

PENDUGAAN POLA ARUS DUA DIMENSI DI DANAU TOBA

Hadiid Agita Rustini, Lukman, dan Iwan Ridwansyah

Pusat Penelitian Limnologi-LIPI

E-mail: agita@limnologi.lipi.go.id

Diterima redaksi : 9 Oktober 2013, disetujui redaksi : 12 Maret 2014

ABSTRAK

Pola arus dari satu badan air seperti danau dapat memberikan pola dinamika massa air secara horizontal dan arah sebaran material yang terbawa di dalamnya. Untuk aspek kebijakan, pola arus merupakan salah satu informasi yang penting dalam sistem pengambilan keputusan terkait penetapan ruang pemanfaatan dan perencanaan tindakan pemulihan badan air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola arus di Danau Toba secara umum untuk menunjang penentuan zonasi badan air. Model numerik yang digunakan adalah RMA2 yang merupakan model rerata kedalaman. Data debit inlet yang menjadi input simulasi diperoleh dari pengukuran pada 10 sungai. Kecepatan angin yang digunakan adalah kecepatan angin yang prevalen di Danau Toba hasil analisis diagram mawar angin. Hasil simulasi menunjukkan bahwa besaran arus di sebagian besar badan danau bernilai kurang dari 0,2 m/detik. Pola arus di bagian utara Danau Toba cenderung bersirkulasi lokal mengindikasikan bahwa polutan yang masuk ke utara danau akan sangat lama dikeluarkan dari danau. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa nilai angin prevalen tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan pada pola arus karena tergolong angin sepoi lemah.

Kata kunci: pola arus, Danau Toba, model 2D, hidrodinamika.

ABSTRACT

ESTIMATION OF 2D-HYDRODYNAMICS OF LAKE TOBA. *Current pattern of a lake can provide information on water mass dynamics horizontally and materials distribution affected by the currents. From policy aspect, current pattern is one of the most crucial information needed for decision support system such as water body zoning and water remediation planning. This research aims for predicting the general current pattern in Lake Toba to support water body zoning plan. Therefore we used 2D depth averaged numerical model-RMA2. Simulation input used instantaneous discharges data measured in ten inlets. Wind input for the simulation was the prevalent wind occurred in Lake Toba obtained from Wind Rose analysis. The simulation result showed that the current velocity were less than 2m/s. Simulation in the northern part of the lake indicated that water mass circulated locally, which means that pollutants will exit the water body in relatively long time. According to the simulation, prevalent wind in Lake Toba did not significantly alter the current pattern.*

Keywords: current pattern, Lake Toba, 2D model, hydrodynamics.

PENDAHULUAN

Danau Toba adalah danau terbesar di Indonesia, memiliki luas sekitar 1.124 km² dan waktu tinggal air mencapai 81,24 tahun, dengan posisi geografis pada 98° 31' 2" – 98° 9' 14" Bujur Timur dan 2° 19' 15" – 2° 54' 2" Lintang Utara (Lukman dan Ridwansyah, 2010). Danau ini adalah bagian dari tujuh wilayah kabupaten, yaitu Kabupaten Karo, Simalungun, Dairi, Toba Samosir, Samosir, Tapanuli Utara, dan Humbang Hasundutan.

Pola aliran sungai yang menjadi inlet Danau Toba didominasi oleh sungai-sungai kecil dengan jumlah total mencapai 289 sungai, meskipun demikian hanya 71 sungai yang merupakan sungai permanen dan sisanya berupa sungai musiman. Dari daratan Sumatera mengalir 177 sungai dan dari Pulau Samosir mengalir 122 sungai (Soedarsono, 1989).

Berdasarkan pengamatan pada beberapa sungai utama di daerah tangkapan air (DTA) Danau Toba, sungai yang memiliki debit terbesar adalah Sungai Silang ($\pm 10 \text{ m}^3/\text{detik}$), dan sungai-sungai lainnya debit yang relatif jauh lebih rendah yaitu Naborsahan ($\pm 2 \text{ m}^3/\text{detik}$), Balige ($\pm 2 \text{ m}^3/\text{detik}$), dan Sipultakhuda ($\pm 1,4 \text{ m}^3/\text{detik}$). Sebagian besar aliran sungai di DTA Toba berada di bagian selatan danau, sementara aliran keluar (outlet) danau adalah Sungai Asalah yang juga berada di bagian selatan danau (Lukman, 2011). Kondisi tersebut memungkinkan rejim aliran di perairan Danau Toba memiliki pola yang cukup berbeda antara cekung utara dan selatan, terkait dengan sebaran sungai-sungai besar yang umumnya berada di cekung selatan.

Pemanfaatan sumber daya di kawasan Danau Toba telah cukup beragam dan intensif. Di daerah tangkapan air (DTA) danau telah berkembang hutan tanaman industri, pertanian, pemukiman dan perkotaan, yang diantaranya menunjang

aktivitas pariwisata, di wilayah perairan selain untuk pemanfaatan oleh kegiatan pariwisata, perikanan tangkap, jalur transportasi, juga budidaya ikan di dalam karamba jaring apung (KJA). Berbagai aktivitas tersebut akan memberikan kontribusi masuknya berbagai pencemar ke dalam danau, baik secara langsung maupun melalui aliran sungai.

Mengingat intensifnya pemanfaatan wilayah danau dan kondisi spesifik pola regim aliran, diperlukan pengelolaan danau berbasis spasial atau zonasi guna meminimalisir konflik kepentingan dan dampak-dampak yang membahayakan keberlanjutan ekosistem. Dalam hal ini diperlukan pemahaman tentang pola pergerakan massa air di dalam danau sebagai prediksi arah perpindahan material di badan air dari dampak aktivitas antropogenik maupun aktivitas alami.

Pemahaman tentang hidrodinamika suatu danau merupakan suatu hal yang mendasar dan penting dalam rangka memahami pola perpindahan sedimen, hara dan pencemar di dalam badan air danau (Ji, 2008). Dalam skala yang lebih besar, informasi tentang hidrodinamika atau pola arus danau merupakan komponen penting dalam sistem pengambilan keputusan seperti zonasi badan air (tata ruang perairan) dan perencanaan tindakan pemulihan badan air (Tsanis *et al.*, 2007). Pengukuran pola-pola arus di danau, khususnya danau-danau di Indonesia, masih sangat terbatas. Melalui pemodelan hidrodinamika yang tepat dapat diperkirakan pola arus di suatu badan danau.

Pemahaman pola arus di Danau Toba sangat dibutuhkan, terkait intensitas pemanfaatan yang tinggi. Untuk itu penelitian pola arus berbasis model hidrodinamika telah dilakukan di Danau Toba yang bertujuan untuk mengetahui arah dan kecepatan aliran air secara umum, yang diharapkan menjadi bahan acuan di dalam kebijakan penentuan ruang pemanfaatannya.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini memanfaatkan model hidrodinamika RMA2, yang pertama kali dikembangkan oleh Resources Management Associates (Donnell *et al.*, 2005), data yang diperlukan berupa peta batimetri (Lukman dan Ridwansyah, 2010), debit outlet (Lukman, 2011), data besaran dan arah angin di Stasiun BMKG Parapat, serta data debit inlet yang diukur langsung di 10 (sepuluh) inlet Danau Toba pada April 2010.

Model hidrodinamika RMA2 merupakan model numerik hidrodinamika 2d rerata kedalaman (*depth averaged*) yang mengabaikan percepatan vertikal. Dalam hal ini tidak diperlukan percepatan vertikal mengingat tujuan penelitian untuk menunjang penentuan zonasi badan air (2D).

Besaran debit aliran masuk diukur pada sepuluh inlet danau (Tabel 1; Gambar 1), geometri danau dari peta batimetri (Gambar. 2) (Lukman & Ridwansyah, 2010).

Data besaran dan arah angin harian dari tahun 1997-2008 dari Stasiun Klimatologi BMKG Parapat dianalisis dengan menggunakan diagram Mawar untuk mengetahui prevalensi angin di Danau Toba. Diagram Mawar menunjukkan frekuensi besaran dan arah angin. Data input berupa file excel dalam lima kolom, yaitu besaran kecepatan angin, arah angin, standar deviasi kecepatan angin, waktu, dan tanggal terjadinya angin. Input data dipilih dari tahun yang memiliki data kosong minimum. Data ini diolah dengan *Add-In* untuk Microsoft Excel yaitu *WindRose* <https://www.wou.edu/>; <http://www.cres.gr/>.

Persamaan kekekalan massa dan momentum yang digunakan adalah:

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] + gh \left[\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{g \nu n^2}{\left(1.486 h^{\frac{1}{6}} \right)^2} (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \zeta V_a^2 \sin \psi - 2hu\omega \sin \phi = 0$$

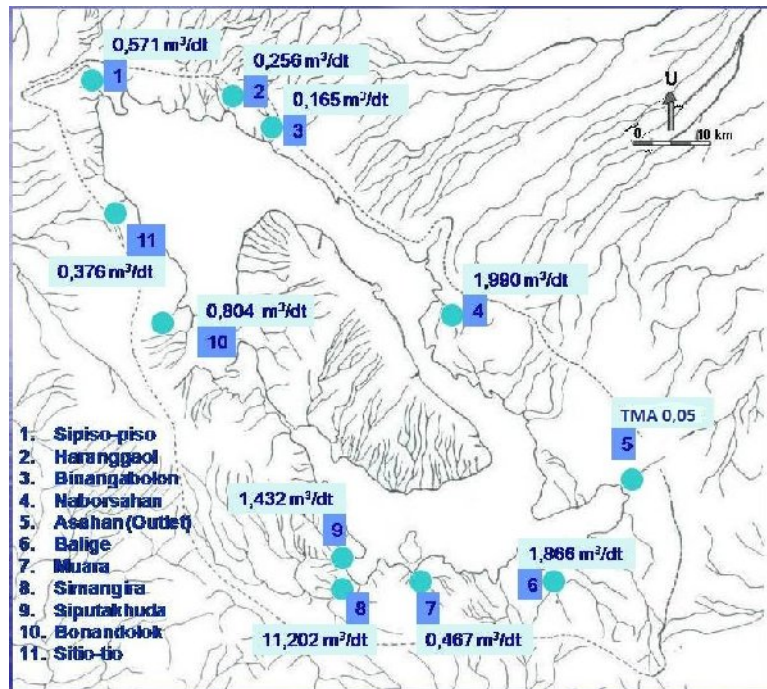
$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0$$

Dimana:

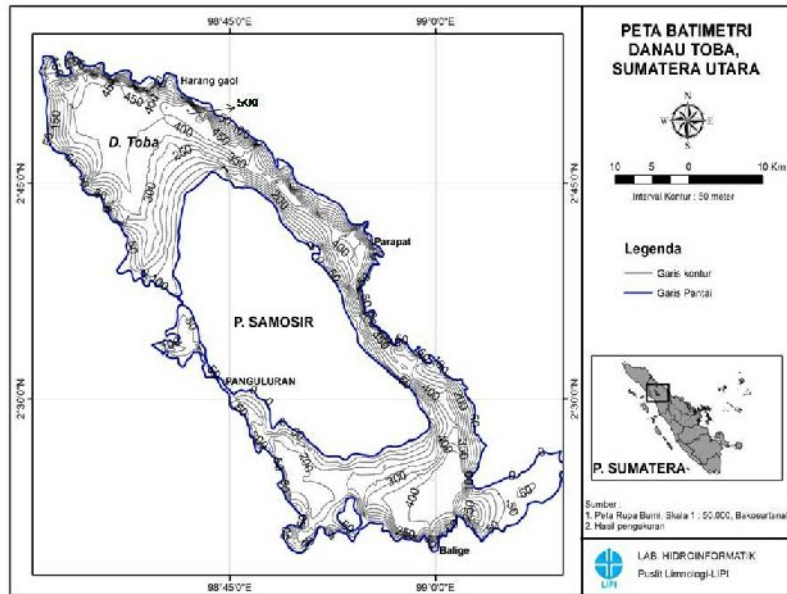
- h = Kedalaman air
- u, v = Kecepatan pada arah Cartesius
- x, y, t = Koordinat Cartesius dan waktu
- ρ = Massa jenis
- E = Koefisien Viskositas Eddy
- g = Percepatan gravitasi
- a = Elevasi dasar
- n = Nilai kekasaran Manning
- ζ = Koefisien tegangan geser angin empiris
- V_a = Kecepatan angin
- ψ = Arah angin
- ω = Kecepatan sudut bumi

Tabel 1. Nilai debit inlet Danau Toba hasil pengukuran bulan April 2010.

No.	Sungai Inlet	Debit ($m^3/detik$)
1.	Sipiso-piso	0,571
2.	Haranggaol	0,256
3.	Binangabolon	0,1.65
4.	Naborsahan	1,99
5.	Balige	1,866
6.	Muara	0,467
7.	Simangira	11,202
8.	Siputakhuda	1,432
9.	Bonandolok	0,804
10.	Sitio-tio	0,376



Gambar 1. Peta sepuluh inlet Danau Toba yang menjadi input simulasi

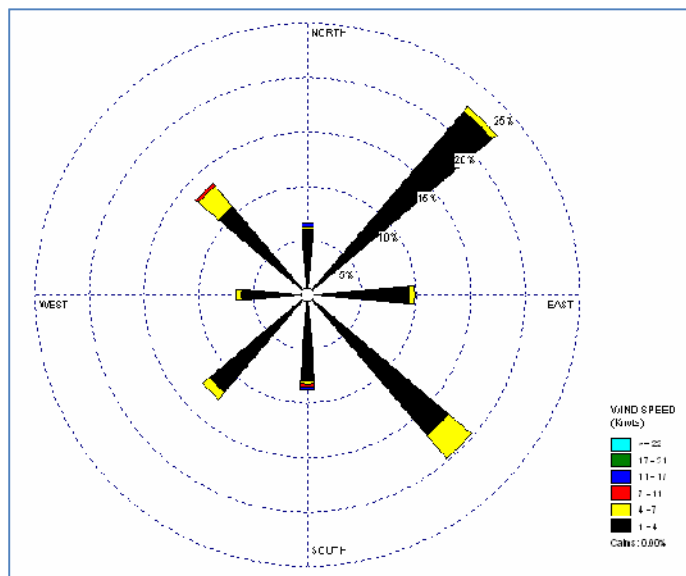


Gambar 2. Peta batimetri Danau Toba berdasarkan kontur kedalaman (Sumber: Lukman dan Ridwansyah, 2010)

HASIL DAN PEMBAHASAN
Pola Angin di Wilayah Danau Toba

Menurut skala Beaufort, rata-rata angin di Danau Toba tergolong sepoi lembut (3,4 – 5,4 m/detik), sepoi sedang (5,5 – 7,9 m/detik), dan sepoi segar (8,0 – 10,7 m/detik). Dampak langsung tiupan angin sepoi segar yang terlihat di permukaan air

adalah adanya gelombang agak besar dan panjang, serta banyak buih. Hasil analisis Diagram Mawar Angin menunjukkan bahwa pada tahun 2000 di stasiun Parapat didominasi oleh angin sepoi lemah (sebanyak 22,5%) dari arah Timur Laut menuju ke Barat Daya (Gambar 3).



Gambar 3. Diagram mawar angin di kawasan Danau Toba

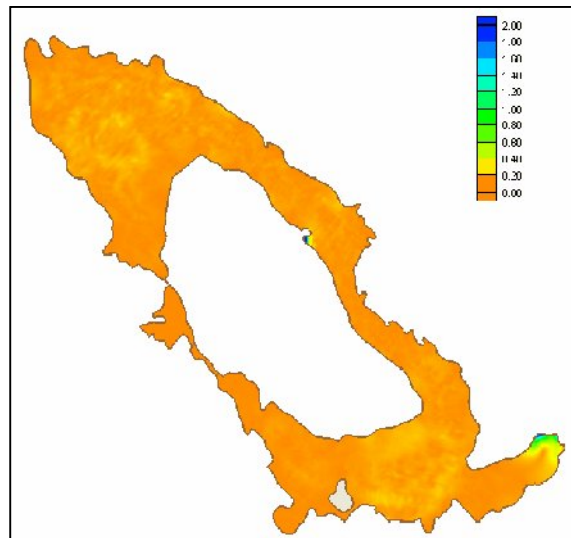
Berdasarkan hasil simulasi dengan nilai batas di atas, pola pergerakan massa air di sebagian besar perairan Danau Toba cukup rendah dengan kecepatan arus di bawah 0,20 m/detik (Gambar 4). Nilai besaran arus di danau pada umumnya memang bernilai rendah, seperti di Danau Ontario (Beletsky dan Schwab, 2001) dan Danau Michigan (Schwab, 1983) yang bernilai di bawah 0,1 m/detik. Pada wilayah outlet, dengan keberadaan Sungai Asahan, kecepatan arus meningkat hingga melebihi 2 m/detik. Peningkatan yang signifikan ini akibat besarnya debit outlet di Asahan sebesar 100 m³/detik (Lukman dan Ridwansyah, 2010).

Di wilayah perairan bagian utara, pergerakan massa air cenderung bersirkulasi lokal. Hasil simulasi juga menunjukkan

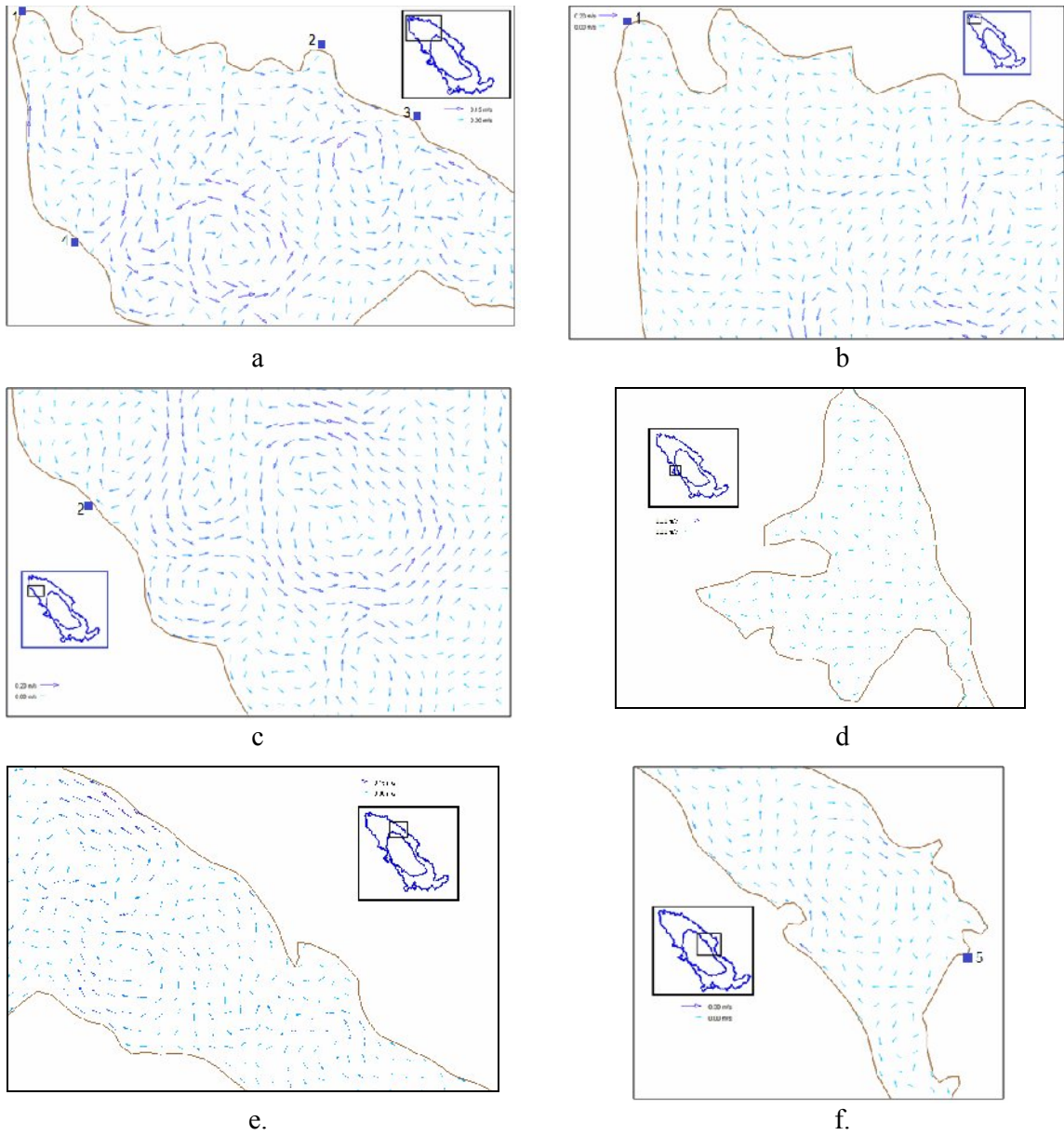
terdapat beberapa pusaran (*gyres*) (Gambar 5a-5f).

Pola pergerakan massa air di bagian selatan Danau Toba diperkirakan juga membentuk beberapa pusaran dengan besaran arus tertinggi di sebelah utara pantai Balige (Gambar 6a-6e). Peningkatan arus yang cukup signifikan terlihat di daerah outlet yaitu Sungai Asahan (Gambar 6e).

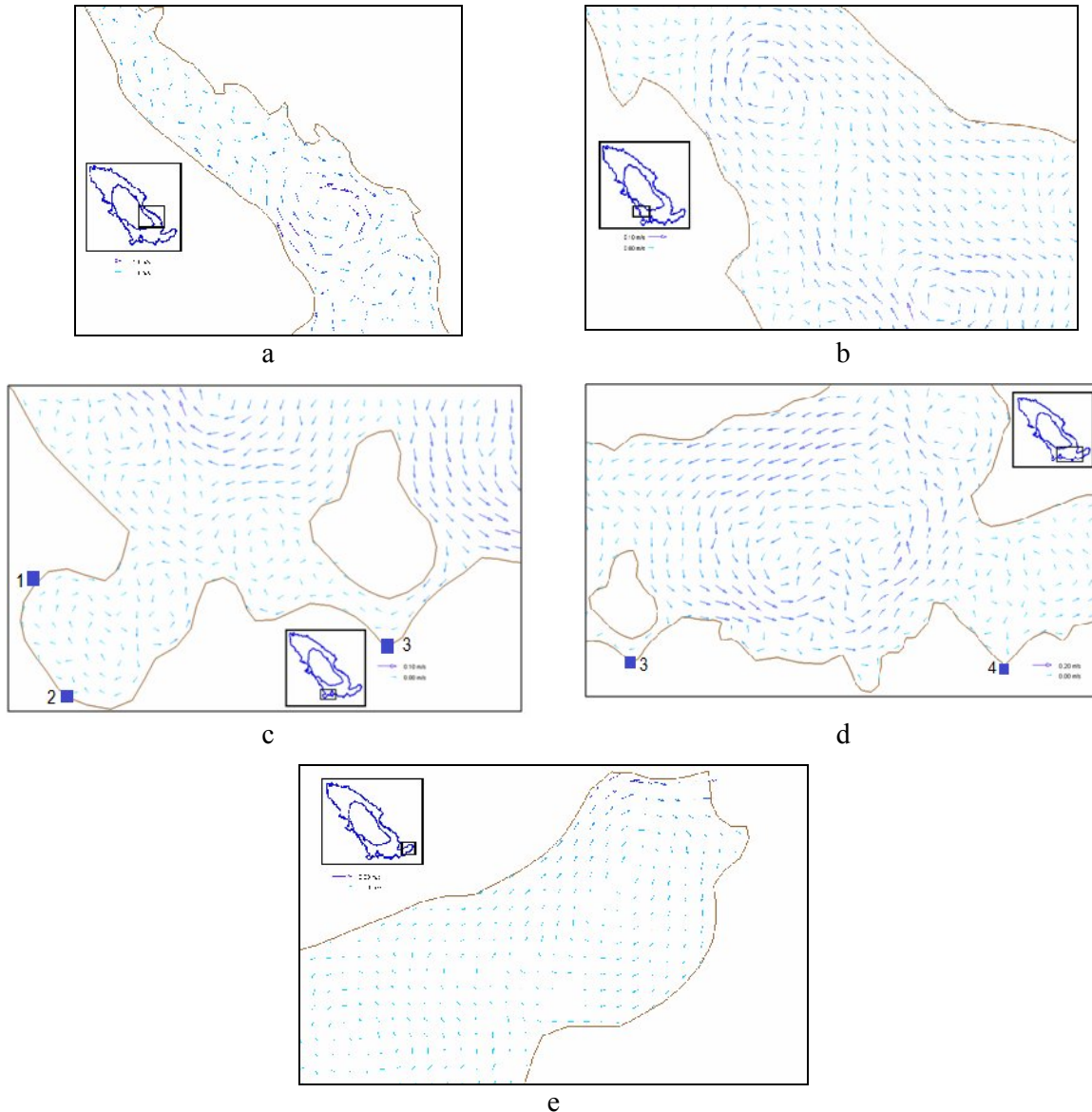
Hasil simulasi dengan input angin ini tidak berbeda dengan hasil simulasi tanpa input angin. Hal ini dikarenakan persamaan pengatur menggunakan persamaan *depth averaged* atau rerata kedalaman sehingga angin sepoi lemah senilai 3,5 m/detik tidak terlalu mempengaruhi pola arus di danau dalam seperti Danau Toba.



Gambar 4. Kontur kecepatan arus hasil simulasi.



Gambar 5. Pola arus rerata kedalaman di bagian utara Danau Toba di sekitar inlet Sipiso-piso (1), Haranggaol (2), Binangabolon (3), Sitio-tio (4), dan Naborsahan (5).



Gambar 6. Pola arus rerata kedalaman di bagian selatan Danau Toba di sekitar inlet Siputakhuda (1), Simangira (2), Muara (3), dan Balige (4).

KESIMPULAN

Besaran kecepatan arus hasil simulasi ini masih harus dibuktikan keakuratannya melalui pengukuran langsung di lapangan. Selain itu, untuk mendapatkan hasil yang lebih terperinci sebaiknya

dilakukan simulasi dengan model yang memiliki resolusi numerik lebih tinggi. Nilai yang lebih akurat dapat digunakan untuk prediksi pola penyebaran polutan dan distribusi kualitas air secara spasial yang dapat dijadikan dasar pertimbangan untuk penyusunan kebijakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Beletsky, D., & D.J. Schwab, 2001. Modeling Circulation and Thermal Structure in Lake Michigan: Annual Cycle and Interannual Variability. *Journal of Geophysical Research* Vol. 109 (C9): 19,745-19,771.
- Donnell, Barbara P., Letter, Joseph V., McAnally, W.H., & Thomas, W.A., 2005. *Users Guide for RMA2 Version 4.5*. US Army, Engineer Research and Development Center.
- Ji, Zhen-Gang, 2008. *Hydrodynamics and Water Quality: Modeling Rivers, Lakes and Estuaries*. John Wiley & Sons Inc. New Jersey: 702pp.
- Lukman, 2010. Faktor-faktor Pertimbangan dalam Penetapan Tata Ruang Perairan dan Studi Kasus Danau Toba. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi V*. Pusat Penelitian Limnologi-LIPI. Bogor: 354-359.
- Lukman, 2011. Hydrology and Morphometry Characteristic Consideration on Determining Lake Toba Carrying Capacity for Cage Aquaculture. *Prosiding Simposium Nasional Ekohidrologi*. APCE-KNIU-UNESCO-LIPI. Jakarta: 185-187.
- Lukman, & I. Ridwansyah,. 2010. Kajian Kondisi Morfometri dan Beberapa Parameter Stratifikasi Perairan Danau Toba. *Limnotek* 2 (17): 158-170.
- Lukman, I. Ridwansyah, S. Nomosatryo, M. Badjoeri, S. H. Nasution, & R. Dina, 2012. Pertimbangan dalam Pengembangan Budidaya Ikan pada Karamba Jaring Apung di Danau Toba. *Prosiding Seminar Nasional Limnologi*. LIPI: 65-78.
- Reading, H.G., 1996. *Sedimentary Environments: Processes, Facies, and Stratigraphy*. Wiley-Blackwell: 688pp.
- Sastromijoyo, S., 1990. Some Hydrological Aspect of Lake Toba. Inst. of Hydrologic Eng. Agency of R & D Ministry of Public Work, Republic of Indonesia. p 18
- Schwab, D. J., 1983. Numerical Simulation of Low-frequency Current Fluctuations in Lake Michigan. *Journal of Physical Oceanography* Vol. 13: 2213-2224.
- Sudarsono, U., 1989. Toba Lake and Its Problems. Directorate of Environmental Geology. Bandung Indonesia. p 16.
- Tsanis, Ioannis K, Jian Wu, & Huihua Shen. 2007. *Environmental Hydraulics: Hydrodynamic and Pollutant Transport Modeling of Lakes and Coastal Waters*. Elsevier. The Netherlands: 356pp.
- https://www.wou.edu/las/physci/taylor/g302/intro_rose_plots.pdf
- http://www.cres.gr/windfarm/WindRose_Users_Guide.pdf