

SEBARAN AIR LIMBAH BAHANG AKIBAT KEGIATAN SISTEM PEMBANGKIT TENAGA UAP

DISPERSION OF THERMAL WASTEWATER FROM STEAM POWER PLANT SYSTEM

Sudaryati Cahyaningsih¹⁾, Diana Rahayuningwulan²⁾, dan Endang Sri Pujilestari³⁾

^{1,2)}Bidang Teknologi Lingkungan, Pusat Penelitian Kimia – LIPI
Jalan Cisitu, Bandung

³⁾Program Doktor Pascasarjana, Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia
Jalan Salemba Raya, Jakarta

Email: ¹⁾scunong@yahoo.com; ²⁾d_wulan@yahoo.com

Abstrak: Adanya krisis Bahan Bakar Minyak (BBM) akhir-akhir ini menyebabkan banyak industri mengalihkan pasokan listriknya dari PT. PLN (Persero). Di lain pihak, PT. PLN (Persero) harus tetap memenuhi kebutuhan listrik dengan membatasi pemakaian BBM karena terjadinya peningkatan kebutuhan listrik bagi pelanggan dari waktu ke waktu. Untuk itu, sebagai perusahaan yang bertanggung jawab di bidang pembangkitan, penyaluran dan pendistribusian tenaga listrik di Indonesia membangun Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang disebut dengan PLTU Jawa Barat kapasitas 3 x 330 MW. Pembangunan PLTU dengan bahan bakar batubara, saat ini banyak dilakukan oleh PT. PLN (Persero) dalam rangka mengurangi defisit energi yang akhir-akhir ini melanda Indonesia terutama di Pulau Jawa. Akibat pengoperasian sistem pembangkit dihasilkan limbah berupa padat, cair dan gas yang beberapa diantaranya merupakan kategori parameter limbah bahan berbahaya dan beracun. Air limbah yang dihasilkan dalam jumlah terbesar adalah air limbah bahang dari kondensor. Penanganannya adalah dengan menyalurkan air limbah bahang ini lewat saluran terbuka kembali ke laut. Penggunaan saluran terbuka ini memberi peluang air buangan kondensor mengalami pendinginan akibat terjadinya penguapan dan lepasnya panas ke udara. Pertukaran panas antara uap air dengan air pendingin pada proses kondensasi uap air yang keluar dari turbin menghasilkan limbah bahang dengan temperatur 38,61°C. Air bahang dengan temperatur di atas temperatur alami, berpotensi untuk mempengaruhi kualitas lingkungan sekitar. Menggunakan pemodelan transpor limbah bahang surface water modelling system 9.2, kenaikan temperatur maksimum terjadi di mulut outlet dengan ΔT 8,6°C dan ΔT rata-rata 7,6 °C. Arah pergerakan air limbah bahang pada saat pasang dan surut dominan menuju barat dan barat laut lokasi kegiatan sesuai dengan arah arus dan gelombang dominan. Kondisi maksimum, dispersi air limbah bahang yang melebihi baku mutu berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor 51 tahun 2004 terjadi di sebelah timur, \pm 400 meter outlet dan di sebelah barat \pm 600 m dari outlet.

Kata kunci: air limbah bahang, temperature, dan sebaran limbah.

Abstract: Construction of Steam Powerplant (PLTU) with coal as boiler fuel nowadays being done by PT. PLN (Persero) in order to minimize energy deficit in Indonesia, especially in Java Island. This PLTU operation would emerge many wastes, from solid, liquid until emission gas, which most of it categorized as hazardous waste parameter. Thermal wastewater from cooling water discharged into water body above natural temperature that potentially influenced environmental quality on surrounding. Using thermal wastewater transport surface water modeling system 9.2, it would predicted location and temperature obtain from thermal dispersion. Simulation resulted that maximum temperature increasing was on outlet with ΔT 8,6°C and average T was 7,6 °C. Maximum condition of thermal wastewater dispersion that exceeded seawater standard base on Environmental Minister Decree no 51 year 2004 occurred on east side \pm 400 meter from outlet and west side \pm 600 m from outlet..

Keywords: thermal wastewater, temperature, and wastewater dispersion.

PENDAHULUAN

Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 71 tahun 2006 Tanggal 5 Juli 2006, Pemerintah Republik Indonesia telah mencanangkan program percepatan pembangunan pembangkit tenaga listrik menggunakan batubara hingga akhir tahun 2009, yaitu dengan membangun Pusat Listrik Tenaga Uap (PLTU). Program ini dicetuskan dalam rangka mengantisipasi kebutuhan energi listrik yang terus meningkat di tahun-tahun mendatang, juga merupakan upaya untuk melakukan penghematan BBM dan untuk menurunkan beban subsidi listrik yang dikeluarkan oleh pemerintah.

Salah satu program yang dikembangkan untuk mengatasi defisit energi yang mulai dialami oleh Indonesia adalah berkaitan dengan usaha peningkatan kuantitas sumber energi listrik dan diversifikasi sumber atau bahan baku pembangkit. Menipisnya cadangan minyak bumi dan melonjaknya harga minyak dunia mendorong upaya pencarian alternatif sumber energi untuk pembangkit. Batubara merupakan sumber energi dengan jumlah cadangan cukup besar, yaitu ± 7 milyar ton. PLTU Jawa Barat kapasitas 3 x 330 MW, berlokasi di Desa Sumur Adem Kecamatan Sukra Kabupaten Indramayu dengan koordinat geografis 107°58,11'46" E dan 6°16,13'74"S., merupakan PLTU berbahan bakar batubara rendah kalori, dengan heat rate 2.064,4 kcal/kWh. Untuk pengoperasian PLTU kapasitas 3 x 330 MW dibutuhkan batubara sebanyak 13.500 – 14.400 ton/hari atau 4.927.500 – 5.256.000 ton/tahun.

Pantai Barat Indramayu dapat digolongkan ke dalam perairan laut dangkal, dengan kedalaman maksimum di lepas pantai 32,5 m (BPLHD, 2004). Batimetri perairan di sekitar area PLTU dengan lebar 3 km, menunjukkan kedalaman laut ke arah utara atau menjauhi pantai semakin dalam. Perairan Indramayu dilihat dari morfologinya terbagi menjadi pantai maju dan pantai mundur.

Bentuk bentang alam atau morfologi lokasi PLTU merupakan suatu dataran rendah, yaitu merupakan dataran banjir dengan ketinggian bervariasi dari 1 meter hingga 3 meter di atas permukaan laut. Bentuk morfologi tersebut merupakan ciri dominan sepanjang pantai dan daerah sekitarnya. Daerah penjalaran gelombang, area terjangan terlihat ketika terjadi gelombang utara dengan ketinggian 0,4 m dan perioda 6 detik, dominan mengenai bagian barat dan timur PLTU sehingga daerah tersebut rawan terhadap abrasi pantai. Dari vector gelombang menunjukkan gelombang dari berbagai arah dibelokkan ke arah barat laut.

Wilayah perairan sebelah utara PLTU merupakan daerah konvergensi gelombang yaitu daerah berkumpulnya energi gelombang. Pada musim barat, arus permukaan ini mencapai maksimum 65,6 cm/detik dan minimum 0,6 cm/detik, sedangkan pada musim timur arus maksimum mencapai 59,2 cm/detik dan minimum 0,6 cm/detik. Tinggi gelombang di laut Jawa umumnya rata-rata kurang dari 2 meter (PKSPL-IPB, 2000)

Pada proses produksi tenaga listrik, air yang dimasak di dalam boiler menggunakan bahan bakar batubara atau minyak akan menghasilkan uap air dengan temperatur dan tekanan yang tinggi. Uap tersebut kemudian dialirkan untuk memutar sudu-sudu turbin yang kemudian dipanaskan kembali di reheater untuk mengembalikan pada temperatur semula, kemudian dialirkan ke turbin tekanan menengah selanjutnya pada turbin tekanan rendah. Poros turbin dikopel dengan poros generator, menghasilkan tenaga listrik.

Air yang digunakan sebagai pendingin dipompa ke kondensor dengan sistem terbuka (sekali lewat, once through), dimaksudkan untuk mengkondensasi uap air yang keluar dari turbin. Pada kondensor terjadi penukaran panas, panas dari uap air yang dilewatkan di luar pipa kondensor, dipindahkan sebagian ke air pendingin sehingga uap air terkondensasi kembali menjadi air murni dan air pendingin yang mengalir melalui bagian dalam pipa-pipa kondensor mengalami kenaikan suhu. Kondensat dikembalikan ke boiler untuk diproses ulang, dengan output sebesar 1.200 MW, diperlukan air pendingin sebesar 240.000 m³/jam.

Air limbah yang dihasilkan sebagian besar berupa air pendingin kondensor yang selanjutnya disebut dengan air limbah bahang. Sebelum dibuang ke badan air, air limbah bahang dialirkan melalui saluran terbuka yang terbuat dari bahan beton. Penggunaan saluran terbuka dimaksudkan agar air limbah bahang ini mengalami pendinginan akibat terjadinya penguapan dan lepasnya panas ke udara. Berdasarkan data dari beberapa PLTU milik PT. PLN (Persero) yang telah beroperasi, air limbah bahang tersebut mempunyai temperatur 37-39°C, dengan karakteristik kimia seperti sumber air baku yang digunakan.

Air limbah bahang dengan temperatur diatas tempertaur alami tersebut perlu dilakukan penelitian sejauh mana sebarannya, sehingga dapat diketahui pengaruh air limbah bahang terhadap daya dukung lingkungan.

METODE

1. Metoda Pengumpulan Data

- Trend Tinggi dan arah angin dalam 10 tahun, menggunakan metode Svedrup, Munk dan Bretschneider (SMB).
- Kecepatan Angin, menggunakan kecepatan angin maksimum agar diperoleh kondisi gelombang ekstrim. Angin maksimum, terlebih dahulu dikoreksi untuk mendapatkan faktor stress-angin (*wind-stress factor*), yaitu :

1) Koreksi ketinggian kecepatan

Karena alat ukur angin tidak selalu berada pada ketinggian 10 meter diatas paras rata-rata laut, maka kecepatan angin dikonversi ke ketinggian 10 meter. $U_{(10)}$ ini ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$U(10) = U(z) \left(\frac{10}{z} \right)^{1/7} \quad (1)$$

dimana :

$U(10)$: Kecepatan angin pada ketinggian 10 m

Z : Ketinggian pengukuran angin ($z < 100$ m)

2) Koreksi Stabilitas

Koreksi stabilitas dilakukan karena adanya perbedaan temperatur air dan udara dengan persamaan :

$$U R_T U(10) \quad (2)$$

dimana : $R_T = 1.1$

3) Koreksi Efek Lokasi

Kecepatan angin diatas laut terbuka umumnya $> 10\% - 20\%$ dari kecepatan di darat, sehingga untuk menaksir kecepatan angin di laut dilakukan koreksi dengan hubungan berikut :

$$U_{(laut)} = 1,24 U_{(darat)} \quad (3)$$

4) Koefisien Gesek

Kecepatan angin hasil perhitungan, dikonversi ke *wind-stress factor* dengan formula :

$$UA = 0.71 U^{1.23} \text{ (dalam m/s)} \quad (4)$$

Karakteristik laut dipaparkan secara global dan di sekitar lokasi kegiatan dengan parameter: kedalaman, gelombang/ombak, hidrodinamika laut (arus, pasang surut) dan garis pantai. Pengamatan arus dimaksudkan untuk mendapatkan data arah, kecepatan arus, dan pasang surut

2. Metoda Pengolahan Data Historik

- Pengolahan data historik terdiri plotting pasang surut harian selama satu tahun dari World Tide Database (WX Tide dan Global NaO Tide) untuk mengetahui pola terjadinya pasang tertinggi dalam satu tahun.
- Karakteristik angin, sebagai bahan masukan prediksi iklim gelombang dengan menggunakan metode SMB. Dilakukan pada kondisi fetch terbatas artinya daerah kemana angin bertiup dibatasi oleh daratan. Panjang fetch efektif ditentukan dengan membangun garis-garis radial yang ditarik dari satu titik tertentu (titik peramalan) sampai memotong garis pantai. Panjang fetch efektif dihitung dengan formula :

$$F_{ef} = \frac{\sum F_i \cos^2(\alpha)}{\sum \cos \alpha 1} \quad (5)$$

dimana :

F_{ef} = Panjang fetch efektif
 F_i = Panjang fetch pada arah ke i

- Periode gelombang signifikan, dihitung berdasarkan hubungan antara tinggi dan periode gelombang signifikan.
- Persamaan Pengatur

Formulasi metode SMB adalah sebagai berikut :

$$\frac{gH_{mo}}{U_A^2} = 1.6 \times 10^{-3} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2} \quad (7)$$

$$\frac{gT_m}{U_A^2} = 2.857 \times 10^{-1} \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3} \quad (8)$$

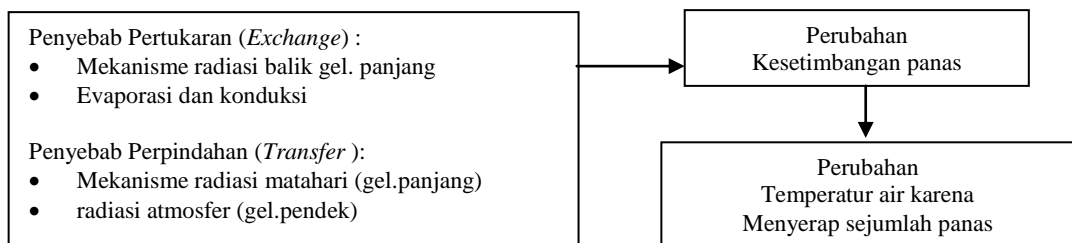
$$\frac{gt}{U_A^2} = 6.88 \times 10^1 \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{2/3} \quad (9)$$

dimana :

$T_{1/3}$ = 0.95 T_m
 H_m = Tinggi gelombang signifikan
 T_m = Perioda gelombang
 F = Fetch
 T = Durasi
 U_A = *wind-stress factor*

Sebaran Air Bahang

Proses Pertukaran Panas-Laut Udara di lapisan Batas (Enderger dan Geyer,1969):



Laju perubahan Temperatur air yang menyerap sejumlah panas :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{\rho C_p} \frac{\partial q}{\partial t} = \frac{1}{\rho C_p} \frac{\Delta H}{h} \quad (10)$$

Keterangan :

- Badan air tercampur sempurna dalam kolom air kedalaman,h.
- temperatur perairan dangkal > temperatur perairan dalam
- Transpor panas dari perairan pantai ke lepas pantai

Dengan adanya proses pendinginan di permukaan laut maka netto pertukaran panas-udara menjadi:

$$\Delta H = -A(T - T_E) = \frac{\partial H}{\partial T} (T - T_E) \quad (11)$$

T_E =Temperatur setimbang
 T_n =Temperatur natural

Dimana A adalah koefisien pertukaran panas antara laut-udara :

$$A = -\frac{\partial H}{\partial T}$$

(12)

Koefisien A di dapat dengan tidak ada perubahan netto panas ($\Delta H=0$)
 Laju Perubahan temperatur Laut menjadi :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{A}{h\rho C_p}(T - T_E)$$

(13)

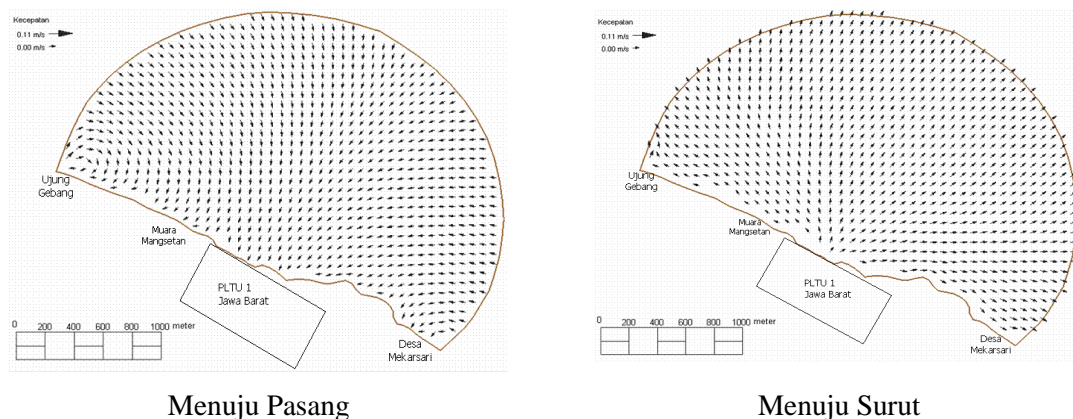
Intrepretasi data dalam bentuk Waverose dan tabel tinggi, periode dan arah gelombang dominan pada musim barat, musim timur, musim peralihan I & II serta gelombang tahunan.

PEMBAHASAN

Perairan Indramayu dilihat dari morfologinya terbagi menjadi pantai maju dan pantai mundur, kejadian pantai maju atau mundur sifatnya sementara, sebagai contoh pada musim barat material sepanjang garis pantai yang kena pengaruh akan bergerak ke arah timur oleh sistem arus memanjang pantai, demikian juga sebaliknya bila musim timur, sehingga material pantai yang dipindahkan akan di kembalikan ke posisi semula. Garis pantai secara alami berubah dari waktu ke waktu sejalan dengan perubahan alam seperti adanya aktivitas gelombang, angin, pasang surut dan arus serta sedimentasi daerah delta sungai.

Kegiatan pengoperasian sistem pembangkit dapat menimbulkan limbah bahang dan peningkatan konsentrasi klor serta senyawa hidrokarbon yang mengakibatkan penurunan kualitas air laut di sekitar lokasi kegiatan. Pertukaran panas antara uap air dengan air pendingin pada proses kondensasi uap air yang keluar dari turbin menghasilkan limbah bahang dengan temperatur 38,61°C.

Penurunan kualitas air laut akan mempengaruhi komunitas (komposisi jenis dan komposisi kelimpahan) fitoplankton dan zooplankton serta makrobentos di dasar perairan. Masalah ini akhirnya akan menurunkan produktivitas perikanan setempat dan merugikan para nelayan domestik yang menggantungkan hidupnya pada hasil perikanan ikan non pelagis.



Gambar 1. Pola arus.

Pola arus berbeda dengan arah angin di mana pola arus laut akan mempengaruhi pelayaran dan transpor limbah di laut sementara angin akan membangkitkan gelombang laut kemudian menghasilkan arus sejajar pantai (longshore current) yang membawa material sedimen. Sementara pola arus dari hasil perhitungan dengan model hidrodinamika Surface Water Modelling system 9.2 dengan masukan pasang surut laut selama 15 hari, diperoleh pasang arus maksimum mencapai 0,1

m/det, kecepatan rata-rata 0,06 m/det dengan arah arus dominan dari arah utara menuju ke arah barat daya. Di Ujung Gebang arah arus berasal dari barat laut menuju barat daya seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Pada kondisi surut kecepatan arus maksimum sedikit meningkat menjadi 0,11 m/det dengan kecepatan arus rata-rata 0,07 m/det. Arah arus dominan menuju lepas pantai.

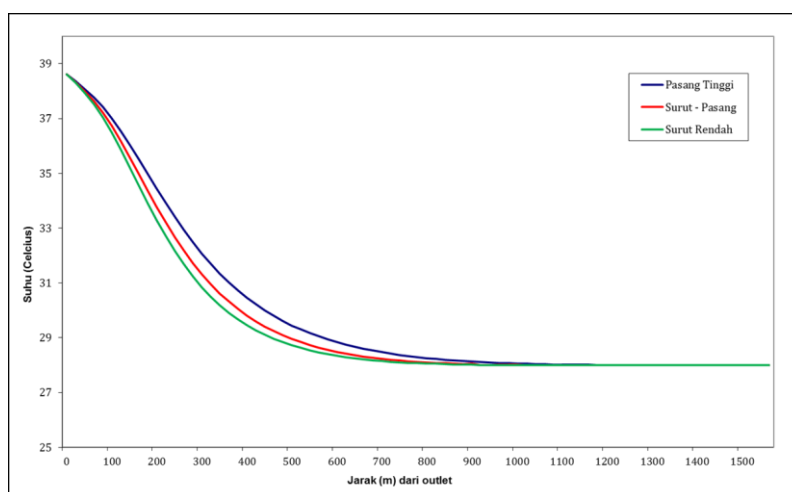
Prakiraan dampak penurunan kualitas air laut akibat pengaruh air limbah bahang diperoleh dari pemodelan transpor air limbah bahang menggunakan model fortran yang dikembangkan Laboratorium Oseanografi ITB (2006), dengan input batimetri perairan, pasang surut, angin dominan, debit inlet-outlet air laut, temperatur alami, temperatur outlet dan interaksi laut-atmosfer seperti yang dijelaskan pada metode studi, dengan hasil simulasi model selama 15 hari.

Berdasarkan pemodelan, didapat pergerakan harian air limbah bahang seperti disajikan dalam Tabel 1, profil sebaran suhu seperti ditunjukkan pada Gambar 2 serta pola pergerakan suhu seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa temperatur air limbah bahang di outfall/outlet 38,61°C, bercampur dengan temperatur laut sekitar 31°C, terjadi keseimbangan lingkungan akibat adanya ombak dan interaksi atmosfer. Namun air limbah bahang ini mengalir secara kontinyu, sehingga berpotensi peningkatan temperatur air laut sekitar.

Tabel 1. Hasil pemodelan kondisi temperatur laut

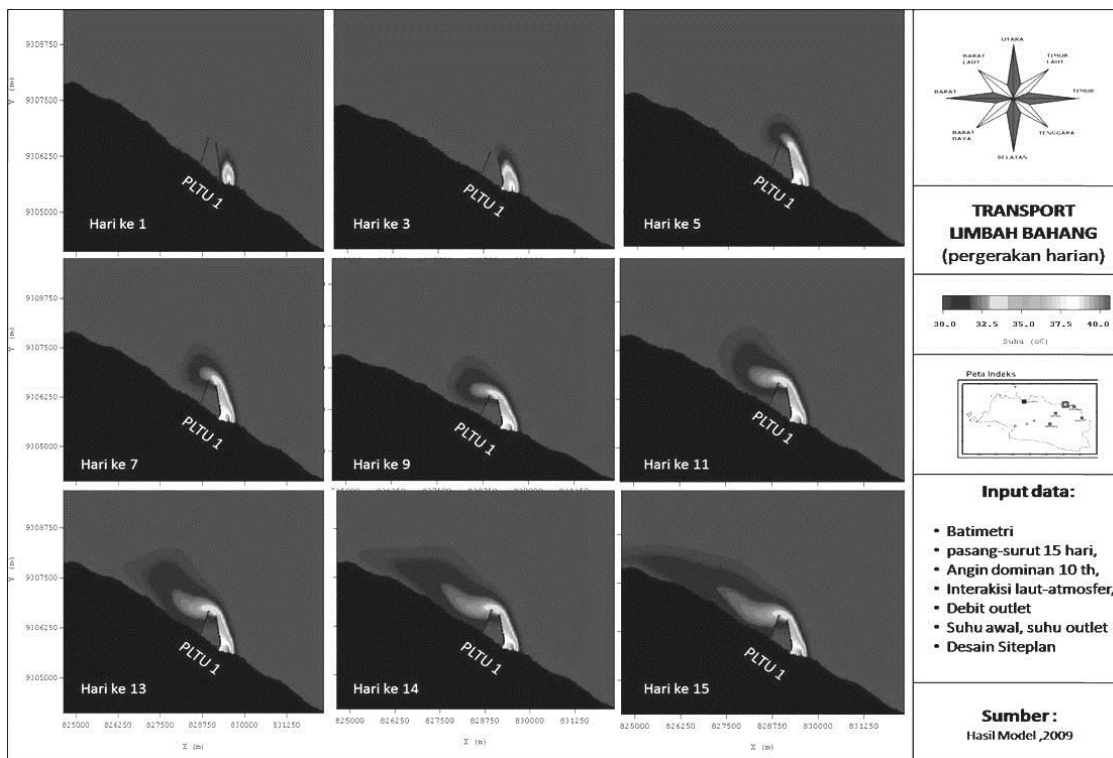
Hari ke-	Temperatur (°C)		
	100 m Outlet	Pintu Pelabuhan	Muara Kali Mangsetan
1	35,0	30,0	30,0
3	35,2	30,0	30,0
5	35,3	30,5	30,0
7	35,5	31,0	30,2
9	35,5	31,4	30,6
11	35,7	31,7	31,0
13	36,1	32,5	31,4
14	36,2	33,2	31,8

Peningkatan temperatur pada hari ke 15 di ujung breakwater menjadi 33,2°C dari temperatur air laut sekitar (31°C). Terjadi peningkatan temperatur rata-rata sebesar 2,2°C dari temperatur sekitar di ujung breakwater dan 0,8°C di muara kali Mangsetan.

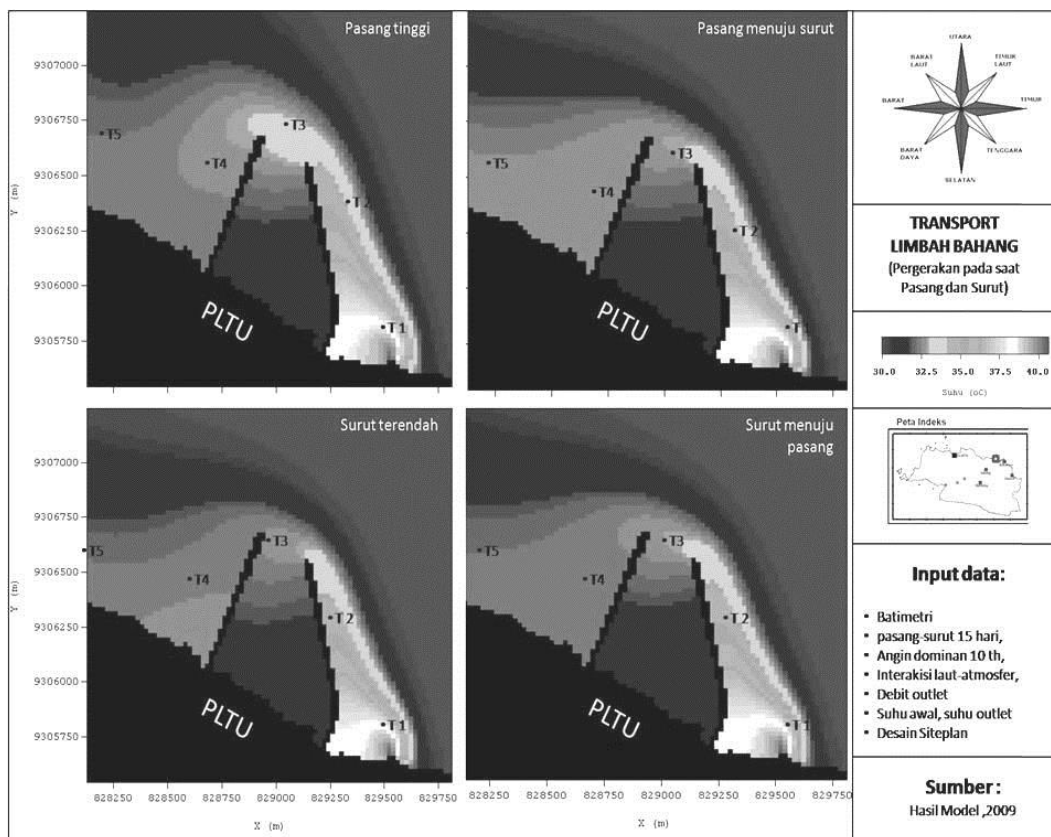


Gambar 2. Hasil pemodelan profil sebaran suhu hingga jarak 1 km dari Outlet.

Arah pergerakan air limbah bahang pada saat pasang dan surut dominan menuju barat dan barat laut lokasi kegiatan, sesuai dengan arah arus dan gelombang dominan, seperti disajikan dalam Tabel 2 dan Gambar 3. Kecepatan pergerakan terbesar pada saat pasang purnama (pasang tertinggi) sebesar 1,41 m/detik sedangkan kecepatan terendah pada saat surut perbani sebesar 1,17 m/detik.



Gambar 3. Pola sebaran limbah Bahang dari hari ke-1 hingga hari ke-15.



Gambar 4. Pola sebaran limbah Bahang berdasarkan pasang surut air laut.

Tabel 2. Hasil simulasi kondisi temperatur air laut.

Kondisi	Kecepatan (m/det)	Temperatur (°C)				
		T1	T2	T3	T4	T5
Pasang Tinggi	1,41	38,5	35,5	33,0	32,0	31,0
Menuju Surut	1,29	38,5	35,0	32,5	31,5	31,0
Surut Terendah	1,21	38,5	35,0	32,0	31,5	30,5
Menuju Pasang	1,25	38,5	35,5	32,5	32,0	31,0

Prakiraan dampak penurunan kualitas air laut diperoleh dari pemodelan transpor limbah bahang menggunakan modul RMA 2 dan RMA 4, surface water modelling system (SMS) 10.0 dengan hasil simulasi model selama 15 hari ditunjukkan pada Tabel 3. Dari hasil diatas diketahui kenaikan temperatur maksimum terjadi di mulut outlet dengan ΔT mencapai $9,6^{\circ}C$ dan ΔT rata-rata sebesar $9,3^{\circ}C$. Sementara dalam penyebarannya kenaikan temperatur yang melebihi baku mutu (KepMenLH no 51/2004) terjadi di sebelah timur dari mulut (+ 400 meter dari bibir pantai) outlet dan di sebelah barat dari mulut outlet (+ 600 meter dari bibir pantai) pada kondisi maksimum namun pada kondisi rata-rata tidak ada yang melebihi baku mutu.

Tabel 3. Kondisi temperatur laut.

No.	Lokasi	Sebelum Ada PLTU		Setelah Ada PLTU		ΔT (°C)	
		Maks (°C)	Rata-rata (°C)	Maks (°C)	Rata-rata (°C)	Maks	Rata-Rata
ST.1	Mulut Outlet	30	29,5	39,6	38,8	9,6	9,3
ST.2	Sebelah timur outlet	30	29,5	32,5	30,1	2,5	1,6
ST.3	Sebelah barat outlet	30	29,5	33,7	30,3	3,7	0,8
ST.4	Kolam dermaga	30	29	31,2	29,8	1,2	0,8
ST.5	Intake	30	29,5	30	29,5	0	0

Ket: Masukan temperatur outlet $38,61^{\circ}C$

Pola sebaran limbah bahang dari hasil simulasi model transpor selama 15 hari pada kondisi pasang purnama (spring tide) dan pasang perbani (neap tide) ditunjukkan pada gambar 5.1. Pada kondisi pasang yaitu pada sore hari sekitar Pk.17.00-20.00 terlihat Limbah bahang tertahan di mulut outlet karena adanya dorongan arus laut dari arah utara menuju pantai. Pada kondisi pasang purnama limbah bahang menyebar sejauh 800 meter dari mulut outlet ke arah Timur dan utara.

KESIMPULAN

Prakiraan penurunan kualitas air laut dari pemodelan transpor limbah bahang menggunakan surface water modelling system 9.2. Dari hasil simulasi diketahui kenaikan temperatur maksimum terjadi di mulut outlet dengan ΔT $8,6^{\circ}C$ dan ΔT rata-rata $7,6^{\circ}C$. Sementara pada kondisi maksimum, dispersi air limbah bahang di atas baku mutu berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor 51 tahun 2004 terjadi di sebelah timur (\pm 400 m) outlet dan di sebelah barat (\pm 600 m) outlet. Temperatur air limbah bahang di outfall/outlet $38,61^{\circ}C$, bercampur dengan temperatur laut sekitar $31^{\circ}C$, terjadi keseimbangan lingkungan akibat adanya ombak dan interaksi atmosfer. Namun air limbah bahang ini mengalir secara kontinyu, sehingga berpotensi peningkatan temperatur air laut sekitar. Peningkatan temperatur pada hari ke 15 di ujung breakwater menjadi $33,2^{\circ}C$ dari temperatur air laut sekitar ($31^{\circ}C$). Terjadi peningkatan temperatur rata-rata sebesar $2,2^{\circ}C$ dari temperatur sekitar di ujung breakwater dan $0,8^{\circ}C$ di muara kali Mangsetan. Arah pergerakan air limbah bahang pada saat pasang dan surut dominan menuju barat dan barat laut lokasi kegiatan sesuai dengan arah arus dan gelombang dominan. Penurunan kualitas air laut akan mempengaruhi komunitas (komposisi jenis dan komposisi kelimpahan) fitoplankton dan zooplankton serta makrobentos di dasar perairan. Masalah ini akhirnya akan menurunkan produktivitas perikanan setempat dan merugikan para nelayan domestik yang menggantungkan hidupnya pada hasil perikanan ikan non pelagis.

Saran

Penanganan penurunan kualitas air laut dapat dilakukan dengan mengalirkan limbah bahang dalam saluran terbuka yang terbuat dari bahan beton. Penggunaan saluran terbuka ini memberi peluang air buangan kondensor mengalami pendinginan akibat terjadinya penguapan dan lepasnya panas ke udara, sehingga kualitas air sesuai dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 08 Tahun 2009 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/atau kegiatan Pembangkit Listrik Tenaga Termal.

Ucapan terima kasih

Terimakasih kami ucapkan kepada PT. PLN (Persero) Unit Pembangkitan Jawa Bali Sektor Pengendalian dan Pembangkitan Indramayu sehingga kegiatan penelitian ini dapat terlaksana..

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Jawa Barat. Status Lingkungan Hidup Jawa Barat, Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Jawa Barat, Bandung. 2003.
- Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Jawa Barat, Pusat Penelitian Geologi Kelautan. Studi Regional Dinamika Pesisir dan Laut Propinsi Jawa Barat, Badan Pengendalian Lingkungan Hidup Jawa Barat, Bandung. 2004.
- Burhanuddin. "Toleransi Suhu Pada Crustacea dan Mollusca di Perairan PLTU Muara Karang-Jakarta". Oceanologi Indonesia 26 (1993) : 41 – 54.
- Cahyana, C. "Model Sebaran Panas Air Kanal Pendingin Instalasi Pembangkit Listrik Ke Badan Air Laut". Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah IX, Serpong, 2011 : 293-302.
- Huboyo, H.S., Zaman, B. "Analisis Sebaran Temperatur dan Salinitas Air Limbah PLTU-PLTGU berdasarkan Sistem Pemetaan Spasial (Studi Kasus : PLTU-PLTGU Tambak Lorok Semarang)". Jurnal Presipitasi vol. 3 no.2 (2007) : 40 – 45.
- Nurjaya, I. W., Surbakti, H. "Model Dispersi Bahang Hasil Buangan Air Proses Pendinginan PLTGU Cilegon CCPP ke Perairan Pantai Margasari Di Sisi Barat Teluk Banten". E-Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis vol. 2 no. 1 (2010) : 31 – 49.
- Prihastuti, S. Model 2 Dimensi Dispersi Thermal Air pendingin PLTGU dengan metode Beda hingga Eksplisit. Tesis Magister Program Studi Teknik Lingkungan ITB. 2003.
- Pitchaikani, J.S., Ananthan, G., Sudhakar, M. "Studies on the Effect of Coolant Water Effluent of Tuticorin Thermal Power Station on Hydro Biological Characteristics of Tuticorin Coastal Waters, South East Coast of India". Current Research Journal of Biological Sciences (2010) 2 (2): 118-123.
- Susiati, H., Pandoe, W., Yarianto, SBS. "Evaluasi Sebaran Thermal di Perairan Semenanjung Muria dalam Rencana Pembangunan PLTN". Prosiding Seminar Nasional ke-16 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, Serpong, 2010, 376-386.
- Wiadnyana, N.N. "Estimation du transfert de matieres entre le reseaumicrobien pelagique et les consommateurs meso-etmacroplanktoniques - ecosysteme oligotrophe (Mer Ligure)". Thesisdotorat Universitas P. et M. Curie, (1991), p 154.
- Wyrтки, K.. Physical Oceanography Of Southest Asian Waters, Naga Report. The University Of California, La Jolla. vol. 2 (1961).

