

PENENTUAN LOKASI TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT SKALA KECIL DI PERAIRAN SELAT LEMBEH, BITUNG SULAWESI UTARA

DETERMINATION OF TURBINE LOCATION FOR SMALL SCALE SEA FLOW POWER PLANTS IN LEMBEH STRAIT WATER, BITUNG NORTH SULAWESI

Mira Yosi¹, Nineu Yayu Gerhaneu¹, Yani Permanawati¹, Irwan Hidayat Suherman^{1*}, Purnomo Raharjo¹, dan Delyuzar Ilahude²

¹ Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Djunjunan No. 236 Bandung

² PT. Bumi Resources Minerals Tbk, L6 & L10, Bakrie Tower, Kompleks Rasuna Epicentrum, JL. HR. Rasuna Said, Karet Kuningan Setiabudi, Jakarta Selatan

*irwan.suherman@esdm.go.id

Diterima : 21-09-2022, Disetujui : 31-01-2023

ABSTRAK

Selat Lembeh terletak di antara Kota Bitung dan Pulau Lembeh, Sulawesi Utara. Penelitian potensi energi arus laut telah dilakukan di lokasi ini, untuk mengkaji kemungkinan dikembangkannya Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL) skala kecil (2 kW) dengan model turbin sumbu vertikal. Salah satu tahapan dalam implementasi PLTAL skala kecil adalah untuk mendapatkan rapat daya arus dan penentuan lokasi penempatan turbin. Beberapa kriteria teknis yang dipersyaratkan harus dipenuhi pada tahapan ini. Untuk maksud tersebut dilakukan kajian awal dengan melakukan analisis data kedalaman laut, *Sub Bottom Profiling* (SBP), arus bergerak, arus insitu dan pasang surut. Data tersebut direpresentasikan dalam data kecepatan arus laut, morfologi dasar laut, kedalaman laut, durasi waktu kecepatan arus kuat, jarak terhadap garis pantai. Berdasarkan hasil analisis data tersebut diperoleh hanya satu lokasi yang paling representatif untuk penempatan turbin yaitu pada lokasi Stasiun 1. Kedalaman laut pada lokasi ini sekitar 20 m dengan kecepatan arus maksimum antara 1,4 m/det – 2 m/det.

Kata kunci: Kecepatan arus, rapat daya, turbin, Selat Lembeh

ABSTRACT

Lembeh Strait is located between Bitung City and Lembeh Island, North Sulawesi. Research on the potential for ocean current energy has been carried out at this location, to assess the possibility of developing a small-scale Ocean Current Power Plant (2 kW) with a vertical axis turbine model. One of the stages in the implementation of small-scale PLTAL is to obtain current power density and determine the location of the turbine placement. Some of the required technical criteria must be met at this stage. For this purpose, a preliminary study was carried out by analyzing ocean depth data, Sub Bottom Profiling (SBP), moving currents, in situ currents and tides. The data is represented in data on ocean current velocity, seabed morphology, sea depth, time duration of strong current velocity, and distance to coastline. Based on the results of the data analysis, there is only one most representative location for the placement of the turbine, namely at Station 1. The depth of the sea at this location is about 20 m with a maximum current speed of between 1.4 m / s - 2 m / s.

Keyword: Current velocity, power density, turbine, Lembeh Strait

PENDAHULUAN

Daerah penelitian yang berlokasi di Selat Lembeh adalah termasuk dalam wilayah Kota Bitung Provinsi Sulawesi Utara. Secara geografis berada pada koordinat antara $01^{\circ} 22' - 01^{\circ} 34'$ Lintang Utara dan $125^{\circ} 04' - 125^{\circ} 18'$ Bujur Timur (Gambar 1). Daerah Sulawesi Utara telah lama dikenal sebagai salah satu daerah yang berpotensi di bidang sumberdaya alam, antara lain adalah bahan galian untuk industri dan panas bumi. Di sektor kelautan perairan Sulawesi Utara sangat berpotensi dengan hasil laut yang saat ini telah menjadi primadona dalam Pendapatan Asli Daerah (PAD) disamping hasil perkebunan (kopra) yang ada di daerah Kabupaten Minahasa Utara.

Selain potensi dibidang perikanan, Pulau Lembeh dan Kota Bitung yang dipisahkan oleh Selat Lembeh, saat ini telah menjadi daerah tujuan wisata yang cukup berpotensi untuk dikembangkan, terutama di daerah pesisir Selat Lembeh bagian Utara dan Selatan Pulau Lembeh. Sayangnya sebagian wilayah Pulau Lembeh belum dapat dialiri listrik. Jika dihubungkan dengan luas wilayah Kota Bitung seluas $313,50 \text{ km}^2$, maka kepadatan penduduk pada tahun 2009 mencapai sekitar 654 jiwa/km^2 . Angka ini tergolong padat sebagaimana daerah perkotaan lainnya. Jika dikaitkan dengan pertumbuhan konsumsi listriknya maka paling tidak daerah ini membutuhkan lebih dari 5.000 MW dari kapasitas kasar untuk kawasan Sulawesi Utara. Oleh sebab itu perlu dipikirkan penggunaan energi terbarukan untuk menggantikan konsumsi energi dari sumber energi konvensional yang selama ini digunakan.

Pada dasarnya, arus laut merupakan gerakan horizontal massa air laut, sehingga arus laut memiliki energi kinetik yang dapat digunakan sebagai tenaga penggerak rotor atau turbin pembangkit listrik. Secara global, laut mempunyai sumber energi yang sangat besar yaitu mencapai total $2,8 \times 10^{28}$ (280 Triliun) Watt-jam. Selain itu, arus laut ini juga menarik untuk dikembangkan sebagai pembangkit listrik karena sifatnya yang relatif stabil, periodik dan dapat diprediksi pola atau karakteristiknya. Pengembangan teknologi ekstraksi energi arus laut lazimnya dilakukan dengan mengadopsi prinsip teknologi energi angin yang telah lebih dulu berkembang, yaitu dengan mengubah energi kinetik arus laut menjadi energi rotasi dan energi listrik. Energi arus laut ini dapat dikonversikan menjadi pembangkit listrik dengan desain turbin skala kecil hingga menengah.

Hal yang menarik di perairan Sulawesi Utara khususnya di perairan Selat Lembeh adalah tingkat sedimentasi dan limbah rumah tangga yang relatif rendah sehingga kawasan ini berpotensi untuk dikembangkan menjadi daerah pembangkit listrik tenaga energi laut untuk menunjang pertumbuhan ekonomi dan pariwisata di daerah tersebut. Salah satu kegiatan yang mendukung di dalam pengelolaan sumberdaya kelautan di perairan Selat Lembeh tersebut yaitu melalui penelitian potensi energi arus laut menggunakan integrasi metode geofisika dan oseanografi.

Pemetaan potensi energi laut merupakan realisasi dari Program Penelitian dan Pengembangan ESDM, yang mengambil lokasi di perairan Selat Lembeh, Bitung Provinsi Sulawesi Utara. Dengan keterbatasan data dan informasi mengenai data oseanografi khususnya



Gambar 1. Lokasi penelitian potensi energi laut di Selat Lembeh

di daerah Selat Lembeh, maka penelitian potensi energi laut ini paling tidak akan menambah informasi data dalam jaringan pemetaan potensi energi laut yang dilakukan oleh PPPGL selama ini. Selain itu dari hasil penelitian potensi energi laut ini diharapkan akan memberi gambaran informasi data yang lebih akurat disamping potensi sumberdaya alam yang berada di lepas pantainya. Informasi data ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pendayagunaan potensi energi laut di daerah Kota Bitung khususnya di Pulau Lembeh dan sekitarnya.

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan data potensi energi arus laut dan data pendukung lainnya antara lain, pasang surut laut (pasut), *side scan sonar* dan *sub-bottom profiling* (SBP) guna mengkaji lokasi penempatan PLTAL model sumbu vertikal di Selat Lembeh. Model turbin yang dijadikan acuan dalam kajian ini adalah model turbin sumbu vertikal tipe Darrieus dengan tiga bilah turbin (diameter 2 m, tinggi 2 m) yang dikembangkan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) (Marta dan Rahuna, 2011). Turbin ini mempunyai kapasitas 2 kW dengan *cut in speed* sekitar 0,5 m/det dan telah diuji coba di Selat Madura. Hasil uji coba menunjukkan turbin ini dapat beroperasi dengan baik pada kecepatan arus rata-rata sebesar 0,47 m/det dan kecepatan arus maksimum sebesar 1,3 m/det (Firdaus dkk. (2014) dan Fajar dkk. (2014), Kompas edisi 30 Maret 2013).

Dilihat dari kisaran kecepatan arus, kecepatan arus di Selat Madura relatif lebih rendah daripada kecepatan arus di Selat Lembeh. Kecepatan arus rata-rata di Selat Lembeh sebesar 0,53 m/det dan kecepatan arus maksimum sebesar 2,002 m/det (Ilahude dkk., 2016), sehingga model turbin ini cocok dikembangkan di lokasi Selat Lembeh. Penentuan lokasi penempatan turbin PLTAL skala 2 kW memiliki beberapa kriteria teknis harus dipenuhi. Kriteria tersebut adalah kecepatan arus di atas 0,5 m/det dengan durasi waktu lebih dari 10 jam per hari (Erwandi, 2011), aliran massa airnya laminar, kedalaman lautnya tidak terlalu dalam (sesuai dengan teknologi yang dikembangkan sekitar 20-50 m) dan morfologi dasar lautnya relatif rata dan landai, bukan daerah penangkapan ikan, terlindung dari pengaruh gelombang secara langsung, tidak jauh dari pantai (kurang dari 1 km), dekat dengan jaringan listrik dan pemukiman (Sornes, 2010; Thake, 2005).

Penentuan lokasi penempatan turbin PLTAL skala 2 kW harus memperhatikan kondisi morfologi dasar perairan. Kesesuaian kondisi morfologi dasar laut menyesuaikan kriteria turbin yang akan dipasang. Morfologi dasar laut diperoleh dengan menggunakan data pemeruman (*sounding*) untuk mendapatkan peta batimetri daerah penelitian. Survei *side scan sonar* yang dilakukan di perairan ini adalah lebih difokuskan pada daerah perairan yang dangkal guna mendapatkan informasi morfologi dasar laut khususnya pada koridor yang dilakukan pengukuran ADCP bergerak (*mobile*) dan ADCP statis di perairan Selat Lembeh. Tujuan yang akan dicapai dari kegiatan penelitian ini adalah untuk

mendapatkan lokasi yang cocok untuk penempatan turbin arus laut di perairan Bitung Sulawesi Utara dan sekitarnya, khususnya perairan Selat Lembeh.

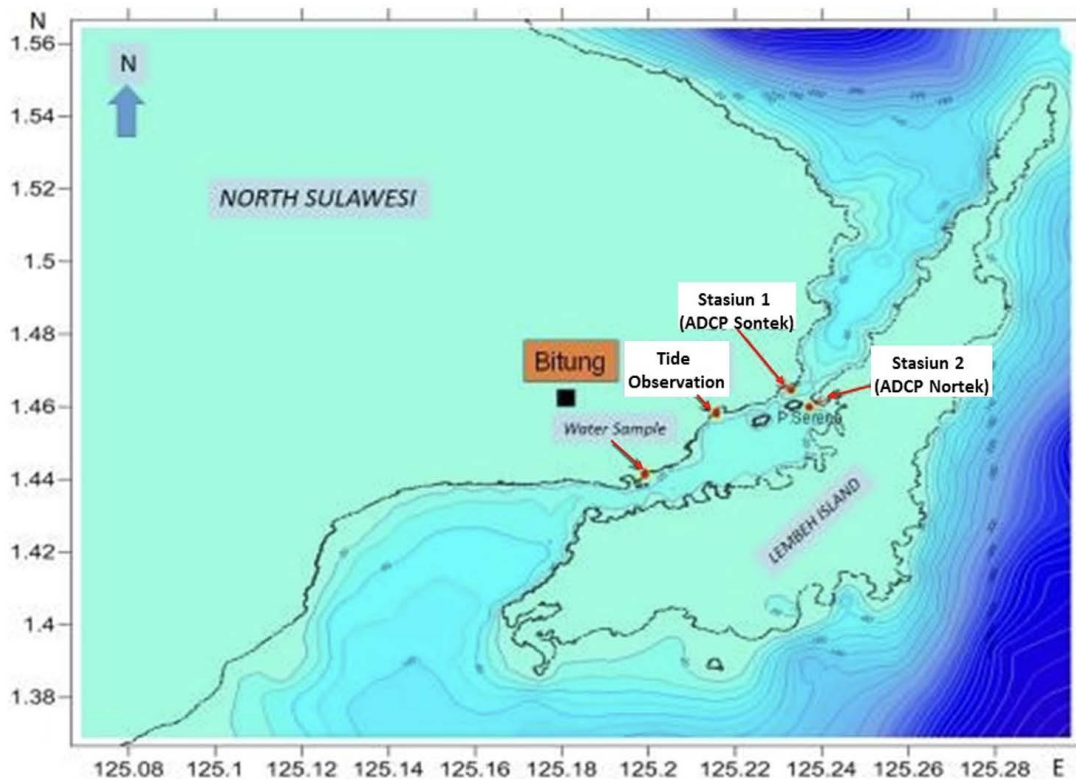
METODE

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa unit peralatan dan menerapkan beberapa metode survei geofisika dan oseanografi. Pengambilan data kedalaman laut dilakukan dengan menggunakan alat gema suara (*echo sounder*) sepanjang lintasan kapal. Metode lain yaitu *side scan sonar* untuk mendeteksi obyek yang berada di permukaan dasar laut pada beberapa lokasi yang dianggap cukup representatif. Pengukuran elevasi pasang surut untuk mengetahui tipe pasang surut menggunakan palm rambu pasang surut yang diamati secara berkala setiap 30 menit. Data pasang surut ini juga digunakan untuk koreksi terhadap data pengukuran kedalaman laut. Sementara pengukuran arus laut dilakukan dengan menggunakan metode pengukuran statis dan bergerak (*mobile*). Pengukuran dengan alat *current meter* statis dilakukan pada dua lokasi dengan menggunakan alat *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) Nortek dan Sontek. Peralatan ADCP Sontek ditempatkan di Stasiun 1 pada kedalaman 14 m dengan posisikoordinat 125° 14' 8.09" BT; 1° 28' 1.59" LU, tepatnya di perairan sebelah utara P. Serena. Adapun peralatan ADCP Nortek ditempatkan di Stasiun 2 pada kedalaman 28 m, dengan posisi koordinat 125° 14' 03.4" BT; 1° 27' 30" LU, tepatnya diantara P. Serena dan daratan Pulau Lembeh (Gambar 2).

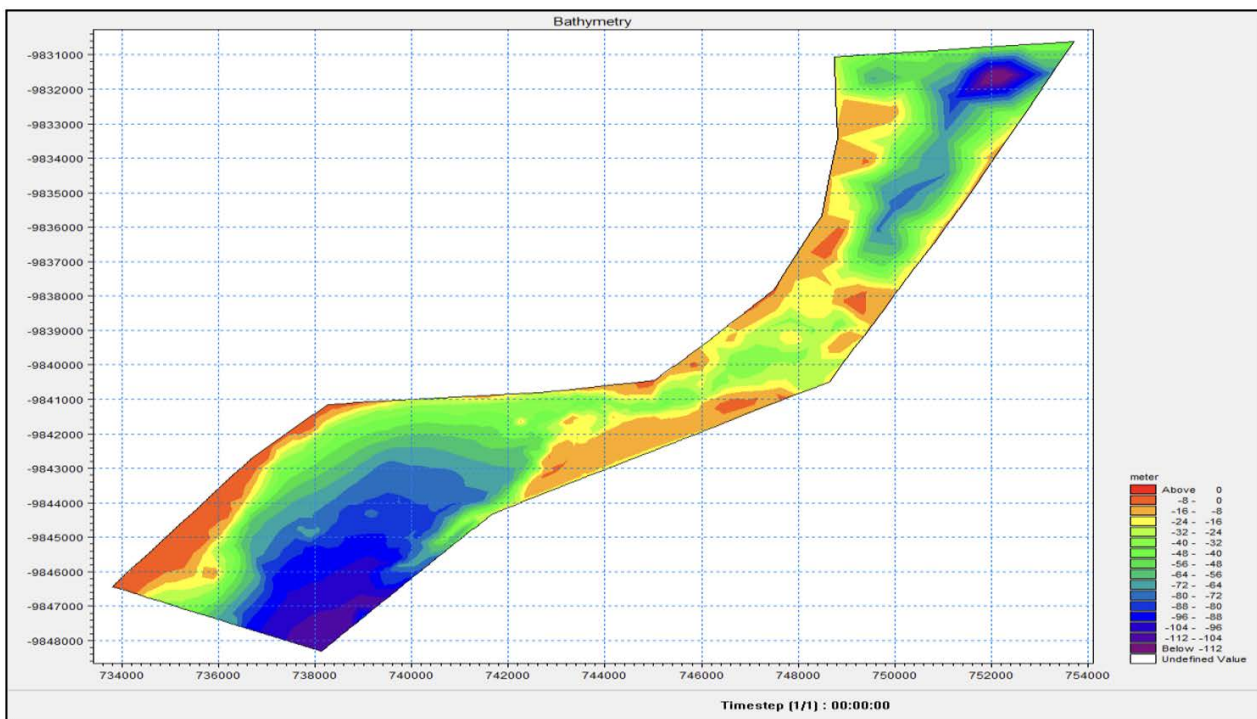
Kedua sistem peralatan tersebut merekam data arus dengan interval waktu 15 menit dengan lama waktu pengukuran masing-masing selama 21 hari. Data yang diperoleh adalah data distribusi vertikal kecepatan dan arah arus insitu. Pada pengukuran ini setiap kolom air diset dengan interval sel masing-masing 1,5 dan 1,6 m yang dilakukan bersamaan dengan pengukuran pasang surut. Selain itu juga dilakukan pengukuran arus dengan Pengukuran vessel ADCP secara *mobile* dipasang di atas kapal survei. Metoda ini dilakukan untuk mengetahui distribusi kecepatan arus laut pada kedalaman tertentu. Lintasan pengukuran dalam penelitian ini berpola tegak lurus memotong Selat Lembeh. Survei vessel ADCP secara *mobile* dilakukan pada tiga koridor, yaitu dua koridor disekitar ADCP statis pada Stasiun 1 dan Stasiun 2 dan 1 koridor berada di bagian selatan Selat Lembeh.

HASIL PENELITIAN

Hasil pemeruman menunjukkan bahwa pada umumnya lokasi penelitian memiliki morfologi lereng pantai yang relatif curam. Kontur di bagian utara Pulau Serena mempunyai kedalaman laut yang sangat dalam dan curam, yaitu di atas 100 m. Berdasarkan kontur dapat dilihat bahwa di bagian utara Pulau Serena mempunyai kedalaman laut yang sangat dalam dan curam yaitu di atas 100 m. Hasil progredasi peta batimetri ditampilkan di Gambar 3.



Gambar 2. Peta lokasi penempatan ADCP Sontek dan Nortek serta lokasi pasut dan pengambilan sampel air

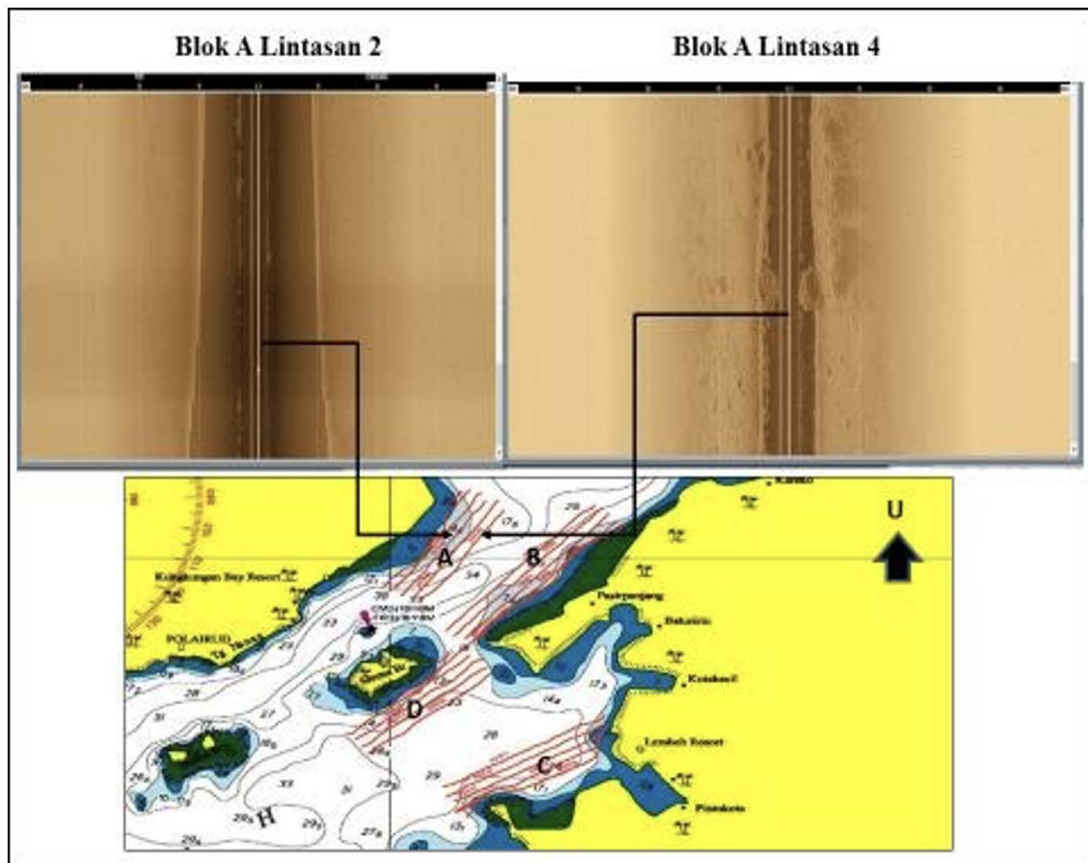


Gambar 3. Progradasi peta batimetri perairan Selat Lembeh

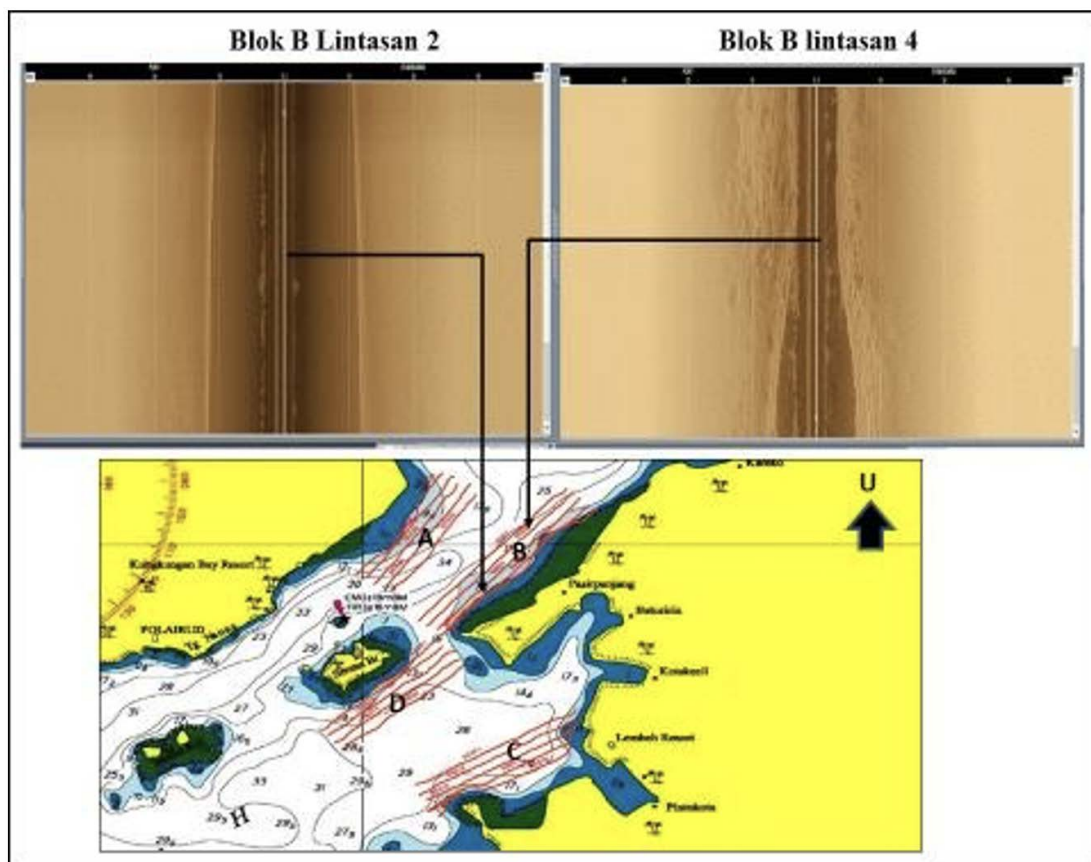
Pada jarak kurang lebih 50 m ke arah lepas pantai banyak ditumbuhi terumbu karang mengitari hampir di sepanjang daerah penelitian. Di bagian tenggara Bitung, permukaan dasar lautnya relatif berundulasi terutama mendekati Pulau Lembeh. Pola kontur batimetri di bagian timur dan timur laut relatif rapat yang mencerminkan morfologi dasar laut yang curam. Pengambilan data *sidescan sonar* hanya dilakukan pada

lokasi yang dangkal yaitu pada kedalaman laut antara 5-25 m yang berlokasi di Selat Lembeh dengan arah lintasan hampir sejajar dengan garis pantai.

Hasil pengukuran insitu menggunakan ADCP *mobile* memperlihatkan bahwa penampang melintang distribusi kecepatan arus baik secara vertikal maupun horizontal saat kondisi surut, ditunjukkan dalam gambar di bawah ini (Gambar 6). Secara vertikal kecepatan arus



Gambar 4. Rona awal permukaan dasar laut dari hasil *sidescan sonar* pada lintasan 2 dan 4 koridor A memperlihatkan terumbu karang pada lintasan 4.



Gambar 5. Rona awal permukaan dasar laut dari hasil *sidescan sonar* pada lintasan 2 dan 4 koridor B.

berbeda antara arus permukaan, menengah, dan bawah, sedangkan secara horizontal kecepatan arus berbeda antara satu tempat dengan tempat lainnya. Kecepatan arus maksimum di permukaan sampai menengah berkisar antara 1,34 m/det – 2,26 m/det, sedangkan kecepatan arus di bagian bawah 1,3 m/det – 1,7 m/det. Sedangkan kecepatan arus minimum di permukaan sampai menengah berkisar antara 0,15 m/det – 0,35 m/det, sedangkan kecepatan arus minimum di bagian bawahnya berkisar 0,2 m/det – 0,4 m/det.

Besarnya daya listrik bergantung pada densitas fluida, luas penampang aliran, dan kecepatan alirannya. Fraenkel (2002) menjelaskan bahwa kecepatan yang didapat dari aliran air akan berpengaruh terhadap rapat daya yang diperoleh. Untuk mendapatkan rapat daya dari hasil pengukuran di Selat Lembeh tersebut maka parameter hasil pengukuran tersebut disubstitusikan ke dalam persamaan yang diformulasikan oleh Fraenkel (2002) sebagai berikut:

$$P = \frac{1}{2} \rho AV^3$$

dengan:

P = rapat daya listrik yang dihasilkan (kW)

ρ = densitas air laut (gt/cm^3)

A = luas bidang turbin untuk menangkap debit aliran air (m^2)

V = kecepatan aliran arus (m/detik)

Energi yang dihasilkan dari pergerakan arus sangat tergantung pada kecepatan arus itu sendiri. Menurut Fraenkel (2002) pada suatu lokasi dimana kecepatan arus mencapai 2 – 3 m/detik, rapat daya yang dihasilkan akan maksimal. Untuk pengembangan energi arus laut, jika kecepatan arus mencapai 2 m/det, akan menghasilkan rapat daya sebesar kurang lebih 4,1 kW/m². Jika terjadi peningkatan kecepatan arus sebesar 3 m/detik, akan menghasilkan rapat daya maksimal sebesar 13,9 kW/m².

Hasil pengukuran arus disajikan dalam Tabel 2. Kecepatan arus yang terekam oleh ADCP berkisar antara 0,1 cm/det – 200,2 cm/det. Adapun sebaran pola arus hasil perekaman ADCP dapat dilihat dalam diagram bunga arus (*currentrose*). Dominasi arah di setiap

Tabel 1. Data Kecepatan Arus Pada Stasiun 1 (ADCP Sontek) Di Perairan Selat Lembeh Bitung

Layer Perekaman Data ADCP	Kedalaman	Kecepatan Max	Kecepatan Min	Kecepatan Rata-rata
(Cell)	(m)	(m/det)	(m/det)	(m/det)
Cell 1	17	1,412	0,0003	0,53
Cell 3	13,8	1,761	0,0012	0,65
Cell 5	10,6	1,975	0,0008	0,74
Cell 6	9	2,002	0,0006	0,76
Cell 8	5,8	1,93	0,0024	0,68
Cell 10	2,6	2,001	0,00001	0,77

kedalaman perairan dapat dilihat dengan bantuan *current rose* berdasarkan tingkat volume datanya. Input data yang dibutuhkan untuk diagram *current rose* adalah kecepatan dan arah arus. Pola arus tersebut dapat dilihat dalam diagram *current rose* di bawah ini (Gambar 6).

Konversi data arus hasil pengukuran pada Stasiun 1 menjadi rapat daya disajikan dalam Tabel 2. Rapat daya didapat dari penjumlahan data rapat daya setiap perekaman dikalikan selama waktu pengukuran. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan arus pada Stasiun 1 berkisar antara 0,00001 m/detik sampai dengan 2,002 m/detik, sedangkan Rapat Dayanya rata-rata sebesar 4,416 kW/m². Konversi data arus hasil pengukuran pada Stasiun 2 menjadi Rapat Daya disajikan dalam tabel dan gambar di bawah ini (Tabel 3).

Tabel 2. Data Potensi Rapat Daya Rata-Rata Stasiun 1 (ADCP Sontek) di Perairan Selat Lembeh Bitung Sulawesi Utara

Kedalaman	Rapat Daya
Meter	Watt/m ²
Cell 1 - 17 m	1957,472
Cell 3 - 13,8 m	3763,872
Cell 5 - 10,6 m	5418,576
Cell 6 - 9 m	5801,599
Cell 8 - 5,8 m	3833,564
Cell 10 - 2,6 m	5724,446

Tabel 3. Data Kecepatan Arus Pada Stasiun 2 ADCP Nortekdi Perairan Selat Lembeh Bitung

Layer Perekaman Data ADCP	Kedalaman	Kecepatan Max	Kecepatan Min	Kecepatan Rata-rata
(Cell)	(m)	(m/det)	(m/det)	(m/det)
Cell 1	31,09	0,00675	0,00002	0,00163
Cell 3	28,08	0,00102	0,00006	0,00271
Cell 5	17,55	0,00829	0,00005	0,00176
Cell 6	13,04	0,00866	0,00001	0,00163
Cell 8	8,53	0,00561	0,00002	0,00158
Cell 10	2,51	0,02167	0,00002	0,00138

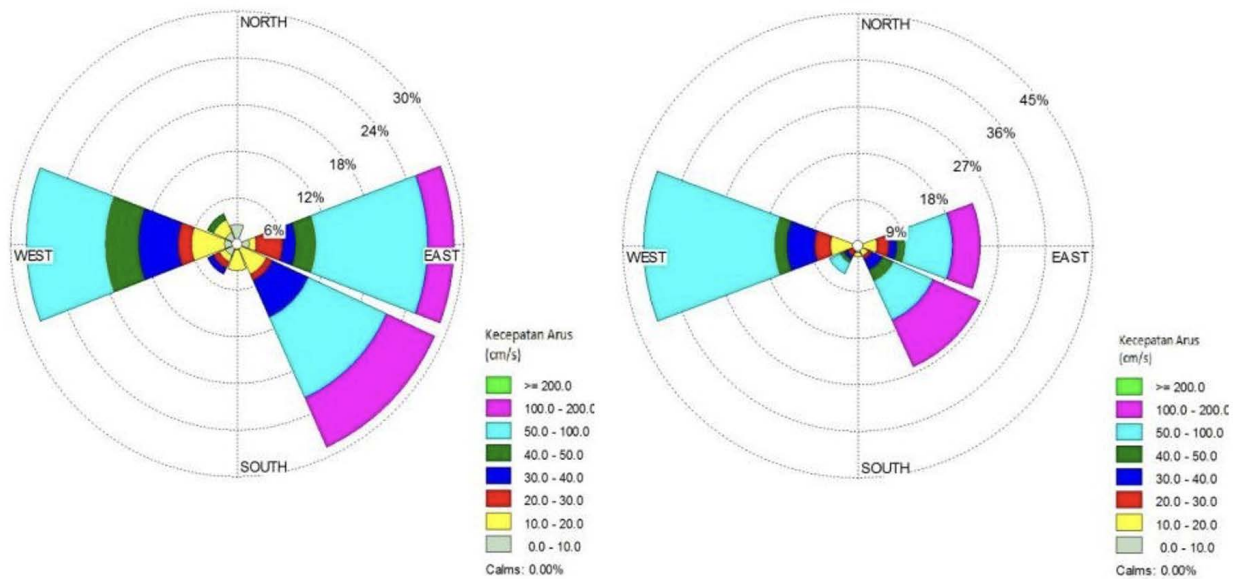
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan arus pada Stasiun 2 berkisar antara 0,00001 - 0,02 m/det, sedangkan rapat dayanya rata-rata sebesar 0,131 kW/m². Diagram arah arus pada Stasiun 2 ADCP Nortek (Gambar 9).

Untuk mengetahui sebaran kecepatan arus di beberapa lokasi, dilakukan model verifikasi kecepatan arus pada saat periode *spring tide* pada Stasiun 1 (Gambar 10).

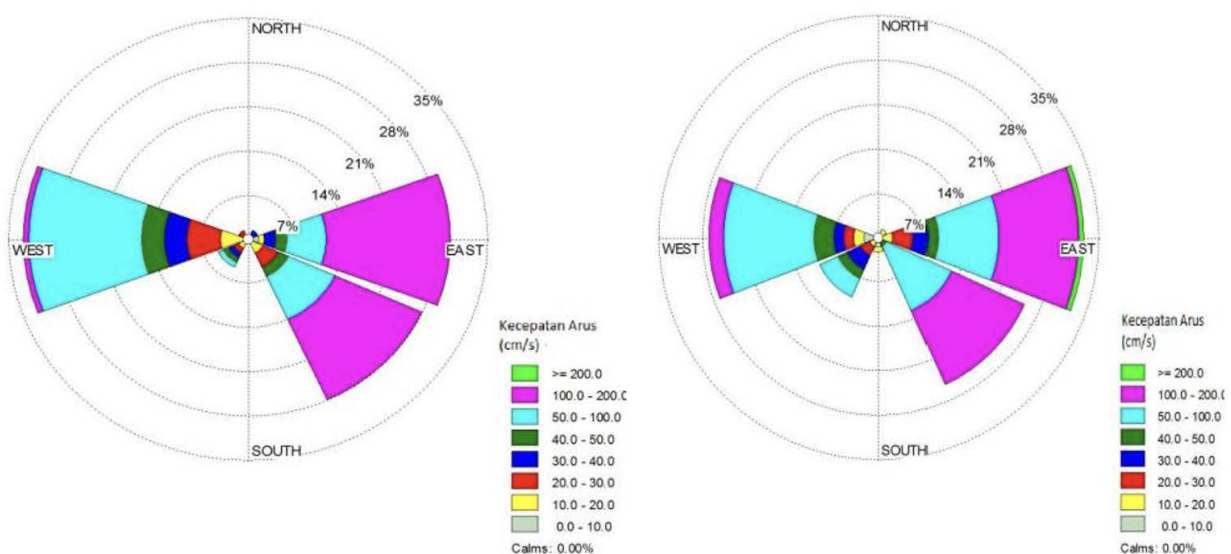
Di samping itu juga dilakukan perbandingan antara kecepatan arus pasang surut hasil simulasi dengan kecepatan arus total hasil pengukuran pada Stasiun 2.

Tabel 4. Data Potensi Rapat Daya Stasiun 2 ADCP Nortek Perairan Selat Lembeh Bitung Sulawesi Utara

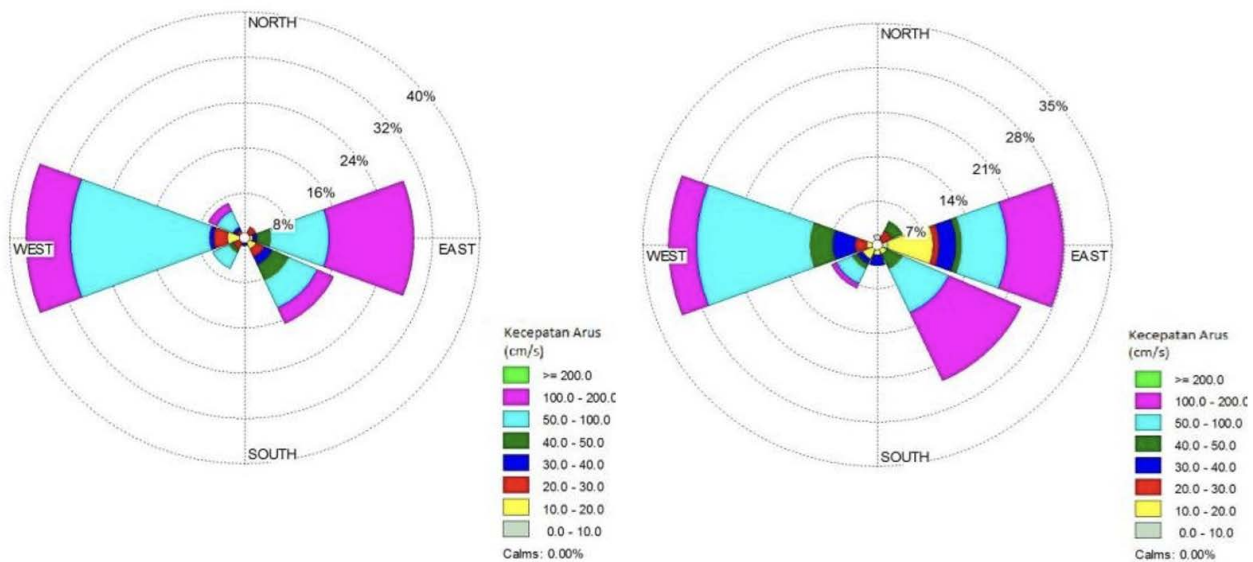
Kedalaman	Rapat Daya
Meter	Watt/m ²
Cell 1 – 31.09 m	96,05
Cell 3 – 28.08 m	353,08
Cell 5 – 17.55 m	101,36
Cell 6 – 13.04 m	79,78
Cell 8 – 8.53 m	67,35
Cell 10 - 2.51 m	92,38



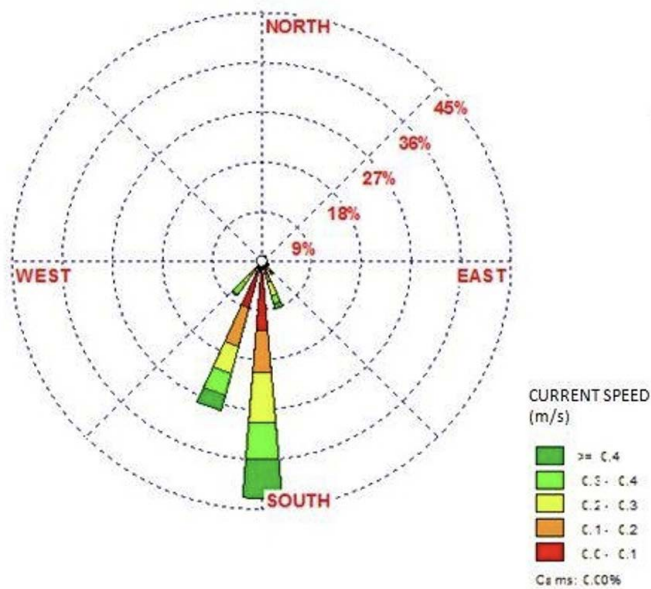
Gambar 6. Currentrose Stasiun 1 pada cell 1 kedalaman 17 m dan pada cell 3 kedalaman 13,8 m.



Gambar 7. Currentrose Stasiun 1 pada cell 5 kedalaman 10,6 m dan pada cell 6 kedalaman 9 m.



Gambar 8. Currentrose Stasiun 1 pada cell 8 kedalaman 5,8 m dan pada cell 10 kedalaman 2,6 m.



Gambar 9. Diagram arah arus pada Stasiun 2 ADCP Nortek.

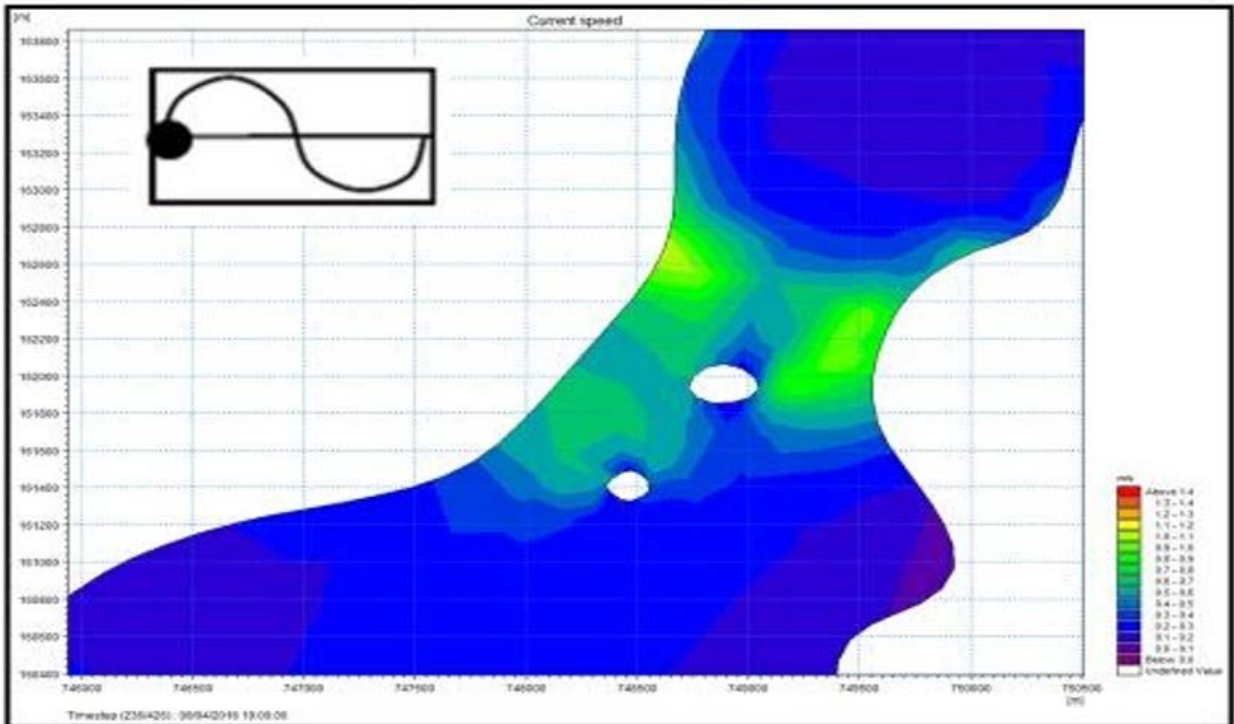
Berdasarkan pemodelan, verifikasi dan perbandingan kecepatan arus pasang surut tersebut menunjukkan bahwa kecepatan arus di Selat Lembeh bertambah pada saat menuju pasang dan menuju surut. Secara horizontal memperlihatkan distribusi kecepatan arus di daerah penelitian tidak merata. Hasil pengukuran kecepatan arus pada Stasiun 1 berkisar antara 0,00001 - 2,002 m/det, yang menghasilkan rapat daya rata-rata sebesar 4,416 kW/m². Sedangkan pada Stasiun 2 kecepatan arus berkisar antara 0,00001 - 0,02 m/det, yang menghasilkan rapat daya rata-rata sebesar 0,131 kW/m². Berdasarkan formulasi Fraenkel (2002), energi yang dihasilkan dari pergerakan arus sangat tergantung pada kecepatan arus itu sendiri. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan arus pada Stasiun 1 lebih besar daripada di Stasiun 2. Durasi lamanya kecepatan arus 2 m/detik rata-rata adalah 1,5 - 2 jam, sesuai dengan

lamanya arus menjelang pasang dan menuju surut. Sementara pada saat pasang maksimum dan surut maksimum kecepatan arus relatif nol (*slack water*). Oleh sebab itu secara teknis lokasi ini direkomendasikan untuk lokasi PLTAL skala kecil. Hal ini didukung oleh jarak ke darat lebih dekat sehingga instalasi kabel bawah laut dapat terkoneksi dengan jaringan listrik di darat baik ke Bitung maupun ke daratan Pulau Lembeh. Pemasangan instalasi kabel bawah laut sangat mahal dan memerlukan studi khusus (EMEC, 2013).

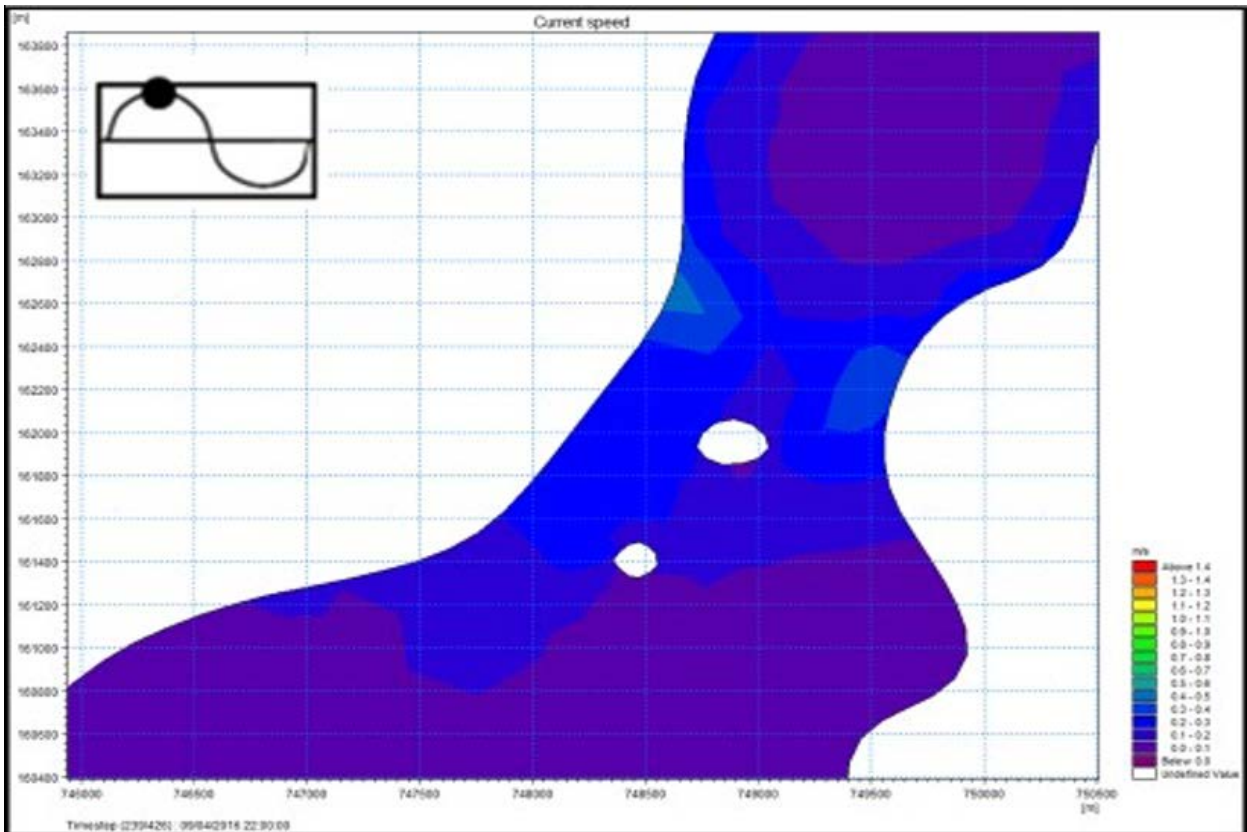
Dinamika arus *insitu* akan terkait secara langsung dengan kondisi pasang surutnya (Zhou Z., 2014). Oleh karena tipe pasang surut di wilayah perairan Selat Lembeh termasuk tipe semidiurnal (dua kali pasang dan dua kali surut) dalam waktu 24 jam maka kecepatan arusnya mengikuti pola fluktuasi pasang dan surutnya. Pada saat kondisi air pasang dan surut arah arus pada Stasiun 1 dominan mengalir ke arah timur mencapai 70% dari total arah arus. Sedangkan pada Stasiun 2 arah arus dominan mengalir ke arah tenggara - selatan mencapai 80% dari total arah arus. Perubahan arah arus hanya terjadi pada saat kedudukan air surut minimum menuju pasang.

Distribusi arah dan kecepatan arus secara vertikal menunjukkan bahwa arah dan kecepatan arus pada setiap kedalaman kolom air relatif tidak seragam. Kecepatan arus yang tidak seragam terutama pada kedalaman kolom air yang berada dekat dengan permukaan air (kedalaman kolom air 2 m) dan kedalaman kolom air yang berada dekat dengan dasar laut (kedalaman kolom air 16 m), seperti ditunjukkan dalam Tabel 1 dan 3. Sementara untuk kedalaman kolom air yang berada di lapisan pada kedalaman kolom air 10 m, 13,8 m, dan 17 m, kecepatan arusnya relatif seragam (Tabel 1). Kecepatan arus pada kedalaman kolom air 2 m cenderung lebih kuat dibandingkan dengan kedalaman kolom air lainnya,

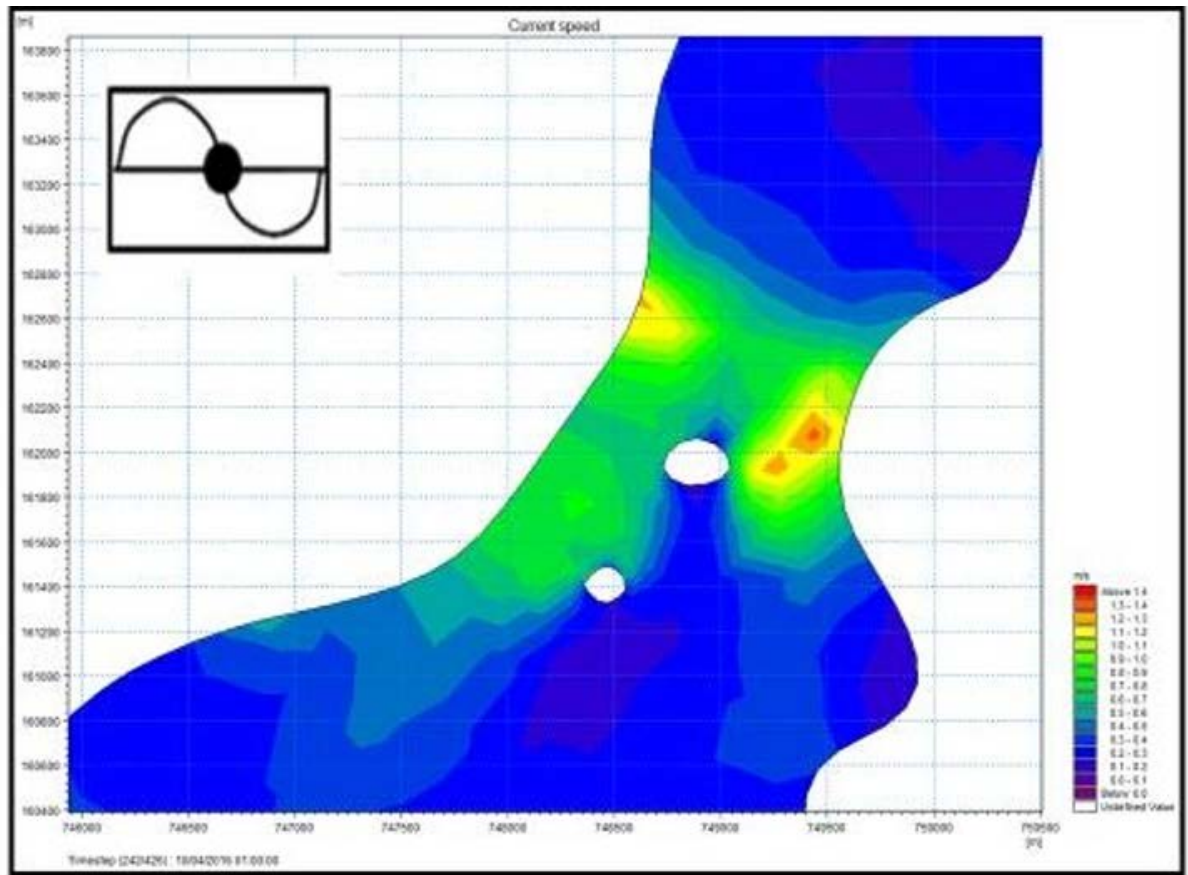
SAAT SPRING



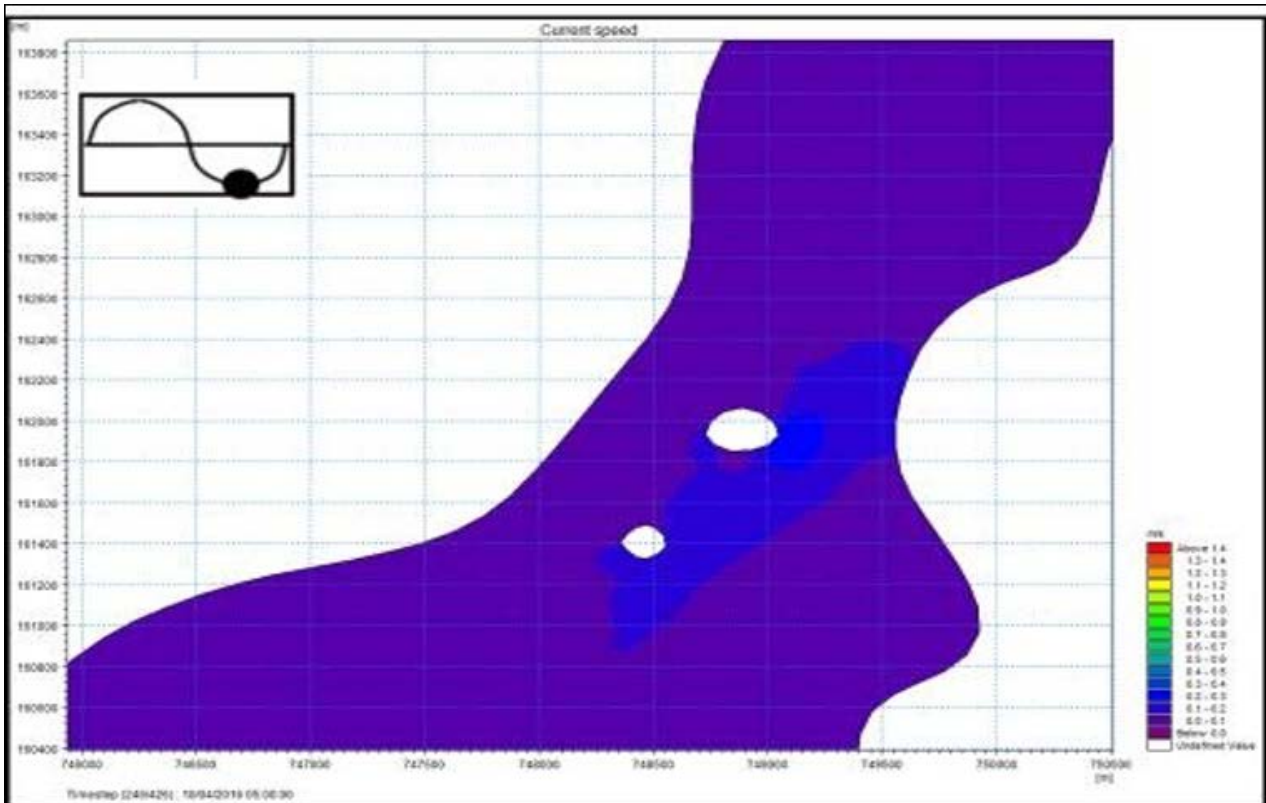
Gambar 10. Model arus pada saat menuju pasang.



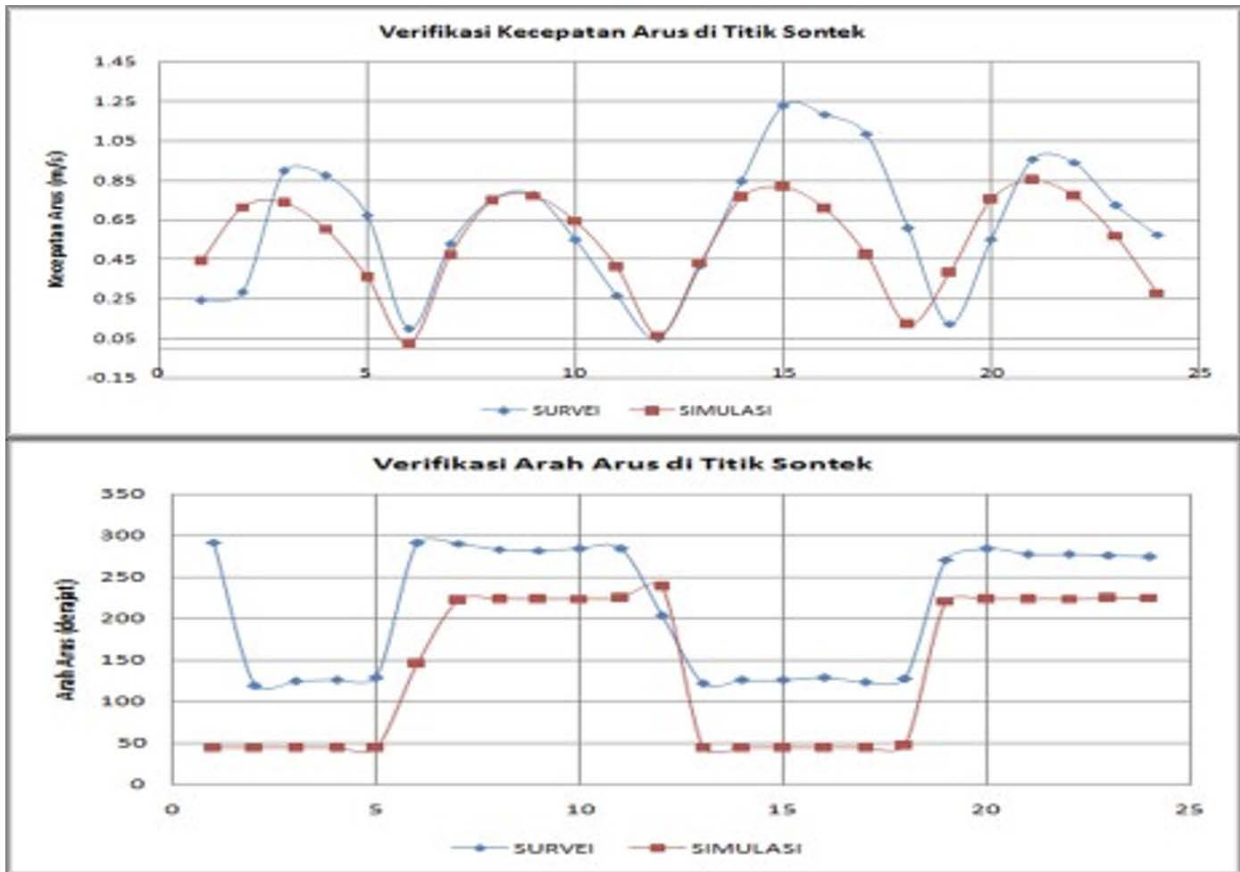
Gambar 11. Model arus pada saat pasang maksimum.



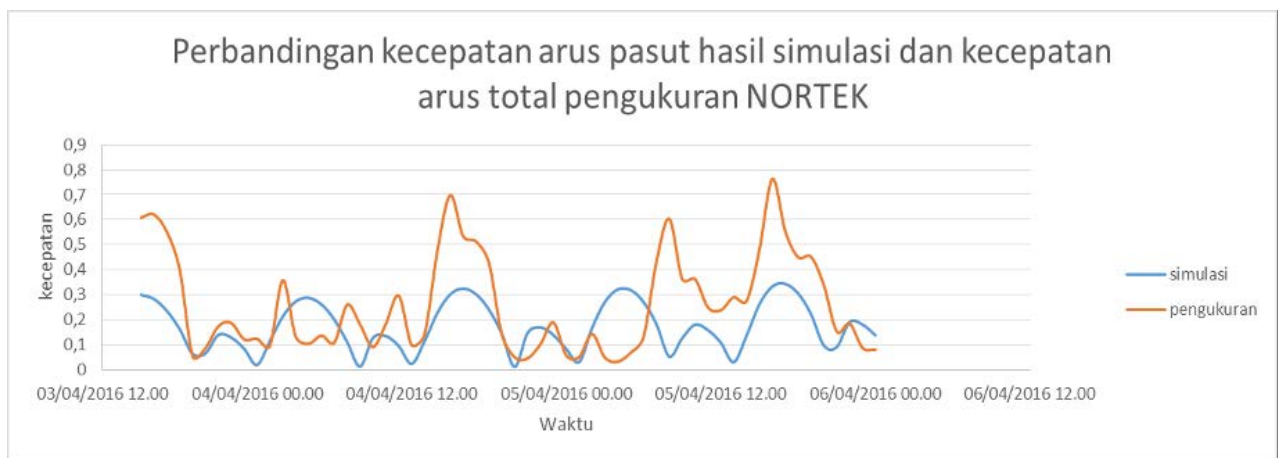
Gambar 12. Model arus pada saat menuju surut.



Gambar 13. Model arus pada saat surut maksimum



Gambar 14. Verifikasi kecepatan dan arah arus pada Stasiun 1.



Gambar 15. Perbandingan antara pengukuran dan simulasi pada Stasiun 2.

terutama pada saat air surut sampai surut minimum. Pada kedalaman kolom air 17 m pengaruh dasar laut terjadi penurunan kecepatan arus yang cukup signifikan dibandingkan dengan kolom air di atasnya. Adapun hasil analisis tipe pasang diperoleh bilangan Formzal $F = 0,47$ yang berada pada range $0,25 < F < 1,25$ yang berarti perairan Selat Lembeh mempunyai tipe pasang surut campuran condong ke harian ganda atau termasuk ke dalam tipe semi diurnal, yaitu dua kali pasang dan dua kali surut dalam waktu 24 jam.

Kecepatan arus terkecil terjadi saat terjadi perubahan arah arus, yaitu pada saat kondisi air surut minimum menuju pasang dengan kecepatan arus adalah 0.0 m/det.

Data tipe pasang surut dan kecepatan arus ini dapat dijadikan referensi untuk model turbin sumbu vertikal skala kecil (2 kW) BPPT. Agar turbin dapat beroperasi dengan durasi yang lebih lama, maka sebaiknya turbin ditempatkan pada kedalaman 17 m – 20 di lokasi Stasiun 1.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis profil kecepatan arus secara vertikal untuk setiap kedalaman kolom air dan bentuk profil kedalaman laut, maka lokasi yang memungkinkan untuk penempatan turbin PLTAL skala

kecil (2 kW) BPPT adalah di lokasi Stasiun 1. Lokasi ini bukan jalur pelayaran, bukan daerah penangkapan ikan, jarak terhadap pantai Pulau Lembeh sekitar 500 m, sedangkan jarak terhadap daratan Kota Bitung sekitar 100 m. Morfologi dasar laut pada kedalaman 20 m relatif datar, dan lokasinya terlindung dari pengaruh gelombang langsung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Hedi Hidayat, M.Si (Kepala Puslitbang Geologi Kelautan) dan rekan-rekan satu tim, atas bantuan dan kerjasamanya dalam penelitian di Selat Lembeh Sulawesi Utara.

DAFTAR ACUAN

- EMEC, 2013, *Pfow enabling actions project subsea cable lifecycle study*, The European Marine Energy Centre Ltd.
- Marta, D. Rahuna, 2011, *Vertical axis marine current turbine development in Indonesia*, Hydrodynamic Laboratory – Surabaya for Tidal PowerPlant, BPPT, Surabaya.
- Fajar, Purwanto, Indrayanti, 2014, Kajian potensi arus laut sebagai energi alternatif pembangkit listrik di perairan sekitar Jembatan Suramadu Selat Madura, *Jurnal Oseanografi*, Vol. 3, No. 3, Undip, Semarang.
- Firdaus, Kusumastanto, Nurjaya, 2014, Analisis kelayakan teknis dan finansial pengembangan energi arus laut di Selat Madura, *Jurnal Aplikasi Manajemen*, Vol. 12, No. 3, IPB, Bogor.
- Fraenkel P.L., 2002. Power from marine currents. *Proc Instn Mech Engrs* Vol 216 Part A: J Power and Energy. pp: 1-14.
- Ilahude, D., Raharjo, P., Yuningsih, A., Yosi, M., Suherman, I., 2016, *Laporan penelitian potensi energi arus laut di perairan Selat Lembeh, Sulawesi Utara*, PPPGL, Bandung.
- Sornes K., 2010, *Small scale water current turbines for river applications*, ZeroEmission Resource Organisation, Oslo.
- Thake J., 2005, *Development installation and testing of a large scale tidal current turbine*, IT Power, pp. 19-26, 33-43.
- Zhou Zhibin, 2014, *Modeling and power control of a marine current turbine system with energy storage devices*, Thesis, Universite de Bretagne Occidentale, French.
- Kompas, edisi 30 Maret 2013, Turbin arus laut di pasang di Suramadu