

## Simulasi Numerik Arus Laut di Selat Bunaken Kota Manado Propinsi Sulawesi Utara

Parabelem T.D. Rompas<sup>1©</sup> dan Jenly D.I. Manongko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pendidikan Teknik Mesin Fatek Universitas Negeri Manado

Kampus Unima, Tondano, 95168

<sup>©</sup>Parabelem\_rompas@yahoo.com

### Abstrak

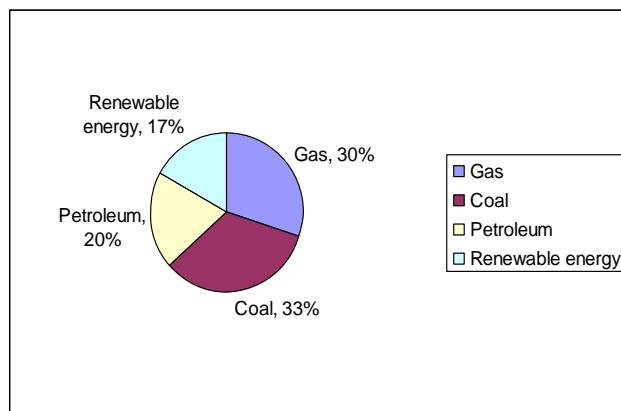
Simulasi numerik arus laut di selat Bunaken, Manado, Sulawesi Utara telah diselidiki. Salah satu variabel yang sangat menentukan dalam perhitungan ketersediaan energi untuk pembangkit listrik arus laut di selat Bunaken kota Manado propinsi Sulawesi Utara adalah distribusi kecepatan arus laut. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi distribusi kecepatan arus laut yang ada di selat Bunaken melalui simulasi numerik. Prediksi itu digunakan sebagai variabel dalam perancangan turbin pembangkit listrik arus laut. Metode yang digunakan adalah metode numerik melalui analisis matematika persamaan air laut dangkal dari persamaan Navier Stokes permukaan bebas dengan pendekatan beda hingga semi implisit 3D yang mana distribusi tekanan pada lapisan vertikal air laut diasumsi hidrostatik. Persamaan itu diturunkan dalam bentuk penurunan elevasi permukaan di dalam persamaan momentum yang kemudian didiskritisasikan secara implisit. Konveksi, Coriolis, dan faktor kecepatan horisontal di dalam persamaan momentum akan didiskritisasi secara eksplisit untuk menghilangkan kondisi stabilitas yang disebabkan oleh viskositas pusar vertikal, faktor pencampuran vertikal akan didiskritisasi secara implisit kemudian digunakan dekomposisi prosedur Reynolds menjadi persamaan-persamaan Navier-Stokes rata-rata yang direalisasikan dalam koordinat kartesian. Sirkulasi arus di selat Bunaken disimulasi dengan ukuran-ukuran lebar, panjang, dan kedalaman masing-masing 5000 m, 8000 m, dan 130 m dan menggunakan C-grid Arakawa. Model numerik diselesaikan secara 2D dan 3D dengan kondisi-kondisi batas pada permukaan air laut (yang tidak dilalui oleh fluida tetapi berkembang dengan waktu), kondisi batas pada dasar laut (secara umum *impermeable*), kondisi batas pada dinding antara laut dan pulau (termasuk tanggul, pantai yang akan membiarkan domain fluida berkembang lebih atau kurang bebas dan akan menimbulkan masalah yang meliputi dan mengekspos daerah kering), dan kondisi batas pada daerah terbuka (seperti batas di laut terbuka dan tidak sesuai dengan tiap-tiap properti fisik). Ditemukan kecepatan-kecepatan arus laut di selat Bunaken terbagi dua yaitu arus ketika terjadi air laut surut dan air laut naik, juga besarnya arus dapat digunakan dalam perancangan turbin untuk pembangkit listrik arus laut.

**Keywords:** simulasi, numerik, kecepatan arus laut, selat bunaken

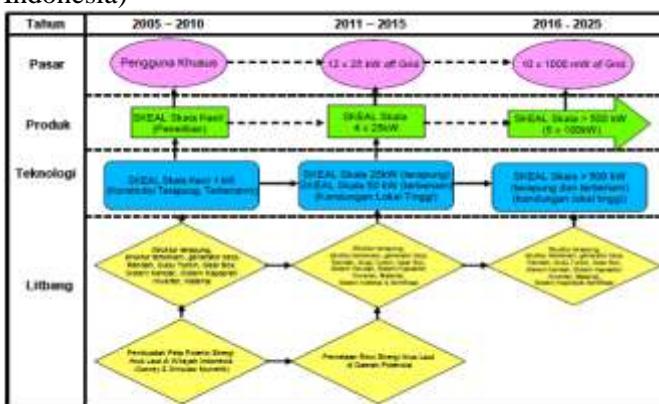
### Pendahuluan

Kajian simulasi numerik energi arus laut sudah sesuai dengan roadmap dari pemerintah Indonesia dalam bidang penelitian dan pengembangan seperti terlihat pada gambar 2. Pada periode jangka menengah dan jangka panjang, pemerintah telah merencanakan peran pemerintah melakukan penelitian dan pengembangan (R&D) yaitu mulai dari melaksanakan pemetaan energi arus laut di daerah yang berpotensial sampai pada melaksanakan penelitian dan pengembangan sektor energi arus laut skala menengah dalam jumlah banyak (turbin arus laut model *tidal farm*). Begitu pula dalam peluang pasar yang mana pada tahun 2013 peran pemerintah melanjutkan pemetaan potensi energi arus laut. Gambar 1 menunjukkan bahwa pengembangan energi

terbarukan di tahun 2025 di Indonesia sebesar 17%. Penelitian tentang simulasi numerik yang secara teori dapat menentukan besarnya energi kinetik yang tersedia di suatu daerah yang airnya dangkal (Backhaus 1983; Stelling 1984; Casulli 1990; Casulli & Cheng 1992; Stansby 1997; Casulli & Walters 2000; Broomans 2003). Data informasi terkini yang telah kami ukur melalui survey dan pengukuran awal menunjukkan bahwa di selat Bunaken tersedia kecepatan arus sekitar 2-3 m/s, menurut data dari Dinas Hidro-Oceanografi TNI AL Jakarta (2006) bahwa di selat Bunaken dan sekitarnya terdapat kedalaman laut rata-rata 60 m dan pasang surut yang terjadi rata-rata 1-1,5 m. Data-data itu menurut Fraenkel (2002) menunjukkan bahwa ada peluang besar untuk terciptanya pembangkit listrik arus laut di selat Bunaken tersebut.



**Gambar 1.** Pengembangan produksi energi listrik di tahun 2025 di Indonesia (sumber: Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional Indonesia)



**Gambar 2.** Roadmap listrik arus laut di Indonesia (sumber: BUKU PUTIH, Indonesia 2005-2025, Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Sumber Energi Baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2025, Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia, Jakarta: 2006)

Hasil temuan menunjukkan bahwa metode numerik dari Casulli & Cheng (1992) melalui persamaan matematik (1), (2), dan (3) perlu dikembangkan menjadi model matematika dan numerik baru untuk menghasilkan simulasi numerik (secara teori) yang lebih mendekati pada keadaan yang sebenarnya tentang pemetaan potensi energi arus laut dan distribusi energi kinetik yang tersedia di selat Bunaken Propinsi Sulawesi Utara, Indonesia dan nantinya hasil itu akan dipakai sebagai sumber data dalam perancangan turbin pembangkit listrik arus laut. Persamaan itu dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( v_i \frac{\partial u}{\partial z} \right) + f_x \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( v_i \frac{\partial v}{\partial z} \right) + f_y \quad (2)$$

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

dimana  $u, v$ , dan  $w$  adalah masing-masing komponen kecepatan dalam arah  $x, y$ , dan  $z$ ;  $\rho$  adalah densitas dan  $\rho_0$  densitas referensi,  $p$  adalah tekanan,  $v_N$  viskositas kinematik,  $g$  adalah kecepatan gravitasi konstan dan  $f_x, f_y$ , dan  $f_z$  adalah masing-masing gaya coriolis per satuan massa.

Berdasarkan latar belakang masalah itu maka permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimanakah hasil pengembangan metode semi-implisit tiga dimensi untuk aliran air dangkal dari Casulli & Chen (1992) menjadi model numerik baru?
2. Bagaimanakah model simulasi numerik dari model numerik baru berupa simulasi distribusi energi kinetik di selat Bunaken Propinsi Sulawesi Utara, Indonesia yang nantinya akan dipakai sebagai sumber data dalam perancangan turbin pembangkit listrik arus laut?

Tujuan khusus yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Untuk mendapatkan hasil pengembangan metode semi-implisit tiga dimensi untuk aliran air dangkal dari Casulli dan Chen (1992) menjadi model numerik baru.
2. Untuk mendapatkan model simulasi numerik dari model numerik baru berupa simulasi distribusi energi kinetik di selat Bunaken Propinsi Sulawesi Utara, Indonesia yang nantinya akan dipakai sebagai sumber data dalam perancangan turbin pembangkit listrik arus laut.

## Metode Penelitian & Fasilitas Yang Digunakan

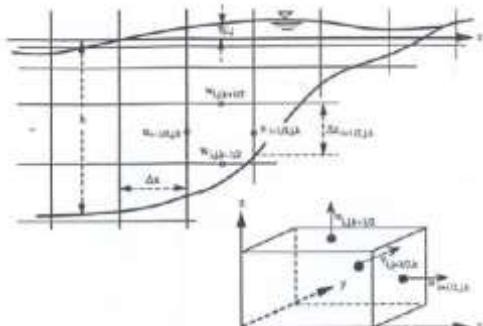
Untuk mengetahui gejala-gejala dari aliran air dari bawah sampai permukaan laut seperti kecepatan longitudinal ( $u$ ), transversal ( $v$ ), vertikal ( $w$ ), dan permukaan bebas ( $z_1$ ) maka digunakan metode numerik persamaan air dangkal dua dan tiga dimensi (Cea, French, & Vazquez-Cendon 2006; Hervouet 2007). Beberapa metode numerik untuk persamaan air dangkal dua dan tiga dimensi dengan bergantung pada waktu telah diketahui dalam literatur dan sekarang digunakan dalam aplikasi-aplikasi praktis. Pada tahun 1992, simulator aliran air dangkal dua dimensi adalah kompetitif secara ekonomi dengan metode ADI yang telah dikembangkan dan diterapkan (Casulli & Cheng 1992; Cheng dan Casulli 1992). Metode ini termasuk semi-implisit yang lebih baik dari metode pemecahan implisit yang dikembangkan oleh Stelling (1984). Di dalam metode semi-implisit hanya penurunan tekanan barotropik dalam persamaan momentum dan divergen kecepatan dalam persamaan kontinuitas diambil secara implisit. Secara komputasional, pada tiap step waktu sistem lima diagonal linier diselesaikan dalam

elevasi permukaan air yang baru untuk daerah masuk yang tidak diketahui. Koefisien matrix untuk tiap sistem adalah simetri dan pasti positif dan penyelesaiannya bisa ditentukan secara unik dan efisien dengan menggunakan suatu metode penurunan konjugasi. Metode pemisahan waktu implisit menggunakan dua atau lebih step waktu kecil yang secara esensial tidak dipasang operator propagasi dari konveksi dan difusi. Tiap operator ini kemudian didiskrit secara implisit.

Dalam analisis numerik untuk aliran air laut yang dangkal di selat Bunaken Propinsi Sulawesi Utara, Indonesia dikembangkan sebagai fase satu dari pengembangan suatu model tiga dimensi (TRIM-D) secara umum. Tujuan analisis ini adalah untuk membuat dasar matematika yang kuat untuk skema numerik dan algoritme komputasional dalam penyelesaian numerik dari masalah-masalah aliran geofisik dua atau tiga dimensi.

Persamaan-persamaan Navier-Stokes adalah persamaan-persamaan umum yang bisa digunakan untuk memodelisasi gerakan dari air. Setiap kali kita mempertimbangkan suatu masalah khusus seperti aliran dalam air dangkal dimana skala horisontal lebih besar dari skala vertikal, itu memerlukan pertimbangan hipotesa pasti. Persamaan-persamaan Navier-Stokes yang dikonsiderasikan hasil penelitian Casulli & Cheng (1992) yang bisa kita lihat pada persamaan (1), (2), dan (3) valid jika lengkapi dengan hipotesa dari Boussinesq, itu berlaku jika perubahan densitasnya kecil, densitas itu harus mempertimbangkan konstanta dalam semua titik yang menerima gaya gravitasi.

Dalam aturan tiga dimensi itu, persamaan-persamaan variabel primitif menggambarkan densitas konstan, aliran permukaan bebas di dalam embayments dan lautan-lautan yang berhubungan dengan pantai bisa diturunkan dari persamaan-persamaan Navier-Stokes setelah merata-ratakan turbulen dan dibawah asumsi penyederhanaan bahwa tekanan adalah hidrostatis (Hervouet 2007).



**Gambar 3.** Skema diagram *mesh* dan notasi komputasional

Suatu analisis karakteristik dari dua dimensi, secara vertikal diintegrasikan persamaan air dangkal yang

menunjukkan bahwa faktor  $\sqrt{gH}$  dalam persamaan itu mempunyai tujuan untuk memunculkan karakteristik berbentuk kerucut dari penurunan tekanan barotropik di dalam persamaan momentum dan dari turunan kecepatan di dalam persamaan permukaan bebas (Cheng & Casulli 1992). Suatu analisis stabilitas yang setepat-tepatnya juga ditetapkan dengan menggunakan metode von Neumann pada skema hubungan linieritas. Hasil dari analisis ini mempunyai peranan penting pada metode semi-implisit praktis dari penyelesaian untuk persamaan air dangkal tiga dimensi yang mempunyai jaminan dalam beberapa aplikasi. Langkah-langkah yang akan dilakukan adalah pertama-tama persamaan (1),(2),(3) akan diturunkan dalam bentuk penurunan elevasi permukaan di dalam persamaan momentum dan persamaan (1),(2),(3) akan didiskritisasikan secara implisit. Konveksi, *Coriolis*, dan faktor kecepatan horisontal di dalam persamaan momentum akan didiskritisasi secara eksplisit untuk menghilangkan kondisi stabilitas yang disebabkan oleh viskositas pusar vertikal, faktor pencampuran vertikal akan didiskritisasi secara implisit (Casulli & Cheng 1992).

Gambar 3 menunjukkan suatu ruang berlubang yang terdiri dari sel-sel persegi empat dari panjang  $\Delta x$ , lebar  $\Delta y$  dan tinggi  $\Delta z$  sebagai langkah awal. Kemudian tiap sel diberi nomor pada tengahnya dengan tanda  $i, j$  dan  $k$ . Diskrit kecepatan  $u$  kemudian di definisikan pada setengah integer  $i, j$  dan  $k$ ;  $v$  di definisikan pada integer  $i, k$ , dan setengah integer  $j$ ;  $w$  di definisikan pada integer  $i, j$ , dan setengah integer  $k$ . Terakhir,  $\eta$  di definisikan pada integer  $i$  dan  $j$ . Kedalaman air  $h(x,y)$  dispesifikasi pada titik-titik  $u$  dan  $v$  horisontal. Kemudian pengdiskritisasian semi-implisit secara umum dari persamaan momentum dari persamaan (1),(2),(3) berbentuk sebagai berikut (Casulli & Cheng 1992):

$$\mathbf{A}_{i+1/2,j}^n \mathbf{U}_{i+1/2,j}^{n+1} = \mathbf{G}_{i+1/2,j}^n - g \frac{\Delta t}{\Delta x} (\eta_{i+1,j}^{n+1} - \eta_{i,j}^{n+1}) \Delta \mathbf{Z}_{i+1/2,j}^n \quad (4)$$

$$\mathbf{A}_{i,j+1/2}^n \mathbf{V}_{i,j+1/2}^{n+1} = \mathbf{G}_{i,j+1/2}^n - g \frac{\Delta t}{\Delta y} (\eta_{i,j+1}^{n+1} - \eta_{i,j}^{n+1}) \Delta \mathbf{Z}_{i,j+1/2}^n \quad (5)$$

dimana  $\mathbf{U}, \mathbf{V}, \Delta \mathbf{Z}, \mathbf{G}$  dan  $\mathbf{A}$  didefinisikan sebagai:

$$\mathbf{U}_{i+1/2,j}^{n+1} = \begin{bmatrix} \bar{u}_{i+1/2,j,M}^{n+1} \\ \bar{u}_{i+1/2,j,M-1}^{n+1} \\ \vdots \\ \bar{u}_{i+1/2,j,m}^{n+1} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{V}_{i,j+1/2}^{n+1} = \begin{bmatrix} \bar{v}_{i,j+1/2,2,M}^{n+1} \\ \bar{v}_{i,j+1/2,2,M-1}^{n+1} \\ \bar{v}_{i,j+1/2,2,M-2}^{n+1} \\ \vdots \\ \bar{v}_{i,j+1/2,2,m}^{n+1} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{G}_{i,j+1/2}^n = \begin{bmatrix} \Delta z_M (F\bar{v})_{i,j+1/2,2,M}^n + \Delta t \tau_y^w \\ \Delta z_{M-1} (F\bar{v})_{i,j+1/2,2,M-1}^n \\ \Delta z_{M-2} (F\bar{v})_{i,j+1/2,2,M-2}^n \\ \vdots \\ \Delta z_m (F\bar{v})_{i,j+1/2,2,m}^n \end{bmatrix}$$

$$\Delta \mathbf{Z} = \begin{bmatrix} \Delta z_M \\ \Delta z_{M-1} \\ \Delta z_{M-2} \\ \vdots \\ \Delta z_m \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} \Delta z_M + \frac{(v_{\text{eff}})_{M-1/2} \Delta t}{\Delta z_{M-1/2}} & \frac{-(v_{\text{eff}})_{M-1/2} \Delta t}{\Delta z_{M-1/2}} & & & & & 0 \\ \frac{-(v_{\text{eff}})_{M-1/2} \Delta t}{\Delta z_{M-1/2}} & \Delta z_M + \frac{(v_{\text{eff}})_{M-1/2} \Delta t}{\Delta z_{M-1/2}} + \frac{(v_{\text{eff}})_{M-3/2} \Delta t}{\Delta z_{M-3/2}} - \frac{(v_{\text{eff}})_{M-3/2} \Delta t}{\Delta z_{M-3/2}} & & & & & \\ \vdots & \vdots & & & & & \\ 0 & \frac{-(v_{\text{eff}})_{m-1/2} \Delta t}{\Delta z_{m-1/2}} & \Delta z_m + \frac{(v_{\text{eff}})_{m+1/2} \Delta t}{\Delta z_{m+1/2}} + \frac{g \Delta t \sqrt{(\bar{u}^2 + \bar{v}^2)}}{C_i^2} & & & & \end{bmatrix}$$

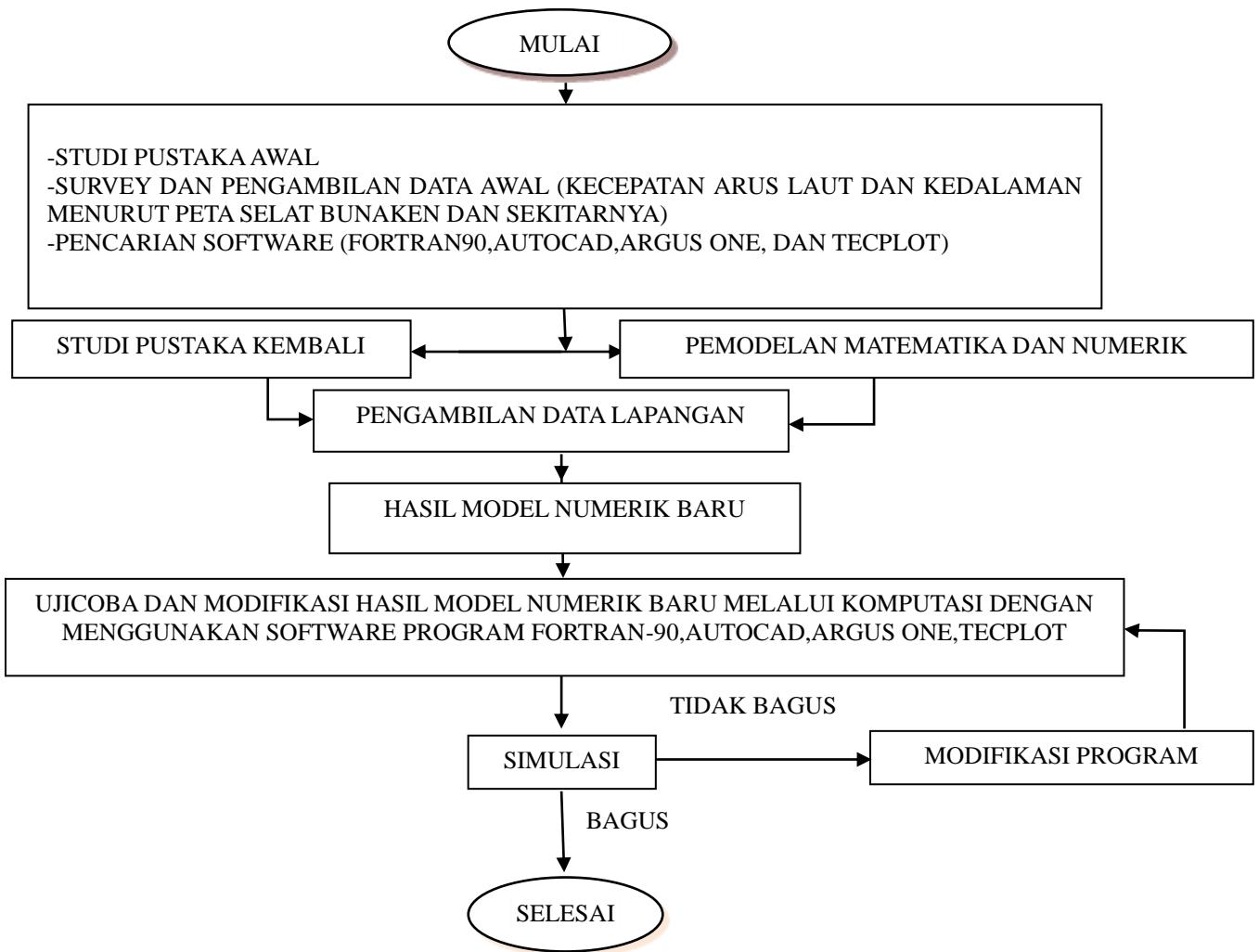
$$\mathbf{G}_{i+1/2,j}^n = \begin{bmatrix} \Delta z_M (F\bar{u})_{i+1/2,j,M}^n + \Delta t \tau_x^w \\ \Delta z_{M-1} (F\bar{u})_{i+1/2,j,M-1}^n \\ \Delta z_{M-2} (F\bar{u})_{i+1/2,j,M-2}^n \\ \vdots \\ \Delta z_m (F\bar{u})_{i+1/2,j,m}^n \end{bmatrix}$$

Fasilitas yang digunakan dalam penelitian adalah seperangkat komputer beserta printer, program aplikasi komputer (fortran90, autocad, argusone, dan tecplot), dan seperangkat alat pengukur arus laut sederhana.

### Skema Penelitian

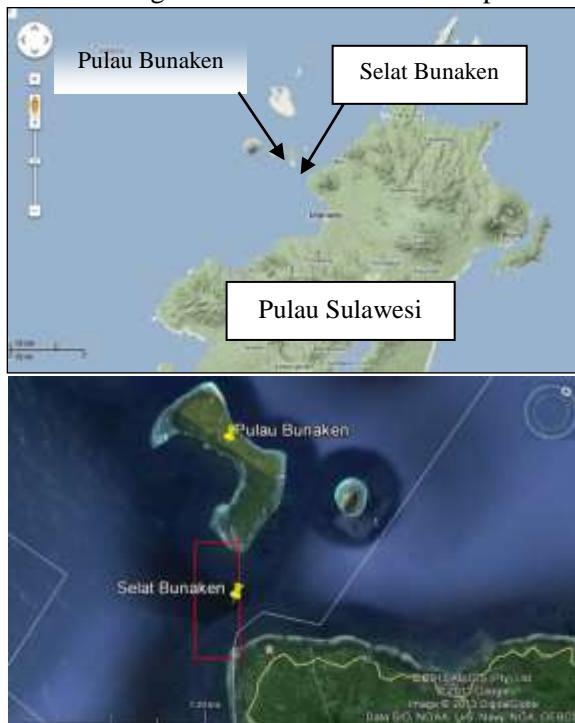
Diagram alir penelitian ditunjukkan dalam gambar 4 adalah:

- Studi pustaka yaitu penelusuran bahan *software* (program aplikasi komputer), peta lokasi penelitian, dan teori melalui pustaka.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

- Pengambilan data input untuk ujicoba dan modifikasi model numerik baru dilakukan secara langsung di lokasi penelitian yaitu selat Bunaken (lihat gambar 5) kota Manado propinsi Sulawesi Utara, Indonesia (sebelum pengukuran data maka diadakan kalibrasi alat ukur). Data generasi grid (*mesh*) dan notasi dilakukan dengan cara mengkonversi data menggunakan *software autocad* dari peta selat Bunaken menjadi data input menggunakan *software argus one* yang kemudian digunakan dalam analisis komputasi.



Gambar 5. Lokasi penelitian

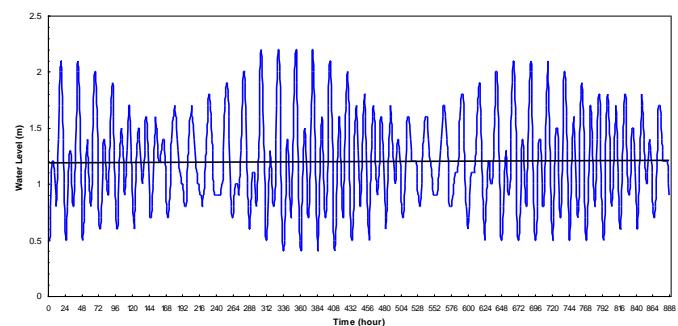
- Metode matematika, numerik dan komputasi yaitu membuat model matematik kemudian dirubah menjadi model numerik yang kemudian dianalisis komputasi untuk mendapatkan model numerik baru sebagai indikator capaian yang terukur.
- Metode simulasi numerik yaitu hasil model numerik baru yang telah diujicobakan dan telah mendapatkan hasil yang diharapkan kemudian disimulasikan dan hasilnya adalah sebagai target dan tujuan khusus penelitian ini. Pada gambar 5 terlihat lokasi numerik dalam daerah persegi panjang warna merah dengan ukuran 4380 m x 1740 m. Ukuran *mesh* 29 untuk sumbu x dan 73 untuk sumbu y. Tiap elemen horizontal berukuran 60 m x 60 m untuk 2D (total 2117 elemen) dan 60 m x 60 m x 20 m untuk 3D (total 42340 elemen dengan 29 untuk x, 73 untuk y, dan 4 untuk z).

Analisis numerik dimulai dari tahap pemasukan data sampai tahap cetak hasil kemudian dibuat dalam bentuk simulasi kecepatan arus. Tahap selanjutnya jika hasil simulasi bagus maka penelitian selesai tetapi

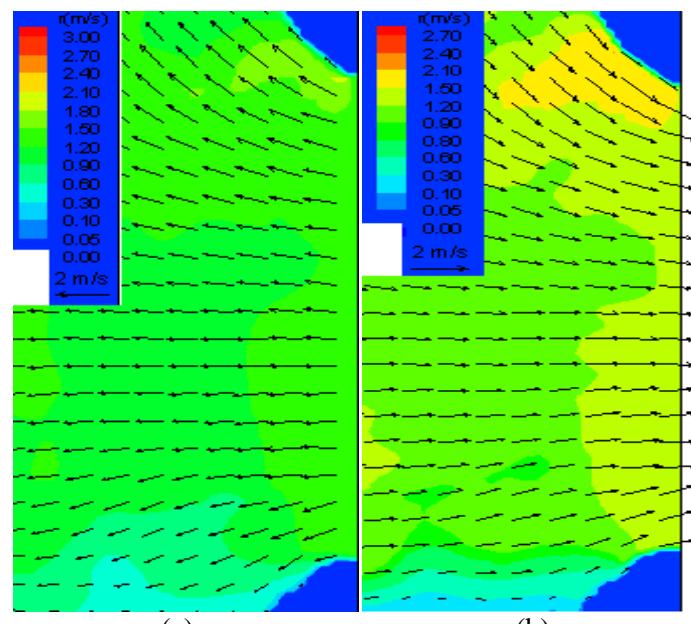
jika tidak maka harus dilakukan modifikasi pemrogramannya kemudian diujicobakan lagi dan seterusnya.

## Hasil dan Pembahasan

Hasil prediksi pasang surut air laut di selat Bunaken menurut Dinas Hidro-Oceanografi TNI AL dari tanggal 16 Januari sampai 21 Februari 2006 ditunjukkan dalam gambar 6. Hal itu menunjukkan bahwa dalam sehari terjadi dua kali pasang surut dan waktu transisi dari air pasang ke air surut sekitar 0,5 jam serta level air maksimum rata-rata sekitar 1,5-2 m. Juga, pergerakan arus ketika air pasang menuju ke arah Selatan dan sebaliknya ketika air surut menuju ke arah Utara.



Gambar 6. Prediksi pasang surut air laut di selat Bunaken



Gambar 7. Distribusi kecepatan arus pada saat air pasang (a) dan air surut (b)

Distribusi kecepatan arus pada saat air pasang surut ditunjukkan pada gambar 7. Maksimum kecepatan arus saat air pasang rata-rata sebesar 1,8 m/detik sedangkan saat air surut rata-rata sebesar 2,1 m/detik. Hal itu menunjukkan bahwa kecepatan arus tersebut

dapat digunakan dalam perancangan turbin untuk pembangkit listrik arus laut.

## Kesimpulan

Simulasi numerik arus laut di selat Bunaken, Manado, Sulawesi Utara dapat disimpulkan bahwa kecepatan air laut di selat Bunaken adalah 1,2 m/s.

## Ucapan Terima kasih

Terima kasih diucapkan kepada Dit. Litabmas Dikti Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah membiayai seluruh kegiatan penelitian ini.

## Referensi

- Backhaus, J. O. A Semi-Implicit Scheme for the Shallow Water Equations for Application to Shelf Sea Modeling, *Continental Shelf Res.*, **2**, 243-254 (1983)
- Broomans, P., , Numerical accuracy in solution of the shallow-water equations: *Master thesis*, TU Delft & WL, Delft Hydraulics (2003)
- .BC Hydro. Green Energy Study for British Columbia-Phase 2- Mainland Tidal Current Energy, Triton Consultants Ltd. (2002) <http://www.llbc.leg.bc.ca/public/PubDocs/bcdocs/357590/environment3928.pdf>,, diakses tanggal 15 Juli 2013.
- Buku Putih, Indonesia 2005-2025, Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Sumber Energi Baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2025, Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia, Jakarta: 2006, iv-100p.
- Casulli, V. Semi-Implicit Finite Difference Methods for the Two-Dimensional Shallow Water Equations, *J. Comput. Phys.*, **86**, 56-74. (1990)
- Casulli, V. and Cheng, R. T. Semi-implicit finite difference methods for three-dimensional shallow water flow. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, vol.15, p629-648 (1992)
- Casulli, V. and Walters, R. A. An unstructured grid, three-dimensional model based on the shallow water equations. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, vol.32, p331-348 (2000)
- Cea, L., French, J. R., and Vazquez-Cendon, M.E. Numerical modelling of tidal flows in complex estuaries including turbulence: An unstructured finite volume solver and experimental validation. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol.67, 1909-1932 (2006)
- Cheng, R. T. and V. Casulli. Tidal, Residual, Inter-Tidal Mud-Flat (TRIM) Model, Using Semi-Implicit Eulerian-Lagrangian Method, *USGS Open-File Rep.* 92-62 (1992)
- Cheng, R. T. and P. E. Smith. A Survey of Three-Dimensional Numeric Estuarine Models, dalam M.L. Spaulding (ed.), *Estuarine Coastal Modeling*, ASCE, New York, pp. 1-15 (1990)
- Dinas Hidro-Oceanografi TNI AL. *Daftar Pasang Surut (Tide Tables), Kepulauan Indonesia (Indonesian Archipelago)*, Jakarta: 672p. (2006)
- Fraenkel, P. L. Power from Marine Currents, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part A: *J. Power and Energy*, vol. 216, No. 1, pp. 1-14 (2002)
- Hervouet, J.M., , *Hydrodynamics of free surface flows: Modelling with the finite element method*. John Wiley & Sons, Ltd., Englang: cop, ISBN 978-0-470-03558-0 (HB), xiv-341p. (2007)
- Inpres No. 4 Tahun 2003 tentang *Pengkoordinasian Perumusan dan Pelaksanaan Kebijakan Strategis Pembangunan Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*.
- Kebijakan Energi Nasional, Kebijakan Energi yang Terpadu untuk Mendukung Pembangunan Nasional Berkelanjutan, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, 2004.
- Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang *Kebijakan Energi Nasional Indonesia*.
- PT. PLN (Persero) Wilayah SULUT-TENGGO. *Laporan Bulanan*, Manado. <http://www.pln.co.id/>. Diakses pada tanggal 26 Juni 2013 (2006)
- PT. PLN (Persero) Wilayah SULUT-TENGGO. *Laporan Bulanan*, Manado (2010) <http://www.pln.co.id/>. Diakses pada 09 Juli 2013
- Rodriguez, C., Serre, E., Rey, C., and Ramirez, H. A numerical model for shallow-water flows: dynamics of the eddy shedding. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, Vol.1, p280-287 (2005)
- Stansby, P. K. Semi-implicit finite volume shallow-water flow and solute transport solver with k- $\epsilon$  turbulence model. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, vol.25, p285-313 (1997)
- Stansby, P. K. A mixing-length model for shallow turbulent wakes. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol.495, p369-384 (2003)
- Stelling, G. S. On the Construction of Computational Methods for Shallow Water Flow Problems, *Rijkswaterstaat Communications*, No. 35, The Hague (1984)

Undang-undang No. 18 tahun 2002 tentang *Sistem Nasional Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi.*

Zarrati, A. R. and Jin, Y.C. Development of a generalized multi-layer model for 3-D simulation of free surface flows. *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, Vol.46, p1049-1067 (2004)