

# Optimalisasi Lokasi *Marine Current Turbine* (MCT) dengan Model Hidrodinamika 3 Dimensi (Studi Kasus: Pantai Selatan Jawa)

Lilik Widiastuti, dan Danar Guruh Pratomo

Departemen Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

*e-mail:* guruh@geodesy.its.ac.id

**Abstrak**—*Marine Current Turbine* (MCT) merupakan sumber energi kinetik yang dipengaruhi oleh pergerakan arus pasang surut laut. MCT dilengkapi dengan rotor ganda yang dapat bergerak pada lokasi yang memiliki kecepatan arus tinggi untuk menggerakkan generator sehingga MCT dapat mengekstrak energi listrik dari aliran air. MCT sangat cocok pada kedalaman laut antara 30 sampai dengan 40 meter serta pada penelitian ini mengacu pada ukuran diameter rotor 16, 18 dan 20 meter. Metodologi penelitian ini menggunakan model hidrodinamika 3 dimensi untuk menentukan lokasi yang optimal untuk penempatan MCT di Pantai Selatan Jawa. Model hidrodinamika pada penelitian ini menggunakan mesh berbentuk TIN dari data garis pantai dan batimetri, data pasut dan digunakan data curah hujan untuk menentukan pemilihan bulan pembuatan model. Untuk melakukan validasi model menggunakan data arus dari satelit altimetri. Berdasarkan pengolahan model hidrodinamika 3D dan analisis data didapatkan 124 lokasi yang sesuai dengan kecepatan arus rata-rata minimal 1,5 m/s untuk pembangunan MCT. Estimasi energi yang dihasilkan pada bulan Maret sebesar 166,900 MWh sedangkan pada bulan Oktober sebesar 159,416 MWh.

**Kata kunci**—MCT, Model Hidrodinamika 3D, Kecepatan Arus Pasut, Estimasi Energi.

## I. PENDAHULUAN

BERDASARKAN Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional bahwa negara menjamin pasokan energi dalam negeri dan untuk pembangunan yang berkelanjutan [1]. Energi listrik merupakan alat penunjang aspek kehidupan dan pembangunan nasional dalam peningkatan mutu taraf hidup bangsa Indonesia. Penggunaan energi listrik pembangkit fosil dirasa sudah tidak ekonomis lagi dikarenakan persediaannya yang sudah semakin menipis sehingga dibutuhkan alternatif lain sebagai tenaga pembangkit listrik.

Salah satu langkah kebijakan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) dalam menjawab isu nasional mengenai energi dengan diversifikasi energi adalah penganeekaragaman penyediaan dan pemanfaatan berbagai sumber energi baru, salah satunya adalah sumber energi kelautan [2]. Dasar pengembangan kelautan telah diatur dalam Undang Undang Nomor 17 Tahun 2007 tentang Rencana Jangka Panjang Nasional (RJPN)[3]. Kenyataannya, rencana ini masih belum dapat terealisasikan

karena beberapa hal, diantaranya belum tersedianya informasi potensi energi kelautan yang secara ekonomis dapat dimanfaatkan untuk pembangkit tenaga listrik.

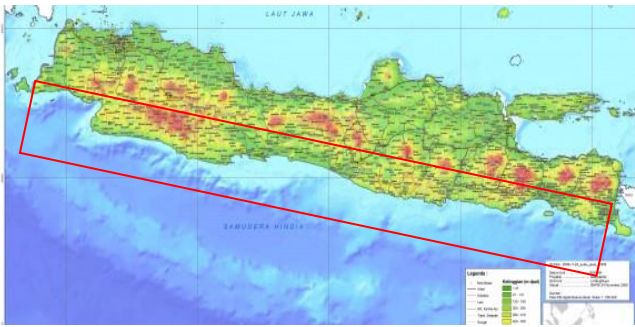
Dengan kondisi topografi Indonesia yang merupakan negara kepulauan terbesar dengan total luas lautan hampir 8 juta km<sup>2</sup> serta memiliki panjang garis pantai kurang lebih sekitar 81.000 kilometer. Indonesia memiliki potensi yang sangat besar terhadap pengembangan energi arus dan pasang surut air laut dalam pembangunan energi terbarukan sebagai upaya penting dalam mengeksplorasi sumber energi non konvensional dari laut.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui lokasi yang memiliki kesesuaian arus pasang surut air laut yang baik dalam pembangunan turbin dengan memanfaatkan model hidrodinamika 3D untuk menentukan model kecepatan arus di Pantai Selatan Jawa. Keuntungan energi pasang surut air laut adalah dapat di prediksi karena perubahan energi arus pasang surut dapat ditentukan berdasarkan jarak suatu lokasi pada permukaan bumi terhadap posisi bulan dan matahari. Pantai Selatan Jawa memiliki kondisi pasang surut dengan tipe campuran dominan semidiurnal [4]. Selain itu, Pantai Selatan Jawa memiliki gelombang dan arus besar karena wilayahnya berbatasan langsung dengan Samudera Hindia. Sehingga dengan mempertimbangkan aspek tersebut maka pemilihan lokasi penelitian berada di kawasan Pantai Selatan Jawa. Pemanfaatan energi arus pasang surut diharapkan dapat di implementasikan dengan baik di Indonesia selain hemat dalam perawatan, energi arus pasang surut juga meminimalisir kerusakan lingkungan dibandingkan penggunaan energi fosil.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dalam penelitian studi ini yaitu di kawasan Pantai Selatan Jawa yang secara geografis terletak pada 6°45'20,08" - 10°52'8,95" LS dan 104°33,28" - 114°38'40,39" BT.



Gambar 1. Peta Pulau Jawa, Sumber : (BNPB, 2009)

**B. Tahap Pengolahan Data**

Tahapan pengolahan data dalam penelitian ini adalah:

**a. Pembuatan Mesh**

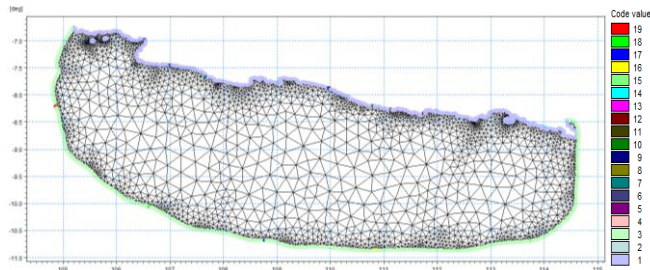
Dalam pembuatan *mesh* menggunakan data garis pantai yang diperoleh dari Ina-Geoportal dan data batimetri dari GEBCO. *Mesh* yang digunakan pada penelitian ini adalah *unstructured triangular mesh* yang dapat disesuaikan dengan geomorfologi garis pantai.

**b. Pembuatan Time Series**

*Time series* dibuat menggunakan data pasang surut bulan Maret dan Oktober 2016 yang berada di area penelitian untuk menentukan *time step* model serta waktu simulasi model yang akan dilakukan.

**c. Pembuatan Boundary Condition**

Pembuatan *boundary* merupakan pembuatan batas lokasi yang ingin dilakukan simulasi model. Pada batas garis pantai diikatkan dengan titik stasiun pasut yang berada di sekitar garis pantai sedangkan untuk batas laut diikatkan dengan pasut prediksi hasil *download* seperti pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. *Boundary Condition*

**d. Pemodelan Hidrodinamika 3D**

Pemodelan hidrodinamika merupakan simulasi suatu aliran yang didasarkan pada persamaan matematika dengan menggambarkan fenomena fisik aliran dan penyelesaian persamaan matematika secara numerik [5]. Untuk koordinat vertikal menggunakan transformasi dalam bentuk sigma koordinat ( $\sigma$ ) sehingga bentuk layer vertikal akan mengikuti bentuk topografi dasar perairan.

**III. HASIL DAN ANALISIS**

**A. Analisis Pasut**

Identifikasi nilai pasut bertujuan untuk membandingkan nilai pasut model dengan nilai pasut pengamatan atau pasut prediksi yang dinyatakan dengan perhitungan nilai *RMSE*. Hasil pemodelan dapat dikatakan valid jika nilai *RMSE* mendekati 0. Berikut rumus perhitungan nilai *RMSE*:

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

Dimana:

$x_{obs}$  = nilai pengamatan/prediksi

$x_{model}$  = nilai model hidrodinamika

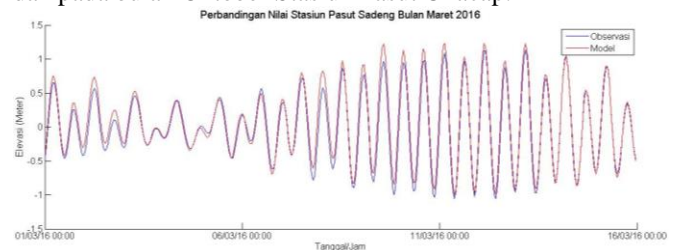
$n$  = jumlah pengamatan

Hasil perhitungan *RMSE* pasut dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

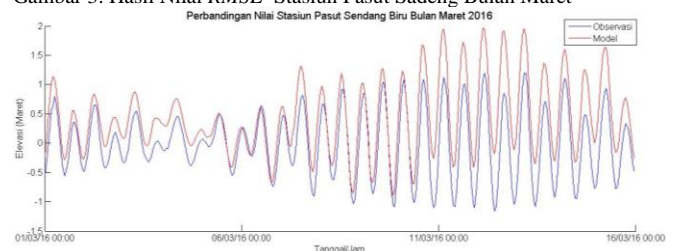
Tabel 1.  
Perhitungan *RMSE* pada Data Pasang Surut

No	Stasiun Pasut	<i>RMSE</i> Maret	<i>RMSE</i> Oktober
1	Binuangun	0,299	0,234
2	Pelabuhan Ratu	0,169	0,136
3	Pameungpeuk	0,198	0,125
4	Cilacap	0,349	0,456
5	Sadeng	0,103	0,112
6	Pacitan	0,196	0,115
7	Prigi	0,321	0,316
8	Sendang Biru	0,485	0,356
9	Pasut 1	0,339	0,276
10	Pasut 2	0,245	0,270
11	Pasut 3	0,304	0,295
12	Pasut 4	0,349	0,285
13	Pasut 5	0,160	0,151
14	Pasut 6	0,117	0,126
15	Pasut 7	0,232	0,325
16	Pasut 8	0,262	0,259

Nilai *RMSE* pasang surut pengamatan dan prediksi dengan model terkecil pada bulan Maret dan Oktober terjadi pada Stasiun Pasut Sadeng. Sedangkan nilai *RMSE* terbesar pada bulan Maret terjadi pada Stasiun Pasut Sendang Biru dan pada bulan Oktober Stasiun Pasut Cilacap.



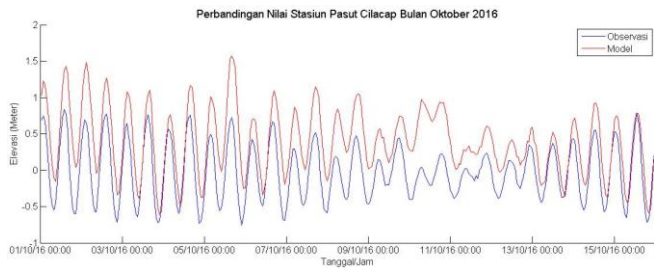
Gambar 3. Hasil Nilai *RMSE* Stasiun Pasut Sadeng Bulan Maret



Gambar 4. Hasil Nilai *RMSE* Stasiun Pasut Sendang Biru Bulan Maret



Gambar 5. Hasil Nilai *RMSE* Stasiun Pasut Sadeng Bulan Oktober



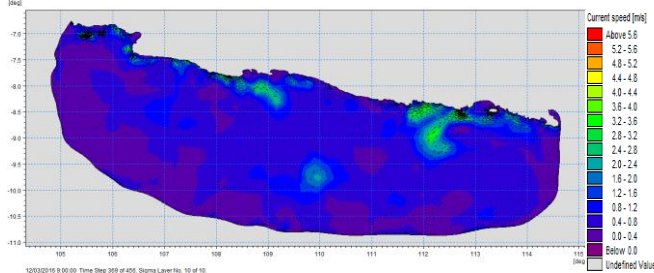
Gambar 6. Hasil Nilai RMSE Stasiun Pasut Cilacap Bulan Oktober

**B. Analisis Kecepatan Arus**

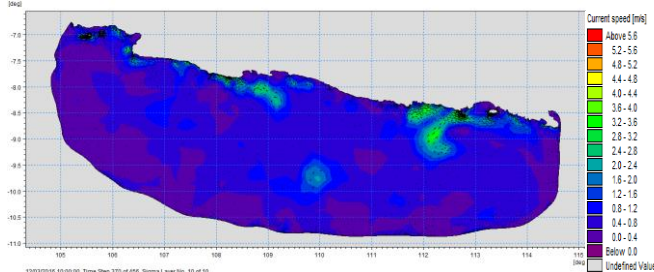
Pada analisis arus dilakukan dalam 2 kondisi yaitu saat kondisi pasang dan kondisi surut (bulan Maret dan bulan Oktober 2016).

**a. Maret 2016**

Pada Bulan Maret kondisi pasang tertinggi terjadi pada tanggal 12 pukul 09:00 WIB saat time step 369. Pada saat kondisi pasang tertinggi, kecepatan arus maksimum sebesar 5.881 m/s dan arah arus cenderung menuju daratan. Sedangkan saat kondisi surut terendah terjadi pada tanggal 12 pukul 10:00 WIB saat time step 370, kecepatan arus maksimum sebesar 5,812 m/s, dan arah arus cenderung menjauhi daratan.



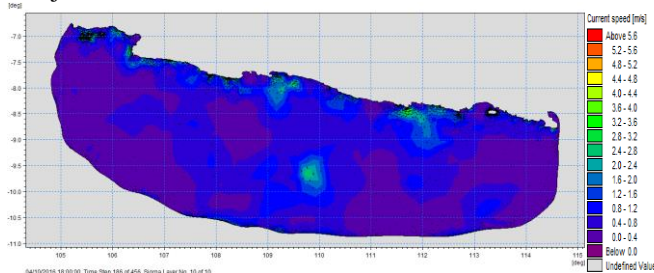
Gambar 7. Pola Arus Area Penelitian Pada Saat Pasang Tertinggi (Bulan Maret 2016)



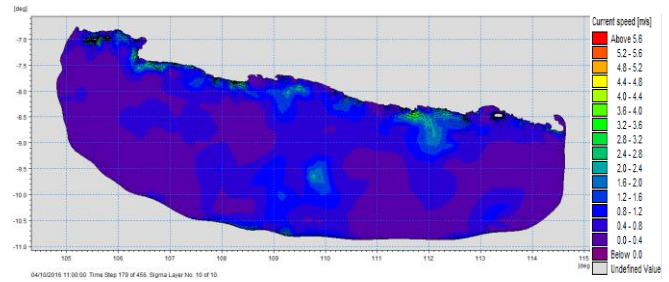
Gambar 8. Pola Arus Area Penelitian Pada Saat Surut Terendah (Bulan Maret 2016)

**b. Oktober 2016**

Pada Bulan Oktober kondisi pasang tertinggi terjadi pada tanggal 4 pukul 18:00 WIB saat time step 186. Pada saat kondisi pasang tertinggi, kecepatan arus maksimum sebesar 5,679 m/s dan arah arus cenderung menuju daratan. Sedangkan saat kondisi surut terendah terjadi pada tanggal 4 pukul 11:00 WIB saat time step 179, kecepatan arus maksimum sebesar 6,374 m/s, dan arah arus cenderung menjauhi daratan.

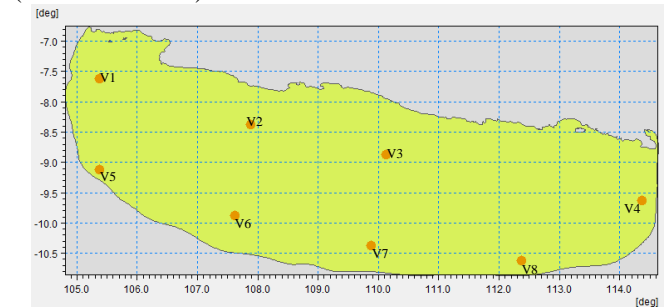


Gambar 9. Pola Arus Area Penelitian Pada Saat Pasang Tertinggi (Bulan Oktober 2016)



Gambar 10. Pola Arus Area Penelitian Pada Saat Surut Tertinggi (Bulan Oktober 2016)

Analisis nilai kecepatan arus pada *surface elevation* model dibandingkan dengan data arus geostropik dari satelit altimetri menggunakan perhitungan nilai RMSE sama seperti pada analisis pasut sebelumnya. Terdapat delapan koordinat yang digunakan sebagai sampel untuk perhitungan RMSE (lihat Gambar 11).



Gambar 11. Lokasi Titik Kecepatan Arus

Untuk nilai arus geostropik didapatkan dari persamaan berikut :

$$R = \sqrt{u^2 + v^2} \tag{2}$$

Dimana:

R = resultan dari vektor *u* dan *v* (m/s)

*u* = kecepatan arus dalam arah x (m/s)

*v* = kecepatan arus dalam arah y (m/s)

Hasil perhitungan RMSE kecepatan arus dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Perhitungan RMSE pada Data Kecepatan Arus

No	Titik	RMSE Maret	RMSE Oktober
1	V1	0,038	0,310
2	V2	0,695	0,997
3	V3	0,901	0,125
4	V4	0,755	0,270
5	V5	0,466	0,065
6	V6	0,359	0,457
7	V7	0,116	0,732
8	V8	0,091	0,857

Nilai RMSE pada kecepatan arus model dengan arus geostropik terjadi perbedaan cukup besar karena pada nilai kecepatan arus model merupakan kecepatan arus yang dipengaruhi oleh fase pasang surut, kedalaman air dan garis pantai. Sedangkan untuk arus geostropik merupakan arus permukaan yang dipengaruhi pada gradien tekanan mendatar yang menggerakkan arus dalam arah horisontal dan gaya koriolis yang disebabkan pengaruh rotasi bumi.

**C. Analisis MCT**

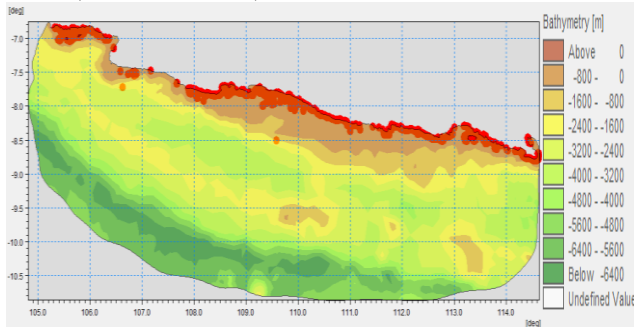
Identifikasi MCT dilakukan dalam dua tahap, yakni:

- Penentuan Lokasi MCT

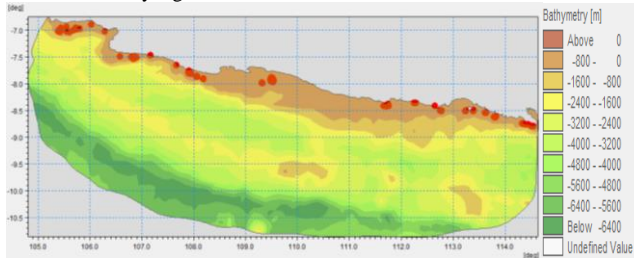
Terdapat 1.428 koordinat yang memiliki nilai kedalaman antara 30 sampai dengan 40 meter seperti yang ditunjukkan



pada Gambar 12. Hanya 124 lokasi yang memiliki kecepatan arus pada 1/3 bagian atas kedalaman air (*centroid*) minimal 1.5 m/s (lihat Gambar 13).



Gambar 12. Titik yang Memiliki Elevasi 30-40 m



Gambar 13. Titik Lokasi Potensi MCT

• Perhitungan Estimasi Energi yang Dihasilkan MCT

Perhitungan estimasi energi yang dihasilkan menggunakan tiga ukuran diameter rotor, yakni 16 m, 18 m dan 20 m yang berputar selama 24 jam. Selain itu, mengacu pada penelitian Fraenkl (1999) nilai koefisien daya ( $C_p$ ) 0,35 [6]. Ekstraksi energi MCT dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P = C_p \cdot A \cdot v^3 \tag{3}$$

Dimana :

$P$  = daya (Watt)

$C_p$  = koefisien daya

$A$  = luas area sapuan rotor ( $m^2$ )

$v$  = kecepatan arus (m/s)

Hasil perhitungan estimasi energi rotor ganda dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3.  
Estimasi Energi Bulan Maret 2016

Diameter Rotor (m)	16	18	20
Energi Total (kW/Hari)	53,174	116,900	61,731
Energi Total (kW/15 Hari)	19142,742	42084,166	22223,026
Energi Rata-rata per Bulan (MW)	38,285	84,168	44,446

Tabel 4.  
Estimasi Enersi Bulan Oktober 2016

Diameter Rotor (m)	16	18	20
--------------------	----	----	----

Energi Total (kW/Hari)	52,458	100,936	68,017
Energi Total (kW/15 Hari)	18884,791	36337,053	24485,972
Energi Rata-rata per Bulan (MW)	37,770	72,674	48,972

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan, berikut adalah kesimpulan yang penulis dapatkan dalam penulis studi ini.

1. Estimasi yang dihasilkan MCT menggunakan model hidrodinamika 3D bersifat barotropik dengan menggunakan data pasang surut, dan curah hujan sebagai parameter serta data arus geostropik sebagai validasi model.
2. Dari data 1.428 batimetri yang memiliki nilai kedalaman antara 30 sampai dengan 40 meter, menghasilkan 124 koordinat berpotensi yang memiliki nilai kecepatan arus minimal 1,5 m/s untuk pembangunan MCT seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.
3. Estimasi energi yang dihasilkan turbin dengan rotor ganda dihitung berdasarkan ukuran diameter rotor serta nilai kedalaman lokasi turbin. Nilai estimasi energi perbulan Maret dan Oktober menghasilkan energi listrik masing-masing sebesar 166,900 MWh dan 159,416 MWh.

Diperlukan penelitian lanjutan untuk mendapatkan hasil estimasi energi MCT menggunakan data pengukuran secara langsung seperti pengukuran batimetri, pengukuran arus, pengukuran angin, suhu dan salinitas untuk mendapatkan nilai dan lokasi yang lebih pasti.

VI. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis L.W mengucapkan terima kasih kepada Pushidrosal dan BIG yang telah menyediakan data pasang surut serta BMKG yang telah menyediakan data curah hujan bulanan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. P. R. Indonesia, *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tentang Kebijakan Energi Nasional*. Jakarta, 2006.
- [2] DESDM, "Energi Kelautan sebagai Alternatif Baru," in *Seminar Pembangunan Ekonomi Kemaritiman*, 2005.
- [3] R. Indonesia, *Undang Undang Nomor 17 Tentang Rencana Jangka Panjang Nasional (RPJPN)*. Jakarta, 2007.
- [4] S. M. Lubis, *Oseanografi Indonesia*. Bandung: Program Studi Oseanografi, 2006.
- [5] Istiarto, "Model Hidrodinamika CFD di Bidang Hidraulika Saluran Terbuka," Universitas Gajah Mada, 2009.
- [6] P. Fraenkel, *Power from Marine Currents*. Marine Current Turbines Ltd, 1999.