



TUGAS AKHIR – RG141536

**PEMETAAN AWAL POTENSI ENERGI
LAUT DI PANTAI SELATAN PULAU
JAWA DENGAN PEMODELAN
HIDRODINAMIKA**

HANNA ANIE SHARLENE RAYITNO SOEBARI
NRP 03311440000075

Dosen Pembimbing
Danar Guruh Pratomo, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT – RG141536

**PRE-ELIMINARY MAPPING OF OCEAN
POTENTIAL ENERGY ON SOUTHERN
COAST OF JAVA USING
HYDRODYNAMICS APPROACH**

HANNA ANIE SHARLENE RAYITNO SOEBARI
NRP 0331144000075

Supervisor
Danar Guruh Pratomo, ST., MT., Ph.D.

GEOMATICS ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil, Environmental, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PEMETAAN AWAL POTENSI ENERGI LAUT DI PANTAI SELATAN PULAU JAWA DENGAN PEMODELAN HIDRODINAMIKA

Nama Mahasiswa : Hanna Anie Sharlene R S
NRP : 03311440000075
Departemen : Teknik Geomatika FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing : Danar Guruh Pratomo, ST., MT., Ph.D.

ABSTRAK

Sumber energi nonkonvensional terbarukan yang dapat dimanfaatkan dari laut adalah arus laut, pasang surut, gradien temperatur laut (*ocean thermal energy conversion*/OTEC), dan gelombang laut. Penelitian ini menganalisis kecepatan arus, ketinggian gelombang, dan rentang pasang surut yang dapat dikonversi menjadi energi potensial listrik di tiap ± 20 km segmen sepanjang garis pantai.

Model hidrodinamika 3D pada penelitian ini menggunakan *mesh* berbentuk *structured grid* dari data garis pantai dan batimetri, data pasang surut, serta informasi curah hujan untuk menentukan pemilihan bulan pembuatan model. Data pasang surut dari stasiun pasut BIG.

Berdasarkan hasil pengolahan dan analisis data dari 43 titik pengamatan, pantai selatan Pulau Jawa tidak memiliki potensi energi gelombang laut dikarenakan ketinggian gelombang yang tidak memenuhi nilai minimum yang dibutuhkan. Namun, potensi energi pasang surut menghasilkan energi yang lebih besar dan lebih merata di sepanjang pesisir dibandingkan dengan potensi energi arus laut. Peninjauan akses jalan di sekitar wilayah pesisir menghasilkan 19 titik potensi energi laut di selatan Pulau Jawa.

Estimasi daya listrik terbesar bulan Februari mencapai 1040873,4 kW pada titik $113,588391^\circ$ BT $8,465352^\circ$ LS,

sedangkan pada bulan Oktober mencapai 520482,375 kW pada titik $113,169822^{\circ}$ BT $8,296754^{\circ}$ LS. Keduanya berasal dari energi pasang surut. Nilai rata-rata estimasi energi pasang surut yang dihasilkan pada bulan Februari dan Oktober masing-masing sebesar 560468,327 kW dan 373867,1891 kW.

Kata kunci : Potensi Energi Laut, Model Hidrodinamika 3D, Kecepatan Arus, Rentang Pasut, Ketinggian Gelombang, Estimasi Daya

PRE-ELIMINARY MAPPING OF OCEAN POTENTIAL ENERGY ON SOUTHERN COAST OF JAVA USING HYDRODYNAMICS APPROACH

Name : Hanna Anie Sharlene R S
NRP : 03311440000075
Department : Geomatics Engineering FTSLK-ITS
Supervisor : Danar Guruh Pratomo ST., MT., Ph.D.

ABSTRACT

Ocean potential renewable energy sources can be utilized from currents, tides, thermal energy conversion, and wave. This study analyzed current velocity, wave height, and tidal range that can be converted to electrical potential energy in every ± 20 km segment along the coastline.

Three-dimensional hydrodynamics model in this study used structured grid mesh from coastline, bathymetry data, tidal data, wind data, and rainfall information to define the model month selection. Tidal data from Geospatial Information Agency were used to validate the model.

Due to wave height, the ocean potential energy from the wave does not meet the minimum value requirement based on the model processing and data analysis of 43 observation points. However, the potential of tidal energy generates greater and more equitable energy along the coast compared to the potential of ocean currents. There are 19 potential points for ocean renewable energy on southern coastal of Java reviewed from the road access around the coast.

Biggest estimated ocean power in February reached 1040873.400 kW located at 113.588391° E 8.465352° S, while in October reached 496365.975 kW at 113.169822° E 8.296754° S. Both power came from the tidal energy. The average estimated power from tidal in February and October were 560468.327 kW and 373867.189 kW, respectively.

*Keywords : Ocean Potential Energy, 3D Hydrodynamics Model,
Current Velocity, Tidal Range, Wave Height, Power Estimated*

LEMBAR PENGESAHAN

**PEMETAAN AWAL POTENSI ENERGI LAUT DI PANTAI
SELATAN PULAU JAWA DENGAN PEMODELAN
HIDRODINAMIKA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

HANNA ANIE SHARLENE R S
NRP 0331144000075

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Danar Guruh Pratomo, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19800507 200312 1 001


.....)

SURABAYA, JULI 2018



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus atas berkat dan hikmat yang diberikan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Pemetaan Awal Potensi Energi Laut di Pantai Selatan Pulau Jawa dengan Pemodelan Hidrodinamika”**.

Dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis, sehingga penelitian tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, dalam laporan tugas akhir ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bambang Rayitno Soebari dan Emma Jepsina Jacoba Titaley, atas doa, perhatian, dukungan, pengorbanan, dan semua bentuk kasih sayang kepada penulis;
2. Bapak Mokhammad Nur Cahyadi, ST., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika ITS;
3. Bapak Dinar Guruh Pratomo, ST., MT., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis;
4. Staf Teknik Geomatika FTSLK-ITS yang telah banyak membantu dalam kelancaran proses kelulusan;
5. Teman-teman Departemen Teknik Geomatika ITS angkatan 2014 khususnya atas segala dukungan dan bantuannya;
6. Instansi BIG (Badan Informasi Geospasial) dan BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) yang telah membantu dan menyediakan data Tugas Akhir penulis,
7. Deltares Forum, yang menjadi tempat diskusi dalam pengerjaan dan pembuatan laporan tugas akhir ini,
8. Teman-teman satu bimbingan Bapak Dinar, yang telah membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini,

9. Teman-teman Teknik Geomatika ITS khususnya G16 yang telah menemani dan mendukung pengerjaan tugas akhir selama ini,
10. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu,

Penulis menyadari bahwa dalam pelaksanaan dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini terdapat banyak kesalahan maupun kekurangan. Oleh karena itu, diharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi perbaikan menuju arah yang lebih baik, Semoga laporan ini dapat bermanfaat untuk semua pihak,

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
LEMBAR PENGESAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Arus Laut.....	5
2.2. Gelombang Laut	6
2.3. Pasang Surut Air Laut	8
2.4. Pemodelan Hidrodinamika Tiga Dimensi (3D).....	9
2.5. Penelitian Terdahulu.....	11
BAB III METODOLOGI	13
3.1. Lokasi Penelitian	13
3.2. Data dan Peralatan.....	13
3.2.1. Data	13
3.2.2. Peralatan	14
3.3. Metodologi Penelitian	14
3.3.1. Tahap Persiapan Penelitian.....	16

3.3.2.	Tahap Pengolahan Data dan Analisis Penelitian .	16
3.3.3.	Tahap Akhir Penelitian.....	23
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1.	Bidang Model Domain (Mesh).....	25
4.1.1.	Pendefinisian Batas	25
4.1.2.	Desain Model Grid	26
4.1.3.	Model Domain.....	27
4.2.	Analisis Model Hidrodinamika	29
4.3.	Analisis Pasang Surut.....	30
4.4.	Analisis Estimasi Energi dan Lokasi Potensial	41
4.4.1	Analisis Energi Pasang Surut	42
4.4.2	Analisis Energi Arus Laut	46
4.4.3	Analisis Energi Gelombang Laut	50
4.4.4	Analisis Lokasi Potensial	55
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1.	Kesimpulan.....	53
5.2.	Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....		55
LAMPIRAN.....		61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gelombang laut yang disederhanakan	7
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian	13
Gambar 3.2 Diagram Tahapan Penelitian	15
Gambar 3.3 Tahap Pengolahan Data.....	17
Gambar 4.1 Batas Model Garis Pantai	26
Gambar 4.2 Model Grid	27
Gambar 4.3 Titik Sebaran Data Kedalaman Perairan Selatan Pulau Jawa	27
Gambar 4.4 Hasil Interpolasi Kedalaman Bidang Model.....	28
Gambar 4.5 Lokasi 10 Stasiun Pasut BIG	30
Gambar 4.6 Analisa Pasut Binuangeun Bulan Februari 2017	33
Gambar 4.7 Analisa Pasut Binuangeun Bulan Oktober 2017	35
Gambar 4.8 Analisa Pasut Pacitan Bulan Februari 2017	37
Gambar 4.9 Analisa Pasut Pacitan Bulan Oktober 2017	39
Gambar 4.10 Peta Persebaran 19 Titik Potensial Energi Laut	56

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Pasang Surut Parameter Pemodelan	19
Tabel 3.2 Data Angin Parameter Pemodelan	20
Tabel 3.3 Tabel Nilai Konstan	21
Tabel 3.4 Pedoman Intepretasi RMSE dan MAE.....	22
Tabel 4.1 Parameter Model Hidrodinamika 3D	29
Tabel 4.2 Nilai RMSE dan MAE Pasang Surut	40
Tabel 4.3 Koordinat UTM Titik Observasi	41
Tabel 4.4 Hasil Estimasi Energi Pasang Surut Bulan Februari 2017	43
Tabel 4.5 Hasil Estimasi Energi Pasang Surut Bulan Oktober 2017	45
Tabel 4.6 Hasil Estimasi Energi Arus Laut Bulan Februari 2017	47
Tabel 4.7 Hasil Estimasi Energi Arus Laut Bulan Oktober 2017	49
Tabel 4.8 Hasil Estimasi Energi Gelombang Laut Bulan Februari 2017	51
Tabel 4.9 Hasil Estimasi Energi Gelombang Laut Oktober 2017	53
Tabel 4.10 Nilai Minimum Energi Laut untuk Pembangkit Listrik	55

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Grafik Plotting Nilai Pasang Surut Pemodelan dan Observasi Bulan Februari 2017	62
Lampiran 2	Grafik Plotting Nilai Pasang Surut Pemodelan dan Observasi Bulan Oktober 2017.....	70
Lampiran 3	Peta Hasil Estimasi Energi.....	78
Lampiran 4	Data Ketinggian Gelombang, Arah dan Kecepatan Arus, Arah dan Kecepatan Angin BMKG Tahun 2017	84

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu aspek penunjang kehidupan dan pembangunan nasional dalam peningkatan mutu taraf hidup bangsa Indonesia adalah energi listrik. Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional bahwa negara menjamin pasokan energi dalam negeri dan untuk pembangunan yang berkelanjutan. Namun, penggunaan energi listrik pembangkit fosil dirasa sudah tidak ekonomis lagi dikarenakan persediaannya yang sudah semakin menipis sehingga dibutuhkan alternatif lain sebagai tenaga pembangkit listrik. Data dari PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN) menunjukkan permintaan energi listrik terus meningkat pesat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk dari tahun ke tahun. Kebutuhan listrik nasional diproyeksikan akan mencapai 50.531 MW pada tahun 2019 dan 74.536 MW pada tahun 2024. PT. PLN juga berusaha meningkatkan rasio elektrifikasi nasional pada tahun 2024 hingga mencapai 99,4% (PLN 2014). Ironisnya, sumber energi konvensional berupa energi fosil yang merupakan sumber energi utama di Indonesia semakin terbatas cadangannya (DESDM 2005).

Diversifikasi energi atau penganekaragaman penyediaan dan pemanfaatan berbagai sumber energi baru, termasuk sumber energi kelautan, merupakan langkah kebijakan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) dalam menjawab isu nasional mengenai energy. Sumber energi nonkonvensional terbarukan yang dapat dimanfaatkan dari laut adalah angin, arus laut, pasang surut, gradien temperatur laut (*ocean thermal energy conversion*/OTEC), dan gelombang laut (Yuningsih 2011). Dasar pengembangan energi kelautan telah diatur dalam Undang Undang Nomor 17 Tahun 2007 tentang Rencana Jangka Panjang Nasional (RPJPN). Rencana ini masih belum dapat terealisasi karena beberapa hal, diantaranya belum tersedia informasi potensi

energi kelautan yang secara ekonomis dapat dimanfaatkan untuk pembangkit tenaga listrik (Mukhtasor 2011).

Luas wilayah perairan yang mencapai 6.300.000 km² menjadikan Indonesia memiliki potensi energi laut yang besar (BIG 2016). Salah satu wilayah perairan yang memiliki potensi tersebut adalah Pantai Selatan Jawa yang berbatasan langsung dengan Samudera Hindia. Menurut Lubis (2006) Pantai Selatan Jawa memiliki kondisi pasang surut dengan tipe campuran dominan semidiurnal, dimana dalam satu hari terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan dengan tinggi dan periode yang berbeda. Selain itu, wilayah perairan ini memiliki karakteristik kekuatan angin dan gelombang laut yang tinggi sebagai implikasi dari *monsoon* Benua Australia dan Asia (Purba 2014).

Penelitian ini merupakan analisis awal untuk pengembangan energi terbarukan yang berasal dari gelombang, arus, dan pasang surut wilayah selatan Pulau Jawa, terutama daerah pesisir. Lokasi daerah pesisir yang berada di pinggir-pinggir pulau dan sangat jauh dari pembangkit listrik milik PLN, menyebabkan terbatasnya pasokan listrik ke daerah tersebut (Nengkoda 2016). Oleh karena itu, pemanfaatan energi laut diharapkan dapat memberi pasokan listrik yang mampu memenuhi kebutuhan masyarakat pesisir guna meningkatkan pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Selain hemat dalam perawatan, pemanfaatan energi laut juga meminimalisir kerusakan lingkungan dibandingkan penggunaan energi fosil.

Dalam melakukan penilaian potensi energi laut yang tepat, pemodelan kondisi sebenarnya di lapangan perlu dilakukan seakurat mungkin. Oleh karena itu, pemodelan dengan metode numerik digunakan karena tampilan hasil perhitungan dapat disimulasikan dan dengan bantuan komputer, perhitungan menjadi cepat dan hasilnya dapat dibuat sedekat mungkin dengan nilai sesungguhnya (Sidiq 2011). Pemodelan dengan metode numerik berupa rumus Periode gelombang (T), Panjang gelombang (λ), Kecepatan gelombang (v), Energi gelombang

(E_w), dan Daya yang dihasilkan (P_w) digunakan untuk menganalisa pendekatan kuantitatif dari potensi OWE Indonesia (Anggraini dkk. 2015). Program simulasi hidrodinamik 3D komersial seperti *Delft 3D Modelling System* yang dikembangkan oleh Deltares Belanda, lebih cocok digunakan dalam pemodelan dengan ukuran grid kecil dan bentuk geometri kompleks yang menghasilkan model hidrodinamika dengan akurasi lebih tinggi untuk mensimulasikan pola gerak air secara global. *Delft 3D* merupakan program simulasi hidrodinamik multi dimensi (2D atau 3D) yang berfungsi untuk perhitungan daerah pesisir, sungai dan muara. Program ini dapat mensimulasikan perilaku hidrodinamis, angkutan sedimen, kualitas air, dan analisis ekologi pada daerah pantai dengan menggunakan grid atau garis bantu melalui suatu pendekatan (Fachrurrazi 2015).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui lokasi dengan masing-masing tipe energi laut berupa pola arus, gelombang, dan pasang surut yang dimiliki. Penelitian ini memanfaatkan model hidrodinamika 3D untuk melakukan simulasi pergerakan air laut baik secara vertikal maupun horisontal. Selanjutnya model akan divalidasi dengan data observasi untuk mengetahui tingkat kepercayaannya. Hal ini dilakukan guna mengetahui apakah hasil simulasi model dapat digunakan untuk penilaian lokasi potensi dan besar kapasitas energi listrik yang dikonversikan dari energi laut, sehingga menjadi referensi untuk pengembangan energi alternatif di Indonesia.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka penulis merumuskan beberapa masalah yang akan diteliti, antara lain :

- a. Bagaimana mengetahui lokasi yang memiliki potensi pemanfaatan energi arus, gelombang, dan pasang surut air laut di pantai selatan Jawa ?
- b. Bagaimana estimasi kapasitas energi listrik yang dihasilkan dari energi arus, gelombang, dan pasang surut air laut?

1.3 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah, antara lain :

- a. Wilayah penelitian meliputi daerah pantai selatan Jawa yang secara geografis terletak antara $7^{\circ} 2' 33,22''$ LS - $104^{\circ} 30' 38,63''$ BT dan $9^{\circ} 49' 3,71''$ LS - $114^{\circ} 50' 54,46''$ BT.
- b. Data yang digunakan menggunakan data batimetri sekunder dari GEBCO dan data garis pantai untuk pembuatan *mesh* dalam bentuk *grid* (*Structured Grid*) serta data komponen harmonik pasang surut tahun 2017 untuk pembuatan model hidrodinamika 3D.
- c. Hasil penelitian adalah penentuan lokasi potensi pemanfaatan energi arus, gelombang, dan pasang surut air laut serta estimasi besaran daya listrik yang dihasilkan setiap lokasi.
- d. *Software* pemodelan 3D hidrodinamika yang digunakan adalah *Delft3D*.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui lokasi potensi pemanfaatan energi arus, gelombang, dan pasang surut air laut untuk pembangkit listrik di kawasan pantai selatan Pulau Jawa.
- b. Mengetahui kapasitas energi listrik yang dihasilkan dari energi arus, gelombang, dan pasang surut air di kawasan pantai selatan Pulau Jawa.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dibahas mengenai dasar teori yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini. Dasar teori yang dijelaskan dibagi menjadi beberapa subbab yaitu Arus Laut, Gelombang Laut, dan Pasang Surut Air Laut.

2.1. Arus Laut

Arus laut merupakan gerakan massa air baik secara vertikal maupun secara horizontal yang bersirkulasi pada seluruh lautan di dunia yang disebabkan oleh faktor-faktor pembangkit (Hutabarat dan Evans 1986). Faktor-faktor pembangkit arus laut menurut Gross (1990) dibagi menjadi dua yaitu faktor internal dan eksternal. Faktor internal berupa perbedaan densitas, salinitas dan tekanan air laut. Sedangkan faktor eksternal berupa kesetimbangan gaya tarik-menarik antar benda angkasa dan gaya sentrifugal, tiupan angin permukaan, perbedaan tekanan udara permukaan dan gaya Coriolis. Jenis arus laut bermacam-macam, salah satunya ialah arus permukaan yang dibangkitkan oleh adanya gesekan angin permukaan yang menyebabkan “terseretnya” partikel-partikel air sehingga menciptakan sebuah momentum yang akan didistribusikan kepada partikel-partikel air lainnya hingga mencapai kedalaman dimana kecepatan atau momentum partikelnya nol (Pond dan Pickard 1983). Dalam pemanfaatan energi, arus laut memiliki beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan udara. Hal ini disebabkan oleh faktor densitas air yang hampir 800 kali lebih padat dibandingkan dengan densitas tenaga angin (*wind power density*), sehingga air akan menghasilkan energi dan daya yang lebih besar jika dibandingkan dengan tenaga angin walaupun dengan kecepatan aliran yang relatif lebih rendah. Konversi energi arus laut menjadi energi listrik pada umumnya menggunakan turbin sebagai penghasil energi kinetik yang kemudian ditransformasikan

menjadi energi listrik melalui generator yang kemudian disimpan. Arus laut yang digunakan untuk memutar turbin merupakan arus laut permukaan dengan kedalaman antara 2-20 meter. Nilai minimum kecepatan arus yang dapat digunakan adalah 0,5 m/detik. Saat ini inovasi terbaru sedang dibuat dan dikembangkan oleh PT. T-Files Indonesia yang menggunakan turbin jenis helix (spiral) yaitu Gorlov Helical Turbine. Turbin T-Files memiliki nilai koefisien generator sebesar 79,07% dengan luas permukaan turbin 1,2 m². Arus permukaan laut kemudian dikonversi menggunakan Persamaan Fraenkel dari karakter turbin T-Files (Yuningsih dkk. 2010) :

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times v^3 \times A \times \eta \quad (2.1)$$

dimana,

P : Daya listrik yang dihasilkan (W)

ρ : Berat jenis air laut (1205 kg/m³)

v : Kecepatan arus (m/s)

A : Luas permukaan turbin = ketinggian turbin
× diameter turbin

η : Koefisien generator

Kecepatan arus yang dihasilkan model kemudian divalidasi dengan menggunakan data sekunder yang didapat melalui data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). BMKG menyediakan data berupa kecepatan arus rata-rata dan arah arus.

2.2. Gelombang Laut

Gelombang laut timbul karena adanya gaya pembangkit yang bekerja pada laut. Gelombang yang terjadi di lautan dapat berasal dari beberapa macam gaya pembangkit. Gaya pembangkit tersebut terutama berasal dari angin, gaya tarik menarik bumi - bulan - matahari atau yang disebut dengan gelombang pasang surut, gangguan seismik, dan dari benda yang bergerak pada atau dekat permukaan air (Pudjanarsa 2006). Selanjutnya gelombang laut ditinjau dari sifat pengukurannya dibedakan menurut ketinggian serta periode alunannya. Dari kebanyakan data yang

ada, tinggi gelombang laut dapat diukur melalui alat ukur gelombang ataupun dengan cara visual dengan melakukan pengamatan langsung di lapangan.

Parameter terpenting dari gelombang adalah panjang gelombang L (jarak dari satu puncak gelombang ke puncak gelombang lainnya yang berurutan), tinggi gelombang H (jarak vertikal dari lembah gelombang ke puncak gelombang), periode gelombang T (waktu yang ditempuh untuk satu lintasan gelombang), dan kedalaman perairan tempat gelombang menjalar (Nasution 2008). Energi gelombang laut membawa energi kinetik dan energi potensial gravitasi. Total energi gelombang bergantung pada 2 (dua) faktor, yaitu tinggi (H) dan periode gelombang (T).



Gambar 2.1 Gelombang laut yang disederhanakan (Azis 2006)

Persamaan yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari persamaan umum energi gelombang, $E = \rho g H^2$ dimana ρ adalah berat jenis air laut dan H adalah *root mean square* tinggi gelombang ($H^2 = a^2/2$). Hal penting lainnya, osilasi yang menggerakkan energi searah dengan gelombang dan fluks energi, contoh daya per satuan lebar, adalah nilai E dikalikan dengan kecepatan gabungan $U/2$, menghasilkan (Cruz 2008) :

$$E_f = c \times H^2 \times T \quad (2.2)$$

dimana,

- E_f : Rata-rata energi gelombang melalui suatu bidang vertikal unit lebar (kW/m)
- c : Konstanta yang didapat dari $\rho g^2/4\pi$ ($\cong 7,87 \text{ kW/m}^3\text{s}$)
- H : Tinggi gelombang (m)

T : Periode gelombang (detik)

Konsistensi tinggi gelombang yang dihasilkan di perairan Selatan Jawa dikarenakan lokasi perairan yang berhadapan langsung dengan laut lepas (Samudera Hindia). Nilai minimum ketinggian gelombang yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik alternatif adalah sebesar 1,6 m (Cruz 2008), namun dengan nilai tinggi gelombang yang cukup besar dan konstan di perairan Selatan Jawa diharapkan energi listrik yang dihasilkan nanti cenderung stabil (Sriartha and Putra 2015).

Data gelombang yang digunakan dalam penelitian ini merupakan representasi data iklim gelombang (pengukuran dalam rentang waktu lama) dan diasumsikan tidak terjadi perubahan pada kondisi dasar perairan (batimetri) yang bisa mempengaruhi deformasi gelombang. Proses validasi pada penelitian ini perlu menggunakan data yang berurutan dalam jangka waktu lama (*time series*) sehingga data sekunder digunakan. Data sekunder meliputi data tinggi dan periode gelombang yang diperoleh dari BMKG.

2.3. Pasang Surut Air Laut

Energi pasang surut merupakan bentuk energi dengan memanfaatkan beda ketinggian pada waktu air laut pasang dan air laut surut. Pasang surut akan bervariasi dengan waktu dan tingginya tergantung pada posisi relatif matahari, bulan dan bumi, Tidak kurang dari 100 lokasi di dunia yang dinilai sebagai tempat yang cocok bagi pembangunan pembangkit energi pasang surut (Soepardjo 2005). Mekanisme suatu pusat energi pasang surut tergantung dari faktor meteorologi atau geofisika, antara lain, arah dan kecepatan angin, lamanya angin bertiup dan luas daerah yang dipengaruhi pasang-surut.

Potensi energi pasang-surut seluruh samudera di dunia tercatat sebesar 3.106 MW. Di Indonesia pada umumnya yang pasang-surutnya sekitar 5 m, antara lain di sebagian Pulau Sumatera, Pulau Sulawesi, Nusa Tenggara Barat (NTB), Kalimantan Barat, Irian dan pantai selatan Pulau Jawa (Soepardjo

2005). Tunggang pasut maksimum di Indonesia yang sudah terekam sampai saat ini adalah mencapai sekitar 6 m, yakni terdapat di daerah Muara Sungai Digul, Irian Jaya. Sedangkan rentang pasut minimum yang dibutuhkan untuk pemanfaatan pembangkit energi listrik adalah sebesar 2 m (Charlier 2009).

Wilayah Indonesia yang merupakan negara kepulauan, memiliki selat-selat sempit yang membatasi pulau-pulainya. Selain itu, cukup banyak juga teluk dan semenanjung yang setiap harinya mengalami pasang dan surut yang memiliki potensi untuk digali energinya. Hal ini memungkinkan untuk memanfaatkan tenaga pasang-surut, sebagai sumberdaya energi yang diperlukan oleh manusia. Energi pasang surut dengan periode pasang surut 6,2 jam kemudian, secara kasar, dapat diestimasi menggunakan formula berikut (Charlier 2009),:

$$E \cong A' m g I \int_0^H h \frac{dh}{T} = \frac{\frac{1}{2} \times (103 \times 10^3) H^2 (A \times 10^6)}{60 \times 60 \times 62} \cong 225 AH \quad (2.3)$$

dimana,

- E : Energi listrik yang dihasilkan (kWh)
- A' : Luas permukaan wilayah pasang surut (m^2)
- A : Luas permukaan wilayah pasang surut (km^2)
- g : Kecepatan gravitasi (m/s^2)
- H : Rentang pasut (m)
- m : Massa jenis air laut (kg/m^3)

Data pengamatan pasang surut penelitian ini diperoleh dari 10 stasiun pasut milik instansi Badan Informasi Geospasial (BIG) dan Pusat Hidrografi & Oseanografi Angkatan Laut (Pushidrosal). Melalui data pengamatan pasang surut akan dihitung rentang pasut per hari.

2.4. Pemodelan Hidrodinamika Tiga Dimensi (3D)

Pergerakan aliran fluida di Pantai Selatan Jawa dapat dilakukan dengan metode pemodelan numerik. Menurut Istiarto (2009), hidrodinamika adalah simulasi numerik suatu aliran air yang didasarkan pada persamaan matematika yang menggambarkan prinsip hidraulika atau penggambaran fenomena

fisik aliran dan penyelesaian persamaan matematika secara numerik. Pemodelan numerik merupakan salah satu metode yang sering digunakan dalam menentukan pola arus laut. Untuk koordinat vertikal dilakukan transformasi ke dalam bentuk sigma koordinat (s) sehingga memberikan bentuk layer vertikal akan mengikuti bentuk topografi dasar perairan (Rachman 2016). Bentuk persamaan integral pada model sigma koordinat (s) adalah sebagai berikut (Istiarto 2009)

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial z} = 0 \quad (2.4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial u\omega}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + g_x \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial vu}{\partial x} + \frac{\partial vv}{\partial y} + \frac{\partial v\omega}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + g_y \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial \omega u}{\partial x} + \frac{\partial \omega v}{\partial y} + \frac{\partial \omega \omega}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + g_z \quad (2.7)$$

dimana,

- t : Waktu
 x, y, z : Sumbu koordinat arah longitudinal, transversal, dan vertikal
 u, v, ω : Kecepatan sesaat aliran arah x, y, z
 $\zeta_{i,j}$: Tegangan geser (kecepatan dan kekentalan) arah j yang bekerja pada bidang tegak lurus sumbu i
 g_x, g_y, g_z : Percepatan gravitasi arah x, y, z

Pemodelan hidrodinamika 3D menggunakan Delft3D diawali dengan pembuatan *mesh*. *Mesh* pada pemodelan hidrodinamika merupakan jaring dasar pembentuk domain model. *Mesh* ada yang berbentuk *grid* (*Structured Grid*) dan ada yang berbentuk TIN (*Triangulated Irregular Network*) atau segitiga (*Unstructured Grid*) (Chen dkk. 2006). Software yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *mesh* dengan bentuk *grid* (*Structured Grid*). Sehingga, *mesh* adalah grid yang telah dibuat dan dilengkapi dengan data batimetri (kedalaman) yang format filenya telah diubah menjadi .xyz (Pratama 2017). *Mesh* dibuat mengikuti *domain* area studi sehingga selanjutnya disebut model *domain*. Model *domain* merupakan ruang perairan tiga dimensi,

bagian fisik dari wilayah studi yang secara skematis diwakili dalam simulasi. Model *domain* terhubung dengan wilayah fisik sekitarnya melalui pendefinisian *open boundary* dan *closed boundary*. *Boundary* merupakan garis batas antara model *domain* dan wilayah sekelilingnya. *Open boundary* membatasi antara wilayah perairan studi dengan perairan terbuka, sedangkan *closed boundary* membatasi wilayah perairan studi dengan daratan. Pendefinisian *boundary conditions* sendiri merupakan penggambaran pengaruh luar atau wilayah sekeliling terhadap model *domain* (Deltares 2017).

2.5. Penelitian Terdahulu

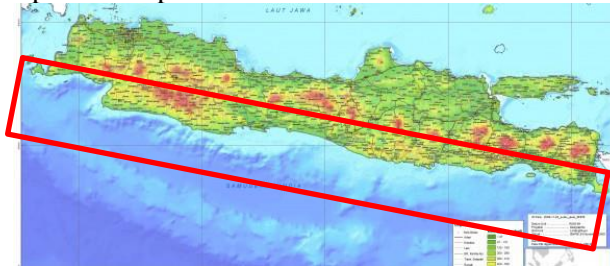
Penelitian terdahulu terkait studi lokasi dan simulasi model potensi energi laut yang dilakukan oleh Noir P. Purba dkk (2014) menggunakan data penelitian yang dikumpulkan dari berbagai sumber, seperti *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) *Coastwatch* untuk data kecepatan angin dan arus geostropik permukaan laut mingguan, *NOAA Wavewatch III* (NWW3) untuk data pemodelan ketinggian gelombang per jam, dan *Tide Model Driver* (TMD) untuk data prediksi rentang pasut dari 45 stasiun. Setiap data diambil dalam kurun waktu 3 tahun terakhir. Pemetaan potensi energi laut menggunakan SIG ini dilakukan di sepanjang pesisir Indonesia sejauh 12 mil laut sesuai batas wilayah laut internasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk potensi arus terdapat pada kawasan Indonesia timur dengan kecepatan mencapai 3 m/s. Potensi angin berada di selatan Jawa, Papua, dan Sumatera Barat. Rentang pasang surut yang potensial berada di wilayah Nusa Tenggara Timur, Sumatera Utara dan Papua dengan ketinggian hingga 4 meter. Potensi energi gelombang terletak di daerah yang langsung menghadap ke laut, terutama di sebelah selatan Jawa dengan ketinggian 1,4 m - 2,4 m. Hasil ini menjelaskan bahwa *Ocean Renewable Energy* (ORE) di Indonesia dapat berkembang dengan satu sampai empat tipe energi dalam satu lokasi.

Selanjutnya, Dita Anggraini dkk. (2015) melakukan penelitian mengenai potensi gelombang laut Indonesia sebagai pembangkit listrik menggunakan *oscillating water column* (OWC). Metode numerik digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif potensi ini. Asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah 2,5 m untuk lebar kolom OWC dan 1.030 kg/m^3 untuk nilai densitas air laut. Efisiensi daya diasumsikan mencapai 70% dan distribusi potensi gelombang dapat digambarkan dengan perhitungan numerik. Data yang digunakan berupa ketinggian gelombang laut dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Hasil penelitian menunjukkan daya terbesar yang dapat dihasilkan mencapai 323 kW berlokasi di Pulau Aru dan Laut Arafuru, dengan daya terkecil yang dihasilkan 55 kW. Lokasi pantai selatan Jawa Tengah, Laut Timor, Laut Banda menghasilkan daya maksimum 198 kW dan daya minimum 20 kW. Energi listrik menggunakan gelombang laut ini dapat ditingkatkan dengan memodifikasi lebar kolom dan jumlah *converter* OWC. Melalui hasil perhitungan yang didapat, dapat disimpulkan bahwa gelombang laut dapat menjadi sumber energi listrik alternatif yang potensial di Indonesia.

BAB III METODOLOGI

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di sepanjang kawasan pantai selatan Jawa yang terletak pada posisi geografis $7^{\circ} 2' 33,22''$ LS - $104^{\circ} 30' 38,63''$ BT sampai dengan $9^{\circ} 49' 3,71''$ LS - $114^{\circ} 50' 54,46''$ BT dengan batas wilayah sebelah utara adalah Pulau Jawa, sebelah timur, barat dan selatan adalah Samudera Hindia, Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian (BNPB 2009)

3.2. Data dan Peralatan

Data dan peralatan yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini sebagai berikut:

3.2.1. Data

Adapun data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Data batimetri pantai selatan Jawa tahun 2017 didapatkan dari *General Bathymetric Chart of the Ocean* (GEBCO).
- b. Data garis pantai tahun 2017 dari *Coastal Extraction* untuk pembuatan *grid* dari Indonesia Geospasial Portal.
- c. Data kecepatan dan arah angin dari *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) sebagai data input parameter pemodelan.
- d. Data ketinggian gelombang, serta kecepatan dan arah arus tahun 2017 daerah pantai selatan Jawa yang dikeluarkan

oleh BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika) untuk digunakan sebagai validasi model.

- e. Data pasang surut daerah pantai selatan Jawa tahun 2017 dari stasiun pasut BIG (Badan Informasi Geospasial) sebagai data input parameter pemodelan.

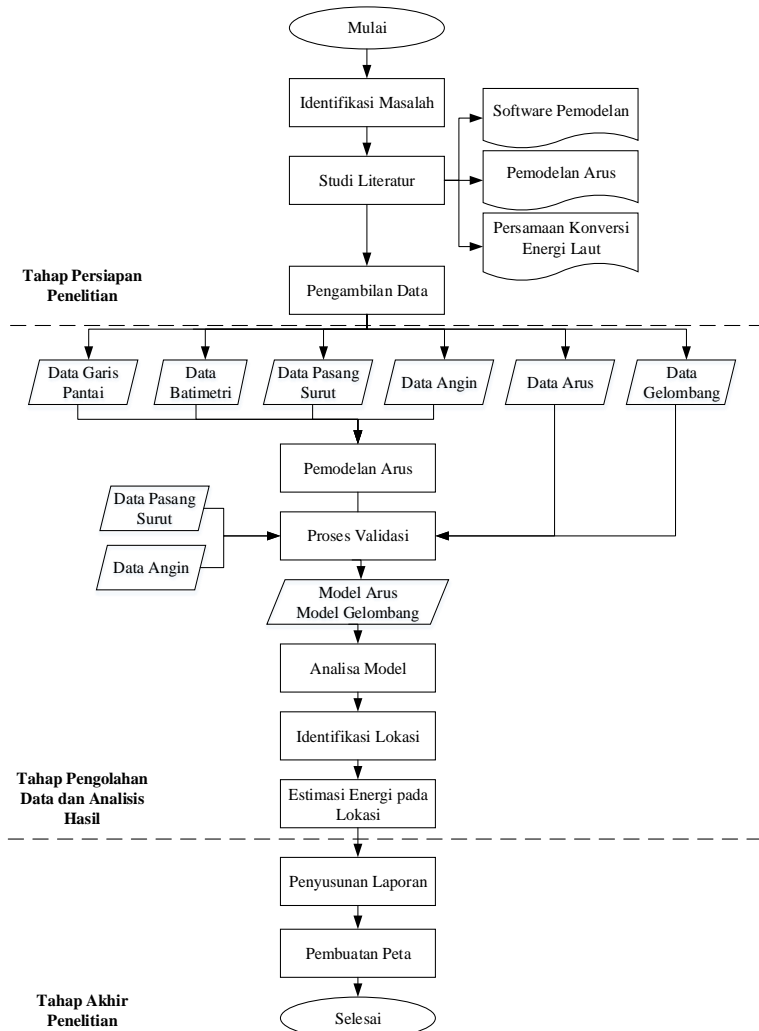
3.2.2. Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya:

- a. *Software* Delft3D.
Perangkat lunak ini digunakan untuk proses pemodelan arus dan gelombang, yang didalamnya mencakup pembuatan *grid*, interpolasi kedalaman, *mesh*, pemodelan hidrodinamika dan pemodelan sedimen diarea penelitian. Modul yang digunakan adalah modul RGFRID, QUICKIN, FLOW, WAVE, QUICKPLOT, dan GPP yang telah tersedia di software Delft3D.
- b. *Software* ArcGIS 10.3.
Perangkat lunak ini digunakan untuk proses pengolahan data batimetri dan *layouting*.
- c. *Software* MATLAB R2014a.
Perangkat lunak ini digunakan untuk pembuatan script dalam proses perhitungan konstituen pasang surut.
- d. *Software* Global Mapper 18
Perangkat lunak ini digunakan untuk mengkonversikan hasil digitasi garis pantai dari format *shapefile* (*.shp) menjadi format yang sesuai dengan perangkat lunak Delft3D yaitu *polygon* (*.pol) dan *land boundary* (*.ldb). Konversi dilakukan juga terhadap data kedalaman dalam format *text* (*.nc) menjadi format file *.xyz.

3.3. Metodologi Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan yang dijelaskan dengan diagram alir pada Gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2 Diagram Tahapan Penelitian

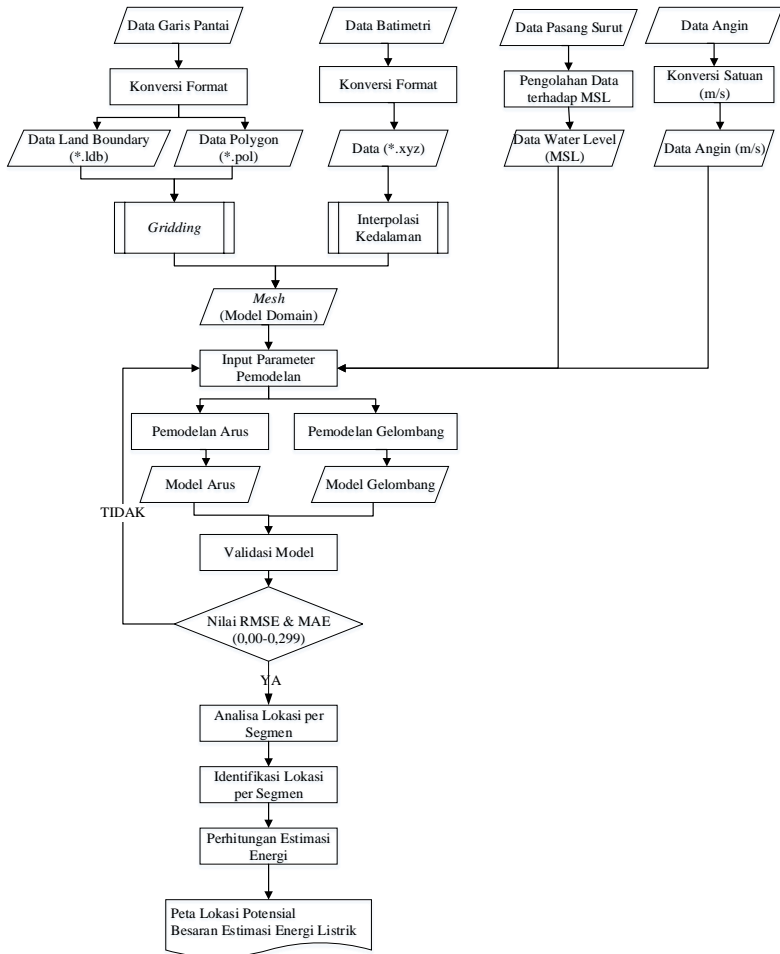
Berikut adalah uraian yang menjelaskan tahapan pada diagram alir pelaksanaan dalam penelitian ini:

3.3.1. Tahap Persiapan Penelitian

Tahap persiapan meliputi mencari dan mempelajari berbagai studi literatur yang terkait dengan penelitian. Adapun beberapa fokus studi literatur yang diperlukan dalam menunjang pelaksanaan penelitian ini. Pertama mengenai pemodelan arus dan gelombang. Kedua mengenai persamaan konversi energi kinetik laut berupa pasang surut, arus, dan gelombang laut menjadi energi potensial listrik. Terakhir mengenai *software* yang digunakan untuk membantu proses pemodelan yaitu perangkat lunak pengolahan model numerik Delft3D. Adapun persamaan yang digunakan dalam proses pemodelan adalah model aliran arus dengan persamaan hidrodinamika. Dalam tahap ini dilakukan pengambilan data meliputi data sekunder yang nantinya digunakan dalam proses pembuatan model. Data-data yang diperlukan antara lain data batimetri yang diunduh dari http://www.bodc.ac.uk/data/hosted_data_systems/gebco_gridded_bathymetry_data/; data arah dan kecepatan angin yang diunduh dari <https://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/dataproduct>; data kecepatan dan arah arus, serta data ketinggian gelombang dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG); data pengamatan dan prediksi pasang surut dari stasiun pasut dan web <http://www.tides.big.go.id>; data garis pantai yang diunduh dari <http://www.tanahair.indonesia.go.id/portal-web>.

3.3.2. Tahap Pengolahan Data dan Analisis Penelitian

Tahap pengolahan data dan analisis terdiri atas beberapa tahapan seperti yang dijelaskan dengan diagram pada Gambar 3.3 berikut:



Gambar 3.3 Tahap Pengolahan Data

Adapun beberapa proses yang dilakukan dalam tahap pengolahan data ini, diantaranya sebagai berikut:

- a. Pada penelitian ini diperlukan beberapa data yang digunakan untuk pembuatan model. Data masukan yang diperlukan

- diantaranya adalah garis pantai perairan selatan Pulau Jawa, data batimetri GEBCO, data angin, data pasang surut.
- b. Pada tahap awal pengolahan data dilakukan terhadap data garis pantai, data pasang surut, dan data batimetri. Pengolahan data terbagi kedalam beberapa proses:
 - i. Konversi Garis Pantai
Pada tahap ini diawali dengan melakukan konversi data garis pantai yang telah di *download* dalam format *.shp ke dalam format *.ldb. Proyeksi koordinat data garis pantai dari koordinat WGS ke koordinat UTM 49 S juga dilakukan pada tahap ini. Data ini nantinya akan digunakan untuk pembuatan batas area pemodelan.
 - ii. Pengolahan Data Pasang Surut
Tujuan dalam proses ini adalah mengubah data elevasi pengamatan pasang surut agar sesuai dengan nilai *water level* (MSL) masing-masing lokasi stasiun pasang surut. Kemudian, data digunakan sebagai nilai input parameter pemodelan.
 - iii. Pengolahan Data Batimetri
Pada tahap ini dilakukan konversi data batimetri dalam format netCDF (*.nc) ke dalam format *.xyz.
 - c. *Gridding* bertujuan untuk membuat *grid*, memodifikasi dan memvisualisasikan orthogonal area pemodelan. Proses ini dilakukan dengan menggunakan modul RGFGRID yang tersedia di Delft3D. Dalam penelitian ini digunakan bentuk *structured grid* berupa *rectangular grid*. Grid dibuat dengan ukuran 2.500 x 2.500 m dengan posisi grid berhimpit dengan garis pantai.
 - d. *Import boundary data* yaitu proses memasukkan data garis pantai sebagai batas area pemodelan, sehingga diperoleh grid sesuai daerah simulasi pemodelan (wilayah perairan), dengan data garis pantai berfungsi sebagai pemisah antara daratan dengan perairan. Sehingga akan dihasilkan file grid dalam format *.grd dan *.enc.

- e. Interpolasi Kedalaman yaitu proses memasukkan nilai kedalaman ke tiap grid yang sebelumnya telah dibentuk melalui proses *gridding*. Sehingga diperoleh data *mesh* (grid dengan informasi kedalaman) untuk keperluan proses pemodelan selanjutnya. Proses interpolasi kedalaman dilakukan dengan menggunakan metode *Triangulation Interpolation*. Sehingga akan dihasilkan data kedalaman hasil interpolasi yang tersimpan dalam format *.dep.
- f. Sebelum masuk dalam proses pembuatan simulasi model, terdapat proses pengolahan data pasang surut dengan metode *least square* untuk mendapatkan nilai MSL masing-masing stasiun. Nilai pengamatan pasang surut terhadap MSL ini dipakai sebagai nilai *water level* masukan sumber pembangkit arus yang berasal dari pasang surut.
- g. Dengan acuan data *mesh* yang telah dihasilkan, dilakukan pemodelan arus yang dibangkitkan oleh pasang surut dan angin yang disusun pada *time series*, nilai gravitasi, densitas air laut, dan densitas udara sebagai parameter pemodelan. Proses *input* parameter menggunakan modul *Flow input* yang terbagi kedalam *input: domain, timeframe, processes, initial conditional, boundaries, physical parameters, numerical parameters, dan monitoring*. Parameter-parameter tersebut merupakan aspek yang mempengaruhi proses pergerakan arus. Sehingga akan dihasilkan model arus area penelitian berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhinya.

Tabel 3.1 Data Pasang Surut Parameter Pemodelan

No.	Tanggal	Jam	Elevasi (m)
1.	02/01/2017	01:00:00	0,138
2.	02/01/2017	02:00:00	0,388
3.	02/01/2017	03:00:00	0,518
4.	02/01/2017	04:00:00	0,488
5.	02/01/2017	05:00:00	0,338
6.	02/01/2017	06:00:00	0,138
7.	02/01/2017	07:00:00	-0,052
8.	02/01/2017	08:00:00	-0,282

9.	02/01/2017	09:00:00	-0,362
10.	02/01/2017	10:00:00	-0,342
11.	02/01/2017	11:00:00	-0,202
12.	02/01/2017	12:00:00	-0,032
13.	02/01/2017	13:00:00	0,238
14.	02/01/2017	14:00:00	0,418
15.	02/01/2017	15:00:00	0,548
16.	02/01/2017	16:00:00	0,548
17.	02/01/2017	17:00:00	0,388
18.	02/01/2017	18:00:00	0,148
19.	02/01/2017	19:00:00	-0,122
20.	02/01/2017	20:00:00	-0,382
21.	02/01/2017	21:00:00	-0,552
22.	02/01/2017	22:00:00	-0,582
23.	02/01/2017	23:00:00	-0,452
24.	02/01/2017	00:00:00	-0,252
25.	02/01/2017	01:00:00	0,008

(Keterangan : Data pasang surut secara lengkap terlampir)

Tabel 3.2 Data Angin Parameter Pemodelan

No.	Name	Date	HrMn	QCP	Dir	Q	Spd
1.	CILACAP	20170201	0	999	9	C	0.0
2.	CILACAP	20170201	300	290	1	N	2.6
3.	CILACAP	20170201	600	210	1	N	4.1
No.	Name	Date	HrMn	QCP	Dir	Q	Spd
4.	CILACAP	20170201	900	250	1	N	5.7
5.	CILACAP	20170201	1200	20	1	N	1.5
6.	CILACAP	20170201	1500	999	9	C	0.0
7.	CILACAP	20170201	1800	270	1	N	1.5
8.	CILACAP	20170201	2100	999	9	C	0.0
9.	CILACAP	20170202	0	280	1	N	1.5
10.	CILACAP	20170202	300	300	1	N	3.1

11.	CILACAP	20170202	600	290	1	N	3.1
12.	CILACAP	20170202	900	270	1	N	4.6
13.	CILACAP	20170202	1200	260	1	N	1.5
14.	CILACAP	20170202	1500	280	1	N	2.6
15.	CILACAP	20170202	1800	270	1	N	3.1
16.	CILACAP	20170202	2100	250	1	N	2.6
17.	CILACAP	20170203	0	290	1	N	1.5
18.	CILACAP	20170203	300	270	1	N	3.6
19.	CILACAP	20170203	600	230	1	N	3.6
20.	CILACAP	20170203	900	240	1	N	4.1

(Keterangan : Data angin secara lengkap terlampir)

Tabel 3.3 Tabel Nilai Konstan

No.	Keterangan	Nilai
1.	Gravitasi	9,81 m/s ²
2.	Densitas Air Laut	1.027 kg/m ³
3.	Densitas Udara	1,2 kg/m ³

- h. *Input* parameter yang digunakan pada modul *Flow input* juga digunakan pada modul *Wave input*. Hal ini dilakukan dengan mencentang kotak pilihan *hydrodynamics*, dan mengatur agar hasil running *Flow input*, seperti *timeframe*, *waterlevel*, *current*, *bathymetry*, dan *physical parameters (wind, constants)* dapat digunakan sebagai aspek yang mempengaruhi proses pembentukan gelombang. Sehingga akan dihasilkan model gelombang area penelitian berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhinya.
- i. Hasil simulasi model arus dan gelombang kemudian perlu dilakukan proses validasi kualitas data pasang surut. Hal ini dilakukan terhadap hasil data pengamatan dengan hasil data pemodelan. Tingkat kesalahan (*error*) dari data model dibandingkan dengan data lapangan dilakukan perhitungan *root mean square error* (RMSE) dan *mean absolute error* (MAE). Nilai RMSE merupakan rata-rata besar kesalahan pada suatu sampel data, sedangkan MAE adalah rata-rata besar kesalahan tanpa memperhitungkan arah kesalahannya.

Bersama-sama, nilai RMSE dan MAE menunjukkan variasi kesalahan yang terjadi pada sampel data tersebut, RMSE selalu lebih besar atau sama dengan MAE. Semakin besar beda antara RMSE dan MAE, maka semakin besar pula variasi / perbedaan masing-masing kesalahan pada sampel yang dihitung (Khotimah 2012). Rumusan RMSE dan MAE yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{obs,i} - x_{model,i})^2}{n}} \quad (3.1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (3.2)$$

dimana,

y_i : Data lapangan

\hat{y}_i : Data hasil pemodelan

$x_{obs,i}$: Data lapangan

$x_{model,i}$: Data hasil pemodelan

n : Jumlah data

Untuk memberikan penafsiran terhadap nilai RMSE dan MAE yang didapatkan, maka digunakan Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Pedoman Interpretasi RMSE dan MAE (Khotimah 2012)

RMSE atau MAE (Meter)	Tingkat Kesalahan
0,00 – 0,299	Kecil
0,30 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,899	Besar
> 0,90	Sangat besar

- j. Simulasi pemodelan ini dilakukan pada bulan Februari dengan lama simulasi 28 hari dan bulan Oktober dengan lama simulasi selama 31 hari. Hal ini dilakukan atas dasar pernyataan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) pada koran Republika, dimana musim hujan tahun 2017 secara umum mulai terjadi pada akhir Oktober hingga November dan puncak musim hujan akan diprediksi terjadi pada Desember 2017 hingga Februari 2018 (Republika 2017).

- k. Pada tahap analisis dilakukan analisis terhadap pola arus, identifikasi lokasi setiap segmen (± 20 km) di sepanjang garis pantai, estimasi besaran energi listrik yang dihasilkan dari ketiga tipe energi laut pada lokasi tersebut.
- l. Langkah akhir yaitu pembuatan hasil akhir dari simulasi model arus dan gelombang yang dibuat kedalam sebuah video sehingga tersaji lebih menarik dan peta lokasi potensial energi laut beserta estimasi besaran energi listrik yang dihasilkan.

3.3.3. Tahap Akhir Penelitian

Tahap akhir dari penelitian ini adalah penyusunan laporan mengenai penelitian tentang pemodelan arus dan gelombang yang dapat dijadikan sebagai acuan pembangunan pembangkit listrik energi laut. Dalam hal ini khususnya di kawasan pantai selatan Pulau Jawa.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Bidang Model Domain (*Mesh*)

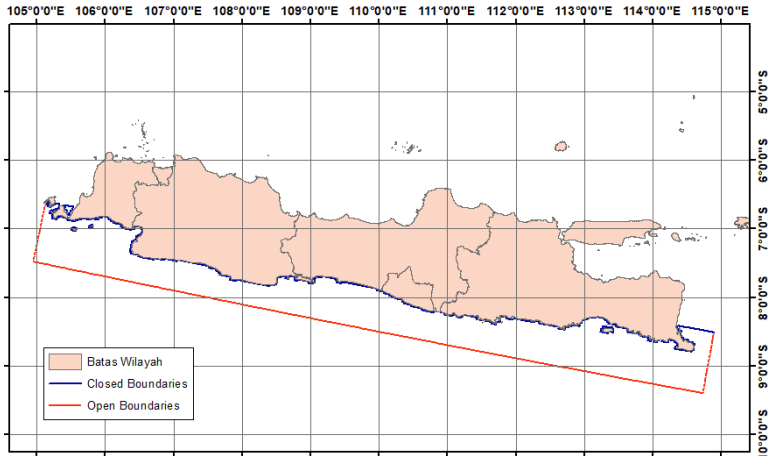
Model domain yang diperoleh merupakan *mesh* yang telah mencakup wilayah penelitian. Dengan *boundary condition* mengikuti bentuk garis pantai yang telah didefinisikan. Hasil *mesh* yang telah dianggap baik dan sesuai dengan kebutuhan (tidak terdapat error) dijadikan sebagai salah satu masukkan data utama dalam pembuatan simulasi model.

Segala bentuk data masukan yang digunakan dalam pembuatan *mesh* ini ditampilkan dalam sistem proyeksi UTM dengan sistem koordinat pilihan pada Delft3D yakni kartesian. Lokasi penelitian berada pada koordinat $7^{\circ} 2' 33,22''$ LS dan $104^{\circ} 30' 38,63''$ BT sampai dengan $9^{\circ} 49' 3,71''$ LS dan $114^{\circ} 50' 54,46''$ BT, sehingga sistem proyeksi UTM yang digunakan adalah zona 49 S. Satuan atau unit ukuran yang digunakan untuk menyatakan baik koordinat (x,y), kedalaman (m), ukuran grid, dan aspek lain adalah meter (m).

4.1.1. Pendefinisian Batas

Langkah awal dalam pembuatan bidang model (grid) adalah dengan mendefinisikan batas area pemodelan yang diwakilkan dengan garis pantai. Dalam penelitian ini datum vertikal yang digunakan dalam pembuatan model adalah MSL (*Mean Sea Level*) atau kedudukan muka air rata-rata. Garis pantai yang digunakan untuk mendefinisikan batas model diperoleh dari laman Indonesia Geospasial Portal (<http://tanahair.indonesia.go.id/portal-web>).

Wilayah penelitian berjarak 35 km atau 18,886 mil laut dari garis pantai terluar. Untuk dapat digunakan dalam proses selanjutnya, diperlukan penyesuaian format data masukan yang dapat diterima oleh *software* Delft3D yakni *polygon* (*.pol). Pada Gambar 4.1 ditampilkan gambaran batas model yang digunakan dalam penelitian ini.



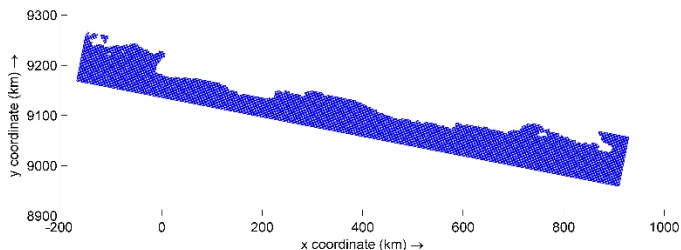
Gambar 4.1 Batas Model Garis Pantai

4.1.2. Desain Model Grid

Setelah pendefinisian batas, langkah selanjutnya dalam pembuatan bidang model adalah pembuatan jaring-jaring atau bidang jala yang akan mewakili area bidang model yang kemudian disebut sebagai grid. Grid yang dibuat adalah tipe *structured grid*, dengan model berbentuk kotak. Bentuk grid ini digunakan untuk menggambarkan atau mewakili bentuk penampang wilayah penelitian ke dalam sebuah model.

Pembuatan model grid menggunakan modul RGFFGRID yang dimiliki oleh Delft3D. Sehingga dalam modul ini dapat dilakukan pembuatan, modifikasi, dan visualisasi grid.

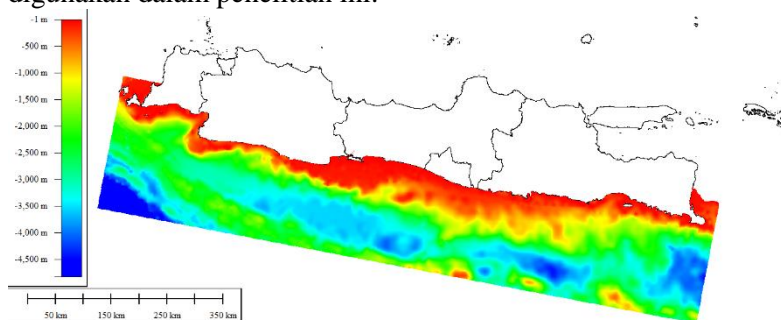
Model Grid merupakan aspek penting dalam proses pemodelan hidrodinamika dan transpor sedimen. Bentuk, ukuran dan luas model grid selalu bergantung pada studi kasus lokasi pembuatan model. Grid dibuat sedemikian rupa, untuk dapat mewakili area studi. Gambar 4.2 menunjukkan bentuk grid yang telah disesuaikan dengan area studi.



Gambar 4.2 Model Grid

4.1.3. Model Domain

Salah satu data penting dalam pembuatan model domain adalah informasi nilai kedalaman pada perairan area penelitian. Gambar 4.3 menampilkan sebaran titik-titik kedalaman yang digunakan dalam penelitian ini.

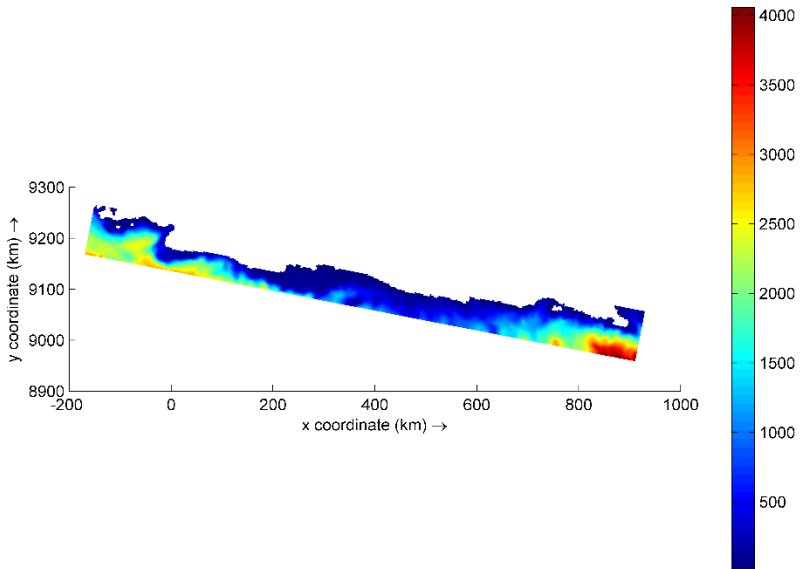


Gambar 4.3 Titik Sebaran Data Kedalaman Perairan Selatan Pulau Jawa

Titik-titik yang tersebar di dalam batas model adalah titik sebaran nilai kedalaman yang telah bereferensi pada referensi vertikal MSL (*Mean Sea Level*). Informasi nilai kedalaman dari titik sebaran ditunjukkan dengan diagram warna.

Interpolasi kedalaman merupakan tahap yang dilakukan untuk mendefinisikan nilai kedalaman kedalam masing-masing grid. Sehingga fungsi proses ini digunakan untuk menentukan kedalaman titik-titik *cell grid* pada masing-masing grid terhadap data kedalaman batimetri.

Dalam proses interpolasi kedalaman menggunakan metode *triangular interpolation*. Metode *triangular interpolation* merupakan metode sederhana dan banyak digunakan dalam interpolasi data. Algoritma ini menciptakan segitiga/triangulasi dengan menarik garis antar titik data. Setiap segitiga mendefinisikan sebuah permukaan di atas grid yang berada di dalam segitiga tersebut. Triangulasi dengan interpolasi linier bekerja paling baik bila data yang ada merata di atas area grid (Sutrisno dan Isjudarto 2016). Hasil interpolasi menunjukkan kedalaman dari bidang model yang ditampilkan pada Gambar 4.4 sebagai berikut :



Gambar 4.4 Hasil Interpolasi Kedalaman Bidang Model

Pada gambar hasil interpolasi kedalaman, informasi kedalaman perairan ditunjukkan dengan kontur warna. Nilai kedalaman yang dihasilkan memiliki nilai kedalaman positif dari 0 meter sampai dengan 4000 meter sesuai dengan kebutuhan *software*. Area terdalam dalam perairan merupakan wilayah laut lepas dengan nilai kedalaman antara 2000 meter sampai dengan

4000 meter yang ditunjukkan dengan gradasi kontur berwarna merah. Sedangkan pada area pesisir nilai kedalaman berkisar antara 0 meter sampai dengan 2000 meter yang ditunjukkan dengan gradasi kontur berwarna biru tua.

4.2. Analisis Model Hidrodinamika

Model hidrodinamika menggunakan *software opensource* Delft 3D dengan struktur grid. Pemodelan ini bersifat barotropik, dimana perubahan suhu dan salinitas diabaikan. Simulasi pemodelan ini dilakukan pada bulan Februari dengan lama simulasi 28 hari dan bulan Oktober dengan lama simulasi selama 31 hari. Hal ini dilakukan atas dasar pernyataan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) pada koran *Republika*, dimana musim hujan tahun 2017 secara umum mulai terjadi pada akhir Oktober hingga November dan puncak musim hujan akan diprediksi terjadi pada Desember 2017 hingga Februari 2018 (*Republika* 2017). Parameter yang digunakan dalam pemodelan hidrodinamika adalah sebagai berikut:

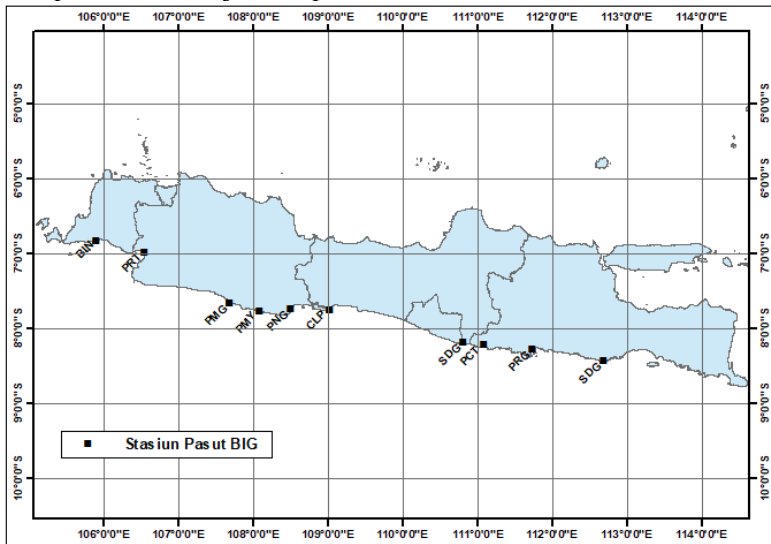
Tabel 4.1 Parameter Model Hidrodinamika 3D

Parameter	Februari 2017	Oktober 2017
Lama Simulasi	28 hari	31 hari
Jumlah <i>Timestep</i>	1343	1487
Interval <i>Timestep</i>	0,01 menit	0,01 menit
<i>Reference date</i>	01 02 2017	01 10 2017
<i>Simulasion start time</i>	01 02 2017 00:00:00	01 10 2017 00:00:00
<i>Simulasion stop time</i>	28 02 2017 23:00:00	31 10 2017 23:00:00
Titik Observasi	43 titik	43 titik

Parameter lain didefinisikan menggunakan nilai yang diperoleh dari penelitian sebelumnya, *website* video pengenalan *software* Delft3D <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/screen-casts>, atau *default* dari *software* pengolah dikarenakan data yang diperoleh sangat terbatas keterbatasan data pada lokasi penelitian.

4.3. Analisis Pasang Surut

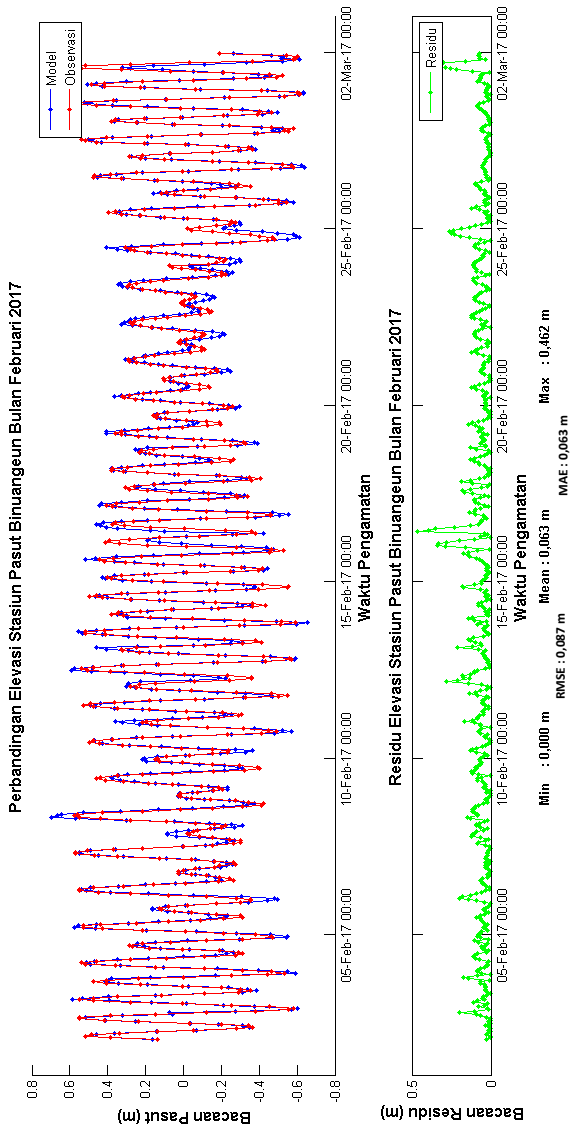
Data pengamatan pasang surut yang digunakan dalam pemodelan hidrodinamika ini adalah data pengamatan dari 10 stasiun pasang surut BIG di kawasan pantai selatan Pulau Jawa pada tanggal 01 Februari 2017 01:00:00 sampai dengan 28 Februari 2017 23:00:00 dan 01 Oktober 2017 01:00:00 sampai dengan 31 Oktober 2017 23:00:00. Data ini memiliki interval 1 jam sehingga menghasilkan data bacaan sebanyak 671 untuk bulan Februari dan 743 untuk bulan Oktober. Lokasi koordinat setiap stasiun ditunjukkan pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Lokasi 10 Stasiun Pasut BIG

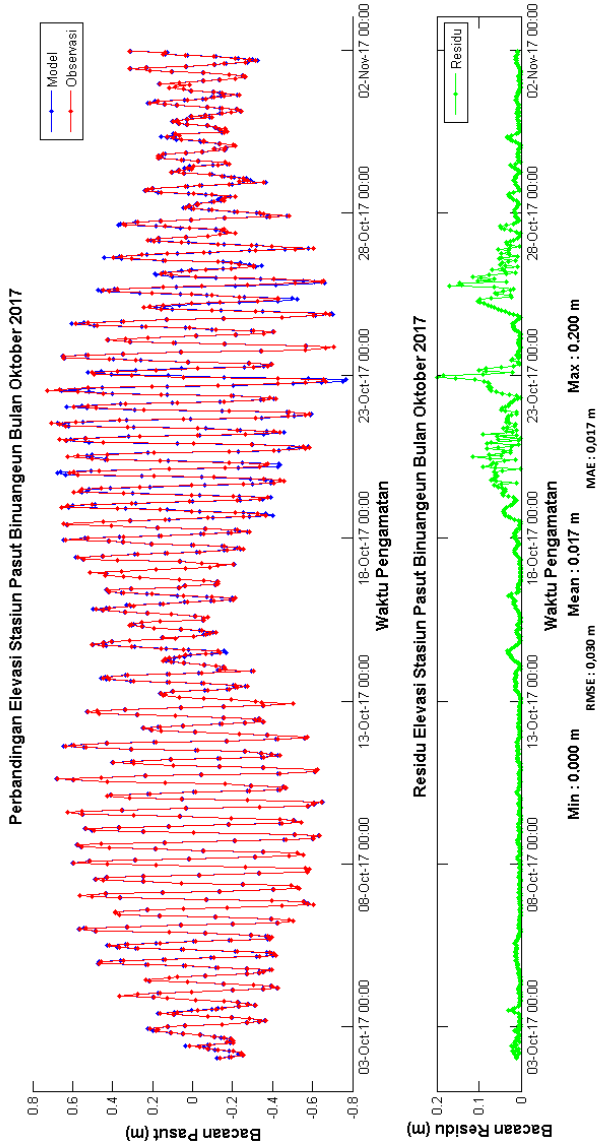
Hasil plot nilai masing-masing stasiun pasang surut dari observasi dan pemodelan ditunjukkan pada Gambar 4.6 sampai dengan 4.9 berikut:

1. Stasiun Pasut Binuangun
a. Pasut Bulan Februari



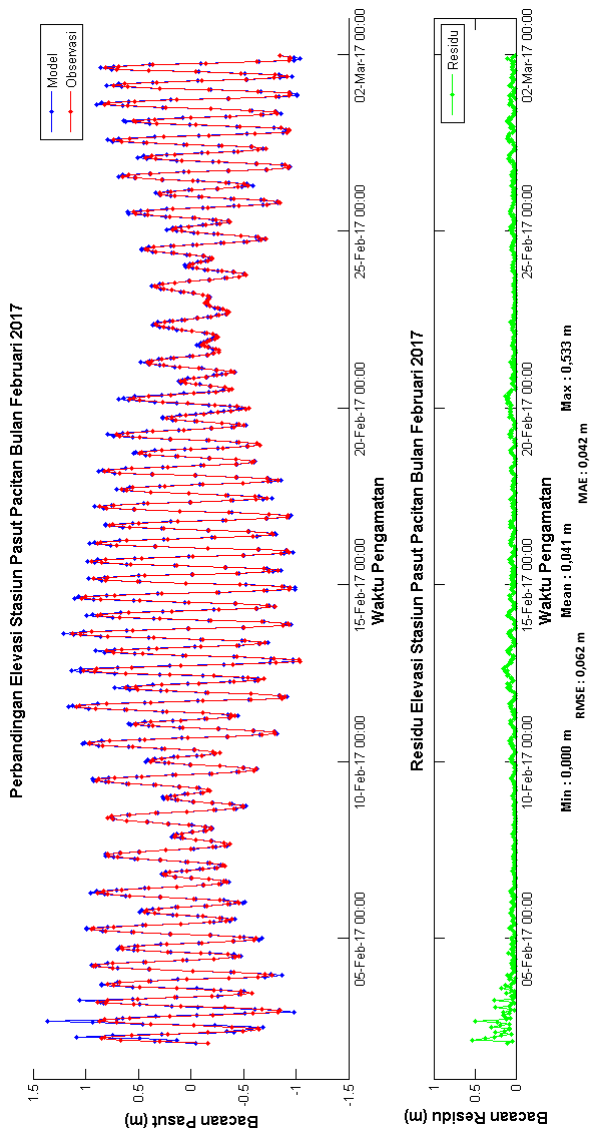
Gambar 4.6 Analisa Pasut Binuangun Bulan Februari 2017

b. Pasut Bulan Oktober



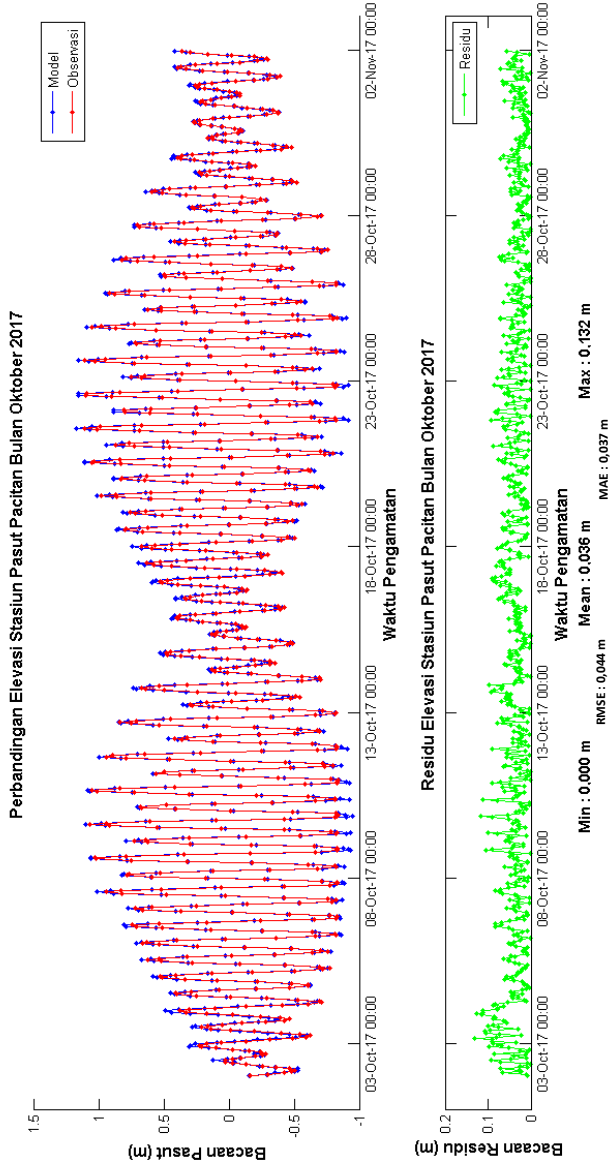
Gambar 4.7 Analisa Pasut Binuangun Bulan Oktober 2017

2. Stasiun Pasut Pacitan
 a. Pasut Bulan Februari



Gambar 4.8 Analisa Pasut Pacitan Bulan Februari 2017

b. Pasut Bulan Oktober



Gambar 4.9 Analisa Pasut Pacitan Bulan Oktober 2017

Analisa nilai pasang surut model dengan nilai pasang surut pengamatan dilakukan dengan perhitungan nilai RMSE dan MAE. Perhitungan nilai RMSE menghasilkan nilai rata-rata RMSE pada bulan Februari sebesar 0,273 m sedangkan nilai RMSE pada bulan Oktober sebesar 0,175 m. Nilai MAE menghasilkan nilai rata-rata MAE pada bulan Februari sebesar 0,219 m sedangkan nilai MAE pada bulan Oktober sebesar 0,134 m. Berikut hasil perhitungan nilai RMSE dan MAE dari setiap stasiun pasut yang dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Nilai RMSE dan MAE Pasang Surut

No.	Stasiun Pengamatan Pasut	Februari 2017		Oktober 2017	
		RMSE (m)	MAE (m)	RMSE (m)	MAE (m)
1.	Binuangeun	0,087	0,063	0,030	0,017
2.	Pelabuhan Ratu	0,576	0,521	0,133	0,112
3.	Pameungpeuk	0,563	0,499	0,141	0,119
4.	Pamayangsari	0,323	0,276	0,228	0,176
5.	Pangandaran	0,207	0,164	0,171	0,135
6.	Cilacap	0,162	0,123	0,120	0,097
7.	Sadeng	0,103	0,065	0,070	0,059
8.	Pacitan	0,062	0,042	0,044	0,037
9.	Prigi	0,348	0,239	0,567	0,383
10.	Sendangbiru	0,303	0,199	0,245	0,204
Rata-Rata		0,273	0,219	0,175	0,134

Rata-rata yang dihasilkan dari kedua nilai RMSE dan MAE pemodelan bulan Februari dan Oktober memiliki nilai yang terdapat dalam rentang 0,00 hingga 0,299 m dengan tingkat kesalahan kecil (Khotimah 2012). Semakin kecil nilai kesalahan (*error*) yang dihasilkan menyatakan semakin dekat nilai pemodelan dengan nilai sebenarnya (Darmawan 2005). Dengan demikian dapat diketahui keakuratan dari algoritma pemodelan

yang digunakan. Semakin rendah MAE semakin baik hasil yang diperoleh (Kurniati 2016).

4.4. Analisis Estimasi Energi dan Lokasi Potensial

Titik observasi atau titik pengamatan ditempatkan setiap \pm 20 km di sepanjang garis pantai sehingga menghasilkan 43 titik observasi. Setiap titik akan menganalisa potensi energi pasang surut, arus, dan gelombang di masing-masing lokasi.

Tabel 4.3 Koordinat UTM Titik Observasi

No.	Titik Observasi		Koordinat UTM	
	Node Grid (M)	Node Grid (M)	Bujur Timur (°)	Lintang Selatan (°)
1.	6	34	105,186802	6,780582
2.	15	33	105,389579	6,843255
3.	27	35	105,663488	6,851408
4.	37	36	105,888818	6,882420
5.	47	37	106,115719	6,901500
6.	56	34	106,300818	7,011523
7.	61	24	106,357955	7,256966
8.	66	36	106,532658	7,013790
9.	70	18	106,538753	7,422939
10.	79	19	106,734058	7,446097
11.	88	20	106,946246	7,463642
12.	97	21	107,148359	7,481609
13.	113	21	107,495779	7,557225
14.	122	17	107,679121	7,676911
15.	131	15	107,872136	7,770231
16.	141	16	108,098707	7,787705
17.	152	16	108,347236	7,835455
18.	159	23	108,531397	7,708513
19.	170	23	108,769763	7,768051
20.	182	24	109,045251	7,793140
21.	191	29	109,270599	7,727121
22.	200	28	109,467422	7,789950

No.	Titik Observasi		Koordinat UTM	
	Node Grid (M)	Node Grid (M)	Bujur Timur (°)	Lintang Selatan (°)
23.	222	28	109,956863	7,878352
24.	232	25	110,160031	7,992635
25.	241	23	110,359214	8,075781
26.	251	21	110,577178	8,160918
27.	262	21	110,816320	8,209499
28.	274	22	111,078271	8,240568
29.	284	22	111,306028	8,280683
30.	295	22	111,551586	8,332347
31.	306	26	111,815020	8,288190
32.	315	26	112,017718	8,327880
33.	325	26	112,240235	8,373315
34.	334	26	112,439611	8,406295
35.	346	25	112,704432	8,478446
36.	355	29	112,926355	8,425983
37.	365	37	113,169822	8,296754
38.	374	34	113,371137	8,396362
39.	384	33	113,588391	8,465352
40.	393	31	113,778456	8,543980
41.	402	28	113,967206	8,652880
42.	411	29	114,168074	8,664058
43.	422	26	114,405182	8,778656

4.4.1 Analisis Energi Pasang Surut

Energi pasang surut merupakan bentuk energi dengan memanfaatkan beda ketinggian pada waktu air laut pasang dan air laut surut. Energi pasang surut kemudian dapat diestimasi menggunakan formula (2.4) yang disederhanakan menjadi sebagai berikut (Charlier 2009):

$$E = 225 AH \quad (4.1)$$

dimana,

E : Energi listrik yang dihasilkan (kWh)

A : Luas permukaan wilayah pasang surut (km^2)

H : Rentang pasut (m)

Luas permukaan wilayah pasang surut adalah selebar 35 km dari garis pantai terluar ke arah laut lepas dengan segmentasi 20 km sepanjang garis pantai, sehingga A bernilai 700 km^2 . Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 menampilkan hasil rentang pasut beserta daya listrik yang dihasilkan pada masing-masing bulan Februari dan Oktober 2017.

Tabel 4.4 Hasil Estimasi Energi Pasang Surut Bulan Februari 2017

No.	Koordinat Titik Observasi		H (m)	E (kWh)
	Bujur Timur ($^{\circ}$)	Lintang Selatan ($^{\circ}$)		
1.	105,186802	6,780582	1,349	212435,055
2.	105,389579	6,843255	2,730	429924,600
3.	105,663488	6,851408	3,916	616824,653
4.	105,888818	6,882420	4,537	714537,527
5.	106,115719	6,901500	4,993	786444,577
6.	106,300818	7,011523	5,178	815606,552
7.	106,357955	7,256966	4,160	655128,038
8.	106,532658	7,013790	5,186	816792,480
9.	106,538753	7,422939	3,022	475910,190
10.	106,734058	7,446097	4,400	692949,285
11.	106,946246	7,463642	3,809	599848,358
12.	107,148359	7,481609	3,090	486657,990
13.	107,495779	7,557225	3,182	501192,248
14.	107,679121	7,676911	2,597	408998,835
15.	107,872136	7,770231	2,481	390760,020
16.	108,098707	7,787705	2,570	404714,363
17.	108,347236	7,835455	2,275	358247,453
18.	108,531397	7,708513	3,178	500607,450
19.	108,769763	7,768051	2,676	421432,200
20.	109,045251	7,793140	2,902	457031,925
21.	109,270599	7,727121	4,362	687021,300

No.	Koordinat Titik Observasi		H (m)	E (kWh)
	Bujur Timur (°)	Lintang Selatan (°)		
22.	109,467422	7,789950	4,105	646605,225
23.	109,956863	7,878352	3,624	570839,850
24.	110,160031	7,992635	2,992	471244,725
25.	110,359214	8,075781	3,671	578133,675
26.	110,577178	8,160918	3,425	539492,625
27.	110,816320	8,209499	2,530	398544,300
28.	111,078271	8,240568	2,869	451843,875
29.	111,306028	8,280683	2,448	385635,600
30.	111,551586	8,332347	2,795	440166,825
31.	111,815020	8,288190	4,822	759408,300
32.	112,017718	8,327880	4,508	710028,900
33.	112,240235	8,373315	2,663	419384,700
34.	112,439611	8,406295	3,593	565936,875
35.	112,704432	8,478446	3,224	507768,975
36.	112,926355	8,425983	3,182	501157,125
37.	113,169822	8,296754	4,505	709526,475
38.	113,371137	8,396362	5,167	813800,925
39.	113,588391	8,465352	6,609	1040873,400
40.	113,778456	8,543980	5,703	898214,625
41.	113,967206	8,652880	2,638	415409,400
42.	114,168074	8,664058	2,727	429425,325
43.	114,405182	8,778656	2,626	413631,225

Rata-rata energi listrik yang dihasilkan tipe pasang surut bulan Februari adalah sebesar 560468,327 kW dengan nilai terkecil 212435,055 kW di titik 105,186802° BT 6,780582° LS dan nilai terbesar 1040873,4 kW di titik 113,588391° BT 8,465352° LS.

Tabel 4.5 Hasil Estimasi Energi Pasang Surut Bulan Oktober 2017

No.	Koordinat Titik Observasi		H (m)	E (kWh)
	Bujur Timur (°)	Lintang Selatan (°)		
1.	105,186802	6,780582	1,443	227332,193
2.	105,389579	6,843255	1,703	268218,248
3.	105,663488	6,851408	2,246	353694,915
4.	105,888818	6,882420	1,986	312855,638
5.	106,115719	6,901500	2,205	347224,028
6.	106,300818	7,011523	2,147	338219,280
7.	106,357955	7,256966	1,757	276672,690
8.	106,532658	7,013790	2,319	365310,855
9.	106,538753	7,422939	1,993	313901,280
10.	106,734058	7,446097	2,056	323769,128
11.	106,946246	7,463642	2,096	330064,245
12.	107,148359	7,481609	2,685	422857,418
13.	107,495779	7,557225	2,445	385092,383
14.	107,679121	7,676911	1,699	267574,703
15.	107,872136	7,770231	1,771	278934,548
16.	108,098707	7,787705	2,345	369265,523
17.	108,347236	7,835455	1,920	302435,280
18.	108,531397	7,708513	2,395	377185,725
19.	108,769763	7,768051	2,061	324658,688
20.	109,045251	7,793140	2,322	365738,625
21.	109,270599	7,727121	2,462	387780,750
22.	109,467422	7,789950	2,317	364936,950
23.	109,956863	7,878352	2,571	404946,675
24.	110,160031	7,992635	2,319	365278,725
25.	110,359214	8,075781	2,401	378085,050
26.	110,577178	8,160918	2,393	376958,925
27.	110,816320	8,209499	2,360	371774,025
28.	111,078271	8,240568	2,393	376941,600
29.	111,306028	8,280683	2,117	333504,360

No.	Koordinat Titik Observasi		H (m)	E (kWh)
	Bujur Timur (°)	Lintang Selatan (°)		
30.	111,551586	8,332347	2,168	341504,730
31.	111,815020	8,288190	3,305	520482,375
32.	112,017718	8,327880	2,855	449585,325
33.	112,240235	8,373315	2,626	413566,650
34.	112,439611	8,406295	2,669	420356,475
35.	112,704432	8,478446	2,744	432233,550
36.	112,926355	8,425983	2,902	457005,150
37.	113,169822	8,296754	3,152	496365,975
38.	113,371137	8,396362	3,154	496695,150
39.	113,588391	8,465352	2,748	432737,550
40.	113,778456	8,543980	2,548	401376,150
41.	113,967206	8,652880	2,828	445389,525
42.	114,168074	8,664058	2,809	442408,050
43.	114,405182	8,778656	2,637	415370,025

Rata-rata energi listrik yang dihasilkan tipe pasang surut bulan Oktober adalah sebesar 373867,1891 kW dengan nilai terkecil 227332,193 kW di titik 105,186802° BT 6,780582° LS dan nilai terbesar 520482,375 kW di titik 111,815020° BT 8,288190° LS.

4.4.2 Analisis Energi Arus Laut

Konversi energi arus laut menjadi energi listrik pada umumnya menggunakan turbin sebagai penghasil energi kinetik yang kemudian ditransformasikan menjadi energi listrik melalui generator yang kemudian disimpan. Arus laut yang digunakan untuk memutar turbin merupakan arus laut permukaan dengan kedalaman antara 2-20 meter. Nilai minimum kecepatan arus yang dapat digunakan adalah 0,5 m/detik. Saat ini inovasi terbaru sedang dibuat dan dikembangkan oleh PT. T-Files Indonesia yang menggunakan turbin jenis helix (spiral) yaitu Gorlov Helical Turbine. Arus permukaan laut kemudian dikonversi

menggunakan Persamaan Fraenkel dari karakter turbin T-Files (Yuningsih dkk., 2010) :

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times v^3 \times A \times \eta \quad (4.2)$$

dimana,

P : Daya listrik yang dihasilkan (W)

ρ : Berat jenis air laut (1207 kg/m³)

v : Kecepatan arus (m/s)

A : Luas permukaan turbin = ketinggian turbin x diameter turbin = 1,2 m²

η : Koefisien generator (79,07 %)

Tabel 4.6 dan Tabel 4.7 menampilkan hasil rata-rata kecepatan arus beserta daya listrik yang dihasilkan pada masing-masing bulan Februari dan Oktober 2017.

Tabel 4.6 Hasil Estimasi Energi Arus Laut Bulan Februari 2017

No.	Koordinat Titik Observasi		\bar{v} (m)	P (W)
	Bujur Timur (°)	Lintang Selatan (°)		
1.	105,186802	6,780582	0,517	79,177
2.	105,389579	6,843255	0,254	9,366
3.	105,663488	6,851408	0,592	118,447
4.	105,888818	6,882420	0,783	274,362
5.	106,115719	6,901500	0,136	1,444
6.	106,300818	7,011523	0,294	14,544
7.	106,357955	7,256966	2,536	9319,000
8.	106,532658	7,013790	0,003	0,000
9.	106,538753	7,422939	1,588	2289,000
10.	106,734058	7,446097	0,371	29,214
11.	106,946246	7,463642	0,552	96,135
12.	107,148359	7,481609	0,982	540,712
13.	107,495779	7,557225	0,336	21,713
14.	107,679121	7,676911	1,540	2086,000
15.	107,872136	7,770231	1,274	1182,000
16.	108,098707	7,787705	0,392	34,482
17.	108,347236	7,835455	0,633	144,906

No.	Koordinat Titik Observasi		\bar{v} (m)	P (W)
	Bujur Timur (°)	Lintang Selatan (°)		
18.	108,531397	7,708513	0,022	0,006
19.	108,769763	7,768051	0,247	8,631
20.	109,045251	7,793140	0,064	0,149
21.	109,270599	7,727121	0,094	0,468
22.	109,467422	7,789950	0,070	0,193
23.	109,956863	7,878352	0,045	0,054
24.	110,160031	7,992635	0,103	0,633
25.	110,359214	8,075781	0,067	0,174
26.	110,577178	8,160918	0,108	0,719
27.	110,816320	8,209499	0,027	0,011
28.	111,078271	8,240568	0,123	1,062
29.	111,306028	8,280683	0,101	0,582
30.	111,551586	8,332347	0,003	0,000
31.	111,815020	8,288190	0,041	0,041
32.	112,017718	8,327880	0,532	86,137
33.	112,240235	8,373315	0,200	4,552
34.	112,439611	8,406295	0,188	3,818
35.	112,704432	8,478446	0,284	13,121
36.	112,926355	8,425983	0,131	1,281
37.	113,169822	8,296754	0,054	0,091
38.	113,371137	8,396362	0,595	120,125
39.	113,588391	8,465352	0,127	1,161
40.	113,778456	8,543980	0,258	9,859
41.	113,967206	8,652880	0,154	2,087
42.	114,168074	8,664058	0,147	1,822
43.	114,405182	8,778656	0,164	2,505

Rata-rata energi listrik yang dihasilkan tipe arus laut bulan Februari adalah sebesar 0,383 kW dengan nilai terkecil 0,000 kW di titik 106,532658° BT 7,013790° LS dan 111,551586° BT 8,332347° LS. Nilai terbesar energi yang

dihasilkan adalah 9,319 kW di titik 106,357955° BT
7,256966° LS.

Tabel 4.7 Hasil Estimasi Energi Arus Laut Bulan Oktober 2017

No.	Koordinat Titik Observasi		\bar{v} (m)	P (W)
	Bujur Timur (°)	Lintang Selatan (°)		
1.	105,186802	6,780582	0,184	3,563
2.	105,389579	6,843255	0,086	0,362
3.	105,663488	6,851408	0,247	8,624
4.	105,888818	6,882420	0,389	33,721
5.	106,115719	6,901500	0,060	0,124
6.	106,300818	7,011523	0,125	1,114
7.	106,357955	7,256966	1,094	747,913
8.	106,532658	7,013790	0,003	0,000
9.	106,538753	7,422939	0,459	55,264
10.	106,734058	7,446097	0,754	244,687
11.	106,946246	7,463642	0,938	471,674
12.	107,148359	7,481609	0,588	116,206
13.	107,495779	7,557225	0,581	112,162
14.	107,679121	7,676911	0,760	251,090
15.	107,872136	7,770231	0,361	27,015
16.	108,098707	7,787705	0,417	41,440
17.	108,347236	7,835455	0,537	88,707
18.	108,531397	7,708513	0,019	0,004
19.	108,769763	7,768051	0,162	2,444
20.	109,045251	7,793140	0,058	0,110
21.	109,270599	7,727121	0,063	0,143
22.	109,467422	7,789950	0,054	0,090
23.	109,956863	7,878352	0,036	0,027
24.	110,160031	7,992635	0,065	0,154
25.	110,359214	8,075781	0,034	0,022
26.	110,577178	8,160918	0,055	0,097
27.	110,816320	8,209499	0,045	0,053
28.	111,078271	8,240568	0,115	0,878

No.	Koordinat Titik Observasi		\bar{v} (m)	P (W)
	Bujur Timur (°)	Lintang Selatan (°)		
29.	111,306028	8,280683	0,136	1,432
30.	111,551586	8,332347	0,002	0,000
31.	111,815020	8,288190	0,056	0,102
32.	112,017718	8,327880	0,637	147,634
33.	112,240235	8,373315	0,236	7,532
34.	112,439611	8,406295	0,185	3,606
35.	112,704432	8,478446	0,328	20,194
36.	112,926355	8,425983	0,157	2,212
37.	113,169822	8,296754	0,048	0,063
38.	113,371137	8,396362	0,664	166,967
39.	113,588391	8,465352	0,139	1,538
40.	113,778456	8,543980	0,258	9,783
41.	113,967206	8,652880	0,144	1,723
42.	114,168074	8,664058	0,154	2,081
43.	114,405182	8,778656	0,156	2,160

Rata-rata energi listrik yang dihasilkan tipe arus laut bulan Oktober adalah sebesar 0,059 kW dengan nilai terkecil 0,000 kW di titik 106,532658° BT 7,013790° LS dan 111,551586° BT 8,332347° LS. Nilai terbesar energi yang dihasilkan adalah 0,747 kW di titik di titik 106,357955° BT 7,256966° LS.

4.4.3 Analisis Energi Gelombang Laut

Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air laut dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva/grafik sinusoidal. Konsistensi tinggi gelombang yang dihasilkan di perairan Selatan Jawa dikarenakan lokasi perairan yang berhadapan langsung dengan laut lepas (Samudera Hindia). Nilai minimum ketinggian gelombang yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik alternatif adalah sebesar 1,6 m (Cruz

2008), namun dengan nilai tinggi gelombang yang cukup besar dan konstan di perairan Selatan Jawa diharapkan energi listrik yang dihasilkan nanti cenderung stabil (Sriartha dan Putra 2015). Persamaan yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari persamaan umum energi gelombang (Cruz 2008):

$$E_f = c \times H^2 \times T \quad (4.3)$$

dimana,

E_f : Rata-rata energi gelombang melalui suatu bidang vertikal unit lebar (kW/m)

c : Konstanta yang didapat dari $\rho g^2 / 4\pi$
($\cong 7,87 \text{ kW}/\text{m}^3\text{s}$)

H : Tinggi gelombang (m)

T : Periode gelombang (detik)

Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 menampilkan hasil rata-rata kecepatan arus beserta daya listrik yang dihasilkan pada masing-masing bulan Februari dan Oktober 2017.

Tabel 4.8 Hasil Estimasi Energi Gelombang Laut Bulan Februari 2017

No.	Koordinat Titik Observasi		H (m)	E_f (kW/m)
	Bujur Timur (°)	Lintang Selatan (°)		
1.	105,186802	6,780582	0,427	7,175
2.	105,389579	6,843255	0,406	6,566
3.	105,663488	6,851408	0,221	1,924
4.	105,888818	6,882420	0,242	2,303
5.	106,115719	6,901500	0,256	2,582
6.	106,300818	7,011523	0,283	3,142
7.	106,357955	7,256966	0,414	6,750
8.	106,532658	7,013790	0,198	1,548
9.	106,538753	7,422939	0,361	5,138
10.	106,734058	7,446097	0,273	2,935
11.	106,946246	7,463642	0,307	3,697

No.	Koordinat Titik Observasi		H (m)	E_f (kW/m)
	Bujur Timur (°)	Lintang Selatan (°)		
12.	107,148359	7,481609	0,316	3,940
13.	107,495779	7,557225	0,310	3,789
14.	107,679121	7,676911	0,354	4,939
15.	107,872136	7,770231	0,270	2,869
16.	108,098707	7,787705	0,246	2,377
17.	108,347236	7,835455	0,219	1,892
18.	108,531397	7,708513	0,118	0,556
19.	108,769763	7,768051	0,176	1,217
20.	109,045251	7,793140	0,170	1,133
21.	109,270599	7,727121	0,171	1,146
22.	109,467422	7,789950	0,140	0,772
23.	109,956863	7,878352	0,159	0,991
24.	110,160031	7,992635	0,170	1,130
25.	110,359214	8,075781	0,161	1,020
26.	110,577178	8,160918	0,175	1,203
27.	110,816320	8,209499	0,140	0,772
28.	111,078271	8,240568	0,103	0,416
29.	111,306028	8,280683	0,146	0,837
30.	111,551586	8,332347	0,200	1,557
31.	111,815020	8,288190	0,124	0,593
32.	112,017718	8,327880	0,147	0,850
33.	112,240235	8,373315	0,162	1,034
34.	112,439611	8,406295	0,186	1,363
35.	112,704432	8,478446	0,172	1,164
36.	112,926355	8,425983	0,166	1,085
37.	113,169822	8,296754	0,115	0,522
38.	113,371137	8,396362	0,117	0,537
39.	113,588391	8,465352	0,240	2,264
40.	113,778456	8,543980	0,248	2,429
41.	113,967206	8,652880	0,240	2,245
42.	114,168074	8,664058	0,213	1,797

No.	Koordinat Titik Observasi		H (m)	E_f (kW/m)
	Bujur Timur (°)	Lintang Selatan (°)		
43.	114,405182	8,778656	0,249	2,432

Rata-rata energi listrik yang dihasilkan tipe gelombang laut bulan Februari adalah sebesar 2,200 kW/m dengan nilai terkecil 0,416 kW/m di titik 111,078271° BT 8,240568° LS. Nilai terbesar energi yang dihasilkan adalah 7,175 kW/m di titik 105,186802° BT 6,780582° LS.

Tabel 4.9 Hasil Estimasi Energi Gelombang Laut Bulan Oktober 2017

No.	Koordinat Titik Observasi		H (m)	E_f (kW/m)
	Bujur Timur (°)	Lintang Selatan (°)		
1.	105,186802	6,780582	0,149	0,872
2.	105,389579	6,843255	0,155	0,943
3.	105,663488	6,851408	0,149	0,868
4.	105,888818	6,882420	0,149	0,872
5.	106,115719	6,901500	0,135	0,720
6.	106,300818	7,011523	0,137	0,741
7.	106,357955	7,256966	0,285	3,193
8.	106,532658	7,013790	0,066	0,173
9.	106,538753	7,422939	0,287	3,241
10.	106,734058	7,446097	0,193	1,468
11.	106,946246	7,463642	0,147	0,844
12.	107,148359	7,481609	0,167	1,101
13.	107,495779	7,557225	0,263	2,719
14.	107,679121	7,676911	0,239	2,243
15.	107,872136	7,770231	0,206	1,669
16.	108,098707	7,787705	0,184	1,330
17.	108,347236	7,835455	0,209	1,726
18.	108,531397	7,708513	0,160	1,010
19.	108,769763	7,768051	0,172	1,166
20.	109,045251	7,793140	0,175	1,208

No.	Koordinat Titik Observasi		H (m)	E_f (kW/m)
	Bujur Timur (°)	Lintang Selatan (°)		
21.	109,270599	7,727121	0,156	0,959
22.	109,467422	7,789950	0,172	1,167
23.	109,956863	7,878352	0,121	0,573
24.	110,160031	7,992635	0,155	0,944
25.	110,359214	8,075781	0,123	0,597
26.	110,577178	8,160918	0,152	0,912
27.	110,816320	8,209499	0,166	1,087
28.	111,078271	8,240568	0,104	0,424
29.	111,306028	8,280683	0,145	0,823
30.	111,551586	8,332347	0,119	0,558
31.	111,815020	8,288190	0,173	1,181
32.	112,017718	8,327880	0,217	1,851
33.	112,240235	8,373315	0,196	1,504
34.	112,439611	8,406295	0,163	1,050
35.	112,704432	8,478446	0,178	1,245
36.	112,926355	8,425983	0,197	1,530
37.	113,169822	8,296754	0,147	0,845
38.	113,371137	8,396362	0,154	0,929
39.	113,588391	8,465352	0,166	1,081
40.	113,778456	8,543980	0,172	1,167
41.	113,967206	8,652880	0,174	1,186
42.	114,168074	8,664058	0,158	0,977
43.	114,405182	8,778656	0,176	1,224

Rata-rata energi listrik yang dihasilkan tipe gelombang laut bulan Oktober adalah sebesar 1,207 kW/m dengan nilai terkecil 0,173 kW/m di titik 106,532658° BT 7,013790° LS. Nilai terbesar energi yang dihasilkan adalah 3,241 kW/m di titik 106,538753° BT 7,422939° LS.

4.4.4 Analisis Lokasi Potensial

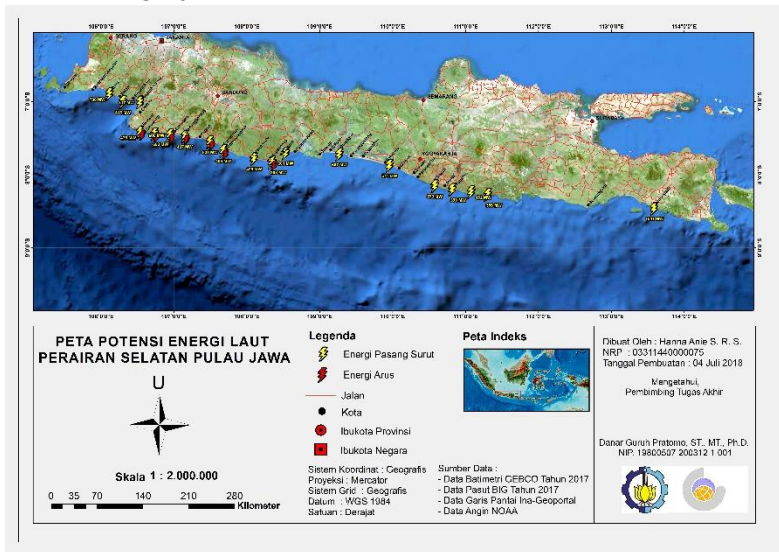
Lokasi di pantai selatan Pulau Jawa memiliki potensi energi laut apabila memenuhi nilai minimum masing-masing parameter tipe energi sebagai berikut :

Tabel 4.10 Nilai minimum energi laut untuk pembangkit listrik
(Purba dkk. 2014)

Tipe Energi Laut	Nilai Minimum
Rentang pasang surut	2,0 m
Kecepatan arus	0,5 m/s
Ketinggian gelombang	1,6 m

Sehingga, dari tabel diatas dapat diketahui lokasi potensial masing-masing tipe energi. Titik-titik observasi kemudian menjadi titik potensial jika memiliki akses jalan berjarak maksimal 5 km dari titik, agar kedepannya wilayah tersebut dapat lebih mudah dijangkau (Cahyani 2015). Hasil analisis menunjukkan pesisir selatan Pulau Jawa tidak memiliki potensi energi gelombang laut dikarenakan ketinggian gelombang yang dihasilkan pada bulan Februari dan Oktober di 43 titik observasi bernilai kurang dari 1,6 m. Namun, potensi energi pasang surut menghasilkan energi yang lebih besar dan lebih merata di sepanjang pesisir dibandingkan dengan potensi energi arus laut. Gambar 4.15 merupakan persebaran 19 titik potensial energi laut di pesisir selatan Pulau Jawa. Terdapat 2 titik di Provinsi Banten bagian selatan Kota Cihara dan Kota Bajah, Kabupaten Pandeglang. Provinsi Jawa Barat memiliki 10 titik tersebar di dekat kota Pelabuhanratu, Cibungur, Cibintaro, Sindangbarang, Pameungpeuk, Karanganyar, Kalapagenep, dan Sijilang. Bagian selatan Kota Binangun, Pagutan, dan Patutrejo memiliki 3 titik yang tersebar sepanjang pesisir Provinsi Jawa Tengah. Provinsi D. I. Yogyakarta di bagian selatan Kota Glagah memiliki 1 titik. Terdapat 3 titik di

pesisir Provinsi Jawa Timur, salah satunya di selatan Kota Kedungkaji.



Gambar 4.10 Peta Persebaran 19 Titik Potensial Energi Laut

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari penelitian tentang pemetaan awal potensi energi laut yang dilakukan di pantai selatan Pulau Jawa menggunakan model hidrodinamika 3D menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pantai selatan Pulau Jawa tidak memiliki potensi energi gelombang laut dikarenakan rata-rata ketinggian gelombang pada bulan Februari hanya mencapai 0,221 m dan 0,170 m pada bulan Oktober, dimana keduanya tidak memenuhi nilai minimum yang dibutuhkan sebesar 1,6 m. Namun, potensi energi pasang surut menghasilkan energi yang lebih besar dan lebih merata di sepanjang pesisir dibandingkan dengan potensi energi arus laut. Rata-rata rentang pasut terbukti mencapai 3,558 m pada bulan Februari dan 2,373 m pada bulan Oktober, sedangkan rata-rata kecepatan arus hanya mencapai 0,389 m/s pada bulan Februari dan 0,269 m/s pada bulan Oktober.
2. Terdapat 19 titik potensi energi laut di pantai selatan Pulau Jawa ditinjau dari akses jalan ke sekitar wilayah pesisir titik tersebut. Provinsi Banten terdapat 2 titik di bagian selatan Kota Cihara dan Kota Bajah. Provinsi Jawa Barat terdapat 10 titik tersebar di dekat kota Pelabuhanratu, Cibungur, Cibintaro, Sindangbarang, Pameungpeuk, Karanganyar, Kalapagenep, dan Sijilang. Provinsi Jawa Tengah terdapat 3 titik di bagian selatan Kota Binangun, Pagutan, dan Patutrejo. Provinsi D. I. Yogyakarta terdapat 1 titik di bagian

selatan Kota Glagah. Terakhir, Provinsi Jawa Timur terdapat 3 titik, salah satunya di selatan Kota Kedungkaji.

3. Nilai rata-rata estimasi energi pasang surut yang dihasilkan pada bulan Februari dan Oktober masing-masing sebesar 560468,327 kW dan 373867,1891 kW. Estimasi energi terbesar bulan Februari mencapai 1040873,4 kW pada titik $113,588391^{\circ}$ BT $8,465352^{\circ}$ LS, sedangkan pada bulan Oktober mencapai 496365,975 kW pada titik $113,169822^{\circ}$ BT $8,296754^{\circ}$ LS.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penembangan penelitian ini dan pengembangan energi terbarukan yang berasal dari arus laut antara lain:

- a. Melakukan pemodelan yang bersifat baroklinik dengan memperhitungkan perubahan suhu dan salinitas.
- b. Diperlukan penelitian lanjutan untuk memastikan hasil estimasi potensi energi laut menggunakan data pengukuran secara langsung seperti pengukuran batimetri, pengukuran arus, pengukuran angin untuk mendapatkan nilai dan lokasi yang lebih pasti.
- c. Titik observasi yang diperbanyak disepanjang pesisir.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, Dita., Muhammad Ihsan Al Hafiz, Abiyyu Fathin Derian, Yofrizal Alfi. 2015. Quantitative Analysis of Indonesian Ocean Wave Energi Potential using Oscillating Water Column Energi Converter. *MATTER: International Journal of Science and Technology Special Issue Vol.1 Issue 1*, pp.28-239 ISSN 2454-5880.
- Anzhar, Kurnia, Yarianto SBS. 2000. Pola Angin Laut dan Angin Darat di Daerah Ujung Lemahabang, Semenanjung Muria. *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Vol. 2, 4*: 199-206.
- Azis, M. Furqon. 2006. Gerak Air Di Laut. *Majalah Ilmiah Semi Populer Oseana Vol. 31, 4* : 9-21.
- Aziz, N. Satyadharma. 2009. Tidal Energi Resources Assessment In Indonesia : A Case Study In Alas Strait. United Kingdom : University of Southampton.
- Badan Informasi Geospasial (BIG). 2016. Pentingnya Informasi Geospasial untuk Menata Laut Indonesia. <URL: <http://www.bakosurtanal.go.id/berita-surta/show/pentingnya-informasi-geospasial-untuk-menata-laut-indonesia>>. Dikunjungi 19 November 2017, jam 10.45 WIB.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). 2009. Peta Wilayah Administrasi Pulau Jawa Skala 1:925000.
- Baharuddin, Muh. Alimuddin Hamzah, Paharuddin. 2017. Pemodelan Simulasi Arus Pasang Surut Di Laut Flores. Tugas Akhir, Jurusan Fisika, Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- Cahyani, Endah Gita. 2015. Inventarisasi Potensi Wisata Pantai Way Saral di Kecamatan Krui, Kabupaten Pesisir Barat. Skripsi, Program Studi Pendidikan Geografi, Jurusan Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Lampung.

- Charlier, RH. & Finkl CW. 2009. Ocean energi : tide and tidal power. Berlin : Springer. Page 38-39.
- Chen, C., Beardsley, Cowles, R. C., & Geoffrey. 2006. An Unstructured Grid, Finite Volume Coastal Ocean Model (FVCOM) User Manual.
- Cruz, J.. 2008. Ocean wave energy : current status and future perspectives. Heidelberg : Springer. Page 220-241.
- Darmawan, A., Riko Arlando Saragih. 2005. Pengkodean Video dengan Metode Spatial Scalability. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi : 7-12.
- Deltares. 2017. Delft3D-Flow Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments User Manual Version 3.5. Delft : Deltares.
- DESDM. 2005. Diversifikasi Energi, Energi Kelautan sebagai Alternatif Baru. DESDM (disampaikan pada Seminar Pembangunan Ekonomi Kemaritiman 15 Maret 2005), Jakarta.
- Fachrurrazi. 2015. Aplikasi Simulasi Numerik untuk Estimasi Perubahan Morfologi Akibat Tata Letak Pemecah Gelombang. Seminar Nasional SPI : 278-286.
- Gross, M. G. 1990. Oceanography ; A View of Earth. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliff. New Jersey.
- Hutabarat, S dan Evans S.M. 1986. Pengantar Oseanografi. Universitas Indonesia: Jakarta.
- Istiarto. 2009. Model Hidrodinamika CFD di Bidang Hidraulika Saluran Terbuka. Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Jing, Huang., Pan Cung-hong., Kuan Cui ping dan Zeng Jing. 2013. Experimental Hydrodynamic Study of the Qiantang River Tidal Bore. Journal of Hydrodynamics Vol. 25, 3: 481-490.
- Khaligh A., Omar O. C. 2010. Energi harvesting: solar, wind, and ocean energi conversion system. In : Emadi A., editors. Energi, Power, Electronics, and Machine Series. Florida : CRC Presss. Page 105-111.

- Khotimah, Mia Khusnul. 2012. Validasi Tinggi Gelombang Signifikan Model Gelombang *WindWave-5* dengan Menggunakan Hasil Pengamatan Satelit Altimetri Multimisi. Tesis, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Program Pasca Sarjana, Program Studi Magister Ilmu Kelautan, Universitas Indonesia, Depok.
- Kurniati, Junia. 2016. Identifikasi Tanda Tangan menggunakan Transformasi Gabor Wavelet dan Jarak Minkowski. *Annual Research Seminar*. Vol. 2, 1: 363-368.
- Lubis, Saut Maruli. 2006. Oseanografi Indonesia. Program Studi Oseanografi. ITB : Bandung.
- Minarrohman, Muhammad Ghilman K. 2017. Simulasi Arus Dan Distribusi Sedimen Secara 3 Dimensi di Pantai Selatan Jawa. Tugas Akhir, Jurusan Teknik Geomatika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Muktashor. 2011. Potensi Listrik Tenaga Laut Indonesia Capai 727.000 MW. <URL : <https://finance.detik.com/energi/1684601/potensi-listrik-tenaga-laut-indonesia-capai-727000-mw>> . Dikunjungi 24 Januari 2018, jam 22.00 WIB.
- Nasution, Rudi Asnan. 2008. Respon Dinamik Struktur Terapung. Tugas Akhir, Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung.
- Nengkoda, Ardian. 2016. Energi Listrik untuk Masyarakat Pesisir. <URL: <http://www.republika.co.id/berita/jurnalisme-warga/wacana/16/09/21/oduzy0396-energi-listrik-untuk-masyarakat-pesisir>>. Dikunjungi 16 Maret 2018, jam 10.19 WIB.
- Nugraha, Cahya Adijana. 2015. Analisa Potensi Daya Angin Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di Pantai Congot, 67 Kulonprogo. Tugas Akhir, Jurusan

- Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Perusahaan Listrik Negara (PLN). 2014. Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN (PERSERO) 2015-2024. <URL: <http://www.djk.esdm.go.id/pdf/RUPTL/RUPTL%20PLN%202015-2024.pdf>>. Dikunjungi 19 November 2017, jam 10.45 WIB.
- Pond, S. dan G.L. Pickard. 1983. *Introductory Dynamical Oceanography*. Second edition. Pergamon Press. New York.
- Pratama, Dias Titi Budi. 2017. *Perencanaan Bangunan Pelindung Pantai Untuk Menanggulangi Masalah Erosi di Pantai Lontar, Kota Tangerang*. Tugas Akhir, Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Pudjanarsa, A. 2006. *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta : ANDI.
- Purba, Noir P. 2014. Variabilitas Angin dan Gelombang Laut Sebagai Energi Terbarukan di Pantai Selatan Jawa Barat. *Jurnal Akuatika* Vol. 1, 1 : 8-15.
- Purba, Noir P., Jaya Kelvin, Rona Sondra, Syahrir Gibran, Resti A. I. Permata, Fatimah Maulida, Marine K. Martasuganda. 2014. *Suitable Locations Of Ocean Renewable Energi (ORE) In Indonesia Region – GIS Approached*. Conference and Exhibition Indonesia - New, Renewable Energy and Energi Conservation
- Rachman, A. H., I Gede Hendrawan, I Dewa Nyoman Nurweda Putra. 2016. Studi Transpor Sedimen di Teluk Benoa Menggunakan Pemodelan Numerik. *Jurnal Kelautan* Vol. 9, 2: 144-154.
- Republika. 2017. BMKG: Waspadai Curah Hujan Ekstrem pada Desember 2017. <URL:<http://nasional.republika.co.id/berita/nasional/umum/17/11/24/ozvz6r354-bmkg-waspadai-curah-hujan>>

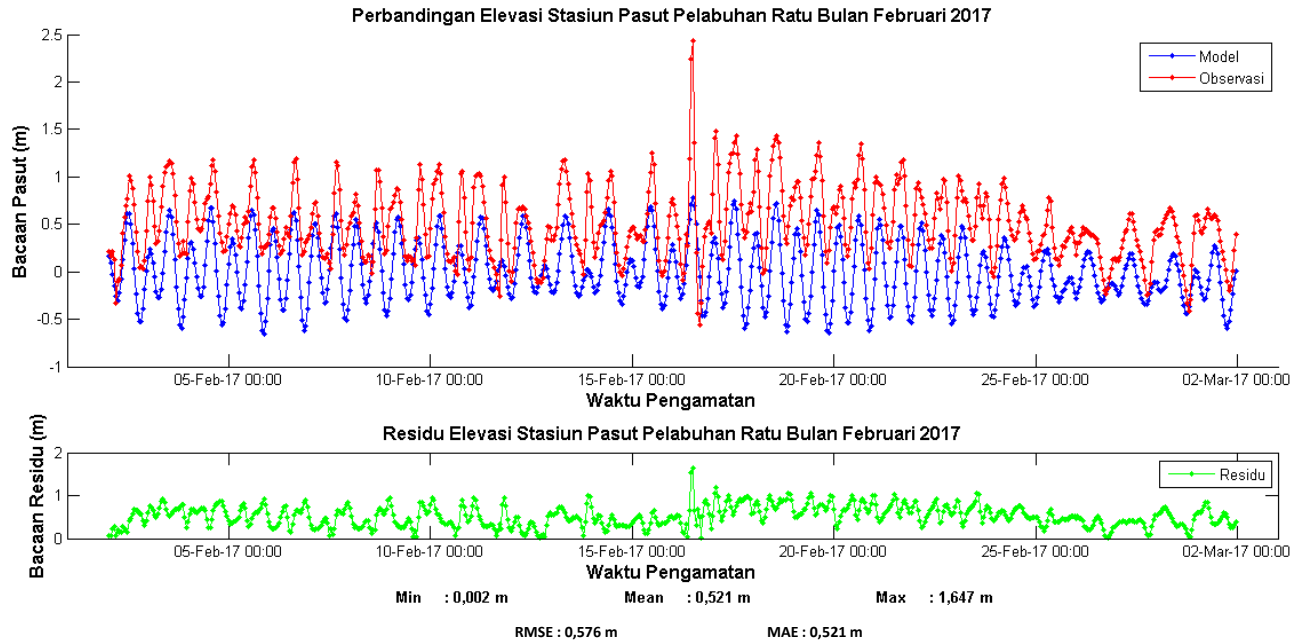
- ekstrim-pada-desember-2017> Dikunjungi 21 Mei 2017, jam 12.45 WIB.
- Sandro, Rona., Arnudin, Armyanda Tussadiah, Rizky Mahriza Utamy, Niomi Pridina, Lola Nurul Afifah. 2013. Study Of Wind, Tidal Wave And Current Potential In Sunda Strait As An Alternative Energy. Conference and Exhibition Indonesia Renewable Energy and Energy Conservation.
- Sidiq, Mohamad. 2011. Metode Numerik. Bahan Ajar, Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Dian Nuswantoro, Semarang.
- Soepardjo, A. H. 2005. Potensi dan Teknologi Energi Samudera dalam Eksplorasi Sumber daya Budaya Maritim. Departemen Kelautan dan Perikanan (DKP)-Pusat Penelitian Kemasyarakatan dan Budaya, Universitas Indonesia, Jakarta: 125- 132.
- Sriartha, I.P., Putra, I.W.K.E., 2015. Distribusi Spasial Genangan Air Laut Berdasarkan Analisis Data Satelit Altimetri Envisat di Wilayah Pesisir Barat Kabupaten Buleleng, Bali. *Jurnal Bumi Lestari* Vol. 15, 2:165– 175.
- Sugiyono. 2014. Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R & D. Alfabeta: Bandung.
- Sutrisno, A. Dwi., Ag. Isjudarto. 2016. Akurasi Konturing Triangulasi Dan Kriging Pada Surfer Untuk Batubara. Prosiding Seminar Nasional XI “Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi. Sekolah Tinggi Teknologi Nasional Yogyakarta :185-189.
- Yuningsih A. 2011. Potensi Arus Laut untuk Pembangkit Energi Baru Terbarukan di Selat Pantar, Nusa Tenggara Timur. *Majalah Mineral & Energi* Vol. 9, 1: 61-72.
- Yuningsih A., Sudjono EH., Rachmat B., Lubis S. 2010. Prospek Energi Arus Laut di Perairan Indonesia. *Balitbang ESDM*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

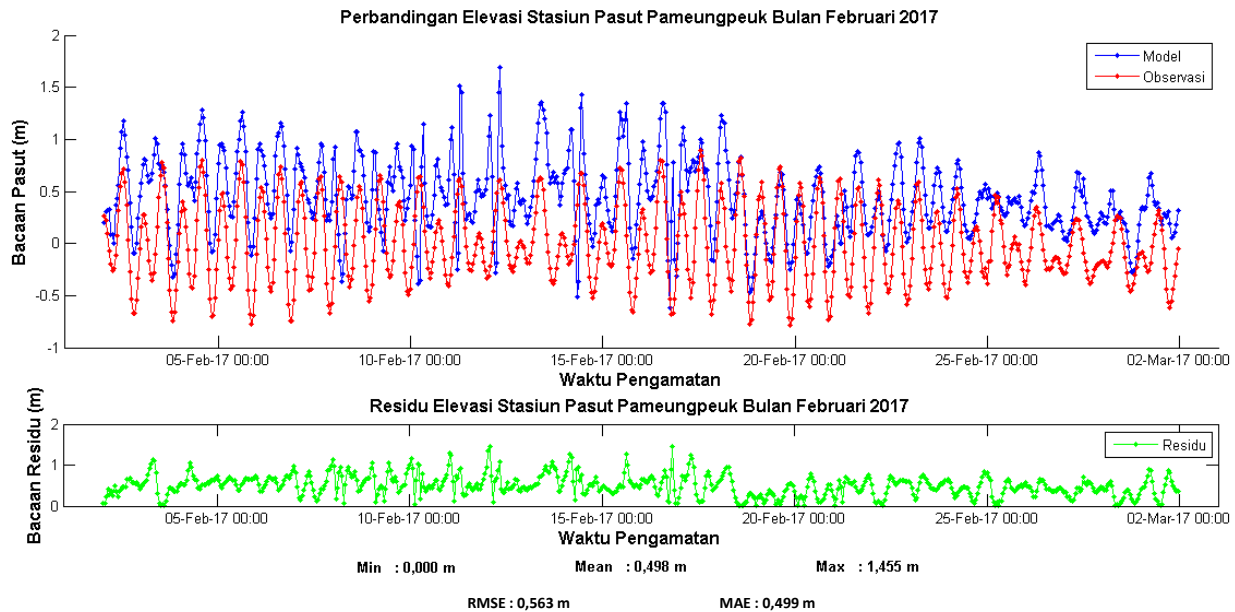
LAMPIRAN

Lampiran 1 Grafik Plotting Nilai Pasang Surut Pemodelan dan Observasi Bulan Februari 2017

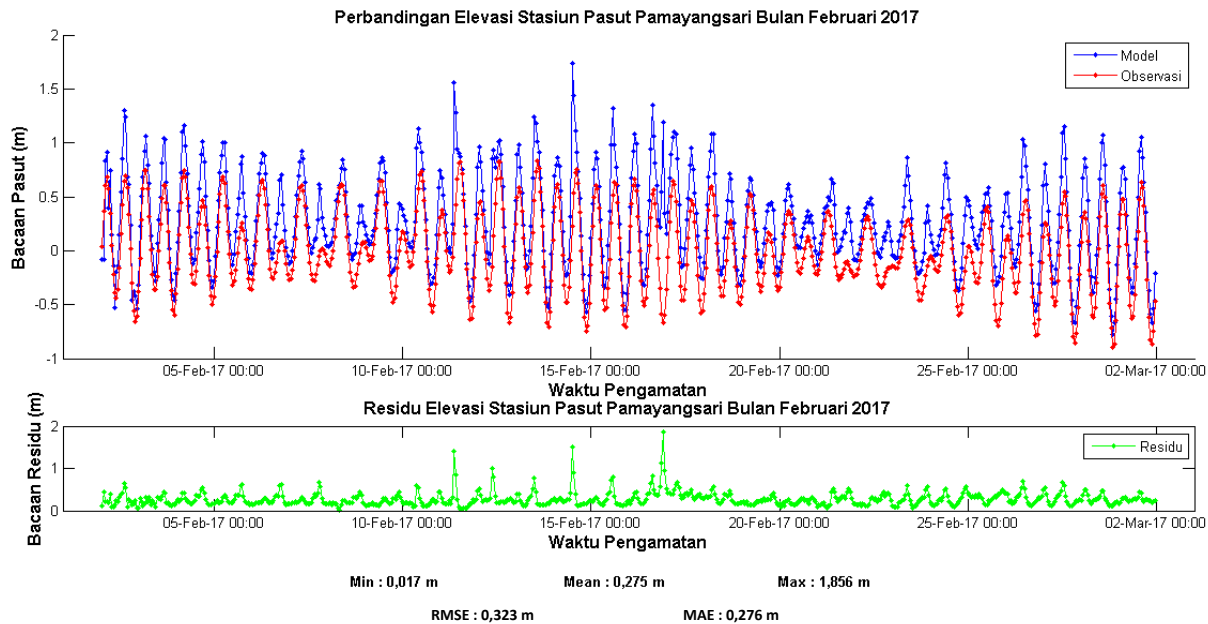
a. Stasiun Pelabuhan Ratu



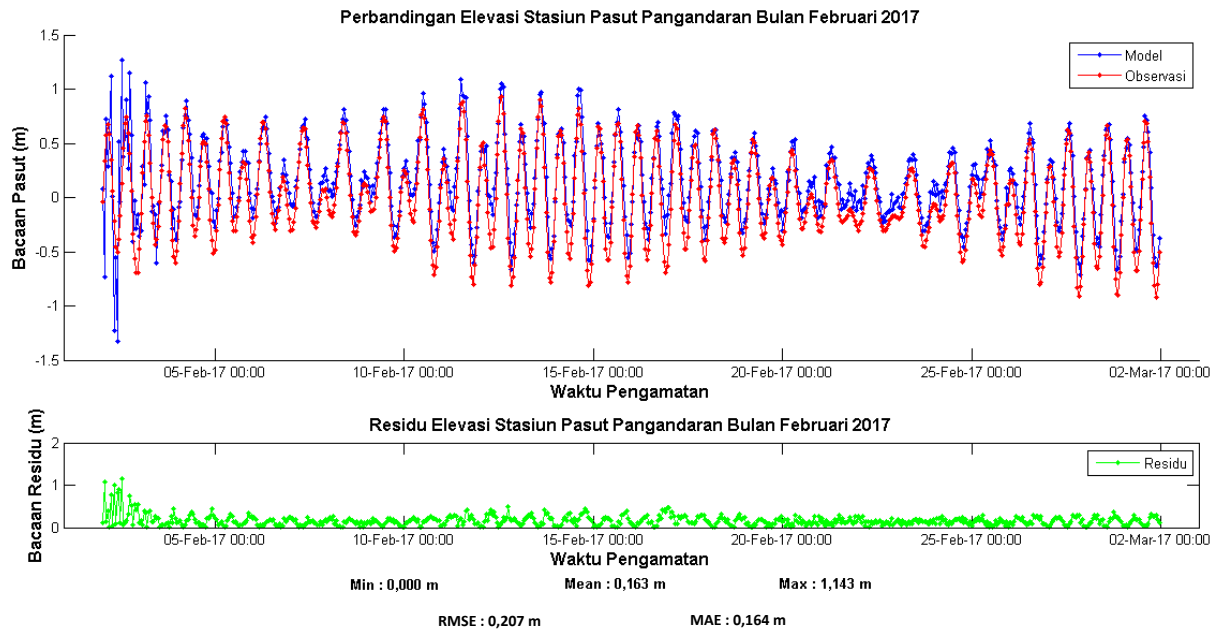
b. Stasiun Pameungpeuk



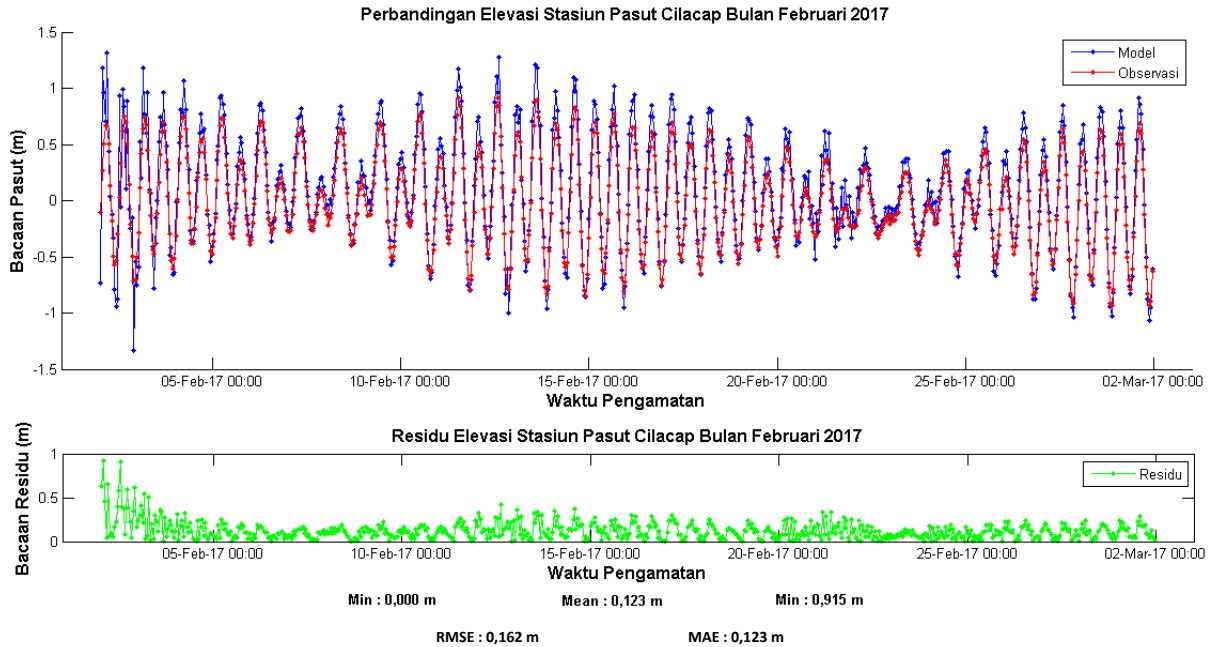
c. Stasiun Pamayangsari



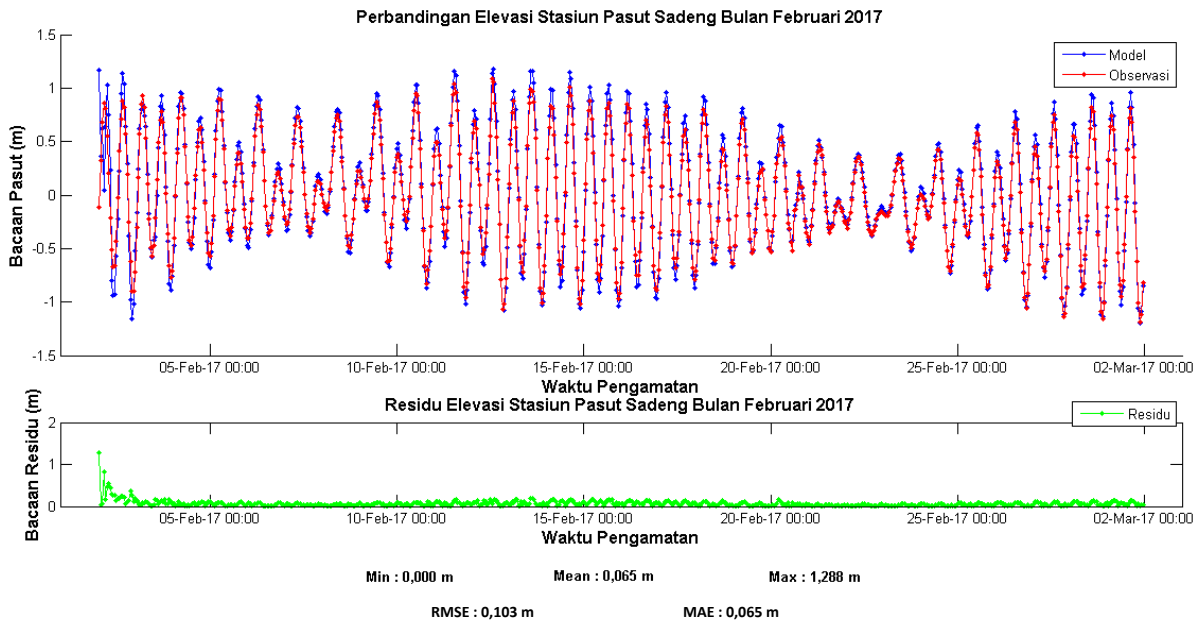
d. Stasiun Pangandaran



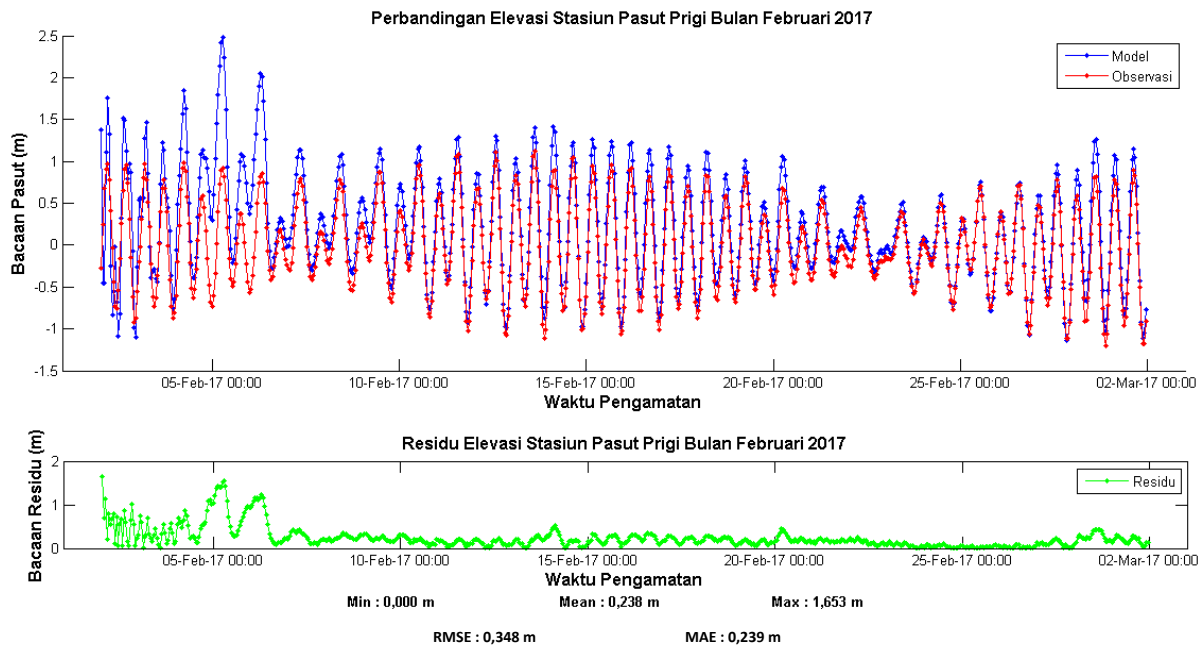
e. Stasiun Cilacap



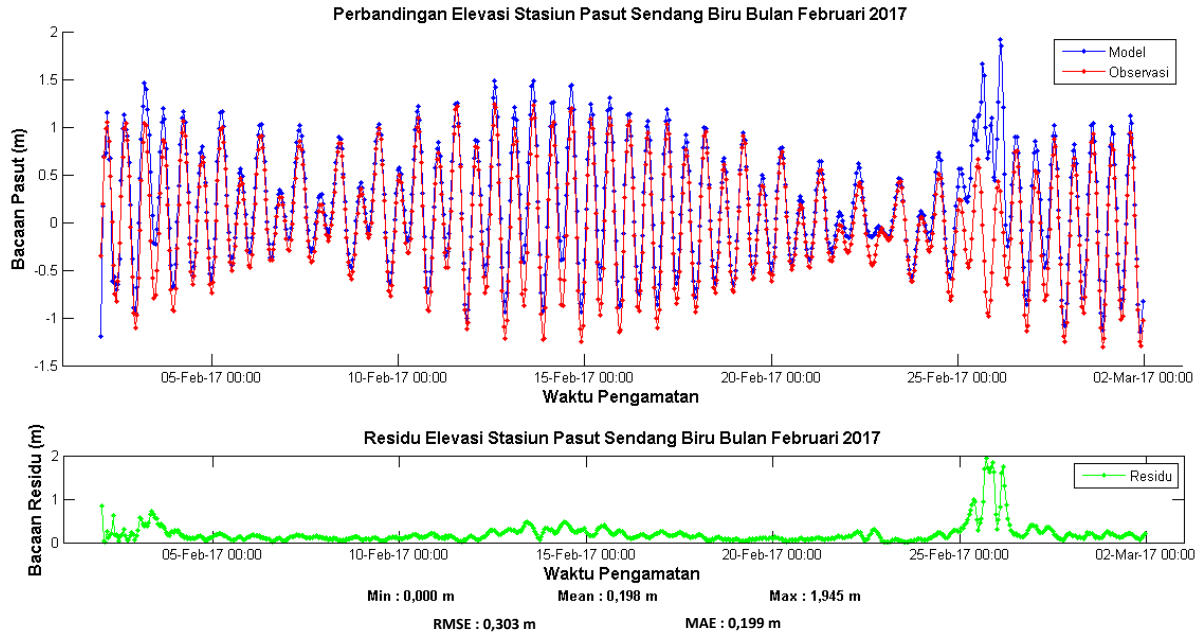
f. Stasiun Sadeng



09. Stasiun Prigi

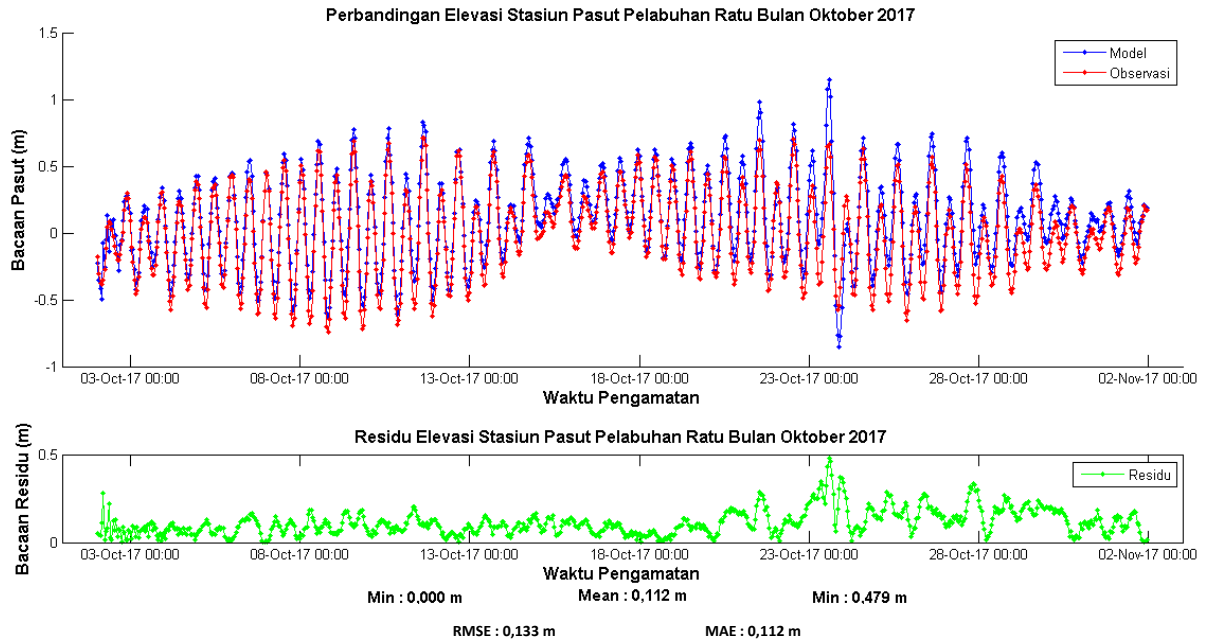


h. Stasiun Sendangbiru

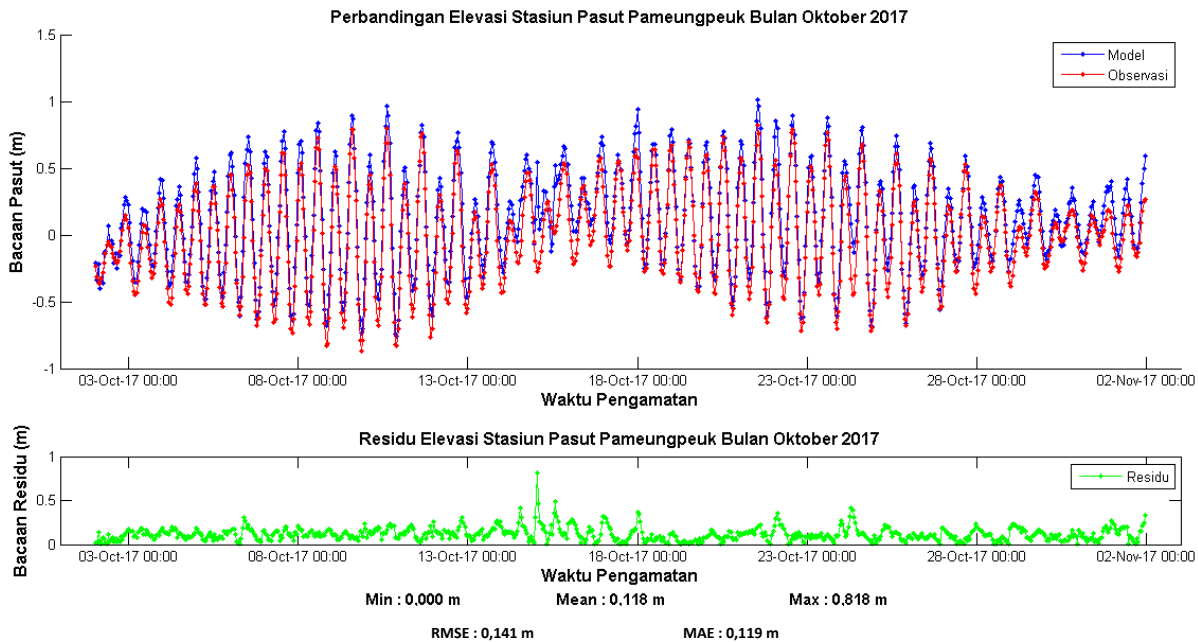


Lampiran 2 Grafik Plotting Nilai Pasang Surut Pemodelan dan Observasi Bulan Oktober 2017

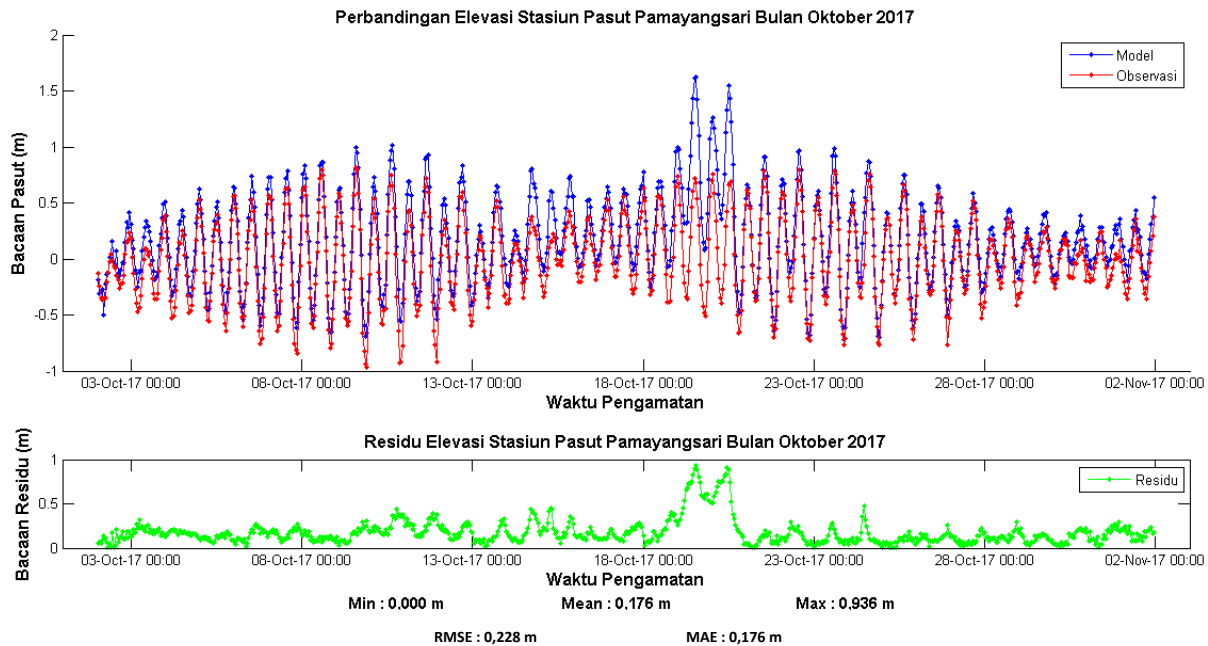
a. Stasiun Pelabuhan Ratu



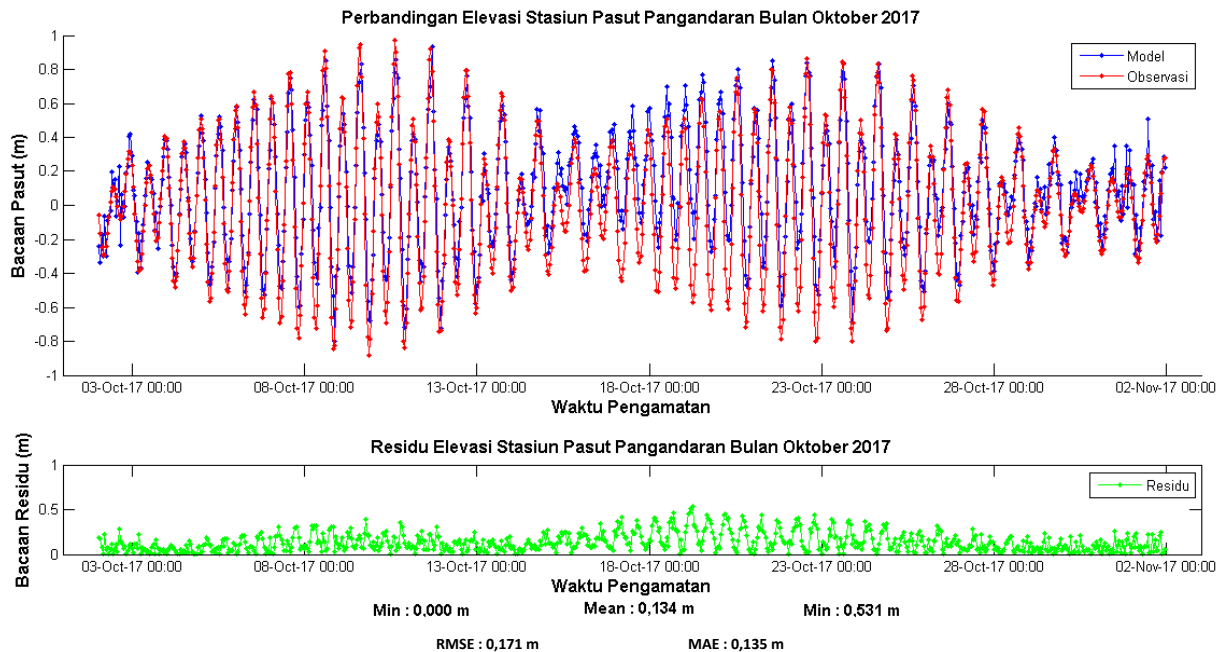
b. Stasiun Pameungpeuk



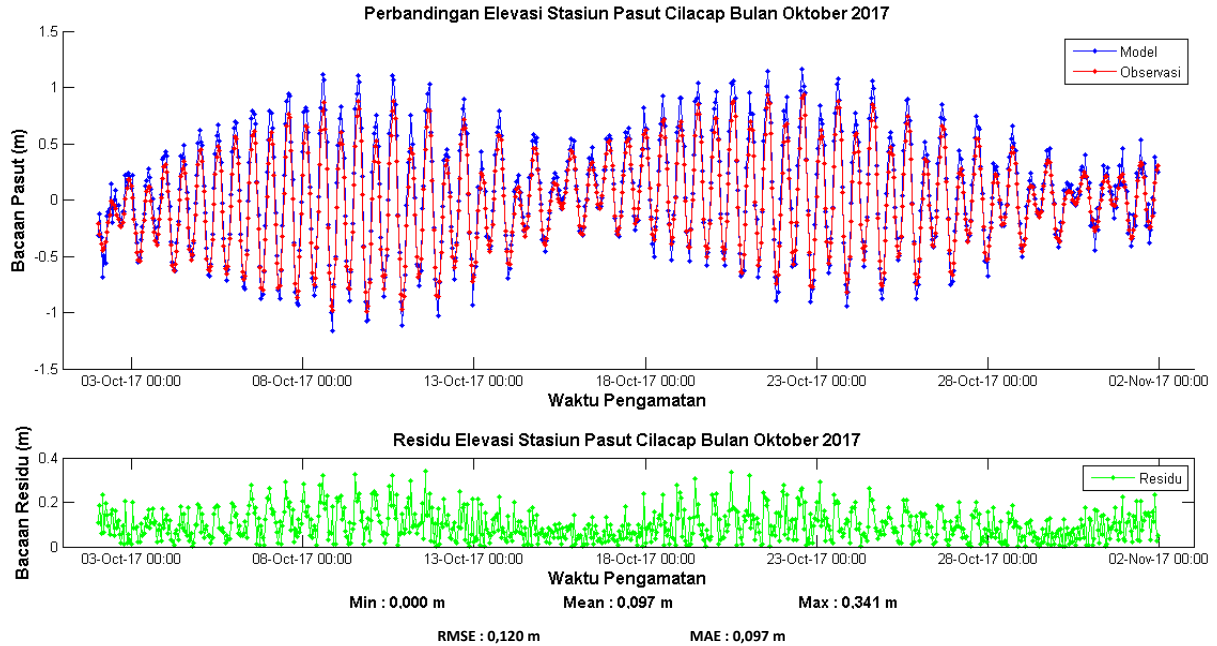
c. Stasiun Pamayangsari



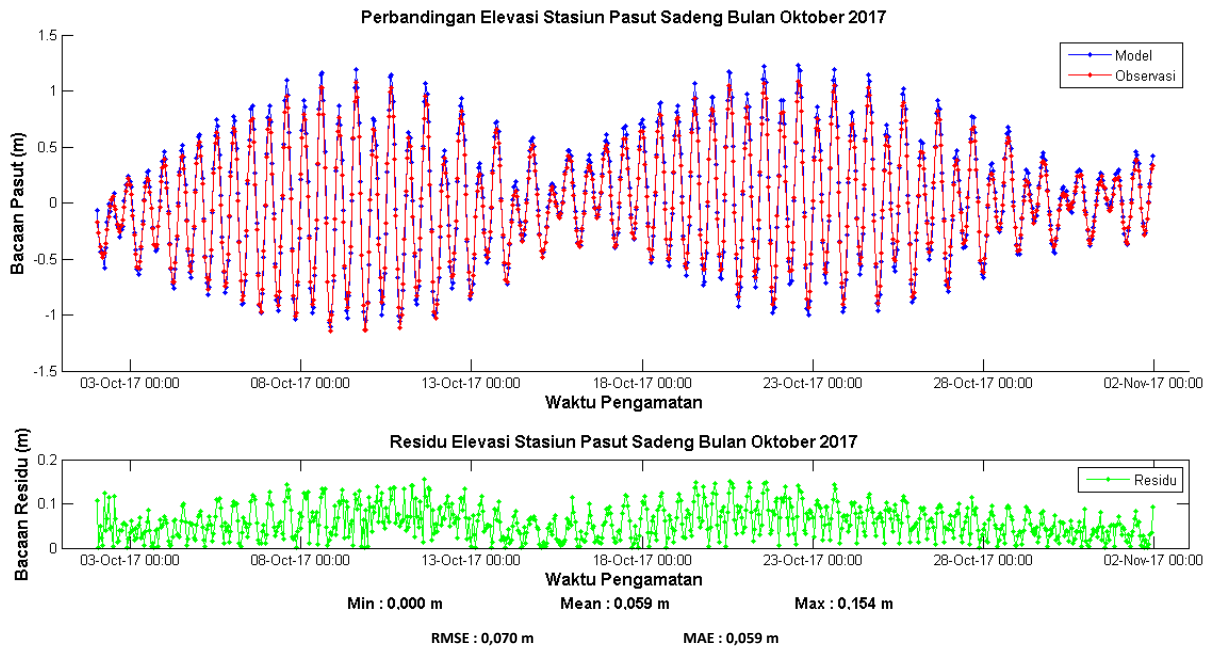
d. Stasiun Pangandaran



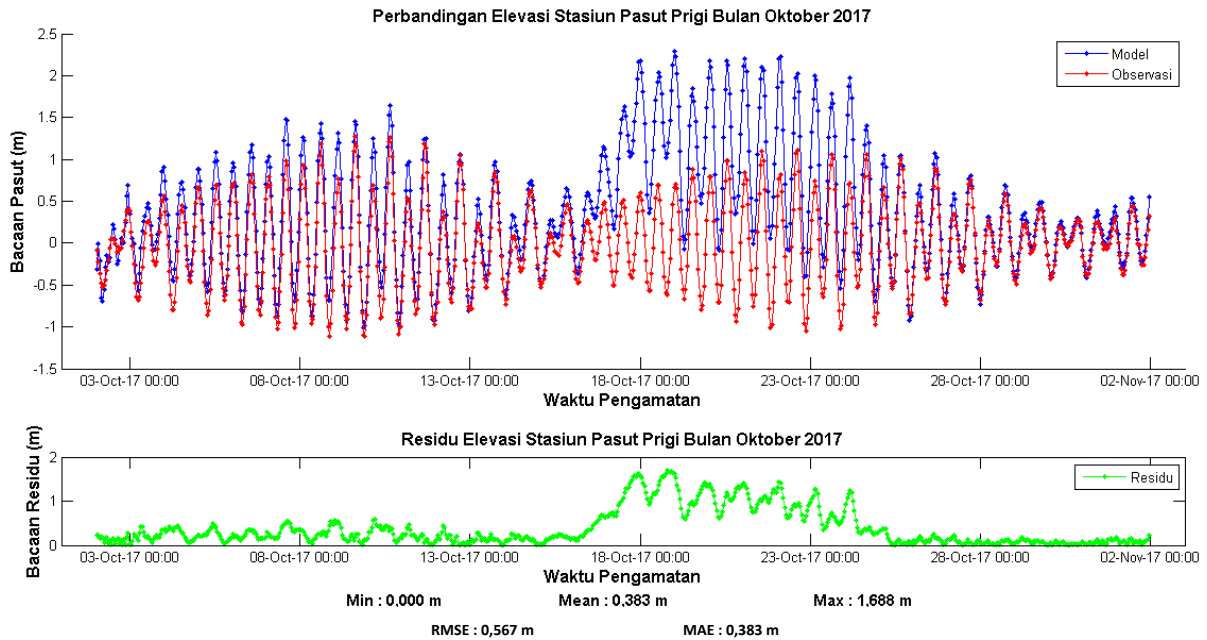
e. Stasiun Cilacap



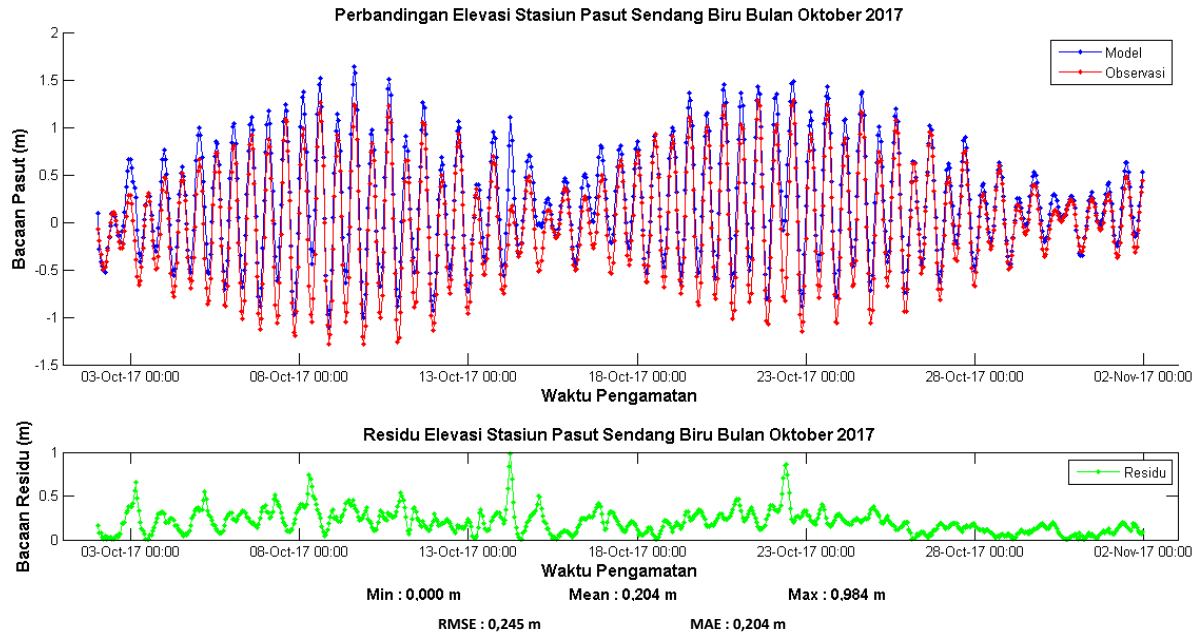
f. Stasiun Sadeng



09. Stasiun Prigi

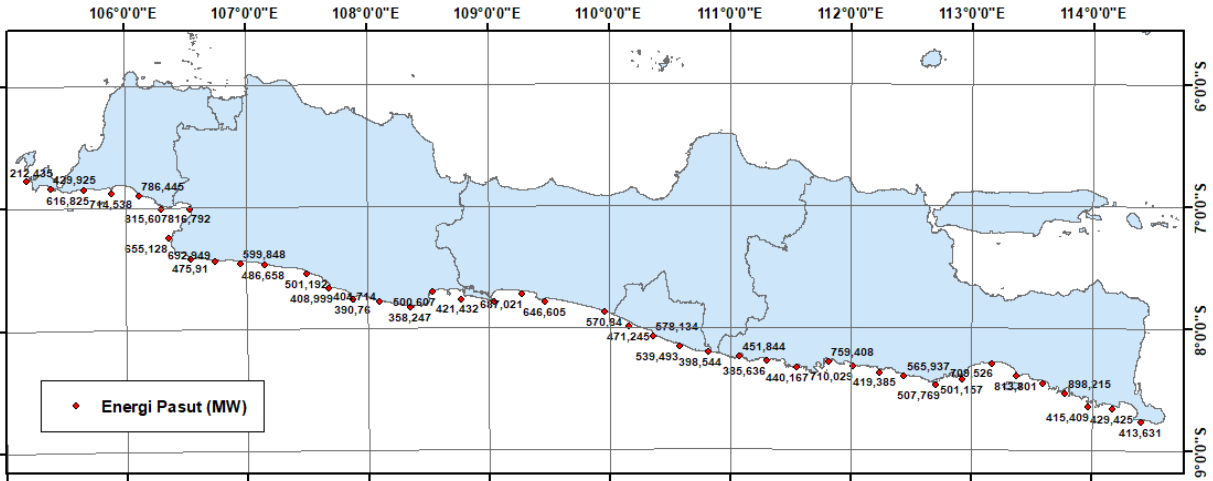


h. Stasiun Sendangbiru

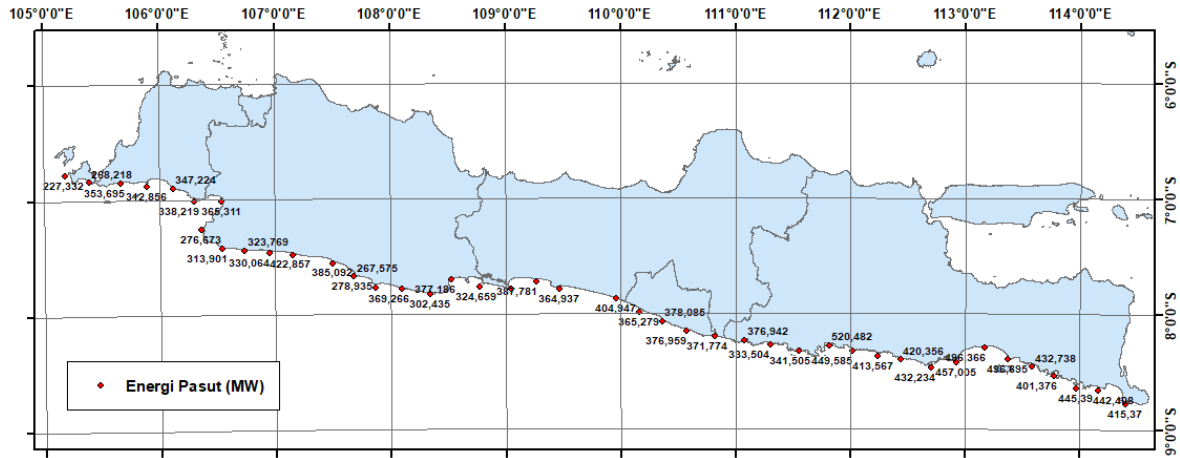


Lampiran 3 Peta Hasil Estimasi Energi

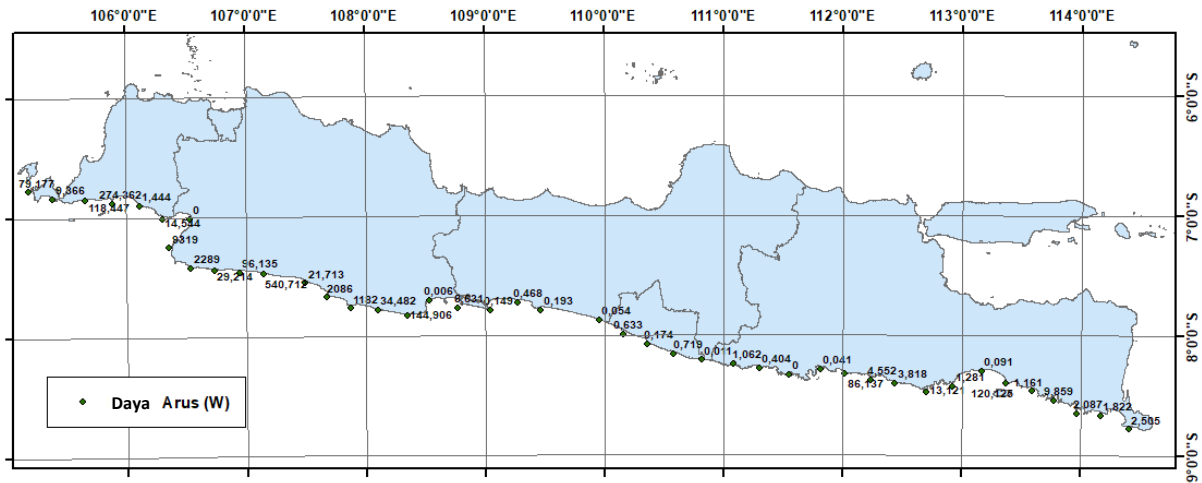
a. Hasil Estimasi Energi Pasang Surut Bulan Februari 2017



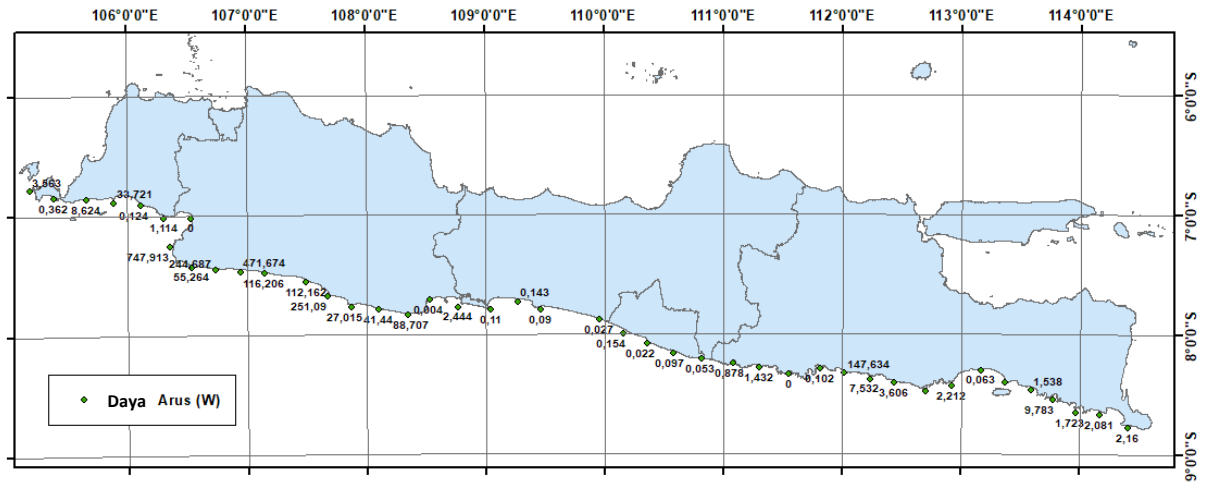
b. Hasil Estimasi Energi Pasang Surut Bulan Oktober 2017



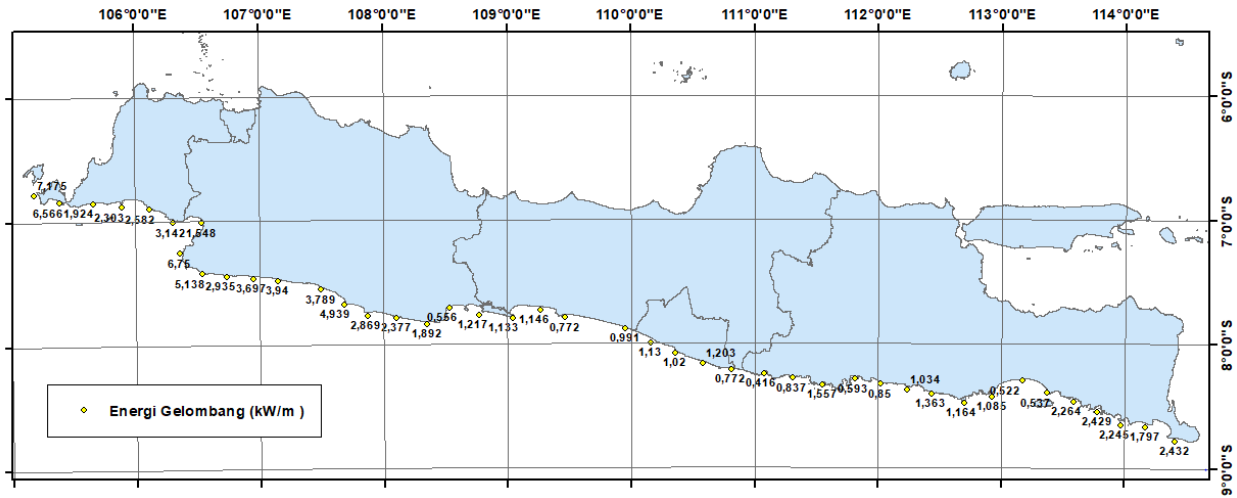
c. Hasil Estimasi Energi Arus Laut Bulan Februari 2017



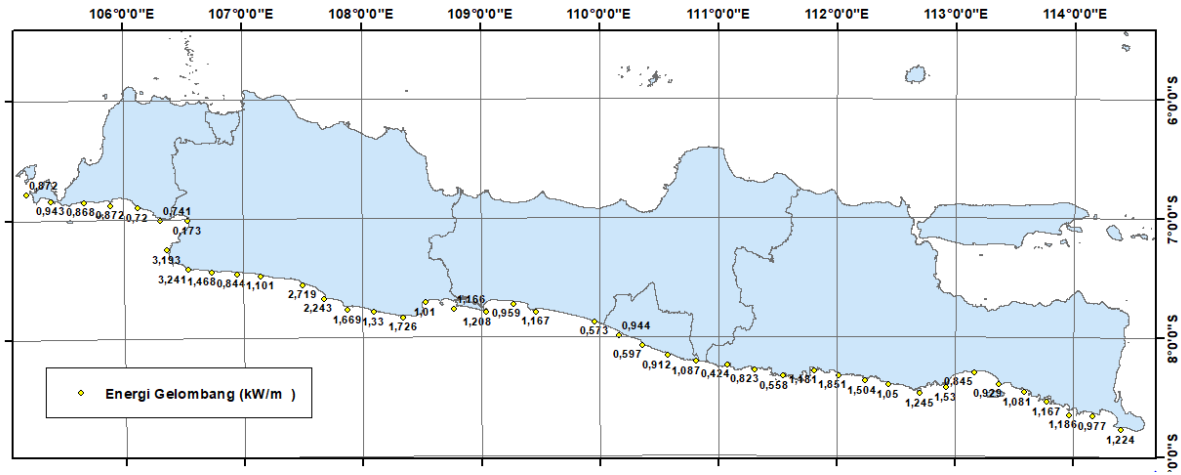
d. Hasil Estimasi Energi Arus Laut Bulan Oktober 2017



e. Hasil Estimasi Energi Gelombang Laut Bulan Februari 2017



f. Hasil Estimasi Energi Gelombang Laut Bulan Oktober 2017



Lampiran 4 Data Ketinggian Gelombang, Arah dan Kecepatan Arus, Arah dan Kecepatan Angin BMKG Tahun 2017

a. Data Koordinat Titik Binuangeun

Climatological Reports over Coordinate 06°50' 07.8" S/ 105° 53' 46.7" E
For January until December 2017

Year	Month	Mean of Significant Wave Height (m)	Mean of Maximum Wave Height (m)	Mean of Wind Direction (°)	Mean of Wind Speed (knots)	Mean of Sea Current Direction (°)	Mean of Sea Current Speed (cm/s)
2017	January	0.94	1.78	291	10.03	286	16.83
	February	0.96	1.82	210	8.73	273	21.37
	March	0.91	1.72	199	5.44	280	12.86
	April	1.10	2.09	170	6.35	179	7.75
	May	1.22	2.32	126	10.52	109	14.65
	June	1.20	2.28	125	8.11	106	10.99
	July	1.47	2.79	129	12.08	109	19.95
	August	1.50	2.85	130	11.70	112	18.67
	September	1.26	2.40	130	10.45	113	13.73
	October	1.21	2.29	136	10.16	227	6.37
	November	0.95	1.80	176	8.16	283	14.95
	December	0.94	1.79	252	6.28	280	20.40

b. Data Koordinat Titik Pameungpeuk

**Climatological Reports over Coordinate 07° 39' 41.9" S/ 107° 40' 57.3" E
For January until December 2017**

Year	Month	Mean of Significant Wave Height (m)	Mean of Maximum Wave Height (m)	Mean of Wind Direction (°)	Mean of Wind Speed (knots)	Mean of Sea Current Direction (°)	Mean of Sea Current Speed (cm/s)
2017	January	1.80	3.41	266	7.07	297	36.95
	February	1.72	3.26	220	8.09	281	25.17
	March	1.68	3.20	234	5.92	281	30.75
	April	1.83	3.48	153	6.71	222	18.11
	May	1.90	3.60	104	11.07	111	30.25
	June	2.10	3.98	105	11.20	144	22.00
	July	2.22	4.22	106	11.36	115	26.34
	August	2.25	4.27	105	10.14	94	32.94
	September	1.89	3.59	108	8.67	134	25.10
	October	1.87	3.55	132	6.71	153	16.98
	November	1.62	3.07	167	5.40	182	18.05
	December	1.71	3.24	273	7.67	277	21.51

c. Data Koordinat Titik Cilacap

**Climatological Reports over Coordinate 07°45' 07.8" S/ 109°00' 57.6" E
For January until December 2017**

Year	Month	Mean of Significant Wave Height (m)	Mean of Maximum Wave Height (m)	Mean of Wind Direction (°)	Mean of Wind Speed (knots)	Mean of Sea Current Direction (°)	Mean of Sea Current Speed (cm/s)
2017	January	1.32	2.51	255	6.85	278	21.20
	February	1.25	2.38	234	6.97	277	24.55
	March	1.29	2.44	246	4.72	283	12.72
	April	1.49	2.84	179	5.27	175	8.62
	May	1.56	2.97	105	8.42	98	12.66
	June	1.69	3.21	111	8.25	88	8.88
	July	1.78	3.38	110	9.61	98	15.25
	August	1.75	3.33	110	8.90	106	13.74
	September	1.55	2.95	118	7.79	107	10.76
	October	1.49	2.84	121	6.70	248	7.85
	November	1.28	2.44	183	5.93	277	14.88
	December	1.31	2.49	262	6.06	276	22.84

d. Data Koordinat Sendang Biru

**Climatological Reports over Coordinate 08° 11' 25.6" S/ 110° 47' 57.9" E
For January until December 2017**

Year	Month	Mean of Significant Wave Height (m)	Mean of Maximum Wave Height (m)	Mean of Wind Direction (°)	Mean of Wind Speed (knots)	Mean of Sea Current Direction (°)	Mean of Sea Current Speed (cm/s)
2017	January	2.13	4.05	242	6.64	235	21.20
	February	1.99	3.78	239	7.16	202	24.55
	March	1.93	3.67	230	5.04	140	12.72
	April	2.05	3.89	159	5.62	124	8.62
	May	2.12	4.03	117	9.40	86	12.66
	June	2.32	4.41	112	9.72	112	8.88
	July	2.48	4.71	120	10.48	129	15.25
	August	2.51	4.77	121	10.02	117	13.74
	September	2.16	4.11	124	9.31	143	10.76
	October	2.12	4.03	144	8.28	148	7.85
	November	1.93	3.67	197	6.94	198	14.88
	December	2.04	3.88	261	7.29	226	22.84

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis, Hanna Anie Sharlene Rayitno Soebari dilahirkan di Surabaya 17 Januari 1995, merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Bambang Rayitno Soebari dan Ibu Emma Jacoba Jepsina Titaley. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Katolik Untung Suropati II Sidoarjo, SMP Katolik Untung Suropati Sidoarjo, SMK Telkom Sandhy Putra Malang

Jurusan Rekayasa Perangkat Lunak (RPL) dan lulus pada tahun 2013. Penulis sempat bekerja selama 9 bulan di PT Telkom Akses Indonesia sebagai *helpdesk* sebelum kemudian melanjutkan pendidikan untuk perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan mengambil Jurusan Teknik Geomatika lewat jalur SBMPTN Ujian Tulis. Selama menjadi mahasiswa S1, penulis aktif di organisasi intra kampus yaitu sebagai *volunteer* ITS International Office periode 2014-2015, staff Kementerian Hubungan Luar Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM ITS) periode 2015-2016 dan staf ahli Departemen Daya Kreasi Mahasiswa Himpunan Mahasiswa Teknik Geomatika (HIMAGE ITS) periode 2016-2017. Selain itu penulis juga aktif mengikuti pelatihan keterampilan manajemen mahasiswa seperti LKMM PRA-TD dan LKMM TD. Penulis pernah mengikuti kegiatan Kerja Praktek di PT Pelabuhan Indonesia I (Persero). Dalam penyelesaian syarat Tugas Akhir, penulis memilih bidang keahlian Hidrografi, dengan Judul Tugas Akhir “Pemetaan Awal Potensi Energi Laut di Pantai Selatan Pulau Jawa dengan

Pemodelan Hidrodinamika". Kontak penulis adalah
hannarajitno@gmail.com.