



Pemetaan Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut di Selat Capalulu, Kepulauan Sula, Maluku Utara (*Mapping of Sea Current Power Potential in The Strait of Capalulu, The Sula Archipelago, North Maluku*)

¹Muhammad Rafi Respati dan ¹Wiwin Windupranata

¹Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut
Teknologi Bandung, Bandung, Jawa Barat, Indonesia

^aCorresponding author: rafirespati@gmail.com

Abstrak. Energi arus laut merupakan potensi sumber listrik di Indonesia yang diduga dapat menyimpan potensi energi listrik hingga 6000 MW. Arus pasang-surut terkuat yang tercatat di Indonesia adalah di Selat Capalulu, antara Pulau Taliabu dan Pulau Mangole di Kepulauan Sula, Propinsi Maluku Utara. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan potensi daya listrik yang bersumber dari arus laut tersebut. Terdapat 8 titik Obs yang ditempatkan sepanjang Selat Capalulu. Berdasarkan hasil yang diperoleh titik yang berpotensi sebagai lokasi pembangkit listrik tenaga arus yaitu titik Obs 5 dan titik Obs 6. Titik Obs 5 memiliki potensi energi listrik selama satu bulan sebesar 4896.14 kWh pada musim angin barat dan 5721.31 kWh pada musim angin timur. Sedangkan titik Obs 6 memiliki potensi energi listrik selama satu bulan sebesar 4285.29 kWh dan 5268.96 kWh pada musim angin timur.

Kata Kunci: arus, pasang-surut, selat capalulu, pembangkit listrik tenaga arus laut

1 Pendahuluan

Kebutuhan listrik di Indonesia semakin meningkat seiring dengan peningkatan jumlah penduduk namun penyebaran listrik tersebut masih belum merata. Salah satu penyebabnya adalah sulitnya distribusi listrik akibat terpusatnya pembangkit. Sekitar 74% diantaranya berada di wilayah Jawa Bali, 15% di wilayah Sumatera, 3% di wilayah Kalimantan dan sisanya yang tersebar di wilayah lainnya. (Sulawesi, Maluku, NTB-NTT, dan Papua).

Energi baru terbarukan (EBT) di Indonesia yang bersumber dari lautan sangat berpotensi sebagai sumber listrik. Salah satu potensi EBT yang berasal dari lautan yaitu potensi energi arus laut. Menurut Dr. Erwandi dari UPT Balai Pengkajian dan Penelitian Hidrodinamika BPPT, potensi arus laut diduga menyimpan potensi energi listrik hingga 6000MW.

Arus pasang-surut terkuat yang tercatat di Indonesia adalah di Selat Capalulu, antara Pulau Taliabu dan Pulau Mangole di Kepulauan Sula, Propinsi Maluku Utara, dengan kecepatan 5,0 m/detik. Pada penelitian ini akan dilakukan

pemetaan potensi daya listrik yang bersumber dari arus laut tersebut. Selain itu, untuk memetakan potensi daya listrik yang dihasilkan oleh arus laut diharapkan dapat mendukung terlaksananya rencana umum energi nasional (RUEN) yang menargetkan penghasilan listrik sebesar 6000MW dari PLTAL pada tahun 2050.

2 Metode dan Data

Data yang digunakan adalah data arus daerah Selat Capalulu yang diperoleh melalui pemodelan numerik dinamika laut. Data-data tersebut adalah :

- Data batimetri Selat Capalulu yang didapat dari Peta Laut Dishidros no. 275 dengan judul peta Selat Capalulu dan Teluk Vesuvius
- Data garis pantai di Selat Capalulu yang didapat dari Peta Laut Dishidros no. 275 dengan judul peta Selat Capalulu dan Teluk Vesuvius
- Data komponen pasang surut yang didapat dari model pasut global TPXO 7.2
- Data angin dengan interval data setiap 6 jam pada tahun 2015 dari ECMWF.

Selain itu, untuk konversi arus laut menjadi daya listrik dihitung dengan pendekatan matematis yang memformulasikan daya yang dihasilkan dari suatu aliran fluida yang menembus suatu permukaan A dalam arah yang tegak lurus permukaan, dirumuskan sebagai berikut (Fraenkel, 2002):

$$P = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

Keterangan:

P	=	daya listrik yang dihasilkan (watt)
ρ	=	rapat massa air (kg/m ³)
A	=	luas penampang (m ²)
V	=	kecepatan (m/s)

Penampang yang dimaksud merupakan penampang permukaan turbin yang digunakan untuk menerima arus laut. Luas penampang tersebut dihitung dengan mengalikan tinggi turbin dengan diameter turbin, sehingga besarnya daya yang dihasilkan selain tergantung besarnya kecepatan arus juga akan sangat tergantung pada ukuran dan jenis turbin yang digunakan (Rachmat, 2012).

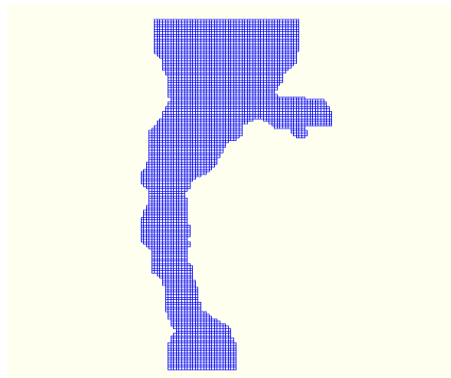
Metode penelitian yang digunakan pada penulisan riset ini berfokus pada pemodelan dinamika laut dengan menggunakan model matematik. Model matematika adalah penyederhanaan dari fenomena alam melalui berbagai pendekatan dan asumsi yang diterjemahkan kedalam bentuk persamaan matematik. Salah satu model matematik yang digunakan adalah metode numerik. Pada pemodelan dinamika laut kali ini digunakan perangkat lunak Delft3D yang

mana menggunakan metode pemodelan numerik. Delft3D merupakan perangkat lunak yang dibuat oleh Deltares dan dirancang untuk pemodelan dinamika laut dan kualitas air. Persamaan pembangunan dalam model Delft3D terdiri dari persamaan kontinuitas dan momentum (Navier-Stokes).

Dalam melakukan pemodelan, tahapan awal yang perlu dilakukan adalah membuat desain model. Desain model terbagi menjadi 3 tahapan yaitu pembangunan domain model, pendefinisian syarat batas dan syarat awal model, serta mendefinisikan masukan parameter dan proses yang akan dilakukan.

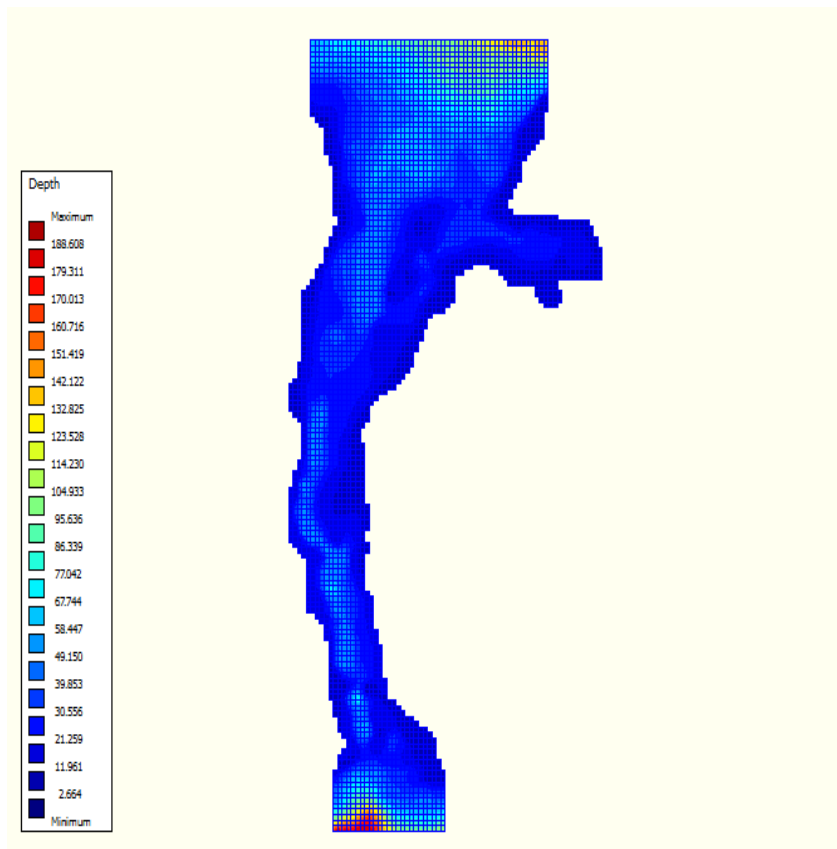
a. Pembangunan domain model

Domain model terdiri dari pembangunan grid pemodelan dan interpolasi kedalaman pada domain model. Grid pemodelan harus melingkupi area yang akan diteliti di daerah perairan. Setiap kotak grid akan mewakili satu nilai dari hasil pemodelan. Untuk pembuatan grid digunakan menu RFGRID pada perangkat lunak Delft3D. Sistem koordinat untuk model menggunakan sistem koordinat cartesian. Berikut ini hasil dari pembuatan grid untuk area pemodelan.



Gambar 1 Grid Domain Model

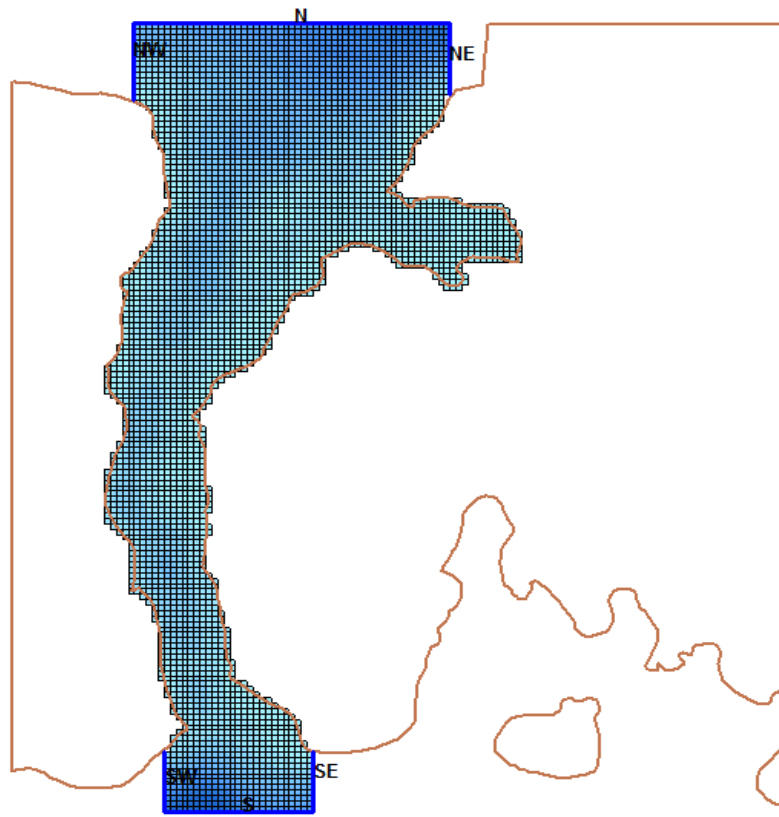
Setelah itu, dilakukan pembuatan nilai kedalaman dengan menggunakan menu QUICKIN pada perangkat lunak Delft3D. Karena hasil digitasi berbentuk point sampel maka, dilakukan interpolasi kedalaman dengan metode *Grid Cell Averaging*, *Triangular Interpolation* serta *Internal Diffusion*. Berikut ini hasil dari interpolasi kedalaman untuk domain model.



Gambar 2 Domain Pemodelan

b. Pendefinisian syarat batas dan syarat awal

Syarat batas didefinisikan untuk memberikan informasi mengenai interaksi daerah pemodelan terhadap daerah di luar batas grid. Ada dua macam syarat batas, yaitu syarat batas tertutup dan syarat batas terbuka. Berikut ini merupakan syarat batas yang dibuat pada pemodelan Selat Capalulu.



Gambar 3 Syarat Batas Domain Model

Pada ke empat ujung batas syarat terbuka, diberikan masukan nilai konstanta pasut. Konstanta pasut yang dimasukan adalah K1, O1, M2 dan S2. Dari ke empat konstanta tersebut tipe batas terbuka di batas N dan S didefinisikan sebagai *water level*. Syarat awal merupakan pendefinisian kondisi awal dari dinamika laut yang akan dimodelkan. Kondisi awal untuk elevasi dan kecepatan arus diasumsikan sama dengan nol.

c. Pendefinisian masukan parameter dan proses yang akan dilakukan

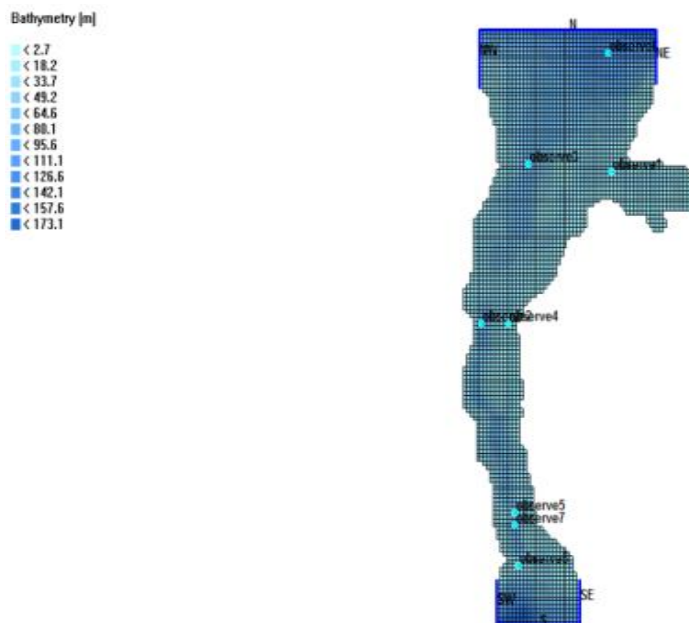
Beberapa parameter masukan yang mempengaruhi proses pemodelan adalah data angin, densitas masa air, kekasaran dasar laut, dan viskositas eddy horizontal. Pada Tabel 1 dijelaskan nilai dari parameter masukan yang digunakan dalam pemodelan. Data angin yang digunakan diambil dari situs ECMWF berupa data angin dalam komponen u dan v dengan rentang waktu setiap 6 jam.

Tabel 1 Parameter Masukan Model

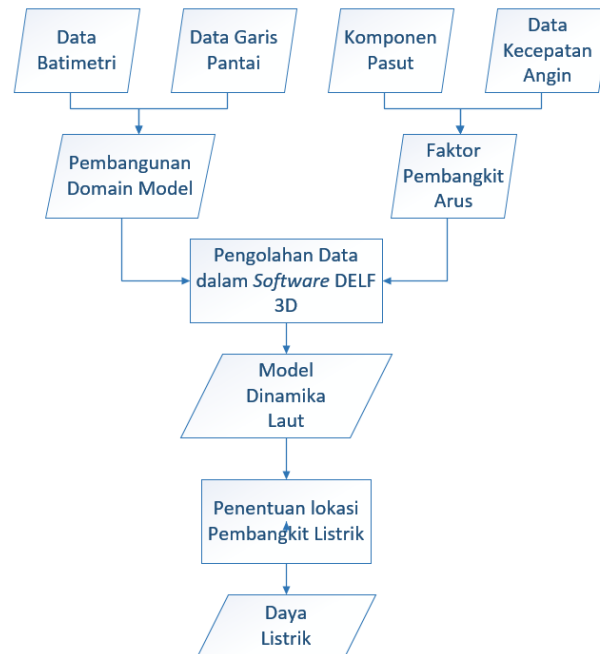
No	Parameter	Nilai
1	Kekasaran Dasar Laut	65 m ^{1/2} /s
2	Densitas Air	1025 kg/m ³
3	Viskositas Eddy Horizontal	1 m ² /detik

Densitas air diambil sesuai format awal Delft3D. Viskostias eddy horizontal disesuaikan dengan penelitian Hortsman (2013) untuk area grid yang tidak terlalu besar. Sedangkan kekasaran dasar laut disesuaikan dengan kondisi mendekati dasar laut sebenarnya yang cenderung berpasir.

Pemodelan dilakukan selama dua bulan, yaitu bulan Februari dan bulan Agustus. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan hasil pemodelan yang mewakili dua musim angin yaitu musim barat dan musim timur. Dalam pemodelan tersebut, langkah waktu yang digunakan dalam proses pemodelan adalah 1 menit. Hasil dari pemodelan disimpan kedalam dua bentuk data. Data *map file* disimpan dengan rentang waktu setiap satu jam selama waktu pemodelan. Sedangkan *history file* disimpan dengan rentang waktu 10 menit di setiap titik observasi. Berikut ini persebaran titik observasi pada domain model.

**Gambar 4** Persebaran titik observasi pada domain model

Secara skematis metodologi pengerjaan ditunjukkan pada Gambar 5 di bawah.



Gambar 5 Diagram Alir Metodologi Pengerjaan

3 Hasil dan Pembahasan

Simulasi pemodelan dilakukan di dua musim angin yang berbeda yaitu musim angin barat dan musim angin timur. Pada masing-masing musim diambil rentang waktu 1 bulan untuk simulasi pemodelan yaitu pada bulan Februari dan bulan Agustus. Dari hasil pemodelan didapatkan data dinamika laut berupa data arus dan pasang surut.

1. Pasang Surut Musim Angin Barat

Dari hasil pemodelan dinamika laut yang dilakukan, diamati hasil elevasi muka air yang terjadi di 8 titik pengamatan. Simulasi model angin musim barat dilakukan dari tanggal 1 Februari 2015 sampai 28 Februari 2016. Berdasarkan 8 titik observasi menunjukkan bahwa tipe pasut di Selat Capalulu adalah tipe pasut campuran. Pada saat kondisi *spring tide*, tunggang pasut paling tinggi terjadi pada titik observasi 6 dengan nilai 1.052m. Kondisi ini terjadi pada tanggal 4 Februari

2015 dengan rentang waktu selama 7 jam 40 menit. Pada Tabel 2 ditampilkan kondisi tunggang pasut paling tinggi di setiap titik observasi.

Tabel 2 Tunggang pasut maksimum setiap titik observasi

Titik Observasi	Tunggang Pasut (m)
1	0.836m
2	0.833m
3	0.835m
4	0.854m
5	0.912m
6	1.052m
7	0.942m
8	0.840m

Sedangkan untuk kondisi *neap tide*, tunggang pasut paling rendah terjadi pada titik observasi 8 dengan nilai 0.014m. Kondisi ini terjadi pada tanggal 13 Februari 2015 dengan rentang waktu selama 3 jam 10 menit. Pada Tabel 3 ditampilkan kondisi tunggang pasut paling rendah di setiap titik observasi.

Tabel 3 Tunggang pasut minimum di setiap titik observasi

Titik Observasi	Tunggang Pasut (m)
1	0.018m
2	0.064m
3	0.026m
4	0.065m
5	0.082m
6	0.102m
7	0.062m
8	0.014m

2. Pasang Surut Musim Angin Timur

Simulasi model angin musim timur dilakukan dari tanggal 1 Agustus 2015 sampai 31 Agustus 2015. Berdasarkan 8 titik observasi menunjukkan bahwa tipe pasut di Selat Capalulu adalah tipe pasut campuran. Pada saat kondisi *spring tide*, tunggang pasut paling tinggi terjadi pada titik observasi 6 dengan nilai 1.102m. Kondisi ini terjadi pada tanggal 1 Agustus 2015 dengan rentang waktu selama 9

jam 30 menit. Pada Tabel 4 ditampilkan kondisi tunggang pasut paling tinggi di setiap titik observasi.

Tabel 4 Tunggang pasut maksimum bulan Agustus di setiap titik observasi

Titik Observasi	Tunggang Pasut (m)
1	0.867
2	0.854
3	0.861
4	0.882
5	0.924
6	1.102
7	0.977
8	0.872

Sedangkan untuk kondisi *neap tide*, tunggang pasut paling rendah terjadi pada titik observasi 1 dengan nilai 0.0018m. Kondisi ini terjadi pada tanggal 9 Agustus 2015 dengan rentang waktu selama 1 jam 30 menit. Pada Tabel 5 ditampilkan kondisi tunggang pasut paling rendah di setiap titik observasi.

Tabel 5 Tunggang pasut minimum bulan Agustus di setiap titik observasi

Titik Observasi	Tunggang Pasut (m)
1	0.0018
2	0.0422
3	0.0063
4	0.0434
5	0.0615
6	0.1092
7	0.0379
8	0.0323

3. Arus Laut Musim Angin Barat

Simulasi model angin musim barat dilakukan dari tanggal 1 Februari 2015 sampai 28 Februari 2015. Dari hasil simulasi pemodelan angin musim barat, arus laut paling tinggi terjadi pada titik observasi 5 dengan nilai 2,21889 m/s. Kondisi tersebut terjadi pada saat kondisi *spring tide*. Sedangkan arus minimum terjadi di titik observasi 8 dengan nilai 0.000432 m/s yang terjadi pada saat kondisi *neap*

tide. Tabel 6 ditampilkan kondisi arus paling tinggi dan rata-rata kecepatan arus di setiap titik observasi.

Tabel 3 Kecepatan arus musim angin barat di setiap titik observasi

Titik Observasi	Arus Minimum (m/s)	Arus Maksimum (m/s)	Rata-rata Kecepatan Arus (m/s)
1	0.000448	0.173157	0.055246
2	0.002198	1.04515	0.448842
3	0.003494	0.601785	0.265536
4	0.002901	1.31688	0.533572
5	0.001652	2.21889	0.978865
6	0.002778	1.94101	0.961414
7	0.00326	1.17287	0.536382
8	0.000432	0.245025	0.074818

4. Arus Laut Musim Angin Timur

Simulasi model angin musim barat dilakukan dari tanggal 1 Agustus 2015 sampai 31 Agustus 2015. Dari hasil simulasi pemodelan angin musim barat, arus laut paling tinggi terjadi pada titik observasi 5 dengan nilai 2,28705 m/s. Kondisi tersebut terjadi pada saat kondisi *spring/neap tide*. Sedangkan arus minimum terjadi di titik observasi 1 dengan nilai 0.00038 m/s yang terjadi pada saat kondisi *spring/neap tide*. Tabel 7 ditampilkan kondisi arus paling tinggi dan rata-rata kecepatan arus di setiap titik observasi.

Tabel 4 Kecepatan arus musim angin timur di setiap titik observasi

Titik Observasi	Arus Minimum (m/s)	Arus Maksimum (m/s)	Rata-rata Kecepatan Arus (m/s)
1	0.00038	0.1818	0.05982
2	0.00081	1.09102	0.46797
3	0.0042	0.66214	0.26182
4	0.00722	1.32787	0.55486
5	0.00666	2.28105	1.02634
6	0.00184	2.0627	1.01917
7	0.00263	1.20482	0.56146

8	0.00089	0.16327	0.08028
---	---------	---------	---------

Dalam pemodelan kali ini, gelombang dan densitas tidak disertakan menjadi faktor pembangkit. Dari hasil kecepatan arus laut yang diamati di 8 titik observasi, secara umum nilai kecepatan arus berbanding lurus dengan nilai tunggang pasut yang terjadi. Hal ini sesuai dengan teori mengenai arus pasut dimana amplitudo arus pasut sesuai dengan jarak dari pasut. Sebagai contoh di titik observasi 5, arus maksimum dengan nilai 2.218 m/s pada musim angin barat terjadi pada saat pasang purnama tanggal 4 Februari 2015. Begitu pun pada musim angin timur, kecepatan arus maksimum di titik observasi 5 dengan nilai 2.281 m/s terjadi pada saat pasang purnama tanggal 1 Agustus 2016.

Kecepatan arus di musim angin timur cenderung lebih besar daripada kecepatan arus di musim angin barat. Hal ini dipengaruhi dengan adanya perbedaan data angin sebagai faktor pembangkit arus laut. Kecepatan angin di musim angin timur cenderung lebih besar daripada kecepatan angin di musim angin barat. Dari pemodelan yang telah dilakukan, masih terdapat beberapa kekurangan jika dilihat dari faktor-faktor pembangkit arus laut. Faktor yang mempengaruhi pembangkitan arus laut yang belum dilibatkan dalam pemodelan yaitu faktor dari desain model secara lebih luas, dan pengaruh arus lintas Indonesia yang disebabkan oleh perbedaan tinggi permukaan air laut.

Dalam kasus ini yang paling berpengaruh adalah luas cakupan area domain model. Domain model yang dibuat dalam penelitian ini hanya mencakup area selat hingga jarak 1 km dari mulut selat. Selat dapat diibaratkan sebagai *bottle-neck*, yang mana ketika ada arus dari lautan lepas melewati selat akan mengalami percepatan. Oleh karena itu, proses percepatan arus ketika melalui bentuk selat yang menyempit kurang termodelkan.

Faktor selanjutnya merupakan pengaruh arus lintas Indonesia (Arlindo). Arlindo membawa masa air hangat dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia yang relatif lebih dingin. Jalur timur Arlindo masuk melalui Laut Halmahera dan Laut Maluku terus ke Laut Banda. Akibat pengaruh Arlindo ini kecepatan arus laut yang sebenarnya di lapangan pasti akan terpengaruh, terlepas dari gaya pembangkit arus laut yang berasal dari daerah tersebut. Dalam pemodelan yang dilakukan, Arlindo tidak dimasukkan sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi arus yang terjadi pada daerah Selat Capalulu.

Untuk mengetahui besarnya potensi energi listrik dilakukan dengan menggunakan formulasi fraenkel untuk konversi energi kinetik dari arus menjadi energi listrik. Dalam penelitian ini, daya dihitung dengan mengambil contoh teknologi MCT SeaGen 1.2MW. Untuk dapat menghitung daya, perlu dilakukan

pemilahan kecepatan arus yang dapat menggerakkan turbin ($>1\text{m/s}$). Pada Tabel 8 dan Tabel 9 dijelaskan kondisi arus dari tiap titik yang dapat menggerakkan turbin.

Tabel 5 Data arus yang memenuhi syarat pembangkitan daya (Februari 2015)

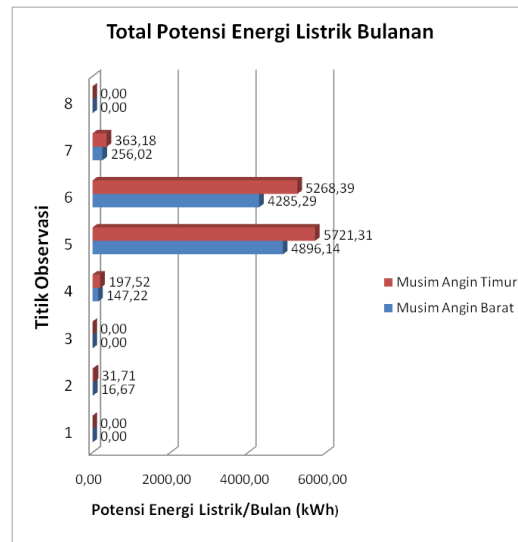
Titik Observasi	Probabilitas Arus $>1\text{m/s}$	Nilai rata-rata kecepatan arus yang memenuhi syarat (m/s)	Durasi Kemunculan
1	0/5005	-	-
2	24/5005	1.0176	240 menit/bulan
3	0/5005	-	-
4	169/5005	1.0974	1690 menit/bulan
5	2407/5005	1.4559	24070 menit/bulan
6	2477/5005	1.3794	24770 menit/bulan
7	323/5005	1.0634	3230 menit/bulan
8	0/5005	-	-

Tabel 6 Data arus yang memenuhi syarat pembangkitan daya (Agustus 2015)

Titik Observasi	Probabilitas Arus $>1\text{m/s}$	Nilai rata-rata kecepatan arus yang memenuhi syarat (m/s)	Durasi Kemunculan
1	0/5005	-	-
2	43/5005	1.0381	430 menit/bulan
3	0/5005	-	-
4	226/5005	1.0986	2260 menit/bulan
5	2634/5005	1.4881	26340 menit/bulan
6	2811/5005	1.4167	28110 menit/bulan
7	448/5005	1.0714	4480 menit/bulan
8	0/5005	-	-

Setelah itu dilakukan perhitungan energi yang dapat dihasilkan selama satu bulan di setiap titik yang diperlihatkan pada Gambar 6.

Dari ke 8 titik observasi, yang memenuhi syarat untuk dilakukan pembangunan teknologi hanya pada titik observasi 2, 5 dan 6. Titik observasi 1, 3 dan 8 secara potensi listrik tidak dapat menghasilkan energi sama sekali karena kecepatan arus pada titik tersebut tidak ada yang mencapai 1m/s. Sedangkan untuk titik observasi 4 dan 7 tidak dapat dilakukan pembangunan karena kedalaman pada titik tersebut tidak memenuhi syarat dari kedalaman operasional teknologi MCT SeaGen 1.2 MW.



Gambar 6 Total Potensi Energi Listrik per-bulan

4 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh berdasarkan penelitian ini adalah titik yang berpotensi sebagai lokasi pembangkit listrik tenaga arus yaitu titik Obs 5 dan titik Obs 6. Titik Obs 5 memiliki potensi energi listrik selama satu bulan sebesar 489.614 kWh pada musim angin barat dan 572.131 kWh pada musim angin timur. Sedangkan titik Obs 6 memiliki potensi energi listrik selama satu bulan sebesar 428.529 kWh dan 526.896 kWh pada musim angin timur.

5 Daftar Referensi

- [1] Fraenkel, P. L. (2002). *Power from Marine Current*. Marine Current Turbines Ltd.
- [2] Fraenkel, P. L. (2002). *Development and testing of Marine Current Turbine's SeaGen 1.2MW tidal stream turbine*. Marine Current Turbines Ltd.