

Prediksi Sebaran Suhu dari Air Buangan Sistem Air Pendingin PT. Badak NGL di Perairan Bontang Menggunakan Model Numerik

Kasman^{1*)}, I Wayan Nurjaya²⁾, Ario Damar²⁾, Ismudi Muchsin²⁾, dan Zaenal Arifin²⁾

^{1*} Program Doktor PS. Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan
Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Cp. 081380159818; mandary24@yahoo.com

² Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Pesisir dan Lautan
Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor

Abstrak

Tingginya suhu buangan air pendingin PT. Badak NGL yang dilepas ke Perairan Bontang menyebabkan terganggunya berbagai sumberdaya pesisir yang ada disekitarnya. Karena itu perlu diketahui pola sebaran suhu agar dampak yang mungkin timbul dapat diminimalkan. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi pola sebaran suhu dari buangan air pendingin PT. Badak NGL di Perairan Bontang, Kalimantan Timur. Prediksi dilakukan dengan menggunakan model hidrodinamika dan transpor suhu 3-D yang dimodifikasi dari model POM (Princeton Ocean Model). Gaya pembangkit yang digunakan dalam model adalah pasang surut, debit buangan air pendingin dan debit sungai. Pemilihan langkah waktu (t)=0,5 detik, dengan 118 grid (barat-timur) dan 187 grid (utara-selatan), ukuran grid $\Delta x = \Delta y = 30$ m. Nilai awal : $u=v=\zeta=0$, $T_0 = 28$ °C dan $S_0 = 32$ ‰. Verifikasi elevasi dan suhu antara hasil model dengan hasil pengukuran menunjukkan kesesuaian yang baik dengan nilai korelasi 0,97 dan Kesalahan Relatif Rata-rata (Mean Relative Error/MRE) 1,31% untuk verifikasi elevasi, korelasi 0,90 dan MRE 5,17% untuk verifikasi suhu permukaan pada saat bulan purnama serta korelasi 0,87 dan MRE 7,12% saat bulan perbani. Hasil simulasi menunjukkan perbedaan pola sebaran suhu permukaan paling ekstrim ditemukan pada saat purnama untuk kondisi cuplik pasang maksimum dan surut maksimum. Perbedaan terutama terlihat pada Stasiun 8 (Muara Kanal Pendingin) yakni 41 °C saat surut maksimum dan 35 °C saat pasang maksimum ($\Delta T = 6$ °C). Adapun perbedaan suhu antara lapisan atas dan lapisan bawah yang cukup besar ditemukan di Stasiun C yakni sekitar 2,54 °C untuk skenario musim kemarau dan 2,32 °C untuk skenario musim hujan.

Kata kunci : POM, buangan air pendingin, sebaran suhu, debit sungai, model numerik, Perairan Bontang

Abstract

High temperature of cooling water discharge of PT. Badak NGL that released to Bontang waters caused disturbances to the coastal resources in its surrounding. Therefore, it is urgent to understand the pattern of thermal dispersion in order to minimize the possible impacts occurred. This research was aimed to predict the pattern of thermal dispersion from cooling water discharge of PT. Badak NGL in Bontang waters, East Kalimantan. Prediction was done using hydrodynamic model and 3-D thermal transport modified from POM (Princeton Ocean Model). Driving forces used in this model were tides, flows of cooling water discharge and rivers discharge. Choice of time step (t)=0.5 second, with 118 grids (west-east) and 187 grids (north-south), grid size $\Delta x = \Delta y = 30$ m. Initial value : $u=v=\zeta=0$, $T_0 = 28$ °C and $S_0 = 32$ ‰. Verification of elevation and temperature between results of models and direct measurement showed a good suitability with correlation value was 0.97 and Mean Relative Error (MRE) 1.31% for elevation verification, correlation 0.90 MRE 5.17% and correlation 0.87 MRE 7.12% for thermal verification during spring and neap tides, respectively. Results of simulation revealed the most extreme difference in pattern of surface thermal dispersion that found during spring tide for sampling condition of maximum tide and ebb. Distinct difference was especially found at station 8 (Mixing Point) i.e. 41 °C during maximum ebb and 35 °C during maximum high tide. Whereas, significantly high thermal difference between upper layer and bottom layer was found at station C i.e. around 2.54 °C for dry season scenario and 2.32 °C for wet season scenario.

Key words: POM, cooling-water discharge, thermal dispersion, rivers discharge, numerical model, Bontang waters

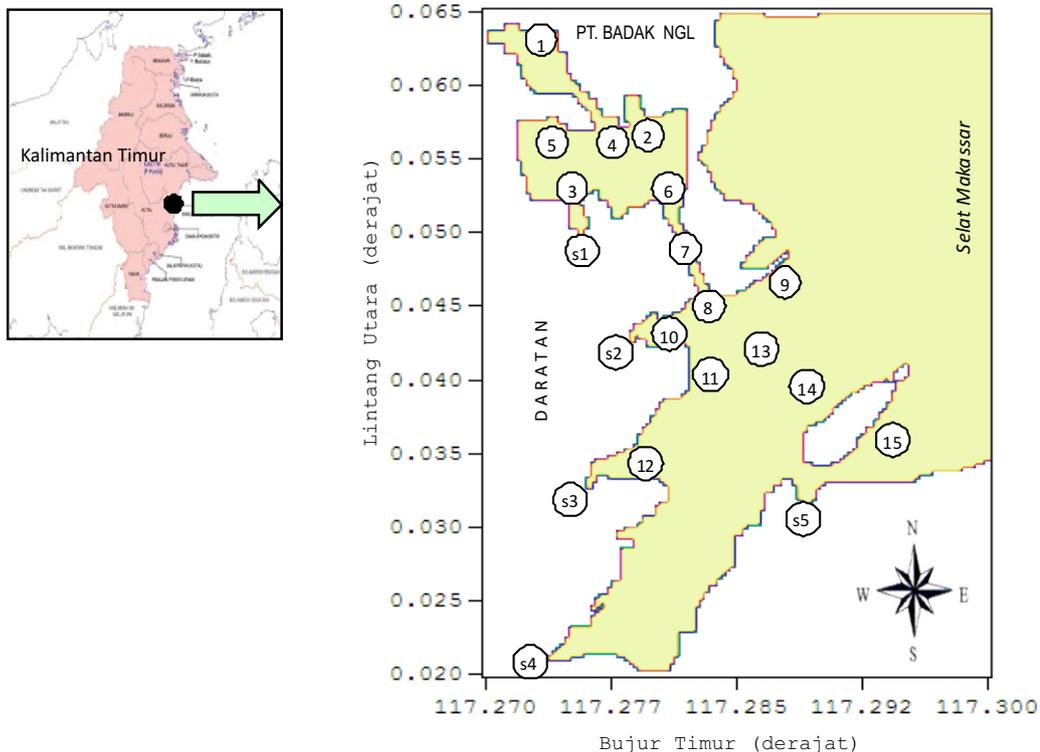
Pendahuluan

Studi tentang buangan air pendingin (*cooling water discharge*) dari sistem air pendingin industri dengan menggunakan integrasi model hidrodinamika dan model dispersi thermal 3-dimensi telah mampu mensimulasi keadaan stratifikasi perairan dan menjelaskan distribusi kenaikan suhu secara temporal dan spasial (Maderich *et al.*, 2008; Shahidi *et al.*, 2010) serta telah digunakan untuk menilai dampak ekonomi yang ditimbulkan oleh meningkatnya suhu perairan akibat aktifitas industri (Abbaspour *et al.*, 2005). Model juga dapat menjelaskan proses dinamik selama periode observasi lapangan dengan simulasi dan dapat memprediksi dampak berdasarkan berbagai skenario hipotetis kondisi alam (Hamrick & Mills, 2000; Wu *et al.*, 2001). Karena itu model adalah suatu alat yang wajib bagi perusahaan untuk mendapatkan surat izin operasional perusahaan melalui studi penilaian dampak buangan limbah air pendingin yang berhubungan dengan dibebaskannya panas ke lingkungan terutama pada air permukaan (Maderich *et al.*, 2008; You & Li, 2009).

Buangan air pendingin untuk beberapa train (kilang) yang beroperasi di PT. Badak NGL

menunjukkan debit yang cukup besar dengan suhu yang tinggi yakni train A-F sebesar 141.000 m³/jam, train G sekitar 34.359 m³/jam, train H sebesar 36.254 m³/jam dengan perbedaan suhu mencapai 15 °C di atas suhu alami (Pertamina, 2003). Tingginya suhu buangan air pendingin tersebut telah mengganggu keberlangsungan hidup, pertumbuhan dan reproduksi organisme akuatik seperti terumbu karang, lamun, mangrove dan ikan (Pertamina, 2003) akibat meningkatnya laju metabolisme organisme dan berkurangnya konsentrasi oksigen terlarut (Poornima *et al.*, 2005; Saravanan *et al.*, 2008; Chuang *et al.*, 2009).

Terkait dengan permasalahan yang timbul, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola sebaran suhu di sekitar buangan (*outfall*) air pendingin PT. Badak NGL. Studi ini mengikuti prinsip Numerical Ocean Model yang dikembangkan oleh Mellor (2003) yaitu penyelesaian numerik dengan menggunakan persamaan primitif 3 dimensi model POM atau dikenal sebagai *Princeton Ocean Model*. Model ini telah digunakan secara luas dalam mempelajari daerah pesisir dan laut karena akurat dan efisien (Aoki & Isobe, 2007).



Gambar 1. Lokasi penelitian

Keterangan : 1. Stasiun pengukuran suhu permukaan (Stasiun 1-15), suhu kedalaman (Stasiun 8) dan pasang surut laut (Stasiun 12).
 2. Titik outfall (Stasiun 1 dan 2), muara sungai (s1-s5).

Materi dan Metode

Penelitian ini dilakukan di Perairan Bontang, Kota Bontang, Provinsi Kalimantan Timur, dengan batas wilayah administrasi berada pada posisi antara 0°01'21"-0°14' LU dan 117°23'-117°38' BT. Pengukuran dan pengumpulan data yang diperlukan dilakukan sejak tanggal 13 September-11 Oktober 2008. Pasang surut diukur dengan mistar pasut selama 29 hari dan dicatat setiap jam, suhu kedalaman diukur selama 2 hari dengan CTD SBE19, sementara suhu permukaan dengan SCT meter. Adapun data batimetri, debit buangan air pendingin dan debit air sungai diperoleh dari data primer dan data sekunder. Stasiun pengukuran pasut, suhu permukaan dan suhu kedalaman serta posisi sungai dan buangan air pendingin dapat dilihat pada Gambar 1 dan 2.

Batas lintang dan bujur daerah model adalah 0°02' LU - 0°065' LU dan 117°27' BT-117°30' BT. Peta batimetri dan daerah model dapat dilihat pada Gambar 1b. Luas wilayah studi adalah sekitar 1800 ha, di mana untuk arah utara-selatan sekitar 6 km dan arah barat-timur sekitar 3 km.

Persamaan-persamaan dasar

Di dalam model POM dilakukan transformasi persamaan pengatur dalam arah vertikal dari sistem koordinat kartesian ke koordinat- untuk mendapatkan hasil simulasi yang lebih baik dengan mengikuti bentuk topografi dasar perairan (Mellor, 1998). Transformasi yang digunakan adalah:

$$x^* = x; y^* = y; \sigma = \frac{z - \eta}{H + \eta}, t^* = t$$

Di mana x, y, z adalah koordinat kartesian; $D = H + \eta$ adalah kedalaman total dengan $H(x,y)$ adalah topografi dasar dan (x,y,t) adalah elevasi permukaan air.

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial DU}{\partial x} + \frac{\partial DV}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0$$

Persamaan gerak dalam arah $x, y,$ dan z :

$$\frac{\partial UD}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial UVD}{\partial y} + \frac{\partial U\omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma} \right] d\sigma = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] + F_x$$

$$\frac{\partial VD}{\partial t} + \frac{\partial UVD}{\partial x} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y} + \frac{\partial V\omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left[\frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma} \right] d\sigma = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + F_y$$

$$\rho g = - \frac{\partial P}{\partial z}$$

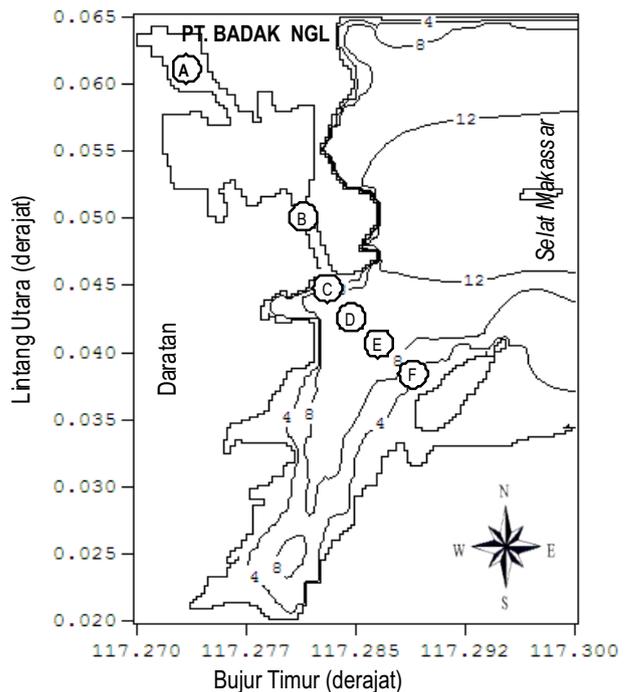
Persamaan transpor suhu:

$$\frac{\partial TD}{\partial t} + \frac{\partial TUD}{\partial x} + \frac{\partial TVD}{\partial y} + \frac{\partial T\omega}{\partial \sigma} = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[\frac{K_H}{D} \frac{\partial T}{\partial \sigma} \right] + F_T - \frac{\partial R}{\partial z}$$

Dimana U dan V adalah komponen kecepatan arus untuk arah x dan y ; ω kecepatan vertikal dalam koordinat-; t waktu; f parameter Coriolis; g percepatan gravitasi; η elevasi permukaan air; ρ_0 densitas referensi air; ρ' nilai fluktuasi dari densitas air; K_M viskositas eddy vertikal; F_x dan F_y suku difusi dan viskositas horisontal dalam arah x dan y ; T suhu; S salinitas; K_H koefisien difusivitas eddy vertikal untuk temperatur dan salinitas; F_T dan F_S suku difusi dan viskositas horisontal untuk suhu dan salinitas.

Desain seimulasi Model

Penelitian ini menggunakan model hidrodinamika dan transpor suhu 3-dimensi untuk melihat sebaran suhu baik horisontal maupun vertikal.



Gambar 2. Kontur batimetri (meter) dan titik cuplik hasil model untuk struktur vertikal suhu

Gaya pembangkit yang digunakan adalah elevasi muka laut, debit buangan air pendingin dan debit air sungai, dengan langkah waktu $t = 0,5$ detik, dibagi dalam 4 lapisan (*layer*) arah vertikal, 118 grid (barat-timur), 187 grid (utara-selatan), ukuran grid $\Delta x = \Delta y = 30$ m dengan sistem kisi "Arakawa C" pada kisi horizontal untuk meningkatkan stabilitas. Nilai awal : $u=v=\zeta=0$, $T_o (T_{alam}) = 28$ °C dan $S_o = 32$ ‰. Pada batas darat digunakan syarat batas tertutup dimana kecepatan yang datang tegak lurus pantai sama dengan nol, sedangkan pada batas terbuka digunakan syarat batas radiasi Sommerfeld berdasarkan teknik penjalaran gelombang yang dapat direpresentasikan oleh persamaan adveksi berikut, dimana merupakan kecepatan arus atau elevasi permukaan air, dan c adalah kecepatan adveksi dan kecepatan fasa.

Adapun skenario model sebagai berikut : *pertama*, simulasi dengan inputan data pasut, dilakukan selama 30 hari dengan menggunakan input pasut yang diperoleh dari ramalan pasut ORI TIDE. Selanjutnya output model diverifikasi dengan data hasil observasi. *Kedua*, simulasi selama 30 hari dilakukan dengan input pasut ORI TIDE bulan Oktober 2008, debit buangan air pendingin dan limpasan air sungai dengan pendekatan debit sungai pada musim hujan. *Ketiga*, skenario dibuat sama dengan skenario kedua dengan pendekatan debit sungai pada musim kemarau dan input pasut ORI TIDE bulan Maret 2009. Data debit sungai dan debit buangan air pendingin (outfall) yang digunakan sebagai gaya pembangkit model diberikan dalam Tabel 1.

Hasil dan Pembahasan

Verifikasi elevasi pasang surut

Hasil verifikasi untuk elevasi pasang surut menunjukkan bahwa elevasi hasil simulasi mempunyai kesesuaian yang baik dengan elevasi hasil pengukuran, di mana nilai korelasi 0,97 dan Kesalahan

Relatif Rata-rata (Mean Relative Error/MRE) 1.32% dengan persamaan regresi $y = 0.927x - 0.044$. Perbedaan antara hasil simulasi dan hasil observasi kemungkinan disebabkan oleh keterbatasan data batimetri, tidak dimasukkannya angin sebagai gaya pembangkit (*driving force*) dalam model, atau karena keterbatasan model yang digunakan. Hasil verifikasi elevasi pasang surut antara hasil model dan data lapangan disajikan dalam Gambar 2 di bawah.

Verifikasi suhu arah horizontal

Verifikasi suhu permukaan hasil model dengan hasil pengamatan untuk kondisi pasut purnama dan perbani menunjukkan kedekatan yang baik, di mana nilai korelasi sebesar 0,90 dan MRE 5,17% serta 0,87 dan MRE 7,12% dengan persamaan regresi $y = 0,851x + 5,170$ dan $y = 1,391x - 15,22$ masing-masing untuk pasut purnama dan perbani. Gambar 3 menunjukkan verifikasi suhu permukaan untuk kondisi pasut purnama pada beberapa stasiun pengamatan. Perbedaan antara hasil simulasi dan hasil observasi disebabkan oleh faktor teknis yakni sulitnya menyamakan antara waktu cuplik model dengan pengambilan data lapangan.

Verifikasi suhu arah vertikal

Verifikasi hasil simulasi suhu arah vertikal dilakukan terhadap data hasil pengukuran selama 2 hari (48 jam) di stasiun 8 (Gambar 4) pada kedalaman 6 m. Hasil verifikasi menunjukkan adanya kesesuaian yang baik antara suhu hasil simulasi dan suhu hasil observasi baik pada lapisan permukaan maupun pada lapisan bawah, di mana untuk *layer-1* korelasi 0,83, MRE 1,56%; *layer-2* korelasi 0,79, MRE 2,08; *layer-3* korelasi 0,73, MRE 2,36; dan *layer-4* korelasi 0,71, MRE 2,94%. Persamaan regresi untuk *layer-1, 2, 3 dan 4* masing-masing adalah $y = 1,007x - 0,613$, $y = 0,702x + 10,68$, $y = 0,877x + 4,568$ dan $y = 0,666x + 11,68$. Perbedaan nilai korelasi untuk tiap kedalaman kemungkinan disebabkan oleh

Tabel 1. Suhu rata-rata, salinitas rata-rata dan debit rata-rata buangan air pendingin dan beberapa sungai pada musim hujan dan musim kemarau

Stasiun	Muara Sungai	Musim Hujan			Musim Kemarau		
		Suhu rata-rata (°C)	Salinitas	Debit rata-rata (m ³ /det)	Suhu rata-rata (°C)	Salinitas rata-rata (‰)	Debit rata-rata (m ³ /det)
1	Outfall 1	44	31	40.0	44	31	40.0
2	Outfall 2	38	31	20.0	38	31	20.0
s1	Sekangat	25	27	1.0	25	27	0.5
s2	Muara Sekambang	25	27	1.0	25	27	0.5
s3	Baltim	25	27	0.5	25	27	0.2
s4	Nyerakat	25	27	1.0	25	27	0.2
s5	Selangan	25	27	1.0	25	27	0.5

keterbatasan data input batimetri atau input data debit buangan air pendingin. Dalam tulisan ini hanya ditunjukkan hasil verifikasi *layer-2* model (kedalaman 2 m) sebagaimana terlihat dalam Gambar 4.

Hasil pengukuran menunjukkan adanya perbedaan suhu sampai 6°C pada Stasiun 8. Hal ini disebabkan oleh pengaruh pasang surut, di mana ketika air surut maka massa air panas bergerak ke stasiun ini yang menyebabkan suhu perairan tinggi, sebaliknya jika air pasang, massa air dari laut akan dominan mempengaruhi suhu di stasiun ini.

Struktur vertikal suhu untuk kondisi pasut perbani

Musim kemarau. Hasil simulasi menunjukkan adanya perbedaan suhu permukaan dengan suhu lapisan bawah. Pada Stasiun A dan B terbentuk lapisan homogen dengan suhu sebesar 44°C pada Stasiun A dan 41,57°C pada Stasiun B. Stasiun C sampai F menunjukkan terbentuknya lapisan terstratifikasi dengan suhu lapisan atas lebih tinggi daripada lapisan bawah. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Wu *et al.* (2001).

Perbedaan suhu secara vertikal di muara kanal (Stasiun C) menunjukkan adanya variasi suhu yang cukup besar yakni sekitar 2,54°C di mana suhu permukaan adalah 37,95°C dan pada lapisan bawah 35,41°C. Perbedaan suhu antara lapisan atas dan lapisan bawah semakin kecil dengan bertambahnya jarak stasiun tersebut dari outfall, yakni 1,6°C, 1,29°C dan 0,6°C berturut-turut untuk Stasiun D, E dan F (Gambar 5).

Musim hujan. Sama dengan musim kemarau, pada Stasiun A dan B juga menunjukkan lapisan homogen dengan suhu sebesar 44°C pada Stasiun A (=musim

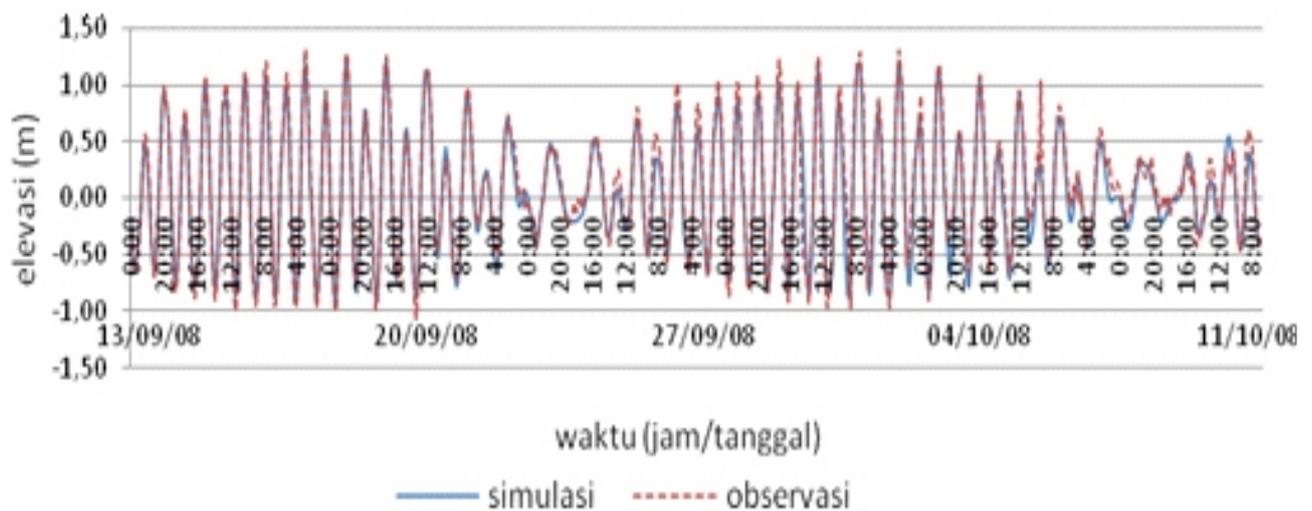
kemarau) dan 41,48°C pada Stasiun B (<musim kemarau). Perbedaan suhu secara vertikal di muara kanal (Stasiun C) sampai Stasiun F menunjukkan variasi suhu berturut-turut sebesar 2,32°C (<musim kemarau), 1,44°C (<musim kemarau), 1,2°C (<musim kemarau), 0,82°C (>musim kemarau) (Gambar 6).

Pola sebaran suhu permukaan

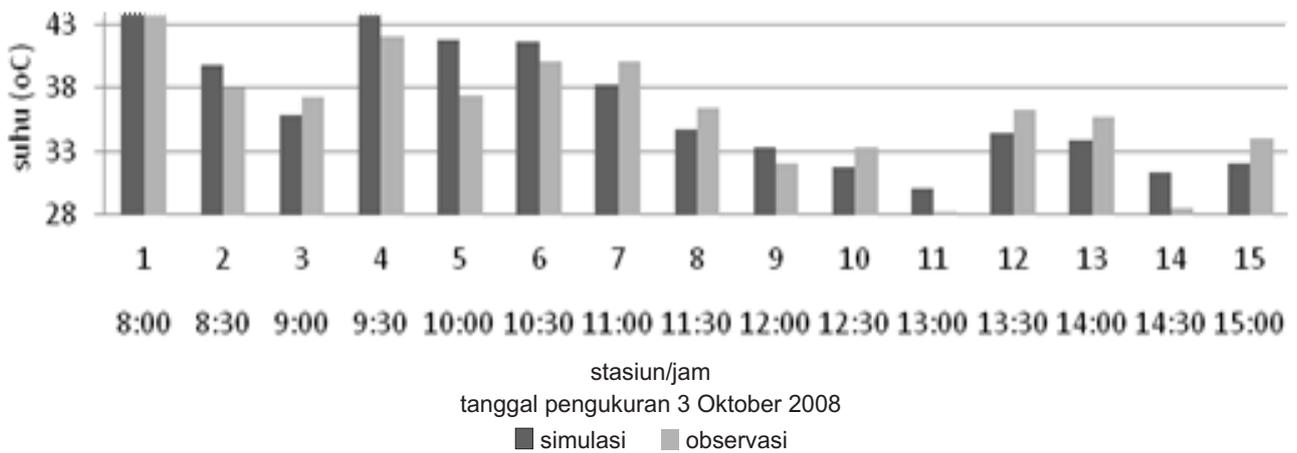
Untuk mengetahui pola sebaran suhu sepanjang tahun, maka dilakukan simulasi untuk musim hujan dan musim kemarau masing-masing pada saat perbani dan purnama. Selanjutnya hasil simulasi dari keempat kondisi tersebut masing-masing dicuplik pada saat air menuju pasang, pasang maksimum, menuju surut dan surut maksimum. Dengan demikian akan diketahui jika ada perbedaan ekstrim untuk kondisi tersebut.

Hasil simulasi menunjukkan adanya perbedaan untuk masing-masing kondisi cuplik terutama pada saat purnama. Hal ini disebabkan adanya perbedaan elevasi muka laut yang cukup besar untuk keempat kondisi cuplik tersebut pada saat purnama. Perbedaan suhu paling ekstrim ditemukan di Muara Kanal Pendingin (*mixing point*).

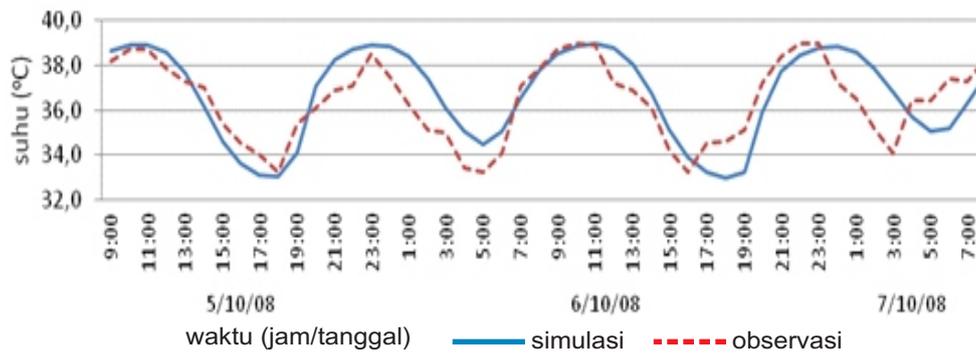
Gambar 7a dan b menunjukkan adanya perbedaan pola sebaran suhu untuk kedua kondisi tersebut. Perbedaan ini disebabkan oleh pengaruh arus pasang, di mana pada saat air menuju surut, massa air panas dari outfall terbawa oleh arus yang bergerak ke laut lepas (Gambar 7a), sedangkan pada saat air pasang massa air dari laut lepas bergerak memasuki kolam pendingin (Gambar 7b). Hal simulasi ini sesuai dengan laporan PT. Badak NGL, 2008. Kondisi ini menyebabkan sebaran suhu yang tinggi lebih luas pada saat air surut dibanding saat air pasang



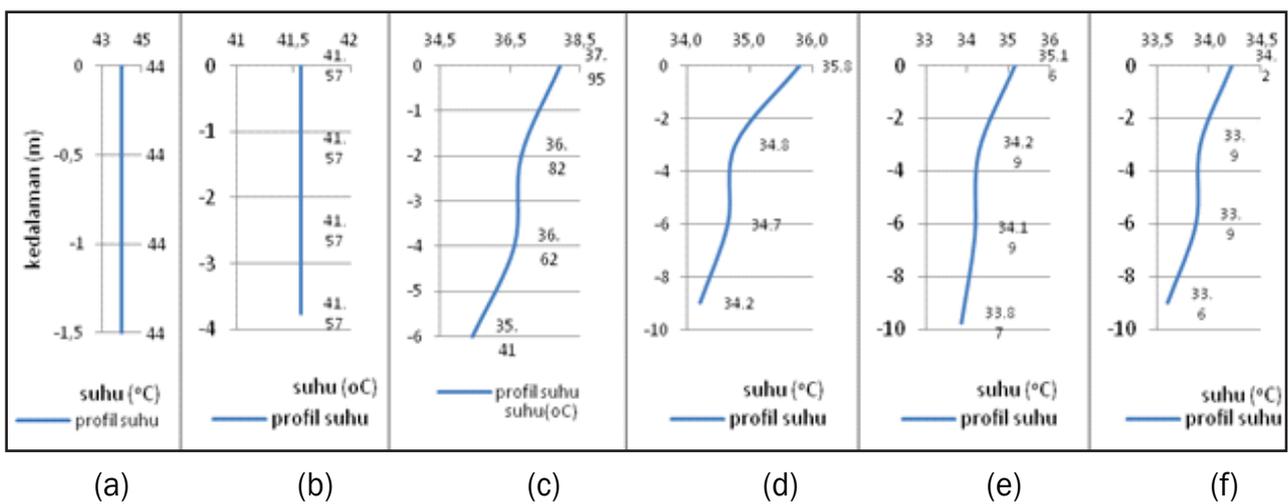
Gambar 2. Verifikasi elevasi pasang surut antara hasil model dan data hasil pengukuran



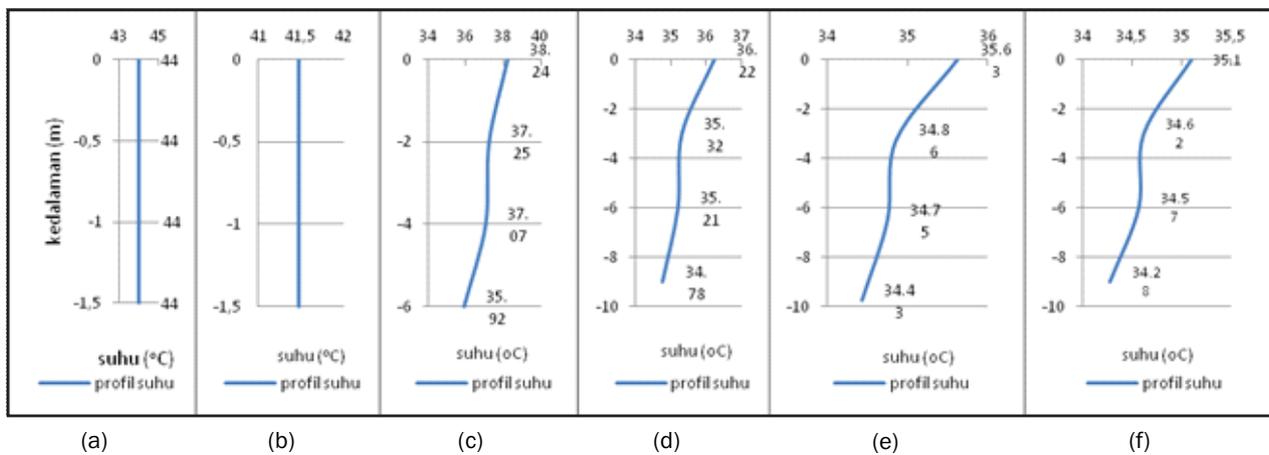
Gambar 3. Verifikasi elevasi pasang surut antara hasil model dan data hasil pengukuran



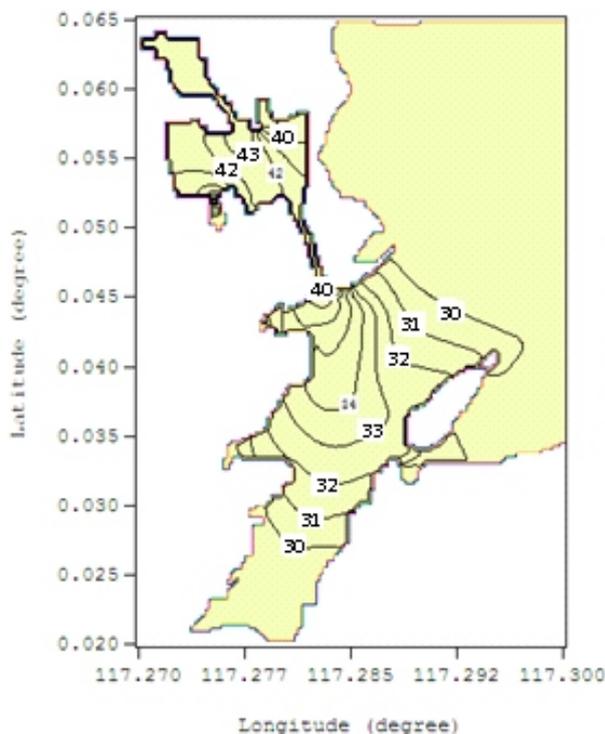
Gambar 4. Verifikasi hasil simulasi terhadap hasil observasi pada layer-2



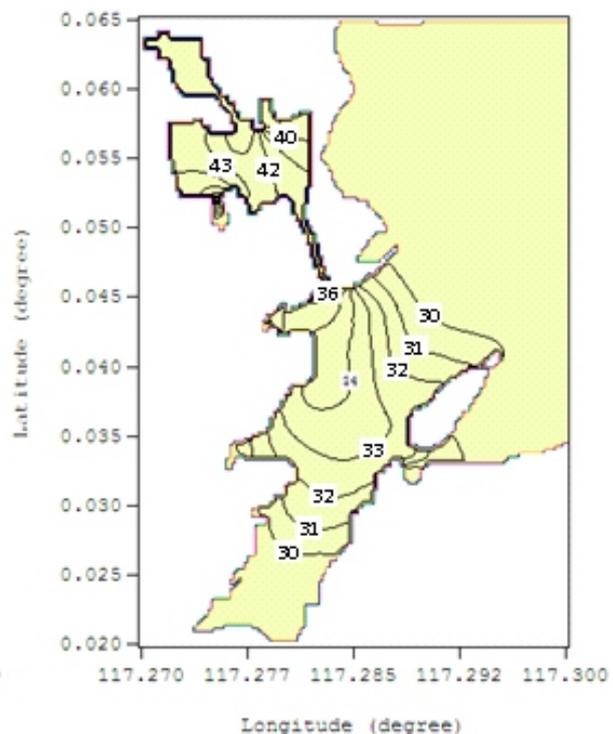
Gambar 5. Struktur vertikal suhu pada beberapa stasiun cuplik pada musim kemarau untuk kondisi pasut perbani



Gambar 6. Struktur vertikal suhu pada beberapa stasiun cuplik pada musim hujan untuk kondisi pasut perbani



Gambar 7a. Sebaran suhu (musim kemarau/ perbani/ surut maksimum)



Gambar 7b. Sebaran suhu (musim kemarau/ purnama/ pasang maksimum)

Kesimpulan

Aplikasi model POM di perairan sekitar buangan air pendingin PT. Badak NGL mampu mensimulasi pola sebaran suhu secara spasial dan temporal dengan baik. Pola sebaran dan kenaikan suhu permukaan akibat buangan air pendingin di Perairan Bontang sangat dipengaruhi oleh kondisi pasang surut perairan, hal ini terutama terlihat pada Stasiun 8 (Muara Kanal Pendingin) saat pasut purnama, di mana terdapat perbedaan suhu sampai 6

°C antara kondisi cuplik pasang maksimum dan surut maksimum. Pola sebaran suhu, pada saat surut massa buangan air pendingin bergerak ke laut lepas, sementara pada saat pasang bergerak ke arah kolam pendingin

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis haturkan kepada Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia yang telah memberikan

bantuan dana penelitian Disertasi, dan seluruh pihak yang telah membantu peneliti dalam pengumpulan dan analisis data. Terakhir, terima kasih kepada para reviewer atas saran dan masukan terhadap penyempurnaan tulisan ini.

Mellor, G.L. 2003. Users guide for a three-dimensional, primitive equation, numerical ocean model,

Daftar Pustaka

- Abbaspour, M., Javid, A.H., Moghimi, P & Kayhan, K. 2005. Modeling of thermal pollution in coastal area and its economical and environmental assessment. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 2(1):13-26.
- Aoki, K., & Isobe, A. 2007. Application of finite volume coastal ocean model to hindcasting the wind-induced sea-level variation in Fukuoka Bay. *J. Oceanog*, 63: 333-339.
- Chuang, Y., Yang, H. & Lin, H. 2009. Effect of a Thermal discharge from a nuclear power plant on Phytoplankton and Periphyton in Subtropical Coastal Waters. *J. Sea Res*, 61:197-205.
- Hamrick, J.M. & Mills, WB. 2000. Analysis of water temperatures in Conowingo pond as influenced by the peach bottom atomic power plant thermal discharge. *Environmental Sci and Policy*, 3:197-209.
- Li, T., S. Liu, L. Huang, H. Huang, J. Lian, Y. Yan, & Lin, S. 2011. Diatom to dinoflagellate shift in the summer phytoplankton community in a bay impacted by nuclear power plant thermal effluent. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 424:75-85.
- Maderich, V., Bezhenar, R., Brovchenko, I., Heling, R., Jenner, H., , Koshebtsky, A.K., & Terletska, K. 2008. Development and application of 3D numerical model THREETOX to the prediction of cooling water transport and mixing. *Geophysical Res.* 9:1000-1013.