

PENELITIAN AWAL PENEMPATAN TURBIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ARUS LAUT (PLTAL) DARI DATA ARUS DAN MORFOLOGI DASAR LAUT DI SELAT BOLENG, NUSA TENGGARA TIMUR

INITIAL STUDY ON THE PLACEMENT OF TURBANE POWER PLANT OF OCEAN CURRENTS (TTOC) FROM CURRENT DATA AND SUBMARINE MORPGOLOGY IN BOLENG STRAIT, NUSA TENGGARA TIMUR

Beben Rachmat, Ai Yuningsih dan Prijantono Astjario

Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Junjunan No. 236 Bandung. 40174

Diterima : 22-11-2012, Disetujui : 25-03-2013

ABSTRAK

Distribusi kecepatan arus di Selat Boleng sangat dipengaruhi oleh kondisi pasang surut, kedalaman dan bentukan morfologi dasar lautnya. Kecepatan arus bergradasi naik dari dangkal ke kedalaman yang lebih dalam. Dibagian selatan dan tengah selat distribusi kecepatan arus maksimum pada kedalaman laut antara 20 – 50 m, 50 – 100 m dan 100 – 180 m, masing-masing antara 0.5 – 2.0 m/det, 2.1 – 3.0 m/det dan di atas 3.0 m/det. Kecepatan arus maksimum terjadi pada saat kedudukan air pasang menuju pasang maksimum dan kedudukan air pada saat surut menuju surut minimum.

Berdasarkan kedalaman laut, bentuk morfologi dasar laut dan distribusi kecepatan arus vertikal dan horizontalnya, maka lokasi penempatan turbin representatif adalah pada kedalaman 75 – 100 m yang terletak di sisi barat bagian selatan (area 1) dan tengah selat (area 2). Sedangkan di bagian utara selat (area 3) pada kedalaman 50 – 100 m. Kecepatan arus di lokasi ini pada saat pasang surut berkisar antara 1.5 – 3.1 m/dtk. Dari ketiga area ini paling representatif adalah area 2 dengan tipe turbin sistem pemberat (*gravity base*) dan turbin terapung.

Kata kunci : pasang surut, kedalaman laut, morfologi dasar laut, kecepatan arus, lokasi turbin, Selat Boleng

ABSTRACT

Current velocity distribution in the Strait of Boleng strongly influenced by tidal conditions, the depth of the sea and seabed morphology formation. Graded current velocity increased from shallow to deeper depths. In the southern and central strait at ocean depths between 20-50 m maximum current velocity distribution ranged from 0.5 - 2.0 m/s, depths 50-100 m maximum current velocity distribution ranged from 2.1 - 3.0 m/s and a depth of 100-180 m maximum current velocity distribution above 3.0 m/s. The maximum current velocity occurs when position of the flood toward the maximum flood and position of the ebb toward the minimum ebb.

*Based on the depth sea, seabed morphology and distribution of vertical and horizontal current velocity, the location of the turbine placement representative is on the west side of the strait at a depth 75-100 m, located in the southern part of the strait (area 1) and the middle of the strait (area 2). While in the northern part of the strait (area 3) at a depth of 50-100 m. Current velocity at the site in tidal conditions ranged from 1.5 - 3.1 m/sec. Of the three areas, the most representative area is the area 2 with a suitable turbine type is the type turbine with a ballast system (*gravity base*) and floating turbines.*

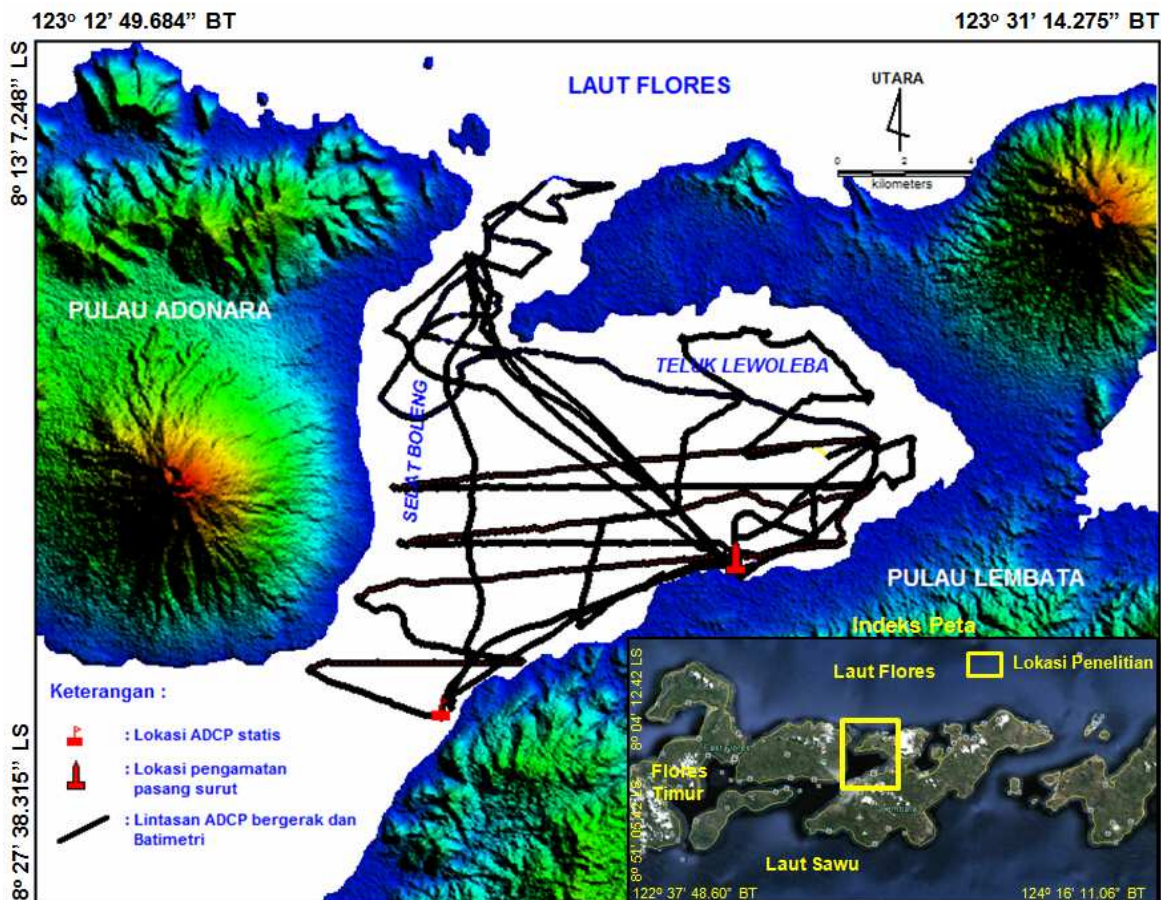
Keywords: tidal, depth sea, strait, current velocity, seabed morphology, turbine location, Boleng Strait

PENDAHULUAN

Wilayah Nusa Tenggara Timur terdiri atas beberapa gugusan pulau yang memanjang dari barat ke timur, mulai dari Pulau Komodo sampai Pulau Rote. Gugusan pulau-pulau ini dihubungkan oleh selat-selat kecil yang cukup banyak. Secara geografis selat-selat ini juga menghubungkan antara dua lautan, yaitu Laut Sawu di selatan dan Laut Flores di utara. Keadaan ini menyebabkan proses dinamika kolom air sangat dipengaruhi oleh kondisi regional dari kedua lautan tersebut. Salah satunya adalah adanya perbedaan elevasi muka air laut akibat pengaruh astronomis (pasang surut) antara daerah selatan (Laut Sawu) dan daerah utara (Laut Flores) yang menyebabkan terjadinya pergerakan massa air yang cukup besar dari selatan ke utara dan sebaliknya. Massa air ini sebagian masuk dan keluar melalui selat-selat tersebut. Masuknya massa air dari wilayah perairan yang luas menuju selat sempit menyebabkan massa air terdorong kuat di dalam selat, sehingga di selat-selat ini terjadi arus kuat. Selat-selat yang mempunyai arus kuat (lebih besar

dari 2.0 m/dtk) secara teknis mempunyai potensi untuk pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (Fraenkel, 2002). Salah satu selat di wilayah perairan Nusa Tenggara Timur yang mempunyai energi arus laut potensial adalah Selat Boleng. Selat Boleng secara geografis terletak pada koordinat $123^{\circ} 17' 20.448''$ - $123^{\circ} 27' 9.201''$ BT dan $8^{\circ} 24' 31.353''$ - $8^{\circ} 15' 50.443''$ LS (Gambar 1). Selat Boleng diapit oleh dua pulau, yaitu Pulau Adonara di sebelah barat dan Pulau Lembata di sebelah timur. Selat ini mempunyai alur sempit, memanjang dari selatan ke utara sejauh 25 km dengan kedalaman sekitar 50 – 180 m. Lebar alurnya, di bagian selatan 5 km, tengah 6 km dan utara 3 km.

Maksud penelitian adalah untuk mengidentifikasi karakteristik arus laut, baik secara vertikal maupun horisontal. Tujuannya adalah untuk mengumpulkan dan menginventarisasi data dasar kecepatan arus laut yang potensial untuk pembangkit listrik tenaga arus laut, termasuk kedalaman dan morfologi dasar lautnya untuk penempatan lokasi turbin.



Gambar 1. Selat Boleng dan lokasi penempatan peralatan ADCP statis, lintasan pengukuran ADCP bergerak, lintasan pengukuran batimetri dan pengamatan pasang surut (sumber data citra landsat : www.landsat.usgs.gov/using_landsat_7ETM)

Dalam pengembangan pembangkit listrik tenaga arus laut, salah satu aspek teknis yang sangat penting adalah menentukan lokasi penempatan turbin pembangkit listrik (Yuningsih drr., 2010). Penentuan lokasi turbin pembangkit listrik harus melibatkan banyak data dan disiplin ilmu terkait, namun sebagai langkah awal dalam penelitian potensi energi arus laut ini akan dibahas berdasarkan data arah dan kecepatan arus baik secara vertikal maupun horisontal termasuk kedalaman lautnya.

METODOLOGI

Pengukuran arus di perairan Selat Boleng dilakukan dengan menggunakan beberapa metode, yaitu pengukuran arus secara statis dan bergerak dengan menggunakan peralatan *Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)*, pengukuran pasang surut dengan menggunakan peralatan *Tidegauge* dan pengukuran kedalaman laut dengan menggunakan peralatan *Echosounder*. Peralatan *ADCP* bergerak dan peralatan *Echosounder* terintegrasi dengan perangkat *Global Positioning System (GPS)*, kedua peralatan ini masing-masing merekam data kecepatan arus dan kedalaman laut sesuai dengan arah lintasan kapal survei. Data kedalaman laut ini selanjutnya dikorelasikan dengan data arus hasil perekaman *ADCP* bergerak untuk mengetahui hubungan antara bentuk morfologi dasar laut di sekitar Selat Boleng terhadap distribusi kecepatan arus baik secara vertikal maupun horisontal. Sedangkan peralatan *ADCP* statis ditempatkan di dasar laut pada kedalaman 16 m di sebelah selatan Selat Boleng dan peralatan *Tidegauge* ditempatkan di Dermaga Lewoleba. Peralatan *ADCP* statis merekam data arus secara insitu di satu lokasi selama 3 x 24 jam, yaitu dari tanggal 24 sampai tanggal 26 Maret 2012 dengan selang waktu perekaman setiap 15 menit, sedangkan peralatan *Tidegauge* merekam data selama 15 hari mulai dari tanggal 19 Maret sampai tanggal 2 April 2012 dengan selang waktu perekaman setiap 30 menit. Data arus hasil perekaman dari *ADCP* bergerak dan *ADCP* statis selanjutnya dikorelasikan dengan data pasang surut untuk mengetahui pola pergerakan arus laut di Selat Boleng saat kondisi air pasang maupun surut. Lokasi penempatan peralatan *ADCP* statis, *tidegauge*, lintasan pengukuran *ADCP* bergerak dan pengukuran kedalaman laut dapat dilihat pada Gambar 1.

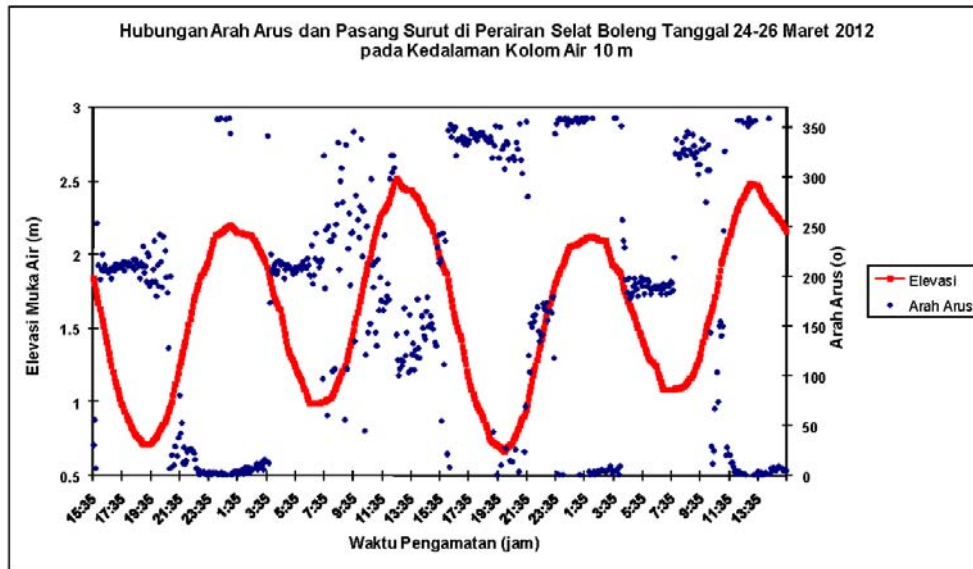
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Pasang Surut Terhadap Karakteristik Arus di Perairan Selat Boleng

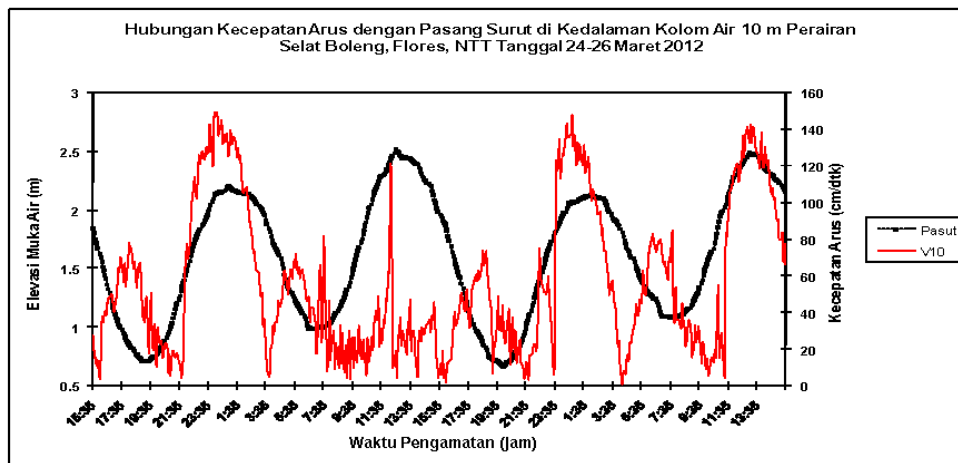
Dari data hasil pengukuran ADCP statis dan data ADCP bergerak, terlihat bahwa pola arah dan kecepatan arus di perairan Selat Boleng secara umum sangat dipengaruhi oleh kondisi pasang surut dan kedalaman lautnya. Arah arus secara teratur akan berubah sesuai dengan kedudukan pasang surutnya; saat kondisi air surut, arus umumnya mengalir ke arah baratdaya; sebaliknya saat air pasang ke arah utara (Gambar 2). Kecepatan arus saat kondisi air pasang, umumnya lebih kuat dibandingkan saat kondisi air surut (Gambar 3). Hasil pengukuran arus statis pada kedalaman 16 m menunjukkan bahwa kecepatan arus tertinggi saat pasang mencapai kecepatan 1.5 m/dtk, sebaliknya saat surut 0.8 m/dtk. Sedangkan hasil pengukuran bergerak (*mobile*), kecepatan arus tertinggi saat pasang mencapai 3.1 m/dtk. Tingginya kecepatan ini terjadi di alur selat pada kedalaman lebih dari 75 m (Gambar 4).

Besarnya kecepatan arus saat kondisi air pasang kemungkinan disebabkan oleh dua faktor. Pertama masuknya arus laut yang diakibatkan oleh konstanta pasut M2 yang dominan di Samudera Hindia (Egbert dan Ray, 2001), arus ini mendorong massa air bergerak ke utara melalui selat-selat kecil disekitar perairan Nusa Tenggara Timur (Gambar 5). Terakhir, luas penampang selat di selatan lebih luas dibandingkan dengan di utara, sehingga pada saat pasang volume massa air yang masuk ke dalam selat dari selatan lebih besar dari pada volume massa air yang masuk dari utara pada saat surut.

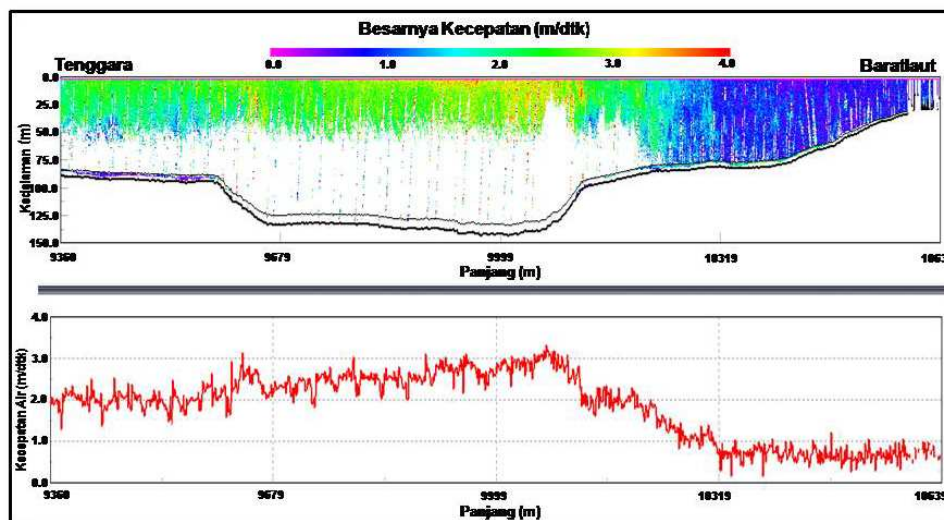
Saat pasang, massa air masuk dari selatan sebagian besar mengalir sepanjang alur Selat Boleng dan keluar melalui mulut selat di bagian utara, dan sebagian lainnya mengisi Teluk Lewoleba. Sebaliknya pada saat surut, massa air masuk dari utara sebagian langsung keluar ke arah baratdaya Selat Boleng dan sebagian masuk ke dalam teluk (Gambar 6). Massa air yang mengalir di sekitar teluk membentuk arus berputar sepanjang teluk saat mulai pasang atau saat mulai surut dengan kecepatan yang relatif kecil. Massa air ini selanjutnya terdorong ke utara saat kondisi air memasuki pasang tinggi dan terdorong ke baratdaya saat kondisi air memasuki surut rendah. Pertemuan massa air yang keluar dari teluk dengan yang di alur selat ini sering mengakibatkan terjadinya arus pusaran (*turbulensi*) yang cukup besar. Pertemuan arus umumnya terjadi pada kedalaman laut antara 50 – 75 m, yaitu pada



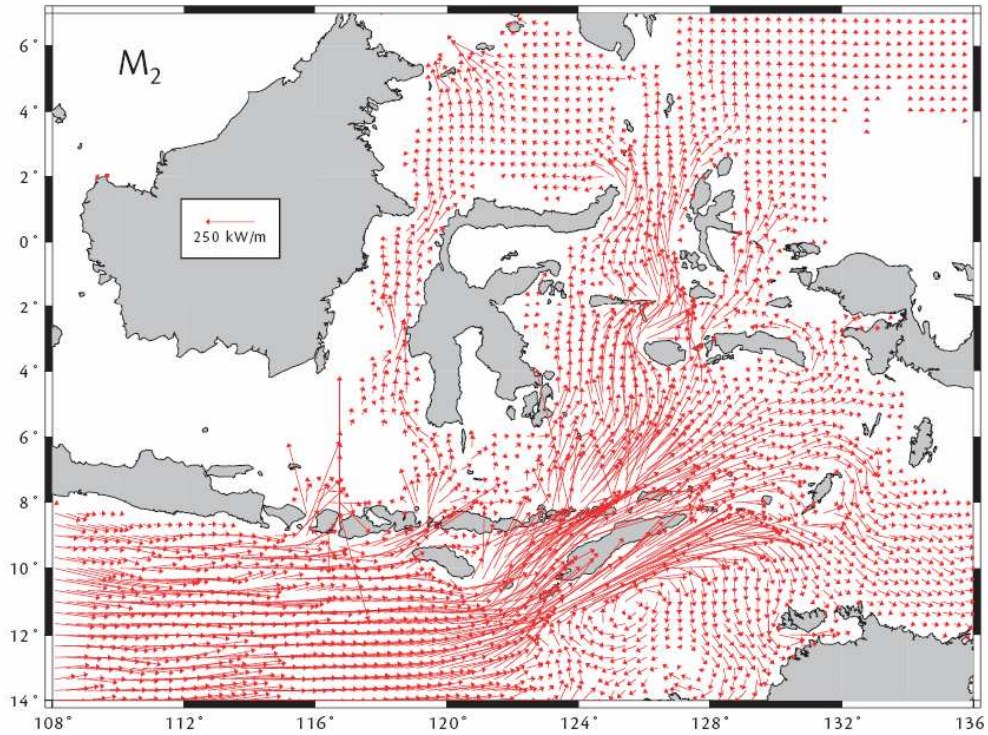
Gambar 2. Hubungan antara kondisi pasang surut dan arah arus hasil pengukuran statis pada kedalaman kolom air 10 m



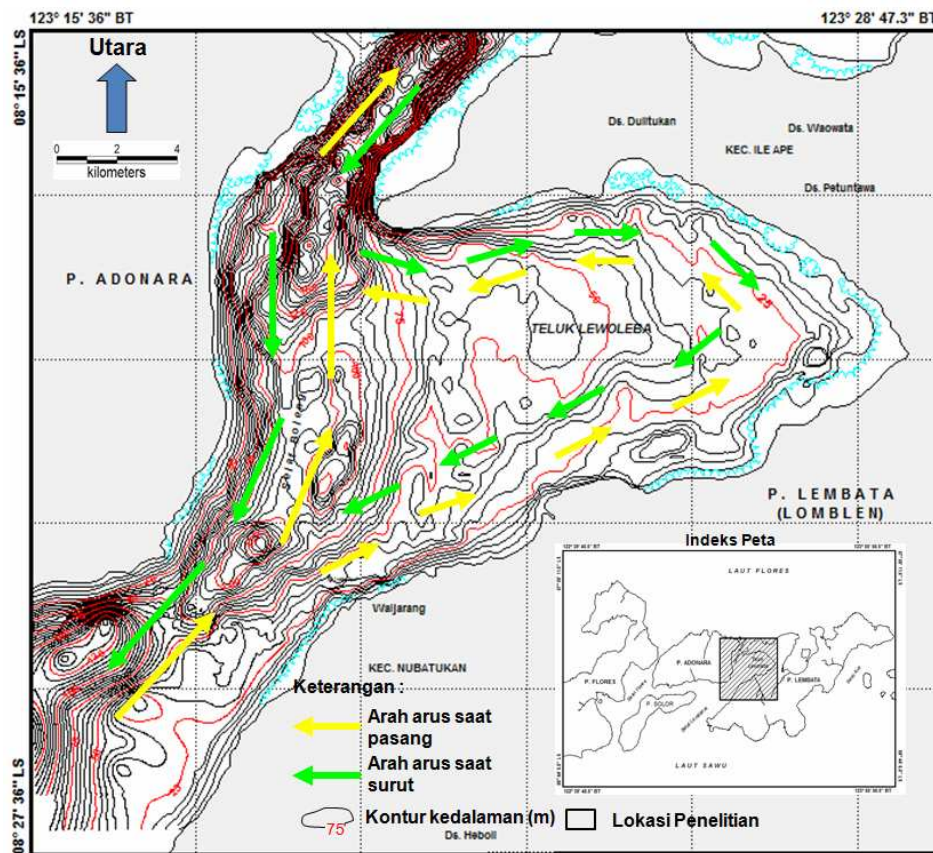
Gambar 3. Hubungan antara kondisi pasang surut dan kecepatan arus hasil pengukuran statis pada kedalaman kolom air 10 m



Gambar 4. Profil penampang kecepatan arus melintang alur Selat Boleng di bagian selatan daerah penelitian



Gambar 5. Arus laut yang diakibatkan oleh konstanta pasut M₂ di sekitar wilayah perairan Nusa Tenggara Timur (Egbert dan Ray, 2001)



Gambar 6. Peta pola aliran arus saat pasang dan saat surut di perairan Selat Bolong, Flores, NTT dan kondisi kedalaman lautnya

morfologi landai di daerah teluk ke curam di daerah alur. Kondisi ini terlihat pada penampang arus vertikal dan profil kecepatan arus pada kedalaman kolom air 10 m, 30 m dan 40 m (Gambar 7a dan Gambar 7b). Kedua gambar tersebut memperlihatkan daerah transisi yang ditandai oleh adanya: 1) arah arus yang berlawanan dengan kecepatan berbeda, 2) perubahan kecepatan arus yang signifikan antara 1.0 m/dtk – 2.0 m/dtk, baik di sisi timur maupun barat selat dan 3) daerah turbulensi arus.

Distribusi Kecepatan Arus Terhadap Kedalaman Laut

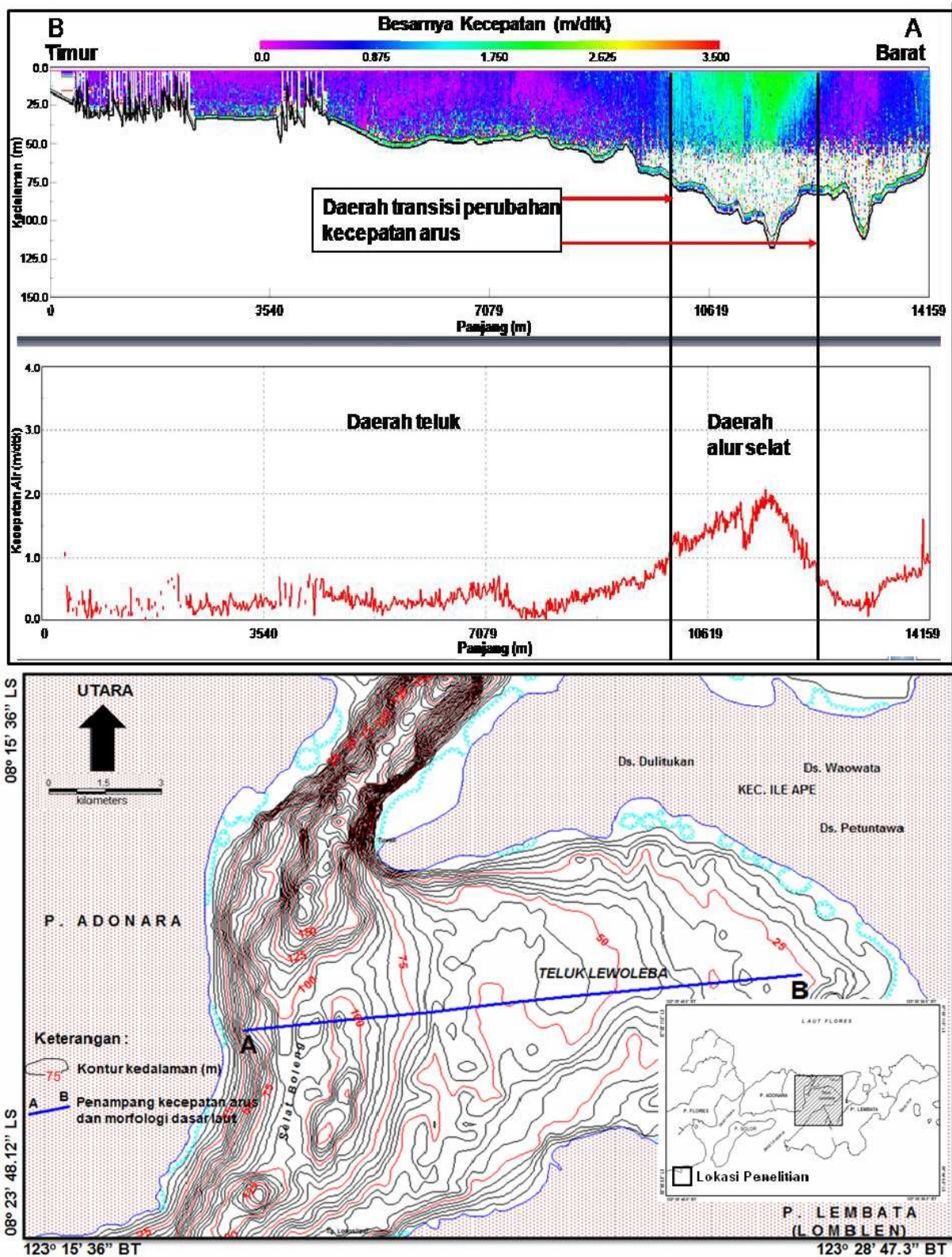
Distribusi kecepatan arus baik secara vertikal maupun horisontal di perairan Selat Boleng selain dipengaruhi oleh kondisi pasang surut, juga dipengaruhi oleh kondisi kedalaman lautnya. Berdasarkan data dari beberapa lintasan *ADCP* bergerak, kecepatan arus di perairan Selat Boleng berkorelasi dengan kedalaman lautnya, dimana secara berangsur semakin dalam kecepatan arusnya relatif meningkat. Kecepatan arus tertinggi terjadi pada alur selat yang paling dalam pada saat kondisi air pasang menuju pasang maksimum dan kondisi air surut menuju surut minimum. Distribusi kecepatan arus terhadap kedalaman pada 3 (tiga) area berbeda, yaitu area 1 di bagian selatan selat, area 2 di bagian tengah selat dan area 3 di bagian utara selat diperlihatkan pada penampang kecepatan arus yang memotong alur selat (Gambar 8a, 8b, 9a, 9b, 10a, dan 10b). Penampang morfologi dasar laut antara area 1 dan area 2 relatif sama (Gambar 8a dan 9a), sedangkan di area 3 berbeda (Gambar 10a). Di area 1 dan area 2 distribusi kedalaman alur selat antara 50 – 120 m dan di area 3 antara 50 – 180 m.

Dari ketiga bentuk morfologi dasar laut di atas terlihat bahwa besaran kecepatan arus bergradasi naik dari dangkal ke yang lebih dalam. Di area 1 dan area 2 pada kedalaman laut antara 20 – 50 m distribusi kecepatan arus maksimum berkisar antara 0.5 – 2.0 m/dtk, kedalaman laut 50 – 100 m distribusi kecepatan arus maksimum berkisar antara 2.1 – 3.0 m/dtk dan kedalaman 100 – 120 m distribusi kecepatan arus maksimum di atas 3.0 m/dtk. Dilihat dari distribusi kecepatan arus secara vertikal, kecepatan arus pada kedalaman 10 – 75 m relatif bervariasi sehingga mengakibatkan adanya arus-arus turbulensi, sedangkan distribusi kecepatan arus vertikal pada kedalaman 75 – 120 m relatif lebih seragam dan tidak mengalami turbulensi.

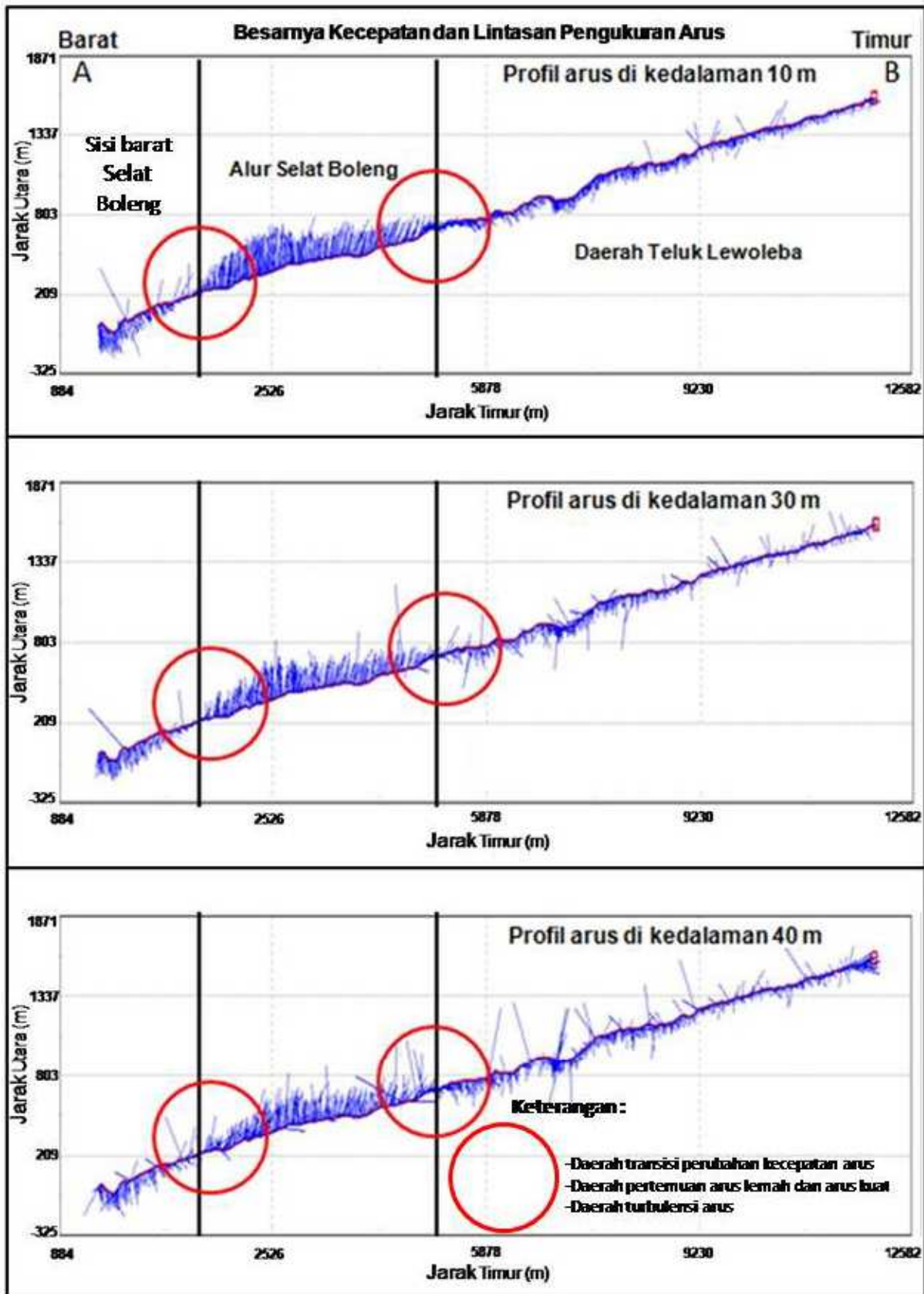
Mengacu pada kriteria pemilihan lokasi turbin pembangkit listrik tenaga arus dari *Marine Current Turbine Ltd.*, suatu lokasi layak dikembangkan untuk pembangkit listrik tenaga arus laut apabila lokasi tersebut terletak tidak jauh dari pantai, dekat dengan jaringan listrik, mempunyai kecepatan arus laut 2.0 – 3.0 m/dtk (tergantung jenis turbin) dan morfologi dasar lautnya relatif rata (Ainsworth dan Thake, 2006). Saat ini teknologi turbin pembangkit listrik tenaga arus laut yang ada di dunia hanya mampu ditempatkan pada kedalaman laut 20 m - 100 m (Aseli, 2012).

Dengan melihat gambaran tersebut di atas, di area 1 dan area 2 daerah yang mempunyai potensi untuk dikembangkan PLTAL adalah daerah yang mempunyai kedalaman lebih besar dari 75 m, dengan pertimbangan mempunyai kecepatan arus di atas 2.0 m/dtk dan distribusi arusnya relatif seragam baik saat pasang maupun surut. Sedangkan berdasarkan perhitungan jarak dari garis pantai terhadap kedalaman laut 75 m, jarak garis pantai sisi barat lebih dekat, yaitu berkisar antara 700 – 1700 m dibandingkan dengan jarak terhadap garis pantai sisi timur, yaitu berkisar antara 1900 m – 12.500 m. Oleh karena itu lokasi yang paling layak dilihat dari sisi jarak terhadap lokasi potensi energi arus di area 1 dan area 2 adalah sisi barat Selat Boleng.

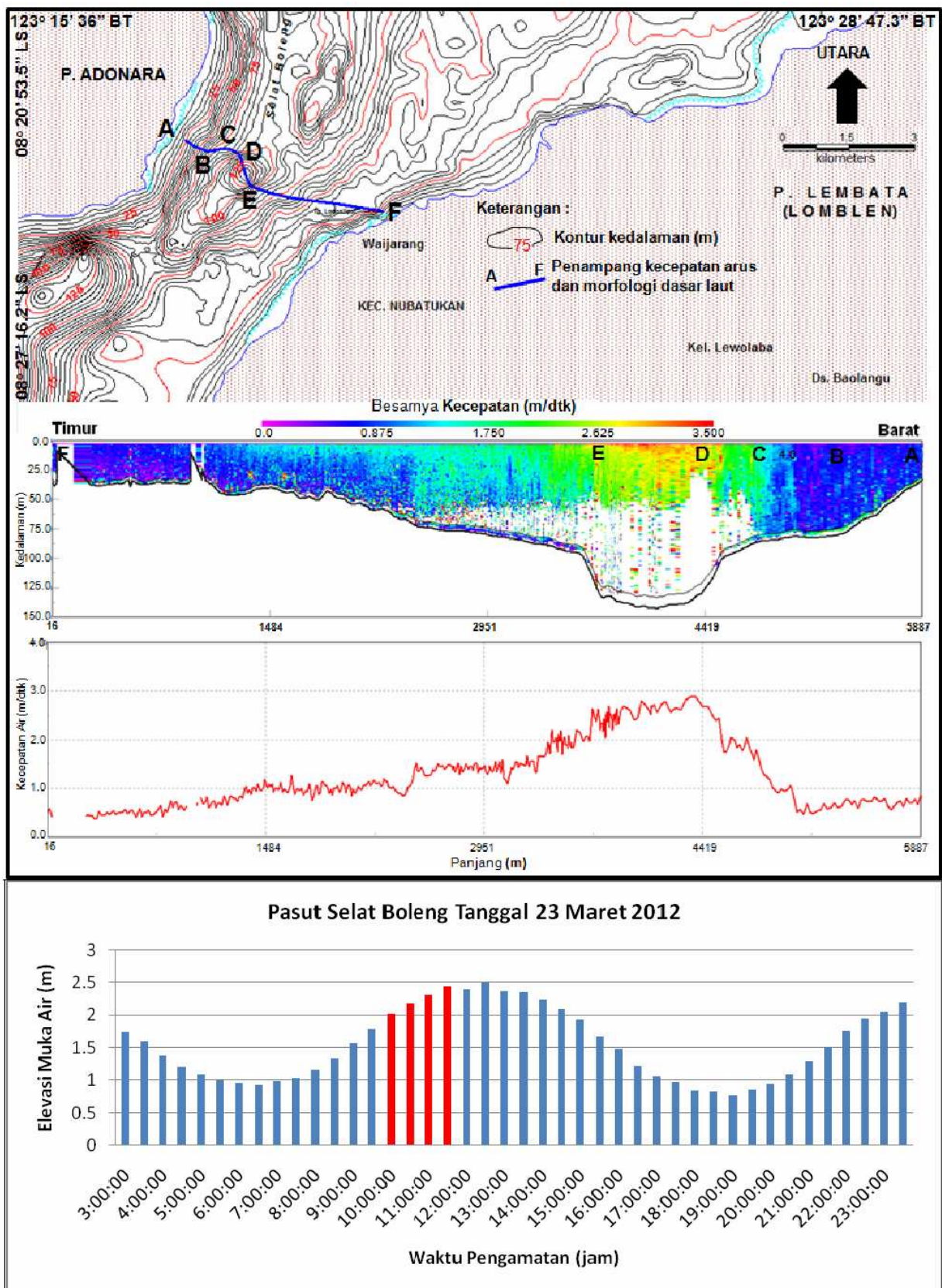
Kemiringan morfologi dasar laut pada kedalaman laut 75 m – 100 m di sekitar sisi barat Selat Boleng cukup bervariasi (Gambar 11), di area 1 kemiringan morfologi dasar laut berkisar antara 3.58° - 10.88° dan di area 2 berkisar antara 0.80° - 7.50° . Morfologi dasar laut dengan kemiringan paling kecil dan area yang luas terletak di bagian tengah hingga selatan area 2 dengan kemiringan antara 0.80° - 1.50° , sehingga di area ini memungkinkan untuk memasang turbin dengan cara bersusun (*marine current farm*). Dengan mengintegrasikan ketiga kriteria teknis tersebut di atas, yaitu jarak, kecepatan arus dan kemiringan morfologi dasar laut, prioritas pertama secara teknis lokasi di area 2 dengan kemiringan morfologi dasar laut antara 0.80° - 1.50° memenuhi kriteria untuk penempatan turbin pembangkit listrik tenaga arus laut dibanding dengan lokasi lainnya. Turbin yang cocok ditempatkan di lokasi ini terutama untuk tipe turbin pembangkit listrik dengan menggunakan sistem pemberat (*gravity base*) dan sistem terapung (Black dan Veatch, 2005). Sedangkan untuk tipe turbin tiang pancang kedalaman lautnya terlalu dalam, turbin tipe ini hanya cocok untuk kedalaman laut 30 m – 40 m



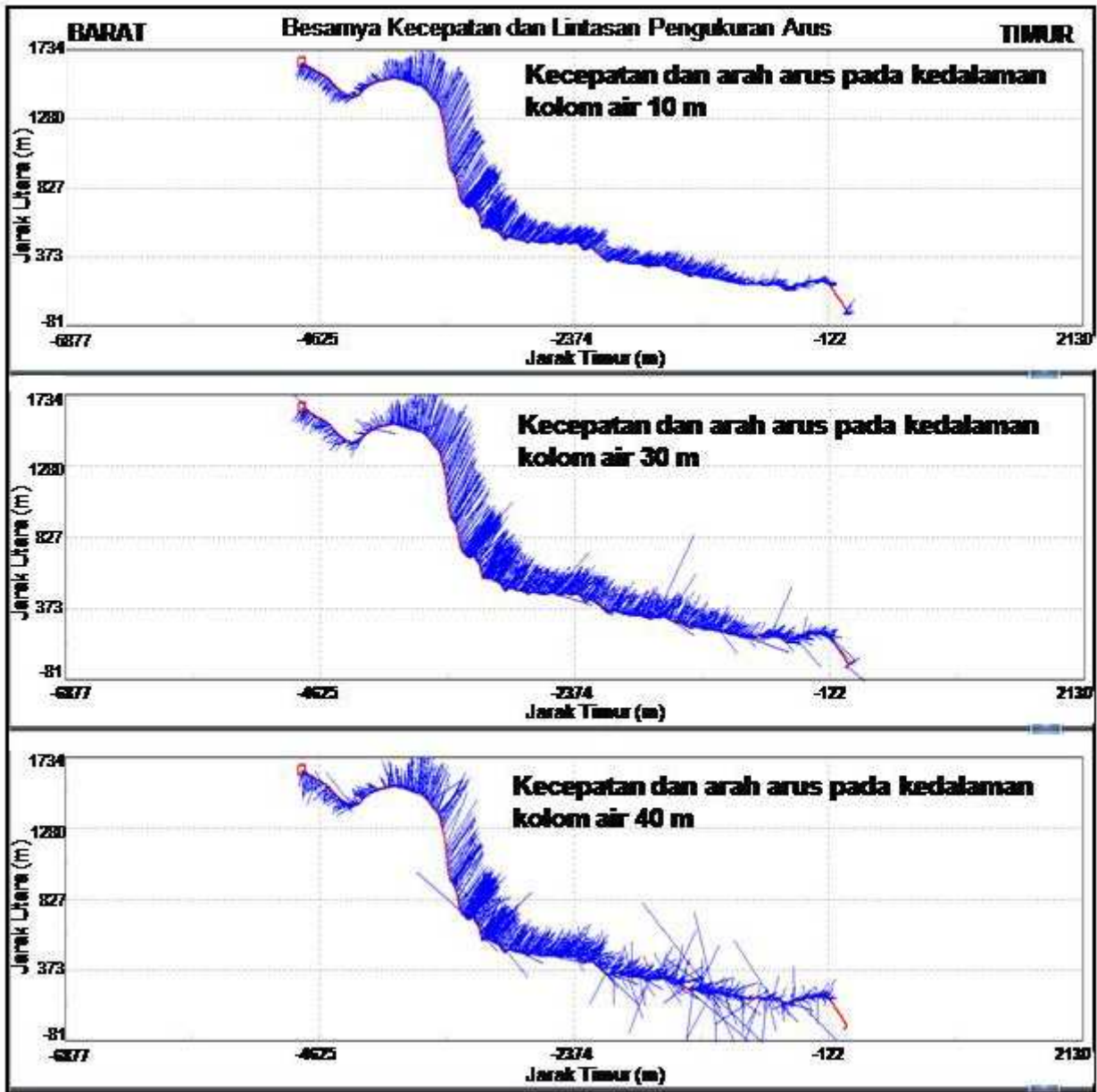
Gambar 7a. Lokasi daerah transisi perubahan arus pada penampang melintang berarah barat-timur yang memotong alur Selat Boleng dan Teluk Lewoleba.



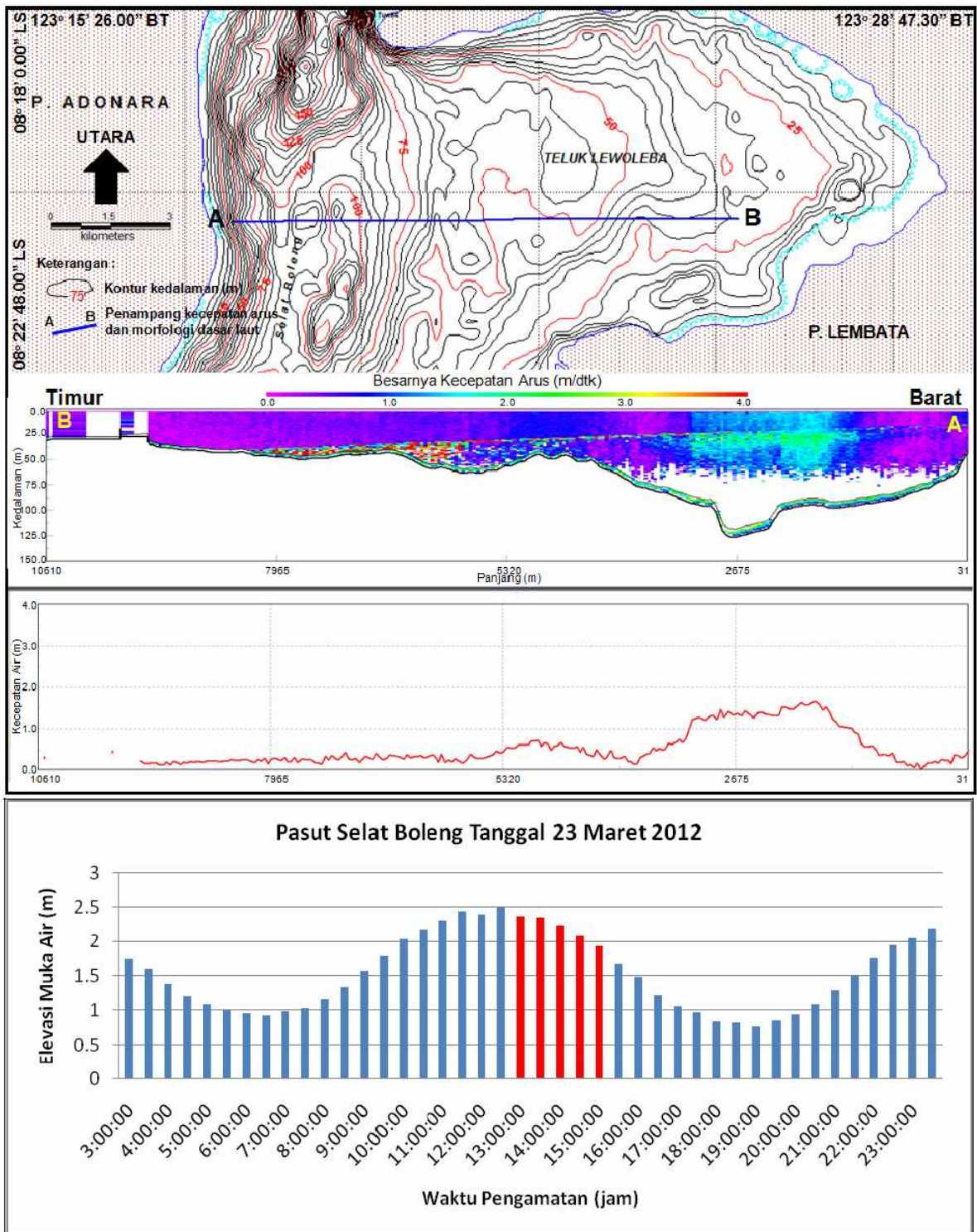
Gambar 7b. Profil kecepatan dan arah arus pada kedalaman 10 m, 30 m dan 40 m pada penampang melintang berarah barat-timur yang memotong alur Selat Boleng dan Teluk Lewoleba Distribusi Kecepatan Arus Terhadap Kedalaman Laut



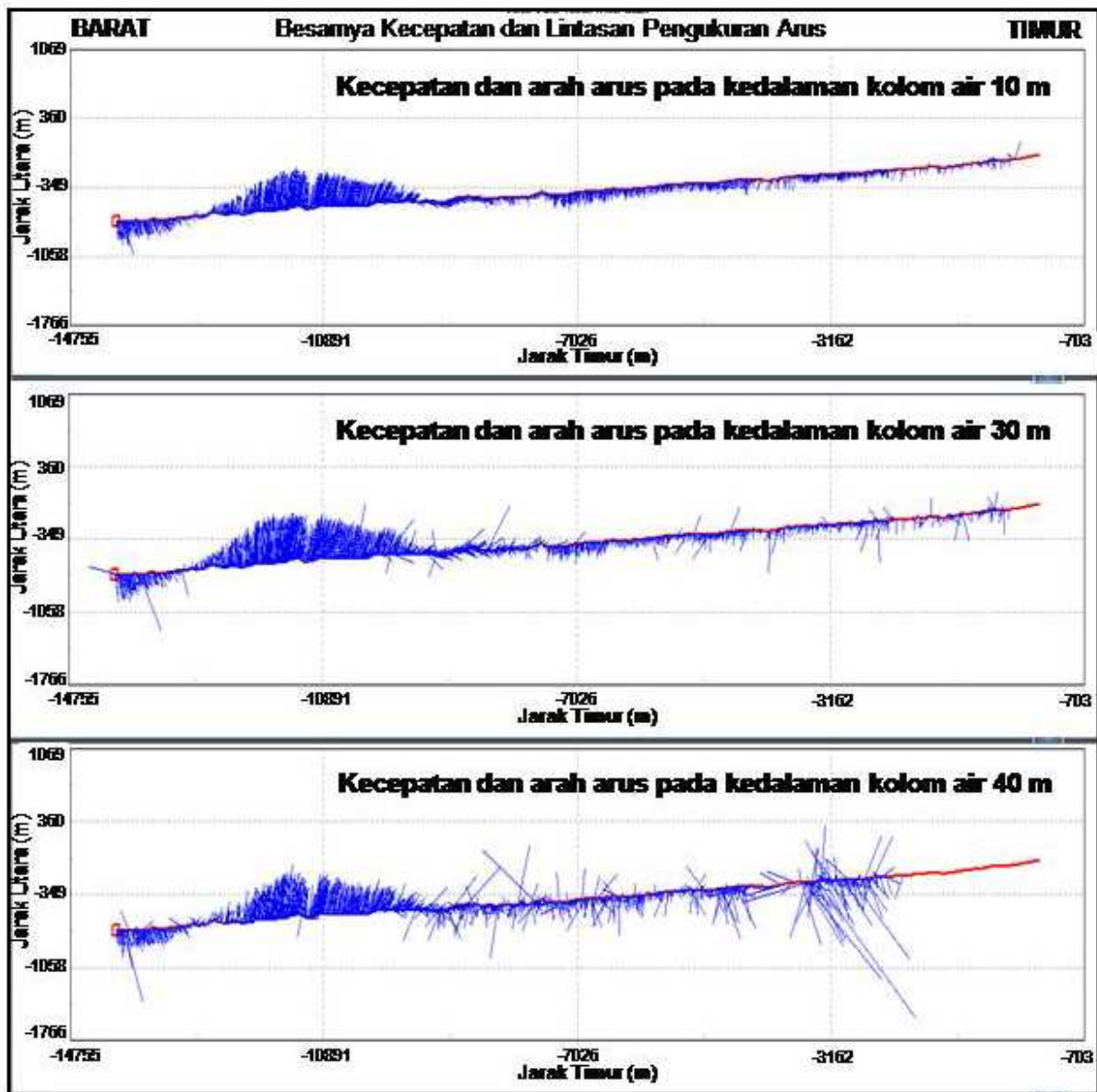
Gambar 8a. Distribusi kecepatan arus yang memotong alur selat (penampang berarah Barat-timur) di bagian selatan Selat Bolong pada saat kondisi air pasang-pasang maksimum



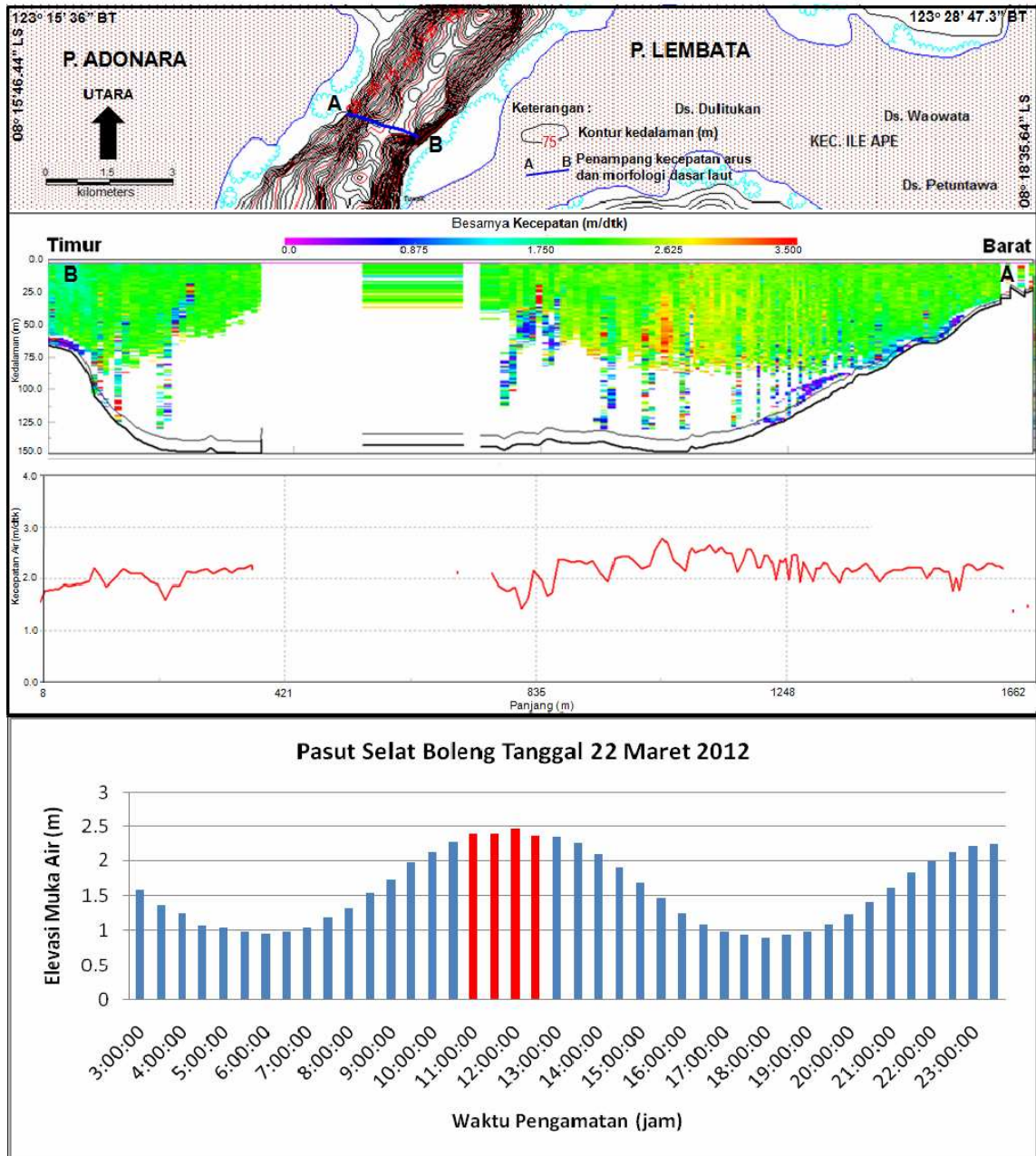
Gambar 8b. Profil penampang kecepatan arus yang memotong alur selat (penampang berarah barat-timur) di bagian selatan Selat Boleng pada saat air kondisi pasang-pasang maksimum



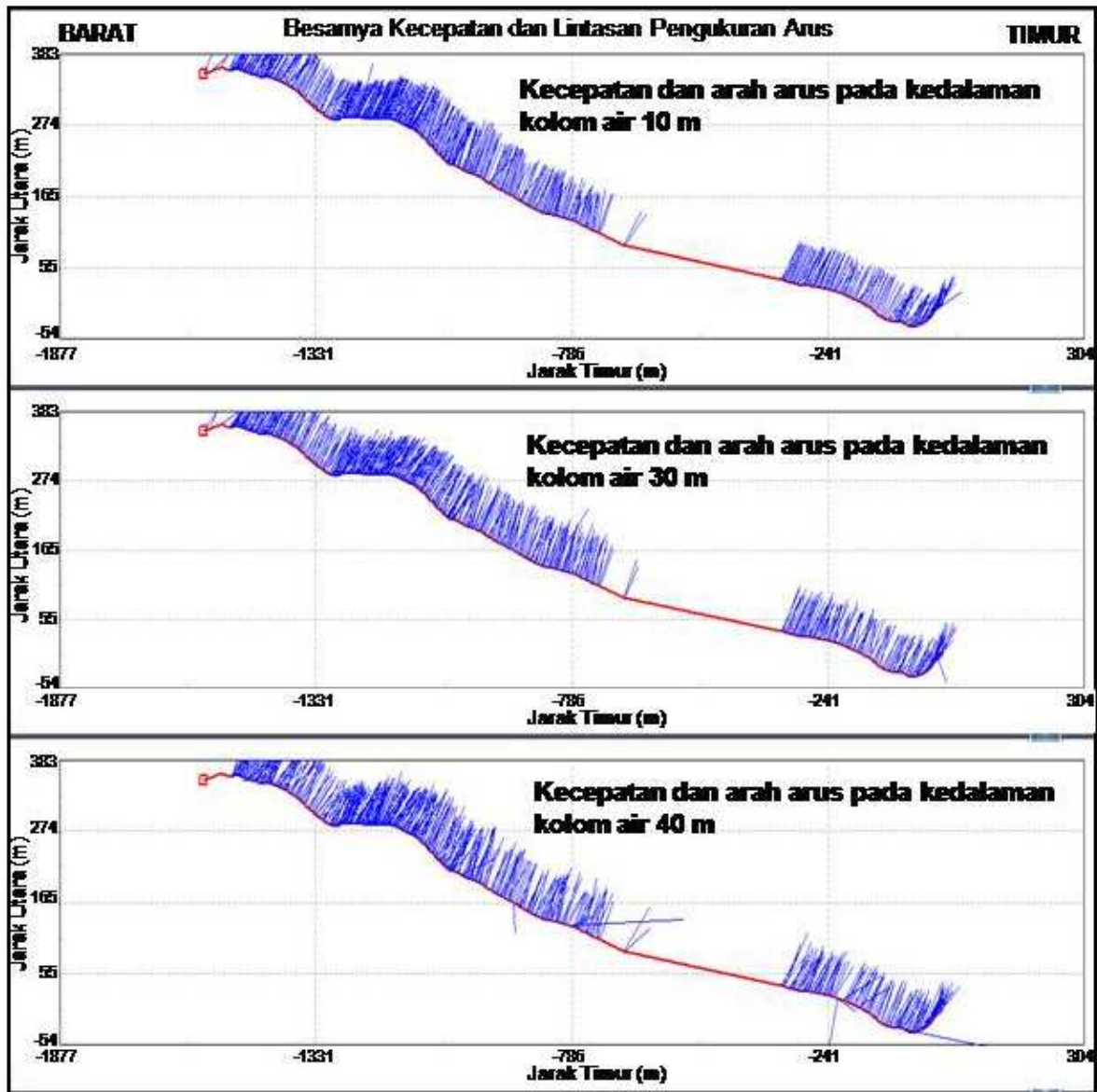
Gambar 9a. Distribusi kecepatan arus yang memotong alur selat (penampang berarah barat-timur) di bagian tengah Selat Bolong pada saat kondisi air pasang maksimum - surut



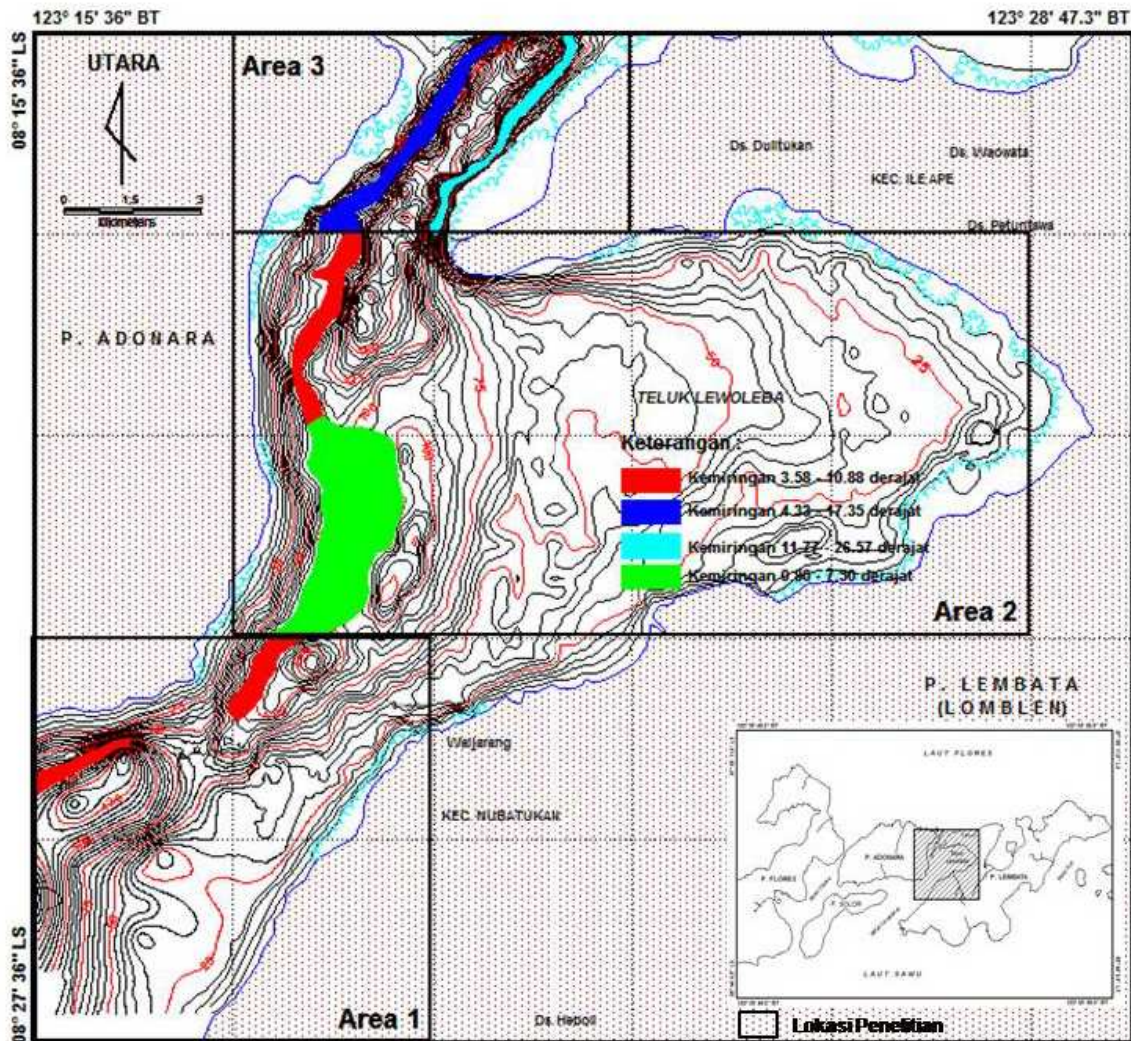
Gambar 9b. Profil penampang kecepatan arus yang memotong alur selat (penampang berarah barat-timur) di bagian tengah Selat Bolong pada saat kondisi air pasang maksimum - surut



Gambar 10a. Distribusi kecepatan arus yang memotong alur selat (penampang berarah barat-timur) di bagian utara Selat Boleng pada saat kondisi air pasang maksimum



Gambar 10b. Profil penampang kecepatan arus yang memotong alur selat (penampang berarah barat-timur) di bagian utara Selat Boleng pada saat kondisi air pasang maksimum



Gambar 11. Distribusi kemiringan morfologi dasar laut di alur Selat Boleng pada kedalaman 50 – 100 m di bagian utara selat dan kedalaman 75 – 100 m di bagian tengah dan selatan selat

(Black dan Veatch, 2005). Beberapa teknologi pembangkit turbin telah mampu bekerja dengan baik menghasilkan energi listrik pada kedalaman laut antara 50 m – 100 m pada kecepatan arus laut antara 1.0 m/dtk – 3.0 m/dtk, salah satu diantaranya adalah *Tidal Turbine Andritz Hydro Hammerfest* (www.Andritz.com).

Berbeda dengan area 1 dan area 2, di area 3 lebar selat lebih sempit, yaitu sekitar 3000 m dengan distribusi kedalaman laut berkisar antara 20 m – 180 m, oleh karena itu kecepatan arus di area ini relatif seragam terutama pada kedalaman laut yang lebih besar dari 50 m dengan kecepatan arus berkisar antara 2.0 – 3.0 m/dtk. Kemiringan morfologi dasar laut relatif curam pada kedalaman laut antara 50 m – 100 m, baik di sisi barat maupun sisi timur selat. Di sisi barat kemiringan morfologi dasar laut berkisar antara 4.33° - 17.35° dengan jarak antar kedalaman sekitar 200 m – 300 m,

sedangkan di sisi timur berkisar antara 11.77° - 26.57° dengan jarak antar kedalaman 100 m – 300 m (Gambar 11). Sedangkan jarak dari lokasi potensi (kedalaman laut 50 m) terhadap garis pantai baik di sisi barat maupun sisi timur berjarak sekitar 800 m – 1200 m.

Secara teknis area 3 hanya cocok untuk tipe turbin terapung, karena untuk turbin tipe tiang pancang dan sistem pemberat akan sulit dilaksanakan karena morfologi dasar lautnya cukup curam dan luas penampang aliran cukup sempit pada kedalaman laut 50 m – 100 m.

KESIMPULAN

Distribusi kecepatan arus di perairan Selat Boleng sangat dipengaruhi oleh kondisi pasang surut, kedalaman laut dan bentukan morfologi dasar lautnya.

Berdasarkan gambaran distribusi kecepatan arus secara vertikal dan horizontal, kedalaman laut dan bentukan morfologi dasar lautnya, lokasi penempatan turbin yang cukup representatif di perairan Selat Boleng adalah di sisi barat selat pada kedalaman di atas 75 m untuk lokasi bagian selatan selat (area 1) dan bagian tengah selat (area 2), sedangkan untuk bagian utara selat (area 3) pada kedalaman di atas 50 m. Kecepatan arus pada lokasi tersebut pada berbagai kedudukan muka air laut (kedudukan pasang surut) berkisar antara 1.5–3.1 m/s.

Dari ketiga area, paling representatif untuk penempatan turbin pembangkit listrik tenaga arus laut adalah area 2 di lokasi dengan kemiringan morfologi dasar laut 0.80° – 1.50° . Tipe turbin yang cocok adalah tipe turbin sistem pemberat (*gravity base*) dan turbin terapung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Subaktian Lubis, M.Sc. (Mantan Kepala Puslitbang Geologi Kelautan), Dr. Susilohadi (Kepala Puslitbang Geologi Kelautan), Dr. Ir. Ediar Usman, M.T. (KKP3 Kebijakan Teknis Geologi Kelautan) dan Lili Sarmili, M.Sc. (KKP3 Sumber Daya Geologi Kelautan) atas kepercayaannya kepada penulis untuk membantu kegiatan penelitian energi arus di perairan Selat Boleng, Nusa Tenggara Timur. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada rekan-rekan satu tim, atas bantuan dan kerjasamanya.

ACUAN

Ainsworth, D., Thake, J., 2006. Final Report and Preliminary Works Associated with 1 MW Tidal Turbine, Marine Current Turbine Ltd., Ireland.

Asosiasi Energi Laut Indonesia (Aseli), 2012. Potensi dan Teknologi Energi Laut Indonesia, Jakarta.

Black and Veatch, 2005. Phase II UK Tidal Stream Energy Resource Assessment, London: The Carbon Trust.

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.

Fraenkel, P.L., 2002. Power from Marine Currents, *Proc Instn Mech Engrs Vol 216 Part A : J Power and Energy*.

Yuningsih, A., Masduki, A., Rachmat, B., 2010. Penelitian Potensi Energi Arus Laut sebagai Energi Baru Terbarukan di Perairan Toyapakeh, Nusa Penida, Bali,

Jurnal Geologi Kelautan Vol. 8 No. 3, Puslitbang Geologi Kelautan, Tidak Dipublikasi.

www.landsat.usgs.gov/using_landsat_7ETM

www.Andritz.com