

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

DETERMINATION OF SMALL SCALE TURBINE LOCATION, MARINE CURRENT POWER PLANT, AT LIRUNG STRAIT, TALAUD, NORTH SULAWESI

Beben Rachmat dan Delyuzar Ilahude

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Junjuran 236, Bandung

Diterima : 29-07-2015, Disetujui : 03-11-2015

ABSTRAK

Selat Lirung adalah selat yang terletak antara Pulau Salibabu dan Pulau Karakelong, Kepulauan Talaud. 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 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, *Sea Bottom Profiling* (SBP), arus bergerak, arus insitu, pasang surut, dan meteorologi. Data tersebut direpresentasikan dalam data kecepatan arus laut, morfologi dasar laut, kedalaman laut, durasi waktu kecepatan arus kuat, jarak terhadap garis pantai, dan pengaruh gelombang laut. Berdasarkan hasil analisis data tersebut diperoleh 2 (dua) lokasi yang paling representatif. Lokasi pertama di alur antara P. Sara Besar dengan Sara Kecil pada kedalaman laut sekitar 25 m dengan kecepatan arus maksimum sebesar 1.0 m/det – 1.75 m/det. Sedangkan lokasi kedua di alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu pada kedalaman laut antara 25 m – 35 m dengan kecepatan arus maksimum sebesar 1.0 m/det – 1.3 m/det.

Kata kunci: Tenaga arus laut, turbin, kecepatan arus, morfologi dasar laut, kedalaman laut

ABSTRACT

The Lirung Strait is a strait located between the Salibabu Island and Karakelong Island, Talaud. Energy potential of marine current research has been done in this location, to examine the possibility of the development of Marine Current Power Plant (MCP) small scale (2 kW). One of the stages in the implementation of MCP small scale is determining the location of the turbines placement. Some technical criteria required to be met at this stage. For the purpose of initial studies to perform data analysis depth of the sea, Sea Bottom Profiling (SBP), the current is moving, insitu currents, tides, and meteorology. That data are represented within the sea current speed, the morphology of the seabed, ocean depth, duration of strong current speed, distance to the coastline, and the influence of waves. Based on the results of the analysis of the data obtained two (2) most representative locations. The first location is in the groove between the Sara Besar Island with Sara Kecil Island at the depths between 25 m with the maximum current speed of 1.0 m/s – 1.75 m/s. The second location is in the groove between the Sara Besar Island with Salibabu Island at the depths between 25 m - 35 m with the maximum current speed of 1.0 m/s – 1.3 m/s.

Keywords: Power of marine currents, turbines, current speed, seabed morphology, ocean depths

PENDAHULUAN

Perairan Selat Lirung secara administratif termasuk kedalam wilayah Kabupaten Kepulauan Talaud, Provinsi Sulawesi Utara. Perairan ini terletak diantara Pulau Karakelong dan Pulau Salibabu, berada pada posisi koordinat 126° 38' 00" – 126° 44' 00" BT; 4° 00' 00" – 03° 55' 00" LU

(Gambar 1). Potensi arus laut di wilayah ini diperkirakan cukup potensial untuk mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL) skala kecil (2 kW). Hal ini disebabkan secara geografis di wilayah ini memungkinkan untuk terjadinya arus kuat. Wyrcki, 1961 menyatakan adanya perbedaan



Gambar 1. Lokasi perairan Selat Lirung, Talau, Sulawesi Utara

ketinggian muka laut antara Samudera Pasifik dan Samudera Indonesia menyebabkan terjadinya aliran massa air yang sangat besar dari Samudera Pasifik ke Samudera Indonesia. Perbedaan ketinggian muka laut ini salah satunya disebabkan oleh pengaruh konstanta pasang surut K1 (konstanta pasang surut yang diakibatkan oleh kecondongan orbit bulan saat mengelilingi bumi) yang dominan di Samudera Pasifik dengan periode lebih kurang 24 jam (Egbert dan Ray, 2001). Aliran massa air ini melewati perairan Talau, Laut Sulawesi, Selat Makasar, Laut Maluku, Laut Banda, Laut Flores, Laut Timor dan terus ke selatan hingga ke Samudera Indonesia (Van Bennekom, 1988). Berdasarkan data dari proyek *International Nusantara Stratification and Transport* (INSTANT), volume aliran massa air ini mencapai 11 Sverdrup (1 Sv = 1 juta m³/detik)(Gordon, 2007).

Adanya aliran massa air dari perairan luas melalui perairan sempit akan mempengaruhi kondisi arus laut di perairan tersebut. Pengaruh arus global (arus non pasang surut) di perairan Selat Lirung dapat dilihat dari data hasil pengukuran yang menunjukkan adanya arah arus dominan yang berarah tenggara – selatan mencapai 80% dari arah arus total (Rachmat dkk., 2014). Arus ini bersinergi dengan pengaruh pasang surut membawa konsekuensi terjadinya arus yang cukup kuat saat arah arus pasut dan non pasut bergerak searah (Erwandi, dkk., 2011). Kondisi ini didukung pula oleh kondisi geometri dasar laut dari perairan Selat Lirung yang relatif sempit dan dalam. Kedalaman laut di sekitar Selat Lirung

berdasarkan data dari peta kedalaman laut (Dishidros, 2010) berkisar antara 10 m – 500 m. Di bagian dalam selat kedalaman laut berkisar antara kedalaman 10 m – 70 m dengan bentuk penampang morfologi dasar laut cukup bervariasi. Sedangkan kedalaman laut di luar selat naik secara drastis hingga mencapai 500 m baik di bagian tenggara maupun bagian barat laut Selat Lirung. Kondisi ini menyebabkan adanya perubahan kemiringan morfologi dasar laut yang cukup besar antara morfologi di dalam selat dengan di luar selat. Perubahan kemiringan morfologi dasar laut (*hydraulic jump*) yang cukup besar dan adanya penyempitan penampang selat (*morphological effect*) akan mempercepat aliran massa air (Jones O. P., dkk., 2006) saat masuk dan keluar selat. Panjang selat dari barat laut sampai tenggara berkisar antara 18 – 20 km. Di bagian barat laut lebar selat (sekitar 3 – 5 km) lebih sempit dibandingkan dengan lebar selat di bagian tenggara (sekitar 7 – 9 km).

Saat ini teknologi turbin pembangkit listrik dari energi arus laut telah berkembang cukup pesat di dunia, terutama di negara-negara eropa barat. Secara umum struktur PLTAL dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) jenis struktur (Snodin, 2001), yaitu *gravity base*, pancang dan terapung. Pemilihan jenis struktur akan tergantung pada kapasitas turbin yang akan dibangun, kondisi arus laut, kedalaman laut, gelombang laut, morfologi dasar laut dan kondisi lingkungan sekitar lokasi penempatan turbin. Menurut Coiro, 2007, biaya instalasi per-kilowatt-nya jenis struktur terapung dengan turbin sumbu

vertikal lebih rendah dibandingkan jenis struktur pancang atau *gravity base* dengan turbin sumbu horisontal.

Maksud dari penulisan ini adalah untuk mengkaji lokasi penempatan PLTAL model sumbu vertikal di Selat Lirung. 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 Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Turbin ini mempunyai kapasitas 2 kW dengan *cut in speed* sekitar 0.5 m/det dan telah diuji coba di Selat Madura. Hasil ujicoba 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; Fajar, dkk., 2014; Kompas edisi 30 Maret 2013). Jika dilihat dari harga kisaran kecepatan arus, kecepatan arus di Selat Madura relatif sama dengan kecepatan arus di Selat Lirung. Kecepatan arus rata-rata di Selat Lirung sebesar 0.434 m/det dan kecepatan arus maksimum sebesar 1.75 m/det (Rachmat dkk, 2014), sehingga model turbin ini cocok dikembangkan di lokasi ini.

Untuk menentukan lokasi penempatan turbin PLTAL skala 2 kW beberapa kriteria teknis harus di penuhi. Beberapa kriteria teknis tersebut diantaranya 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 m – 50 m) dan morfologi dasar lautnya relatif rata dan landai, bukan daerah penangkapan ikan, terlindung dari pengaruh gelombang secara langsung, tidak terlalu jauh dari pantai (kurang dari 1 km), dekat dengan jaringan listrik dan pemukiman (Sornes, 2010; Thake 2005).

METODE

Beberapa metode survei yang digunakan dalam penentuan lokasi penempatan PLTAL skala kecil di perairan Selat Lirung, diantaranya adalah penentuan posisi dengan menggunakan *Differential Global Positioning System (DGPS) C-Nav*, pengukuran arus secara insitu (stasioner) dengan menggunakan *Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) Sontek Agronout 75 kHz* dan *Nortek*, pengukuran arus secara bergerak (*mobile*) dengan menggunakan *ADCP Work Horse Monitor 300 kHz*, pengukuran pasang surut dengan menggunakan peralatan rambu ukur pasang surut, pengukuran *Sea Bottom Profiling (SBP)* dengan menggunakan

peralatan *Stratabox*, dan pengukuran kedalaman laut dengan menggunakan peralatan *Echosounder Reson 210*.

Data hasil pengukuran dengan menggunakan metode survei tersebut di atas berupa data kedalaman laut, distribusi vertikal kecepatan arus insitu di dua titik pengukuran, penampang vertikal kecepatan arus melintang selat, pasang surut, penampang morfologi dasar laut dan kondisi sedimen/batuan bawah dasar laut. Data tersebut selanjutnya diolah dan ditampilkan dalam bentuk profil kedalaman laut perairan Selat Lirung, profil kecepatan arus secara vertikal untuk setiap kedalaman kolom air, grafik durasi waktu kecepatan arus di atas 0.5 m/det, profil kecepatan arus melintang selat, profil secara vertikal kondisi morfologi dasar laut dan kondisi sedimen/batuan bawah dasar laut melintang selat, grafik hubungan antara kecepatan arus dengan pasang surutnya. Masing-masing parameter tersebut selanjutnya dianalisis dan dikorelasikan antara satu dengan yang lainnya, sehingga diperoleh gambaran umum tentang lokasi potensial untuk penempatan turbin arus laut. Lokasi potensial yang dimaksud adalah lokasi yang mendekati kriteria teknis untuk penempatan PLTAL model sumbu vertikal skala 2 kW.

HASIL DAN PEMBAHASAN

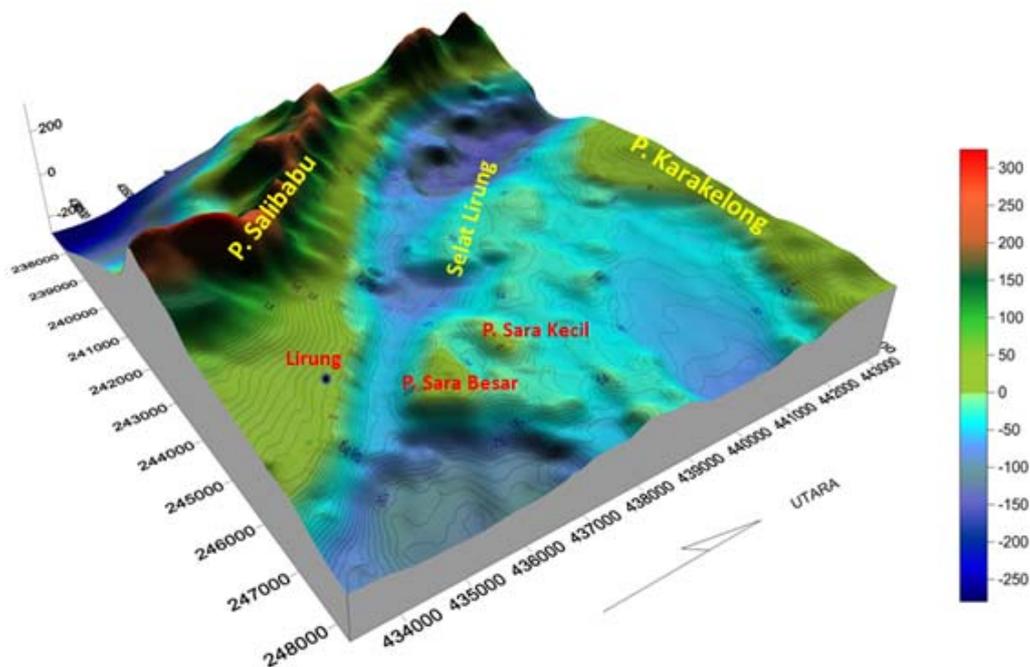
Berdasarkan data distribusi kedalaman laut dan rekaman SBP dengan arah lintasan melintang selat, bentuk morfologi dasar laut perairan Selat Lirung cukup variatif terdiri atas bentuk morfologi lembah dan bentuk morfologi tanggian bergelombang (Gambar 2). Bentuk morfologi lembah bentuknya memanjang membentuk 2 (dua) alur bawah laut, yaitu alur di bagian barat dan alur di bagian timur dari Selat Lirung. Alur di bagian barat adalah merupakan alur utama yang memanjang dari barat laut hingga tenggara, alur ini lebih dalam dan sempit dibandingkan dengan alur di bagian timur. Lebar alur utama di bagian barat laut sekitar 3.0 km – 3.5 km, di bagian tenggara alur ini terbagi menjadi 2 (dua) alur sempit, yaitu alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu dan alur antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil. Lebar alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu adalah 1.25 km dan alur antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil adalah 0.725 km (Gambar 3). Distribusi kedalaman laut di alur utama berkisar antara 50 m (di bagian tenggara/di alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu) sampai 170 m (di bagian barat laut/di alur antara P. Salibabu dengan P. Karakelong), sedangkan di alur antara P. Sara

Besar dengan P. Sara Kecil kedalamannya sekitar 25 m dengan morfologi dasar laut relatif datar.

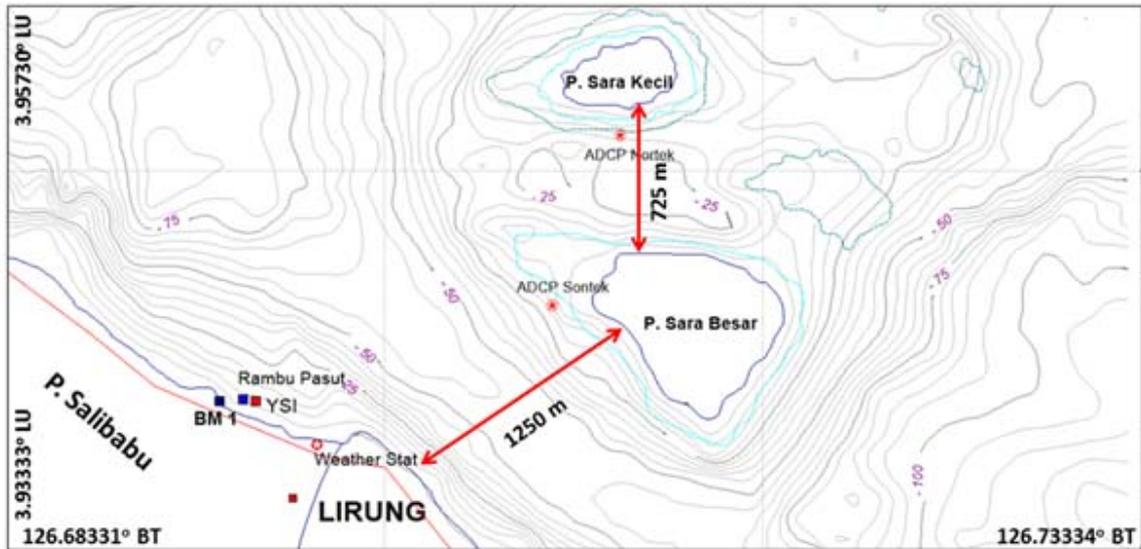
Morfologi dasar laut di alur utama mempunyai kemiringan yang relatif lebih besar dibandingkan dengan di alur bagian timur dan di alur antara P. Sara Besar dan P. Sara Kecil. Bentuk morfologi dasar laut ini tersusun oleh batuan dasar yang kompak, diperkirakan batuan ini adalah merupakan batuan gamping terumbu. Singkapan batu gamping ini terlihat jelas di sepanjang pantai sebelah barat dan timur Selat Lirung, Pulau Sara Besar dan Pulau Sara Kecil (Gambar 4 dan Gambar 5).

Adanya variasi bentuk morfologi dasar laut berpengaruh langsung terhadap pola sirkulasi arus laut terutama terhadap arah dan kecepatannya (Miguel, 2008). Hal ini terlihat jelas pada hasil rekaman penampang melintang kecepatan arus dari *ADCP mobile*. Gambar 6 memperlihatkan penampang melintang distribusi kecepatan arus baik secara vertikal maupun horisontal saat kondisi air surut. Secara vertikal kecepatan arus berbeda antara arus permukaan, menengah dan bawah, sedangkan secara horisontal kecepatan arus berbeda antara satu tempat dengan tempat lainnya. Kecepatan arus permukaan sampai menengah berkisar antara 1.0 m/det – 1.75 m/det, sedangkan kecepatan arus bawahnya hanya sekitar 0.5 m/det – 1.0 m/det. Secara horisontal memperlihatkan distribusi kecepatan arus tidak merata, terlihat adanya batas antara lokasi kecepatan arus kuat dan lokasi kecepatan arus

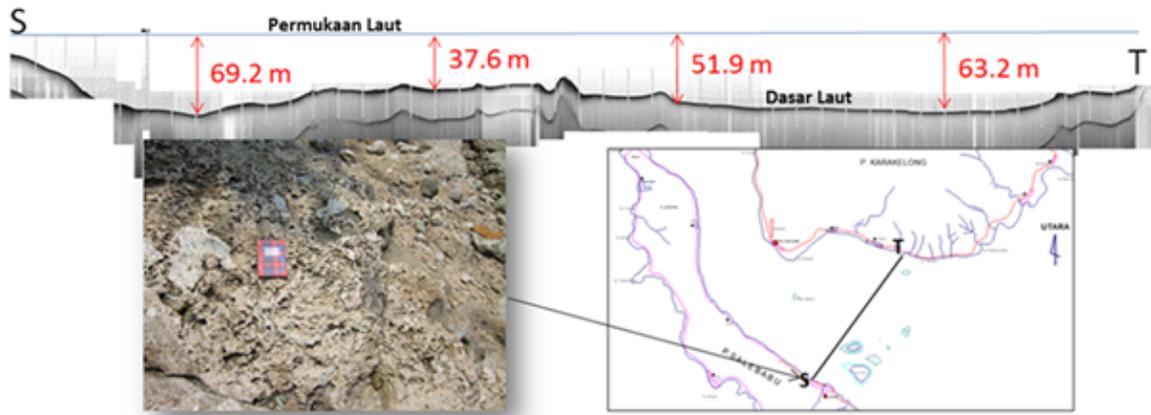
lemah. Lokasi yang mempunyai kecepatan arus kuat terletak jauh di tengah selat (berjarak sekitar 3.5 km dari pantai P. Salibabu dan 3.6 km dari pantai P. Karakelong) dan berada pada kedalaman laut antara 20 m – 80 m. Secara teknis lokasi ini tidak direkomendasikan untuk lokasi PLTAL karena sulit dalam penginstalasian, pengoperasian dan pengawasannya (berada di alur pelayaran). Selain itu diperlukan instalasi kabel bawah laut yang panjang untuk dapat terkoneksi dengan jaringan listrik di darat. Pemasangan instalasi kabel bawah laut sangat mahal dan memerlukan studi khusus (EMEC, 2013). Sedangkan Gambar 7 memberikan gambaran bahwa kecepatan arus pada morfologi dasar laut yang berbentuk alur sempit, yaitu alur antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil dan alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu mempunyai kecepatan arus lebih kuat dibandingkan dengan lokasi lainnya, dimana kecepatan arus terkuat terjadi pada bagian tengah alur. Lokasi yang mempunyai kecepatan arus kuat terletak di dekat pantai P. Sara Besar (berjarak sekitar 0.2 km – 0.4 km), P. Sara Kecil (berjarak sekitar 0.1 km – 0.15 km), dan P. Salibabu (berjarak sekitar 0.9 km – 1.2 km), berada pada kedalaman laut antara 20 m – 50 m dan cukup jauh dari alur pelayaran. Secara teknis lokasi ini cukup representatif dan lebih mudah dalam pembangunan PLTAL skala kecil, baik pada saat instalasi, operasional maupun pengawasannya. Lokasi ini juga cukup dekat dengan Kota Lirung, berjarak



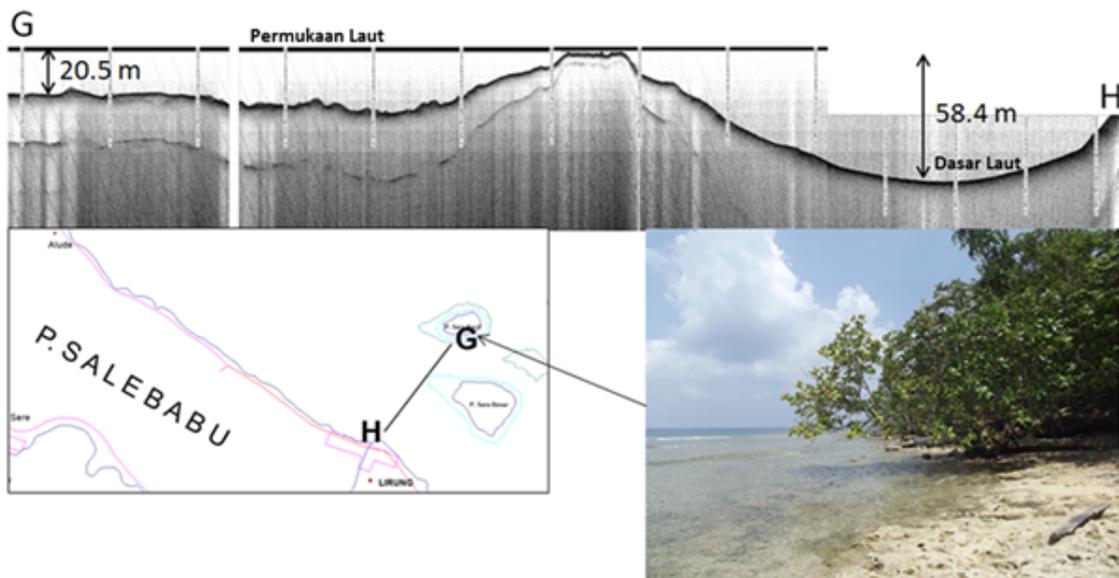
Gambar 2. Distribusi data kedalaman laut dan bentuk morfologi dasar laut perairan Selat Lirung, Talaud



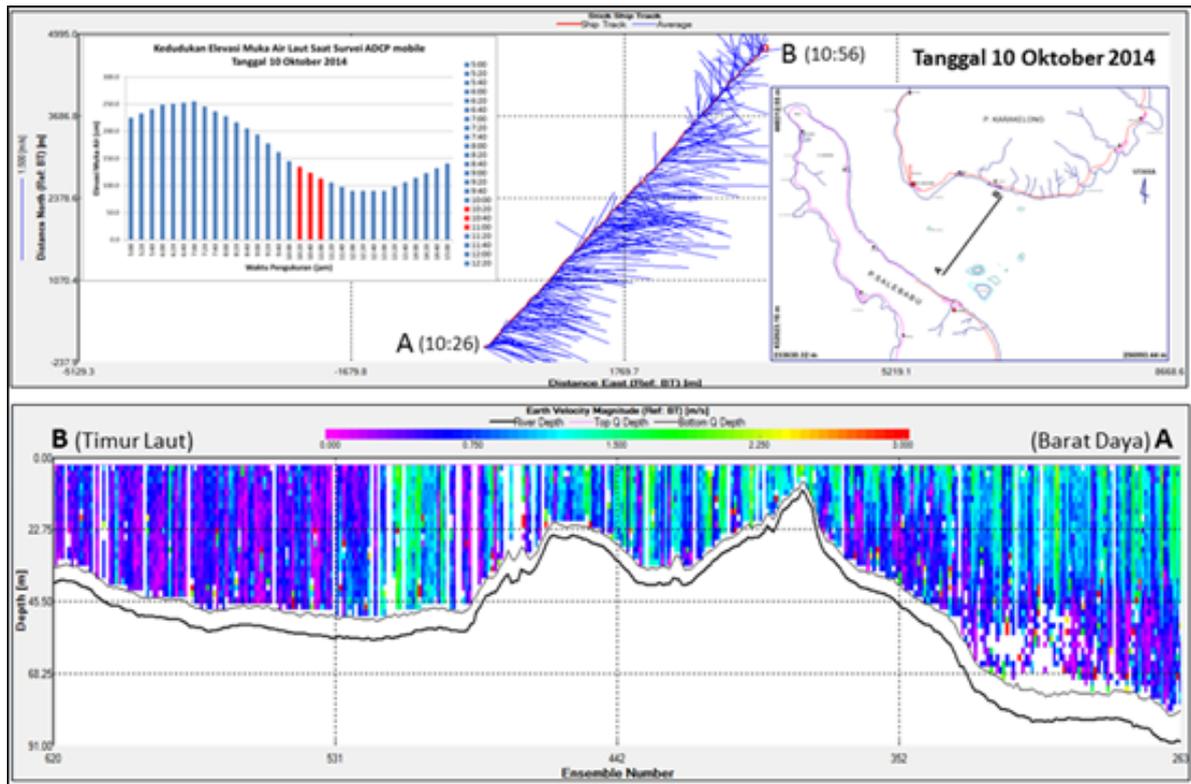
Gambar 3. Menunjukkan lebar alur dan distribusi kedalaman laut di alur antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil dan alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu



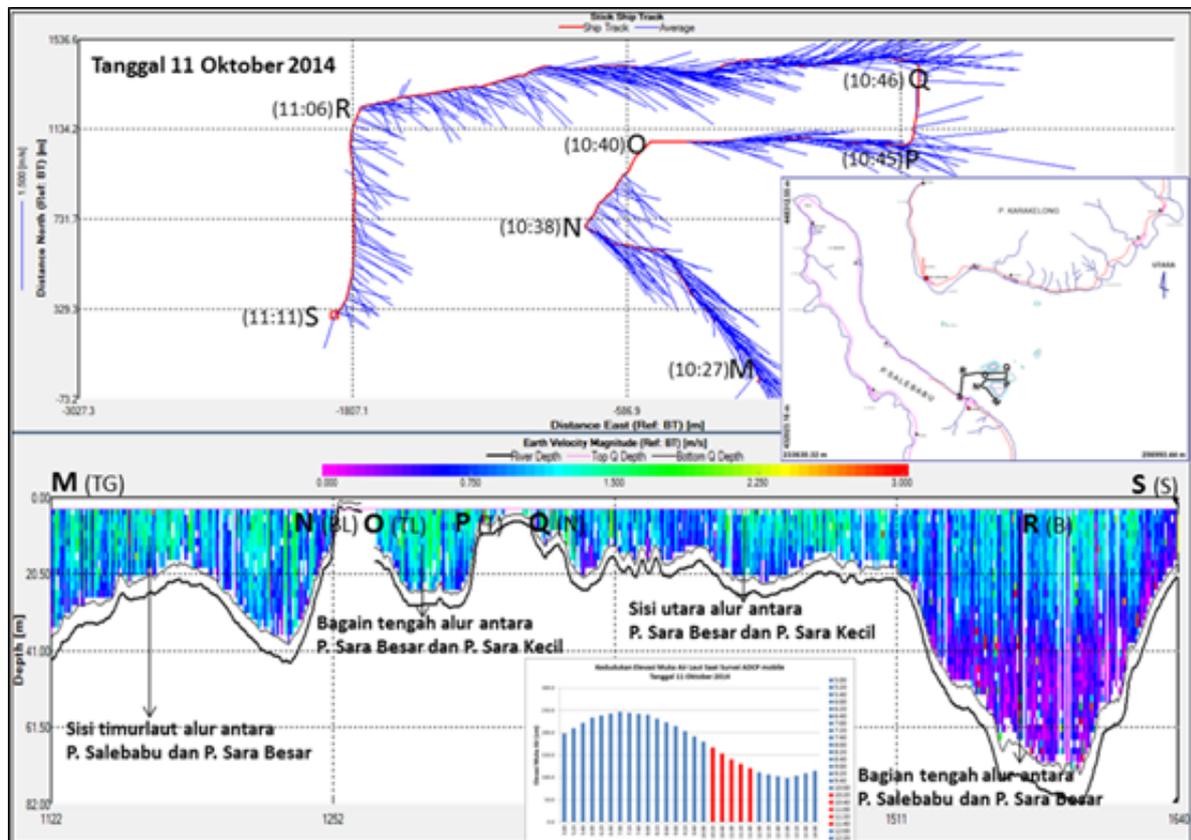
Gambar 4. Profil penampang morfologi dasar laut melintang Selat Lirung dan singkapan batu gamping terumbu di Pantai Alude (sebelah barat daya Selat Lirung) saat air laut surut



Gambar 5. Profil penampang morfologi dasar laut melintang alur antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil dan alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu dan singkapan batu gamping terumbu di Pulau Sara Kecil saat air laut surut



Gambar 6. Penampang melintang distribusi kecepatan arus yang memperlihatkan adanya variasi kecepatan arus laut terhadap bentuk morfologi dasar laut



Gambar 7. Penampang melintang distribusi kecepatan arus laut pada morfologi yang berbentuk alur sempit (Keterangan TG: Tenggara, BL: Barat Laut, TL: Timur Laut, T: Timur, U: Utara, B: Barat)

sekitar 0.9 km – 1.5 km, sehingga instalasi kabel bawah laut yang dipasang lebih pendek dibandingkan dengan lokasi lainnya.

Berdasarkan kondisi tersebut di atas, pengukuran arus insitu dengan menggunakan *ADCP Nortek* dan *Sontek* dilakukan di alur antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil dan alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu pada kedalaman laut 21 m.

Dinamika arus insitu akan terkait secara langsung dengan kondisi pasang surutnya (Zhou Z., 2014). Tipe pasang surut di wilayah perairan Selat Lirung termasuk kedalam tipe semidiurnal, yaitu dua kali pasang dan dua kali surut dalam waktu 24 jam. Tunggang air tertinggi terjadi saat kedudukan air pasang maksimum dan kedudukan air surut minimum, yaitu sebesar 2.15 m terjadi saat posisi bulan mati/purnama (*springtide*), sedangkan saat bulan pasang perbani (*neaptide*) tunggang air hanya 0.7 m – 0.8 m.

Data hasil pengukuran arus insitu di 2 (dua) lokasi pengukuran menunjukkan bahwa pola arah dan kecepatan arusnya sangat dipengaruhi oleh kondisi air saat pasang dan surut. Pada saat kondisi air pasang dan surut arah arus di alur antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil dominan mengalir ke arah timur mencapai 70% dari total arah arus. Sedangkan di alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu 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. Pada kondisi ini arah arus mengalir ke arah barat (20%) di alur antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil dan ke arah barat laut-utara (15%) di alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu. Adanya arah arus dominan yang mencapai prosentase 80% dari total arah arus, mengindikasikan adanya faktor arus non pasang surut yang mempengaruhi karakteristik arus di perairan Selat Lirung. Kemungkinan arus non pasang surut yang timbul di perairan Selat Lirung disebabkan oleh pengaruh global, yaitu adanya perbedaan elevasi muka air laut antara Samudera Pasifik di utara dengan Samudera Indonesia di selatan.

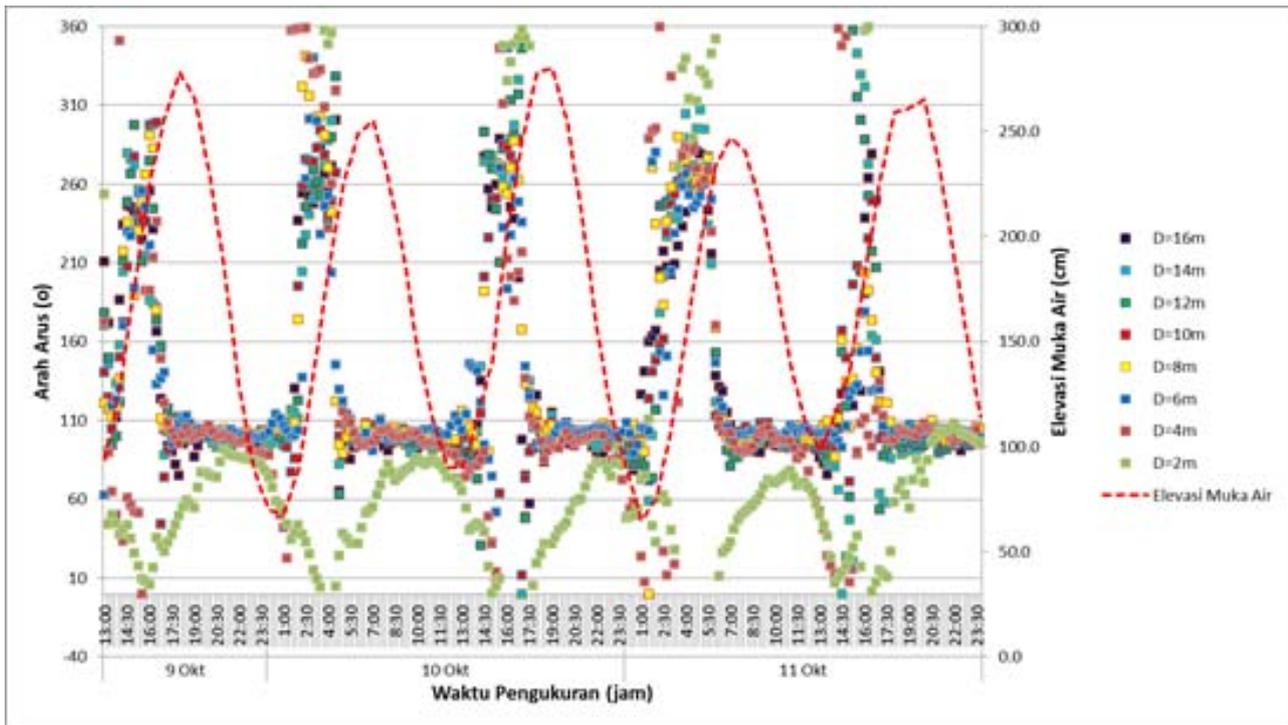
Distribusi arah dan kecepatan arus secara vertikal menunjukkan bahwa arah dan kecepatan arus pada setiap kedalaman kolom air relatif tidak seragam. Kecepatan arus yang tidak seragam terutama pada kedalaman kolom air yang berada dekat dengan permukaan air (kedalaman kolom air 2 m) dan kedalaman kolom air yang berada dekat dengan dasar laut (kedalaman kolom air 16 m), seperti ditunjukkan Gambar 8, Gambar 9, Gambar

10 dan Gambar 11. Sedangkan untuk kedalaman kolom air yang berada di lapisan tengah (kedalaman kolom air 6 m, 8 m, 10 m dan 12 m) kecepatan dan arah arusnya relatif seragam (Gambar 12 dan Gambar 13). Untuk kedalaman kolom air 4 m dan 14 m merupakan batas transisi dimana pengaruh dari dinamika air di permukaan dan dasar laut kadang-kadang muncul.

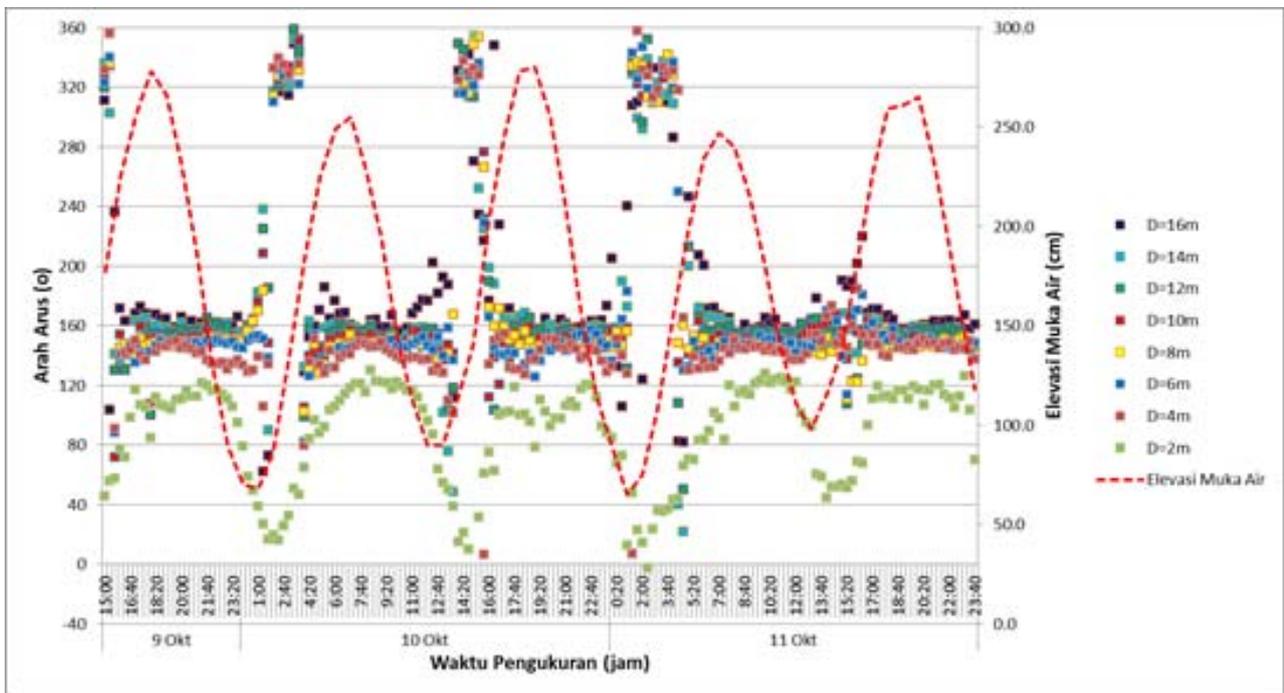
Arah dan kecepatan arus pada kedalaman kolom air 2 m berbeda dengan arah dan kecepatan arus secara umum. Arah arus dominan saat kondisi air pasang dan surut pada tiap level kedalaman kolom air di alur antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil berarah timur (67.5° – 112.5°). Sedangkan pada kedalaman kolom air 2 m berarah timur laut – timur (50° – 100°). Kondisi yang sama terjadi pada arah arus di alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu. Arah arus dominan berarah tenggara (112.5° – 157.5°), sedangkan pada kedalaman kolom air 2 m berarah timur laut – timur (40° – 120°). Kecepatan arus pada kedalaman kolom air 2 m cenderung lebih kuat dibandingkan dengan kedalaman kolom air lainnya, terutama pada saat air surut sampai surut minimum. Pada kedalaman kolom air 16 m penyimpangan arah arus dari pengaruh dasar laut tidak sebesar di permukaan, namun terjadi penurunan kecepatan arus yang cukup signifikan dibandingkan dengan kolom air di atasnya.

Adanya perbedaan arah dan kecepatan arus pada kolom air di dekat permukaan laut disebabkan oleh pengaruh luar (eksternal), seperti adanya arus turbulensi yang disebabkan oleh pengaruh angin dan gelombang laut (Zhang H., dkk., 2009). Gambar 14 memperlihatkan data arah dan kecepatan angin pada saat penelitian. Kecepatan angin pada saat kondisi maksimum bisa mencapai 25 knot dan mampu membangkitkan gelombang dengan tinggi gelombang signifikan berkisar antara 15 cm – 20 cm. Sedangkan pada kolom air yang dekat dengan dasar laut adanya perbedaan arah dan kecepatan arus disebabkan oleh pengaruh dasar laut, seperti adanya turbulensi karena morfologi dasar laut yang tidak rata dan adanya gesekan arus dengan dasar laut (Thomas Gay, 2010). Pada kedalaman kolom air 6 m s.d. kolom air 12 m pengaruh luar dan morfologi dasar laut tidak signifikan, sehingga kecepatan arusnya cenderung seragam.

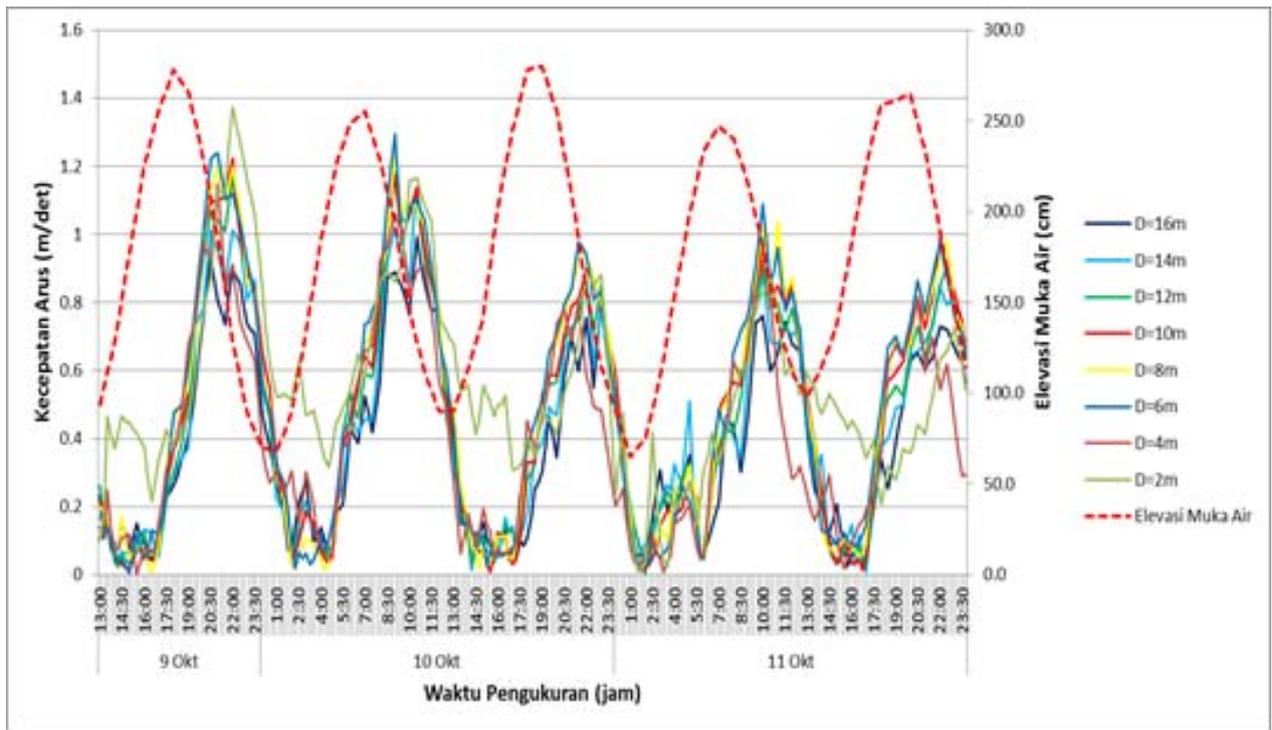
Dilihat dari distribusi kecepatan arusnya, pada kedalaman kolom air 6 m s.d. 12 m di 2 (dua) lokasi titik pengukuran menunjukkan bahwa kecepatan arus maksimal terjadi pada saat *spring tide*. Pada



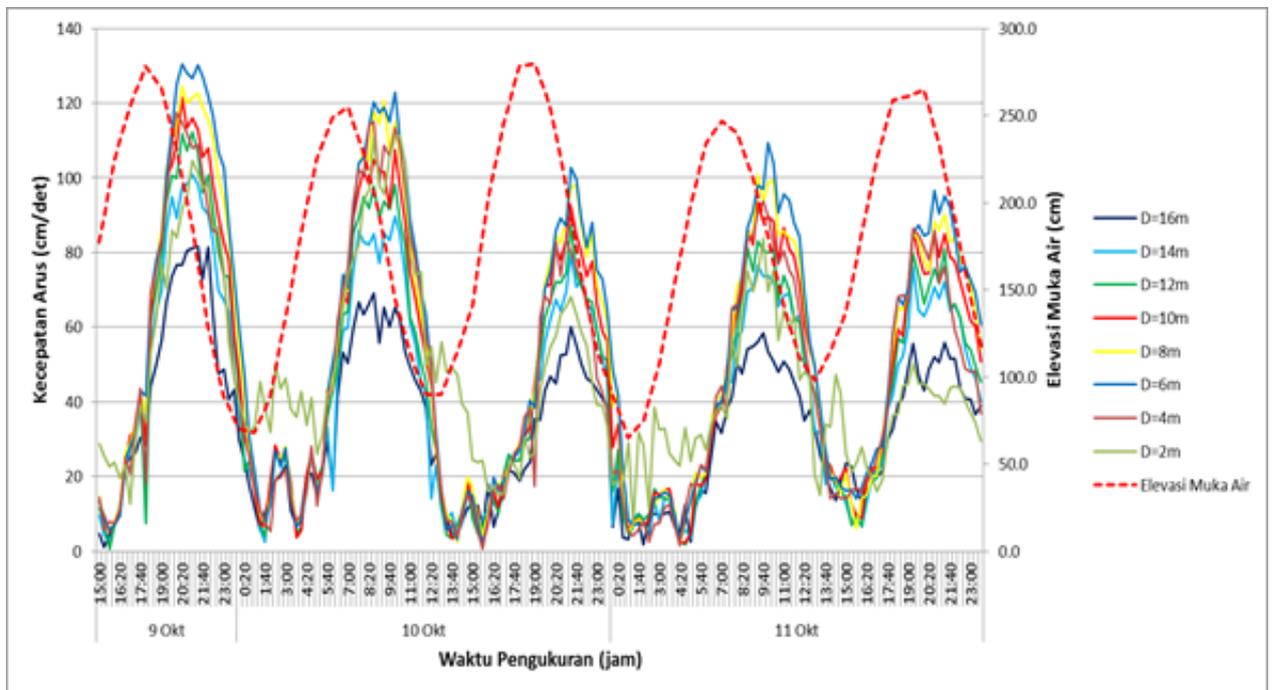
Gambar 8. Hubungan antara pola pasang surut dengan distribusi vertikal arah arus di lokasi alur antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil



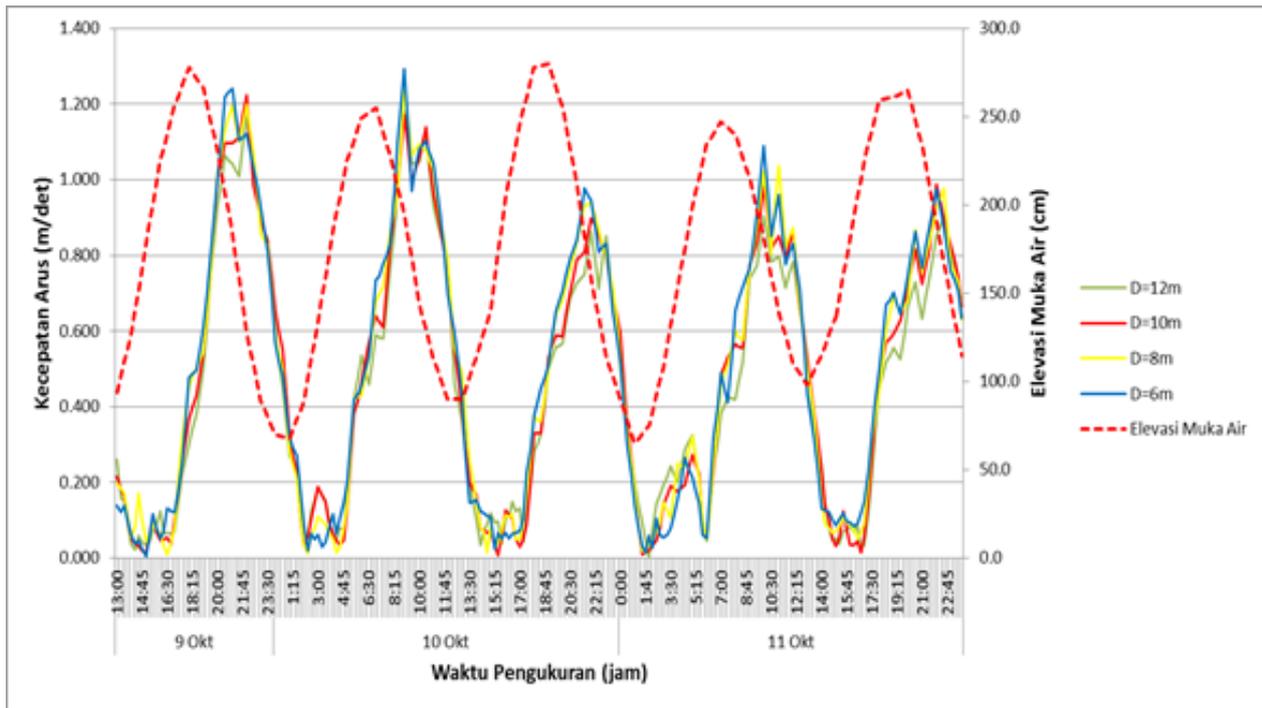
Gambar 9. Hubungan antara pola pasang surut dengan distribusi vertikal arah arus di lokasi alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu



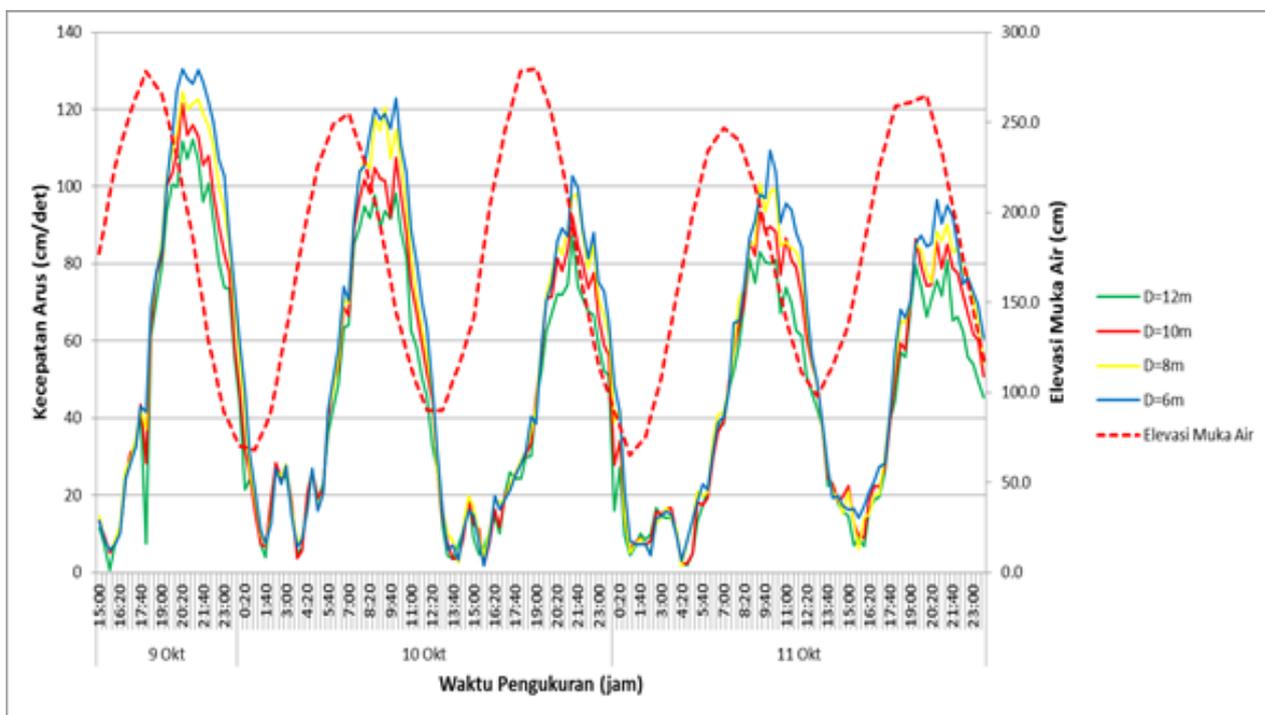
Gambar 10. Hubungan antara pola pasang surut dengan distribusi vertikal kecepatan arus di lokasi alurt antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil



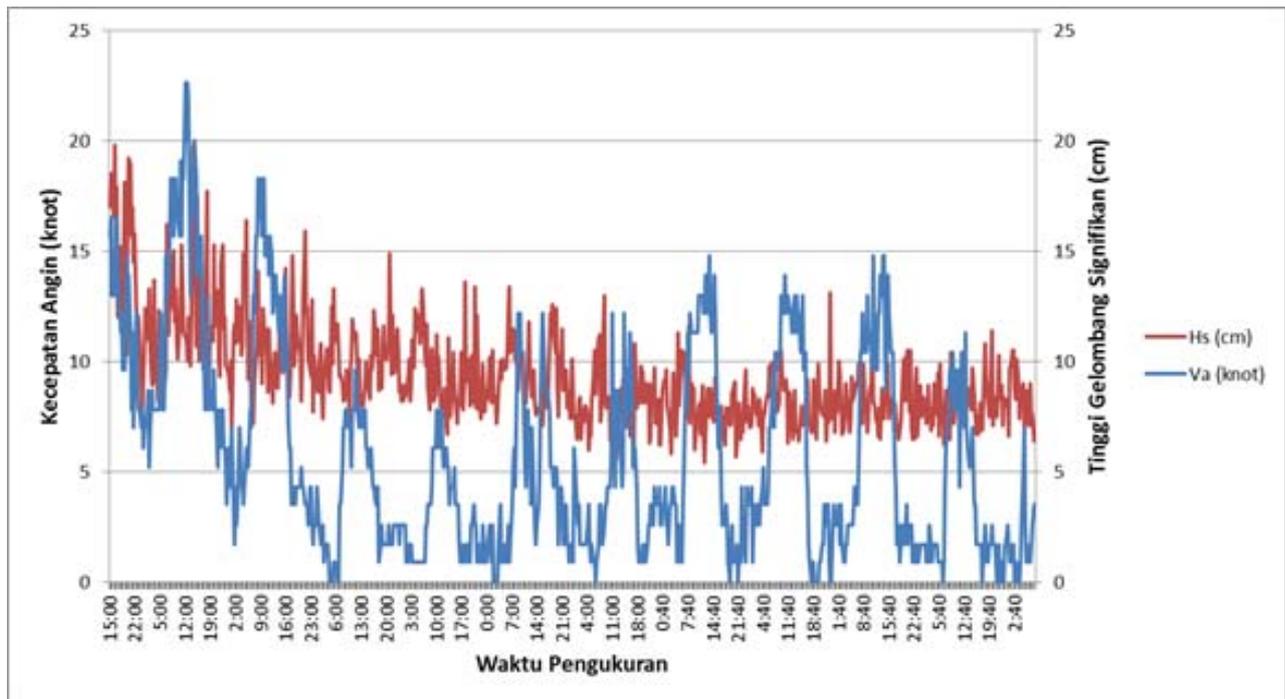
Gambar 11. Hubungan antara pola pasang surut dengan distribusi vertikal kecepatan arus di lokasi alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu



Gambar 12. Hubungan antara pola pasang surut dengan distribusi vertikal arah arus di lokasi alur antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil pada kedalaman kolom air 6m, 8m, 10m dan 12m



Gambar 13. Hubungan antara pola pasang surut dengan distribusi vertikal arah arus di lokasi alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu pada kedalaman kolom air 6m, 8m, 10m dan 12m.



Gambar 14. Pengaruh angin terhadap tinggi gelombang signifikan di lokasi alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu tanggal 9 – 20 Oktober 2014

kedudukan air surut menuju surut minimum kecepatan berkisar antara 1.1 m/det – 1.2 m/det di alur antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil dan berkisar 1.1 m/det – 1.3 m/det di alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu. Pada saat *neap tide* kecepatan arus di 2 (dua) lokasi alur relatif kecil, yaitu berkisar antara 0.1 m/det – 0.6 m/det. Kecepatan arus terkecil terjadi saat terjadi perubahan arah arus, yaitu pada saat kondisi air surut minimum menuju pasang dengan kecepatan arus di bawah 0.2 m/det.

Dari hasil pengukuran arus dengan metode bergerak menunjukkan kecepatan arus makin ke tengah alur makin besar. Gambar 15 menunjukkan perbandingan kecepatan arus di 2 (dua) lokasi pengukuran statis dengan kecepatan arus metoda bergerak pada waktu yang sama (jam 10:00 – 11:15 wita tanggal 11 Oktober 2014). Dari gambar tersebut terlihat bahwa :

- Kecepatan arus pada kedalaman 25 m – 35 m (di tengah alur antara antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu) lebih besar dari kecepatan arus insitu di lokasi pengukuran statis. Kecepatan arus di tengah alur berkisar antara 1.0 m/det – 1.30 m/det, sedangkan di lokasi pengukuran statis (kedalaman 21 m) berkisar antara 0.82 m/det – 0.97 m/det.
- Kecepatan arus pada kedalaman 21 m – 25 m (di tengah alur antara antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil) lebih besar dari

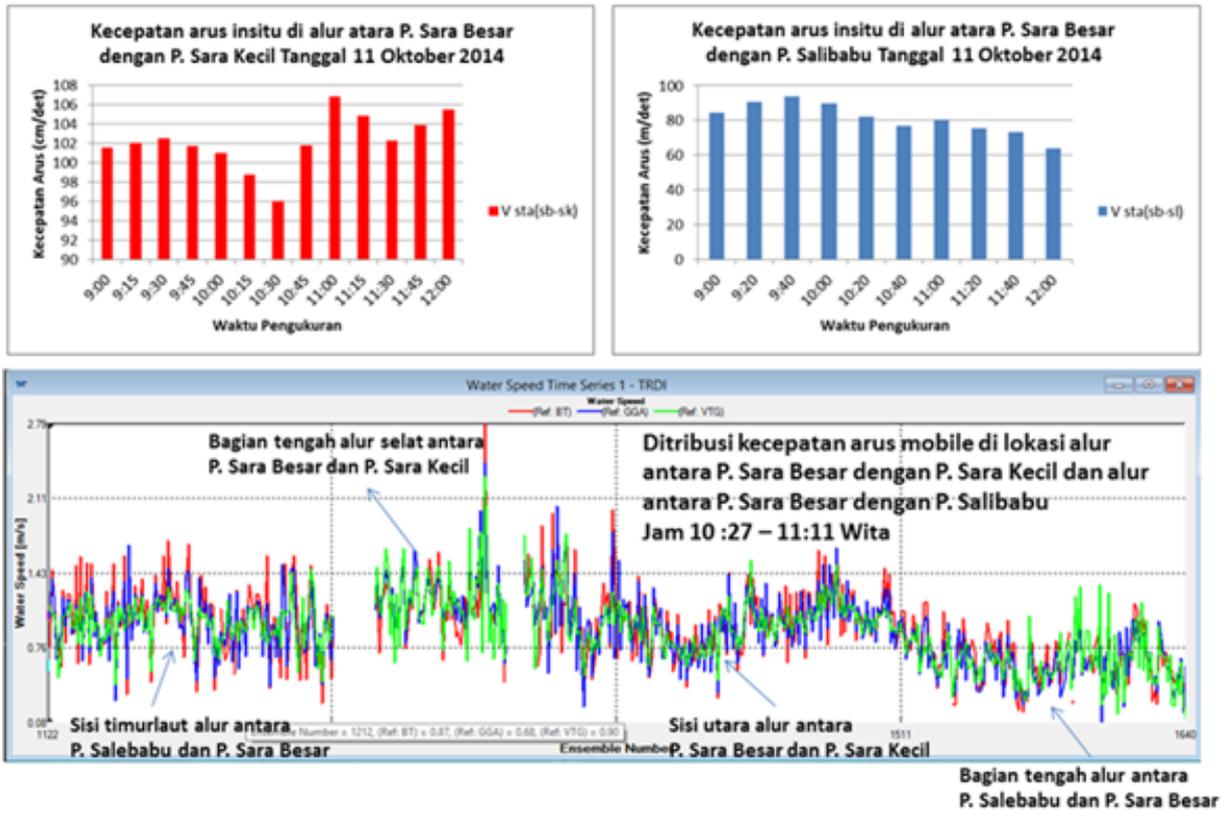
kecepatan arus insitu di lokasi pengukuran statis. Kecepatan arus di tengah alur berkisar antara 1.0 m/det – 1.75 m/det, sedangkan di lokasi pengukuran statis (kedalaman 21 m) berkisar antara 0.96 m/det – 1.07 m/det.

Dilihat dari pola kecepatan arusnya, karakteristik arus laut di kedua lokasi tersebut menunjukkan adanya korelasi yang cukup signifikan baik pada saat *spring tide* maupun saat *neap tide* (Gambar 16).

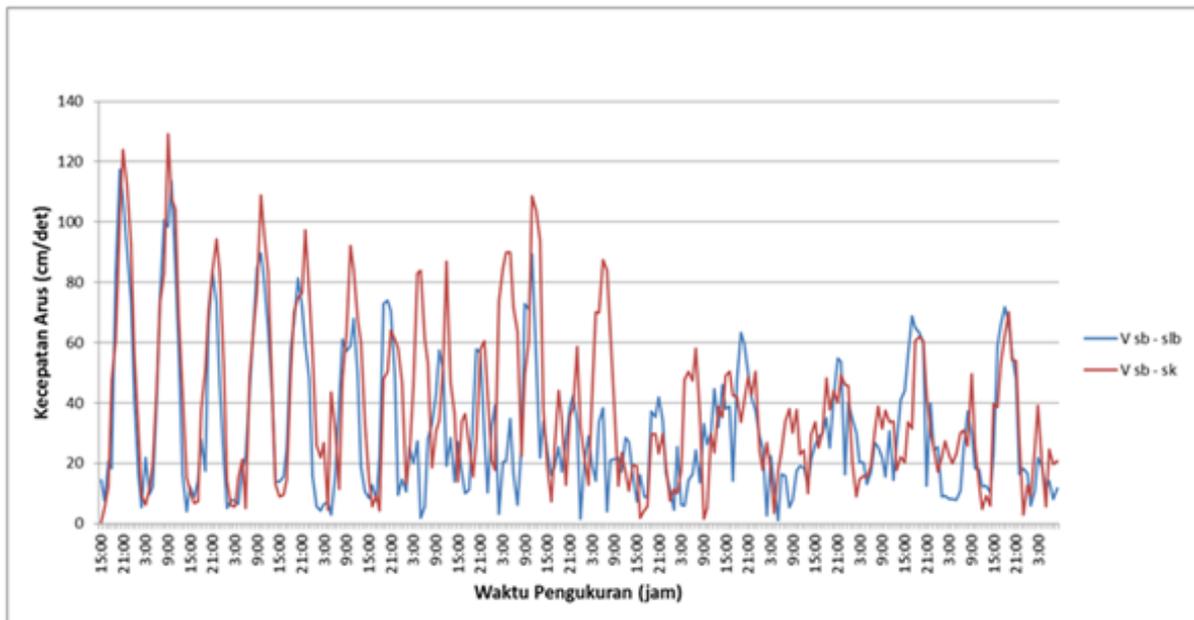
Berdasarkan pengklasifikasian kecepatan arus untuk kecepatan arus laut di atas 0.5 m/det diperoleh durasi waktu kecepatan arus dalam skala 24 jam sebagai berikut :

- Durasi waktu kecepatan arus di atas 0.5 m/det saat *spring tide* di alur antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil berkisar antara 7.5 jam – 12.5 jam per hari, sedangkan saat *neap tide* berkisar antara 0.5 jam – 4.5 jam (Gambar 17).
- Durasi waktu kecepatan arus di atas 0.5 m/det saat *spring tide* di alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu berkisar antara 8.0 jam – 13.5 jam per hari, sedangkan saat *neap tide* berkisar antara 0.0 jam – 8.0 jam per hari (Gambar 18).

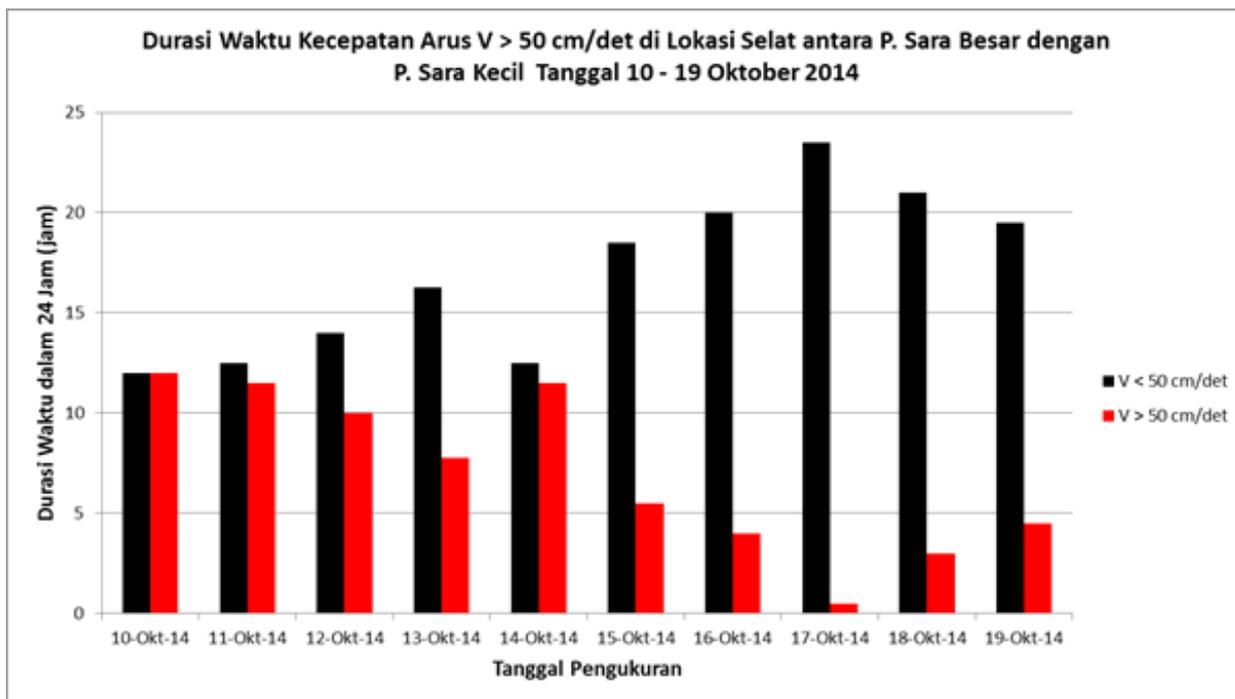
Data durasi waktu kecepatan arus ini dapat dijadikan referensi bahwa model turbin sumbu vertikal skala kecil (2 kW) BPPT dapat beroperasi sekitar 7.5 jam – 12.5 jam per hari saat *spring tide* dan 0.5 jam – 4.5 jam per hari saat *neap tide*, jika di



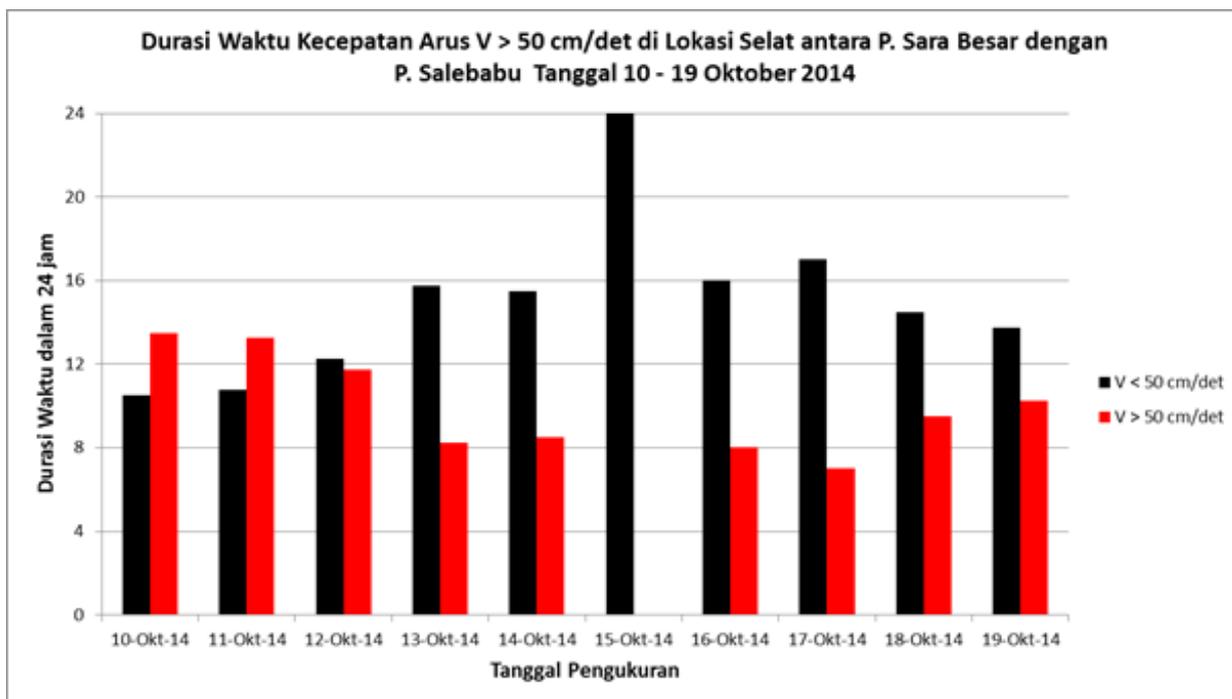
Gambar 15. Perbandingan data kecepatan arus bergerak dengan arus statis di lokasi alur antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil dan alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu



Gambar 16. Korelasi kecepatan arus di lokasi alur antara P Sara Besar - P. Sara Kecil dan alur antara P. Sara Besar - P. Salibabu (sb : Sara Besar ; slb : Salibabu; sk : Sara Kecil)



Gambar 17. Durasi waktu kecepatan arus di atas 0.5 m/det di lokasi alur antara P. Sara Besar - P. Sara Kecil



Gambar 18. Durasi waktu kecepatan arus di atas 0.5 m/det di lokasi alur antara P. Sara Besar – P. Salibabu

pasang di lokasi pengukuran arus statis di alur antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil. Sedangkan jika di pasang di lokasi pengukuran arus statis di alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu turbin dapat beroperasi sekitar 8.0 jam – 13.5 jam per hari saat *spring tide* dan 0.0 jam – 8.0 jam per hari saat *neap tide*. Agar turbin dapat beroperasi dengan durasi yang lebih lama, maka sebaiknya turbin ditempatkan pada kedalaman 25 m – 35 di lokasi alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu, sedangkan di lokasi alur antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil sebaiknya turbin ditempatkan pada kedalaman 25 m.

Berdasarkan hasil analisis dari bentuk profil kedalaman laut, profil kecepatan arus secara vertikal untuk setiap kedalaman kolom air, durasi waktu kecepatan arus di atas 0.5 m/det, profil kecepatan arus melintang selat, profil secara vertikal kondisi morfologi dasar laut dan kondisi sedimen/batuan bawah dasar laut melintang selat, dan hubungan antara kecepatan arus dengan pasang surutnya. Oleh karena itu lokasi yang memungkinkan untuk penempatan turbin PLTAL skala kecil (2 kW) BPPT adalah sebagai berikut :

Di alur antara P. Sara Besar dengan Sara Kecil pada kedalaman laut 25 m. Selain pertimbangan

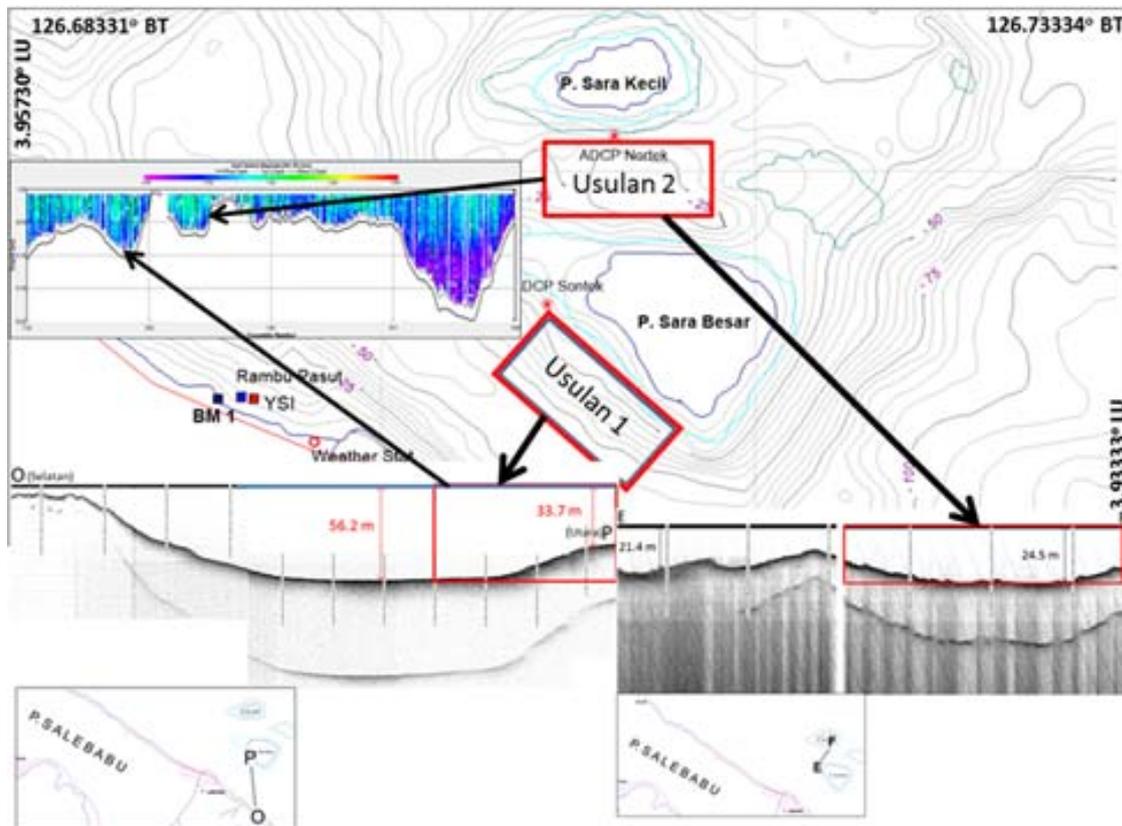
yang telah disebutkan di atas, lokasi ini bukan jalur pelayaran, bukan daerah penangkapan ikan, jarak terhadap pantai P. Sara Besar sekitar 300 m, jarak terhadap Kota Lirung sekitar 1.5 km, morfologi dasar laut pada kedalaman 25 m relatif datar, dan lokasinya terlindung dari pengaruh gelombang langsung.

Di alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu pada kedalaman laut antara 25 m – 35 m. Lokasi ini dekat dengan Kota Lirung berjarak sekitar 0.8 km – 1.0 km, jarak terhadap pantai P. Sara Besar sekitar 200 m – 500 m, jauh dari alur pelayaran, bukan daerah penangkapan ikan.

Gambar 19 memperlihatkan lokasi yang diusulkan untuk lokasi penempatan turbin arus laut untuk model turbin sumbu vertikal skala 2 kW BPPT.

KESIMPULAN

Mengacu pada kriteria teknis dalam penentuan lokasi penempatan turbin arus laut dan hasil analisis data yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan di Selat Lirung (Tabel 1), secara umum lokasi alur antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil pada kedalaman laut sekitar 25 m dan lokasi alur antara P. Sara Besar dengan P. Salibabu



Gambar 19. Usulan lokasi untuk penempatan turbin arus laut di perairan Selat Lirung

Tabel 1. Kriteria teknis penentuan lokasi penempatan turbin arus laut dan hasil analisis data yang di peroleh dari penelitian di Selat Lirung

No.	Kriteria Teknis Acuan	Lokasi di Alur antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil	Lokasi di Alur antara P. Sara Besar dengan P. Sara Kecil
1.	Kecepatan arus di atas 0.5 m/det	Kecepatan arus maksimum di lokasi pengukuran arus statis (kedalaman 21m) berkisar antara 0.96 m/det – 1.07 m/det Kecepatan arus maksimum pada kedalaman laut sekitar 25m berkisar antara 1.0 m/det – 1.75 m/det	Kecepatan arus maksimum di lokasi pengukuran arus statis (kedalaman 21m) berkisar antara 0.82 m/det – 0.97 m/det Kecepatan arus maksimum pada kedalaman laut antara 25m – 35m berkisar antara 1.0 m/det – 1.3 m/det
2.	Durasi waktu kecepatan arus di atas 0.5 m/det lebih dari 10 jam/hari	Kecepatan arus di atas 0.5 m/det di lokasi arus statis Saat spring tide berkisar antara 7.5 jam – 12.5 jam/hari Saat neap tide berkisar antara 0.5 jam – 4.5 jam/hari	Kecepatan arus di atas 0.5 m/det di lokasi arus statis Saat spring tide berkisar antara 8.0 jam – 13.5 jam/hari Saat neap tide berkisar antara 0.0 jam – 8.0 jam/hari
3.	Aliran massa air laminar	Aliran massa air relatif laminar pada kedalaman kolom air 4m – 12 m	Aliran massa air relatif laminar pada kedalaman kolom air 4m – 12 m
4.	Kedalaman laut 20 m – 50 m	Kedalaman laut berkisar antara 20 m – 25 m	Kedalaman laut berkisar antara 20 m – 50 m
5.	Morfologi dasar laut relatif rata dan landai	Morfologi dasar laut di kedalaman 20 m – 25 m relatif rata	Morfologi dasar laut di kedalaman 25 m – 35 m relatif landai
6.	Terlindung dari pengaruh gelombang langsung	Terlindung dari pengaruh gelombang secara langsung	Masih ada pengaruh gelombang secara langsung
7.	Bukan jalur pelayaran	Bukan jalur pelayaran	Berada jauh dari jalur pelayaran
8.	Jarak tidak jauh dari pantai	Lokasi arus kuat berjarak 0.2 km – 0.4 km dari P. Sara Besar dan 0.1 km – 0.15 km dari P. Sara Kecil	Lokasi arus kuat berjarak 0.2 km – 0.3 km dari P. Sara Besar dan 0.9 km – 1.2 km dari P. Salibabu
9.	Bukan daerah penangkapan ikan	Bukan daerah penangkapan ikan	Bukan daerah penangkapan ikan
10.	Dekat dengan jaringan listrik dan pemukiman	Lokasi arus kuat berjarak 1.2 km – 1.5 km dari Kota Lirung	Lokasi arus kuat berjarak 0.9 km – 1.0 km dari Kota Lirung

pada kedalaman laut antara 25 m – 35 m cukup memenuhi kriteria teknis untuk penempatan turbin PLTAL sumbu vertikal skala kecil (2 kW) BPPT.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Susilohadi. (Mantan Kepala Puslitbang Geologi Kelautan), Dr. Ir. Ediar Usman, M.T. (Kepala Puslitbang Geologi Kelautan), dan Ir. Deny Setiady, M.T. (KKP3 Sumberdaya Energi Kelautan) atas kepercayaannya kepada penulis untuk melaksanakan kegiatan penelitian energi arus laut di perairan Selat Lirung, Talaud, Sulawesi Utara. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada rekan-rekan satu tim, atas bantuan dan kerjasamanya.

DAFTAR ACUAN

- Coiro D. P., 2007, *Experiments on horizontal and vertical axis water turbines for harnessing marine currents: technological and economical aspects*, Dept. of Aerospace Engineering, Università di Napoli, Italia.
- Dishidros, 2010, Laut Sulawesi : Pulau-pulau Talaud skala 1 : 200000, TNI AL, Jakarta.
- Egbert, G. D., and R. D. Ray, 2001. Estimates of M2 tidal energy dissipation from TOPEX / Poseidon altimeter data, *J. Geophys. Res.*, 106(C10), 22,475– 22,502.
- EMEC, 2013, *Pfow enabling actions project subsea cable lifecycle study*, The European Marine Energy Centre Ltd.

- Erwandi, Afian K., P. Sasoko, Rina, B. Wijanarko, E. Marta, D. Rahuna, 2011, *Vertical axis marine current turbine development in Indonesia*, Hydrodynamic Laboratory – Surabaya for Tidal Power Plant, 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
- Gordon, A.L., 2003, *INSTANT: Objectives and components*, Lamont-Doherty Earth Observatory Division of ocean and climate physics, P.O.Box 1000 61 Route 9W, Palisades, NY 10964-8000.
- Jones O. P., Simons R. R., Jones E. J. W., Harris J. M., 2006, Influence of seabed slope and coriolis effects on the development of sandbanks near headlands, *Journal of Geophysical Research*, vol. 111.
- Miguel, 2008, *Marine current turbines: Array effects*, Thesis, Dept. of Mechanical Engineering of Strath Clyde Glasgow.
- Rachmat B., Ilahude D., Raharjo P., Mustafa A., Saputra M. D., Yuningsih A., Sahudin, 2014, *Laporan penelitian potensi energi arus laut di perairan Selat Lirung, Talaud, Sulawesi Utara*, PPPGL, Bandung.
- Sornes K., 2010, *Small scale water current turbines for river applications*, Zero Emission Resource Organisation, Oslo.
- Snodin H., 2001, *Scotland's renewable resource*, Garrad and Hassan Patners, Report for the Scottish Executive, Edinburgh.
- Thake J., 2005, *Development installation and testing of a large scale tidal current turbine*, IT Power, pp. 19-26, 33-43.
- Thomas Gay, 2010, *Assessment of tidal stream energy potential for marine corps recruit depot Parris Island*, Thesis, School of Civil & Environmental Engineering, Georgia Institute of Technology.
- Van Bennekom, A. J., 1988, Deep water transit times in the eastern Indonesian Basins, calculated from dissolved silica in deep and interstitial water, *Neth. J. Sea Res.*, vol. 22, p. 341-354.
- Wyrtki, K., 1961, *The flow of water into the deep sea of the western south Pasific Ocean*, Aust. J. Mar. Freshw. Res., 12 (1), 1 – 16
- Zhang H., Sannasiraj S. A., Chan E. S., 2009, Wind wave effects on hydrodynamic modeling of ocean circulation in the South China Sea, *The Open Civil Engineering Journal*, vol. 3, pp. 48 – 61.
- 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