

KAJIAN POTENSI ENERGI ARUS LAUT DI SELAT TOYAPAKEH, NUSA PENIDA, BALI

Chandra Leveraeni Dewangi¹, Denny Nugroho Sugianto^{1,2}, Aziz Rifai¹, dan Ai Yuningsih³

¹Program Studi Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro,

²Pusat Unggulan Iptek (PUI) Pusat Kajian Mitigasi Bencana dan Rehabilitasi Pesisir (PKMBRP), Universitas Diponegoro,

Jl. Prof. H. Sudarto, SH, Tembalang Semarang. 50275 Telp/fax (024)7474698

³Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral

Jl. Dr. Djunjunan No. 236 Bandung. 40174 Fax (022)601788

Email : chandraldewangi@gmail.com, dennysugianto@yahoo.com, Aziz_rif@yahoo.com
yuningsih_ai@gmail.com

Abstrak

Kebutuhan energi listrik terus mengalami peningkatan dan sumber energi listrik di Indonesia masih didominasi oleh energi fosil yang ketersediaannya terbatas di alam, sehingga diperlukan pencarian sumber energi lain yang terbarukan. Nusa Penida merupakan wilayah kepulauan yang dikelilingi selat-selat sehingga berpotensi untuk pengembangan energi terbarukan yaitu arus laut. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tipe arus laut serta mengetahui potensi energi yang dapat dihasilkan dari arus laut di Selat Toyapakeh, Nusa Penida, Bali. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dan penentuan lokasi dengan *cluster sampling*. Penelitian ini dibagi menjadi dua tahap, yaitu survey lapangan yang terdiri dari pengukuran arus dan pasang surut serta tahap pengolahan data yang terdiri dari analisa data, numerik, dan menghitung estimasi rapat daya. Tipe arus laut di Selat Toyapakeh adalah arus pasang surut yang bergerak ke arah tenggara saat pasang dan ke arah barat daya saat surut. Selat Toyapakeh berpotensi dalam pemanfaatan energi arus laut. Daerah potensi terletak pada koordinat 115°27'51,903' - 115°28'34,387' BT dan 8°40' 15,430' - 8°41'7,045' LS dengan luas 0,6 km². Daya rata – rata yang dihasilkan di titik potensi adalah 16,6 kW dan 66,47 kW per tahun.

Kata Kunci : *tipe arus laut, potensi energi, Selat Toyapakeh, Nusa Penida*

Abstract

The requirements of electrical energy has been increase through the time. Electrical energy source for Indonesia mostly come from fossil energy which is rare in nature. The research for renewable energy must be needed to fulfill the electrical energy demands. Nusa Penida is an archipelago surrounded by straits which make sea current become one of potential source for renewable energi development. The purpose of of this study to determine sea current characteristics and knowing energy potention that can be generated from sea current in Toyapakeh Strait Nusa Penida, Bali. The study using quantitative method with cluster sampling for location determination. This study is divided into two steps field survey and data processing. Field survey consisted of sea current measurement and tidal observation. Data processing consist of current data and tidal analysist, numeric modeling and power density conversion. The type of sea current in Toyapakeh Strait is tidal current which move to the southeast at high tide and southwest at low tide. Toyapakeh strait has potention for sea current energy usage. The potential area located in 115°27'51,903' - 115°28'34,387' BT dan 8°40'15,430' - 8°41'7,045' LS with 0,6 km² area. The average power that generated in the potential point is 16,6 kW and 66,47 kW per year.

Keywords : *type of sea current, potential energy, Toyapakeh Strait, Nusa Penida*

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik terus mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk di dunia. Sumber energi listrik di Indonesia saat ini masih didominasi oleh energi konvensional yakni energi fosil yang ketersediaannya terbatas di alam karena tidak dapat diperbaharui serta menimbulkan masalah lingkungan seperti polusi dan pemanasan global (KESDM, 2012).

Nusa Penida adalah gugusan kepulauan yang terdiri dari 3 pulau, yaitu Pulau Nusa Penida, Pulau Lembongan dan Pulau Ceningan. Beban listrik di Nusa Penida mengalami peningkatan dari waktu ke waktu karena semakin banyaknya masyarakat yang menggunakan energi listrik dan semakin banyaknya pembangunan. PT. PLN (Persero) Distribusi Nusa Penida dalam memasok energi listrik ke konsumen sangat mengandalkan PLTD (Pusat Listrik Tenaga Diesel) sebagai sumber pembangkit energi listrik utamanya. Beberapa pembangkit energi listrik yang memanfaatkan *renewable energy* sebagai sumber utamanya juga terdapat di pulau ini, yaitu PLTB (Pusat Listrik Tenaga Bayu) dan PLTS (Pusat Listrik Tenaga Surya). Pembangkit-pembangkit listrik tersebut jika beroperasi secara normal hanya dapat menghasilkan daya listrik sebesar 3.380 kW atau 3,38 MW sehingga tidak dapat memenuhi kebutuhan listrik yang ada (Nugroho *et al.*, 2014). Sumber energi listrik alternatif lain diperlukan agar peningkatan kebutuhan listrik di pulau ini dapat terpenuhi. Sumber energi alternatif tersebut adalah energi arus laut.

Wilayah perairan sekitar Pulau Nusa Penida memiliki beberapa selat, salah satunya adalah Selat Toyapakeh yang terletak di antara Pulau Nusa Penida dan Pulau Nusa Ceningan. Kondisi ini sangat mendukung untuk pengembangan energi arus laut, karena selat memungkinkan massa air laut mengumpul dan bergerak lebih cepat karena semakin menyempitnya ruang gerak dari laut menuju selat (Moreno *et al.*, 2008). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui tipe arus laut serta mengetahui potensi energi yang dapat dihasilkan dari arus laut di Selat Toyapakeh, Nusa Penida, Bali.

MATERI DAN METODE

Materi Penelitian

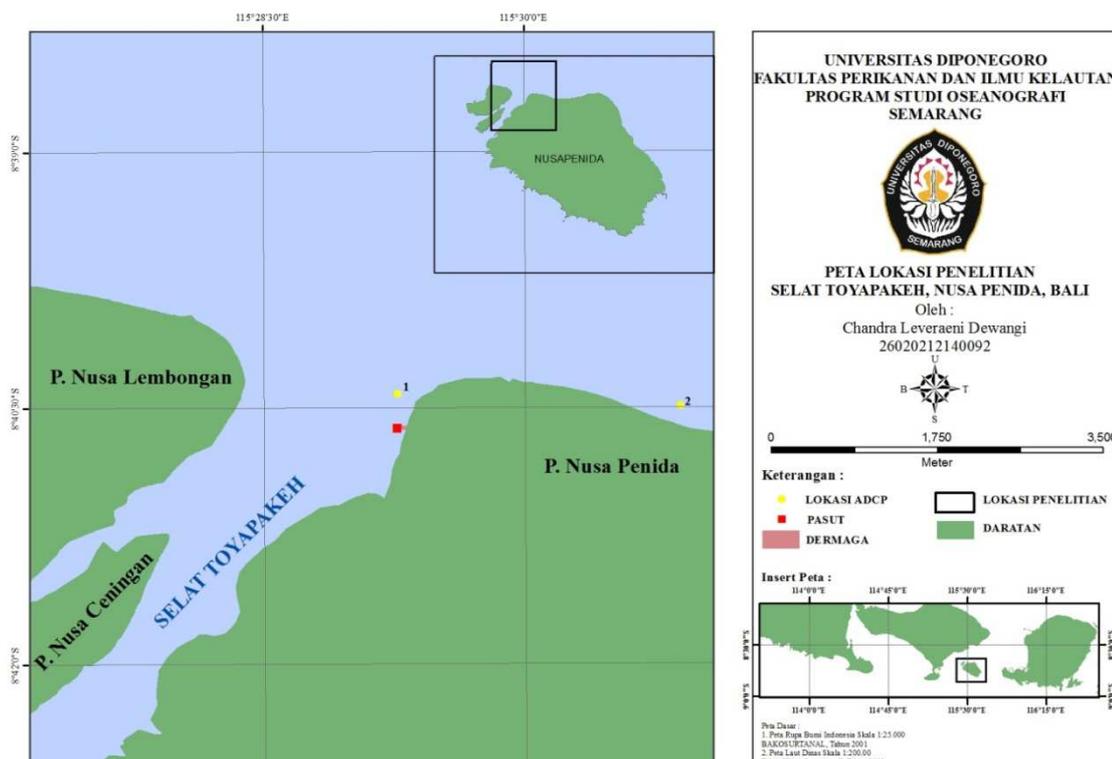
Materi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data primer yaitu data arus laut dan data pasang surut. Data sekunder berupa Peta Batimetri Selat Lombok Skala 1:200.000 (DISHIDROS TNI-AL, 2003).

Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif, dimana data penelitian berupa angka-angka dan analisis menggunakan statistika atau model. Metode kuantitatif merupakan metode ilmiah karena telah memenuhi kaidah – kaidah ilmiah konkret, obyektif, terukur, rasional dan sistematis (Sugiyono, 2009).

Metode Penentuan Lokasi

Metode penentuan lokasi pengukuran arus dan pasang surut menggunakan *cluster sampling*, yaitu teknik sampling daerah untuk menentukan lokasi pengukuran bila daerah yang diamati sangat luas. Melalui metode ini, peneliti cukup meneliti sebagian dari daerah agar parameter yang diperoleh dapat menggambarkan karakteristik parameter yang diwakili secara representatif, dimana pemilihannya harus memperhatikan syarat-syarat yang harus dipenuhi secara metodologis (Fathoni, 2006). Peta lokasi penelitian beserta lokasi stasiun pengamatan arus laut tersaji dalam Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Metode Pengambilan Data

Metode *eularian* digunakan dalam pengukuran arus laut dengan ADCP Argonaut SonTek XR di lokasi pertama dan menggunakan ADCP Nortek Continental di lokasi kedua. ADCP di lokasi pertama diletakkan pada kedalaman kurang lebih 20 meter dan kurang lebih 30 meter di lokasi kedua. Perekaman dilakukan selama 22x24 jam dengan interval 20 menit di lokasi pertama dan 15 menit di lokasi kedua.

Pengamatan elevasi muka air dalam menentukan pasang surut dilaksanakan selama 30 hari menggunakan *tide gauge* dan palem pasut dengan interval pengambilan data selama 1 jam.

Metode Pengolahan dan Analisis Data

Data arus yang diperoleh dari pengukuran lapangan kemudian disajikan dalam bentuk grafik *time series*, *scatter plot*, *stick plot*, dan *current rose*. Data arus pengukuran lapangan yang merupakan arus total kemudian dipisahkan agar mengetahui kontribusi besarnya arus pasut dan non pasut. Simulasi numerik arus laut menggunakan *software MIKE 21 Flow Model FM (Flexibel Misch)*.

Data pasang surut diolah menggunakan metode *admiralty* dan menghasilkan komponen pasang surut. Komponen pasang surut ini kemudian digunakan untuk mengetahui MSL, HHWL, LLWL dan tipe pasang surut. Hasil pengolahan *admiralty* ini akan digunakan untuk kalibrasi model MIKE 21.

Jumlah daya yang tersedia dalam arus dapat dihitung melalui persamaan Fraenkel (2001), seperti berikut :

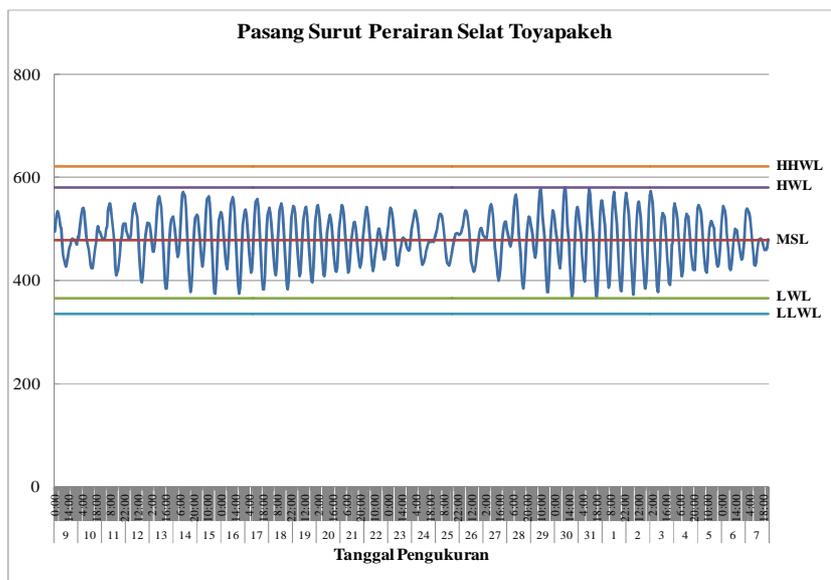
$$P = \rho \times 0,5 \times A \times V^3$$

di mana P adalah daya (Watt); ρ adalah densitas air laut (kg/m^3); A adalah luas penampang turbin yang digunakan (m^2); dan V adalah kecepatan arus laut (m/dt). Nilai densitas air laut yang digunakan adalah sama 1025 kg/m^3 Luas penampang turbin (A) dianggap 1m^2 sehingga variabel yang paling berpengaruh dalam proses perhitungan konversi menjadi arus listrik adalah kecepatan arus dan luas turbin (Fraenkel, 2001).

HASIL

Pasang Surut

Berdasarkan analisis data pasang surut, tipe pasang surut Perairan Selat Toyapakeh adalah campuran condong harian ganda (*Mixed Tide Prevailing Semidiurnal*) dengan nilai *formzahl* 0,53 ($0,25 < f < 1,25$). Nilai tinggi muka air rata-rata (MSL) 478,61cm, tinggi muka air tinggi (HHWL) 621,44 cm, dan tinggi muka air rendah (LLWL) 335,77cm seperti yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Fluktuasi Muka Air Perairan Selat Toyapakeh

Arus Laut

Berdasarkan analisis data lapangan diperoleh data kecepatan arus maksimum, minimum, dan rata-rata lokasi pengukuran I yang disajikan pada Tabel 1. Kecepatan arus maksimum terdapat pada bagian kedalaman permukaan laut, yakni ± 2 m. Kecepatan arus maksimum terdapat pada kedalaman permukaan laut (± 2 m), yaitu 5,132 m/det dan arah arus $40,5^\circ$ yang bergerak menuju arah utara relatif ke timur laut.

Tabel 1. Arus Maksimum dan Minimum pada Lokasi Pengukuran I

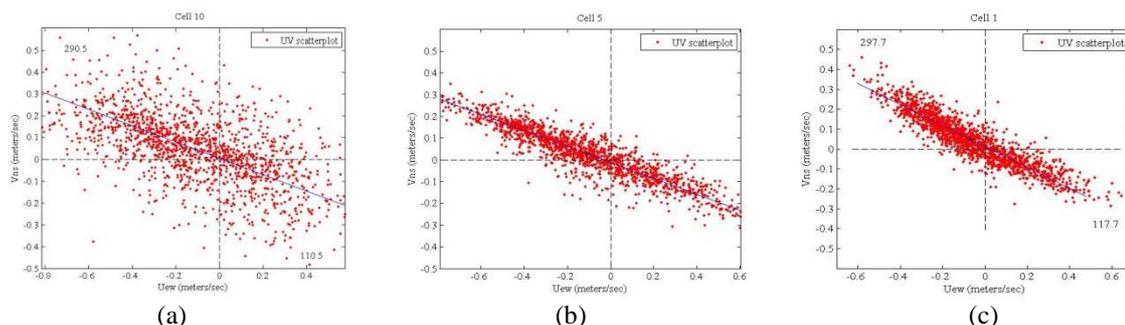
Kedalaman Kolom Air Laut	Maksimum		Minimum		Rata-rata (m/det)
	Kecepatan Arus (m/det)	Arah Arus ($^\circ$)	Kecepatan Arus (m/det)	Arah Arus ($^\circ$)	
Permukaan	5,132	40,5 (U-TL)	0,004	56,2 (TL-T)	2,568
Tengah	1,584	165,1 (TG-S)	0,005	58,6 (TL-T)	0,794
Dasar	1,226	291,2 (B-BL)	0,009	154,2 (TG-S)	0,617

Kecepatan arus maksimum lokasi pengukuran II terdapat di kedalaman kolom air permukaan (± 3 m) dengan kecepatan 2,727 m/det dan arah $271,13^\circ$ (barat-barat laut).

Tabel 2. Arus Maksimum dan Minimum pada Lokasi Pengukuran II

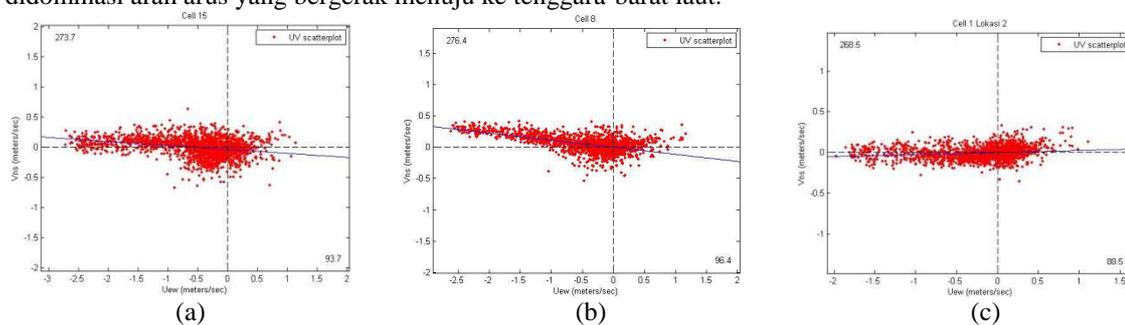
Kedalaman Kolom Air Laut	Maksimum		Minimum		Rata-rata (m/det)
	Kecepatan Arus (m/det)	Arah Arus ($^\circ$)	Kecepatan Arus (m/det)	Arah Arus ($^\circ$)	
Permukaan	2,727	271,13 (B-BL)	0,030	109,65 (TG-S)	1,378
Tengah	2,632	275,82 (B-BL)	0,012	175,24 (TG-S)	1,322
Dasar	2,399	75,82 (B-BL)	0,006	341,57 (S-BD)	1,172

Berdasarkan hasil pengolahan data arus menggunakan *World Current 1.03* di lokasi pengukuran I diperoleh *scatter plot* pada lapisan permukaan, tengah, dan dasar perairan. Gambar 3a terlihat grafik sebaran arah arus yang cenderung bergerak relatif menuju barat laut dan bergerak ke utara. Gambar 3b dan 3c juga menunjukkan bahwa arus yang terjadi di Selat Toyapakeh melakukan pola pergerakan 2 arah (*bi-directional*) yakni ke arah tenggara-barat laut.



Gambar 3. Scatter Plot Komponen U V pada (a) Permukaan; (b) Tengah; (c) Dasar

Gambar 4a menunjukkan grafik sebaran arah arus cenderung bergerak ke arah timur relatif menuju arah tenggara dan arah barat relatif menuju ke arah barat laut. Gambar 4b dan 4c juga menunjukkan bahwa arus di Selat Toyapakeh melakukan pola pergerakan 2 arah (*bi-directional*) yakni didominasi arah arus yang bergerak menuju ke tenggara-barat laut.

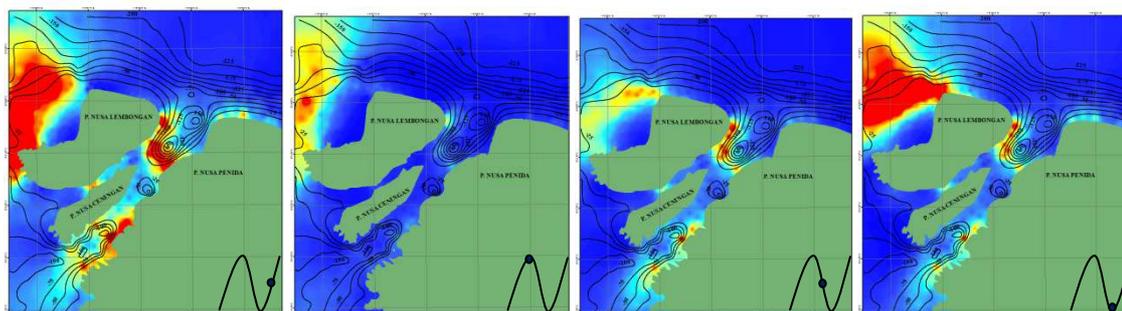


Gambar 4. Scatter Plot Komponen U V pada (a) Permukaan; (b) Tengah; (c) Dasar

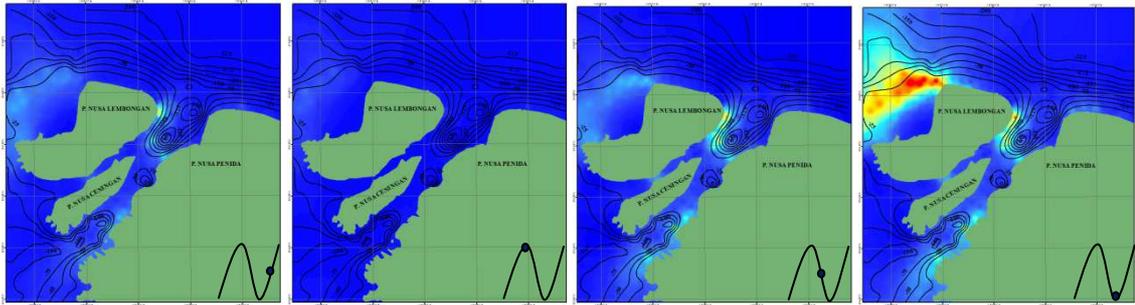
Jenis arus di perairan Selat Toyapakeh adalah arus pasang surut. Hasil presentasi berdasarkan *World Current* untuk nilai astronomi adalah 57,28% untuk lokasi pengukuran I dan 51,22% untuk lokasi pengukuran II. Nilai presentase ini memperlihatkan faktor penggerak arus di perairan Selat Toyapakeh dominan dipengaruhi oleh pasang surut.

Potensi Arus

Daerah rapat daya dibagi menjadi 2 keadaan utama pasang surut, yaitu pasang surut purnama (Gambar 5) dan pasang surut perbani (Gambar 6) kemudian masing-masing dibagi menjadi empat kondisi pasang surut. Daerah berwarna merah adalah daerah yang menghasilkan rapat daya tinggi.



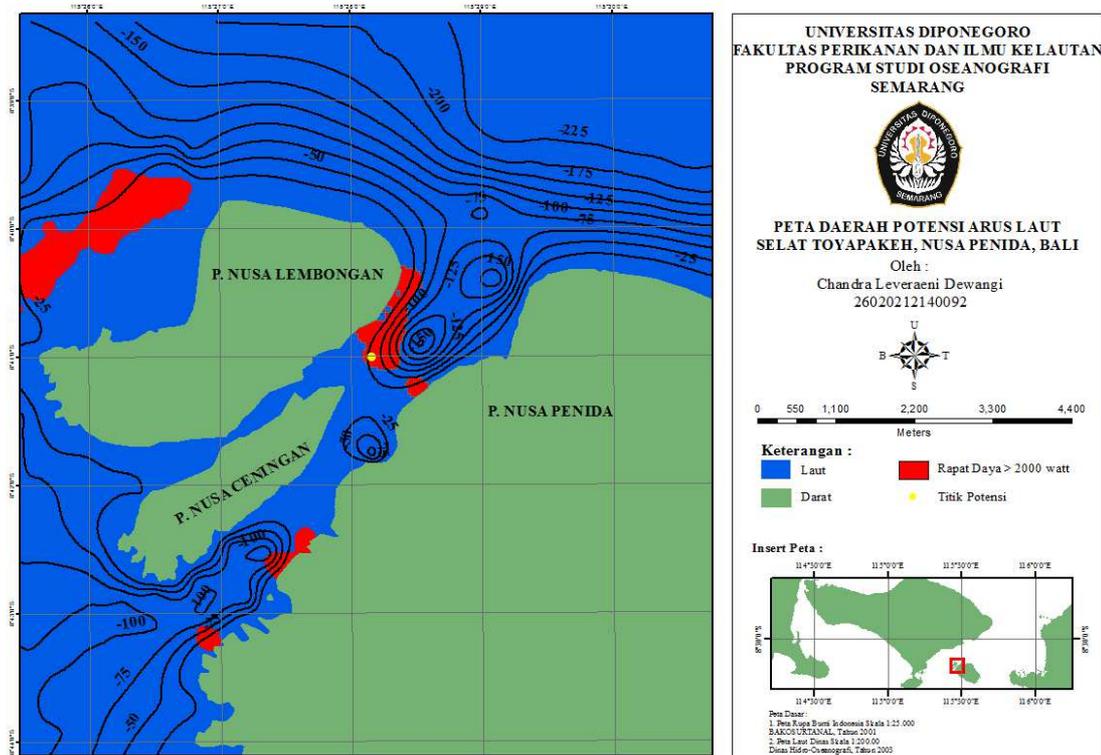
Gambar 5. Rapat Daya Kondisi Pasang Surut Purnama



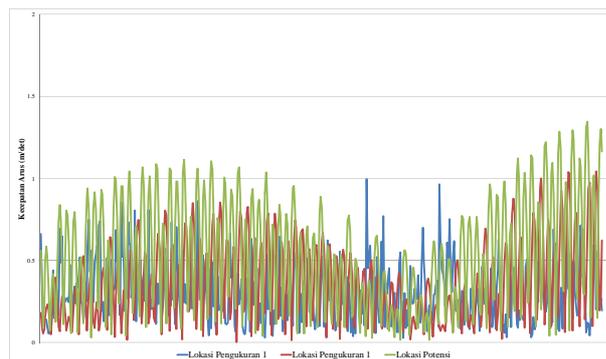
Gambar 6. Rapat Daya Kondisi Pasang Surut Perbani

Kondisi pasang surut purnama menghasilkan rapat daya yang lebih besar daripada kondisi pasang surut perbani. Saat pasang menuju surut ataupun surut menuju pasang, rapat daya yang dihasilkan juga lebih besar daripada saat pasang tertinggi ataupun surut terendah.

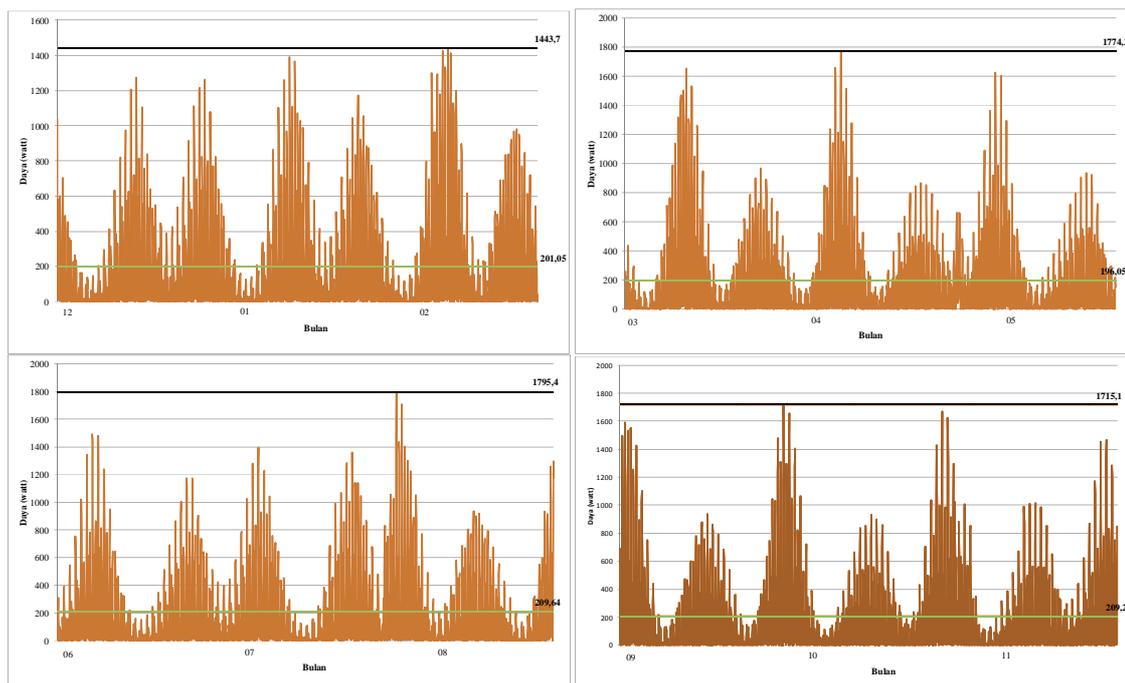
Berdasarkan sebaran rapat daya yang telah ditampilkan sebelumnya, maka dapat ditentukan lokasi arus laut yang memiliki rapat daya besar. Lokasi potensi terletak pada koordinat $115^{\circ}27'51,903''$ - $115^{\circ}28'34,387''$ BT dan $8^{\circ}40'15,430''$ - $8^{\circ}41'7,045''$ LS, yaitu berada di bagian barat pulau Nusa Penida, bagian timur laut pulau Nusa Ceningan, dan bagian timur pulau Nusa Lembongan. Luas daerah potensi sebesar $0,6 \text{ km}^2$. Daerah rapat daya ditunjukkan dalam Gambar 6.



Gambar 7. Lokasi Potensi Energi Arus Laut

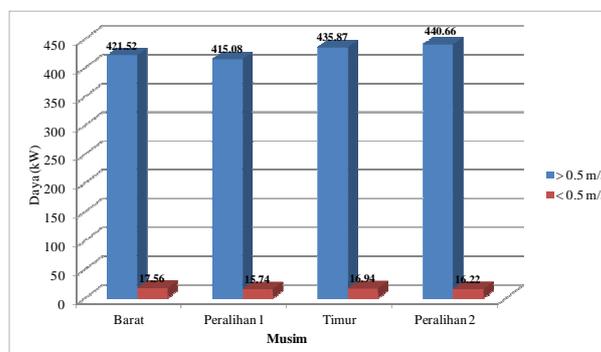


Gambar 8. Perbandingan Kecepatan Arus Pengukuran 1,2, dan Titik Potensi



Gambar 9. Rapat Daya Tiap Musim di Titik Potensi

Perhitungan konversi kecepatan arus menjadi daya di titik potensi dalam penelitian ini dibagi menjadi 4 kajian musim. Rapat daya tertinggi dihasilkan di musim timur dan rapat daya terendah di musim peralihan 1.



Gambar 10. Perbandingan Potensi Daya berdasarkan Kecepatan Arus

Gambar 10 menunjukkan daya yang dihasilkan tiap musim di titik potensi dengan mempertimbangkan *cut in speed* dan tanpa mempertimbangkan *cut in speed*. Musim peralihan 2 menghasilkan jumlah daya yang terbesar tanpa mempertimbangkan *cut in speed* yakni sebesar 440,66 kW. Musim barat menghasilkan jumlah daya terbesar dengan mempertimbangkan *cut in speed* yakni sebesar 17,56 kW.

PEMBAHASAN

Analisis data lapangan menunjukkan kecepatan arus di lokasi II lebih besar daripada lokasi I karena lokasi II terletak lebih dekat dengan Selat Lombok sehingga arus di lokasi ini lebih terpengaruh oleh aliran arus dari Selat Lombok. Arief (1992) dalam Utami (2006) menyatakan bahwa kecepatan arus Selat Lombok bertambah secara jelas ke daerah *sill* yang terletak di antara Pulau Nusa Penida dan Pulau Lombok dengan kecepatan maksimum mencapai 4 m/det. Kecepatan arus di daerah ini lebih kurang dua kali kecepatan arus di pertengahan Selat Lombok.

Jenis arus di perairan Selat Toyapakeh adalah arus pasang surut. Distribusi arah arus Selat Toyapakeh di kedalaman permukaan lebih menyebar bila dibandingkan dengan kedalaman tengah ataupun dasar. Hal ini dikarenakan arus di permukaan laut dominan dipengaruhi oleh angin. Arah arus menggambarkan gerakan 2 arah (*bi-directional*) yaitu tenggara – barat laut. Arah arus tersebut terbentuk

karena perubahan elevasi muka air. Sesuai dengan pernyataan Poerbandono dan Djunarsjah (2005) bahwa arus pasang surut mempunyai arah sifat bergerak bellawanan dari arah menuju pantai.

Spasial rapat daya saat pasang menuju surut purnama dan saat surut menuju pasang purnama menunjukkan potensi yang besar karena kecepatan arus saat kondisi tersebut tinggi. Poerbandono dan Djunarsjah (2005), kecepatan arus pasang surut maksimum terjadi pada saat-saat antara air tinggi dan air rendah. Semakin besar kecepatan arusnya, maka daya yang tercipta juga semakin besar. Hagerman (2006) menyebutkan bahwa kecepatan arus berbanding lurus terhadap rapat daya yang dihasilkan.

Daerah potensi terletak di sebelah barat pulau Nusa Penida, sebelah timur laut Pulau Ceningan dan sebelah timur Pulau Nusa Lembongan. Daerah ini berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai lokasi penempatan turbin pembangkit listrik tenaga arus laut karena arenanya yang cukup luas, morfologi tidak terlalu curam serta kecepatan arus dan distribusi terhadap kedalaman memenuhi syarat. Kedalaman laut daerah ini berkisar antara 5 – 50 m. Yuningsih *et al.* (2014), morfologi pantai timur Nusa Lembongan relatif datar dan tidak terlalu curam serta daerah ini relatif aman dari gelombang.

Konversi kecepatan arus menjadi rapat daya menunjukkan hasil yang tinggi di musim timur daripada ketiga musim yang lain. Hal ini karena arus di lokasi penelitian yang masih dipengaruhi ARLINDO memiliki kecepatan yang tinggi di musim timur. Sesuai pernyataan Wyrcki (1987) dalam Safitri *et al.* (2012), aliran tertinggi ARLINDO ditemukan pada saat munson tenggara (musim timur) yaitu selama Juni hingga Agustus.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa tipe arus laut di Selat Toyapakeh adalah arus pasang surut yang bergerak ke arah tenggara saat pasang dan ke arah barat daya saat surut. Selat Toyapakeh berpotensi dalam pemanfaatan energi arus laut. Daya rata – rata yang dihasilkan di titik potensi adalah 16,6 kW dan 66,47 kW per tahun dengan mempertimbangkan *cut in speed* turbin.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral yang telah mengizinkan penulis bergabung dalam kegiatan Survey.

DAFTAR PUSTAKA

- Fathoni, A. 2006. Metodologi Penelitian & Teknik Penyusunan Skripsi. MPT Rineka Cipta, Jakarta
- Fraenkel, P.L. 2001. Power from Marine Currents. Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers. Journal of Power and Energy., 216(A1): 1–14.
- Hagerman, G. 2006. EPRI North American Tidal In Stream Power Feasibility Demonstration Project: Methodology for Estimating Tidal Current Energy Resource and Power Production by Tidal Stream Energy Conversion (TISEC) Device. EPRI. America.
- Kementerian Energi Dan Sumberdaya Mineral. 2012. Kajian Indonesia Energy Outlook. 95 hlm.
- Nugroho, P.S.S., I.M.Y Negara dan I.G.N.S Hernanda. 2014. Studi Keandalan Sistem Distribusi yang Terhubung ke Photovoltaic Menggunakan Metode Monte Carlo di PT. PLN (Persero) Distribusi Nusa Penida – Bali. Proceeding Seminar Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro, pp. 1-6.
- Poerbandono dan E. Djunarsjah. 2005. Survei Hidrografi. Refika Aditama, Bandung, 166 hlm.
- Safitri, M., Cahyarini, S.Y., dan M.R. Putri. 2012. Variasi Arus ARLINDO dan Parameter Oseanografi di Laut Timur sebagai Indikasi Kejadian ENSO. Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis 4 (2), : 369-377.
- Sugiyono. 2009. Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif & RND. Alfabeta, Bandung, 455 hlm.
- Utami, I.N. 2006. Studi Karakteristik dan Aliran Massa Air pada Musim Barat dan Musim Timur di Perairan Selat Lombok. Program Studi Ilmu dan Teknologi Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Yuningsih, A. 2014. Laporan Akhir Kajian Teknis Pembangunan Pilot Plant Energi Arus Laut di Selat Toyapakeh, Nusa Penida, Bali. Puslitbang Geologi Kelautan, Bandung, 84 hlm.