode 10.13 detik dan amplitude 1.575 m. Berikut merupakan hasil pemodelanya.

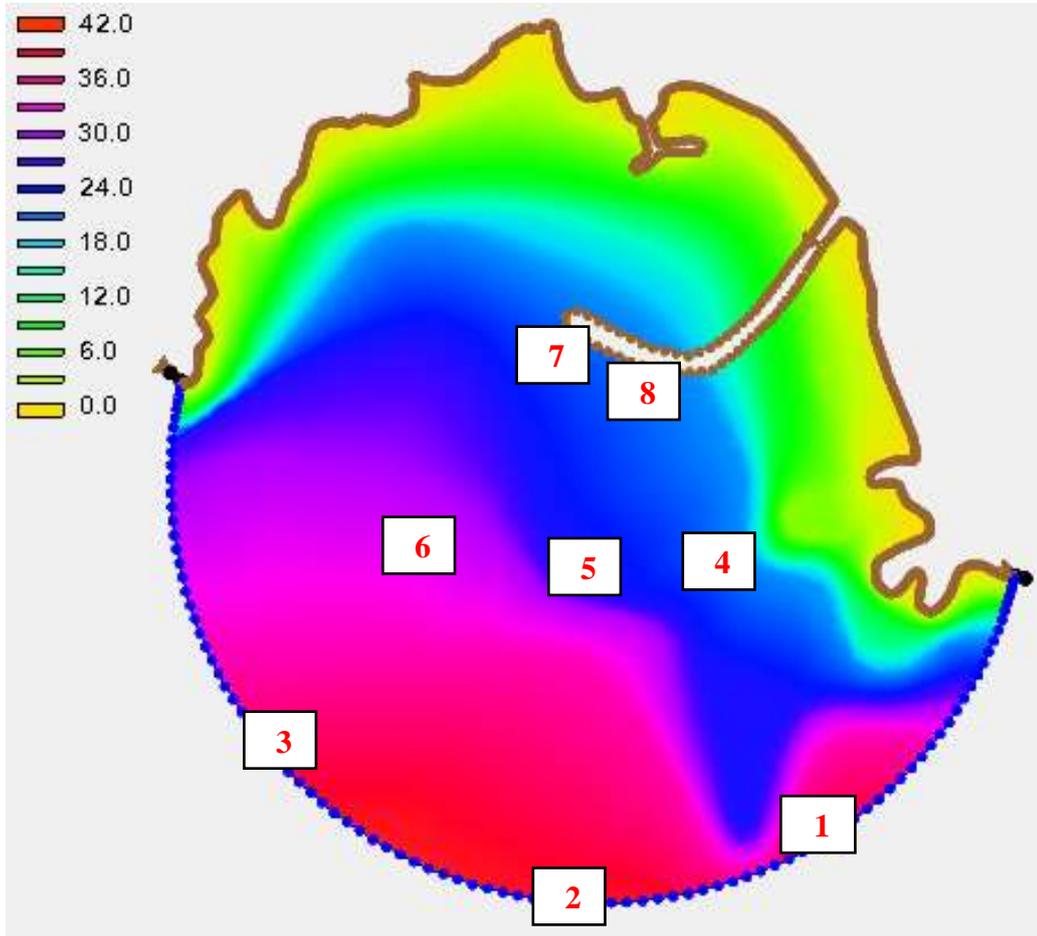


Gambar 4.17. Elevasi permukaan laut arah barat daya [m]



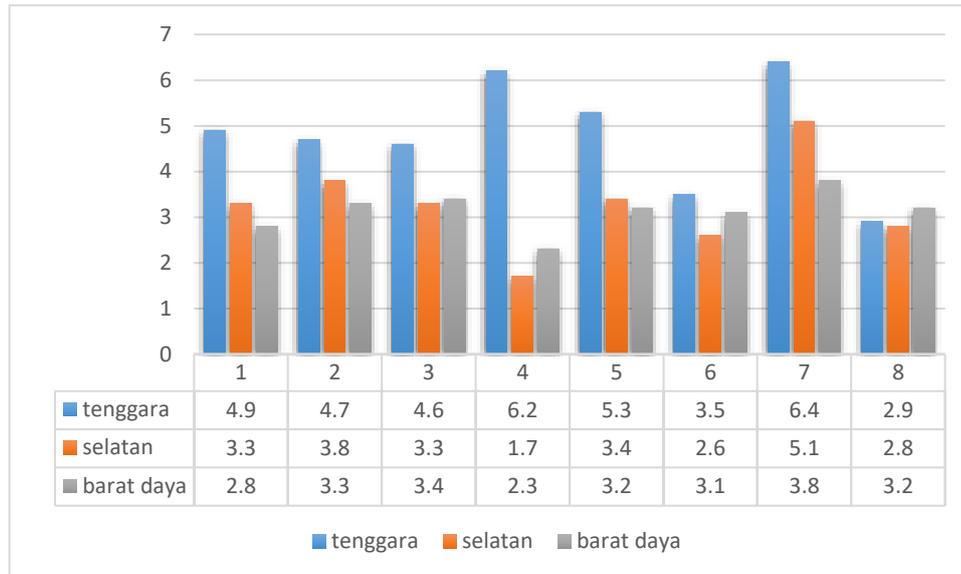
Gambar 4.18. Tinggi gelombang arah barat daya [m]

Dari hasil running tersebut didapatkan tinggi gelombang. Tinggi gelombang dari beberapa titik arah tenggara, selatan, dan barat daya dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4.19. Lokasi pengamatan tinggi gelombang

Dari pengamatan tinggi gelombang beberapa titik hasil pemodelan dapat dibandingkan dengan arah tenggara, selatan, dan barat daya. Berikut merupakan hasil perbandingan tinggi gelombang. Dari hasil perbandingan tersebut dapat dilihat jika tinggi gelombang paling tinggi berasal dari arah tenggara.



Gambar 4.20. Perbandingan tinggi gelombang [m]

Hasil pemodelan tinggi gelombang yang menghantam *breakwater* (tepat di depan *breakwater*) sebagai berikut :

Arah tenggara = 6,4 m

Arah selatan = 5,1 m

Arah barat daya = 3.8 m

Dari hasil tersebut, untuk menghitung berat *armour* menggunakan tinggi gelombang rencana tertinggi yaitu 6.4 m dari arah datang gelombang dominan tenggara.

4.8. Perhitungan Berat Unit *Armour* Tipe Dolos

Perhitungan berat unit *armour* untuk mendapatkan nilai berat setiap unit *rubblemound*, *rubblemound* yang digunakan di lokasi studi saat ini yaitu tipe dolos dengan berat 4-20 Ton. Dengan asumsi berat dolos yang digunakan di lengan *breakwater* (dihantam gelombang terus-menerus) seberat 11 ton. Jika berat *armour* lebih dari 11 ton dengan tinggi gelombang yang didapatkan dari hasil pemodelan setinggi 6.4 meter maka diganti dengan tipe BPPT-lock karena mempunyai nilai K_D yang lebih besar daripada tipe Dolos dan juga tipe BPPT-lock menggunakan *single layer*. Jika berat *armour* hasil perhitungan kurang dari 11 Ton maka perlu adanya analisa penyebab kerusakan yang ada di lokasi.

Untuk menghitung berat *armour* tipe dolos bagian badan (*trunk*) bisa menggunakan rumus Hudson dengan rumus sebagai berikut :

$$W = \frac{\gamma_r (H)^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta}$$

Dengan :

W = berat butir batu (ton)

γ_r = 2.4 (ton/m³)

γ_a = 1.025 (ton/m³)

H = 6.4 (m)

K_D badan = 15,8

K_D kepala = 8

S_r = 2.34

cot θ = 1,5

Menghitung berat *armour* tipe Dolos bagian badan (*trunk*) :

$$W = \frac{\gamma_r (H)^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta}$$

$$W = \frac{2.4(6.4)^3}{15.8(2.34-1)^3 1.5}$$

$$W = 11 \text{ Ton}$$

Menghitung berat *armour* tipe Dolos bagian kepala (*head*) :

$$W = \frac{\gamma_r (H)^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta}$$

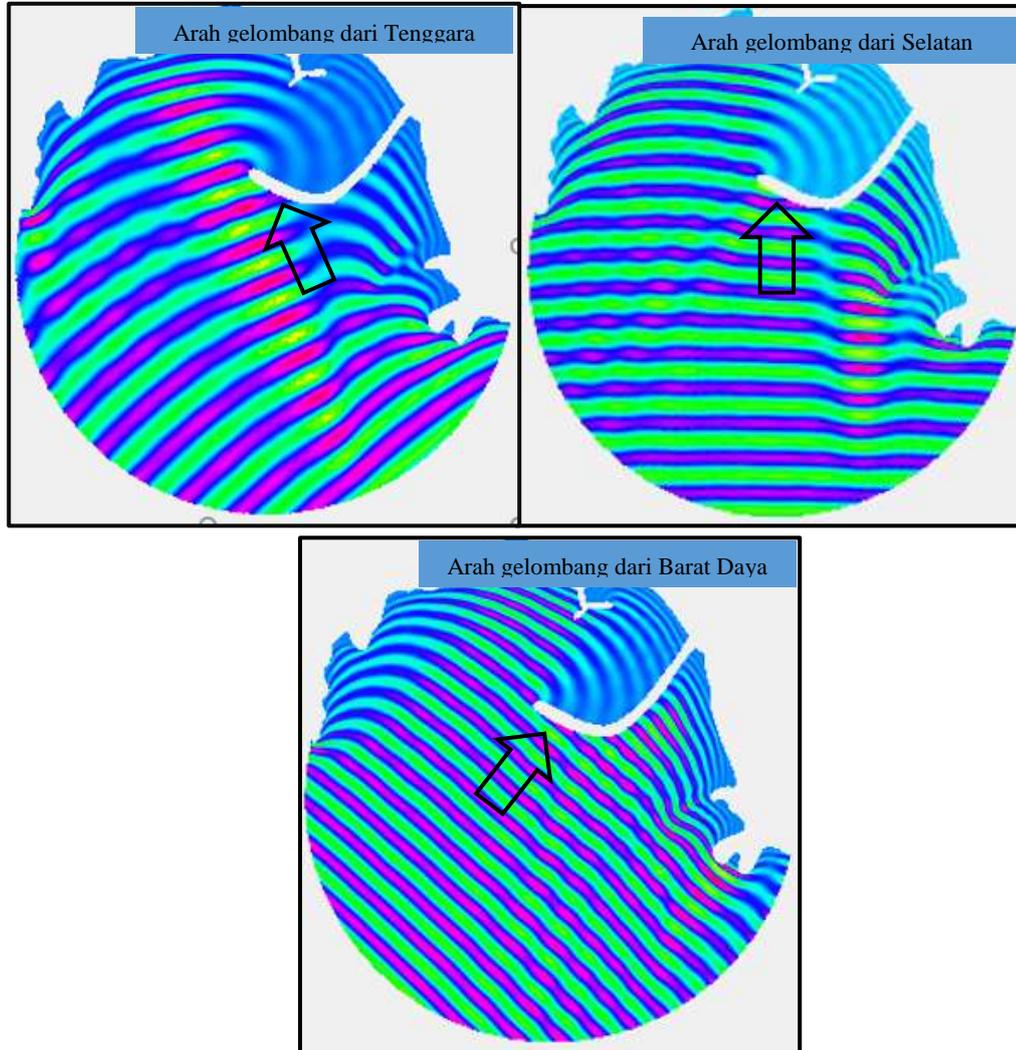
$$W = \frac{2.4(6.4)^3}{8(2.34-1)^3 1.5}$$

$$W = 21,72 \text{ Ton}$$

4.9. Analisa Penyebab Kerusakan

Dari hasil pemodelan didapatkan tinggi gelombang mencapai 6,4 m dari arah tenggara, 5,12 m dari arah selatan, dan 4 m dari arah barat daya. Gelombang yang datang terus menerus menuju *breakwater* bisa menyebabkan kerusakan, karena

kondisi dilapangan gelombang pecah bisa sampai melewati *breakwater* (gelombang pecah tepat tepat di *breakwater*).



Gambar 4.21. Arah gelombang menuju *breakwater*

Pada gambar 4.21 dapat dilihat jika gelombang menuju *breakwater* terus menerus dari arah tenggara, selatan, dan barat daya. Dengan gelombang yang menghantam *breakwater* terus-menerus menyebabkan kerusakan karena tingginya gelombang laut selatan. Mengingat laut selatan merupakan laut terbuka, hal tersebut menyebabkan gelombang yang cukup tinggi. Selain gelombang yang datang terus-menerus menghantam *breakwater*, kesalahan dalam perencanaan juga

bisa menyebabkan kerusakan *breakwater* pada kolam labuh PLTU Sudimoro Pacitan.

Tabel 4.222. Spesifikasi *breakwater* pada kolam labuh PLTU Pacitan

(Sumber: LPPM ITS, 2015)

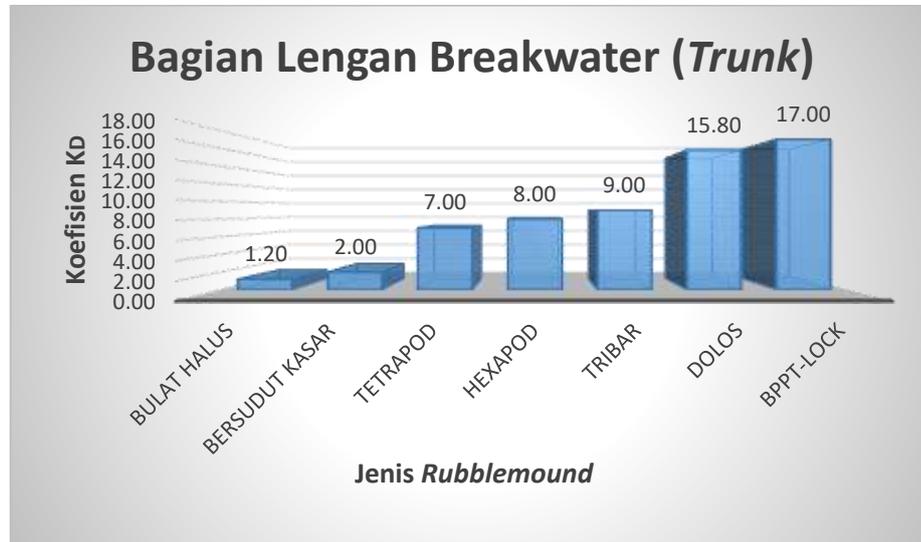
No	Uraian	Ukuran	Satuan
1	Breakwater 1		
	Panjang	760	m
	Lebar	7	m
2	Breakwater 2		
	Panjang	247	m
	Lebar	5	m
3	Konstruksi		
	Batu Kosong	100-400	Kg/Unit
	Rock Bedding	200-1500	Kg/Unit
	Dolos	4-20	Ton/Unit
4	Elevasi Lantai	+ 9.635	m LWS
5	Face Line	- 20	m LWS
6	Kemiringan	1 : 1.5	

Dalam tabel diatas dapat dilihat jika dolos yang digunakan 4-20 ton per unit, dengan mengasumsikan berat dolos yang digunakan di lengan *breakwater* 1 yaitu 10,6 ton atau dibulatkan menjadi 11 ton (perhitungan manual dari dimensi dolos yang ada di lengan *breakwater* 2) dalam kenyataanya mengalami kerusakan. Dari asumsi tersebut dapat disimpulkan jika perencanaan awal kurang tepat karena dolos yang digunakan menggunakan perhitungan bagian lengan (K_D lengan dolos 15,8). Seharusnya perencanaan untuk berat dolos bagian lengan menggunakan hasil dari perhitungan bagian kepala karena bagain lengan *breakwater* yang ada dilapangan langsung terhantam gelombang terus-menerus. Dari hasil perhitungan bagian kepala (*head*) dengan gelombang rencana dari pemodelan setinggi 6,4 m didapatkan berat *armour* seberat 21,72 ton.

4.10. Perhitungan Berat Unit *Armour* Berbagai Jenis Rubblemound

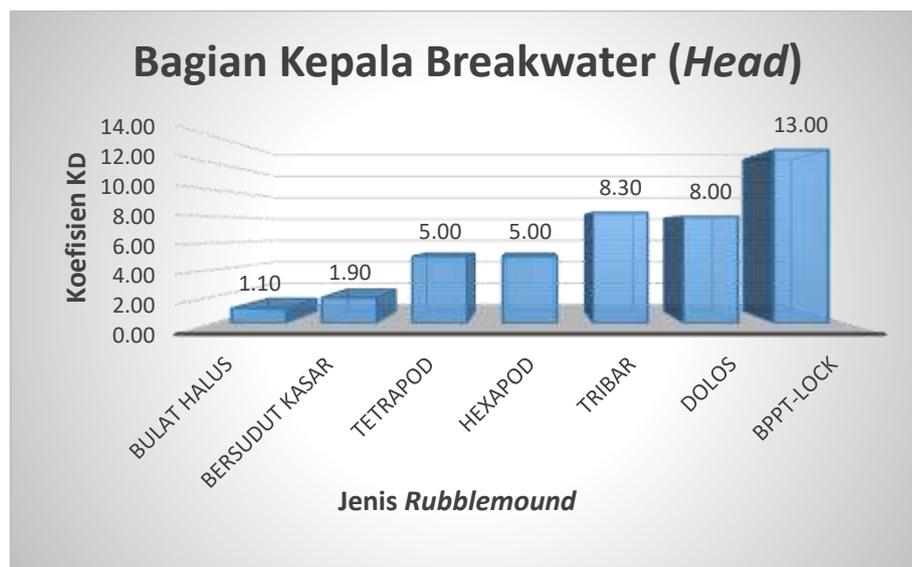
Untuk menentukan tipe *rubblemound* yang akan digunakan maka perlu dilakukan perhitungan menggunakan persamaan Hudson. Hasil dari perhitungan yang akan digunakan yaitu yang mempunyai berat paling ringan dari semua jenis

rubblemound. Berat *rubblemound* yang paling ringan dipengaruhi oleh nilai K_D . Semakin besar nilai K_D semakin ringan berat *armour* tersebut. Pada gambar 4.22 dapat dilihat perbandingan nilai K_D berbagai jenis *rubblemound*.



Gambar 4.22. Perbandingan nilai K_D *armour* sesuai dengan tipe *rubblemound* bagian lengan

Untuk perhitungan berat unit *armour* berbagai jenis *rubblemound* bagian kepala (*head*) mempunyai nilai yang lebih besar karena nilai K_D yang lebih kecil dibandingkan dengan bagian lengan. Dibawah ini merupakan perbandingan nilai K_D berbagai jenis *rubblemound* bagian kepala.



Gambar 4.233. Perbandingan nilai K_D *armour* sesuai dengan tipe *rubblemound* bagian kepala

Dari hasil perbandingan diatas dapat dilihat bahwa tipe BPPT-lock mempunyai nilai K_D lebih tinggi dari tipe *rubblemound* yang lain. Selain itu tipe *armour* BPPT-lock mempunyai *interlocking* dan juga hanya satu *layer*, sehingga cukup satu lapis saja dalam menutup sisi luar *breakwater*. Berikut merupakan perhitung berat *armour* tipe BPPT-lock bagian badan (*trunk*) :

$$W = \frac{\gamma_r (H)^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta}$$

Dengan :

W = berat butir batu (ton)

γ_r = 2.4 (ton/m³)

γ_a = 1.025 (ton/m³)

H = 6,4 (m)

K_D badan = 17

K_D kepala = 13

S_r = 2.34

$\cot \theta$ = 1,5

Menghitung berat *armour* tipe BPPT-lock bagian badan (*trunk*):

$$W = \frac{\gamma_r (H)^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta}$$

$$W = \frac{2.4(6.4)^3}{17(2.34-1)^3 1.5}$$

$$W = 10,22 \text{ Ton}$$

Menghitung berat *armour* tipe BPPT-lock bagian kepala (*head*):

$$W = \frac{\gamma_r (H)^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta}$$

$$W = \frac{2.4(6.4)^3}{13(2.34-1)^3 1.5}$$

$$W = 13,37 \text{ Ton}$$

Berikut merupakan berat *armour* tipe dolos dan BPPT-lock dari perhitungan dengan menggunakan gelombang rencana 6,4 m :

Dolos bagian badan (<i>trunk</i>)	= 11 Ton
Dolos bagian kepala (<i>head</i>)	= 21,72 Ton
BPPT-lock bagian badan (<i>trunk</i>)	= 10,22 Ton
BPPT-lock bagian kepala (<i>head</i>)	= 13,37 Ton

Dari hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan jika menggunakan tipe *rubblemound* BPPT-lock lebih ringan daripada menggunakan tipe dolos ataupun menggunakan tipe *rubblemound* yang lain.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian tugas akhir ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan pemodelan dari CGWAVE tinggi gelombang sebelum mencapai *breakwater* (laut dalam) dari arah tenggara 6,2 m, 5,3 m, 3,5 m dari arah selatan 1,7 m, 3,4 m, 2,6 m dari arah barat daya 2,3 m, 3,2 m, 3,1 m.
2. Berdasarkan pemodelan dari CGWAVE tinggi gelombang yang menghantam *breakwater* (tepat di depan *breakwater*) dari arah tenggara setinggi 6,4 m, dari arah selatan setinggi 5,1 m, dari arah barat daya setinggi 3,8 m.
3. Dari semua jenis batu pelindung yang ada, batu pelindung jenis BPPT-lock yang paling stabil karena mempunyai nilai KD paling tinggi yaitu 17 untuk bagian lengan *breakwater* dan 13 untuk bagian kepala *breakwater*, mempunyai keunggulan pada *interlocking*, dan hanya satu lapis. Untuk *breakwater* pada kolam labuh pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) Sudimoro Pacitan didapatkan hasil berat per unit yaitu 10,22 ton untuk bagian lengan (*trunk*) dan 13,37 ton untuk bagian kepala (*head*).

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut :

1. Diperlukan data yang lebih lengkap mengenai berat batu pelindung yang ada dilapangan sesuai dengan posisinya.
2. Perlu adanya analisa rencana anggaran biaya untuk menyelesaikan perbaikan *breakwater* ini

(Halaman ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Cempaka, A. 2012. **Perencanaan Pemecah Gelombang Pelabuhan Perikanan Pondok Minbo Situbondo, Jawa Timur**. Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember. Jember.
- Coastal Engineering Research Center (CERC). 1984. **Shore Protection Manual Volume I and II**. US Army Engineering Waterways Experiment Station. Washington DC. USA.
- E.J. Silva, D.N. Foster. 1974. **Dolos as an Armour Unit in Breakwater Construction**. University of Canterbury. Cristchurch.
- Fahmi, M B. 2015. **Modul Pelatihan Surface Water Modelling System (SMS) 11.1**. Jurusan Teknik Kelautan ITS, Surabaya.
- Murdjito, dkk. 2015. **Jasa Kajian Fasilitas Pelabuhan Khusus PLTU Pacitan PT PLN (persero) Unit Pembangkitan Jawa Bali**. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) ITS. Surabaya.
- Triatmodjo, B. 1999, **Teknik Pantai**. Beta Offset. Yogyakarta.
- Triatmodjo, B. 2002. **Perencanaan Pelabuhan**. Beta Offset. Yogyakarta.
- US. Army Corps of Engineers. 1986. **Design of Breakwaters and Jetties**. Whashington Dc.
- Widiyanto., H. 2004. **Perencanaan Pemecah Gelombang pada Pintu Masuk Kolam Labuh Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) Pugar-Jember**. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS. Surabaya.
- www.google.co.id/maps (Diakses tanggal 8 Februari 2017)

Zuhdan, J.M., dkk, 2012. **Development of The BPPT-lock Breakwater Armour Unit**. The Second International Conference on Port, Coastal, and Offshore Engineering (2nd ICPCO). Bandung.

LAMPIRAN 1
LOKASI STUDI

1. Lokasi Studi



2. Foto di lapangan

- a. *Breakwater* utama tempat dari dalam



b. *Breakwater* kedua tampak dari dalam



c. Jetty yang digunakan untuk bongkar muat batu bara



d. Detail *Brakwater* yang mengalami kerusakan





e. Detail dolos yang digunakan di lapangan





3. Kontur batimetri (cuplikan kontur batimetri dalam bentuk xyz)

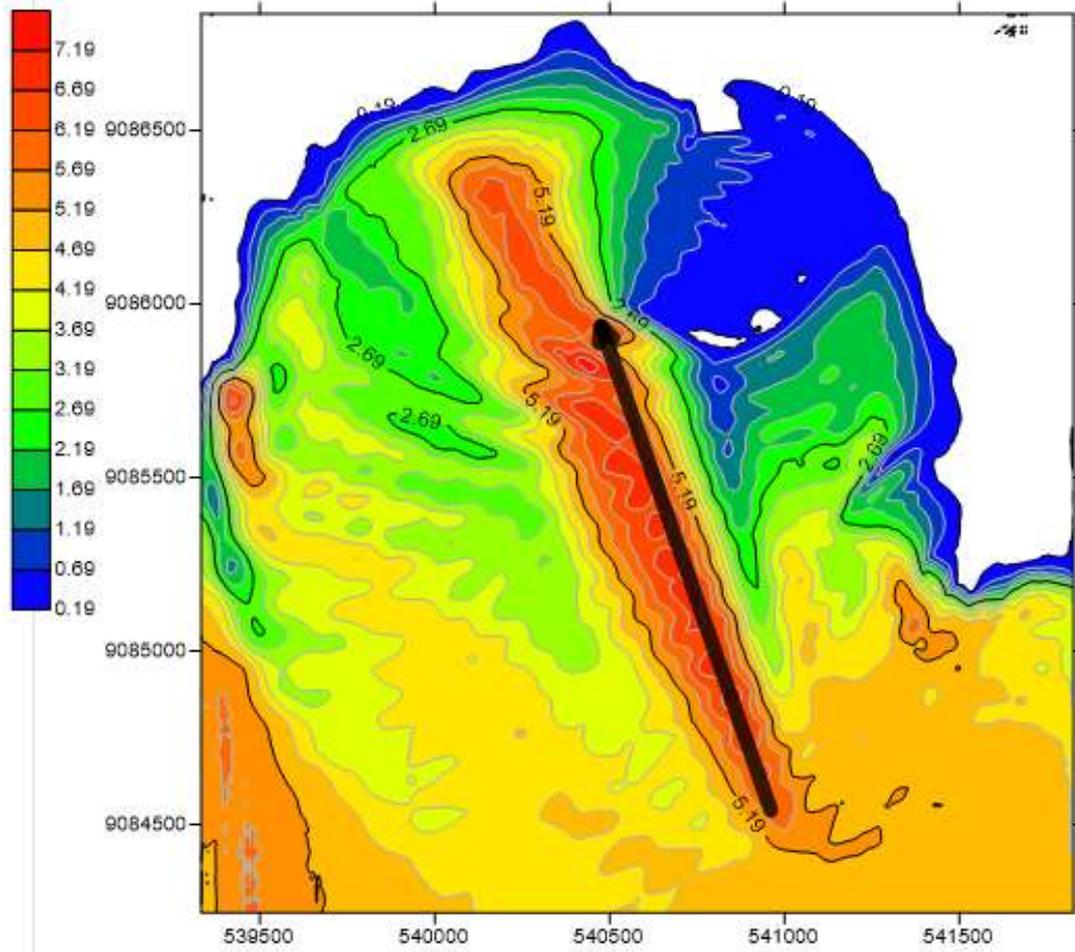
total utm garis pantai 0.1 - Notepad

File	Edit	Format	View	Help
535857.2485		9085356.105	2	
535945.7449		9085266.759	2	
535989.4759		9085223.214	2	
536050.1857		9085163.329	2	
536063.4889		9085150.676	2	
536077.1273		9085138.453	2	
536084.6494		9085132.235	2	
536092.3562		9085126.371	2	
536097.5791		9085122.715	2	
536105.611		9085117.564	2	
536113.9213		9085112.738	2	
536122.4446		9085108.213	2	
536131.1268		9085103.97	2	
536139.9455		9085100.007	2	
536145.8909		9085097.528	2	
536154.8693		9085094.079	2	
536163.9513		9085090.934	2	
536171.6003		9085088.541	2	
536179.3065		9085086.364	2	
536191.7285		9085083.394	2	
536197.9612		9085082.191	2	
536207.3075		9085080.803	2	
536216.6849		9085079.948	2	
536226.1536		9085079.612	2	
536234.075		9085079.713	2	
536241.9731		9085080.154	2	
536248.2517		9085080.759	2	
536254.4909		9085081.607	2	
536263.6538		9085083.366	2	
536272.4882		9085085.753	2	
536278.3569		9085087.761	2	
536284.2083		9085090.099	2	
536290.0303		9085092.733	2	
536295.8026		9085095.616	2	
536303.4085		9085099.771	2	
536310.8971		9085104.2	2	
536318.2755		9085108.855	2	

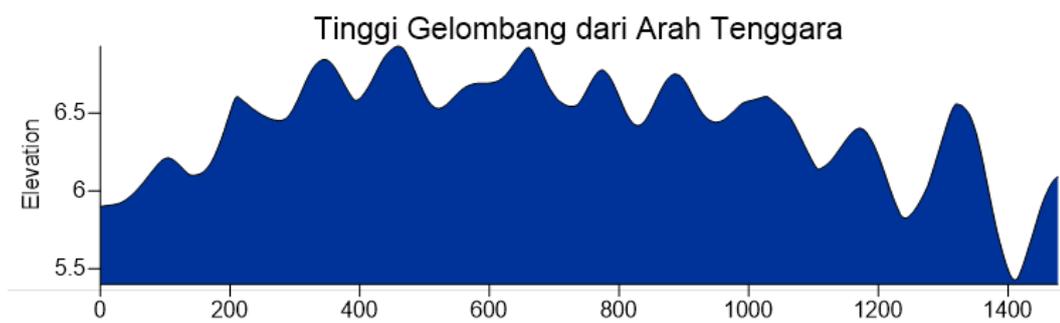
LAMPIRAN 2

**TINGGI GELOMBANG HASIL
PEMODELAN DARI ARAH
TENGARA, SELATAN, DAN
BARAT DAYA**

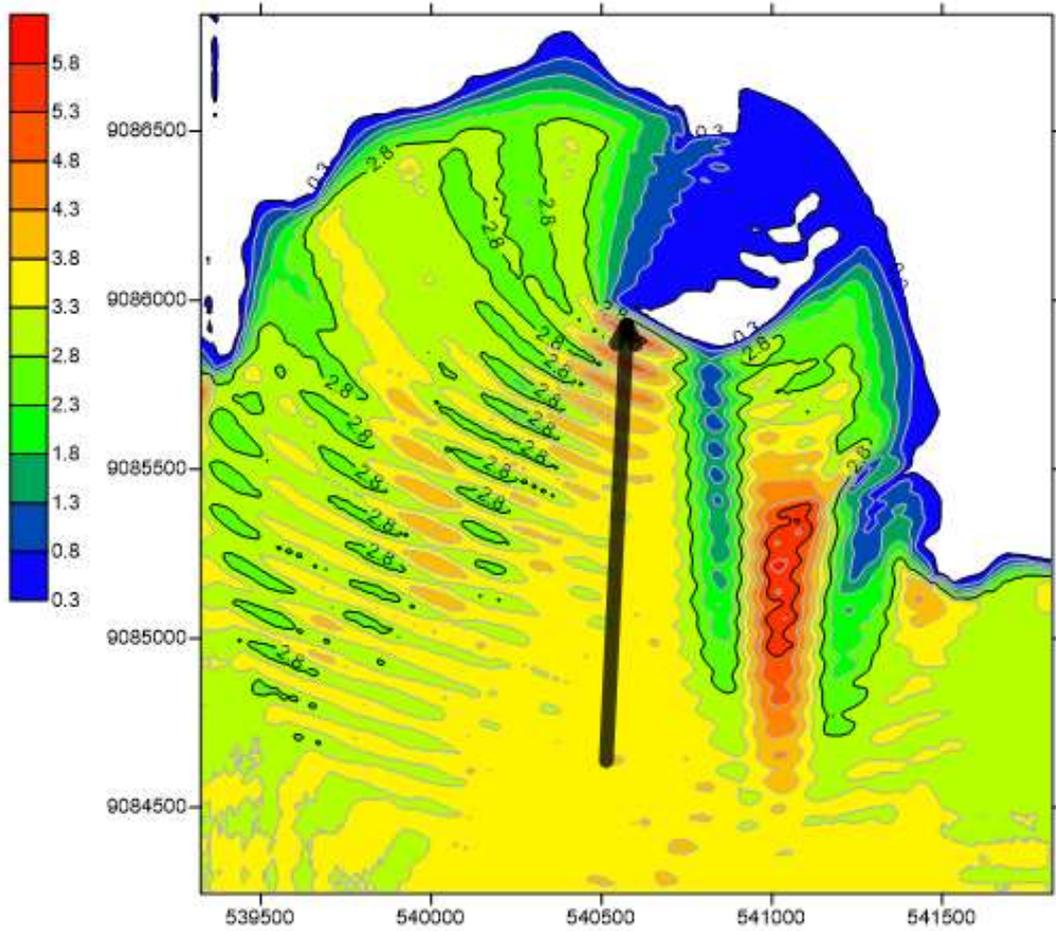
1. Tinggi gelombang dari arah tenggara [m]



2. Profil tinggi gelombang dari arah tenggara [m]



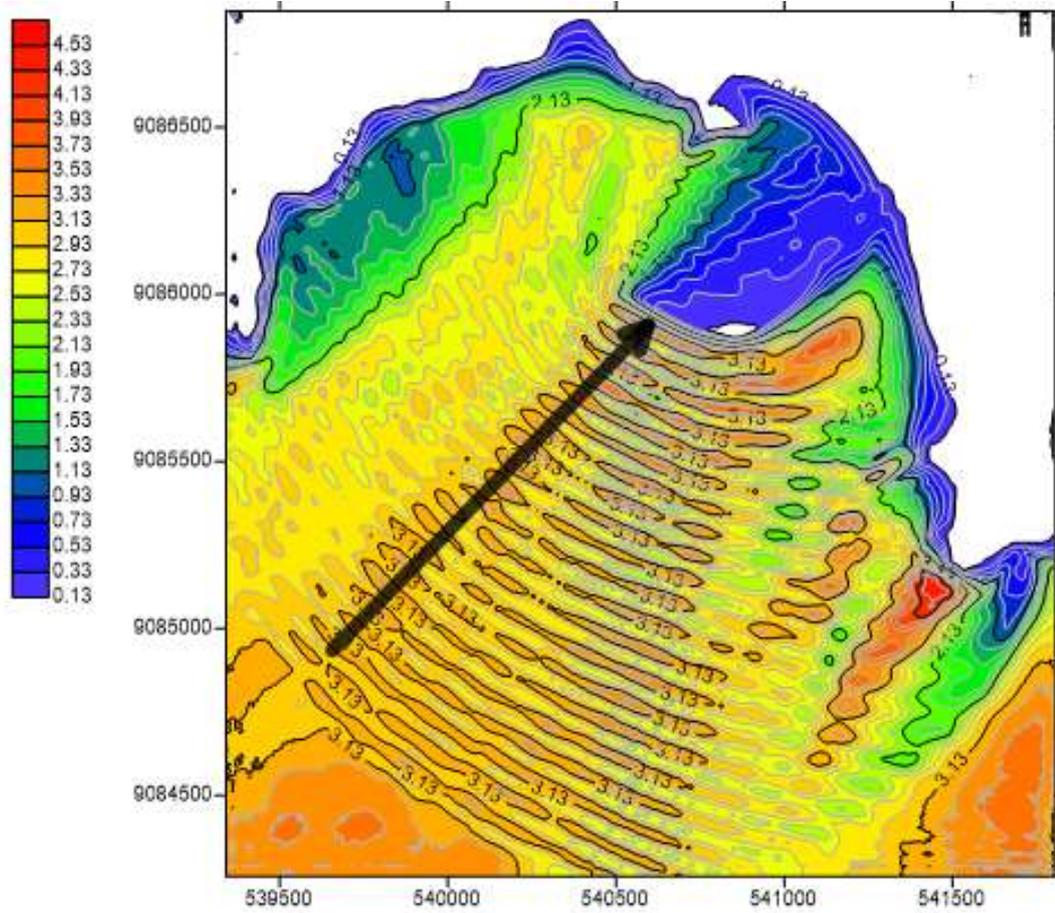
3. Tinggi gelombang dari arah selatan [m]



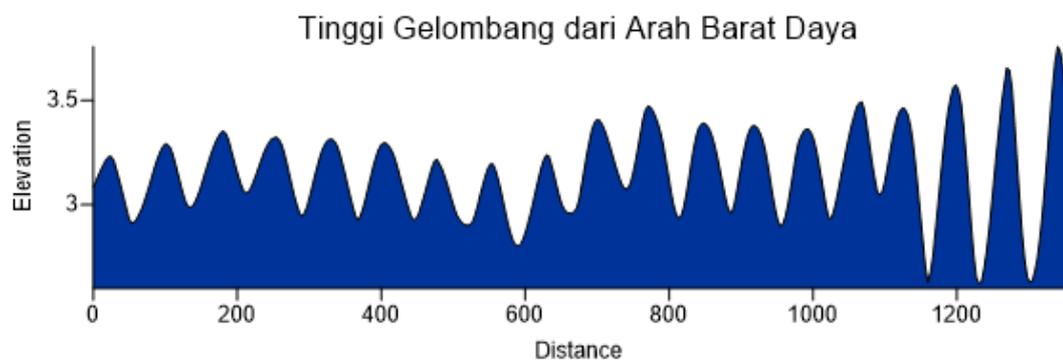
4. Profil tinggi gelombang dari arah selatan [m]



5. Tinggi gelombang dari arah barat daya [m]



6. Profil tinggi gelombang dari arah barat daya [m]



BIODATA PENULIS



Norman Akromudin, lahir di Kuala Lumpur pada tanggal 16 Agustus 1995, merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai dengan menyelesaikan jenjang Pendidikan Dasar di SD Negeri 1 Setrojenar pada tahun 2001-2007. Kemudian melanjutkan pendidikan sekolah di SMP Negeri 1 Buluspesantren pada tahun 2007-2010 dan SMA Negeri 2 Kebumen pada tahun 2010-2013, penulis diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan,

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SNMPTN terdaftar dengan NRP 4313100005. Selama menempuh masa perkuliahan penulis aktif mengikuti organisasi UKM Sepakbola ITS dan berbagai kepanitiaan. Penulis juga mengikuti perlombaan futsal dan sepakbola baik dalam tingkat Regional maupun Nasional. Pada tahun 2015 penulis menjadi ketua kegiatan ITS Futsal Championship. Pada tahun ajaran 2015/2016 penulis diberikan amanah untuk menjadi ketua Unit Kegiatan Mahasiswa Sepakbola ITS. Pada tahun 2016 penulis mendapat kesempatan melaksanakan kerja praktik di PT. Swijetty Nusantara yang berlokasi di Lampung dan Dumai.

Kontak Penulis:

Email : normanakromudin95@gmail.com

Telepon : 08121592558