

PEMODELAN DUA DIMENSI HIDRODINAMIKA UNTUK MENGESTIMASI POTENSI ENERGI ARUS LAUT DI SELAT SUNDA, SELAT BALI DAN SELAT SAPE

Juventus Welly¹, Fitri Riandini², Teti Kurniati³

^{1,3}) Balai Pantai Pusat Litbang Sumber Daya Air
Jalan Sapan No. 37 Ciparay, Kabupaten Bandung

²) Peneliti Muda Bidang Rawa dan Pantai, Pusat Litbang Sumber Daya Air
Email : juventus_welly@yahoo.com

Diterima : Juni 2010; Disetujui

ABSTRAK

Penelitian untuk mengestimasi potensi energi yang dihasilkan oleh arus laut dilakukan menggunakan model hidrodinamika 2 dimensi. Luasnya perairan Indonesia memberikan keuntungan untuk memanfaatkan potensi energi yang dihasilkan oleh pasang surut, gelombang dan arus laut. Pada selat atau tempat-tempat lain yang mengalami penyempitan, arus laut akan sangat kuat sehingga sangat potensial untuk dimanfaatkan energinya. Studi potensi arus laut dilaksanakan di Selat Sunda, Selat Bali, dan Selat Sape (Nusa Tenggara Barat). Potensi energi dari arus laut diambil dengan menghitung persentase kejadian kecepatan arus yang lebih besar dari 1 m/s. Dari hasil simulasi diperoleh kecepatan maksimum arus terjadi pada saat purnama dengan kondisi pasang menuju surut dan surut menuju pasang. Di Selat Sunda, lokasi yang mempunyai persentase yang cukup besar berada di sebelah Timur Pulau Panjurit, di Selat Bali berada sebelah barat Tanjung Batulicin, dan di Selat Sape daerah antara Pulau Matagateh dan Pulau Sapekah. Pada masing-masing lokasi tersebut, persentase kejadian arus maksimum berkisar antara 40 – 70% selama satu tahun.

Kata kunci : Simulasi arus, model hidrodinamika 2D, energi terbarukan, potensi arus laut, potensi energi

ABSTRACT

Research to estimate the potential energy generated by ocean currents was done by using two-dimensional hydrodynamic models. The breadth of the waters of Indonesia provides the advantage to tap the potential energy generated by tides, waves and ocean currents. In narrowed straits, bays or other places ocean currents can be very strong and potential for energy utilization. Studies were conducted on the potential of ocean currents in the Sunda, Bali and Sape (East Nusa Tenggara) Straits. Flow velocity potential is used to calculate the percentage of incident flow velocity greater than 1 m/s. The simulation results indicated that maximum flow velocity occurred at full moon with a condition from ebb to tide and low tide to tide. locations showing a large enough percentage are the Sunda Strait east of Panjurit Island, Bali Strait west of Tanjung Batulicin, and Sape Strait between the islands Matagateh and Sapekah. For each location, the percentage of maximum current events during one year ranged from 40% to 70%.

Keywords: Current simulation, 2D hydrodynamic model, renewable energy, potential flow velocity, potential energy

PENDAHULUAN

Krisis energi yang terjadi saat ini membuat energi alternatif merupakan pilihan yang layak untuk dikembangkan dan diimplementasikan guna menggantikan energi fosil. Salah satu strategi pengembangan energi nasional adalah dengan meningkatkan pemanfaatan energi baru dan terbarukan. Gambar 1 memperlihatkan persentase penggunaan energi sampai dengan tahun 2025 (*Blue Print* Pengelolaan Energi, 2006). Sampai saat ini lebih dari 95% penggunaan energi bersumber pada energi fosil dan hanya sekitar 5% merupakan energi non-fosil, yaitu geothermal dan tenaga air. Berdasarkan Peraturan Presiden No. 5 tahun 2006 tentang pengelolaan energi, disusun

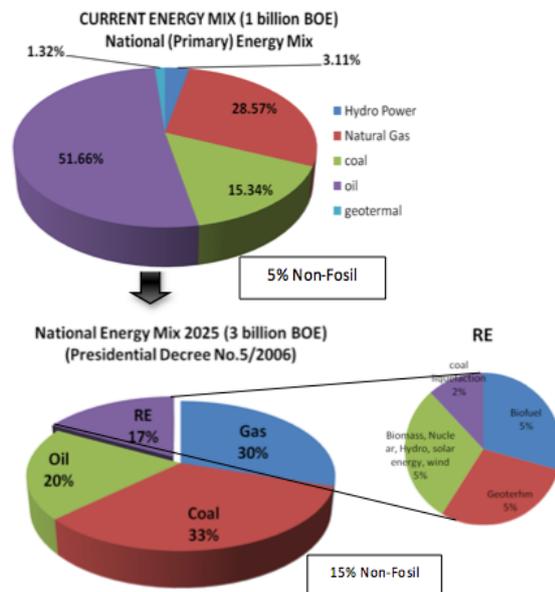
Blue Print Pengelolaan Energi sampai tahun 2025 yang memutuskan bahwa persentase penggunaan energi non-fosil harus ditingkatkan hingga mencapai 17%. Berdasarkan persentase tersebut, energi non-fosil yang diharapkan menjadi energi terbarukan terdiri dari 5% *biofuell*, 5% *geothermal*, 2% *coal liquefaction* dan 5% jenis-jenis energi biomassa, nuklir, hidro, surya, angin, pasang surut, gelombang, *Ocean Thermal Energi Corversion* (OTEC), arus laut dan algae.

Sebagai negara kepulauan yang memiliki wilayah lautan sekitar 70% dari total wilayahnya, secara teoritis Indonesia memiliki potensi sumber energi yang besar untuk pengembangan energi dari pasang surut, arus, dan gelombang.

Seperti telah dijelaskan, salah satu sumber energi laut yang potensial untuk dikembangkan adalah arus laut. Pada selat dan tempat-tempat lainnya dimana topografi mengalami penyempitan, arus laut akan sangat kuat sehingga sangat potensial untuk dimanfaatkan energinya. Sumber energi tersebut akan menghasilkan efisiensi energi yang layak baik segi ekonomi maupun teknis jika parameter-parameter minimal hidroosenografi terpenuhi.

Kecepatan arus pasang surut di pantai-pantai perairan Indonesia umumnya kurang dari 1,5 m/s, kecuali di selat-selat di antara pulau-pulau Bali, Lombok, dan Nusa Tenggara Timur, kecepatannya bisa mencapai 2,5 - 3,4 m/s. Arus pasang surut terkuat yang tercatat di Indonesia adalah di Selat antara Pulau Taliabu dan Pulau Mangole di Kepulauan Sula, Propinsi Maluku Utara, dengan kecepatan 5,0 m/s. Berbeda dengan energi gelombang laut yang hanya terjadi pada kolom air di lapisan permukaan saja, arus laut bisa terjadi pada lapisan yang lebih dalam. Kelebihan karakter fisik ini memberikan peluang yang lebih optimal dalam pemanfaatan konversi energi listrik.

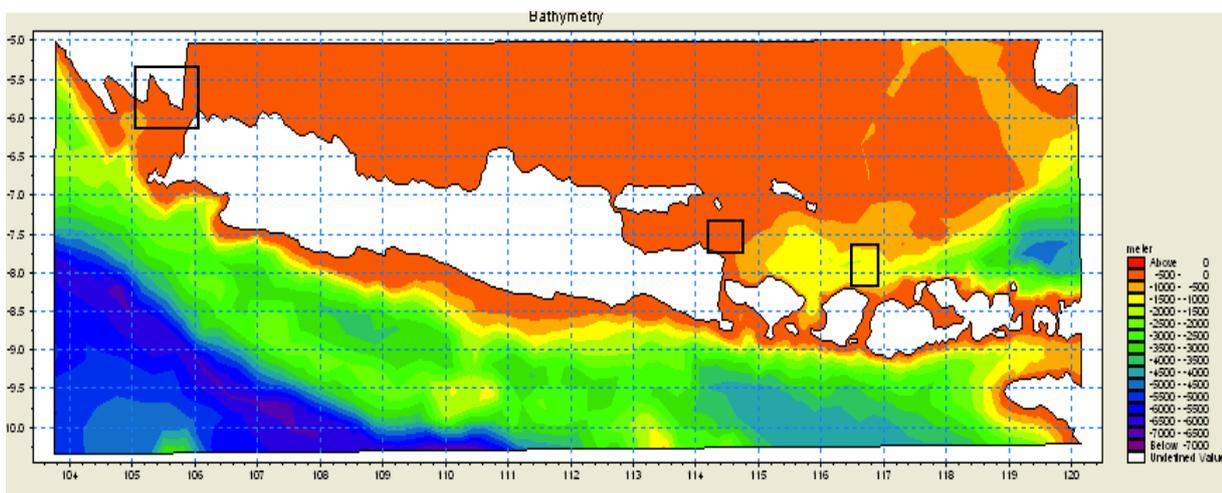
Gambar 2 memperlihatkan lokasi penelitian yaitu di perairan di sekitar pulau Jawa, Bali dan Nusa Tenggara Barat, meliputi daerah Selat Sunda, Selat Bali, dan Selat Sape. Pengumpulan data sekunder berupa data batimetri diperoleh dari DISHIDROS (Dinas Hidro Oseanografi) TNI AL dan data angin yang diekstrak dari NCEP. Selanjutnya dilakukan survei lapangan untuk pengumpulan data primer, yaitu dengan melakukan pengukuran arus laut di lokasi tersebut.



(Sumber : Blue Print Pengelolaan Energi, 2006)

Gambar 1 Persentase Penggunaan Energi

Pemodelan numerik arus laut global untuk daerah Pulau Jawa, Pulau Bali, dan Pulau NTB menggunakan perangkat lunak MIKE 21. Dari hasil model global dilihat lokasi-lokasi dengan kecepatan arus yang dianggap cukup besar, yaitu lebih dari 1 m/s. Dari hasil model global dilakukan *downscaling* untuk memodelkan arus laut di lokasi Selat Sunda, Selat Bali, dan Selat Sape menggunakan syarat batas yang diperoleh dari hasil model global, kemudian dilakukan verifikasi model arus di semua lokasi tersebut. Selanjutnya kita dapat menganalisis hasil model arus dan menghitung potensial kecepatan arus laut. Setelah mengetahui potensi arus laut, tahap selanjutnya adalah membuat peta potensial arus.



Gambar 2 Gambar Lokasi Daerah Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi kecepatan arus laut yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan pemanfaatan energi arus sebagai pembangkit energi listrik, sedangkan sasarannya adalah peta potensi kecepatan arus laut di sekitar pulau Jawa, Bali, dan NTB.

TINJAUAN PUSTAKA

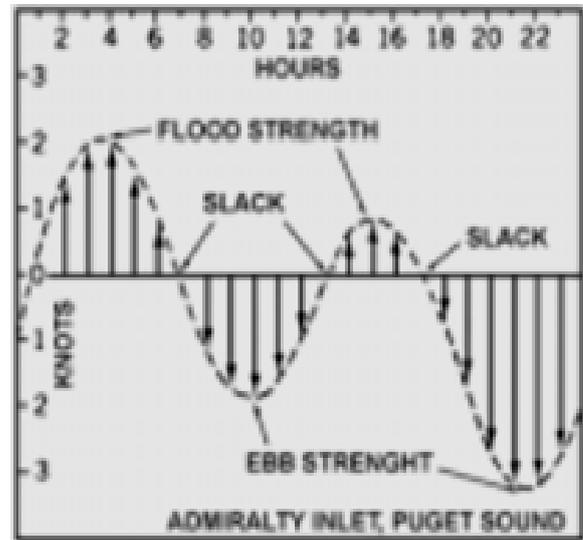
1 Dasar Teori Arus

Arus laut adalah gerakan massa air laut yang berpindah dari suatu posisi ke posisi yang berbeda. Secara umum arus laut dapat dibagi menjadi dua berdasarkan penyebab utamanya yaitu: arus pasang surut (pasut) dan arus-arus lain yang disebabkan oleh perbedaan suhu, salinitas, tekanan, angin, dan lain-lain. Arus karena perbedaan salinitas terjadi di kedalaman laut dan tidak dapat dilihat gejalanya dari permukaan laut. Di permukaan samudera, arus laut terjadi terutama karena tiupan angin. Arus yang terjadi di permukaan samudera memiliki pola-pola tertentu yang tetap. Di tempat-tempat tertentu arus laut terjadi karena perbedaan ketinggian permukaan samudera. Untuk daerah di sekitar teluk-teluk atau muara sungai, arus dipengaruhi oleh pasang surut. Pada lokasi tersebut, arus terjadi dalam dua arah yaitu yang disebut sebagai *flood* dan *ebb current*. *Flood current* ini akan terjadi pada arah pasang dan *ebb current* akan terjadi ke arah surut. Pada periode tertentu, kecepatan arusnya minimum (disebut *slack water*) yaitu ketika alirannya berbalik arah (Gambar 3).

Pada tempat dimana laut mengalami penyempitan, arus laut menjadi sangat kuat sehingga energinya sangat potensial untuk dimanfaatkan. Gerakan arus laut dapat dikonversikan menjadi energi listrik dengan cara memasang baling-baling di laut. Baling-baling tersebut kemudian menggerakkan turbin yang dapat menghasilkan energi listrik. Teknologi yang digunakan bekerja dengan cara mengkonversi energi kinetik dari arus laut ke energi listrik. Cara tersebut, tidak dapat dilakukan dengan menghalangi seluruh jalan dari arus. Jika jalan arus dihalangi seluruhnya, maka energi yang ada tidak dapat diambil atau bahkan dapat merusak ekosistem yang ada.

Secara global laut mempunyai sumber energi arus yang sangat besar, diperkirakan sekitar $2,8 \times 10^{14}$ (280 Triliun) Watt-jam (Duxbury *et.al.*, 2000), dan Indonesia merupakan negara maritim yang memiliki potensi yang besar untuk pengembangan energi alternatif dari laut ini. Salah satu metode dalam perhitungan energi dari arus laut ini, adalah perhitungan energi yang dilakukan oleh Fraenkel dengan menghitung rapat daya

dimana aliran yang melewati suatu penampang dengan luas A (m²) yang diilustrasikan pada Gambar 4.



Gambar 3 Profil Kecepatan Arus Pasang Surut pada Perairan Sempit (Bowditch, 1995)

Daya yang dapat dihasilkan dari suatu aliran air yang mengalir melewati suatu penampang A dalam arah tegak lurus permukaan dapat diformulasikan menjadi persamaan matematika sebagai berikut (Fraenkel, 1999) :

$$\left(\frac{P}{A}\right)_{water} = \frac{1}{2} \rho |v|^3 \quad (1)$$

Keterangan :

P adalah rapat daya (power density, watt/m²)

A adalah luas penampang (m²)

ρ adalah rapat massa air laut (1025 kg/m³)

v adalah kecepatan aliran (m/s)

Tabel 1 memperlihatkan perbandingan rapat daya yang dihasilkan dari energi arus, angin dan sinar matahari berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Peter Fraenkel (1999).

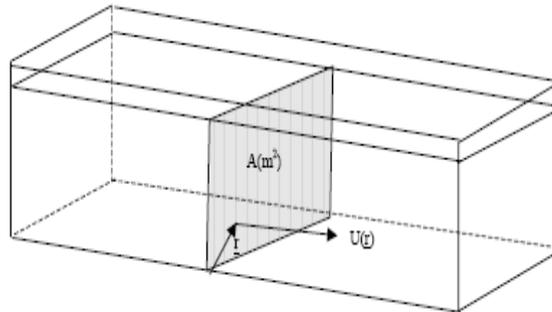
2 Potensi Energi Arus Laut

Arus laut adalah gerakan massa air laut yang memiliki energi kinetik untuk digunakan sebagai penggerak rotor atau turbin pembangkit tenaga listrik. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengkonversi gerakan turbin menjadi energi listrik adalah *Marine Current Turbin* yang bekerja menyerupai pembangkit listrik tenaga angin, namun ditempatkan di dalam air.

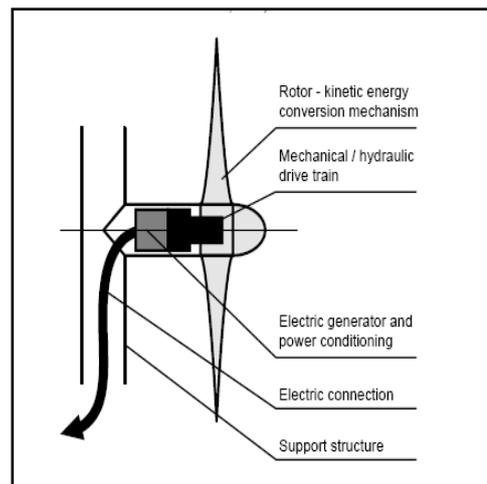
Secara umum layout teknologi konverter dari instalasi turbin arus laut terdiri dari rotor yang berfungsi untuk penggerak generator yang kemudian terhubung oleh *electrical connection* seperti kabel seperti yang terlihat pada Gambar 5.

Tabel 1 Perbandingan Rapat Daya (Fraenkel, P., 1999)

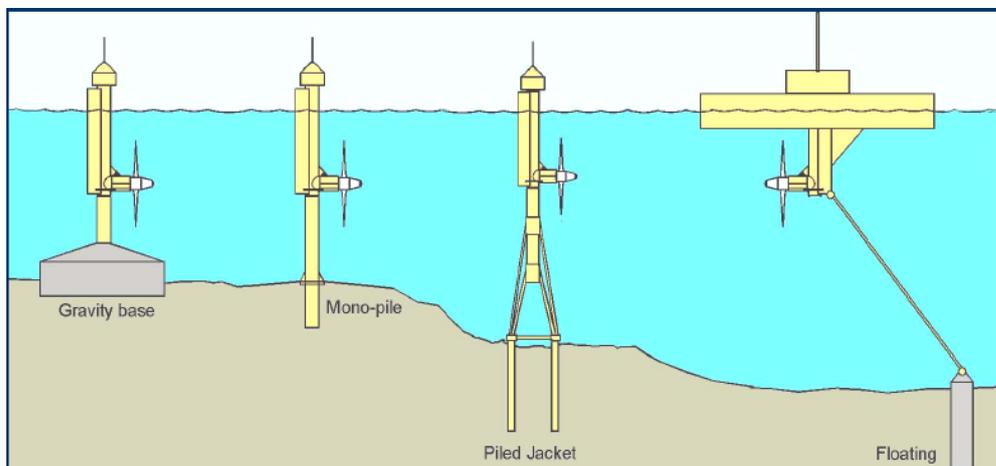
Sumber Energi	Arus Laut					Angin	Matahari
Kecepatan (m/s)	1	1,5	2	2,5	3	13	peak at noon
Kecepatan (knots)	1,3	2,9	3,9	4,9	5,8	25,3	
Rapat daya (kW/m ²)	0,52	1,74	4,12	8,05	13,91	1,37	~10



Gambar 4 Aliran yang Melewati Suatu Penampang A. (Boud, 2003)



Gambar 5 Skema Teknologi Konverter Energi Arus Laut (Boud, 2003)



Gambar 6 Beberapa Metode Instalasi Turbin Arus Laut: Gravity Base, Mono Pile, Jacket Pile dan Floating. (Fraenkel, P., 1999)

Beberapa jenis sistem instalasi yang dapat digunakan yaitu: *gravity base*, *monopile*, *jacketed pile* dan *floating*. Ilustrasi sistem keempat jenis sistem instalasi turbin arus tersebut diperlihatkan oleh Gambar 6.

3 Studi terdahulu

Rachmayani, dkk. (2006) telah melakukan penelitian mengenai potensi energi arus laut di Selat Bali, Lombok, dan Makasar. Simulasi arus laut secara horizontal dan vertikal dilakukan dengan menggunakan model hidrodinamika 3 dimensi, *Princeton Ocean Model* (1977). Selanjutnya dihitung estimasi potensial energi arus laut dengan menggunakan persamaan Fraenkel (1999). Berdasarkan estimasi tersebut dilakukan prediksi lokasi pembangkit listrik berdasarkan rapat daya di lokasi penelitian. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kecepatan arus laut di Selat Makasar berkisar antara 0,23 – 1,95 m/s, Selat Bali antara 0,04 – 1,99 m/s, dan Selat Lombok antara 0,19–2,16 m/s. Rapat daya yang dihasilkan untuk masing-masing lokasi adalah 0,72 – 9,74 kwh/m², 0,01 – 28,72 kwh/m², dan 70,96 – 596,40 kwh/m². Berdasarkan penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa pasang surut dan angin adalah penyebab utama terjadinya variasi rapat daya di lokasi penelitian. Pada saat purnama (*spring tide*), rapat daya lebih besar dibandingkan saat perbani (*neap tide*) karena kecepatan arusnya lebih besar.

Bachtiar (2009) telah melakukan penelitian mengenai potensi energi arus laut di selat Alas. Asumsi yang digunakan adalah bahwa kecepatan arus minimum yang diperlukan oleh pembangkit listrik (*power plant*) untuk membangkitkan listrik adalah 0,5 m/s. Hasil analisis potensi energi arus laut menunjukkan bahwa daerah yang berpotensi untuk penempatan *power plant* adalah sisi sebelah Barat Selat Alas di dekat pantai. Pada lokasi tersebut, durasi kecepatan minimum pada kondisi pasut perbani terjadi selama 12 jam dengan rapat daya yang dihasilkan sebesar 5,4 kW/m² dan pada saat pasut purnama terjadi selama 8 jam dengan daya yang dihasilkan sebesar 12,4 kW/m². Sedangkan, di sisi Timur selat untuk durasi kecepatan minimum pada saat pasut perbani terjadi selama 13 jam dengan daya yang dihasilkan 0,9 kW/m² dan pada saat pasut purnama selama 11 jam dengan rapat daya yang dihasilkan 1,5 kW/m².

Ramadhan (2010) telah melakukan studi estimasi energi yang dihasilkan arus pasang surut di selat Alas menggunakan model hidrodinamika 3 dimensi, MIKE3D. Simulasi dilakukan selama satu tahun, untuk mengetahui persentase kejadian arus yang diprediksi dapat memutar turbin untuk menghasilkan arus laut. Dari hasil simulasi diperoleh kecepatan arus maksimum pada kondisi

pasang menuju surut purnama dan kondisi surut menuju pasang purnama dengan kecepatan arus mencapai 2,9 m/s dan 2,7 m/s. Rapat daya yang dihasilkan masing-masing mencapai 8592,1 watt/m² dan 6222,8 watt/m². Selama satu tahun simulasi, diperoleh durasi kejadian kecepatan arus antara 0,0 – 0,5 m/s sebanyak 26%, sedangkan kecepatan arus > 0,5 m/s sebanyak 74%.

METODOLOGI

1 Asumsi dasar

- Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini:
- Kecepatan arus yang cukup besar terdapat di daerah selat yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai pembangkit listrik tenaga arus laut
 - Model kecepatan arus berdasarkan arus pasang surut sedangkan arus non pasang surut dihitung dari perbedaan elevasi muka air di utara dan selatan. Pengaruh angin tidak dimasukkan dalam model arus laut ini.
 - Dengan menggunakan rumus Fraenkel, maka arus dengan kecepatan 1 m/s yang melewati penampang vertikal sebesar 1 m², dapat menghasilkan rapat daya maksimum sekitar

$$\frac{P}{1} = \left(\frac{1}{2} 1025 \cdot 1 \right) = 512,5 \text{ w/m}^2 = 0,51 \text{ kW/m}^2$$

2 Proses Pengumpulan Data

Pemodelan arus laut yang dilakukan di perairan sekitar Pulau Jawa, Bali dan Lombok dilakukan dalam beberapa domain, mulai dari domain global sampai domain pada setiap lokasi. Input model yang digunakan dalam simulasi ini berupa data batimetri, data pasang surut dan data angin. Data batimetri global dan batas daratan untuk model numeric diambil dari *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO) Digital Atlas dan untuk syarat batas *water level* model diperoleh dari *Tidal Model Drive* (TMD).

Dari model secara global dilakukan simulasi untuk setiap lokasi dengan menggunakan batimetri dari peta laut yang dikeluarkan oleh Dinas Hidro-Oceanografi – TNI AL. Untuk verifikasi hasil model arus laut dilakukan pengukuran di ketiga lokasi tersebut.

3 Metode Analisis

Metode analisis pada penelitian ini menggunakan pemodelan numerik arus laut menggunakan perangkat lunak MIKE 21 HD. Syarat batas model diambil dari model TMD. Hasil perhitungan potensi kecepatan arus dilakukan dengan mengambil kecepatan arus yang lebih besar dari 1 m/s. Perhitungan dilakukan untuk setiap bulan dan rata-rata dari setiap pada tahun 2009 dan tahun 2010.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil model numerik yang dilakukan selama 2 tahun yaitu tahun 2009 dan 2010, dihitung persentase arus dengan kecepatan lebih besar dari 1 m/s untuk setiap bulan. Selanjutnya dihitung kecepatan rata-rata per tahun. Secara umum, kecepatan maksimum arus terjadi pada kondisi pasang menuju surut atau sebaliknya, sedangkan kecepatan minimum terjadi pada *slack water* yaitu saat pasang maksimum atau surut minimum.

1 Selat Sunda

Gambar 7 memperlihatkan daerah model selat Sunda mencakup daerah Anyer di pulau Jawa dan Bakauheni di pulau Sumatera. Gambar 8a dan 8b memperlihatkan hasil verifikasi elevasi muka air dan magnitudo kecepatan arus di lokasi tersebut. Dari hasil simulasi diperoleh *error RMS* untuk elevasi muka air dan kecepatan arus, masing-masing sebesar 0,19 m dan 0,13 m/s.

Gambar 9a dan 9b memperlihatkan perbandingan kecepatan arus pada saat purnama, yaitu kondisi pasang (muka air maksimum) dan peralihan pasang menuju surut. Dari kedua gambar tersebut, terlihat bahwa pada saat pasang arus mengalir dari Barat Daya ke arah Timur Laut atau dari Samudera Indonesia ke Laut Cina Selatan, sedangkan pada saat surut arus bergerak ke arah sebaliknya.

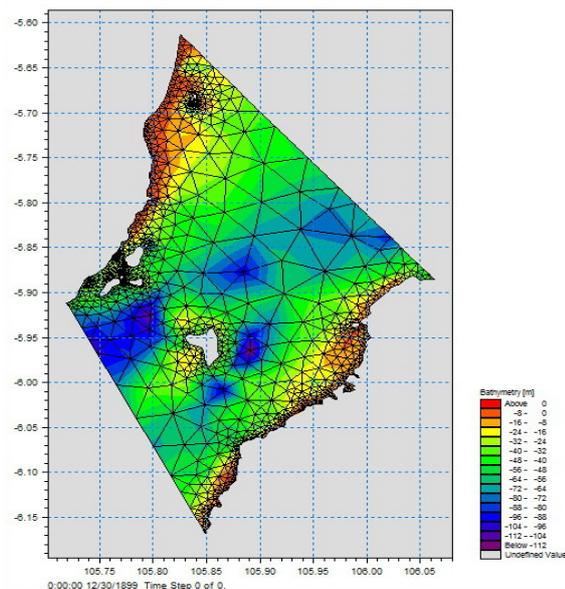
Kecepatan arus maksimum saat pasang mencapai 0,78 m/s. Pada kondisi ini terlihat adanya perbedaan fasa pasang surut antara lokasi pertengahan selat dengan perairan pantai selatan pulau Sumatera. Di pertengahan selat, terjadi kondisi pasang sempurna, elevasi muka air telah mencapai maksimum sehingga terjadi kondisi *slack water* dimana kecepatan mendekati minimum. Di perairan pantai selatan Sumatera kondisi pasang belum sempurna, elevasi muka air belum mencapai maksimum sehingga arus yang mengalir menyusur pantai ke arah Barat Daya masih cukup kuat.

Pada saat pasang menuju surut kecepatan arus dapat mencapai 2,6 m/s yang terjadi di pertengahan selat Sunda, yaitu di sebelah Timur pulau Panjurit. Pada kondisi ini fasa pasang surut

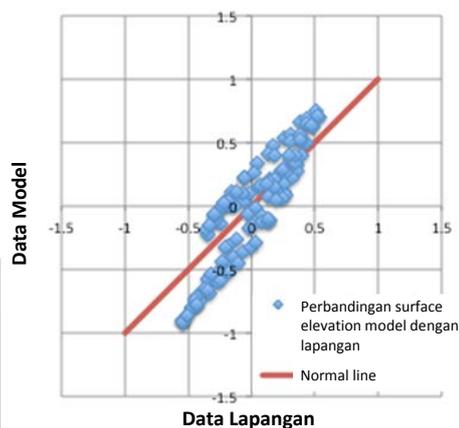
di seluruh perairan relatif sama yaitu peralihan pasang menuju surut sehingga arus mengalir ke arah Utara dengan kecepatan cukup tinggi.

Tabel 2 memperlihatkan persentase kecepatan arus maksimum setiap bulan pada tahun 2009 dan 2010. Dari tabel tersebut diketahui bahwa persentase kejadian arus mencapai kecepatan > 1 m/s berkisar antara 30 - 44% pada tahun 2009 dan 32,5 - 44% pada tahun 2010. Kecepatan arus mencapai maksimum terjadi pada bulan-bulan November-Januari atau Mei-Juli, bertepatan dengan musim Barat dan musim Timur, ketika angin bertiup dengan kecepatan cukup tinggi.

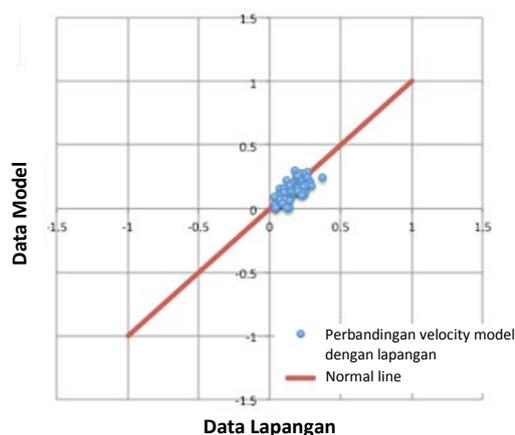
Berdasarkan hasil perhitungan persentase kecepatan arus maksimum, selanjutnya dihitung persentase rata-rata per tahun untuk kejadian arus dengan kecepatan lebih besar dari 1 m/s. Gambar 10a dan 10b memperlihatkan hasil perhitungan persentase tersebut dan diperoleh lokasi dengan persentase yang cukup tinggi yaitu di sebelah timur pulau Panjurit. Dari kedua gambar tersebut dapat dilihat bahwa persentase kejadian arus cukup tinggi terjadi pada lokasi yang sama.



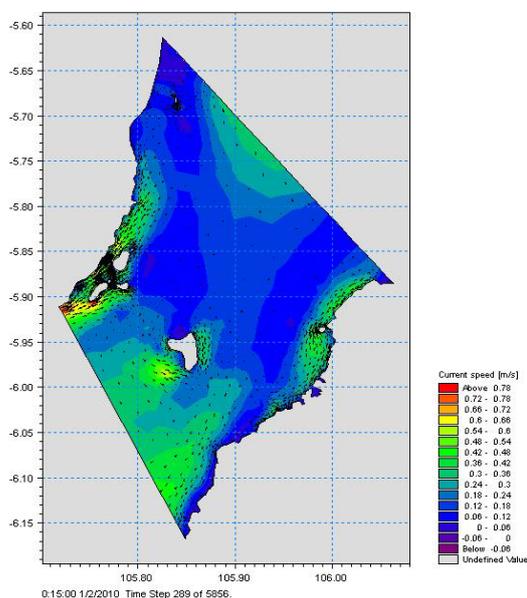
Gambar 7 Batimetri Daerah Model Arus Selat Sunda



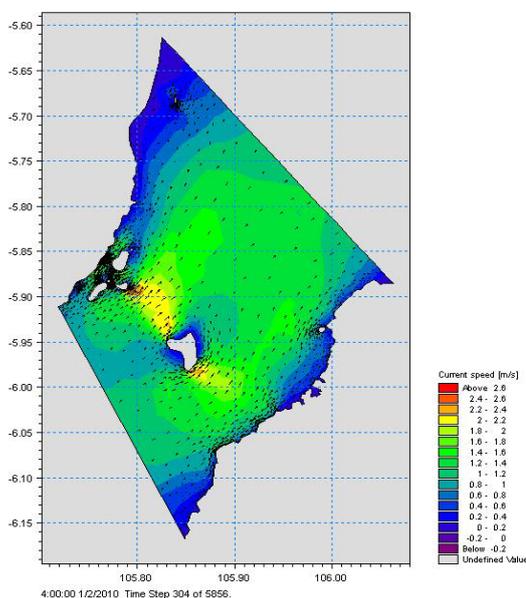
Gambar 8a Verifikasi Elevasi Muka Air Selat Sunda



Gambar 8b Verifikasi Magnitudo Kecepatan Arus Selat Sunda



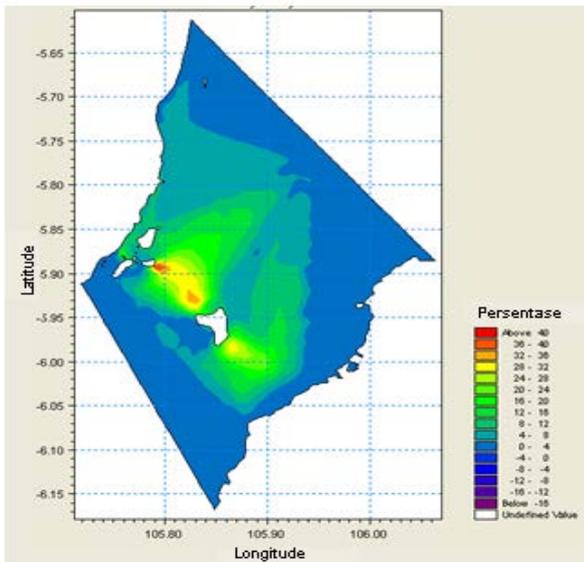
Gambar 9a Pola Kecepatan Arus di Selat Sunda Saat Pasang (Purnama), 2 Januari 2010; 00:15 WIB



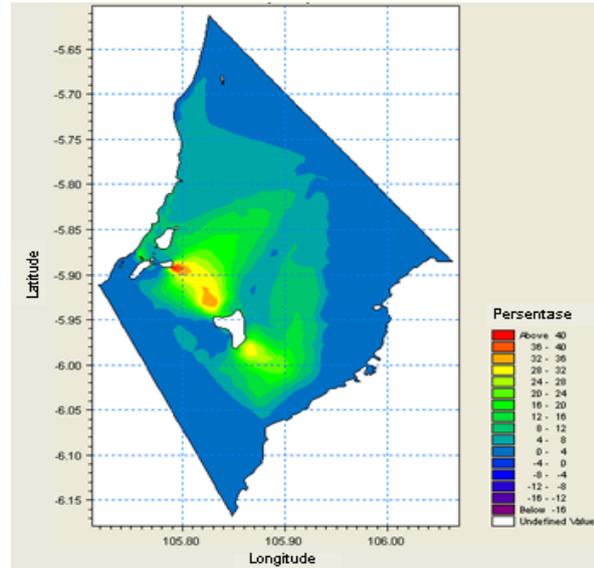
Gambar 9b Pola Kecepatan Arus Selat Sunda Saat Pasang Menuju Surut (Purnama), 2 Januari 2010; 04:00 WIB

Tabel 2 Persentase Kecepatan Arus Maksimum Selat Sunda setiap Bulan pada Tahun 2009 dan 2010

Bulan	Persentase Maksimum 2009	Persentase Maksimum 2010
Januari	40 - 44%	40 - 44%
Februari	35 - 37,5%	35 - 37,5%
Maret	32,5 - 35%	32,5 - 35%
April	35 - 37,5%	35 - 37,5%
Mei	40 - 44%	40 - 44%
Juni	40 - 44%	48 - 52%
Juli	36 - 40%	36 - 40%
Agustus	32,5 - 35%	32,5 - 35%
September	30 - 32,5%	32,5 - 35%
Oktober	36 - 40%	36 - 40%
November	36 - 40%	40 - 44%
Desember	40 - 44%	40 - 44%



Gambar 10a Persentase Kecepatan Arus > 1 m/s di Selat Sunda Rata-rata Tahun 2009



Gambar 10b Persentase Kecepatan > 1 m/s di Selat Sunda Rata-rata Tahun 2010

2 Selat Bali

Gambar 11 memperlihatkan batimetri selat Bali. Batas Utara daerah model selat Bali adalah Kampih (Jawa Timur) dan Tanjung Bedak (Bali), sedangkan batas selatan adalah Semenanjung Blambangan (Jawa Timur) dan Tanjung Antab (Bali). Gambar 12a dan 12b memperlihatkan hasil verifikasi elevasi muka air dan kecepatan arus di lokasi tersebut. Dari hasil simulasi diperoleh error RMS untuk elevasi muka air dan kecepatan arus, masing-masing sebesar 0,11 m dan 0,07 m/s.

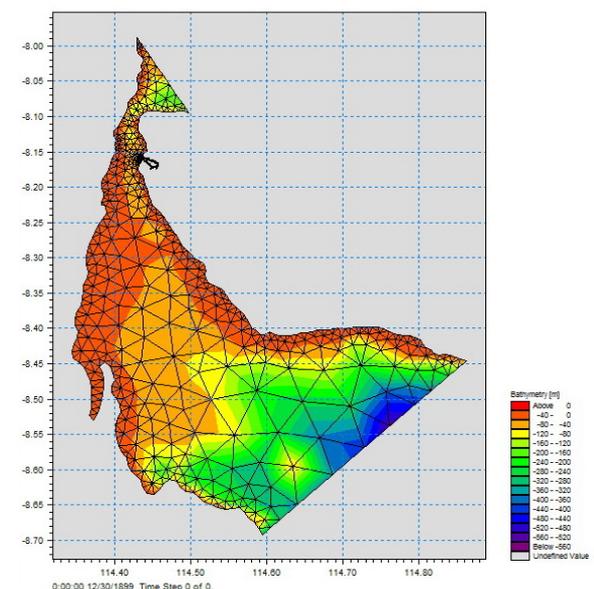
Gambar 13a dan 13b memperlihatkan perbandingan kecepatan arus saat purnama pada kondisi surut dan surut menuju pasang. Dari kedua gambar tersebut, terlihat bahwa pada saat surut arus mengalir dari Selatan ke arah Utara atau dari Samudera Indonesia ke laut Jawa, sedangkan pada saat pasang arus bergerak ke arah sebaliknya.

Kecepatan arus pada kondisi surut mencapai 0,4 m/s dan terjadi di perairan pantai Bali bagian Selatan. Pada kondisi tersebut, fasa pasang surut terlihat sama di seluruh perairan sehingga kecepatan arus relatif seragam. Pada kondisi surut menuju pasang kecepatan arus mencapai 2,1 m/s yang terjadi di lokasi tersempit selat Bali. Fasa pasang surut pada kondisi ini memperlihatkan adanya perbedaan antara bagian selatan selat dengan bagian utara selat (terutama pada bagian tersempit selat). Pada bagian tersempit selat, pasang surut berada pada kondisi peralihan surut menuju pasang sehingga kecepatan arus mencapai maksimum, sedangkan di bagian selatan selat, pasang surut sudah berada pada kondisi pasang sehingga kecepatan arus mendekati minimum.

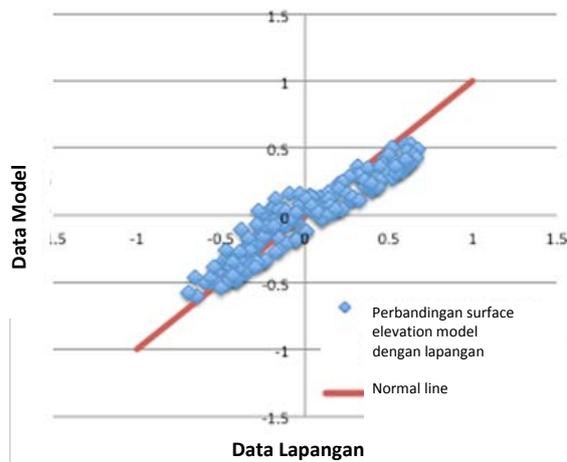
Tabel 3 memperlihatkan persentase kecepatan arus maksimum setiap bulan pada tahun 2009 dan 2010. Persentase kejadian arus

maksimum berkisar antara 52,4-70,7% pada tahun 2009 dan 52,6 – 69,9% pada tahun 2010. Kecepatan arus mencapai maksimum terjadi pada bulan-bulan November-Januari atau Mei-Juli, bertepatan dengan musim Barat dan musim Timur, ketika angin bertiup dengan kecepatan cukup tinggi.

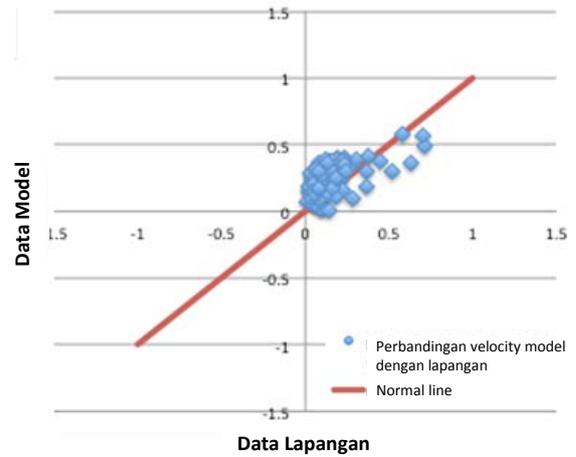
Gambar 14a dan 14b memperlihatkan hasil perhitungan persentase kejadian kecepatan arus maksimum yang dihitung berdasarkan rata-rata per tahun. Berdasarkan perhitungan tersebut diperoleh lokasi dengan persentase yang cukup tinggi yaitu di sebelah barat Tanjung Batulicin. Dari kedua gambar tersebut dapat dilihat bahwa persentase kejadian arus cukup tinggi terjadi pada lokasi yang sama.



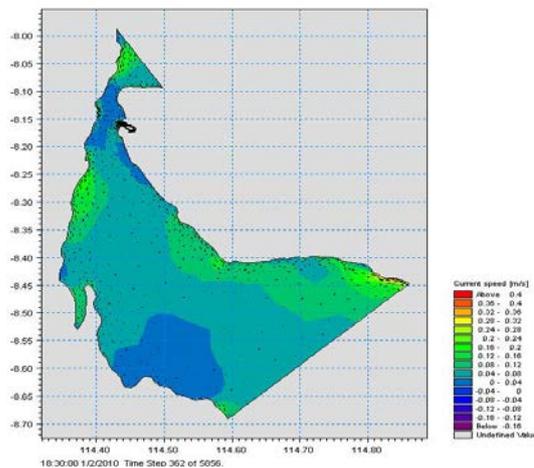
Gambar 11 Batimetri daerah model selat Bali



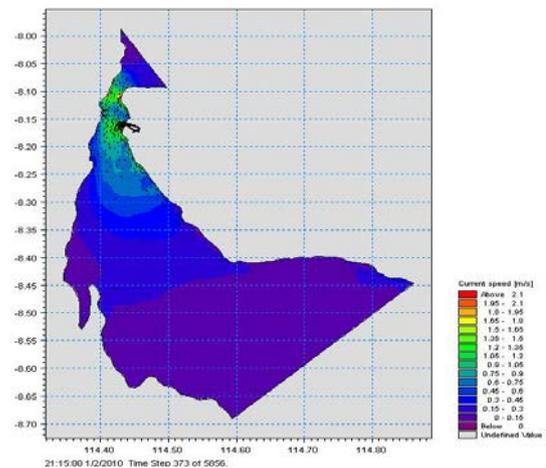
Gambar 12a Verifikasi Elevasi Muka Air Selat Bali



Gambar 12b Verifikasi Magnitudo Kecepatan Arus Muka Air Selat Bali



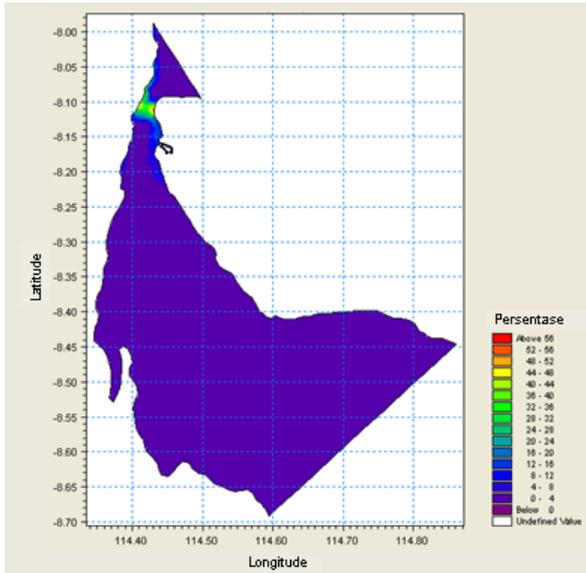
Gambar 13a Pola Kecepatan Arus Selat Bali Saat Surut (Purnama) Tanggal 2 Januari 2010; 18:30 WIB



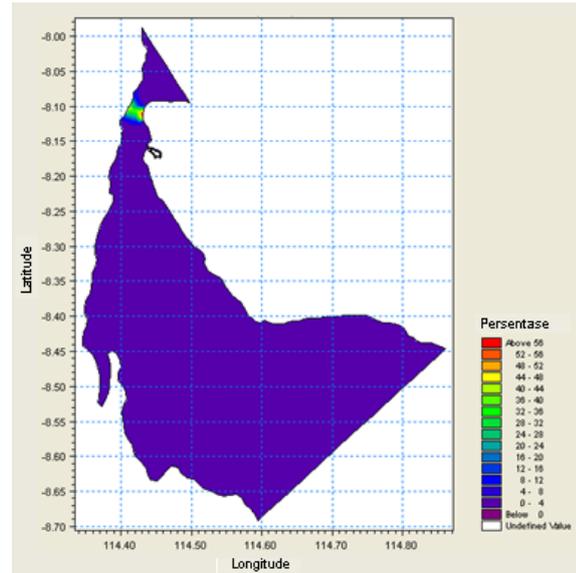
Gambar 13b Pola Kecepatan Arus Selat Bali Saat Surut Menuju Pasang (Purnama), 2 Januari 2010; 21:15 WIB

Tabel 3 Persentase Kecepatan Arus Maksimum Selat Bali Setiap Bulan pada Tahun 2009 dan 2010

Bulan	Persentase maksimum 2009	Persentase maksimum 2010
Januari	56,4– 68,0%	58,5– 69,0%
Februari	54,2– 66,0%	55,9 – 68,0%
Maret	57,2 – 68,0%	57,4 – 69,1%
April	57,2 – 68,3%	55,8 – 67,9%
Mei	66,7 – 69,2%	55,0 – 68,2%
Juni	59,2 – 70,7%	57,3 – 69,5%
Juli	58,1 – 70,2%	54,6 – 67,7%
Agustus	52,5 – 65,7%	54,7 – 67,8%
September	52,4 – 65,5%	53,5 – 66,9%
Oktober	53,5 – 67,0%	52,6 – 67,0%
November	56,9 – 69,7%	54,3 – 68,0%
Desember	56,4 – 68,2%	58,5 – 69,9%



Gambar 14a Persentase Kecepatan Arus > 1 m/s di Selat Bali Rata-rata Tahun 2009



Gambar 14b Persentase Kecepatan Arus > 1 m/s di Selat Bali Rata-rata Tahun 2010

3 Selat Sape

Gambar 15 memperlihatkan batimetri daerah model selat Sape. Sebelah utara daerah model berbatasan dengan Tanjung Naru (Pulau Sumbawa) dan Teluk Batumonco (Pulau Komodo) dan untuk daerah Selatan berbatasan dengan Tanjung Tororata (Pulau Sumbawa) dan Labuhan Langkoi (Pulau Komodo).

Gambar 16a dan 16b memperlihatkan hasil verifikasi elevasi dan kecepatan arus selat Sape. Dari hasil model arus diperoleh error RMS elevasi muka air sebesar 0,13 m dan untuk error RMS kecepatan arus sebesar 0,08 m/s.

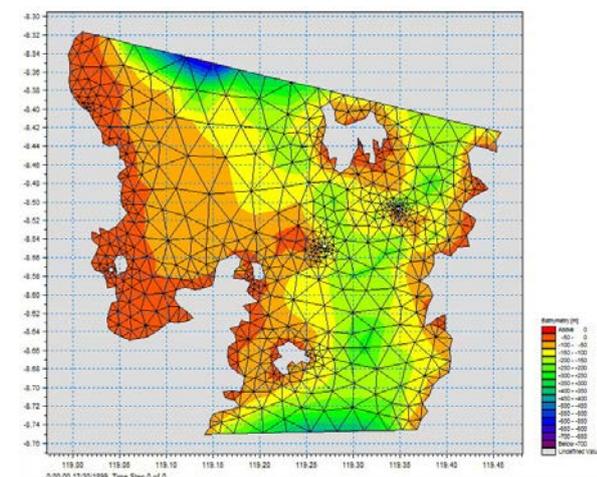
Gambar 17a dan 17b memperlihatkan perbandingan kecepatan arus saat pasang dan pasang menuju surut. Dari kedua gambar tersebut, terlihat bahwa pada saat pasang arus mengalir dari Selatan ke Utara atau dari Samudera Indonesia ke Laut Jawa, sedangkan pada saat surut arus bergerak ke arah sebaliknya.

Kecepatan arus saat pasang dapat mencapai 0,7 m/s. Fasa pasang surut pada kondisi ini memperlihatkan adanya perbedaan antara bagian selatan dan utara selat dengan bagian-bagian selat yang sempit. Pada bagian tersempit selat, pasang surut berada pada kondisi peralihan surut menuju pasang sehingga kecepatan arus mencapai maksimum, sedangkan di bagian selatan dan utara selat, pasang surut sudah berada pada kondisi surut sehingga kecepatan arus mendekati minimum. Pada saat surut, kecepatan arus dapat mencapai 1,5 m/s. Fasa pasang surut pada kondisi ini terlihat sama di seluruh perairan sehingga kecepatan arus relatif seragam.

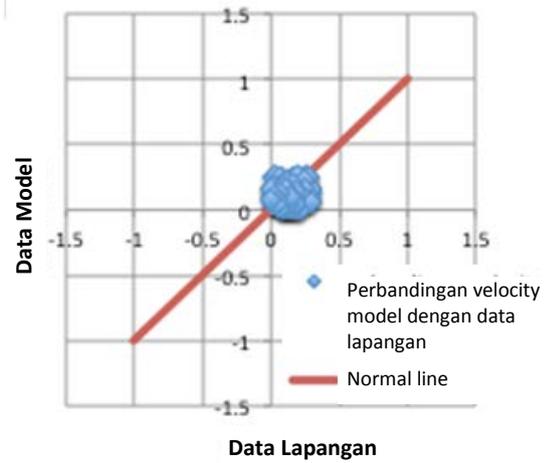
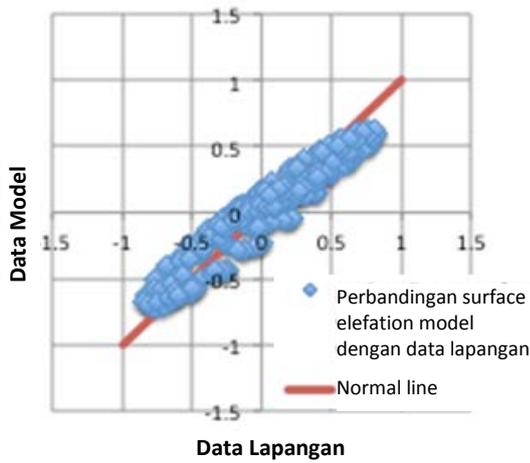
Tabel 4 memperlihatkan persentase kecepatan arus maksimum setiap bulan pada tahun

2009 dan 2010. Kecepatan arus mencapai maksimum terjadi pada bulan-bulan November-Januari atau Mei-Juli, bertepatan dengan musim Barat dan musim Timur, ketika angin bertiup dengan kecepatan cukup tinggi. Persentase kejadian arus maksimum berkisar antara 45,7 – 53,4% pada tahun 2009 dan 46,4 – 54,3% pada tahun 2010.

Berdasarkan hasil perhitungan persentase kejadian kecepatan arus > 1 m/s, di daerah antara Pulau Matagateh dan Pulau Sapekah (terutama di sebelah timur P. Sapekah) persentase kejadian berkisar antara 43,6 – 53,8% pada tahun 2009 dan 45,4 – 56,3% pada tahun 2010. Gambar 18a dan 18b memperlihatkan persentase kejadian kecepatan arus > 1 m/s di selat Sape tersebut. Dari kedua gambar tersebut terlihat bahwa persentase kejadian arus mencapai maksimum terjadi pada lokasi yang sama.

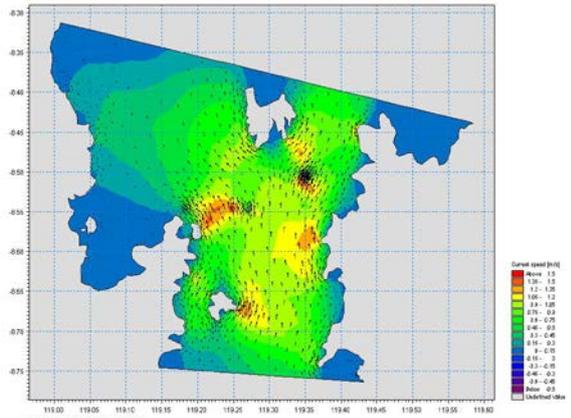
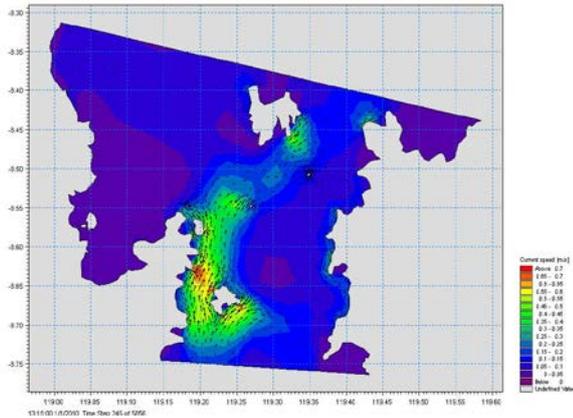


Gambar 15 Batimetri Daerah Model Selat Sape



Gambar 16a Verifikasi Elevasi Muka Air Selat Sape

Gambar 16b Verifikasi Magnitudo Kecepatan Arus Muka Air Selat Sape

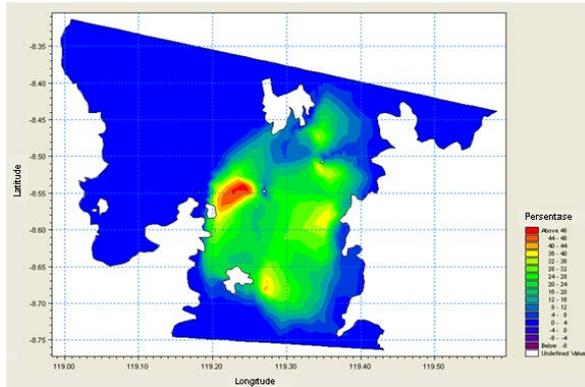


Gambar 17a Pola Kecepatan Arus Saat Pasang (Purnama), 1 Januari 2010; 13:15 WIB

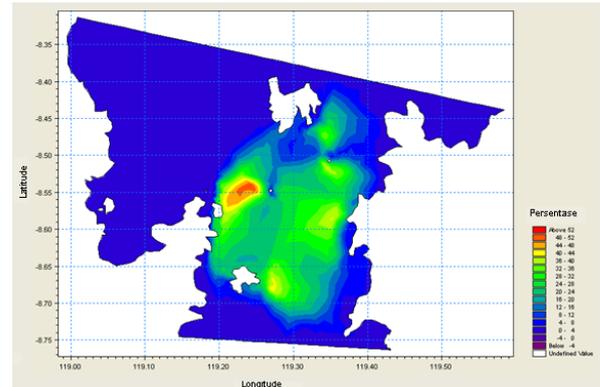
Gambar 17b Pola Kecepatan Arus Saat Pasang Menuju Surut (Purnama), 1 Januari 2010; 16:15 WIB

Tabel 6 Persentase Kecepatan Arus Maksimum Selat Sape Setiap Bulan pada Tahun 2009 dan 2010

Bulan	Persentase Maksimum 2009	Persentase Maksimum 2010
Januari	46,0-54,6%	48,6-56,3%
Februari	45,1- 52,5%	46,0-54,3%
Maret	47,5- 53,8%	48,4-55,5%
April	45,6- 53,8%	47,2-54,3%
Mei	45,5-53,5%	44,7-52,6%
Juni	47,1-56,8%	44,9-53,2%
Juli	46,5-54,6%	46,3-54,6%
Agustus	43,6-50,6%	47,1-55,5%
September	44,3-51,3%	4,6,-54,0%
Oktober	43,9-51,2%	45,4-53,4%
November	45,5-53,7%	45,4-53,9%
Desember	47,4-56,3%	46,3-54,4%



Gambar 18a Persentase Kecepatan Lebih Besar dari 1 m/s di Selat Sape Rata-rata Tahun 2009



Gambar 18b Persentase Kecepatan Lebih Besar dari 1 m/s di Selat Sape Rata-rata Tahun 2010

KESIMPULAN

Dari hasil pemodelan kecepatan arus secara global untuk lokasi pulau Jawa, Bali dan Lombok diperoleh lokasi-lokasi dengan kecepatan arus yang cukup besar (> 1 m/s) terletak di beberapa lokasi sebagai berikut :

- Selat Sunda : sebelah timur Pulau Panjurit.
- Selat Bali : sebelah barat Tanjung Batulicin
- Selat Sape : Pulau Matagateh dan Pulau Sapekah (terutama di sebelah timur Pulau Sapekah)

Selama satu tahun, persentase kejadian arus dengan kecepatan lebih besar dari 1 m/s untuk selat Sunda berkisar antara 30- 44%, selat Bali antara 52,5 – 70,7%, dan selat Sape antara 43,9 – 56,3%

Kecepatan arus maksimum terjadi saat pasang purnama pada kondisi peralihan pasang menuju surut atau surut menuju pasang. Kecepatan arus mencapai minimum pada saat elevasi muka air pasang maksimum atau surut minimum.

Pemodelan yang telah dilakukan hanya mengkaji potensi energi arus untuk satu nilai arus yang besarnya merupakan hasil perata-rataan terhadap kedalaman (2dimensi horizontal). Untuk pengkajian lebih lanjut potensi energi arus yang terdapat pada selat-selat di Indonesia, perlu dilakukan pemodelan secara 3 dimensi, sehingga dapat diketahui potensi yang tersimpan pada setiap kedalaman.

DAFTAR PUSTAKA

Bachtiar, Huda, 2009, Studi Potensi Energi Arus Pasang Surut Di Selat Alas, Tugas Akhir Sarjana Program Studi Oseanografi, Fakultas

Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.

Boud, 2003, Status and Research Development Priorities for Marine Current and Wave Energy, AEAT report number AEAT/ENV/1054, International Energy Agency.

DESDM, 2006, Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2006 – 2025. Jakarta, Indonesia. Diambil dari: <http://www.esdm.go.id/publikasi/lainlain.html>

Duxbury, Alyn, Alison and Sverdrup, K.A., 2000, An Introduction to The World's Ocean, McCraw-Hill, USA.

Fraenkel, P., 1999. Power from Marine Currents. Marine Currents Turbines Ltd.

Ginting, J.W.R., 2009, Potensial Energi Arus Laut di Selat Larantuka, Tugas Akhir Sarjana Program Studi Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.

Muetze, Annette., Ving, Jennifer., 2006, Ocean Wave Energy Conversion – A Survey, WEMPEC, University of Wisconsin, Madison, Power Area and CEME Seminar at UIUS.

Rachmayani, R., Genia A. N., Totok S., dan Nining S. N., 2006, Marine Current Potential Energy for Environmental Friendly Electricity Generation in Bali, Lombok, and Makassar Straits, Environmental Technology and Management Conference, Bandung, Indonesia.

Ramadhan, 2010, Estimasi energi alternatif dari arus pasang surut di selat Alas, Tugas Akhir Sarjana Program Studi Oseanografi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.