

Sebuah Model Numerik Arus Laut di Selat Bangka Sulawesi Utara dan Analisis Potensi Energi Kinetik untuk Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut

Parabelem Tinno Dolf Rompas ^{1,*}, Heindrich Taunaumang ²
dan Ferry Jhony Sangari ³

¹Fakultas Teknik Universitas Negeri Manado, Tondano, Sulawesi Utara, Indonesia

²Fakultas MIPA Universitas Negeri Manado, Tondano, Sulawesi Utara, Indonesia

³Fakultas Teknik Universitas Negeri Manado, Tondano, Sulawesi Utara, Indonesia

^{*}parabelemrompas@unima.ac.id

Abstrak

Sebuah rancangan model numerik dan analisis potensi energi kinetik untuk mempelajari arus laut sebagai pembangkit listrik tenaga arus laut di selat Bangka Sulawesi Utara telah diteliti. Kekurangan pasokan energi listrik di Indonesia menuntut solusi melalui pengadaan pembangkit listrik energi terbarukan di Indonesia yang salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga arus laut (PLTAL). Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan potensi energi kinetik sebagai penggerak mula turbin melalui studi arus laut dengan pendekatan sebuah model numerik. Metode yang digunakan adalah mula-mula mengadakan studi pustaka awal termasuk pencarian peta selat Bangka dan sekitarnya (lokasi penelitian) dan survey pendahuluan di lokasi penelitian, pengambilan data-data (pasang surut air laut, temperatur air laut dan udara di atas permukaannya, kecepatan angin di atas permukaan air laut), kemudian pembuatan bathymetry selat Bangka dan sekitarnya berdasarkan peta, terakhir perancangan sebuah model numerik dalam bentuk program numerik arus laut di selat Bangka dengan pengembangan metode beda hingga semi-implisit untuk air dangkal dua dan tiga dimensi. Hasilnya adalah kecepatan arus laut maksimum hasil rancangan model numerik pada debit konstan 0,3 Sv saat arus surut dan pasang masing-masing adalah 2,7 m/s dan 3,16 m/s. Potensi energi kinetik maksimum pada debit konstan 0,3 Sv saat arus surut dan pasang masing-masing adalah 10 kW/m² dan 16 kW/m². Implementasi rancangan model numerik dilakukan pada kegiatan penelitian berikut untuk menganalisis potensi energi listrik untuk PLTAL dengan data pengukuran langsung dari kecepatan arus laut di selat Bangka Sulawesi Utara.

Kata kunci : Model numerik, energi kinetik, arus laut, selat Bangka

Pendahuluan

Letak geografis selat Bangka yaitu dari dari 125°04'40"E sampai 125°11'18"E dan 1°41'25"N sampai 1°44'03"N yang dikelilingi oleh pulau-pulau seperti Talise, Kinabuhutan, Ganga, Tindila, Lehaga, dan Sulawesi. Pada bagian timur selat terdapat laut Maluku dan lautan Pacifik, sedangkan pada bagian barat terdapat laut Sulawesi (lihat Gambar 1).

Kekurangan pasokan listrik di daerah perdesaan sangat mungkin terjadi karena jauh dari perkotaan dan jaringan listrik, namun tidak menutup kemungkinan daerah perkotaan juga mengalami hal yang sama. Pada kenyataannya banyak kota dan kecamatan yang mengandalkan PLTD dan hanya beroperasi malam hari saja dari jam 6-12 malam dan manakala minyak susah didapatkan, mengakibatkan terjadi

pemadaman listrik secara bergilir bahkan mungkin meluas.

Pemerintah Indonesia melalui Presiden dan Wakil Presiden serius mendorong peningkatan infrastruktur kelistrikan di Indonesia [1]. Hal itu dilaksanakan dengan terbitnya Peraturan Presiden (Perpres) No. 4 Tahun 2016 tentang percepatan pembangunan infrastruktur ketenagalistrikan. Sebelumnya Presiden telah meresmikan program 35 ribu MW untuk Indonesia. Kementerian Koordinator (Kemenko) Bidang Perekonomian mengadakan sosialisasi mengenai tindak lanjut Perpres no. 4 tahun 2016. Sosialisasi itu pada dasarnya dimaksudkan untuk memberikan wawasan kepada instansi, sekaligus menindaklanjuti pelaksanaan upaya percepatan pembangunan infrastruktur ketenagalistrikan dengan mengutamakan

penggunaan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dalam rangka mendukung upaya penurunan emisi gas rumah kaca. Untuk itu, Pemerintah Pusat menugaskan PLN dengan memberikan dukungan berupa penjamin, percepatan perizinan dan non perizinan, penyediaan energi primer, tata ruang, penyediaan tanah, dan penyelesaian hambatan dan permasalahan, serta penyelesaian masalah hukum yang dihadapi dalam keseluruhan Proyek 35.000 MW. Keberadaan Perpres No. 4/2016, diharapkan pembangunan mega proyek yang ditargetkan selesai pada 2019 dapat terealisasi sesuai rencana. Proyek Pembangunan Kelistrikan 35.000 MW bernilai sebesar 72.942 juta USD yang mana sebesar 40 persen (29,2 juta USD) merupakan komponen produksi dalam negeri. Semua itu dilakukan untuk mengatasi kekurangan pasokan listrik di Indonesia termasuk di Sulawesi Utara.

Lokasi ideal untuk Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut (PLTAL) mempunyai kecepatan arus dua arah (arus pasang surut) minimum adalah 2 m/s pada kedalaman laut tidak kurang dari 15 m dan tidak lebih dari 40 atau 50 m [2]. Pembangunannya itu harus dekat pantai agar energi dapat disalurkan dengan biaya murah. Daerahnya cukup luas untuk pemasangan lebih dari satu turbin dan bukan pada daerah transportasi laut dan penangkapan ikan.

Simulasi numerik untuk mengetahui potensi daya listrik di beberapa daerah di Indonesia telah dilakukan oleh Laboratorium Hidrodinamika Indonesia BPPT dan The Society of Naval Architects of Japan [3]. Juga, telah dilakukan oleh Rompas dan Manongko yang menghasilkan distribusi kecepatan arus laut dan energi kinetik di Selat Bunaken Sulawesi Utara [4] dan di Teluk Manado Sulawesi Utara [5].

Tujuan Penelitian. Kajian model numerik arus laut di selat Bangka Sulawesi Utara bertujuan untuk mendapatkan potensi energi kinetik sebagai penggerak mula turbin melalui studi arus laut dengan pendekatan sebuah model numerik. Hasil yang diharapkan adalah distribusi energi kinetik dari hasil analisis distribusi kecepatan arus laut melalui pemodelan numerik.

Hasil itu dapat dikaji melalui pemodelan numerik yang secara teori dapat menentukan distribusi kecepatan arus di suatu daerah yang airnya dangkal [6, 7, 8, 9, 10].

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \operatorname{div} \left(v_{\text{eff}} \overrightarrow{\operatorname{grad}}(\bar{u}) \right) + f_{\text{cor}} \bar{v} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \operatorname{div} \left(v_{\text{eff}} \overrightarrow{\operatorname{grad}}(\bar{v}) \right) + f_{\text{cor}} \bar{u} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\int_{-h}^{\eta} \bar{u} dz \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\int_{-h}^{\eta} \bar{v} dz \right) = 0 \quad (4)$$

dimana $\bar{u}(x,y,z,t)$, $\bar{v}(x,y,z,t)$ dan $\bar{w}(x,y,z,t)$ adalah masing-masing komponen kecepatan dalam arah x,y horizontal, dan z vertikal, t adalah waktu, $\eta(x,y,t)$ adalah elevasi permukaan air, g is percepatan gravitasi, f_{cor} adalah parameter Coriolis. v_{eff} adalah sebuah difusi efektif.

Parameter Coriolis. Parameter Coriolis diasumsikan konstan dan persamaannya adalah [11]:

$$f_{\text{cor}} = 2\omega \sin(\varphi) \quad (5)$$

dimana ω adalah kecepatan sudut dari bumi ($\omega = 7.29212 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$) dan φ adalah latitud. Pengaruh gaya Coriolis di dalam persamaan Navier-Stokes diatur melalui bilangan Rossby:

$$R_0 = \frac{\bar{u}_{\text{ref}}}{f_{\text{cor}} l} \quad (6)$$

where \bar{u}_{ref} and l adalah masing-masing kecepatan referensi dan panjang dari aliran. Itu penting hanya jika $R_0 \leq 1$ [12].

Difusi efektif. Difusi efektif adalah jumlah dari viskositas kinematik turbulen (v_t) dan viskositas kinematik molekuler (v_m). Viskositas kinematik turbulen digunakan formulasi kedalaman yang dirata-ratakan dari Stansby [10] yaitu:

$$v_t = \left(h^4 \left[2 \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right)^2 \right] + (\gamma \bar{u}_f h)^2 \right)^{1/2} \quad (7)$$

Kondisi-kondisi batas. Sejauh ini daerah teluk Manado bentuknya lebih kompleks untuk aliran permukaan bebas. Itu dibatasi:

1. *Kondisi-kondisi batas pada permukaan dan dasar laut.*

Pada permukaan laut, persamaan yang digunakan adalah [8]:

$$v_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = C_D \rho_{\text{udara}} W_{10,x} \|W_{10,x}\| \quad (8)$$

$$v_t \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} = C_D \rho_{\text{udara}} W_{10,y} \|W_{10,y}\| \quad (9)$$

dimana $C_D = (0.75 + 0.067 W_{10}) 10^{-3}$ adalah sebuah koefisien gesek dari formula Garratt (1977) yang merupakan fungsi dari kecepatan angin. $\rho_{\text{udara}} = 1.178 \text{ kg/m}^3$ (pada 27°C dan 1 bar) dan kecepatan angin 10 m di atas permukaan laut pada arah x dan y adalah $W_{10,x}$ dan $W_{10,y}$.

Pada dasar laut, persamaan tegangan dasar laut bisa dihubungkan kepada hukum turbulen dinding dasar laut, sebuah koefisien gesek yang diasosiasikan dengan sebuah formula Chezy. Persamaan itu menjadi [12]:

$$v_t \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = - \frac{g \sqrt{(\bar{u}^2 + \bar{v}^2)}}{C_z^2} \bar{u} \quad (10)$$

$$v_t \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} = - \frac{g \sqrt{(\bar{u}^2 + \bar{v}^2)}}{C_z^2} \bar{v} \quad (11)$$

dimana C_z adalah koefisien Chezy.

2. *Kondisi-kondisi batas pada dinding dan saluran keluar sistem.*

Pada dinding, tegangan sama dengan nol, sehingga kecepatan-kecepatan dalam semua arah pada dinding sama dengan nol.

Pada saluran keluar sistem, ada dua metode yang digunakan yaitu metode von Neumann [16] dan pengembangan kondisi batas Adaptatif [17]. Persamaan-persamaan itu adalah:

Metode pertama,

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0 \quad (12)$$

Metode kedua,

jika $(C_{\varphi x} > 0)$ maka;

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = -C_{\varphi x} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \frac{(\varphi_c - \varphi)}{\tau_o} \quad (13)$$

jika $(C_{\varphi x} \leq 0)$ maka;

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{(\varphi_c - \varphi)}{\tau_i} \quad (14)$$

dimana $C_{\varphi x}$ dan $C_{\varphi y}$ kecepatan-kecepatan fase pada arah x dan y ke batas di dalam koordinat kartesius local. φ adalah variabel yang menjadi perlakuan untuk kondisi batas yang ditentukan. φ_c adalah sebuah perkiraan klimatologi atau observasi dari φ pada batas di saluran keluar. τ_o dan τ_i adalah skala waktu relaksasi pada kondisi masuk dan keluar sistem.

Model Numerik. Persamaan-persamaan model numerik untuk menghitung kecepatan-kecepatan dalam arah x, y, dan z diturunkan dari persamaan-persamaan model matematika. Penyelesaian numerik tiga dimensi digunakan metode beda hingga semi implisit [6, 7, 13]. Ada tiga langkah dalam penyelesaian model numerik dari persamaan-persamaan model matematika Pers. 1, Pers. 2, Pers. 3, dan Pers. 4 yaitu sebagai berikut:

1. *Langkah adveksi.*

Langkah adveksi menggunakan diskretisasi *Eulerian-Lagrangian* dari hubungan konveksi dan viskos. Persamaannya adalah sebagai berikut [7]:

$$C_{i-a,j-b,k-d}^n = (1-r)\{(1-p) \quad (15)$$

$$[(1-q)C_{i-l,j-m,k-n}^n + qC_{i-l,j-m,k-n}^n]$$

$$+ p[(1-q)C_{i-l-1,j-m,k-n}^n + qC_{i-l-1,j-m-1,k-n}^n]\}$$

$$+ r\{(1-p)[(1-q)C_{i-l,j-m,k-n-1}^n + qC_{i-l,j-m-1,k-n-1}^n]\}$$

$$+ p[(1-q)C_{i-l-1,j-m,k-n-1}^n + qC_{i-l-1,j-m-1,k-n-1}^n]\}$$

dengan kondisinya stabilnya adalah:

$$\Delta t \leq \left[2\mu \left(\frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right) \right]^{-1} \quad (16)$$

jika $\mu=0$, maka kondisi menjadi tidak stabil.

2. Langkah difusi.

Sebuah diskretisasi semi implisit umum dari Pers. 1 dan Pers. 2 bisa dituliskan ke dalam bentuk matriks vector [7]:

$$\mathbf{A}_{i+1/2,j}^n \mathbf{U}_{i+1/2,j}^{n+1} = \mathbf{G}_{i+1/2,j}^n - g \frac{\Delta t}{\Delta x} (\eta_{i+1,j}^{n+1} - \eta_{i,j}^{n+1}) \Delta Z_{i+1/2,j}^n \quad (17)$$

$$\mathbf{A}_{i,j+1/2}^n \mathbf{V}_{i,j+1/2}^{n+1} = \mathbf{G}_{i,j+1/2}^n - g \frac{\Delta t}{\Delta y} (\eta_{i,j+1}^{n+1} - \eta_{i,j}^{n+1}) \Delta Z_{i,j+1/2}^n \quad (18)$$

dimana \mathbf{A} , \mathbf{U} , \mathbf{V} , \mathbf{G} , dan ΔZ adalah vector-vektor yang dituangkan dalam bentuk matriks. Pers. 17 dan Pers. 8 adalah sistem tridiagonal linier yang mana di kopel ke elevasi permukaan laut η^{n+1} dan waktu t_{n+1} .

3. Langkah tekanan kontinuitas. Persamaan yang digunakan adalah pengembangan dari Pers. 4, Pers. 17, dan Pers. 18 menjadi persamaan baru [7]:

$$\begin{aligned} \eta_{i,j}^{n+1} - g \frac{\Delta t^2}{\Delta x^2} & \left[(\Delta \Delta \bar{Z} \mathbf{A}^{-1} \Delta Z)_{i+1/2,j}^n (\eta_{i+1,j}^{n+1} - \eta_{i,j}^{n+1}) - (\Delta \Delta \bar{Z} \mathbf{A}^{-1} \Delta Z)_{i-1/2,j}^n (\eta_{i,j}^{n+1} - \eta_{i-1,j}^{n+1}) \right] \\ & - g \frac{\Delta t^2}{\Delta y^2} \left[(\Delta \Delta \bar{Z} \mathbf{A}^{-1} \Delta Z)_{j+1/2,i}^n (\eta_{i,j+1}^{n+1} - \eta_{i,j}^{n+1}) - (\Delta \Delta \bar{Z} \mathbf{A}^{-1} \Delta Z)_{j-1/2,i}^n (\eta_{i,j}^{n+1} - \eta_{i,j-1}^{n+1}) \right] \\ & = \eta_{i,j}^n - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[(\Delta Z)^T \mathbf{A}^{-1} \mathbf{G} \right]_{i+1/2,j}^n - \left[(\Delta Z)^T \mathbf{A}^{-1} \mathbf{G} \right]_{i-1/2,j}^n \\ & - \frac{\Delta t}{\Delta y} \left[(\Delta Z)^T \mathbf{A}^{-1} \mathbf{G} \right]_{j+1/2,i}^n - \left[(\Delta Z)^T \mathbf{A}^{-1} \mathbf{G} \right]_{j-1/2,i}^n \end{aligned} \quad (19)$$

Untuk mendapatkan kecepatan \bar{w} dalam arah z (arah ke dasar laut) dikembangkan dari Pers. 3 menjadi:

$$\begin{aligned} \bar{w}_{i,j,k+1/2}^{n+1} &= \bar{w}_{i,j,k-1/2}^{n+1} - \frac{\Delta Z_{i+1/2,j,k}^n \bar{u}_{i+1/2,j,k}^{n+1} - \Delta Z_{i-1/2,j,k}^n \bar{u}_{i-1/2,j,k}^{n+1}}{\Delta x} \\ & - \frac{\Delta Z_{i,j+1/2,k}^n \bar{v}_{i,j+1/2,k}^{n+1} - \Delta Z_{i,j-1/2,k}^n \bar{v}_{i,j-1/2,k}^{n+1}}{\Delta y} \end{aligned} \quad (20)$$

dimana $k=m, m+1, \dots, M$, dan $\bar{w}_{i,j,m-1/2}^{n+1} = 0$ artinya tidak ada aliran melintasi daerah ke dasar laut.

Metode. Metode yang dipakai adalah mulai-mula studi pustaka, pengambilan data input berupa: peta lokasi numerik melalui penelusuran *website google earth*, peta selat Bangka dan sekitarnya beserta nilai-nilai kedalaman laut normal, hasil-hasil prediksi arus pasang-surut yang terjadi di selat Bangka dan sekitarnya [15]. Langkah-langkah dalam kalkulasi numerik dapat dilihat pada Gambar 2.

Data set. Kalkulasi numerik 3D untuk pemodelan digunakan program fortran 90. Kalkulasi terdiri dari dua kondisi yaitu pada kondisi aliran air pasang dan surut. Data-data awal yang dimasukkan adalah $\Delta t = 1$ s, $g = 9,81$ m/s², $Cz = 48$, $W_{10} = 1$ m/s², iterasi maksimum $T_{\max} = 720000$, densitas udara $1,178$ kg/m³, $\rho_{\text{air}} = 1024$ kg/m³, Δx , Δy , dan Δz masing-masing 60 m, 60 m, dan 20 m, $\omega = 7.29212 \times 10^{-5}$ s⁻¹ dengan sudut $1,45^\circ$, $\tau_0 = 2$ hari dan $\tau_i = 1$ hari, debit air laut saat masuk adalah 300×10^3 m³/s (0,3 Sv).

Pembuatan grid. Grid dibuat dengan langkah-langkah sebagai berikut: pertama-tama peta lokasi numerik dalam bentuk *bathymetry* dibuat format DXF kemudian di import ke program Argus ONE. Pembuatan grid membutuhkan langkah-langkah penggerjaan sampai pada tahap ekspor grid dalam bentuk format EXP yang dipakai sebagai data-data grid dalam kalkulasi yang berisi seperti jumlah grid arah x dan y, indeks 0 untuk daratan dan 1 untuk lautan, dan terakhir data kedalaman laut hasil interpolasi yang dihitung dari program Argus ONE. Hasilnya adalah grid untuk arah x, y, dan z masing-masing adalah 174, 318, dan 4. Maksimum kedalaman laut adalah 69 m.

Pembuatan indeks. Indeks dibuat dengan memberi penomoran yaitu 99, 88, dan 77. Kegunaannya adalah sebagai tanda dalam perhitungan kecepatan arus arah x dan y. Jika $\Delta z = 0$ maka diberi 99 sedangkan jika $\Delta z \neq 0$ maka diberi tanda 1. Juga, penomoran 99 diberi tanda bahwa tidak ada kecepatan-kecepatan air arah x, y, dan z. Penomoran 88 dipakai sebagai tanda untuk kecepatan-

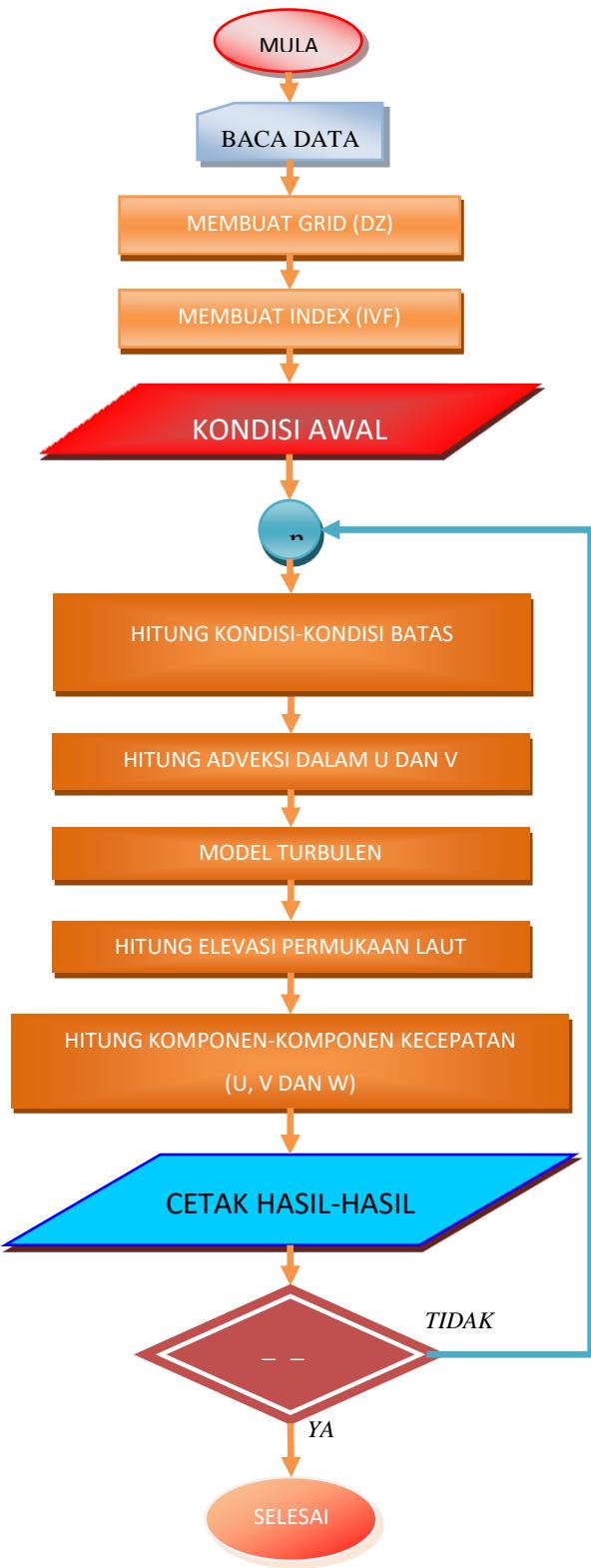
kecepatan air dan elevasi permukaan air pada daerah masuk dan keluar sistem. Terakhir penomoran 77 dipakai sebagai tanda pada perhitungan kecepatan-kecepatan arah x dan y dalam langkah adveksi dan dalam perhitungan elevasi permukaan laut.



Gambar 1. Selat Bangka Sulawesi Utara

Kondisi awal. Data-data kondisi awal yang dimasukkan ada dua kondisi yaitu pertama, saat kalkulasi baru dan kedua, saat sudah pernah kalkulasi dan akan dilanjutkan lagi. Pada kondisi pertama, semua kecepatan air sama dengan nol baik lama maupun baru, elevasi permukaan laut juga sama dengan nol baik , dan viskositas-viskositas turbulen arah x dan y sama dengan viskositas kinematik molekuler. Pada kondisi kedua, hanya data-data lama hasil kalkulasi sebelumnya seperti kecepatan-kecepatan air dan elevasi permukaan laut yang menjadi kondisi awal.

Cetak hasil kalkulasi. Sementara kalkulasi dilakukan maka data-data direkam dan dicetak dan ketika iterasi mencapai maksimum (T_{max}) maka kalkulasi selesai. Data-data hasil kalkulasi kemudian disimulasikan dengan menggunakan program Tecplot 360.



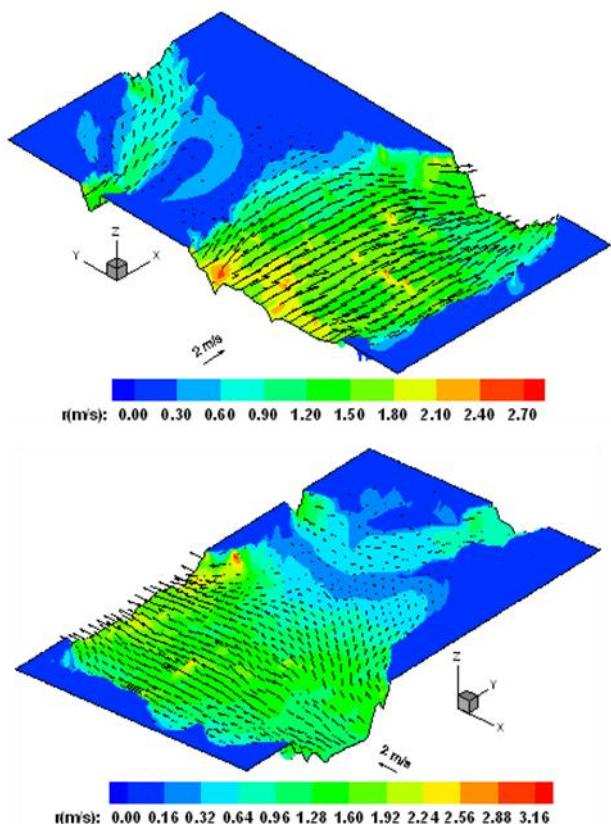
Gambar 2. Diagram alir kalkulasi numerik

Validasi hasil penelitian. Validasi data hasil penelitian dilakukan dengan cara membandingkan kecepatan-kecepatan arus laut hasil kalkulasi numerik dan hasil observasi di sekitar muara sungai Singkil (pada 1 m di bawah permukaan laut). Data-data observasi

diukur bersamaan dengan pengukuran kecepatan arus sungai masuk ke laut. Juga, diobservasi fenomena aliran di lokasi tersebut. Jika hasil kalkulasi numerik mendekati hasil observasi maka hasil kalkulasi numerik dapat diterima.

Hasil dan Pembahasan

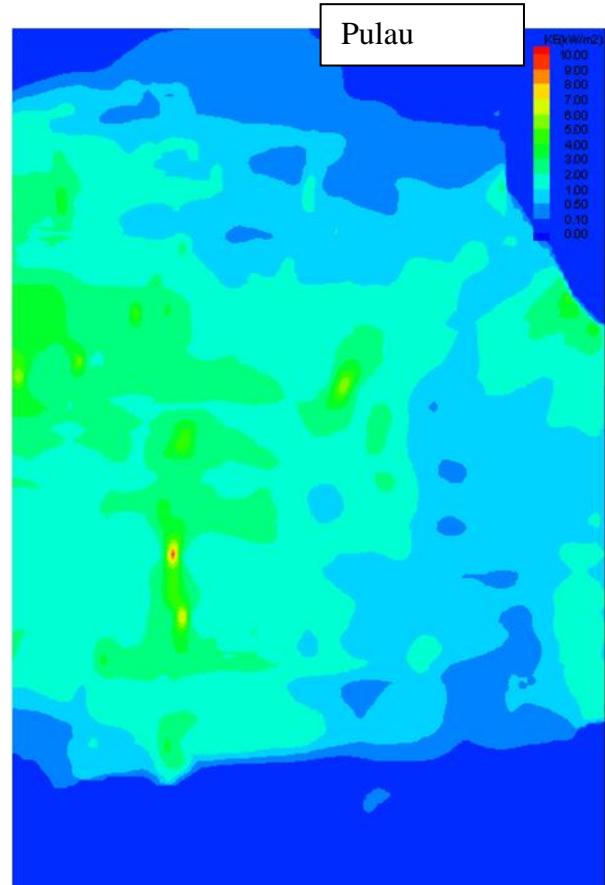
Hasil kalkulasi numerik dapat dilihat pada Gambar 3, 4, dan 5 dalam bentuk simulasi distribusi kecepatan arus dan energi kinetik pada kondisi arus surut dan arus pasang di selat Bangka Sulawesi Utara.



Gambar 3. Simulasi distribusi kecepatan arus laut pada 20 m kolom air laut dan debit 0,3 Sv saat arus surut (atas) dan pasang (bawah)

Gambar 3 menunjukkan simulasi distribusi kecepatan arus laut pada 20 m kolom air laut dan debit 0,3 Sv saat arus surut dan pasang. Saat arus surut, maksimum kecepatan arus berada di bagian barat yaitu saat arus masuk selat Bangka. Hal itu terjadi karena ada titik-titik daerah yang mana kedalaman lautnya di bawah 10 m yang dilewati arus. Di bagian tengah selat juga masih besar kecepatan arusnya yaitu pada titik-titik daerah yang kedalamannya dibawah 25 m. Saat arus

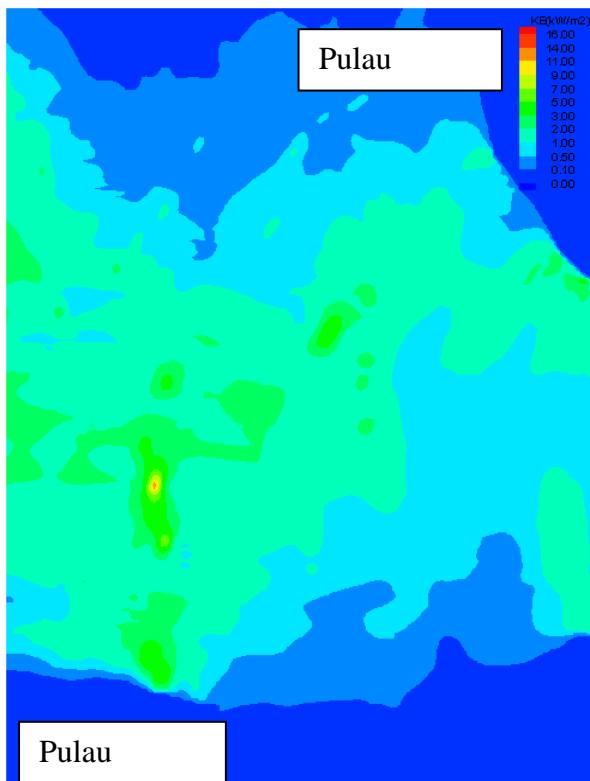
pasang, keadaannya sama dengan saat arus surut tetapi bedanya saat arus surut yang mana arus mengalir dari arah barat ke timur sedangkan saat arus pasang yang mana arah arusnya dari arah timur ke barat. Begitu pula distribusi kecepatan arus saat arus surut adalah 0,00-2,70 m/s sedangkan saat arus pasang sebesar 0,00-3,16 m/s. Perbedaan itu terjadi karena saat arus pasang, ada titik daerah di bagian barat selat dekat pulau Gangga yang mana kecepatan arusnya adalah 3,16 m/s dan itu disebabkan karena ada ketambahan arus dari bagian utara selat mengalir keluar ke arah barat selat serta kedalamannya sekitar 5-6 m.



Gambar 4. Simulasi distribusi energi kinetik arus laut per satuan luas pada 20 m kolom air laut dan debit 0,3 Sv saat arus surut

Gambar 4 dan 5 menunjukkan simulasi distribusi energi kinetik arus laut per satuan luas pada 20 m kolom air laut dan debit 0,3 Sv saat arus surut dan pasang yang terletak di bagian tengah selat Bangka. Fenomena distribusinya sama dengan distribusi kecepatan arus. Hal itu disebabkan karena energi kinetik per satuan luas pada 20 m kolom air laut

berbanding lurus dengan kecepatan arus laut. Distribusi energi kinetik arus laut per satuan luas pada 20 m kolom air laut saat arus surut dan pasang besarnya masing-masing adalah 0,00-10,00 kW/m² (Gambar 4) dan 0,00-16,00 kW/m² (Gambar 5).



Gambar 5. Simulasi distribusi energi kinetik arus laut per satuan luas pada 20 m kolom air laut dan debit 0,3 Sv saat arus pasang

Hasil Gambar 4 dan 5 menunjukkan bahwa energi kinetik yang tersedia di selat Bangka Sulawesi Utara merupakan suatu potensi energi listrik untuk pembangunan PLTAL. Implementasi rancangan model numerik akan dilakukan pada kegiatan penelitian berikut untuk menganalisis potensi energi listrik untuk PLTAL dengan data pengukuran langsung dari kecepatan arus laut di selat Bangka Sulawesi Utara. Jika pemerintah ingin membangun PLTAL dengan kapasitas 300 MW dan rata-rata potensi diambil 10 kW/m², maka luas daerah yang dibutuhkan untuk pembangunan adalah hanya sebesar 30.000 m² yang sama dengan 300 m X 100 m, sedangkan luas daerah selat Bangka yang berpotensi untuk instalasi PLTAL adalah sekitar 16 km² atau 4.000 m X 4.000 m. Terciptanya pembangunan PLTAL

sangat tergantung dari kita semua yaitu masyarakat Indonesia lebih khusus masyarakat Sulawesi Utara untuk menyadari bahwa kita sangat membutuhkan pasokan energi listrik ke depan. Lebih dari itu masyarakat sangat mengharapkan kebijakan pemerintah Indonesia untuk lebih cerdik melihat potensi energi listrik yang berada di selat Bangka Sulawesi Utara melalui hasil kajian ini sebagai target pembangunan PLTAL di masa yang akan datang.

Kesimpulan

Kajian model numerik arus laut dan analisis potensi energi kinetik untuk PLTAL di selat Bangka Sulawesi Utara dapat disimpulkan bahwa model numerik arus laut dirancang dari model matematika dari persamaan air dangkal atau *the shallow water equations* pada tekanan hidrostatika dengan versi 3D yang kemudian disederhanakan dengan menggunakan dekomposisi persamaan Navier-Stokes rata-rata dari Reynolds. Distribusi energi kinetik arus laut per satuan luas pada 20 m kolom air laut saat arus surut dan pasang besarnya masing-masing adalah 0,00-10,00 kW/m² dan 0,00-16,00 kW/m². Energi kinetik yang tersedia di selat Bangka Sulawesi Utara itu merupakan suatu potensi energi listrik untuk pembangunan PLTAL.

Referensi

- [1] Langkah Pasti Proyek 35.000 MW Didukung oleh Perpres No. 4 Tahun 2016. <http://www.pln.co.id/blog/langkah-pasti-proyek-35-000-mw-didukung-oleh-perpres-no-4-tahun-2016/> (diakses tanggal 25 Januari 2016).
- [2] P.L. Fraenkel, Power from Marine Currents, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part A: *J. Power and Energy*, vol. 216, No. 1, (2002) 1-14.
- [3] Sumber Energi Arus: Alternatif Pengganti BBM, Ramah Lingkungan, dan Terbarukan. <http://www.energi.lipi.go.id/utama.cgi?cetakaritikel&1125749769> (diakses tanggal 14 Januari 2016).
- [4] P.T.D. Rompas, J.D.I. Manongko, Simulasi numerik arus laut di selat Bunaken kota Manado Propinsi Sulawesi Utara, *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, Vol. 9, No. 2, (2014) 124-131.

- [5] P. Rompas, J. Manongko, Pemodelan numerik hasil pertemuan arus laut dan sungai di teluk Manado propinsi Sulawesi Utara, Prosiding seminar nasional tahunan teknik mesin ke-13 “kontribusi untuk masyarakat Indonesia” Universitas Indonesia Kampus UI Depok 15-16 Oktober 2014, pp.307-313.
- [6] P. Broomans, Numerical accuracy in solution of the shallow-water equations, Master thesis, TU Delft & WL, Delft Hydraulics. 2003.
- [7] V. Casulli, R.T. Cheng, Semi-implicit finite difference methods for three-dimensional shallow water flow, International Journal for Numerical Methods in Fluids. 15 (1992) 629-648.
- [8] X. Chen, A free-surface correction method for simulating shallow water flows, Journal of Computational Physics, 189 (2003) 557-578.
- [9] C. Rodriguez, E. Serre, C. Rey, H. Ramirez, A numerical model for shallow-water flows: dynamics of the eddy shedding, WSEAS Transactions on Environment and Development, 1 (2005) 280-287.
- [10] P.K. Stansby, Limitations of depth-averaged modelling for shallow wakes, Journal of Hydraulic Engineering, 132 Issue 7 (2006) 737-740.
- [11] A.R. Zarrati, Y.C. Jin, Development of a generalized multi-layer model for 3-D simulation of free surface flows, Int. J. Numer. Meth. Fluids, 46 (2004) 1049-1067.
- [12] J.M. Hervouet, Hydrodynamics of free surface flows: Modelling with the finite element method, John Wiley & Sons, Ltd., Englang: cop, ISBN 978-0-470-03558-0 (HB), 2007.
- [13] P.K. Stansby, Semi-implicit finite volume shallow-water flow and solute transport solver with k- ϵ turbulence model, International Journal for Numerical Methods in Fluids, 25 (1997) 285-313.
- [14] E. Brown, A. Colling, D. Park, Ocean Circulation. Second Edition, The Open University, Walton Hall, Milton Keynes, MK7 6AA and Butterworth-Heinemann, England: ISBN 0 7506 5278 0, cop., 2001
- [15] Dinas Hidro-Oceanografi TNI AL, Daftar pasang surut (tide tables), kepulauan Indonesia (Indonesian archipelago), Jakarta, 2006.
- [16] I. Orlanski, A Simple Boundary Condition for Unbounded Hyperbolic Flow, J. Comput. Phys., 21 (1976) 251-269.
- [17] A.M. Treguier, B. Barnier, A.P. De Miranda, An Eddy-permitting Model of the Atlantic Circulation: Evaluating Open Boundary Conditions. J. Geophy. Res.Oceans, 106(C10):22115-22129 (2001) 1-23.