

Analisis Sebaran Suhu Permukaan Laut di Perairan PLTU Tanjung Jati, Jepara (Skenario: Kerusakan Pada Water Treatment)

Nikolas Mulyarto*, Baskoro Rochaddi dan Aris Ismanto

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia
Email: *nikolasmulyarto@students.undip.ac.id

Abstrak

PLTU Tanjung Jati B Jepara terletak di pantai utara Pulau Jawa dengan menggunakan air laut sebagai pendingin, kemudian membuang air limbah panas menuju laut. Pembuangan air limbah ini telah mengalami proses pendinginan agar air limbah yang keluar memiliki suhu yang mendekati suhu permukaan laut. Apabila terjadi kerusakan pada *water treatment* dimungkinkan masuknya air limbah yang bersuhu tinggi ke perairan. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi sebaran suhu permukaan laut akibat air limbah panas yang keluar dengan skenario *water treatment* rusak. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu pemodelan hidrodinamika menggunakan model matematika 2 dimensi. Pemodelan dilakukan pada 4 musim yaitu musim timur, musim peralihan 2, musim barat, dan musim peralihan 1. Masing-masing dimodelkan dengan 4 fase pasang surut yaitu pasang tertinggi, pasang menuju surut, surut terendah, dan surut menuju pasang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pola sebaran panas mengikuti pola arus yang ada dimana pada musim timur dan musim peralihan 2 condong bergerak ke timur sedangkan pada musim barat dan musim peralihan 1 condong bergerak ke barat.

Kata kunci: Suhu Permukaan Laut, Pemodelan Numerik, MIKE 21

Abstract

Prediction Analysis of Sea Surface Temperature Distribution in the waters of PLTU Tanjung Jati, Jepara (Case Study: Water Treatment Malfunction)

PLTU (*Steam Power Plant*) Tanjung Jati B Jepara is located at the Java's northern coast and operated by taking the water as a cooler and then transferring its waste heat to the sea. This discharge passes through a cooling process hence the waste's temperature is conditioned similarly to sea surface temperature. In certain circumstances, it is even possible that the waste heat leaked into the waters because of the water treatment malfunction. To find out the pattern of thermal dispersion, thus we conduct a study. This study aims to predict the distribution of the sea surface temperature dispersion as the effect of waste leaked water due to water treatment malfunction. The research method is hydrodynamic modeling using MIKE 21 software. The modeling is carried out in four seasons, namely Eastern Monsoon, Transition monsoon 2, Western Monsoon, dan Transition monsoon 1. Each of them is modeled by four tidal phases, namely highest tide, ebb tide, lowest tide, dan flood tide. Subsequently the results describe that the pattern of thermal dispersion follows the tidal current, where is the thermal in Eastern Monsoon dan Transition Season 2 tend to flow east whereas in Western Monsoon dan Transition monsoon 1 tend to flow west.

Keywords: Sea Surface Temperature, Numerical Modeling, MIKE 21

PENDAHULUAN

Listrik merupakan salah satu sumber energi yang sangat penting dalam kehidupan manusia karena bermanfaat sebagai sarana penerangan, sarana hiburan, penggerak mesin kendaraan, dan lain-lain. Dalam memenuhi kebutuhan listrik ini, pembangkit listrik berperan sebagai penyuplai energi listrik bagi masyarakat. Pembangkit Listrik Tenaga Uap atau PLTU merupakan pembangkit yang mengdakan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Dalam hal ini, generator berperan mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Perputaran poros generator dihasilkan dari turbin uap yang berputar akibat masuknya uap yang bertekanan dan bersuhu tinggi yang kemudian keluar menuju outlet (Abbas *et al.*, 2019)

PLTU Tanjung Jati B terletak di pantai utara Pulau Jawa dan sangat berperan dalam menyuplai kebutuhan listrik Jawa dan Bali. Dalam sistem PLTU digunakan media air laut untuk proses pendinginan mesin

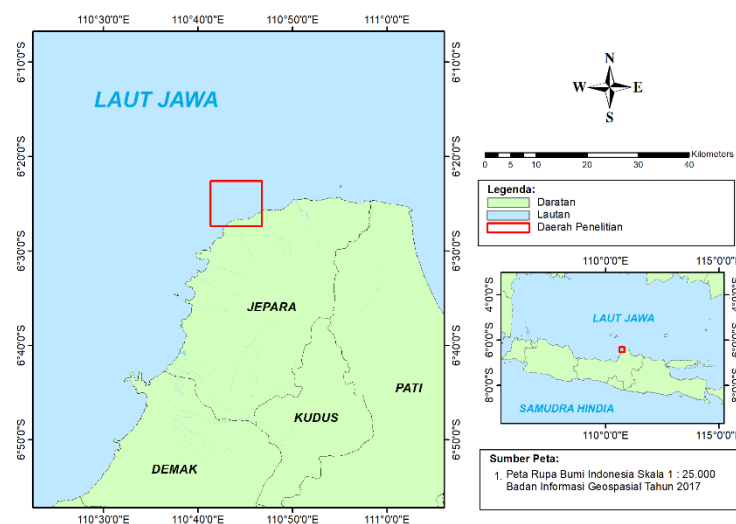
atau *cooling water system*. Dimana setelah mengalami proses pendinginan, maka akan menghasilkan air bersuhu lebih tinggi yang kemudian akan dibuang ke laut melalui kanal pembuangan air panas atau dikenal dengan *outlet* (Wibowo *et al.*, 2012). Apabila tidak dikelola dengan baik melalui Instalasi Pembuangan Air Limbah (IPAL) akan mengakibatkan kenaikan suhu air laut. Hal ini terjadi karena air yang dalam kondisi panas akan masuk kedalam perairan sehingga mungkin terjadinya pencampuran air bahang yang dalam keadaan panas dengan air laut sekitar. Akibatnya berdampak negatif bagi keadaan ekosistem di sekitar kanal pembuangan air panas (*outlet*). Pemerintah Republik Indonesia melalui Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut telah mengatur batas maksimal perubahan suhu air laut yaitu kurang dari 2°C dari suhu alami.

Penelitian mengenai sebaran panas PLTU pernah dilakukan oleh Pintubatu *et al.* (2020) yang membahas mengenai suhu permukaan laut akibat dampak air bahang di PLTU Paiton Probolinggo, Jawa Timur. Dimana pada penelitian tersebut menggunakan citra landsat 8 TIRS untuk mengkaji sebaran panas yang terjadi akibat dampak air bahang. Penelitian oleh Sukmawanty *et al.* (2022) yang membahas mengenai sebaran suhu akibat limbah air panas PLTU di Teluk Benette, Sumbawa Barat. Dimana pada penelitian tersebut menggunakan model hidrodinamika Delft3D. Untuk penelitian mengenai suhu permukaan laut akibat dampak air bahang juga terjadi di PLTU Tanjung Jati Jepara. Pada penelitian oleh Angga *et al.* (2015) mengkaji sebaran air bahang menggunakan citra landsat 8 TIRS, sedangkan pada penelitian oleh Hutomo *et al.* (2021) menggunakan pemodelan hidrodinamika Delft3D dimana pada penelitian sebelumnya pola arus di dominasi oleh pengaruh dari pasang surut.

Dalam penelitian ini kami menggunakan skenario ketika adanya kerusakan *water treatment*, dimana tujuannya adalah untuk memprediksi sebaran suhu yang terjadi di outfall hingga ke area sekitar. Hal ini diperlukan sebagai upaya mitigasi jika terjadi kejadian sesungguhnya.

MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan di perairan PLTU Tanjung Jati B Jepara, Jawa Tengah secara geografis terletak pada 110°43'06" - 110°45'23" Bujur Timur dan 6°25'52" - 6°27'02" Lintang Selatan yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Penelitian

Materi pada penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh langsung dilapangan meliputi data arus laut, pasang surut, dan data batimetri. Data sekunder meliputi data angin ECMWF, suhu permukaan laut ECMWF, pasut BIG, dan data batimetri BATNAS.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif, yaitu metode yang telah memenuhi kaidah-kaidah ilmiah, objektif, sistematis, dan terukur. Pada metode ini dimaksudkan untuk meneliti sampel dengan data dan analisis dengan pendekatan model numerik. (Syafutra *et al.*, 2014). Adapun sifat penelitian

ini bersifat deskriptif yaitu untuk memperoleh gambaran tentang sebaran suhu permukaan laut akibat pengaruh air bahang apabila *water treatment* mengalami kerusakan pada PLTU Tanjung Jati B, Jepara.

Pengambilan Data

Data Arus Laut

Pengukuran arus dilakukan selama 3 x 24 jam dimulai pada tanggal 27 Maret 2021 sampai dengan 30 Maret 2021. Lokasi pengukuran arus terletak di dasar perairan dengan kedalaman 13 m dengan koordinat 06°28'48.6" LS dan 110°45'17.8812" BT menggunakan 3nstrument ADCP SonTek Argonaut. Pengukuran dilakukan dengan interval waktu 10 menit dengan membagi menjadi 5 layer.

Data Pasang Surut

Pengukuran pasang surut dilakukan selama 15. Pengukuran pasang surut menggunakan Logger RBR Seri C dengan interval 5 menit. Stasiun pasang surut berlokasi pada koordinat 06°26'20.5944" LS dan 110°43'42.5316" BT

Data Batimetri

Pengukuran batimetri dilakukan secara langsung dilapangan dengan menggunakan instrumen Garmin GPSMAP 585 yang dipasang pada sisi samping kapal. Adapun kecepatan kapal saat melaju sekitar 5 knot. Pemeruman dilakukan pada lajur sounding dengan interval 100 meter di perairan PLTU Tanjung Jati B. Pengukuran ini dilakukan selama 3 hari .

Pemodelan Hidrodinamika dan Simulasi Sebaran Panas

Pembuatan model hidrodinamika dan dispersi termal dilakukan pada *software* Mike21 *Flow Model* FM dengan mensimulasikan gaya pembangkit angin dan pasang surut. Adapun data angin selama 5 tahun sebagai inputan di peroleh dari data angin ECMWF dan data pasang surut selama 15 hari diperoleh dari data BIG. Skenario pemodelan hidrodinamika ini dilakukan pada musim timur, musim peralihan 2, musim barat, dan musim peralihan 1. Masing-masing 3cenario dimodelkan pada fase pasang surut sebagai berikut:

- Pasang tertinggi
- Pasang menuju surut
- Surut terendah
- Surut menuju pasang

Pembuatan 3cenario simulasi sebaran suhu dilakukan dengan inputan dari suhu permukaan laut ECMWF sebagai *initial condition temperature* dimana data ini digunakan sebagai suhu permukaan laut sebelum terjadi kerusakan *water treatment*. Skenario kerusakan pada saat *water treatment* rusak dilakukan dengan mensimulasikan air limbah panas dengan suhu tinggi pada debit air yang ditentukan. Adapun data debit aliran yang keluar dari outfall merupakan data debit dari penelitian sebelumnya oleh Hutomo et al. (2021) dengan rincian sebagai berikut:

- debit aliran yang keluar dari *outfall* : 91,667 m³/s.
- air limbah panas : 40 °C

Menurut Ismanto *et al.* (2008) dalam pemodelan dispersi suhu pada perairan terjadi proses pertukaran panas sebagai penyebaran materi terlarut dari keluaran (*outfall*) PLTU. Proses ini yaitu adveksi dan dispersi turbulen. Proses adveksi terjadi akibat suhu terdispersi secara langsung oleh aliran fluida, sedangkan proses difusi tubulen dipengaruhi adanya gerak turbulensi karena variasi kecepatan dalam arah penampang melintang aliran. Kedua proses ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + U \frac{\partial T}{\partial x} + V \frac{\partial T}{\partial y} = K_x \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 y}{\partial y^2} + \frac{A}{\rho C_p h} (T - T_E) + Q_T$$

Dimana,

- T = suhu aktual (°C)
- T_E = suhu alami (°C)

O_T	= laju perubahan suhu pada outfall ($^{\circ}\text{C/s}$)
U, V	= kecepatan transport arah x dan y (m/s)
K_x, K_y	= koefisien turbulen arah x dan arah y (m^2/s)
A	= koefisien pertukaran panas laut-udara yang berdimensi ($\text{kcal}/\text{m}^2\text{s } ^{\circ}\text{C}$)
ρ	= densitas air laut (kg/m^3)
C_p	= panas spesifik pada tekanan konstan ($\text{kcal}/\text{kg } ^{\circ}\text{C}$)
h	= kedalaman laut (m)

Pre-processing Model

Pada tahap ini melakukan persiapan berupa data titik batas dan titik batimetri diinput ke dalam 1 layer menggunakan software Mike 21. Pembuatan mesh generator dipilih melalui file new pada Mike Zero. Pemilihan mesh dalam bentuk elips digunakan untuk memudahkan dalam input data pasang surut yang selanjutnya pada tahap tri angulate mesh digunakan untuk memudahkan mengisi grid secara menyeluruh pada daratan dan laut. Adapun setup yang dilakukan sebagai berikut:

Tabel 1. *Pre-processing Model*

<i>Parameter</i>	<i>Setting</i>
Mesh Boundary	
Batas Circle	115 element
Batas Titik Pantai	61 element
Batimetri	Kedalaman <i>minimum</i> : -1 meter Kedalaman <i>maksimum</i> : - 60 meter

Processing Model

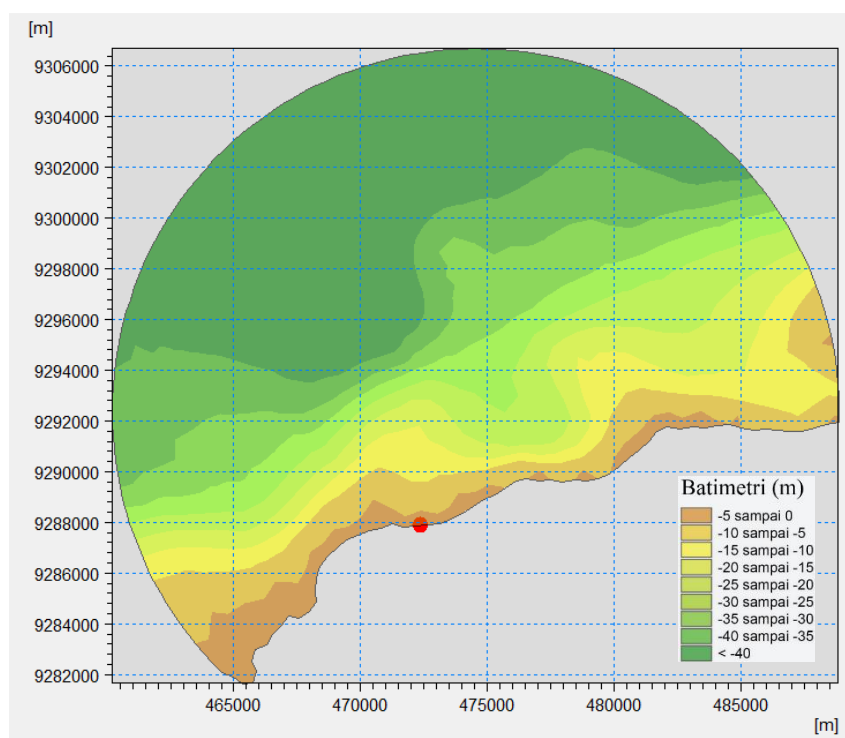
Pada *processing model* dilakukan pemilihan domain, waktu simulasi, dan pemilihan *hydrodynamic module*. Adapun inputan yang digunakan pada tahap pemodelan hidrodinamika yaitu data *time series* dari pasang surut BIG dan angin ECMWF. Pada tahap simulasi sebaran suhu skenario suhu permukaan air atau initial temperature model menggunakan inputan suhu permukaan laut dari ECMWF.

Adapun *set up processing model* dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 2. *Processing Model*

<i>Parameter</i>	<i>Setting</i>
Waktu Simulasi	
<i>Number of time step</i>	696
<i>Time step interval</i>	3600 sec
	Musim Timur
<i>Start time</i>	01/07/2020 00:00:00
<i>End time</i>	30/07/2020 00:00:00
	Musim Peralihan 2
<i>Start time</i>	01/10/2020 00:00:00
<i>End time</i>	30/10/2020 00:00:00
	Musim Barat
<i>Start time</i>	01/01/2021 00:00:00
<i>End time</i>	30/01/2021 00:00:00
	Musim Peralihan 1
<i>Start time</i>	01/04/2021 00:00:00
<i>End time</i>	30/04/2021 00:00:00
Kondisi Skenario	

<i>Parameter</i>	<i>Setting</i>
<i>Time</i>	<i>High Order</i>
<i>Space</i>	<i>High Order</i>
<i>Density type</i>	<i>Function of temperature dan salinity</i>
<i>Wind Forcing</i>	<i>Time Series Data Kecepatan dan Arah Angin ECMWF</i>
<i>Boundary Condition</i>	<i>Time Series Data Pasang Surut Ipassoet BIG</i>
Model Suhu	
<i>Source constant value</i>	40 °C
<i>Boundary Condition</i>	Time Series Data Suhu Permukaan Laut ECMWF
Output Set Up	1. Elevasi Muka Air 2. Komponen U dan Komponen V 3. Kecepatan Arus dan Kecepatan Arus 4. Suhu Permukaan Laut



Gambar 2. Domain model

Post Processing Model

Hasil running dari pemodelan ini dalam bentuk *area series* dan *point series*. Pada *area series* menggambarkan sebaran suhu setelah dilakukan pemodelan hidrodinamika pada musim timur, musim peralihan 2, musim barat, dan musim peralihan 1. Adapun hasil running dalam bentuk poin series digunakan untuk mencocokkan data hasil pemdelan dengan data lapangan untuk mengetahui nilai eror dengan melakukan verifikasi ditahap selanjutnya.

Verifikasi Hasil Model

Untuk melihat akurasi data model yang telah dilakukan sebelumnya, dilakukan verifikasi hasil model dengan cara membandingkan data hasil model dengan data lapangan. Adapun verifikasi yang dilakukan yaitu

elevasi pasang surut, arus untuk komponen u dan v. Menurut Adibhusana *et al.* (2016), verifikasi model dapat dilakukan dengan persamaan RMSE (Root Mean Square Error) dimana pada persamaan ini model akan diuji tingkat keakurasiannya dengan mengkuadratkan eror dari selisih data model dengan data lapangan dan selanjutnya dibagi dengan jumlah data. Adapun persamaan RMSE dapat dituliskan sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{model,i})^2}{n}}$$

Dimana,

n = jumlah data

$X_{obs,i}$ = data pengamatan langsung di lapangan

$X_{model,i}$ = data hasil model

Adapun variabel yang diuji yaitu elevasi pasang surut dan kecepatan arus. Semakin kecil perbedaan nilai antara data lapangan dan data model menunjukkan data yang semakin kecil nilai kesalahan atau eror yang terjadi Simamora *et al.* (2019). Menurut Moriasi *et al.* (2007), hasil pemodelan dikatakan sangat baik jika RMSE bernilai 0-0,5 , baik jika bernilai 0,5-0,6 , cukup baik jika bernilai 0,6-0,7, dan tidak baik jika bernilai > 0,7. Adapun hasil RMSE untuk parameter kecepatan arus dan elevasi pasang surut ini dapat dikatakan sangat baik dan dapat menginterpretasikan keadaan seperti yang terjadi dilapangan. Berikut ini tabel hasil dari perhitungan RMSE yang telah dilakukan:

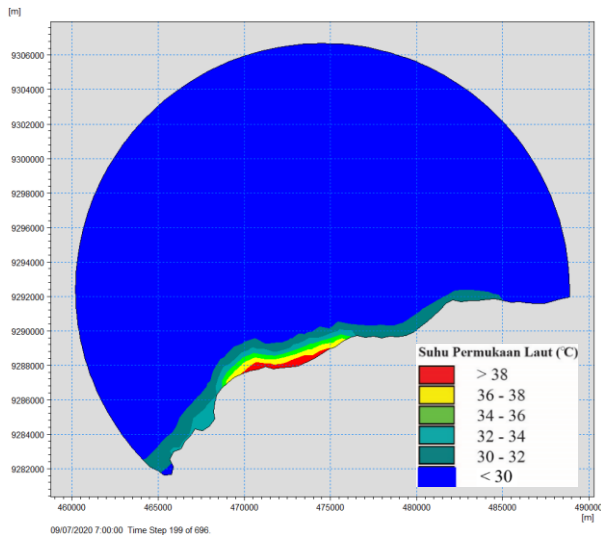
Parameter	RMSE
Kecepatan Arus	0.153241298
Komponen Arus U	0.15
Kompenen Arus V	0.075477
Elevasi Pasang Surut	0.102465714

HASIL DAN PEMBAHASAN

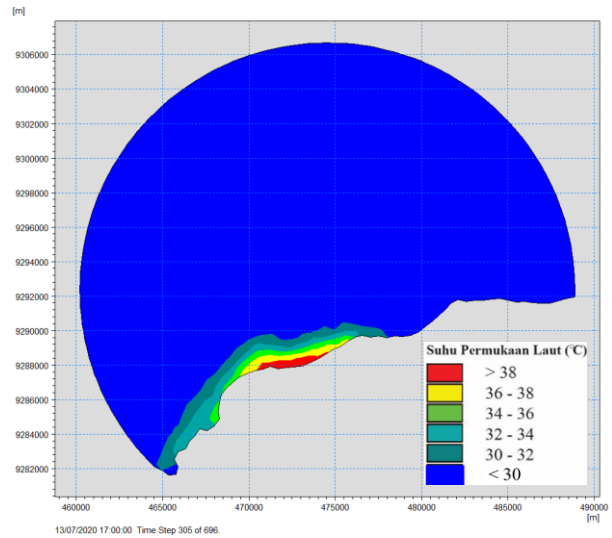
Pola sebaran suhu bergerak sesuai dengan pola arus yang terjadi di perairan. Dimana pola arus yang terjadi didominasi oleh pasang surut atau diekna dengan arus pasut.

Musim Timur

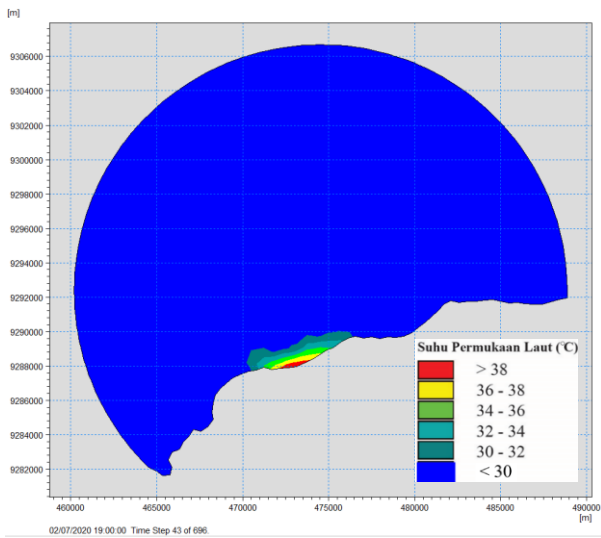
Pada musim timur, pola sebaran arus cenderung bergerak ke arah timur. Pada setiap kondisi muka air, suhu permukaan air di sekitar outlet PLTU lebih dari 38 °C. Penyebaran suhu ini terus bergerak menuju perairan seiring menurunnya suhu dari dekat outlet sekitar 32 °C. Saat pasang tertinggi sebaran suhu yang terjadi lebih luas dibandingkan saat kondisi surut terendah yang cenderung mengumpul di dekat *outlet*. Kondisi ini dipengaruhi oleh arus pasut yang mendorong massa air limbah panas. Hal ini diperkuat oleh pendapat Prasetya *et al.*, (2017) yang menyatakan limbah panas bergerak oleh pengaruh penggerakan arus.



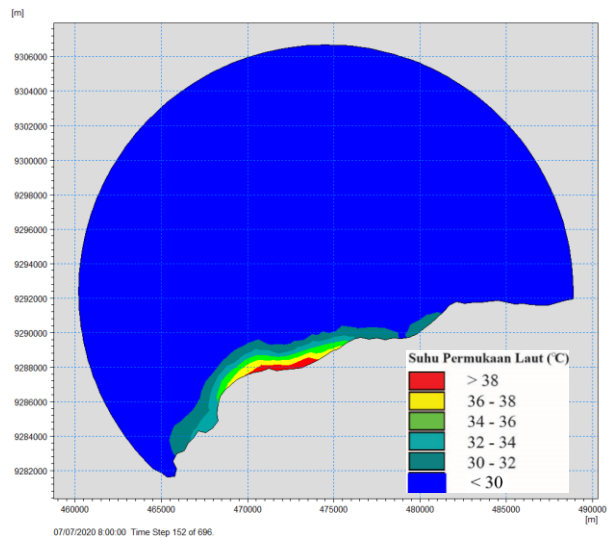
Gambar 3. Pola Sebaran Suhu Musim Timur Kondisi Pasang Tertinggi



Gambar 4. Pola Sebaran Suhu Musim Timur Kondisi Pasang Menuju Surut



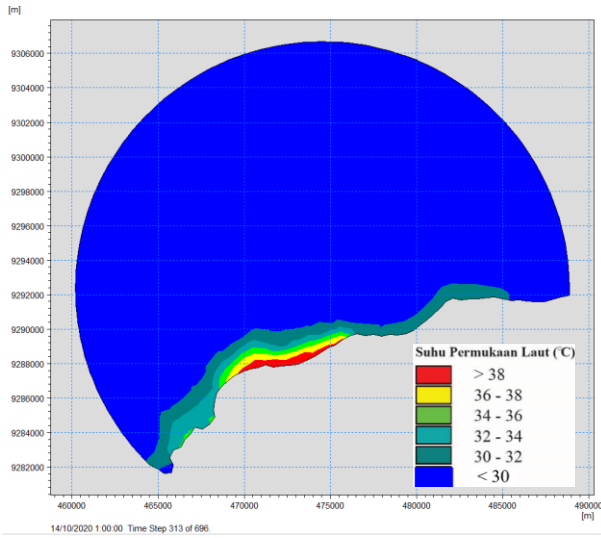
Gambar 5. Pola Sebaran Suhu Musim Timur Kondisi Surut Terendah



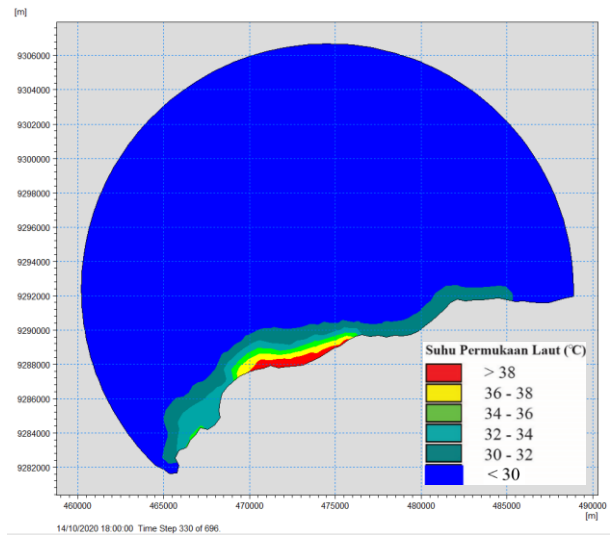
Gambar 6. Pola Sebaran Suhu Musim Timur Kondisi Surut Menuju Pasang

Musim Peralihan 2

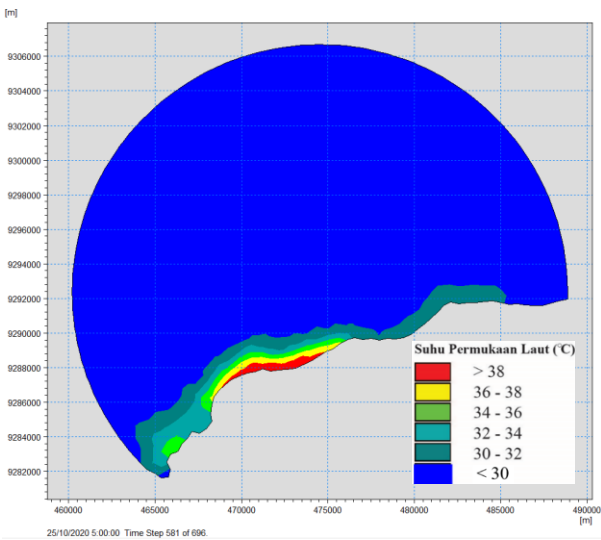
Pada musim peralihan 2, pola sebaran suhu bergerak dari timur saat pasang tertinggi menuju ke arah barat saat surut terendah. Dimana pada saat kondisi surut terendah ini dapat dilihat sebaran suhu yang cukup luas. Suhu tertinggi berada di dekat outlet PLTU lebih dari 38 °C. Saat bergerak menuju barat, sebaran suhu terus menurun sekitar 30 – 32 °C.



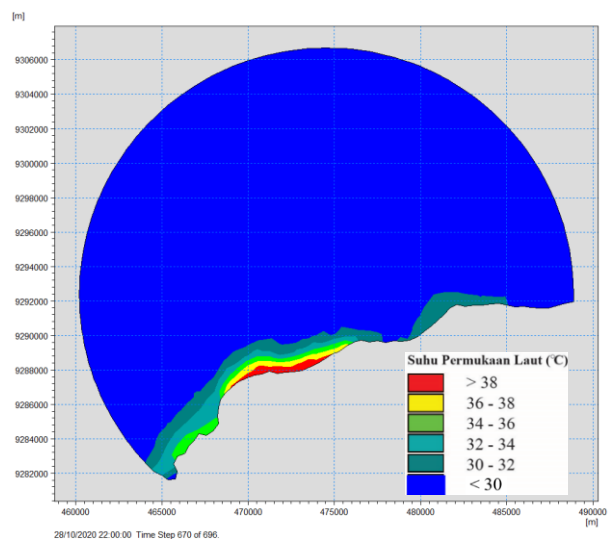
Gambar 7. Pola Sebaran Suhu Musim Peralihan 2 Kondisi Pasang Tertinggi



Gambar 8. Pola Sebaran Suhu Musim Peralihan 2 Kondisi Pasang Menuju Surut



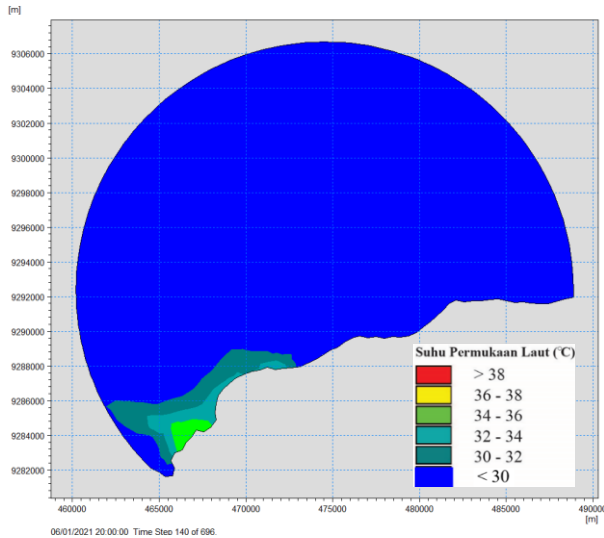
Gambar 9. Pola Sebaran Suhu Musim Peralihan 2 Kondisi Surut Terendah



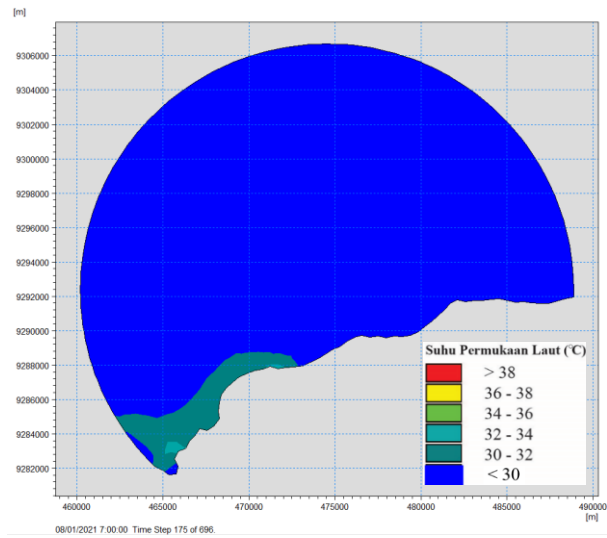
Gambar 10. Pola Sebaran Suhu Musim Peralihan 2 Kondisi Surut Menuju Pasang

Musim Barat

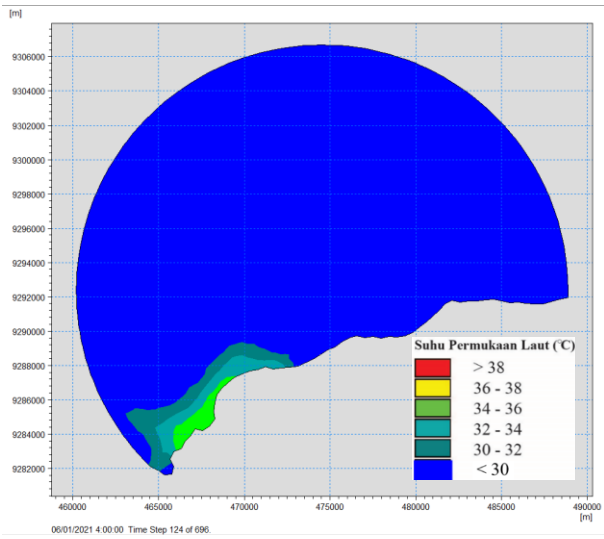
Pada musim barat pola sebaran suhu dominan bergerak ke arah barat, sesuai dengan pola arusnya. Pada kondisi elevasi surut terendah, sebaran suhu cenderung mengumpul di bagian barat daya dekat pantai Bondo yang berjarak sekitar 6,5 km dari PLTU Tanjung Jati B Jepara. Adapun suhu tertinggi yang terkumpul disekitar pantai Bondo sekitar 35 °C.



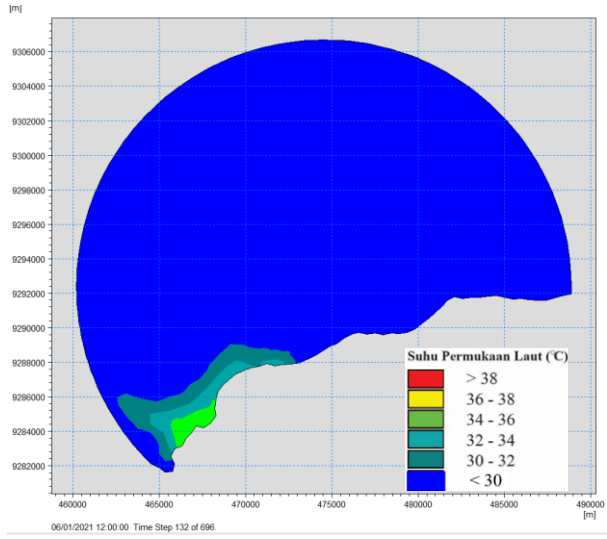
Gambar 11. Pola Sebaran Suhu Musim Barat Kondisi Pasang Tertinggi



Gambar 12. Pola Sebaran Suhu Musim Barat Kondisi Pasang Menuju Surut



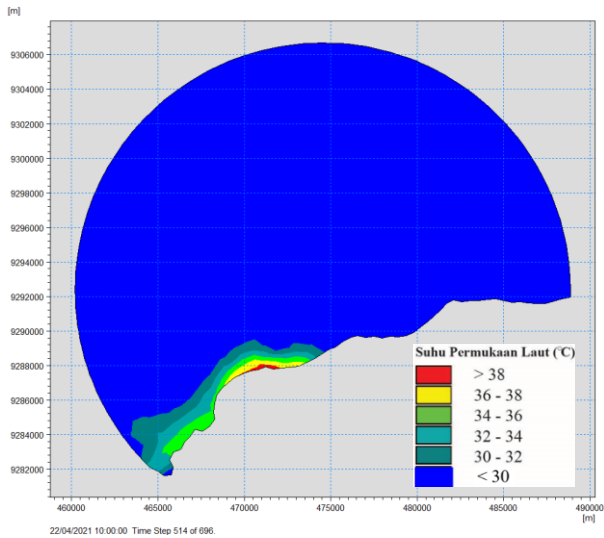
Gambar 13. Pola Sebaran Suhu Musim Barat Kondisi Surut Terendah



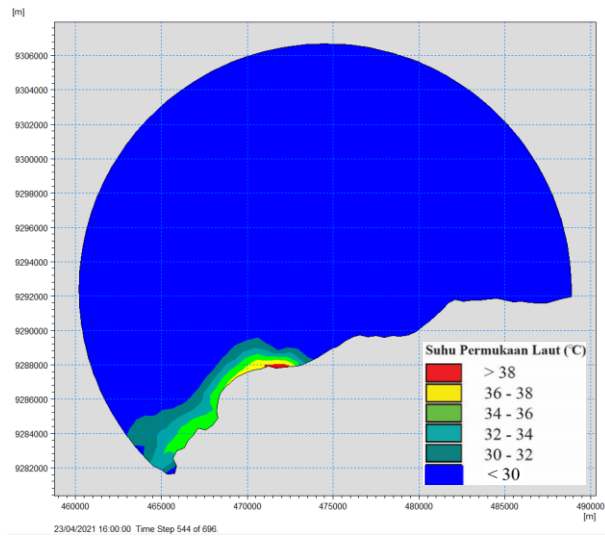
Gambar 14. Pola Sebaran Suhu Musim Barat Kondisi Surut Menuju Pasang

Musim Peralihan 1

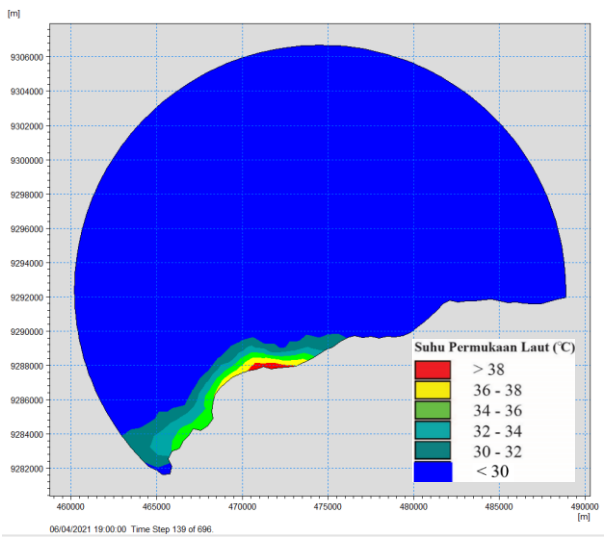
Pada musim peralihan 1, pola sebaran suhu cenderung bergerak ke arah barat. Pola sebaran suhu paling luas terjadi pada saat surut menuju pasang. Suhu tertinggi berada di dekat *outlet* PLTU sebesar $39,2^{\circ}\text{C}$. Pada kondisi pasang tertinggi dan surut terendah pola sebaran cenderung mengumpul di dekat outlet dan bergerak menyebar ke barat dengan suhu sekitar 35°C . Di semua musim menunjukkan bahwa arus pasut berpengaruh terhadap pola sebaran suhu yg terjadi.



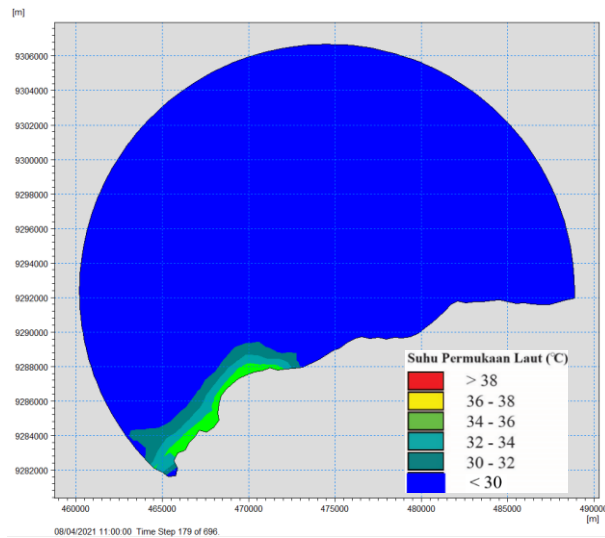
Gambar 15. Pola Sebaran Suhu Musim Peralihan 1 Kondisi Pasang Tertinggi



Gambar 16. Pola Sebaran Suhu Musim Peralihan 1 Kondisi Pasang Menuju Surut



Gambar 17. Pola Sebaran Suhu Musim Peralihan 1 Kondisi Surut Terendah



Gambar 18. Pola Sebaran Suhu Musim Peralihan 1 Kondisi Surut Menuju Pasang

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu jika kondisi *Water Treatment* atau Instalasi Pembuangan Air Limbah pada PLTU Tanjung Jati B mengalami kerusakan, maka berdasarkan analisis simulasi pola sebaran panas terjadi kenaikan suhu permukaan laut sebesar 2 derajat mencapai 38 derajat disekitar *outlet* PLTU Tanjung Jati B. Pola sebaran suhu pada musim timur dominan bergerak ke arah timur dengan sebaran panas yang lebih lambat saat kondisi surut terendah dan relatif cepat saat kondisi pasang tertinggi. Pada musim peralihan 2 juga dominan ke arah timur dengan kondisi yang mirip ketika kondisi pasang tertinggi dan surut terendah. Pada saat musim barat, pola sebaran suhu yang tersebar paling cepat diantara musim yang lain dengan arah dominan bergerak ke arah barat. Pada saat musim peralihan 1, pola sebaran suhu tersebar lebih pelan diantara musim yang lain dengan arah dominan bergerak menuju barat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, H., Jamaluddin, J., Arif, M., dan Amiruddin, A. 2019. Analisa Pembangkit Tenaga Listrik Dengan Tenaga Uap Di PLTU. *ILTEK J. Teknol.*, 14(01):2024–2028.
- Adibhusana, M. N., Hendrawan, I. G., dan Karang, I. W. G. A. 2016. Model Hidrodinamika Pasang Surut Di Perairan Pesisir Barat Kabupaten Badung, Bali. *J. Mar. Aquat. Sci.*, 2(2):54.
- Angga, Rochaddi, B., dan B. Satriadi, A. 2015. Analisa Sebaran Suhu Permukaan Laut Akibat Air Bahang PLTU Tanjung Jati B di Perairan Jepara. *Journal of Oceanography*, 4(2): 393-399
- D. N. Moriasi, Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. dan Veith, T. L. 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Trans. ASABE*, 50(3):885–900.
- Hutomo, F. S., Ismanto, A., Setiyono, H., dan Maslukah, L. 2021. Model Sebaran Limbah Bahang Di PLTU Tanjung Jati B Jepara. *Indonesia Journal of Oceanography*, 3(1):1-13
- Ismanto, A., Widada, S., dan Susiati, H. 2008. Kajian Dispersi Termal Dalam Rencana Pembangunan PLTN Muria : Sebuah Analisis. *J. Geoplrika*, 3(3):143–150.
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut. 2004. Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 51 Tahun 2004 Tentang Baku Mutu Air Laut. Lembaran Negara Republik Indones.(51):10.
- Prasetya, A., Yudianto, D., dan Guan, Y. 2017. Pemodelan Numerik 1-D Adveksi-Dispersi Untuk Memprediksi Konstrentasi Polutan Dalam Badan Sungai. *J. Teknik Sipil*, 14(3):188–194.
- Pintubatu, K., Widada, S., Marwoto, J., dan Satriadi, A. 2020. Studi Pola Sebaran Suhu Permukaan Laut Akibat Air Bahang Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Paiton Probolinggo Jawa Timur. *Indonesia Journal of Oceanography*, 2(2):42
- Sukmawanty R. O., Kunarso., Maslukah, L., dan Ismanto, A. 2022. Simulasi Pemodelan Sebaran Suhu Akibat Limbah Air Panas Power Plant PT. Amman Mineral Nusa Tenggara Teluk Benete, Sumbawa Barat. *Jurnal Kelautan*. 15(2):179-188
- Syafutra, N., Ismanto, A., dan Wuldanari, S. Y. 2014. Studi Pola Sebaran Panas Dengan Pendekatan Aplikasi Model Hidrodinamika Di Perairan Dumai Pada Musim Barat. *Journal of Oceanography*, 3:698–704.
- Wibowo, Tri, N., Sugianto, D. N., dan Indrayanti, E. 2012. Studi Model Persebaran Panas Pada Perairan Dalam Rencana Pembangunan Pltu Karanggeneng Roban, Batang. *J. Oceanography.*, 1:102–110.