PEMODELAN SEBARAN PANAS LIMBAH AIR KANAL PENDINGIN PT.PJB UP MUARA KARANG PASCA DAN MASTERPLAN REKLAMASI SERTA ANALISIS HUBUNGANNYA TERHADAP KELIMPAHAN FITOPLANKTON

SKRIPSI

OLEH :

ALFATH ISLAMI

H94214024

PROGRAM STUDI ILMU KELAUTAN

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA

2018

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertandatangan dibawah ini:

Nama	: Alfath Islami
NIM	: H94214024
Program Studi	: Ilmu Kelautan
Angkatan	: 2014

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul: Pemodelan Sebaran Panas Limbah Air Kanal Pendingin PT.PJB UP Muara Karang Pasca dan Masterplan Reklamasi serta Analisis Hubungannya terhadap Kelimpahan Fitoplankton. Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiat, maka saya akan menerima sanksi yang telah ditetapkan. Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 10 Juli 2018

Yang membuat pernyataan

Alfath Islami
NIM. H94214024

PERSETUJUAN PEMBIMBING SKRIPSI

Skripsi oleh :

Nama : Alfath Islami

NIM : H94214024

Judul : Pemodelan Sebaran Panas Limbah Air Kanal Pendingin PT.PJB UP Muara Karang Pasca dan Masterplan Reklamasi serta Analisis Hubungannya terhadap Kelimpahan Fitoplankton.

Ini telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Surabaya, 10 Juli 2018

Pembimbing I

Mauludiyah, M. T.
NUP. 201409003

Pembimbing II

Dr. Rudhy Akhwady, M. T.
NIP.197210062003121003

PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI

Skripsi oleh Alfath Islami ini telah dipertahankan

Didepan tim Penguji Skripsi

Surabaya, 13 Juli 2018

Mengesahkan Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya

Susunan Dewan Penguji

Penguji I

Mauludiyah, M. T.
NUP. 201409003

Penguji II

Dr. Rudhy Akhwady, M. T.
NIP.197210062003121003

Penguji III

Rizqi Abdi Perdanawati, M.T.
NIP. 198809262014032002

Penguji IV

Misbakhul Munir, M.Kes.
NIP.198107252014031002

Mengesahkan
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Ampel Surabaya

Dr. Eni Purwati, M. Ag
NIP.196512211990022001

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN
Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : ALFATH ISLAMI
NIM : H94214024
Fakultas/Jurusan : SAINS DAN TEKNOLOGI/ILMU KELAUTAN
E-mail address : alfathislami@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :
☑ Sekripsi ☐ Tesis ☐ Desertasi ☐ Lain-lain (.....)
yang berjudul :

PEMODELAN SEBARAN PANAS LIMBAH AIR KANAL PENDINGIN PT.PJB UP MUARA KARANG PASCA DAN MASTERPLAN REKLAMASI SERTA ANALISIS HUBUNGANNYA TERHADAP KELIMPAHAN FITOPLANKTON

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Ekslusif ini Perpustakaan, UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara ***fulltext*** untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 7 Juli 2018

Penulis

(ALFATH ISLAMI)
nama terang dan tanda tangan

ABSTRAK

Masuknya limbah panas air kanal pendingin PLTU ataupun PLTGU ke laut, berpotensi mengganggu keberlangsungan ekosistem pesisir dan laut. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pola arus dan sebaran panas limbah air kanal pendingin di perairan pesisir Muara Karang pada kondisi pasca dan masterplan reklamasi. Selain itu dilakukan juga analisa korelasi suhu perairan terhadap kelimpahan fitoplankton guna mengetahui ada tidaknya pengaruh sebaran limbah panas terhadap kehidupan biota laut di perairan pesisir Muara Karang. Metode yang digunakan adalah pemodelan menggunakan modul hidrodinamika dan dispersi termal pada software MIKE 21. Selanjutnya untuk mengetahui korelasi suhu perairan terhadap kelimpahan fitoplankton digunakan uji korelasi spearman. Data yang digunakan untuk pemodelan yaitu batimetri, pasang surut, curah hujan, debit sungai dan limbah, angin, arus, dan suhu perairan. Hasil model kecepatan arus rata – rata berkisar 0,001 – 0,3 m/s. Model arus yang dihasilkan cukup baik dengan nilai persen error relatif <15%. Kondisi masterplan reklamasi mengakibatkan perubahan sebaran panas perairan baik pada musim timur dan musim barat. Pada titik T1, T4, T5, T6, T8, T9, dan T11 terjadi penurunan, sedangkan titik T2, T7, T10, T12, T13, T14, dan T15 mengalami peningkatan suhu. Model sebaran panas yang dihasilkan cukup baik dengan nilai persen error relatif < 15%. Perubahan sebaran panas dipengaruhi oleh perubahan pola arus. Pada musim barat suhu berkorelasi negatif terhadap kelimpahan fitoplankton dengan status lemah. Pada musim timur suhu berkorelasi positif terhadap kelimpahan fitoplankton dengan kategori sedang. Nilai signifikansi pada musim timur dan musim barat > 0,05. Hal ini menunjukan bahwa tingkat kepercayaan analisa korelasi yang didapatkan rendah (< 95%). Dengan demikian tidak terdapat hubungan nyata antara sebaran panas terhadap kelimpahan fitoplankton.

Kata Kunci : Pembangkit Listrik, Sebaran Panas, Pemodelan, Fitoplankton.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

ABSTRACT

The entry of hot water waste of cooling channels of PLTU or PLTGU to the sea, potentially disrupt the sustainability of coastal and marine ecosystems. The purpose of this research is to know the current pattern and the distribution of the waste water heat of the cooling channel in coastal waters of Muara Karang on post condition and reclamation masterplan. In addition, also conducted a correlation analysis of the temperature of waters over the abundance of phytoplankton to determine whether or not the influence of the distribution of waste heat on the life of marine life in coastal waters of Muara Karang. The method used is modeling using hydrodynamic module and thermal dispersion in software MIKE 21. Furthermore to know the correlation of water temperature to abundance of phytoplankton used spearman correlation test. The data used for modeling are bathymetry, tidal, rainfall, river and waste discharge, wind, currents, and water temperature. The results of the average current velocity model range from 0.001 to 0.3 m / s. The resulting current model is good enough with a percent value of relative error <15%. The condition of the reclamation masterplan resulted in changes in the heat distribution of the waters both in the east and west seasons. At point T1, T4, T5, T6, T8, T9, and T11 there is a decrease, whereas points T2, T7, T10, T12, T13, T14, and T15 have increased temperature. The heat distribution model produced is quite good with a relative percent error value <15%. The changes in heat distribution are influenced by changes in the current pattern. In the west season the temperature is negatively correlated with the abundance of phytoplankton with weak status. In the east season the temperature is positively correlated to the abundance of phytoplankton in the medium category. Value of significance in east and west monsoons> 0.05. This shows that the level of confidence in the correlation analysis obtained is low (<95%). Thus there is no real relationship between the distribution of heat to the abundance of phytoplankton.

Keywords : Power Plants, Thermal Dispersion, Modeling, Phytoplankton.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
PERSETUJUAN PEMBIMBING SKRIPSI ii
PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI iii
PERNYATAAN KEASLIAN iv
UCAPAN TERIMAKASIH v
ABSTRAK vi
KATA PENGANTAR viii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR LAMPIRAN xv
1. PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Masalah 4
2. TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Termal 5
2.2 Suhu 8
2.3 Plankton dan Peranannya pada Ekosistem Perairan 10
2.4 Pengaruh Suhu Perairan terhadap Fitoplankton 11
2.5 Pasang Surut 11
2.6 Arus Laut 14
2.7 Pola Angin di Indonesia 16
2.8 Penelitian Terdahulu 16
2.9 Pemodelan Sebaran Panas menggunakan *Software* MIKE 21 19
2.9.1 Modul Hidrodinamika (Flow Model FM) 19
2.9.2 Modul Dispersi Termal (Sebaran Panas) 21
3. METODOLOGI PENELITIAN 23
3.1 Waktu dan Tempat 23
3.2 Alat dan Bahan 25

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

3.3 Tahapan Penelitian 25
3.3.1 Studi Literatur 26
3.3.2 Pengumpulan Data 27
3.3.3 Pemodelan 27
3.3.4 Analisa Pola Arus dan Sebaran Panas 29
3.3.5 Analisa Korelasi Suhu Perairan terhadap Kelimpahan Fitoplankton 29
3.4 Parameter Pemodelan 30
3.4.1 Parameter Model Hidrodinamika 30
3.4.2 Parameter Model Dispersi Termal (Sebaran Panas) 33
4. HASIL DAN PEMBAHASAN 35
4.1 Distribusi Angin pada Musim Barat dan Timur 35
4.2 Nilai Elevasi Penting Pasang Surut di Perairan Pesisir Muara Karang 38
4.3 Verifikasi Data Prediksi Pasang Surut MIKE 21 dengan Data Pengukuran Lapangan 39
4.4 Pola Arus di Perairan Pesisir Muara Karang ditinjau pada Musim Timur dan Musim Barat 40
4.4.1 Pola Arus Musim Barat 40
4.4.2 Pola Arus Musim Timur 44
4.4.3 Verifikasi Hasil Model Pola Arus di Perairan Pesisir Muara Karang 49
4.5 Pola Sebaran Panas Limbah Air Kanal Pendingin PT PJB UP Muara Karang 50
4.5.1 Pola Sebaran Panas Limbah Air Kanal Pendingin pada Musim Barat dan Musim Timur 50
4.5.2 Verifikasi Model Sebaran Panas pada Titik Pengamatan 59
4.6 Analisa Korelasi Sebaran panas Perairan terhadap Kelimpahan Fitoplankton 60
5. PENUTUP 65
5.1. Kesimpulan 65
5.2. Saran 66
DAFTAR PUSTAKA 67
LAMPIRAN 71

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Limbah energi panas dari air kanal pendingin akibat aktivitas pembangkit listrik tenaga termal baik PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) ataupun PLTGU (Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap) merupakan suatu masalah yang penting untuk diperhatikan. Masuknya limbah panas dari kanal pendingin ke badan air laut berpotensi mengganggu keberlangsungan ekosistem pesisir dan laut apabila terjadi kenaikan suhu ambient laut melebihi ambang batas kemampuan hidup suatu biota laut. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 08 tahun 2009 tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan pembangkit listrik tenaga termal menyebutkan bahwa kadar maksimum suhu buangan dari sumber pendingin adalah 40° C. Sedangkan pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut disebutkan baku mutu air laut untuk ekosistem karang 28 – 30 ^{o}C, mangrove 28 – 32 ^{o}C, lamun 28 – 30 ^{o}C.

Air laut yang telah digunakan sebagai pendingin pada aktivitas pembangkit listrik, dibuang kembali ke laut melalui kanal pendingin untuk menurunkan suhunya sebelum mencapai laut. Meskipun begitu air yang telah melalui kanal pendingin tersebut tetap memiliki suhu lebih tinggi dari suhu ambient laut. Proses fisis yang dominan terhadap penyebaran limbah panas pada badan air laut ialah berupa adveksi dan difusi (Cahyani, 2011). Adveksi adalah proses perpindahan panas sebagai akibat dari adanya aliran. Difusi adalah proses perpindahan panas berupa rambatan dari air dengan suhu tinggi ke air dengan suhu yang lebih rendah. Pola sebaran panas limbah air kanal pendingin dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya volume dan debit air limbah, suhu air limbah, kondisi batimetri, suhu ambien air laut dan pola

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

sirkulasi arus laut di sekitar lokasi keluarnya air limbah ke badan air laut (Cahyani, 2011).

PT. PJB UP Muara Karang sebagai perusahaan yang bergerak di bidang pembangkit listrik sedang melakukan pengembangan pembangkit listrik dengan kapasitas 500 MW sejak tahun 2016. Dengan adanya pengembangan pembangkit listrik tersebut maka akan berpengaruh terhadap kebutuhan air pendingin yang pada akhirnya akan menjadi limbah energi panas ke badan air laut melalui kanal pendingin. Untuk itu perlu dilakukan kajian terkait pola sebaran panas limbah air kanal pendingin pada badan air laut, sehingga nantinya dapat digunakan untuk menganalisa zona lingkungan pesisir dan laut terdampak.

Plankton merupakan salah satu biota yang dimungkinkan terkena dampak langsung dari sebaran panas limbah air kanal pendingin. Menurut Effendi (2000) suhu optimum untuk pertumbuhan plankton berkisar antara 20 ^{o}C sampai 30 ^{o}C. Nybaken (1992) menyatakan batas toleransi suhu perairan untuk kehidupan fitoplankton adalah 35°C. Sebagai salah satu biota yang berperan penting dalam produktivitas primer di laut, keberadaan plankton sangat penting bagi kesuburan perairan dan kelestarian ekosistem pesisir dan laut. Berdasarkan pada hal tersebut, pada penelitian ini dilakukan kajian terkait pengaruh sebaran limbah panas terhadap kelimpahan plankton di wilayah PT. PJB UP Muara Karang untuk mengetahui dampak limbah panas air kanal pendingin terhadap kualitas lingkungan perairan pesisir di sekitar Muara Karang.

Penggunaan metode pemodelan dalam mengkaji pola sebaran panas pada badan air laut dikarenakan waktu dan biaya yang diperlukan lebih singkat dan murah. Pada metode pemodelan, data lapangan yang diperlukan jauh lebih sedikit. Dalam hal ini dipilih beberapa titik pengukuran arus dan suhu, kemudian data pengukuran lapangan tersebut nantinya digunakan untuk melakukan verifikasi hasil model

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

sehingga diketahui tingkat kesesuaian hasil model dengan kondisi di lapangan. Dengan dilakukannya pemodelan pola sebaran panas limbah air kanal pendingin pada perairan pesisir Muara Karang akan diketahui zona perairan perairan laut terpapar. Dengan diketahuinya zona perairan terpapar maka dapat dilakukan kajian dampak limbah panas air kanal pendingin terhadap kualitas lingkungan perairan pesisir. Pada penelitian ini digunakan data kelimpahan fitoplankton pada wilayah perairan pesisir Muara Karang sebagai indikator dampak sebaran panas di perairan pesisir Muara Karang.

Sebaran panas limbah air kanal pendingin ke perairan laut merupakan salah satu ancaman kerusakan ekosistem laut. Untuk itu diperlukan pengelolaan yang baik sehingga dapat meminimalisir kemungkinan terjadinya kerusakan ekosistem laut. Hal ini telah diterangkan Allah SWT dalam firmanNya kepada manusia untuk tidak membuat kerusakan di muka bumi dalam mencari kenikmatan dunia, sebagaimana tertuang dalam surah al-Qasas ayat 77 sebagai berikut :

وَٱبۡتَغِ فِيمَآ ءَاتَىٰكَ ٱللَّهُ ٱلدَّارَ ٱلۡأٓخِرَةَۖ وَلَا تَنسَ نَصِيبَكَ مِنَ ٱلدُّنۡيَاۖ وَأَحۡسِن كَمَآ أَحۡسَنَ ٱللَّهُ إِلَيۡكَۖ وَلَا تَبۡغِ ٱلۡفَسَادَ فِي ٱلۡأَرۡضِۖ إِنَّ ٱللَّهَ لَا يُحِبُّ ٱلۡمُفۡسِدِينَ

Artinya :

"Dan carilah pada apa yang telah dianugerahkan Allah kepadamu (kebahagiaan) negeri akhirat, dan janganlah kamu melupakan bahagianmu dari (kenikmatan) duniawi dan berbuat baiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah telah berbuat baik, kepadamu, dan janganlah kamu berbuat kerusakan di muka bumi. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berbuat kerusakan" (QS. Al Qasas : 77)

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pola arus pasca dan masterplan reklamasi di perairan pesisir Muara Karang ditinjau pada musim timur dan musim barat ?

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

2. Bagaimana model sebaran panas limbah air kanal pendingin PT. PJB UP Muara Karang di perairan pesisir Muara Karang pada kondisi pasca dan masterplan reklamasi ditinjau pada musim timur dan musim barat ?
3. Bagaimana korelasi suhu perairan terhadap kelimpahan fitoplankton di perairan pesisir Muara Karang ?

1.3 Tujuan

1. Mengetahui pola arus pasca dan masterplan reklamasi di perairan pesisir Muara Karang ditinjau pada musim timur dan musim barat.
2. Mengetahui model sebaran panas limbah air kanal pendingin PT. PJB UP Muara Karang di perairan pesisir Muara Karang pada kondisi pasca dan masterplan reklamasi ditinjau pada musim timur dan musim barat.
3. Mengetahui korelasi suhu perairan terhadap kelimpahan fitoplankton di perairan pesisir Muara Karang.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Bagi masyarakat, penelitian ini bermanfaat untuk memberikan informasi akan potensi zona perairan terdampak limbah panas di wilayah Muara Karang, Jakarta Utara.
2. Bagi Instansi, penelitian ini bermanfaat untuk memberikan informasi pola sebaran panas di perairan laut, sehingga dapat digunakan sebagai bahan kajian kesesuaian *intake* air kanal pendingin.

1.5 Batasan Masalah

1. Wilayah perairan yang dikaji pada penelitian ini terbatas pada wilayah perairan di sekitar Muara Karang.
2. Pemodelan sebaran panas pada badan air laut dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MIKE 21.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

2. TINJAUAN PUSTAKA

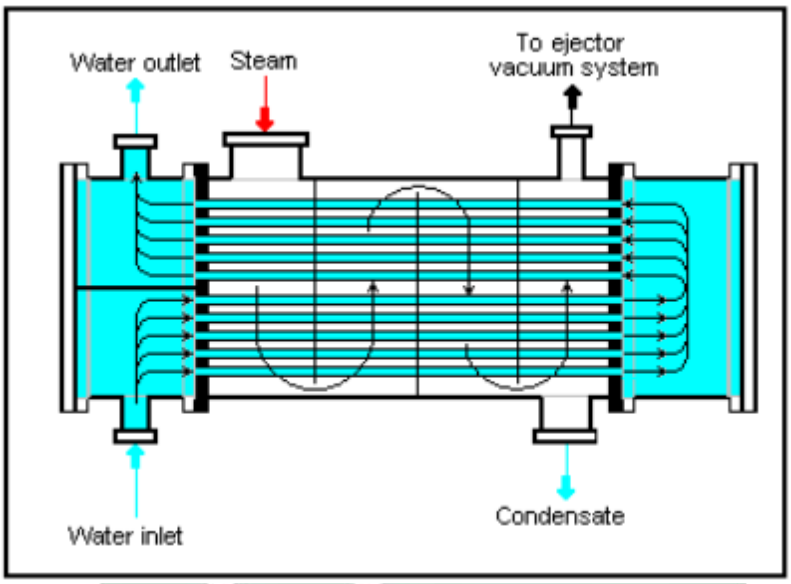
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Termal

Pembangkit listrik tenaga panas secara umum menggunakan tekanan uap untuk menggerakan turbin generator. Tekanan uap tersebut adalah hasil dari pemanasan air pada *boiler*. Selanjutnya hasil penggunaan uap air dimasukan kedalam kondensor untuk proses kondensasi menjadi air kembali yang selanjutnya dipompa masuk kembali ke dalam *boiler*. Proses kondensasi dilakukan dengan mengalirkan air pendingin melalui pipa – pipa pada kondensor. Penggunaan bahan bakar untuk proses pemanasan air diantaranya adalah minyak, gas dan batu bara. Salah satu perusahaan pembangkit listrik yang menggunakan tenaga gas dan uap sebagai pembangkit adalah PT PJB UP Muara Karang.

Unit eksisting PLTU dan PLTGU PT. PJB UP Muara Karang memiliki total kapasitas 1605 MW yang terdiri dari PLTU-4 (1 x 200 MW), PLTU-5 (1 x 200 MW), PLTGU Blok I gas turbine 3 x 105 MW dengan HRSG 1 x 180 MW, kemudian PLTGU Blok II gas turbine (2 x 250 MW) dengan HRSG (3 x 70 MW) (PT.PLN, 2016). Unit pembangkit tenaga gas dan uap memerlukan air pendingin untuk proses pendinginan, yang mana air pendingin tersebut dialirkan ke kondensor.

Proses pendinginan kondensor dengan desain kondensor secara umum akan menghasilkan peningkatan suhu air pendingin kurang lebih 6 – 16 ^{o}C (Majewski *et al*, 1979). Sebagai upaya meminimalisir peningkatan suhu air pendingin sehingga suhunya tidak terlalu tinggi, maka diperlukan air pendingin dengan jumlah yang besar. Skema kerja kondensor secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.1.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



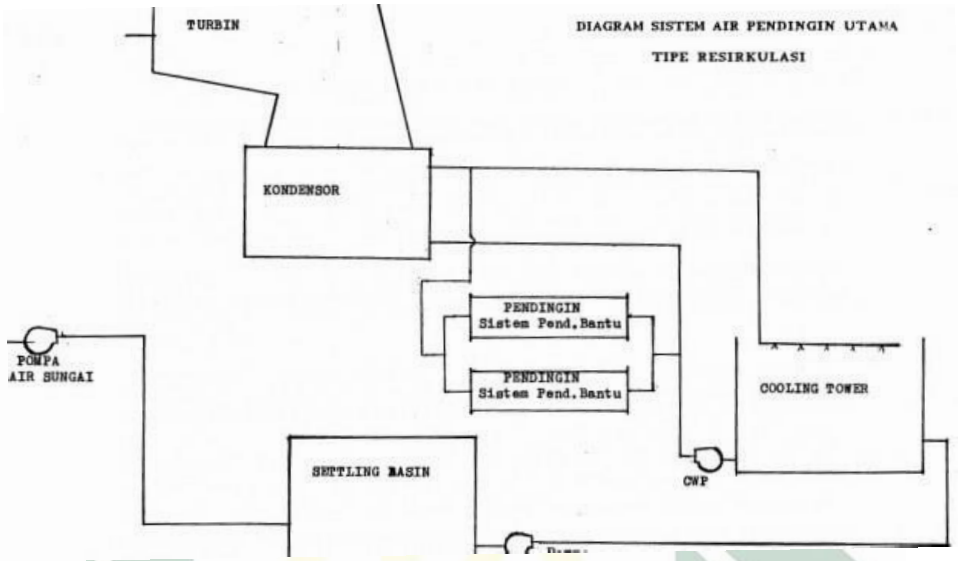
Gambar 2.1. Skema kerja kondensor
(Cahyani, 2011)

Air yang sudah digunakan sebagai pendingin kondensor tentu memiliki suhu yang lebih tinggi dari suhu normalnya. Pemerintah Republik Indonesia telah mengatur pembuangan air limbah panas dari kondensor ini melalui Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 08 Tahun 2009 tentang baku mutu air limbah bagi usaha dan atau kegiatan pembangkit listrik tenaga termal. Dalam peraturan tersebut ditetapkan bahwa suhu maksimum air bahang (panas) dari sumber pendingin yang diijinkan untuk dibuang ke sungai atau ke laut adalah 40°C.

Secara umum terdapat dua jenis sistem pendingin untuk air pendingin pembangkit listrik tenaga uap, yaitu sistem air pendingin siklus terbuka dan sistem air pendingin siklus tertutup. Pada sistem air pendingin siklus tertutup sebagaimana ditampilakan pada Gambar 2.2, sirkulasi air pendingin dimulai dari bak penampung menara pendingin (cooling tower) yang selanjutnya dipompakan ke kondensor oleh pompa air pendingin utama untuk mengkondensasikan uap dengan cara menyerap panas laten dari uap tersebut. Akibat proses kondensasi tersebut, suhu air pendingin yang keluar dari kondensor akan

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

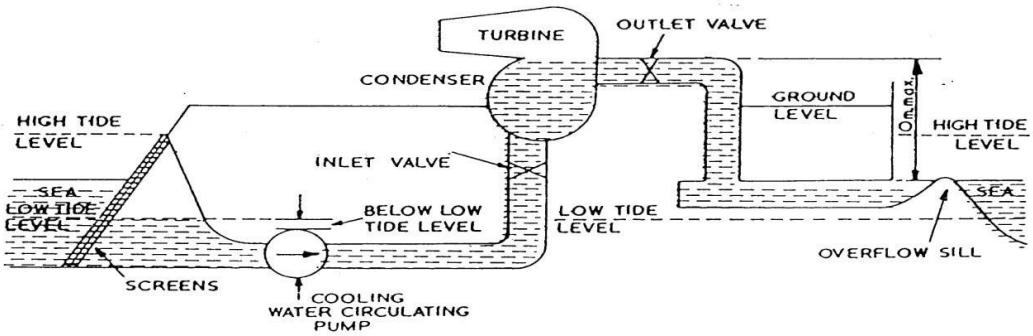
mengalami kenaikkan. Selanjutnya air panas yang keluar dari kondensor tersebut didinginkan pada menara pendingin dengan menggunakan udara sehingga suhunya kembali turun, dengan demikian air pendingin siap disirkulasikan kembali ke kondensor.



Gambar 2.2. Sistem air pendingin siklus tertutup
(Rakhman, 2013)

Pada sistem air pendingin siklus terbuka, sebagaimana digunakan oleh unit pembangkit PT. PJB UP Muara Karang, air pendingin dipasok secara kontinyu dari sumber tak terbatas, dalam hal ini adalah laut. Air dari laut dipompakan ke kondensor untuk akhirnya dibuang kembali keasalnya. Dengan menggunakan pompa, air dari sumber dipompa dialirkan ke kondensor dan *heat exchanger* kemudian dibuang ke saluran pembuangan. Letak saluran masukan (*Inlet*) dan saluran pembuangan (*Outlet*) air pendingin dibuat terpisah sejauh mungkin dengan tujuan untuk mencegah terjadinya resirkulasi air dari saluran pembuangan (*Outlet*) mengalir ke saluran masukan (*Inlet*). Resirkulasi akan menyebabkan penurunan efisiensi kondensor karena suhu air menjadi tinggi. Sistem air pendingin siklus terbuka ditunjukkan pada Gambar 2.3.

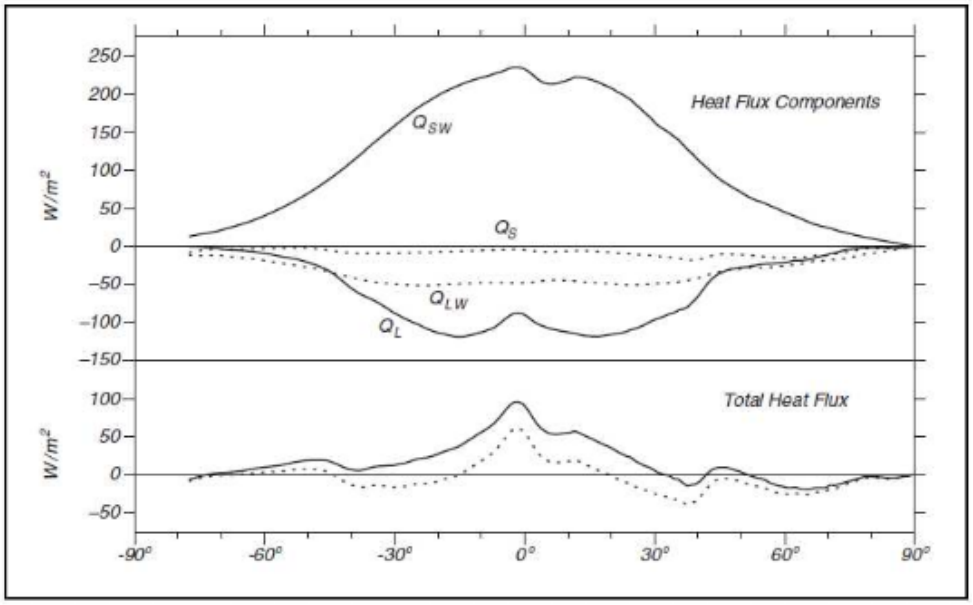
digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 2.3. Sistem air pendingin siklus terbuka
(Rakhman, 2013)

2.2 Suhu

Suhu merupakan karakteristik fisik air laut yang sangat penting, karena dapat digunakan untuk mengidentifikasi badan air laut secara umum. Suhu, salinitas dan tekanan akan mempengaruhi nilai kerapatan air laut. Penyebaran suhu di permukaan laut antara lain dipengaruhi oleh fluks panas, penguapan, curah hujan, debit aliran sungai yang masuk ke laut serta pembekuan dan pencairan es di laut (Purba, 2004). Fluks panas terdiri dari beberapa komponen, yaitu *insolation* (incoming solar radiation) Q_{SW}, radiasi infra merah Q_{LW}, fluks panas sensible Q_S dan fluks panas laten Q_L. Besarnya komponen-komponen fluks panas ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Komponen fluks panas (Stewart, 2006).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Sebaran panas pada permukaan laut cenderung bersifat zonal, yaitu tidak bergantung pada posisi garis bujur (Gambar 2.4). Perbedaan suhu terutama disebabkan oleh kenaikan panas di lapisan permukaan di daerah equator dan pengurangan panas di daerah kutub. Air paling hangat berada di sekitar equator dan air paling dingin berada di sekitar kutub. Pada daerah antara equator sampai dengan garis lintang 40^0, air yang lebih dingin cenderung berada di bagian timur. Pada daerah yang terletak di bagian utara dari garis lintang 40^0, air yang lebih dingin cenderung berada di bagian barat. Suhu permukaan laut memiliki anomali, deviasi suhu dalam jangka panjang sangat kecil, kurang dari 1.5 ^{0}C kecuali di samudera Pasifik di sekitar ekuator deviasi bisa mencapai 3 ^{0}C (Stewart, 2006).

Profil suhu terhadap kedalaman menunjukkan tiga zona yang berbeda di bawah permukaan air (0-5 m), yaitu zona atas (upper zone), termoklin (thermocline) dan zona dalam (deep zone) (Kennish, 2001). Zona atas pada kedalaman 5 sampai 200 meter merupakan lapisan dimana terjadi pencampuran yang baik, yang dicirikan dengan kondisi yang hampir isothermal dan dapat dipengaruhi oleh angin permukaan.Perubahan suhu musiman tidak berpengaruh pada lapisan ini. Pada kedalaman antara 200 dan 1000 meter, suhu air naik dengan cepat. Lapisan ini disebut termoklin.

Pada bagian bumi dengan posisi garis lintang rendah sampai pertengahan, termoklin merupakan perilaku hidrografi yang permanen, sedangkan pada posisi garis lintang tinggi kondisi termoklin terbentuk secara musiman. Termoklin musiman sering terjadi pada kedalaman 50 sampai 100 meter pada air laut di posisi garis lintang pertengahan. Suhu dengan stabilitas rendah (rata-rata 4^oC) ditemukan di bawah termoklin permanen. Profil suhu pada posisi lintang yang rendah menunjukkan penurunan yang tajam, dari 20^oC pada lapisan permukaan, menjadi 2 sampai 5^oC pada zona dalam. Pada garis lintang pertengahan suhu turun dari 10^oC sampai 15^oC dipermukaan menjadi 5^oC pada lapisan air yang

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

lebih dalam. Pada posisi garis lintang tinggi (daerah kutub), suhu selalu rendah (4°C) pada seluruh kolom air.

2.3 Plankton dan Peranannya pada Ekosistem Perairan

Plankton didefinisikan sebagai semua jasad hidup nabati (tumbuhan) dan hewani (hewan) yang hidup bebas di perairan dengan kemampuan gerak terbatas, sehingga sebagian besar gerankannya secara pasif mengikuti pergerakan arus air (Newell & Newell, 1977). Pada batasan biologi plankton dikelompokan menjadi *fitoplankton* dan *zooplankton* (Asriyana dan Yuliana, 2012). Pada ekosistem perairan plankton memiliki peranan yang sangat penting sebagai dasar kehidupan yang mana proses kehidupan berlansung melalui struktur jaringan makanan. Pada jaringan makanan ekosistem perairan fitoplankton berperan sebagai produsen primer, kemudian dimakan oleh *zooplankton* dan ikan herbivora*,* selanjutnya konsumen tingkat II adalah ikan karnivora ukuran sedang dan terakhir adalah Paus, Hiu atau predator lainnnya.

Sebagai produsen primer, *fitoplankton* berperan sebagai penghasil oksigen dan bahan makanan bagi organisme peraira lain (Asriyana dan Yuliana, 2012). Terdapat lima kelompok besar *fitoplankton* pada ekosistem perairan, yaitu *Cyanophyta (*alga biru), *Chlorophyta* (alga hijau), *Chrysophyta* (alga kuning), *Pyrophyta* dan *Euglenophyta*. Produktivitas fitoplankton dipengaruhi oleh faktor – faktor lingkungan dan apabila faktor lingkungan tidak mendukung dapat menyebabkan jumlah individu atau kelimpahannya menurun. *Fitoplankton* menghuni seluruh kolom perairan yang mendapat sinar (zona eufotik), dengan demikian produksi primer perairan umumnya didominasi oleh *fitoplankton.* Diduga *fitoplankton* menghasilkan 98% dari total produksi di perairan.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

2.4 Pengaruh Suhu Perairan terhadap Fitoplankton

Suhu permukaan laut dipengaruhi oleh faktor presipitasi, evaporasi, angin, intensitas cahaya matahari, dan faktor fisik yang terjadi pada kolom perairan. Suhu air merupakan salah satu faktor abiotik yang cukup berpengaruh pada pertumbuhan fitoplankton. Peningkatan suhu pada batas toleransi akan meningkatkan laju metabolisme dan aktivitas fotosintesis *fitoplankton*, hal ini dikarenakan reaksi kimia enzimatik dalam proses fotosintesis dipengaruhi secara langsung oleh suhu (Asriyana dan Yuliana, 2012).

Setiap jenis *fitoplankton* memiliki suhu yang optimum tersendiri dan sangat bergantung kepada faktor lain seperti cahaya, namun secara umum kisaran suhu yang optimum bagi pertumbuhan fitoplankton di perairan adalah 20 – 30 ^{o}C (Effendi, 2000). Beberapa faktor yang mempengaruhi produktivitas primer *fitoplankton* adalah cahaya, zat hara, suhu, derajat keasaman (pH), turbulensi dan kedalaman kritis, serta berkurangnya pemangsa (Asriyana dan Yuliana, 2012).

2.5 Pasang Surut

Pasang surut adalah fenomena naik dan turunnya muka air laut yang disebabkan oleh gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut bumi. Walaupun massa bulan jauh lebih kecil dibanding dengan massa matahari, namun dikarenakan jaraknya terhadap bumi jauh lebih dekat, maka pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada pengaruh gaya tarik matahari. Hal ini sesuai dengan hukum Newton tentang gravitasi yang dituangkan dalam persamaan berikut,

$$F = G\frac{M_1 M_2}{R^2} \qquad (2.1)$$

Dimana M_1 dan M_2 adalah massa masing-masing benda (kilogram), R adalah jarak antara kedua benda (meter) dan G adalah

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

konstanta universal ($6.6x10^{-11}$ Nm^2kg^{-2}). Pengaruh gaya tarik bulan terhadap fenomena pasang surut adalah 2,2 kali lebih besar dibandingkan dengan gaya tarik matahari (Triatmodjo, 1999). Menurut Wyrtki (1961), tipe pasang surut di Indonesia dibagi menjadi 4, yaitu :

1. Pasang surut harian tunggal (Diurnal Tide) merupakan pasut yang hanya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari.
2. Pasang surut harian ganda (Semi Diurnal Tide) merupakan pasut yang terjadi dua kali pasang dan dua kali surut yang tingginya hampir sama dalam satu hari.
3. Pasang surut campuran condong harian tunggal (Mixed Tide, Prevailing Diurnal) merupakan pasut yang tiap harinya terjadi satu kali pasang dan satu kali surut tetapi terkadang dengan dua kali pasang dan dua kali surut yang sangat berbeda dalam tinggi dan periode.
4. Pasang surut campuran condong harian ganda (Mixed Tide, Prevailing Semi Diurnal) merupakan pasut yang terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang berbeda.

Tipe pasang surut tersebut dapat ditentukan dengan menggunakan komponen harmonik pasang surut untuk mengetahui bilangan Formzhal (F) yang menunjukkan tipe pasang surut di daerah penelitian. Beberapa komponen harmonik pasang surut adalah M_2, S_2, N_2, K_2, K_1, O_1, P_1, M_4, dan MS_4 (PCTMSL, 2017).

Keterangan :

M2	:	komponen utama bulan (semi diurnal)
S2	:	komponen utama matahari (semi diurnal)
N2	:	komponen bulan akibat variasi bulanan jarak bumi bulan (semidiurnal)
K2	:	komponen matahari-bulan akibat perubahan sudut deklinasi matahari bulan (semidiurnal)
K1	:	komponen matahari-bulan (diurnal)

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

O1 : komponen utama bulan (diurnal)

P1 : komponen utama matahari (diurnal)

M4 : Komponen perairan dangkal dari komponen utama bulan

MS4 : Komponen perairan dangkal

Tipe pasang surut dapat ditentukan menggunakan rumus Formzahl sebagai berikut,

$$F = \frac{AO_1 + AK_1}{AM_2 + AS_2} \quad \text{.....(2.2)}$$

dimana:

AO_1 : Amplitudo unsur pasut tunggal utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan

AK1 : Amplitudo unsur pasut tunggal yang disebabkan oleh gaya tarik matahari

AM2 : Amplitudo unsur pasut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik bulan

AS2 : Amplitudo unsur pasut ganda utama yang disebabkan oleh gaya tarik matahari

Ketentuan :

$F \leq 0.25$: Pasut ganda

$0.25 < F \leq 1.5$: Pasut campuran dominan ganda

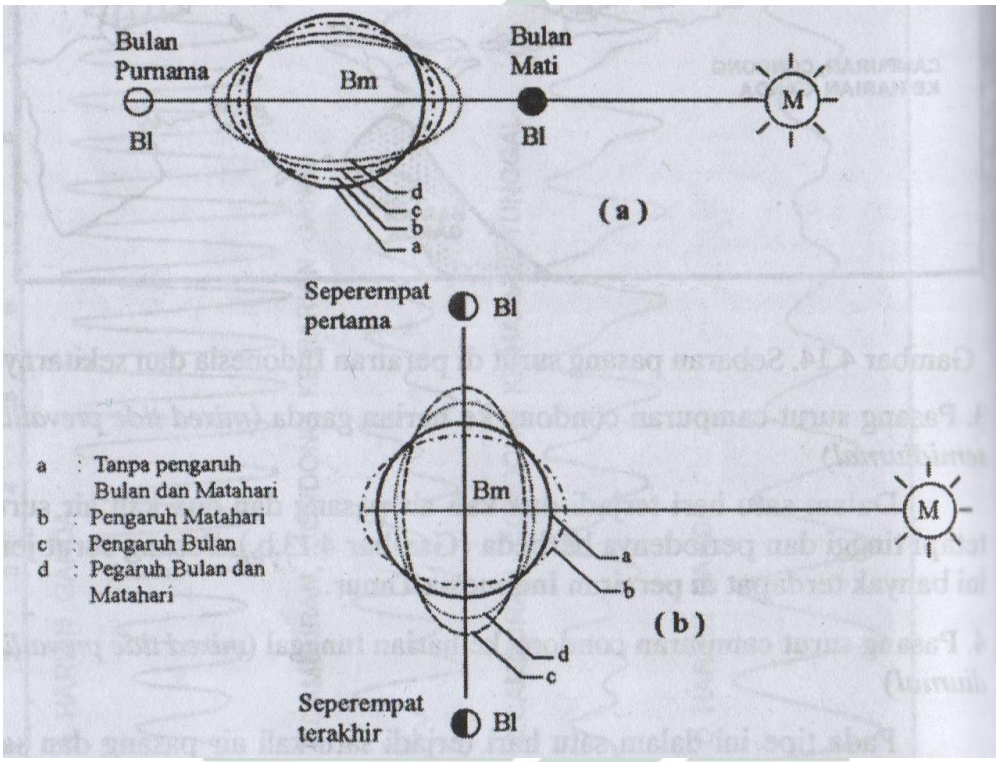
$1.5 < F \leq 3.0$: Pasut campuran dominan tunggal

$F > 3.0$: Pasut tunggal

Posisi bumi-bulan-matahari selalu berubah setiap saat mengikuti peredaran bumi dan bulan pada porosnya sehingga kondisi pasang surut air laut juga berubah setiap saat. Pada setiap tanggal 1 dan 15 (bulan muda dan purnama) posisi bumi dan matahari kurang lebih berada pada satu garis lurus, sehingga gaya tarik bulan dan matahari saling memperkuat yang mengakibatkan elevasi pasang surut sangat besar

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

dibanding dengan hari lain, kondisi ini biasa disebut spring tide. Sedangkan pada sekitar tanggal 7 dan 21 (seperempat dan tiga perempat revolusi bulan terhadap bumi dimana bulan dan matahari membentuk sudut siku – siku terhadap bumi, terjadi pasang surut perbani (neap tide) yang mana elevasi pasang surut lebih kecil dibanding dengan hari lain (Triatmojo, 1999). Ilustrasi kedudukan Bumi, Bulan dan Matahari ditunjukan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Kedudukan bumi-bulan-matahari pada saat *spring tide* (a) dan *neap tide* (b).

(Sumber :Triadmojo, 1999)

2.6 Arus Laut

Arus merupakan gerakan horizontal atau vertikal dari suatu massa air sehingga massa air tersebut mencapai kestabilan. Gross (1990) mendefinisikan bahwa arus laut adalah suatu pergerakan massa air laut yang menyebabkan massa air laut tersebut mengalami perpindahan baik secara horizontal maupun vertikal dan terjadi secara

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

terus menerus. Pergerakan massa air tersebut merupakan resultan dari beberapa gaya yang bekerja dan beberapa faktor yang mempengaruhinya. Terdapat dua gaya yang berperan dalam arus yaitu: gaya primer dan gaya sekunder. Gaya primer berperan dalam menggerakkan arus dan menentukan kecepatannya. Gaya primer ini terdiri dari gravitasi, gesekan angin (wind stress), gaya dorong ke atas dan ke bawah (bouyancy), serta tekanan atmosfir. Gaya sekunder mempengaruhi arah gerakan dan kondisi aliran arus. Gaya sekunder meliputi gaya Coriolis dan gesekan lapisan air laut itu sendiri (Pickard dan Pond, 1983).

Berdasarkan gaya-gaya pembangkit arus, Brown *et al* (1989) membagi arus menjadi beberapa jenis, yaitu:

1. Arus Spiral Ekman, yaitu arus yang disebabkan oleh gesekan angin;
2. Arus Pasang Surut, yaitu arus yang disebabkan oleh adanya gaya pembangkit pasut;
3. Arus Thermohaline, yaitu arus yang disebabkan karena adanya perbedaan densitas air laut;
4. Arus Geostrofik, yaitu arus yang disebabkan karena adanya gradien tekanan mendatar dan gaya coriolis;
5. Wind Driven Current, yaitu arus yang dibangkitkan oleh angin, seperti sirkulasi sebagian besar samudera di lapisan atas, gelombang permukaan dan up-weling.
6. Arus Inersia, yaitu suatu gerakan air dimana terjadi gesekan yang sangat kecil (diasumsikan nol) dan gaya yang masih bekerja hanya gaya coriolis sehingga menyerupai kurva. Arus inersia yang terjadi di sekitar garis lintang akan membentuk lingkaran (circular). Arah rotasi pada lingkaran inersia adalah searah jarum jam di belahan bumi utara dan berlawanan arah jarum jam di belahan bumi selatan (Pond dan Pickard, 1983).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

2.7 Pola Angin di Indonesia

Wilayah benua Maritim Indonesia dipengaruhi oleh dua monsun global yaitu, monsun panas Asia (Asian summer monsoon) dan monsun dingin Australia (Australian winter monsoon). Ketika di Benua Asia terjadi musim panas, terbentuklah pusat tekanan rendah di Benua tersebut. Selanjutnya di saat yang sama, terjadi musim dingin di benua Australia yang mengakibatkan atmosfer di atas benua tersebut memiliki tekanan yang tinggi, akibat dari dua perbedaan tekanan ini, terbentuklah angin monsoon timur yang bergerak dari Australia menuju Asia melalui kawasan benua Maritim Indonesia. Pada kondisi sebaliknya dimana pada benua Asia terjadi musim dingin dan pada benua Australia terjadi musim panas maka terbentuklah angin monsoon barat yang bergerak Asia dari menuju Australia melalui kawasan benua Maritim Indonesia (Yulihastin, 2010).

2.8 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu terkait pola sebaran limbah panas air kanal pendingin pada badan air laut serta pengaruh pola sebaran panas terhadap kelimpahan fitoplankton pada perairan ditunjukkan pada Tabel 2.1

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 2.1.Metaanalisis Penelitian Terdahulu

No	Judul	Deskripsi
1	Korelasi Kelimpahan Plankton Dengan Suhu Perairan Laut Di Sekitar PLTU Cirebon	Penulis : Ikhsan Faturohman, Sunarto, Isni Nurruhwati, Tahun Terbit : 2016. Tujuan : Mengetahui hubungan antara kelimpahan plankton dengan suhu perairan di laut sekitar PLTU Cirebon. Parameter : Suhu perairan, kelimpahan plankton, transparansi, arus, salinitas, pH, DO,fosfat, nitrat, dan silikat. Metode : Metode survei dan analisis data secara deskriptif komparatif Hasil : • Kelimpahan plankton yang di dapat berkisar antara 8400-12200 ind/m dan suhu yang di dapat berkisar antara 28,9 - 31,7°C. • Didapatkan nilai korelasi (R) antara kelimpahan plankton dengan suhu perairan adalah 0,006.
2	Studi Pola Sebaran Panas Air Pendingin Di Pt. Pembangkitan Jawa-Bali Unit Pembangkit Gresik	Penulis : Chairul Anam, Tahun Terbit : 2015. Tujuan : Mengetahui nilai dan pola penyebaran panas air pendingin baik secara horizontal maupun vertikal di PT. PJB UP Gresik. Parameter : Suhu dan Pola Arus Metode : Pemodelan MIKE 21 Hasil : • Pola sebaran panas air pendingin dipengaruhi oleh pola aliran, yang mana aliran yang terjadi bergerak menuju ke kanal *Outlet* sehingga sebaran panas air pendingin hanya terjadi di sekitar mulut *outlet* dan tidak kembali masuk ke kanal *intake.* • Suhu pada area *Outlet* berkisar 34 – 36.6 sedangkan pada *Inlet* berkisar antara 27 – 27.8. kondisi suhu yang bervariasi pada *Outlet* dipengaruhi adanya aliran air dari perairan terbuka. Sedangkan pada *Inlet* suhu perairan cenderung stabil dikarenakan limbah air pendingin tidak bergerak ke arah *Inlet* sehingga tidak terjadi peningkatan suhu yang signifikan. • Profil suhu perairan bervariasi pada masing – masing kedalaman.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

No	Judul	Deskripsi
3	Model Sebaran Panas Air Kanal Pendingin Instalasi Pembangkit Listrik Ke Badan Air Laut	Penulis : Chevy Cahyani Tahun Terbit : 2011. Tujuan : Untuk mengetahui pola sebaran polutan panas di laut agar dapat digunakan dalam pengkajian dampak lingkungan dari pembangunan instalasi pembangkit listrik yang menggunakan air laut sebagai pendingin Parameter : Suhu dan Pola Arus Metode : Model SMS 8.1 Hasil : • Sebaran panas pada arah yang berlawanan dengan arah arus laut lebih kecil dibandingkan dengan sebaran panas yang searah arus laut. Sebaran panas pada arah yang sama dengan arah arus laut, arah sebaran oleh proses difusi searah dengan arah sebaran oleh proses adveksi, sehingga arah sebaran oleh kedua proses tersebut saling menguatkan. • Pola arus dipengaruhi oleh kedalaman laut dan elevasi muka air yang dipengaruhi oleh pasang surut. • Pola sebaran panas secara spasial dipengaruhi oleh proses adveksi dan difusi berupa besarnya debit aliran dari kanal pendingin dan pola arus pada badan air laut.
4	Studi Model Persebaran Panas Pada Perairan dalam Rencana Pembangunan PLTU Karanggeneng Roban, Batang	Penulis : Nico Tri Wibowo, Denny Nugroho Sugianto, dan Elis Indrayanti. Tahun : 2012 Tujuan : Mengetahui pola persebaran panas pada pasang purnama dengan pasang perbani pada perairan Karanggeneng Roban Batang dan menganalisis persebaran panas pada perairan dalam rencana pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Karanggeneng Roban, Batang Parameter : Suhu, Pasang Surut, dan Pola arus Metode : Model MIKE 21 Hasil : • Pola sebaran panas di perairan Karanggeneng Roban, Batang cenderung bolak balik, mengikuti pola arus pasang surut yang terjadi yaitu bergerak dari arah barat ke arah timur dan sebaliknya. • Pada saat pasang purnama persebaran panas

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

		pada pasang menuju surut bergerak dari arah timur ke arah barat, persebarannya sekitar 848 meter kearah barat laut. Kemudian pada kondisi surut terendah sebaran panas bergerak dari arah timur ke arah barat dengan jarak persebarannya cenderung ke barat laut sekitar 1300 meter. Selanjutnya pada kondisi surut menuju pasang persebaran panasnya bergerak hingga 750 meter ke arah timur. Sedangkan persebaran panas pada saat pasang tertinggi bergerak ke arah timur dengan jarak persebarannya sekitar 870 meter ke arah timur • Pada kondisi pasang surut perbani (*neap tide*) pola sebaran panas yang terjadi cukup berbeda dibanding dengan pada kondisi purnama (*spring tide*) dimana radius sebaran pada kondisi perbani lebih sempit dikarenakan kecepatan arus pada kondisi perbani lebih kecil dibanding pada kondisi purnama (*spring tide*) sehingga proses adveksi dalam persebaran panas juga menurun.

2.9 Pemodelan Sebaran Panas menggunakan *Software* MIKE 21

2.9.1 Modul Hidrodinamika (Flow Model FM)

MIKE 21 Flow Model FM merupakan suatu sistem model yang dilakukan dengan pendekatan ukuran grid fleksibel. Model ini dikembangkan untuk aplikasi oseanografi serta lingkungan pantai dan estuari. Modul yang digunakan pada penelitian ini yaitu Modul Hidrodinamika. Modul Hidrodinamika merupakan komponen dasar sistem MIKE 21 *Flow Model FM*.

<u>Daerah Aplikasi Model</u>

Area aplikasi umumnya digunakan pada permasalahan dimana fenomena aliran dan transpor dengan penekanan pada aplikasi pantai dan laut, dimana bentuk *mesh* yang tidak terstruktur dapat digunakan.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Gambaran Komputasi

Sistem model didasarkan pada solusi numerik dari dua dimensi persamaan perairan dangkal, dimana kedalaman diintegrasikan dengan *Reynolds Incompressible* pada persamaan Navier – Stokes. Model terdiri dari persamaan kontinuitas, momentum, suhu, salinitas dan densitas.

Diskretisasi persamaan dasar dilakukan menggunakan sebuah *cell-centered finite volume method.* Daerah spasial didiskretisasi menjadi beberapa bagian kontinu dan tidak terjadi tumpang tindih dari masing – masing elemen. Pada bidang horizontal *unstructured grid* dapat terdiri dari elemen segitiga atau segi empat. Untuk integrasi waktu menggunakan skema eksplisit.

Persamaan yang digunakan

Persamaan yang digunakan adalah persamaan momentum yang diintegrasikan dengan persamaaan kontinuitas.

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t}+\frac{\partial h\overline{u^2}}{\partial x}+\frac{\partial h\overline{vu}}{\partial y}=f\bar{v}h-gh\frac{\partial\eta}{\partial x}-\frac{h}{\rho_o}\frac{\partial p_a}{\partial x}-\frac{gh^2}{2\rho_o}\frac{\partial\rho}{\partial x}+\frac{\tau_{xx}}{\rho_o}-\frac{\tau_{bx}}{\rho_o}-$$

$$\frac{1}{\rho_o}\left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial s_{xy}}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx})+\frac{\partial}{\partial y}(hT_{xy})+hu_sS \quad \text{..... (2.3)}$$

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t}+\frac{\partial h\overline{v^2}}{\partial y}+\frac{\partial h\overline{vu}}{\partial x}=-f\bar{u}h-gh\frac{\partial\eta}{\partial y}-\frac{h}{\rho_o}\frac{\partial p_a}{\partial y}-\frac{gh^2}{2\rho_o}\frac{\partial\rho}{\partial y}+\frac{\tau_{xy}}{\rho_o}-\frac{\tau_{by}}{\rho_o}-$$

$$\frac{1}{\rho_o}\left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial s_{yy}}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial x}(hT_{xy})+\frac{\partial}{\partial y}(hT_{yy})+hv_sS \quad \text{..... (2.4)}$$

dimana :

t	: waktu
x, y	: koordinat Kartesian
η	: *surface elevation*
d	: *still water depth*
$h = \eta + d$	: *total water depth*
u,v	: komponen kecepatan arah x dan y

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

$f = 2\Omega\sin\phi$	: parameter coriolis
ϕ	: lintang geografis
g	: percepatan gravitasi
ρ	: densitas
ρ_0	: *reference density*
S	: *magnitude of discharge*
u_s, v_s	: *velocitas of discharge into ambient water*

2.9.2 Modul Dispersi Termal (Sebaran Panas)

Penyelesaian model sebaran panas dilakukan dengan menggunakan persamaan adveksi – difusi dua dimensi. Persamaan adveksi – difusi dua dimensi untuk pemodelan sebaran panas di permukaan laut adalah sebagaimana ditunjukkan pada persamaan 7 (Anam, 2015) :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} = Fr + \frac{\partial}{\partial z}\left(D_v \frac{\partial T}{\partial z}\right) + \widehat{H} + T_s S \quad (2.5)$$

Dimana :

t	= waktu
x,y,z	= koordinat kartesian
u,v,w	= komponen kecepatan
T	= suhu
Dv	= koefisien dispersi arah vertikal
Hˆ	= suhu akibat panas dari atmosfer
S	= adalah debit dari titik sumber
Ts	= suhu sumber
F	= difusi arah horizontal
Dh	= merupakan koefisien dispersi arah horizontal
h	= adalah kedalaman

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

"HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN"

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari – Juli 2018. Penelitian ini meliputi pengumpulan data, pengolahan data, simulasi arus dan sebaran panas limbah air panas kanal pendingin PT.PJB UP Muara Karang, Jakarta Utara. Kemudian dilakukan analisa pengaruh sebaran limbah panas air kanal pendingin terhadap kelimpahan fitoplankton. Peta tata letak *water Outlet* dan *water Inlet* PLTU dan PLTGU Muara Karang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Gambar *water Outlet* dan *water Inlet* PLTU dan PLTGU Muara Karang ditampilkan pada Lampiran A.

Gambar 3.1.Tata Letak *Water Outlet* dan *Inlet* PLTU dan PLTGU Muara Karang

Sumber : Google Earth

Lokasi Kajian pada penelitian berada di wilayah perairan laut Muara Karang dengan menggunakan lima belas titik pengamatan sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.2. Koordinat titik pengamatan tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.1.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Gambar 3.2. Titik Pengamatan Sebaran Limbah Panas PLTU Muara Karang

(Sumber : Google Earth, 2017).

Tabel 3.1. Letak Geografis Titik Pengamatan

Titik Pengamatan	Lintang (°)	Bujur (°)
T1	-6.107652°	106.787330°
T2	-6.108388°	106.782966°
T3	-6.106174°	106.791655°
T4	-6.101780°	106.782672°
T5	-6.098472°	106.787012°
T6	-6.093872°	106.787160°
T7	-6.097386°	106.777730°
T8	-6.098421°	106.770172°
T9	-6.092153°	106.773634°
T10	-6.087000°	106.774852°
T11	-6.087321°	106.787923°
T12	-6.093094°	106.795511°
T13	-6.081065°	106.797618°
T14	-6.087233°	106.806508°
T15	-6.096049°	106.809057°

Titik pengamatan digunakan untuk mengetahui pola sebaran panas pada perairan pesisir dan laut. Pemilihan lokasi titik pengamatan dilakukan dengan mempertimbangkan kemungkinan zona terdampak sebaran panas. Selain itu hasil model sebaran panas juga diverifikasi

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

dengan data pengukuran sehingga akan diketahui kesesuaian hasil model dengan kondisi sebenarnya di lapangan.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.2. Peta Batimetri Teluk Jakarta, data curah hujan, data debit sungai Muara Karang, serta data outlet dan inlet PLTU dan PLTGU ditampilkan pada Lampiran B.

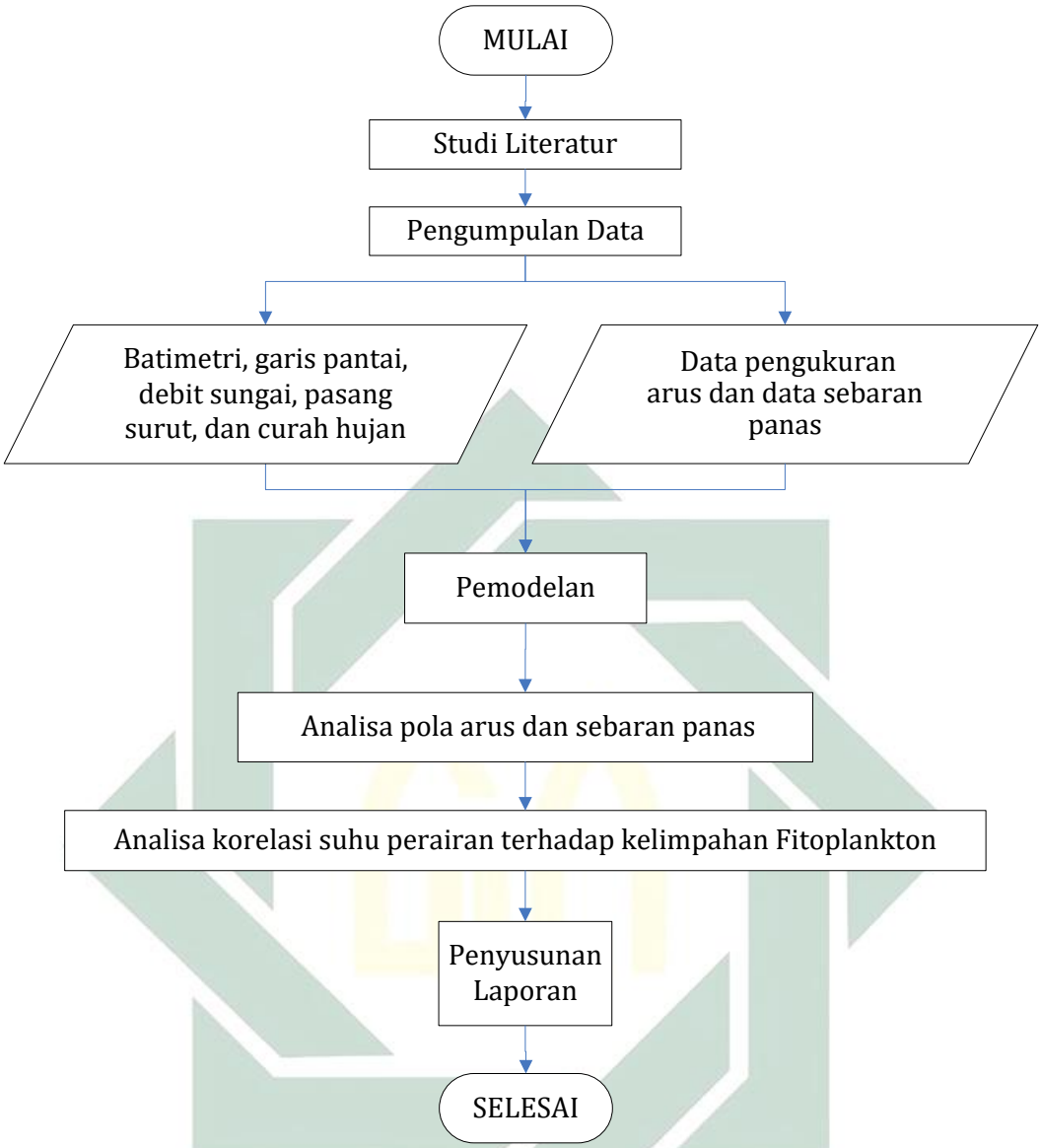
Tabel 3.2. Alat dan Bahan

No	Alat dan Bahan	Keterangan
1	Peta Batimetri	Sumber : DISHIDROS TNI AL
2	Data Pasang Surut	Sumber : BIG
3	Data Angin	Sumber : BMKG
4	Data Debit Sungai	Sumber : Studi Literatur
5	Data Curah Hujan	Sumber : NOAA
6	Data Debit Limbah	Sumber : PT.PJB UP
7	Data Suhu Limbah	Sumber : PT.PJB UP
8	Data Arus dan Suhu Perairan	Sumber : PT.PJB UP
9	Data kelimpahan Fitoplankton	Sumber : PT.PJB UP
10	Komputer / Laptop	Menjalankan *Software*
11	*Software* SPSS	Hitung Statistik
12	*Software ArcMap 10.3*	Digitasi Peta Batimetri
13	*Software MIKE 21*	Pemodelan
14	*Ms.Excel*	Olah Data
15	*Worldtides*	Olah Data Pasang surut

3.3 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ini terdiri dari pengumpulan data, pengolahan data, verifikasi hasil pengolahan data, analisa hasil dan penarikan kesimpulan. Tahapan penelitian tersebut sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.3.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 3.3. Tahapan Penelitian

3.3.1 Studi Literatur

Beberapa literatur yang digunakan pada peneltian ini yaitu studi terkait Pemodelan Sebaran Limbah Panas dari Pembangkit Listrik diantaranya dilakukan oleh Anam (2015) dan Cahyani (2011) Kemudian model hidrodinamika dan sebaran panas di Teluk Jakarta Pra- dan Pasca-reklamasi 17 Pulau oleh Setiawan (2016). Selanjutnya studi terkait hubungan suhu perairan dengan kelimpahan fitoplankton yang digunakan pada penelitian ini diantaranya oleh Faturohman dkk (2016) dan Pratiwi dkk (2015).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

3.3.2 Pengumpulan Data

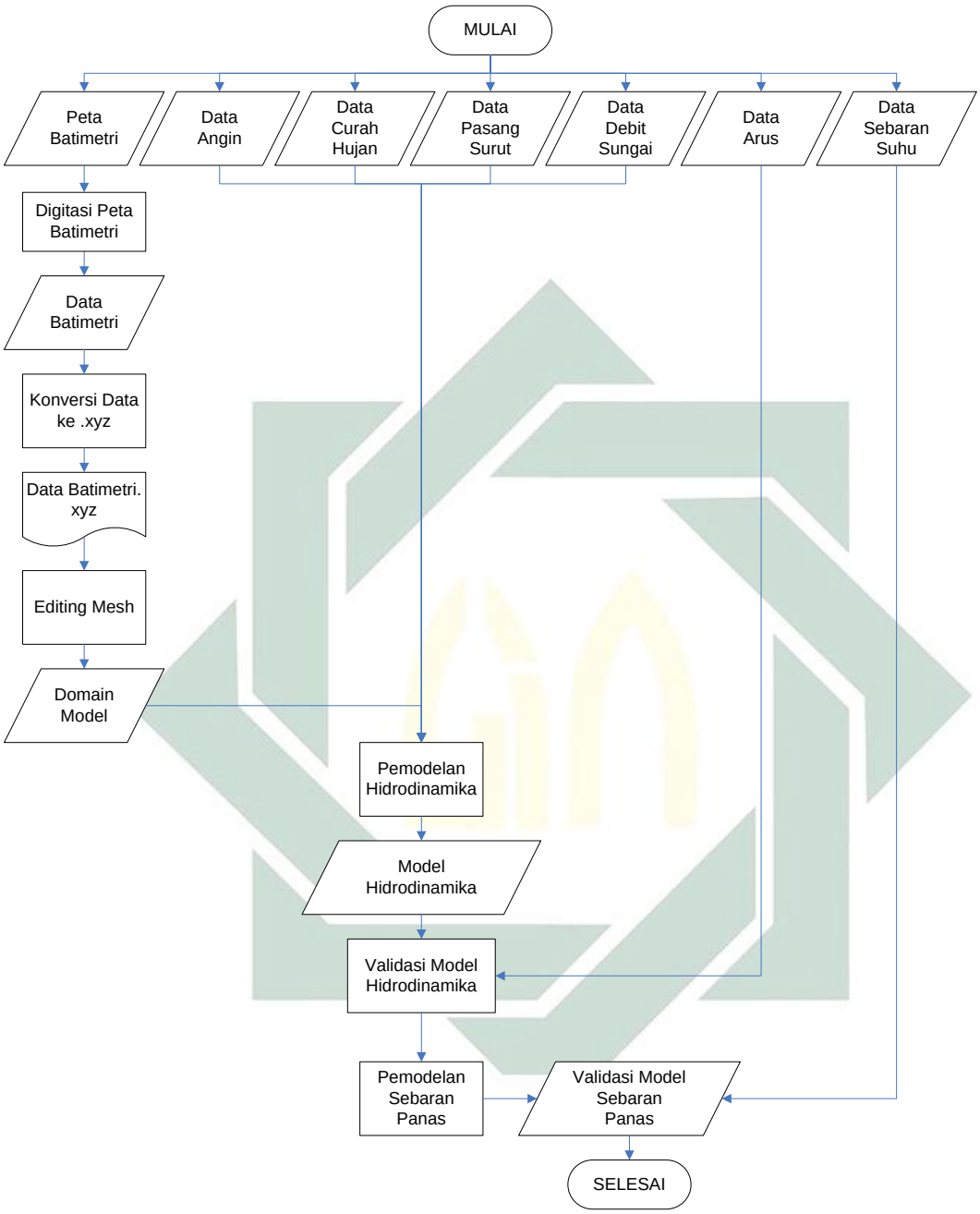
Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari studi literatur dan instansi – intansi terkait. Data tersebut yaitu pasang surut, debit sungai, suhu permukaan laut, data batimetri, dan data arus. Data batimetri, pasang surut, debit sungai dan angin tersebut selanjutnya diolah untuk digunakan sebagai input pada proses pemodelan sebaran panas air kanal pendingin. Sedangkan data arus dan suhu permukaan laut digunakan untuk proses verifikasi model sebaran panas yang dihasilkan.

3.3.3 Pemodelan

Pemodelan sebaran panas dimulai dengan penyusunan basis data model hidrodinamika. Kemudian dilakukan pengolahan data masukan untuk melakukan pemodelan hidrodinamika menggunakan modul *Flow Model FM* pada perangkat lunak *MIKE 21*. Pengolahan data masukan diantaranya penyusunan domain model dengan menggunakan data batimetri, pengolahan data arah maupun kecepatan angin yang didapat dari BMKG, serta data debit sungai dan prediksi pasang surut. Data prediksi pasang surut selanjutnya divalidasi dengan menggunakan data pembanding yang didapat dari BIG (Badan Informasi Geospasial).

Proses selanjutnya yaitu menyusun skenario model hidrodinamika dan dispersi suhu menggunakan data masukan tersebut dan parameter limbah air kanal pendingin. Prosedur kerja pemodelan sebaran panas air kanal pendingin pada badan air laut adalah sebagaimana ditampilkan pada Gambar 3.4.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 3.4. Skema Kerja Pemodelan Sebaran Panas

Model hidrodinamika dan dispersi thermal limbah air kanal pendingin PT. PJB UP Muara Karang disimulasikan pada dua musim berbeda yaitu musim timur dan musim barat. Domain yang digunakan yaitu kondisi pasca reklamasi (2017) dan masterplan reklamasi.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Pemodelan pola arus dan sebaran panas limbah air kanal pendingin dilakukan pada musim barat bulan Maret 2017 dan musim timur bulan Juli 2017 dengan kondisi pasca reklamasi dan masterplan reklamasi.

Verifikasi model arus dan sebaran panas dengan data pengukuran dilakukan menggunakan perhitungan persen error relatif, dimana semakin kecil nilai persen error relatif yang didapatkan maka semakin baik model yang dihasilkan. Hasil model sebaran panas yang telah diverifikasi selanjutnya dianalisa untuk mengetahui zona perairan terdampak sebagai hasil dari penelitian ini. Persamaan persen error relatif adalah sebagai berikut :

$$\text{Persen error relatif} = \frac{[A - B]}{A}\ x\ 100\% \quad \text{.....(3.1)}$$

dimana : A = Pengukuran

B = Model

3.3.4 Analisa Pola Arus dan Sebaran Panas

Analisa pola arus dan sebaran panas limbah air kanal pendingin PT. PJB UP Muara Karang pasca dan masterplan reklamasi ditinjau pada musim barat dan musim timur dianalisa pada kondisi pasang tertinggi dan surut terendah saat purnama (*spring tide*) yang dinilai sebagai kondisi ekstrim perairan laut. Pada kondisi tersebut terjadi pasang tertinggi dan surut terendah sehingga akan diketahui pola sebaran panas maksimum.

3.3.5 Analisa Korelasi Suhu Perairan terhadap Kelimpahan Fitoplankton

Analisa korelasi sebaran terhadap kelimpahan fitoplankton dilakukan dengan statistik non parametrik menggunakan korelasi spearman. Hasil analisa korelasi akan didapatkan koefisien korelasi spearman (rs). Koefisien korelasi spearman (rs) : ukuran hubungan linier peubah X dan Y Nilai r berkisar antara (+1) sampai (-1). Jika nilai r mendekati +1 atau r mendekati -1 maka X dan Y memiliki korelasi linier

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

yang tinggi. Jika nilai r = 0 maka X dan Y tidak memiliki relasi (hubungan) linier.

Persamaan korelasi spearman :

$$rs = 1 - \frac{6\sum D^2}{n(n^2-1)} \quad (3.2)$$

Dimana :

n : jumlah pasangan rank untuk Spearman

D^2 : selesih setiap pasangan rank

rs : nilai korelasi Spearman rank

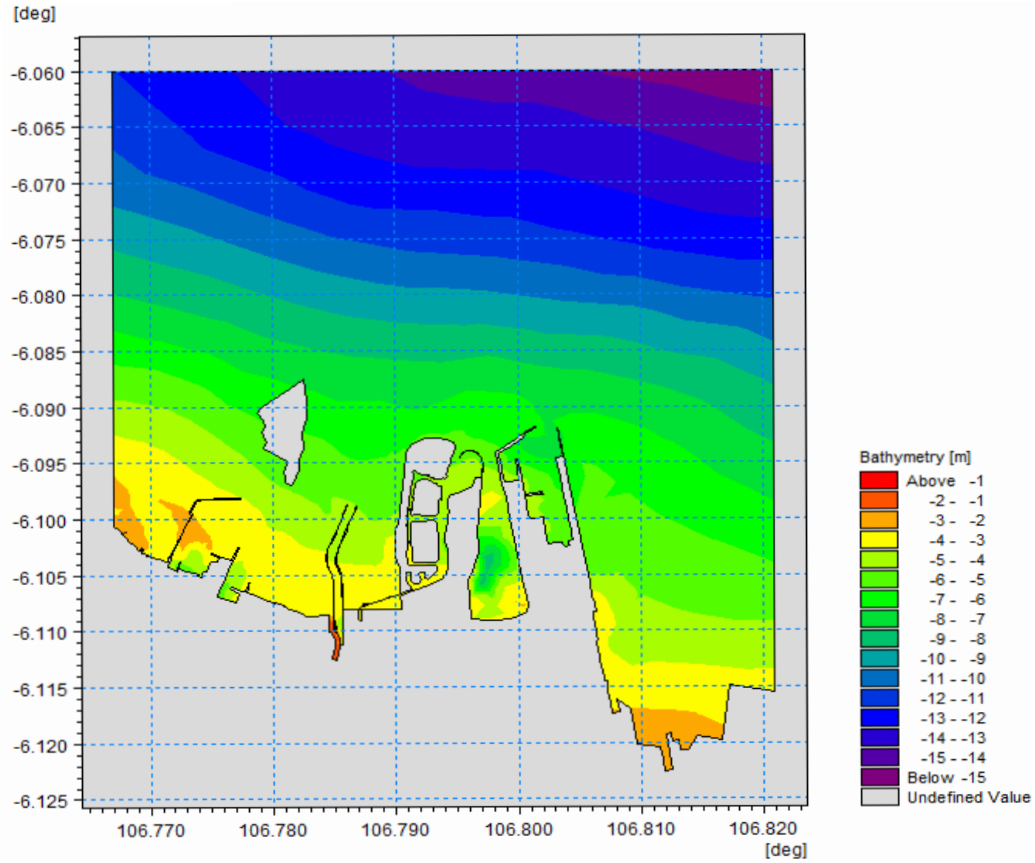
3.4 Parameter Pemodelan

3.4.1 Parameter Model Hidrodinamika

Model hidrodinamika disusun dengan beberapa parameter. Parameter yang digunakan diantaranya adalah domain model yang didapat dari pengolahan data batimetri. Parameter selanjutnya yaitu waktu pemodelan, pasang surut, *flooding depth* dan *drying depth*, *initial surface elevation*, *source* dan *sink*, *eddy visicosity, bed resistance,* dan angin.

Hasil penyusunan domain model menggunakan *tool Mesh Generator* pada perangkat lunak *MIKE 21* menunjukkan bahwasanya kedalaman perairan di lokasi kajian bervariasi yang mana berkisar antara 0 – 12 meter dibawah permukaan laut. Contoh peta batimetri domain model ditunjukkan pada Gambar 3.5.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 3.5. Contoh kontur batimetri domain dasar pemodelan

Pada domain area yang telah disusun digunakan tiga batas terbuka dengan menggunakan variasi pasang surut, yaitu batas barat, utara dan timur. Selanjutnya batas tertutup digunakan pada sepanjang garis pantai untuk didefinisikan sebagai daratan. Data pasang surut yang digunakan sebagai batas terbuka didapat dari data prediksi MIKE 21 yang selanjutnya divalidasi dengan data dari BIG (Badan Informasi Geospasial). Selanjutnya komponen harmonik pasang surut dianalisa dengan menggunakan perangkat lunak WORLDTIDES.

Dalam melakukan simulasi model hidrodinamika perlu ditentukan nilai drying depth, flooding depth dan wetting depth. Nilai drying depth ditentukan dengan memasukkan nilai kedalaman yaitu 0,005 meter dan untuk flooding depth sebesar 0,05 meter, sedangkan

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

untuk wetting depth didefinisikan 0,1 meter. Nilai masukan parameter tersebut menandakan bahwa perhitungan pemodelan pada masing-masing grid tidak akan dihitung pada kedalaman < = 0,005 yang artinya pada kedalaman tersebut terbaca kondisi kering, dan kedalaman minimal yang dihitung adalah >= 0,1 meter dari Mean Sea Level.

Initial surface elevation merupakan nilai awal tinggi muka laut domain area saat memulai pemodelan dalam satuan meter. Nilai initial surface elevation yang digunakan pada pemodelan ini adalah nilai 0 meter. Parameter source and sink digunakan untuk menentukan adanya titik sumber masukan dan keluaran air dalam domain. Pada skenario pemodelan hidrodinamika ini ditentukan source yang berupa aliran sungai yang terdapat pada domain area dan Outlet air kanal pendingin PT. PJB UP Muara Karang, Jakarta Utara.

Parameter eddy viscosity diselesaikan dengan menggunakan smagorinsky formulation, pada pemodelan ini digunakan Cs (Smagorinsky Coefficient) dengan nilai konstan sebesar 0,28. Parameter bed resistance (nilai tahanan dasar) berhubungan dengan kekasaran dasar laut dan gaya gesek antara dasar laut dengan air. Pada pemodelan ini diselesaikan dengan menggunakan tipe resistent manning number dengan nilai konstan sebesar 32 $m^{1/3}/s$.

Data angin yang digunakan sebagai salah satu parameter input pada pemodelan hidrodinamika didapat dari ecmwf.int dengan resolusi $0{,}125^{o}$. Data angin tersebut memiliki interval 6 jam. Tekanan angin terhadap permukaan laut bervariasi terhadap waktu. Nilai friksi angin pada pemodelan ini bervariasi terhadap kecepatan angin yang mana pada saat kecepatan angin bernilai 7 m/s maka besarnya friksi adalah 0,001255. Nilai tersebut bervariasi linier dimana pada saat kecepatan angin 25 m/s maka nilai friksinya adalah 0,002425. Pada penelitian ini pemodelan dilakukan pada 2 bulan ekstrim yang mewakili kondisi musim di Indonesia yaitu bulan maret 2017 (musim barat), dan Juli 2017 (musim timur).

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

3.4.2 Parameter Model Dispersi Termal (Sebaran Panas)

Suhu ambient air laut pada simulasi pola sebaran panas diasumsikan sama dengan suhu hasil pengukuran pada *Inlet*, untuk musim barat adalah 26 ^{o}C dan untuk musim timur adalah 29 ^{o}C. Parameter model dispersi termal yang digunakan adalah sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.3. Parameter Model Dispersi Termal

No	**Parameter**	**Satuan**
1	Panjang, lebar, dan kedalaman *Outlet*	Meter
2	Panjang, lebar, dan kedalaman *Inlet*	Meter
3	Debit keluaran air pada *Outlet*	m^3/jam
4	Debit masukan air pada *Inlet*	m^3/jam
5	Suhu ambient (*Inlet*)	^{o}C
6	Suhu air pada *Outlet*	^{o}C
7	Suhu udara	^{o}C
8	Kecepatan dan arah angin	m/s
9	Curah hujan	mm/hari

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

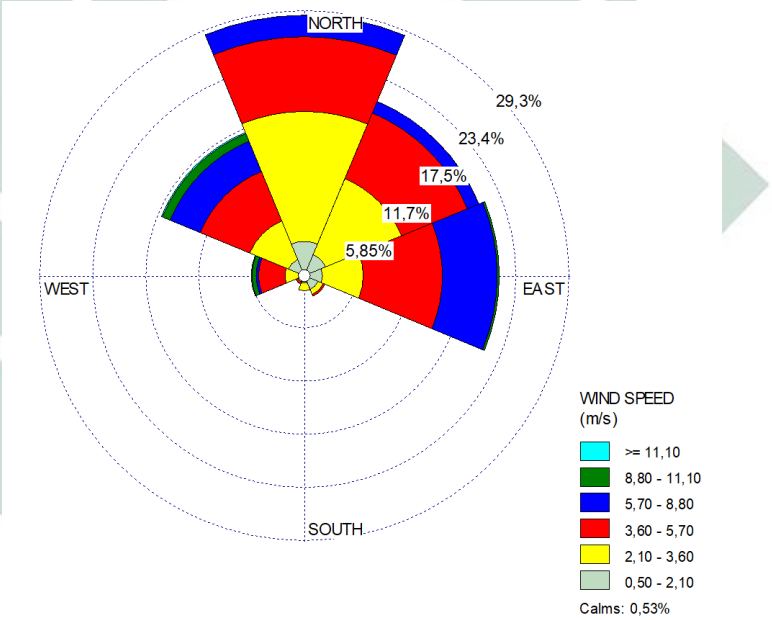
"HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN"

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Distribusi Angin pada Musim Barat dan Timur

Hasil pengolahan data angin pada lokasi penelitian selama kurang lebih 4 tahun terakhir (2014 – 2017) menggunakan perangkat lunak *Wrplot View* di tampilkan dalam bentuk mawar angin (*windrose*). Pola angin musim barat ditunjukkan pada Gambar 4.1, sedangkan pola angin musim timur ditunjukkan pada Gambar 4.3. Garis – garis radial menujukan arah datang angin dan tiap lingkaran menunjukkan persentase kejadian masing-masing kecepatan angin dalam periode waktu pengukuran.

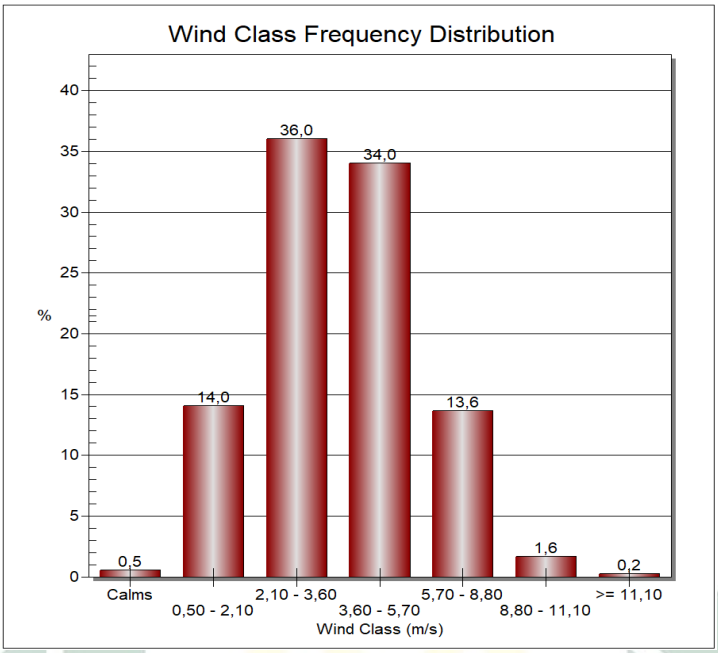


Gambar 4.1. Windrose data angin Teluk Jakarta pada musim barat

Berdasarkan pada Gambar tersebut diketahui kecepatan dan arah angin pada lokasi penelitian saat musim barat bervariasi, yang selanjutnya dibagi pada enam range yaitu 0,5 m/s -2.1m/s, 2,1 m/s - 3,6m/s , 3,6 m/s -5,7m/s, 5,7-8,80m/s, 8,80-11,0m/s, dan >=11,1m/s. Arah angin dominan berasal dari arah Utara dengan frekuensinya mendekati 29,3%. Selanjutnya frekuensi angin yang berasal dari timur

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

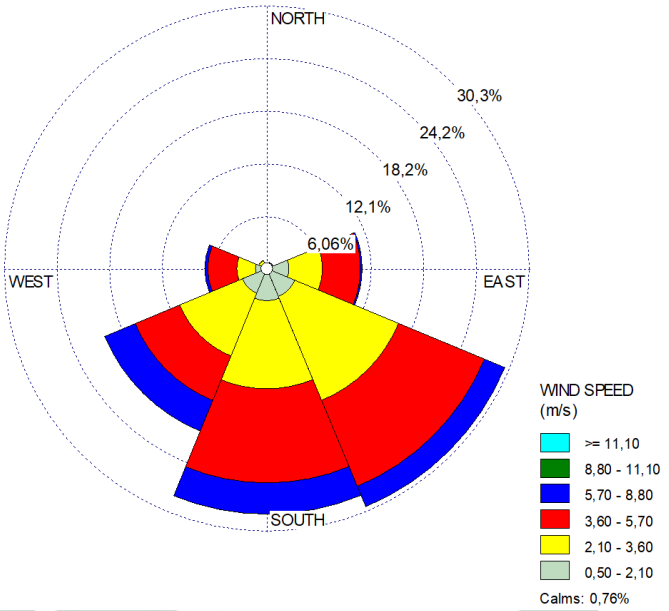
laut adalah sebesar 17,5%. Untuk angin dari timur didapatkan frekuensinya adalah 19%.



Gambar 4.2. Diagram Batang Distribusi Kecepatan Angin pada Musim Barat

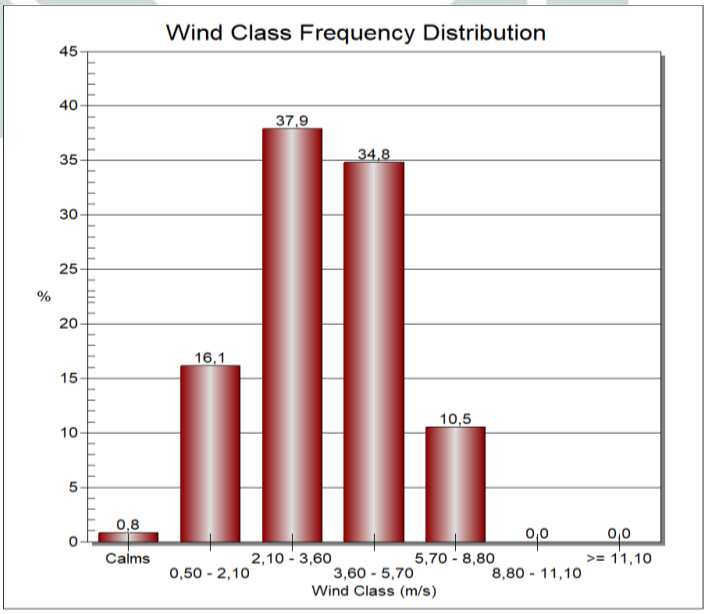
Selanjutnya distribusi kecepatan angin pada musim barat ditunjukkan dalam bentuk diagram batang (Gambar 4.2). Pada Gambar tersebut dapat dilihat distribusi terbesar adalah pada kelas angin 2,1 m/s – 3,6 m/s dengan frekuensi hingga 36%. Sedangkan distribusi angin terkecil adalah pada kelas >= 11.1 m/s dengan frekuensinya 0,2%. Frekuensi distribusi angin pada kelas 0,5m/s – 2,1m/s adalah 14%. Pada kelas 3,6 m/s – 5,7 m/s mempunyai frekuensi distribusi yang cukup besar hingga 34%. Dan yang terakhir pada kelas 5,7 m/s – 8,80 m/s mempunyai frekuensi 13.6%.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 4.3. Windrose data angin Teluk Jakarta pada musim timur

Berdasarkan pada Gambar 4.3 diketahui arah angin dominan berasal dari arah tenggara dengan frekuensinya mendekati 30,3%. Dari arah selatan didapatkan frekuensi angin berkisar 28%, selanjutnya dari arah barat daya didapatkan frekuensi angin sebesar 15%. Terakhir dari arah timur didapatkan frekuensi angin sebesar 11%.

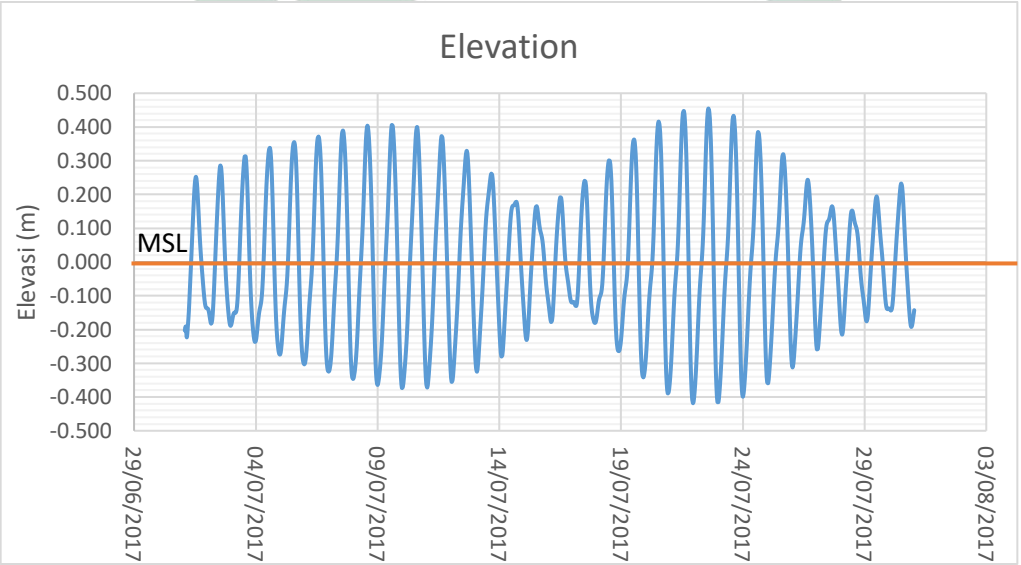


Gambar 4.4. Diagram Batang Distribusi Kecepatan Angin pada Musim Timur

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Selanjutnya distribusi kecepatan angin pada musim timur ditunjukkan dalam bentuk diagram batang (Gambar 4.4). Pada Gambar tersebut dapat dilihat distribusi kecepatan angin terbesar adalah pada kelas angin 2,1 m/s – 3,6 m/s dengan frekuensi hingga 37,9%. Sedangkan distribusi kecepatan angin terkecil adalah pada kelas 5,7m/s – 8,8m/s dengan frekuensinya 10,5%. Frekuensi distribusi kecepatan angin pada kelas 0,5 m/s -2,1 m/s mempunyai frekuensi distribusi yang cukup besar hingga 16,1%.

4.2 Nilai Elevasi Penting Pasang Surut di Perairan Pesisir Muara Karang



Gambar 4.5. Garfik Elevasi Pasang Surut Muara Karang, Jakarta Utara

Hasil prediksi elevasi pasang surut MIKE 21 di perairan Teluk Jakarta pada bulan Juli 2017 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.5. Selanjutnya data elevasi pasang surut tersebut diolah menggunakan metode *leastsquare* pada perangkat lunak *Worldtides* untuk mendapatkan nilai komponen harmonik dari pasang surut tersebut. Terdapat 8 komponen harmonik pasang surut yang dihasilkan pada pengolahan dengan menggunakan perangkat lunak *Worldtides*, yaitu M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, M4, MS4. Nilai komponen

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

harmonik pasang surut Teluk Jakarta sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Nilai komponen harmonik pasang surut Teluk Jakarta

	O1	P1	K1	N2	M2	S2	K2	M4	MS4
A (m)	0,125	0,074	0,257	0,018	0,056	0,043	0,023	0	0
g (°)	331,61	49,33	17,85	344,43	85,17	81,08	252,88	345,4	222,12

Selanjutnya dilakukan perhitungan bilangan formzhal untuk mengetahui tipe pasang surut dan perhitungan elevasi penting pasang surut yang terdiri dari MSL (Mean Sea Level), HHWL (Highest High Water Level), MHWL (Mean High Water Level), LLWL (Lowest Low Water Level), MLWL (Mean Low Water Level).

Hasil perhitungan bilangan formzhal tersebut menunjukkan bahwa pasang surut di perairan Muara Karang memiliki tipe harian tunggal dengan nilai formzhal 3,34, dengan demikian maka dapat ditentukan tipe arus pasang surut di Muara Karang yaitu harian tunggal dimana satu hari tejadi satu kali pasang dan satu kali surut. Hasil tersebut cukup sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh Indriani *et al* (2010) pada Teluk Jakarta yang mana bilangan formzal yang didapat adalah 3,444. Selanjutnya untuk nilai MSL, HHWL, MHWL, LLWL, dan MLWL pada perairan Muara Karang adalah sebagaimana berikut :

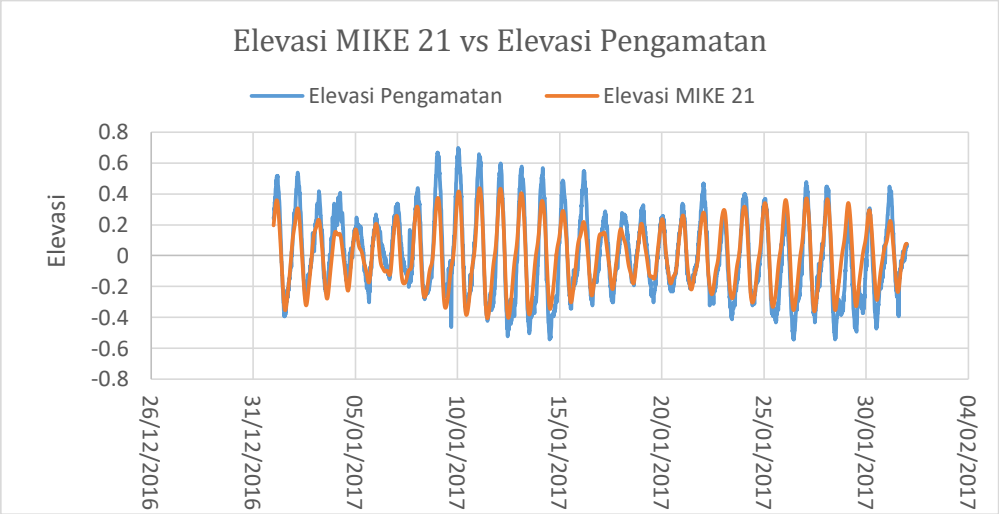
MSL (So) = 0 m
Zo = 0,596 m
HHWL = 0,596 m
MHWL = 0,438 m
LLWL = -0,596 m
MLWL = -0,438 m

4.3 Verifikasi Data Prediksi Pasang Surut MIKE 21 dengan Data Pengukuran Lapangan

Hasil verifikasi data prediksi pasang surut MIKE 21 dengan data pengukuran lapangan pada stasiun pengamatan pasang surut Sunda

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Kelapa (Stasiun pasang surut Badan Informasi Geospasial) dengan menggunakan *Ms.Excel* menunjukkan korelasi yang baik (mendekati 1), dimana nilai korelasinya adalah 0.913, sedangkan untuk nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) adalah sebesar 0.0027. Berdasarkan data perhitungan tersebut maka dapat dikatakan bahwasanya data prediksi pasang surut MIKE 21 yang digunakan pada penelitian ini cukup sesuai dengan kondisi lapangan. Grafik perbandingan elevasi pasang surut tersebut dan grafik regresi linearnya ditampilkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Plot perbandingan elevasi prediksi MIKE 21 vs Elevasi Pengamatan Stasiun Sunda Kelapa

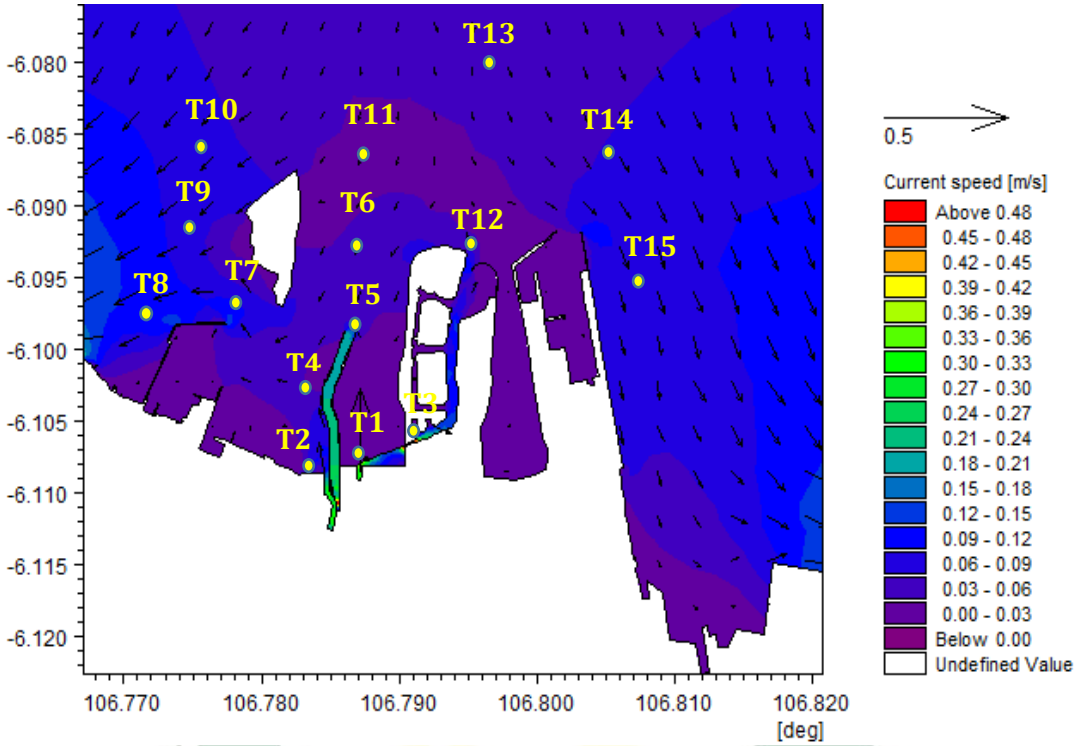
Sumber : Olahan data penulis

4.4 Pola Arus di Perairan Pesisir Muara Karang ditinjau pada Musim Timur dan Musim Barat

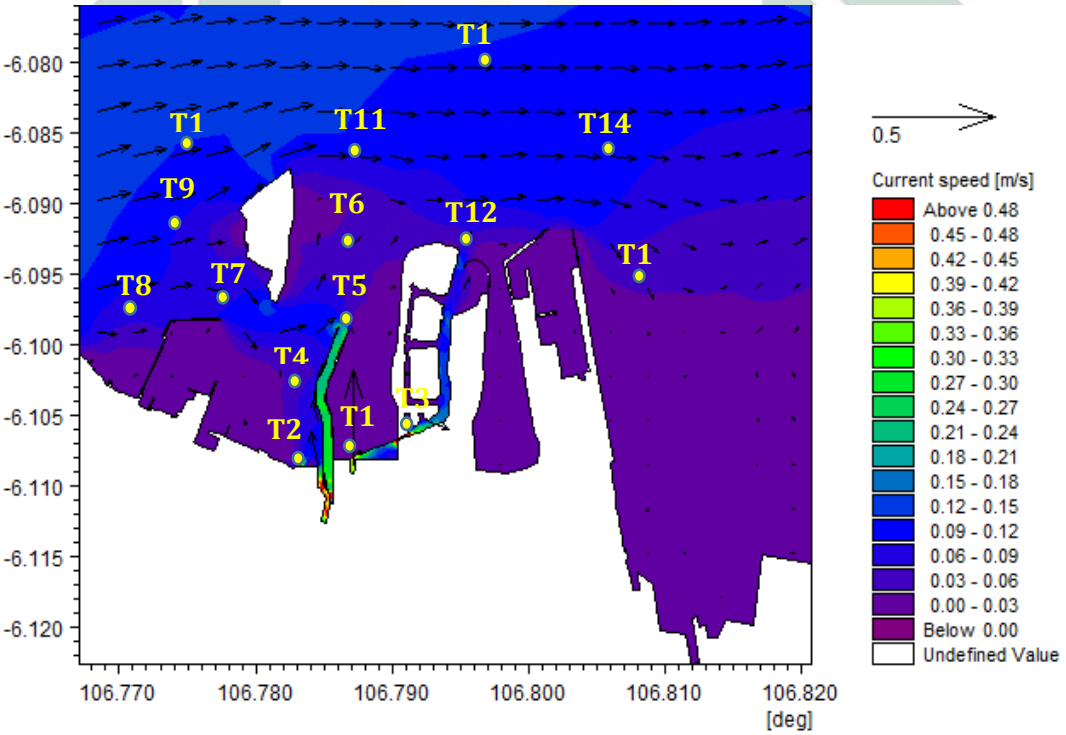
4.4.1 Pola Arus Musim Barat

Hasil model pola arus di perairan pesisir Muara Karang ditinjau pada musim barat pasca reklamasi kondisi pasang tertinggi dan surut terendah masing - masing ditampilkan pada Gambar 4.7. dan Gambar 4.8. Kemudian pola arus perairan pada kondisi masterplan reklamasi kondisi pasang tertinggi dan surut terendah masing - masing ditampilkan pada Gambar 4.9. dan Gambar 4.10.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 4.7. Pola Arus Musim Barat Pasca Reklamasi saat Pasang Tertinggi

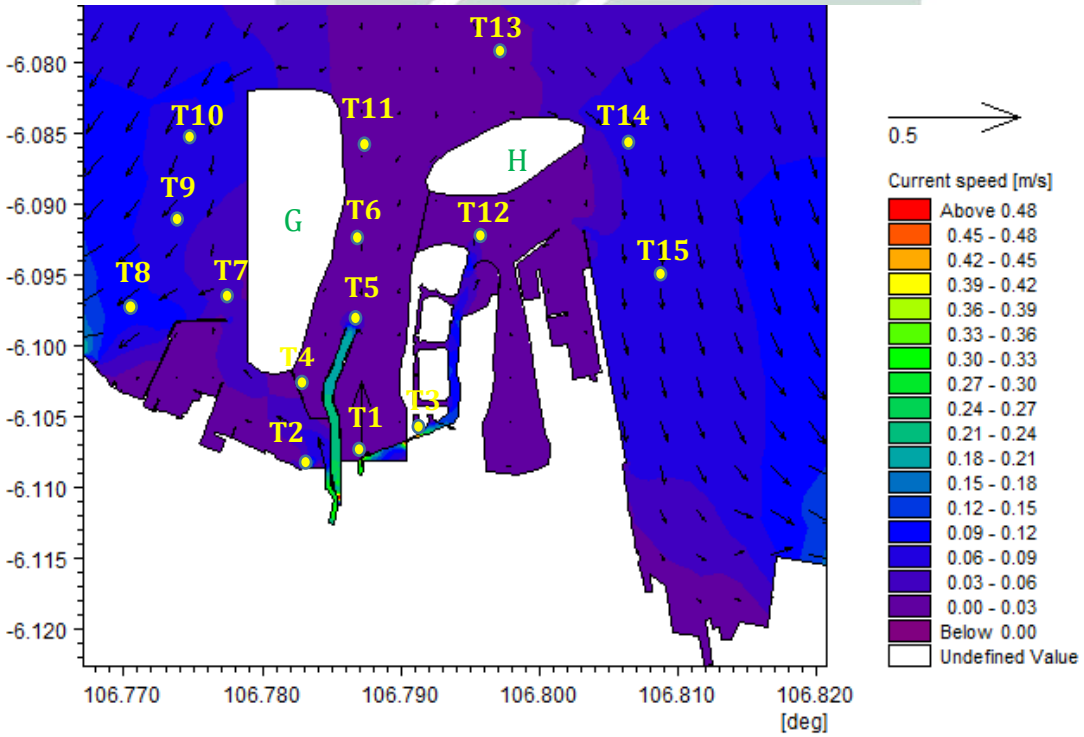


Gambar 4.8. Pola Arus Musim Barat Pasca Reklamasi saat Surut Terendah

Berdasarkan pada Gambar tersebut diketahui pola arus musim barat yang terjadi di perairan pesisir Muara Karang dominan

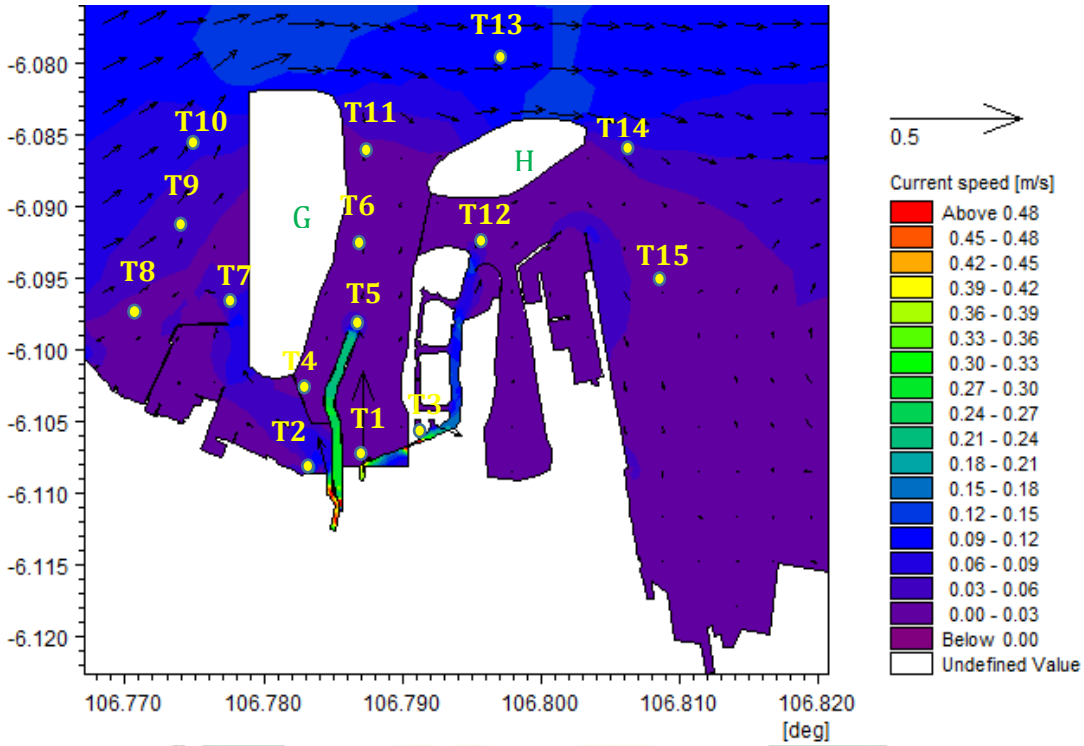
digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

dipengaruhi oleh fenomena pasang surut air laut. yang mana pola arus yang terjadi cenderung bolak balik ke arah selatan pada kondisi pasang tertinggi dan ke arah timur dan timur laut pada saat surut terendah. Kecepatan arus tertinggi terdapat pada area kanal intake dikarenakan bentuk kanal yang berupa celah sempit serta adanya aktivitas pengambilan air laut secara berkesinambungan untuk keperluan air pendingin. Selain itu terlihat tepat pada bagian depan muara karang pola arus dominan dipengaruhi oleh debit sungai karang dan outlet PLTGU sehingga arus dominan bergerak ke arah utara.



Gambar 4.9. Pola Arus Musim Barat *Masterplan* Reklamasi saat Pasang Tertinggi

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 4.10. Pola Arus Musim Barat *Masterplan* Reklamasi saat Surut Terendah

Kecepatan arus musim barat kondisi pasca reklamasi dengan masterplan reklamasi ditinjau pada 15 titik pengamatan ditunjukkan pada Tabel 4.2. Berdasarkan Tabel tersebut diketahui adanya perubahan arah dan kecepatan arus akibat pulau G dan pulau H. Peningkatan kecepatan arus terjadi pada titik T2, sedangkan pada titik T4 – T15 terjadi penurunan.

Pada titik T1 dan T3 kecepatan arus tidak berubah signifikan, hal ini dikarenakan posisi titik T1 yang berbatasan dengan kanal outlet PLTU. Nilai kecepatan arus pada titik T1 adalah sebesar 0,001 m/s, selain itu pada titik T1 juga tidak dipengaruhi oleh debit limbah PLTU akibat adanya kanal outlet PLTU yang mengarahkan aliran limbah langsung ke pantai Mutiara. Sedangkan pada titik T3 yang berada pada pantai Mutiara kecepatan arus dominan dipengaruhi oleh debit kanal outlet PLTU. Kecepatan arus pada titik T3 adalah 0,3 m/s.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 4.2. Model Arus Perairan Pesisir Muara Karang pada Musim Barat

Model Arus Musim Barat						
Titik Pengamatan	Arus Pasca Reklamasi (m/s)			Arus Masterplan Reklamasi (m/s)		
	Max	Min	Rata-Rata	Max	Min	Rata-Rata
T1	0.007	0.000	0.001	0.007	0.000	0.001
T2	0.043	0.032	0.035	0.043	0.036	0.039
T3	0.343	0.276	0.302	0.339	0.274	0.301
T4	0.093	0.014	0.035	0.018	0.000	0.005
T5	0.119	0.032	0.072	0.067	0.048	0.057
T6	0.149	0.005	0.032	0.039	0.004	0.019
T7	0.276	0.005	0.090	0.106	0.028	0.061
T8	0.261	0.004	0.062	0.198	0.010	0.057
T9	0.273	0.007	0.058	0.190	0.008	0.032
T10	0.334	0.004	0.063	0.214	0.003	0.035
T11	0.192	0.003	0.047	0.033	0.002	0.016
T12	0.120	0.039	0.057	0.059	0.032	0.043
T13	0.279	0.004	0.061	0.242	0.003	0.056
T14	0.260	0.004	0.065	0.119	0.006	0.047
T15	0.135	0.004	0.048	0.106	0.004	0.040

Sumber : Olahan data penulis

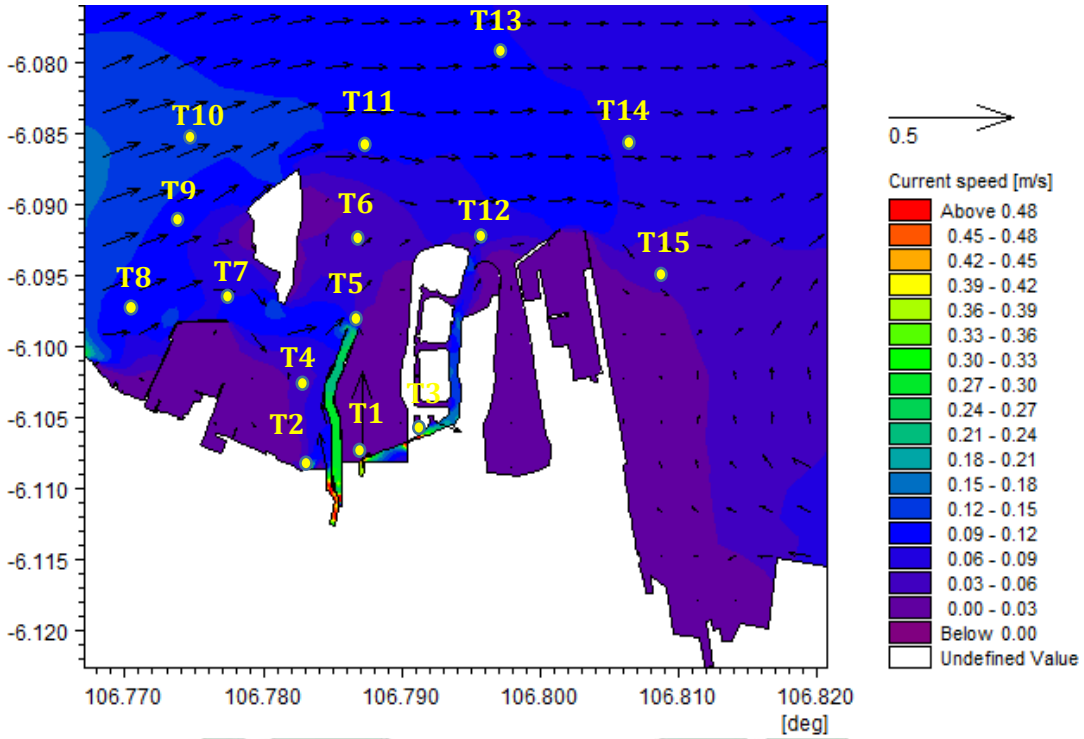
Selanjutnya diketahui pada titik T2 kecepatan arus mengalami peningkatan dengan adanya pulau reklamasi,. Nilai kecepatan rata – rata pasca reklamasi adalah 0,035 m/s sedangkan pada masterplan sebesar 0.039 m/s. Hal ini dikarenakan tereduksinya massa air yang bergerak ke titik T2 akibat adanya pulau G. Dengan demikian kecepatan arus pada titik T2 dominan dipengaruhi oleh debit outlet PLTGU. Pada titik T4 – T15 kecepatan arus mengalami penurunan. Hal ini diakibatkan arus pasang surut terhalang oleh adanya pulau G dan pulau H. Kecepatan arus pasca reklamasi pada titik T4 – T15 adalah 0,032 – 0,090 m/s, sedangkan kecepatan arus masterplan reklamasi berkisar 0,005 – 0,057 m/s.

4.4.2 Pola Arus Musim Timur

Pola arus musim timur perairan pesisir Muara Karang pada pasca reklamasi kondisi pasang tertinggi dan surut terendah masing - masing ditampilkan pada Gambar 4.11. dan Gambar 4.12. sedangkan kondisi

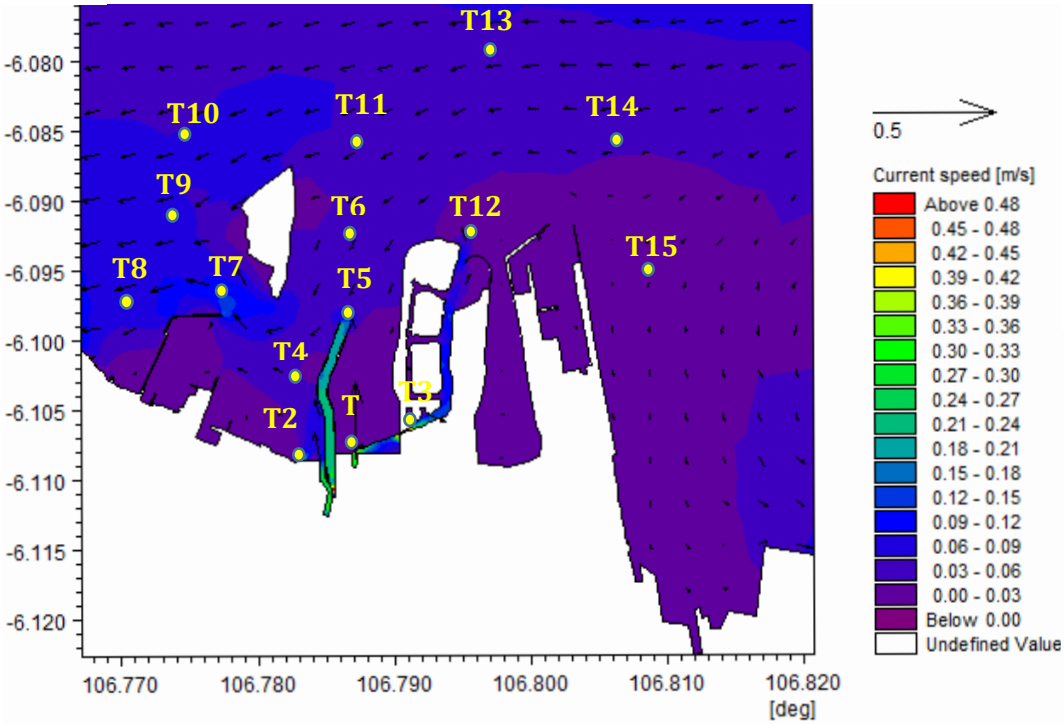
digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

masterplan reklamasi ditunjukkan pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14. Berdasarkan pada Gambar tersebut diketahui pergerakan arus dominan dipengaruhi oleh arus pasang surut yang bergerak ke arah barat daya pada kondisi pasang tertinggi dan ke arah timur dan timur laut saat surut terendah.

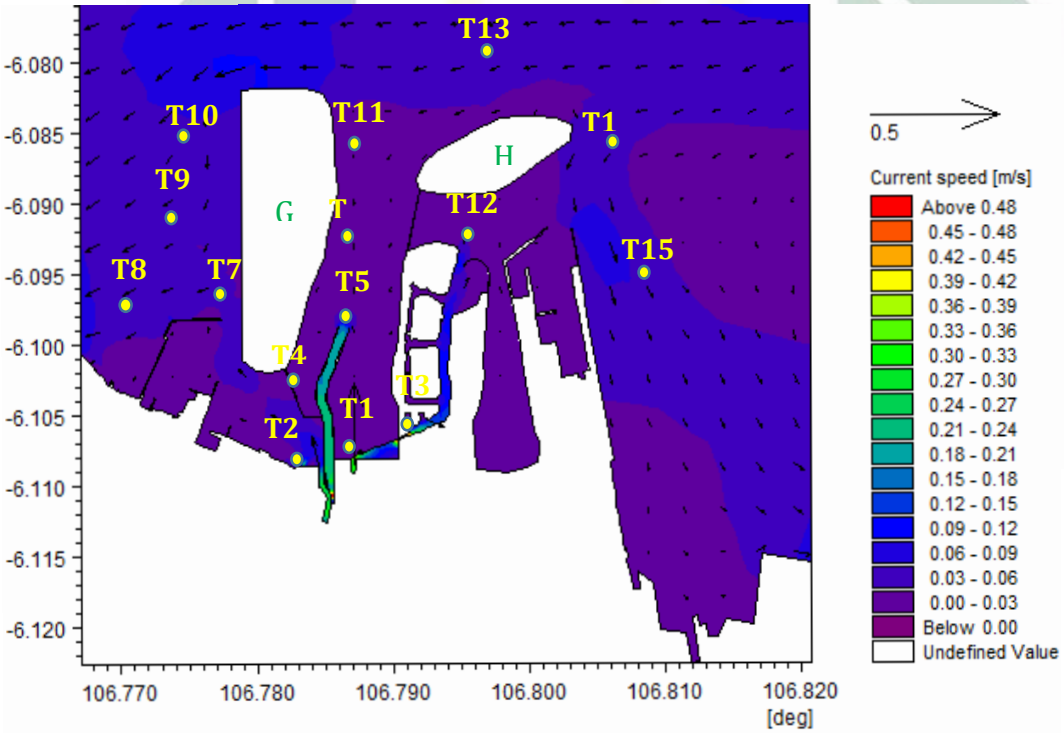


Gambar 4.11. Pola Arus Musim Timur Pasca Reklamasi saat Pasang Tertinggi

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

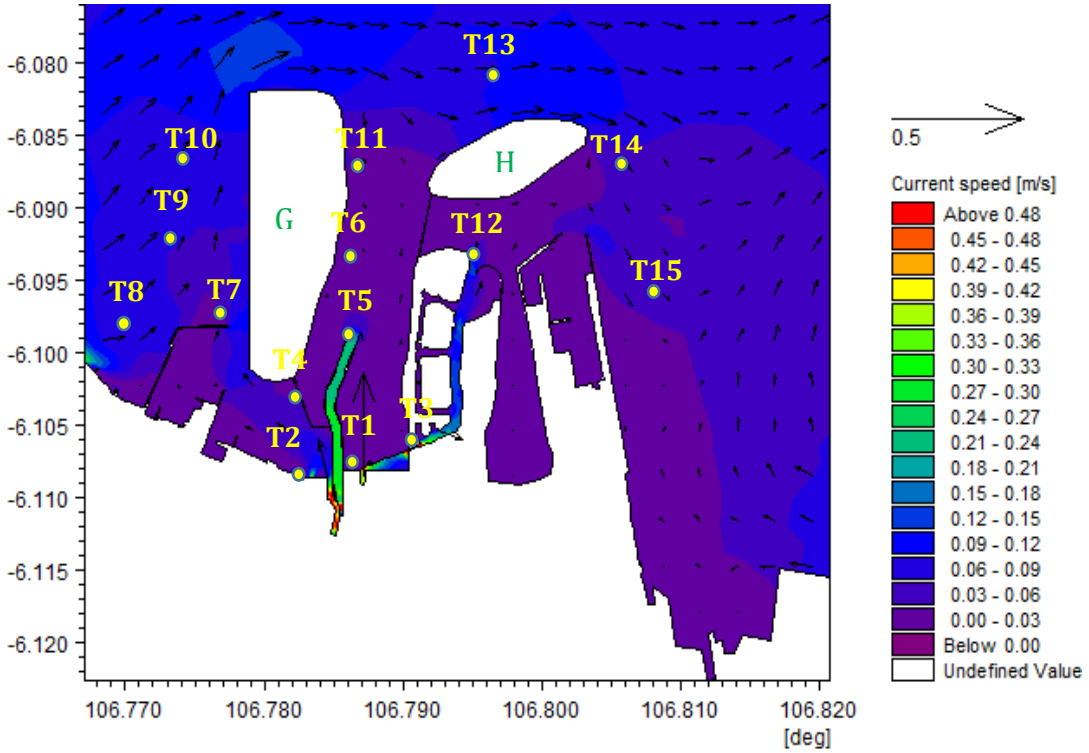


Gambar 4.12. Pola Arus Musim Timur Pasca Reklamasi saat Surut Terendah



Gambar 4.13. Pola Arus Musim Timur *Masterplan* Reklamasi saat Pasang Tertinggi

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 4.14. Pola Arus Musim Timur *Masterplan* Reklamasi saat Surut Terendah

Diketahui bahwa kecepatan arus musim timur pasca reklamasi berbeda dengan kondisi masterplan reklamasi. Pada kondisi masterplan reklamasi kecepatan arus dominan lebih rendah karena terhalang oleh Pulau G dan H. Nilai kecepatan arus musim timur pada titik pengamatan ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Berdasarkan Tabel 4.3 diketahui nilai kecepatan arus musim timur pada titik pengamatan T1 adalah sebesar 0,001 m/s baik pada pasca reklamasi maupun pada kondisi masterplan reklamasi. Pada titik T2 kecepatan rata – rata pada pasca reklamasi adalah 0,035 m/s. Arus pada titik T2 dipengaruhi oleh pertemuan arus pasang surut dengan arus akibat debit outlet PLTGU. Pada kondisi masterplan reklamasi kecepatan arus pada titik T2 adalah 0,039 m/s serta dominan dipengaruhi oleh debit outlet PLTGU. Hal ini dikarenakan arus pasang surut yang mengarah ke titik T2 terhalang oleh pulau G dan kanal pembatas antara bagian selatan pulau G dengan kanal intake. Pada titik T3 yang berada

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

pada kanal Outlet PLTU didapatkan kecepatan arus rata – ratanya adalah 0,3 m/s baik pada kondisi pasca reklamasi serta masterplan reklamasi. Kecepatan arus pada titik T3 dominan dipengaruhi oleh debit Outlet PLTU.

Tabel 4.3. Model Arus Perairan Pesisir Muara Karang pada Musim Timur

Model Arus Musim Timur						
Titik Pengamatan	Arus Pasca Reklamasi (m/s)			Arus Masterplan Reklamasi (m/s)		
	Max	Min	Rata-Rata	Max	Min	Rata-Rata
T1	0.004	0.000	0.001	0.005	0.000	0.001
T2	0.039	0.030	0.035	0.045	0.035	0.039
T3	0.409	0.264	0.304	0.346	0.222	0.302
T4	0.068	0.019	0.033	0.016	0.000	0.003
T5	0.104	0.023	0.061	0.105	0.050	0.056
T6	0.072	0.003	0.031	0.082	0.005	0.020
T7	0.203	0.004	0.085	0.114	0.029	0.060
T8	0.180	0.004	0.065	0.162	0.003	0.054
T9	0.184	0.007	0.068	0.136	0.009	0.046
T10	0.225	0.006	0.076	0.150	0.006	0.047
T11	0.112	0.006	0.048	0.080	0.004	0.016
T12	0.129	0.037	0.059	0.061	0.023	0.043
T13	0.173	0.005	0.067	0.141	0.004	0.058
T14	0.180	0.003	0.070	0.156	0.004	0.053
T15	0.150	0.004	0.050	0.137	0.003	0.044

Pada titik T4 terjadi penurunan kecepatan arus yang cukup signifikan dengan adanya pulau reklamasi dan kanal pembatas. Pada kondisi pasca reklamasi kecepatan arus adalah sebesar 0,033 m/s, sedangkan pada kondisi masterplan kecepatan arus sebesar 0,003 m/s. Hal ini dikarenakan lokasi titik T4 yang berbatasan dengan kanal pembatas antara pulau G dan kanal *intake*. Pada titik T5 – T15 juga terjadi penurunan kecepatan arus. Pada kondisi pasca reklamasi kecepatan arus pada titik T5 – T15 berkisar 0,031 – 0,085 m/s, sedangkan pada *masterplan* reklamasi kecepatan arusnya berkisar 0,020 – 0,058 m/s. Hal ini diakibatkan arus pasang surut yang dominan

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

bergerak ke arah barat dan timur terhalang oleh adanya pulau reklamasi.

4.4.3 Verifikasi Hasil Model Pola Arus di Perairan Pesisir Muara Karang

Menurut Rudyani (2013) suatu model dikatakan cukup sesuai dengan kondisi lapangan apabila nilai persen error relatif <15%. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai kecepatan arus rata-rata hasil model pada saat pasang adalah 0.20 m/s sedangkan pada kondisi surut sebesar 0,19 m/s. Kecepatan arus rata – rata hasil pengukuran lapangan adalah 0,20 m/s pada kondisi pasang dan surut. Didapatkan nilai persen error relatif sebesar 0,193% pada kondisi pasang dan 5,1% pada kondisi surut. Dengan demikian model arus yang dihasilkan pada penilitian ini sesuai dengan kondisi di lapangan. Titik pengukuran arus ditunjukkan pada Gambar 4.15.

Gambar 4.15. Lokasi pengukuran arus laut

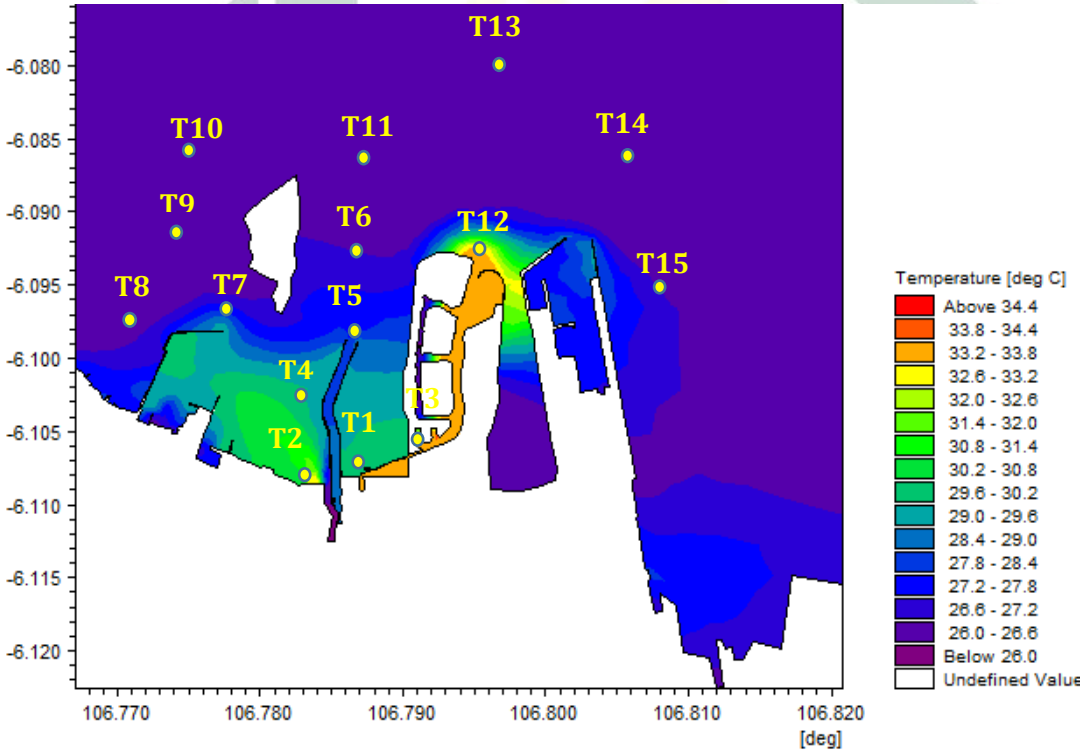
Sumber : Google Earth

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

4.5 Pola Sebaran Panas Limbah Air Kanal Pendingin PT PJB UP Muara Karang

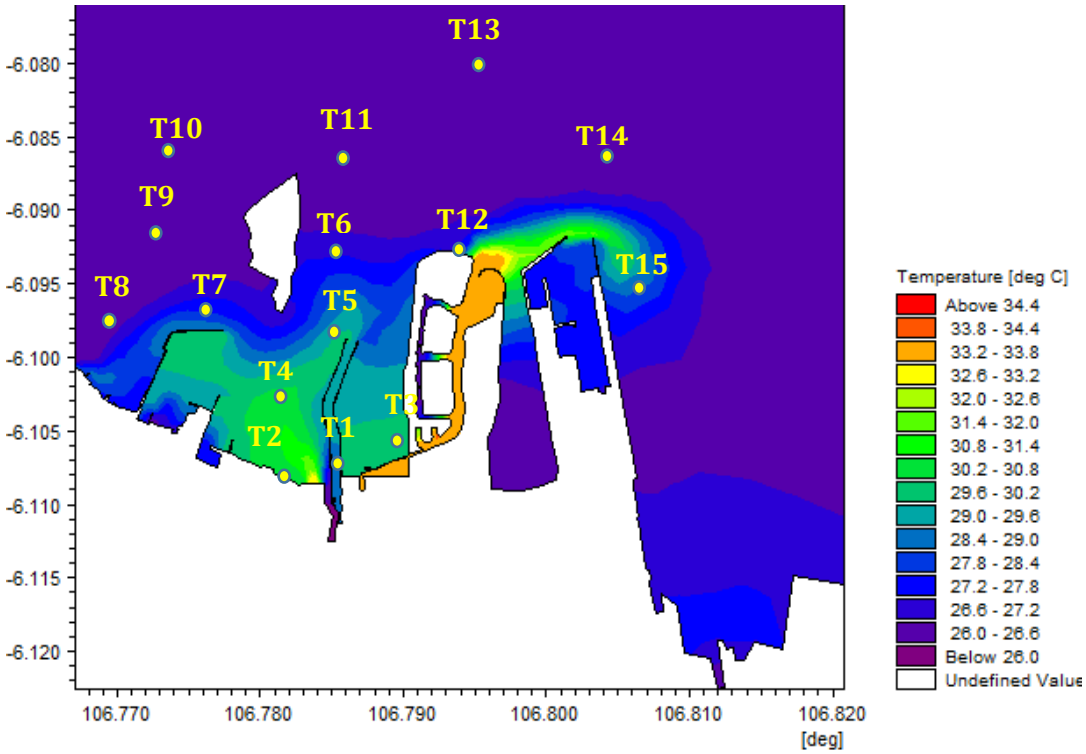
4.5.1 Pola Sebaran Panas Limbah Air Kanal Pendingin pada Musim Barat dan Musim Timur

Hasil simulasi pola sebaran panas pada musim barat pasca reklamasi pada kondisi pasang tertinggi dan surut terendah masing – masing ditampilkan pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17, sedangkan kondisi masterplan reklamasi ditunjukkan pada Gambar 4.18 dan 4.19. Pola sebaran panas musim timur pasca reklamasi ditampilkan pada Gambar 4.21 dan Gambar 4.22. Selanjutnya sebaran panas masterplan reklamasi musim timur kondisi pasang tertinggi dan surut terendah masing – masing ditampilkan pada Gambar 4.23 dan Gambar 4.24.



Gambar 4.16. Pola Sebaran Panas Musim Barat Pasca Reklamasi saat Pasang Tertinggi

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 4.17. Pola Sebaran Sebaran Panas Musim Barat Pasca Reklamasi saat Surut Terendah

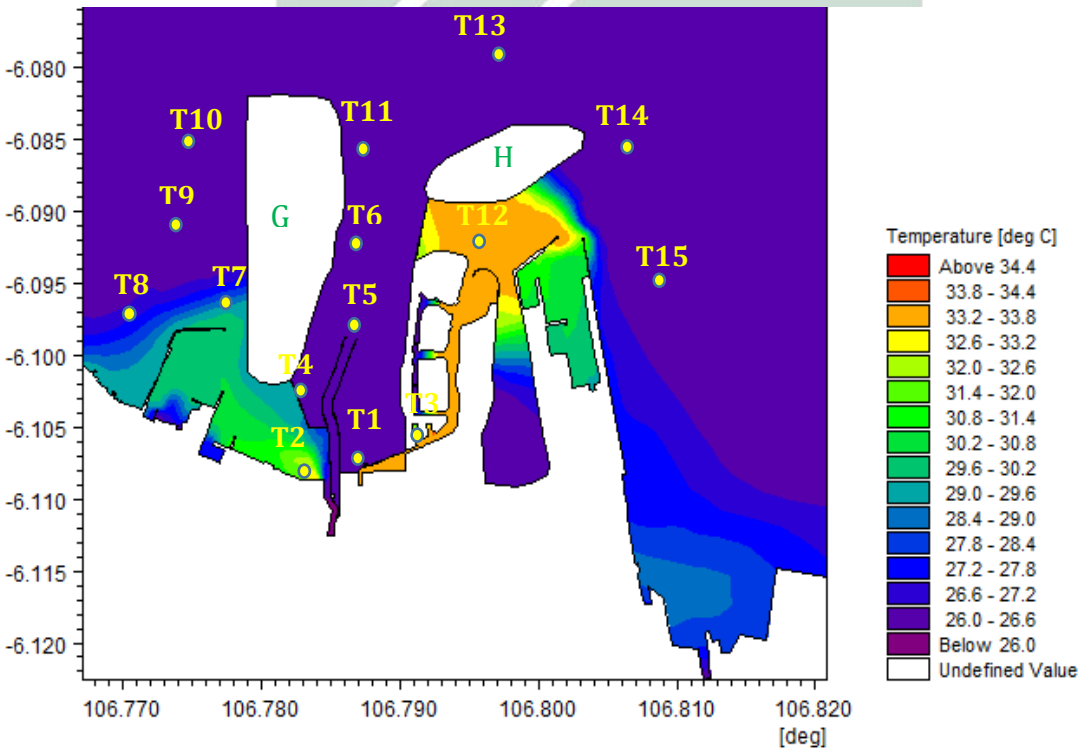
Menurut Cahyani (2011) sebaran panas pada badan air laut sangat dipengaruhi oleh arus, dimana semakin tinggi kecepatan arus maka semakin besar juga proses adveksi yang terjadi. Adveksi merupakan proses perpindahan panas yang dipengaruhi oleh aliran. Selain itu sebaran panas pada badan air laut juga dipengaruhi oleh proses difusi. Difusi merupakan proses perpindahan panas dalam bentuk rambatan dari air dengan suhu tinggi ke air yang memiliki suhu lebih rendah.

Berdasarkan pada Gambar 4.17, diketahui bahwa pola sebaran panas yang terjadi pada kondisi surut terendah memiliki sebaran yang lebih luas ke arah laut lepas dibanding dengan kondisi pasang tertinggi. Hal ini dipengaruhi oleh arus dominan bergerak menjauhi daratan pada kondisi surut. Selain itu volume dan massa air laut pada kondisi surut terendah juga lebih rendah dibanding dengan kondisi pasang tertinggi

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

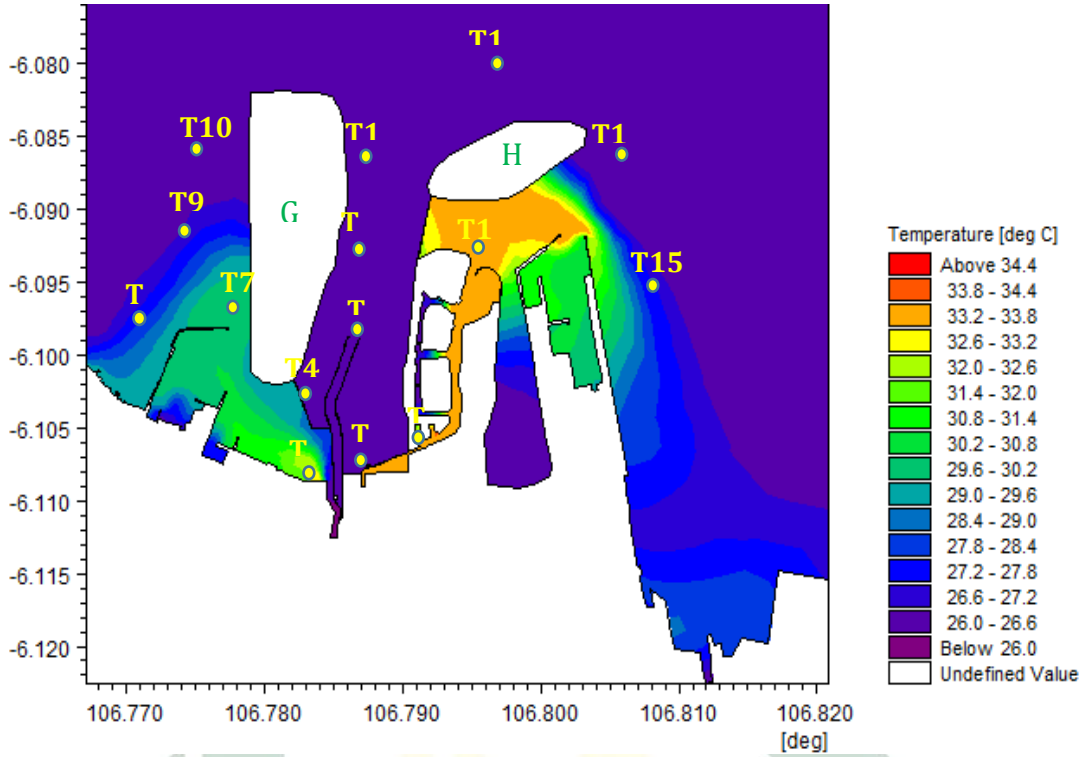
yang mengakibatkan meningkatnya proses difusi pada sebaran panas secara horizontal.

Hasil tersebut juga sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh Kasman (2010) yang mana pada kondisi surut massa air panas menyebar lebih luas ke laut lepas. Pada kondisi surut terendah dimana arus dominan bergerak ke arah timur dan timur laut, sebaran panas dari kanal outlet PLTU lebih jauh ke arah timur. Grafik perbandingan sebaran panas kondisi pasca reklamasi dengan masterplan reklamasi pada musim barat ditunjukkan pada Gambar 4.20.

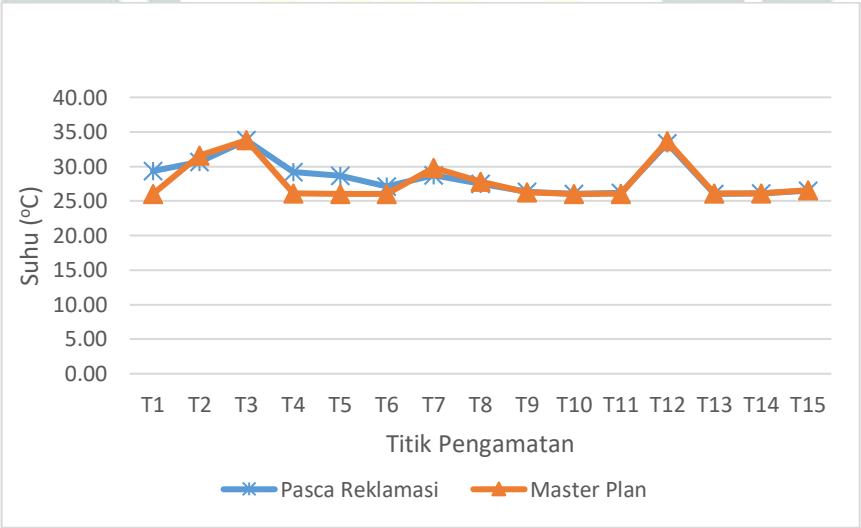


Gambar 4.18. Pola Sebaran Panas Musim Barat Masterplan Reklamasi Kondisi Pasang Tertinggi

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 4.19. Pola Sebaran Panas Musim Barat Masterplan Reklamasi Kondisi Surut Terendah



Gambar 4.20. Grafik Sebaran panas Musim Barat Kondisi Pasca Reklamasi dan Masterplan Reklamasi

Sumber : Olahan data penulis

Pada titik T1 yang berada tepat didepan kanal outlet PLTU didapatkan penurunan suhu pada masterplan reklamasi, hal ini dikarenakan kanal pembatas pada pulau G dan pulau H yang

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

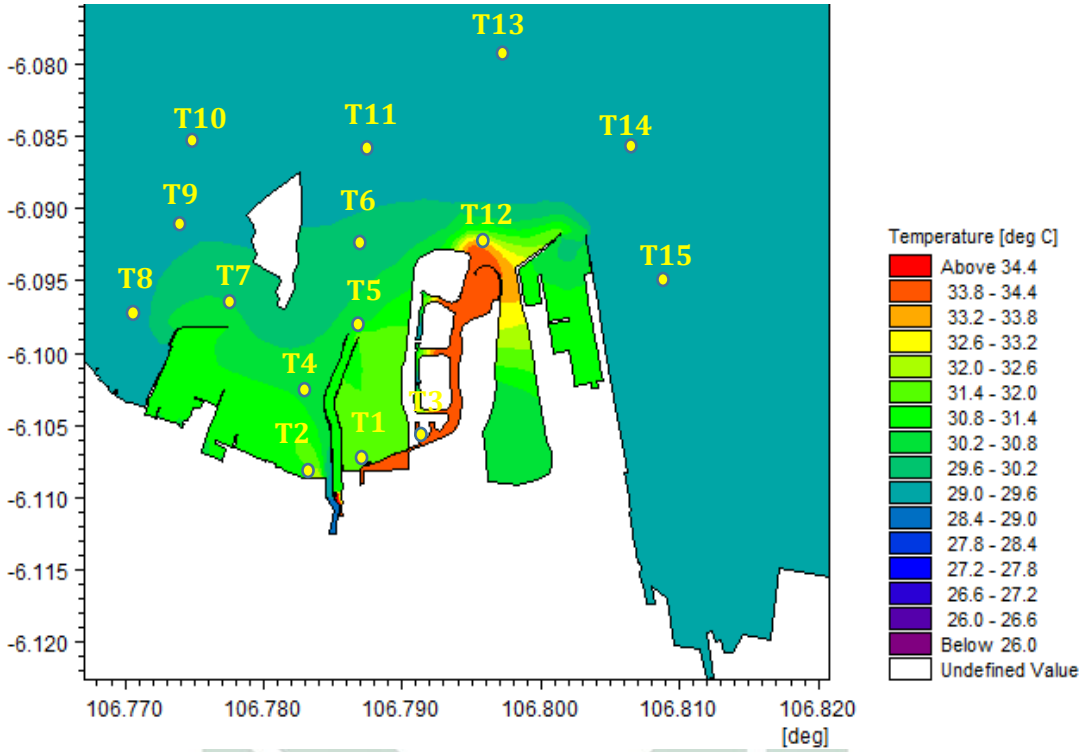
menghalangi massa air panas dari PLTU dan PLTGU bergerak ke arah kanal intake dan titik T1. Suhu rata – rata musim barat di titik T1 pada kondisi pasca reklamasi adalah adalah 29,3°C, sedangkan pada kondisi masterplan reklamasi adalah 26,06°C. Pada titik T2 yang berada didepan outlet PLTGU terjadi peningkatan suhu perairan. Pada kondisi pasca reklamasi didapatkan suhu rata – rata sebesar 30.6 °C, sedangkan pada kondisi masterplan reklamasi suhu mencapai 31,62°C. Hal ini dikarenakan semakin sempitnya wilayah sebaran massa air panas dari outlet PLTGU akibat adanya kanal pembatas antara pulau G dengan kanal intake.

Pada titik T3 wilayah pantai Mutiara yang juga merupakan jalur outlet PLTU suhu rata – rata tidak berubah yaitu 33.8 °C. Pada titik T4 suhu rata – ratanya adalah 29,2 °C, sedangkan pada kondisi masterplan reklamasi suhu rata – rata adalah 26,07. Penurunan tersebut dikarenakan adanya kanal pembatas antara pulau G dan kanal intake sehingga massa air panas dari PLTGU langsung bergerak ke arah sisi barat pulau G. Hal serupa juga terjadi pada titik T5 dan titik T6. Diketahui suhu rata – rata titik T5 adalah 28,66°C dan T6 adalah 27,14°C, sedangkan pada kondisi masterplan reklamasi didapatkan suhu sebesar 26.06°C.

Pada titik T7 dan T8 suhu rata – rata 28,70°C dan 27.47 °C, sedangkan pada kondisi masterplan reklamasi adalah 29,80 °C dan 27,81 °C. Peningkatan tersebut diakibatkan oleh massa air panas limbah outlet PLTGU yang langsung mengarah ke sisi barat pulau G akibat adanya kanal pembatas. Pada titik T9 – T11 tidak didapatkan perubahan suhu yang signifikan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.20. Suhu perairan pada titik T9 – T11 berkisar 26,06 – 26,3 °C. Selanjutnya pada titik T12 – T15 terjadi peningkatan suhu perairan, suhu perairan pasca reklamasi berkisar 26,02 – 33,33°C, sedangkan pada kondisi masterplan reklamasi suhu berkisar 26,07 – 33,70 °C. Peningkatan tersebut diakibatkan adanya kanal pembatas antara Tanjung Pluit dengan sisi

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

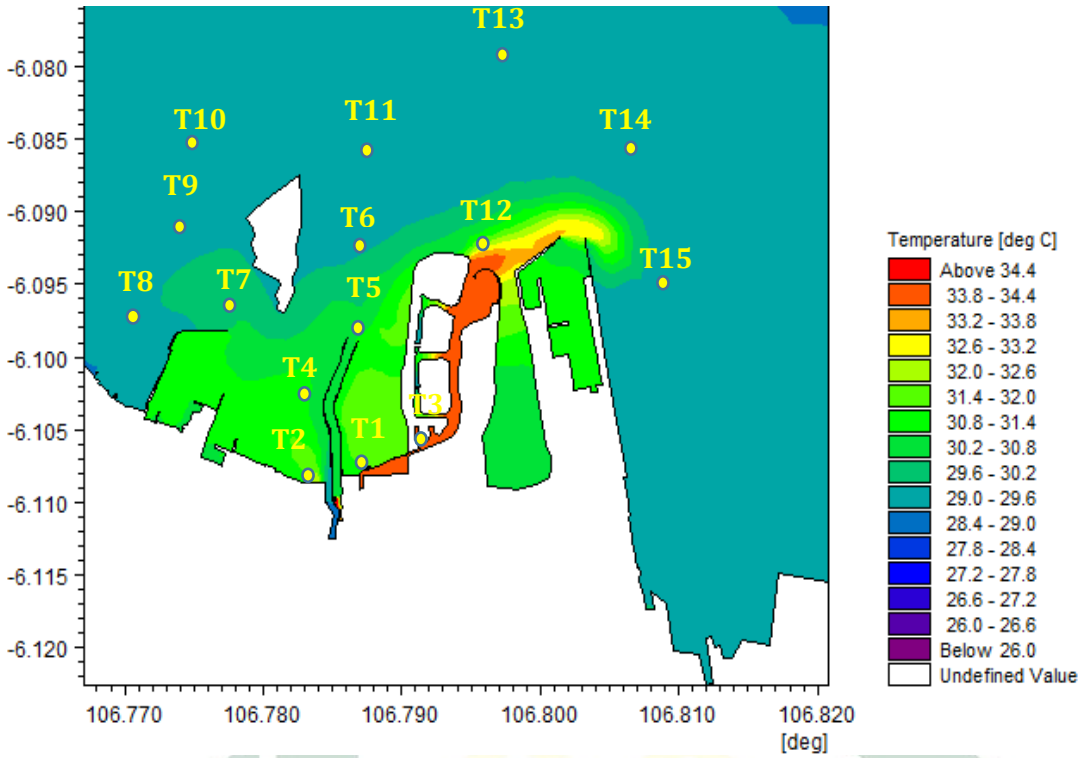
barat pulau H. Dengan demikian seluruh massa air panas limbah PLTU akan mengalir ke sisi timur dan mengakibatkan peningkatan suhu pada sisi tersebut. Selanjutnya pola sebaran panas pada musim timur pasca reklamasi ditunjukkan pada Gambar 4.21 dan 4.22, sedangkan masterplan reklamasi ditunjukan pada Gambar 4.23 dan 4.24



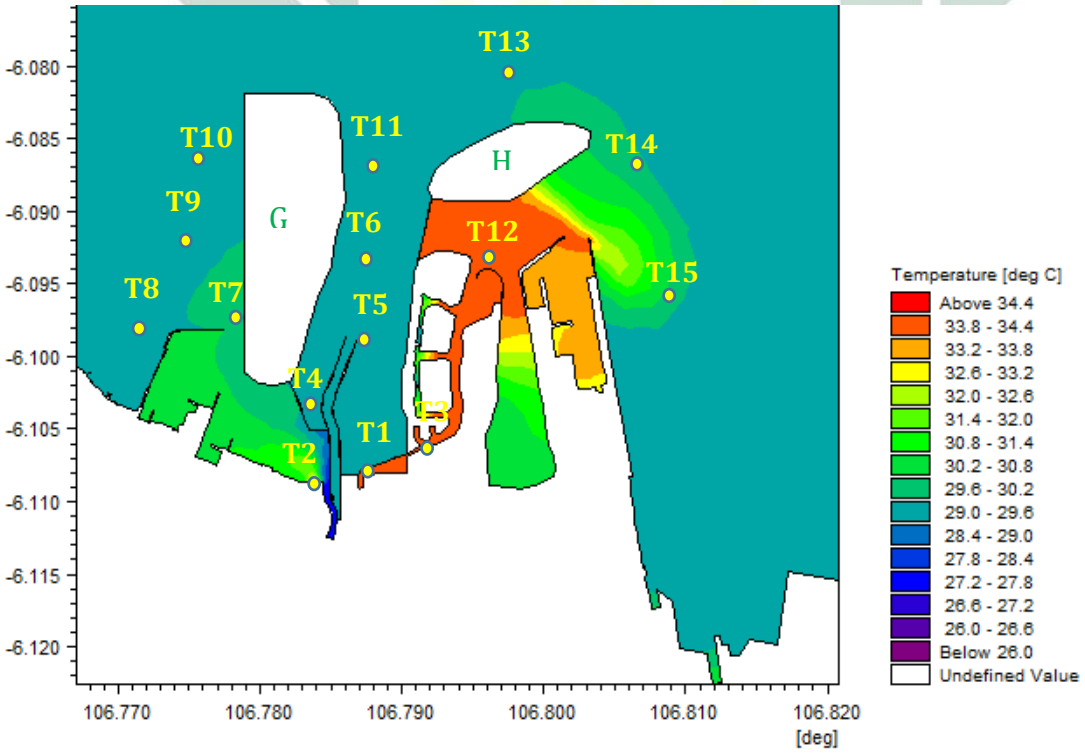
Gambar 4.21. Pola Sebaran Panas Musim Timur Pasca Reklamasi Kondisi Pasang tertinggi.

Berdasarkan pada Gambar 4.21 dan 4.22, diketahui pola sebaran panas limbah air kanal pendingin pada musim timur sedikit berbeda dengan musim barat, dimana pada bagian timur terlihat sebaran panas lebih sempit dibanding dengan musim barat. Hal ini dikarenakan pada musim timur kecepatan arus ke arah timur lebih rendah akibat adanya gaya gesek angin yang dominan bergerak ke arah berlawanan.. Kecepatan arus yang lebih tinggi akan meningkatkan proses adveksi pada proses dispersi panas (Cahyani, 2011). Grafik sebaran panas perairan pada musim timur ditunjukkan pada Gambar 4.25.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

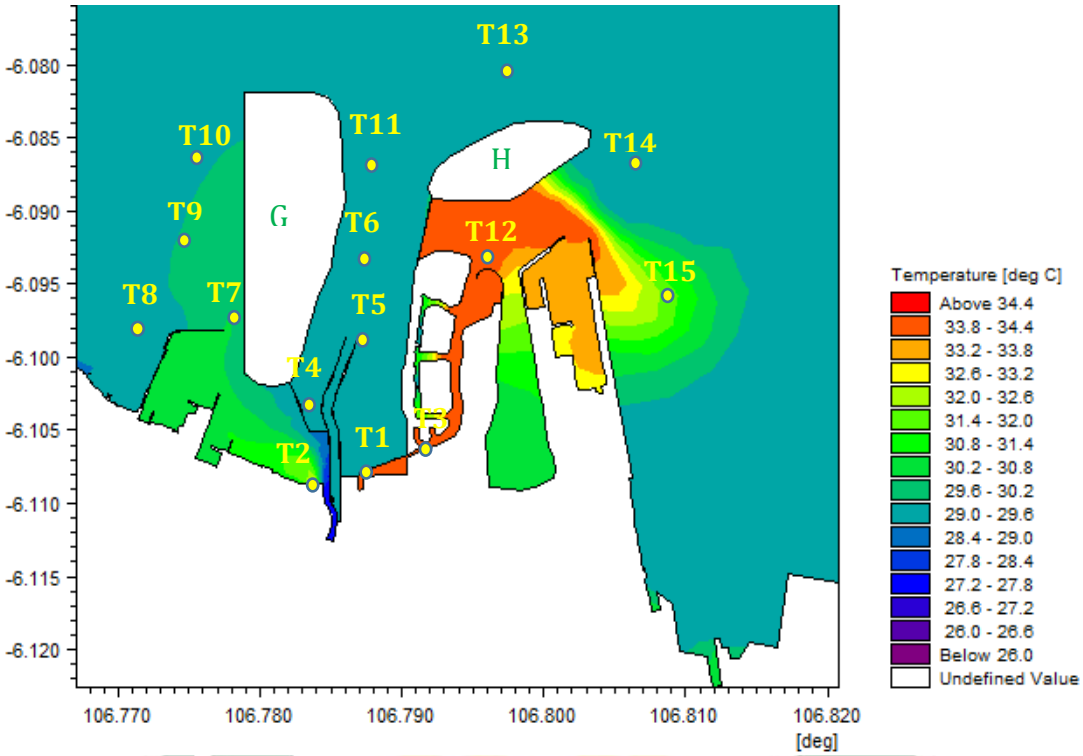


Gambar 4.22. Pola Sebaran Panas Musim Timur Pasca Reklamasi Kondisi Surut terendah.

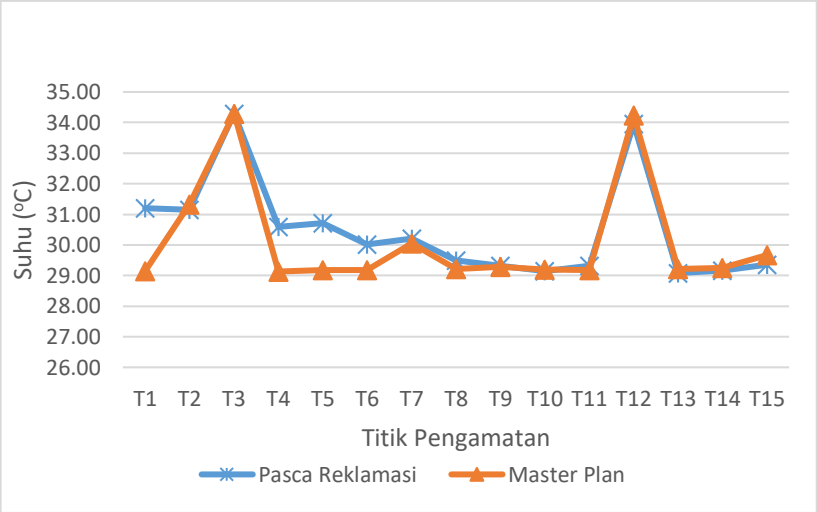


Gambar 4.23. Pola Sebaran Panas Musim Timur *Masterplan* Reklamasi saat Pasang Tertinggi.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 4.24. Pola Sebaran Panas Musim Timur *Masterplan* Reklamasi saat Surut Terendah.



Gambar 4.25. Grafik Sebaran panas Musim Timur Kondisi Pasca Reklamasi dan Masterplan Reklamasi

Sumber : Olahan data penulis

Grafik sebaran panas perairan musim timur sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4.25, menunjukkan adanya perbedaan pola sebaran panas pada kondisi pasca reklamasi dengan kondisi masterplan

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

reklamasi. Pada kondisi masterplan penurunan suhu terjadi di titik T1, T4, T5, T6, T7, T8, T9 dan T11, sedangkan pada titik T2, T10, T12, T13, T14, dan T15 terjadi peningkatan suhu perairan. Perbedaan sebaran panas tersebut dominan dipengaruhi oleh perubahan pola arus.

Pada kondisi pasca reklamasi, titik T1 yang berada tepat didepan kanal outlet PLTU memiliki suhu rata – rata sebesar 31,2 ^{o}C. Kemudian pada kondisi masterplan terjadi penurunan suhu hingga 29,15 ^{o}C. Pada titik T2 yang berada didepan outlet PLTGU didapatkan suhu rata – rata sebesar 31.15 ^{o}C, sedangkan pada kondisi masterplan reklamasi didapatkan suhu sebesar 31,32 ^{o}C. Peningkatan tersebut terjadi akibat berkurangnya massa air laut dapat masuk ke titik T2 akibat adanya kanal pembatas antara pulau G dan kanal intake. Selanjutnya pada titik T3 yang juga merupakan jalur outlet PLTU didapatkan suhu rata – rata 34.3 ^{o}C.

Pada titik T4, T5, T6, dan T11 didapatkan suhu rata – rata masing - masing adalah 30.6^{o}C, 30.7^{o}C, 30.02^{o}C dan 29,32 ^{o}C. Suhu perairan tersebut selanjutnya mengalami penurunan akibat adanya kanal pembatas pada pulau G dan pulau H yang menghalangi masuknya massa air panas limbah PLTU dan PLTGU. Pada kondisi masterplan reklamasi suhu rata – rata perairan pada titik T4, T5, T6, dan T11 berkisar 29,13 ^{o}C - 29,18 ^{o}C. Pada titik T7 suhu rata – rata kondisi pasca reklamasi adalah 30,2^{o}C, yang mana suhu tersebut masih dipengaruhi oleh sebaran panas limbah PLTU dan PLTGU. Pada kondisi masterplan dimana terdapat kanal pembatas pada pulau H, maka suhu limbah PLTU tidak lagi berpengaruh pada titik T7, sehingga suhu mengalami sedikit penurunan menjadi 30,05 ^{o}C.

Pada titik T8 terjadi penurunan suhu 29,49 ^{o}C menjadi 29,21 ^{o}C pada kondisi masterplan reklamasi. Hal ini dikarenakan pada musim timur pergerakan massa air panas dominan bergerak ke arah utara dengan dipengaruhi arus. Arus yang bergerak ke arah barat terhalang oleh adanya pulau G dan kanal pembatas sehingga sebaran panas ke arah

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

titik T8 menurun. Hal serupa juga terjadi pada titik T9 dimana suhu pada kondisi pasca reklamasi adalah 29,32 ^{o}C sedangkan pada kondisi masterplan reklamasi adalah 29,29 ^{o}C. Di samping itu pergerakan massa air panas PLTGU yang dominan bergerak ke arah utara juga berakibat pada peningkatan suhu di titik T10, dimana pada kondisi pasca reklamasi adalah 29,14^{o}C, menjadi 29,20^{o}C pada kondisi masterplan reklamasi.

Kondisi masterplan reklamasi juga mengakibatkan terjadinya peningkatan suhu pada titik T12, T13, T14, dan T15. Sebaran panas perairan pasca reklamasi pada titik T12, T13, T14, dan T15 adalah 33,96 ^{o}C, 29,08 ^{o}C, 29,16^{o}C, dan 29,36^{o}C, sedangkan pada kondisi masterplan menjadi 34,23 ^{o}C, 29,22 ^{o}C, 29,24 ^{o}C, dan 29,67 ^{o}C. Peningkatan ini diakibatkan sebaran massa air panas PLTU terhalang oleh pulau H dan kanal pembatas antara pulau H dan tanjung pluit sehingga terjadilah peningkatan suhu pada bagian depan (utara) dan timur tanjung pluit.

4.5.2 Verifikasi Model Sebaran Panas pada Titik Pengamatan

Model sebaran panas rata - rata pada masing – masing titik pengamatan selanjutnya diverifikasi dengan hasil pengukuran pada bulan Juli 2017 melalui perhitungan persen error relatif. Menurut Rudyani (2013) suatu model dikatakan cukup sesuai dengan kondisi lapangan apabila nilai persen error relatif <15%. Hasil perhitungan persen error relatif model sebaran panas dengan hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.4. Verifikasi Model Sebaran Temperatur (^{o}C) Perairan Pesisir Muara Karang

Titik Pengamatan	Model	Pengukuran	% Error Relatif
T1	31.2	30.8	1.32
T2	31.2	30.3	2.82
T3	34.3	31.3	9.57
T4	30.6	31.0	1.32
T5	30.7	31.1	1.25
T6	30.0	31.1	3.48

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Berdasarkan pada Tabel 4.6, diketahui nilai persen error relatif pada Titik T1 nilai persen error relatifnya adalah 1.32%, Titik T2 adalah 2.82%, kemudian T3 adalah 9.57%, selanjutnya pada titik T4 dan T5 masing – masing sebesar 1.32% dan 1.25%, dan terakhir pada titik T6 adalah 3.48%. Dengan demikian maka dikatakan hasil model sebaran temperatur yang dilakukan cukup baik dan sesuai dengan kondisi lapangan.

4.6 Analisa Korelasi Sebaran panas Perairan terhadap Kelimpahan Fitoplankton

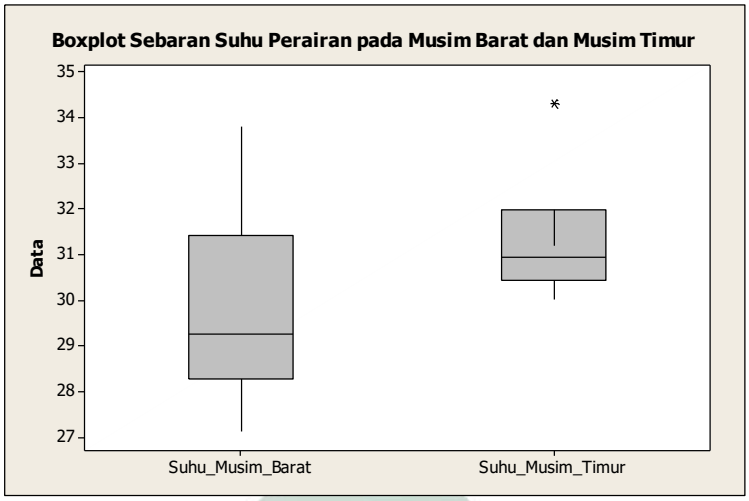
Keberadaan fitoplankton pada suatu perairan dipengaruhi oleh parameter lingkungan, yaitu cahaya, zat hara, suhu, derajat keasaman (pH), arus, turbulensi dan kedalaman kritis, serta berkurangnya pemangsa (Asriyana dan Yuliana, 2012). Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh sebaran panas, pada penelitian ini dilakukan analisa korelasi sebaran panas terhadap kelimpahan fitoplankton. Data kelimpahan fitoplankton dan hasil model suhu perairan rata – rata pasca reklamasi pada enam titik pengamatan ditunjukkan pada Tabel 4.5. Kemudian boxplot data sebaran panas dan kelimpahan fitoplankton masing – masing ditunjukan pada Gambar 4.26 dan Gambar 4.27.

Tabel 4.5. Data kelimpahan fitoplankton dan suhu perairan Muara Karang

Musim	Titik Pengamatan	Jumlah Fitoplankton (Ind/L)	Suhu (^oC)
Barat	T1	310	29.34
	T2	180	30.63
	T3	120	33.79
	T4	220	29.18
	T5	130	28.66
	T6	150	27.14
Timur	T1	110	31.20
	T2	70	31.15
	T3	620	34.30
	T4	160	30.60
	T5	280	30.71
	T6	0	30.02

Sumber : Olahan data penulis

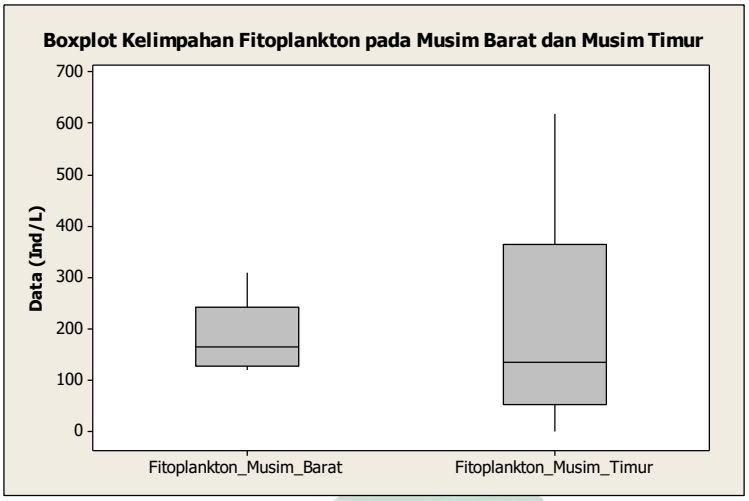
digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 4.26. Boxplot Sebaran panas Perairan Muara Karang pada Musim Timur dan Musim Barat

Berdasarkan Gambar 4.18 diketahui bahwa sebaran panas perairan pada musim barat lebih bervarisasi dibanding dengan musim timur. Nilai suhu terendah pada musim barat adalah 27,14 ^{o}C. Kemudian nilai Q1 (quartil 1) adalah 28,277 ^{o}C, nilai median adalah 29,259 ^{o}C dan nilai Q3 adalah 31,418 ^{o}C. Selanjutnya suhu tertinggi adalah 33,794 ^{o}C. Pada musim timur diketahui nilai suhu terendah adalah 30,02 ^{o}C. Selanjutnya nilai Q1 adalah 30,448 ^{o}C, nilai median sebesar 31,932 ^{o}C, dan nilai Q3 adalah 31,978 ^{o}C. Kemudian didapatkan pula nilai outlier sebesar 34,296 ^{o}C, nilai tersebut merupakan data suhu perairan pada titik T3 yang merupakan jalur kanal outfall PLTU sehingga suhunya jauh lebih tinggi dibanding dengan titik pengamatan lainnya.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id



Gambar 4.27. Boxplot Kelimpahan Fitoplankton Muara Karang pada Musim Timur dan Musim Barat

Berdasarkan Gambar 4.19 diketahui data kelimpahan fitoplankton pada musim timur lebih bervariasi dibanding dengan musim barat. Pada musim barat kelimpahan fitoplankton terendah adalah 120 ind/L. Kemudian nilai Q1 (quartil 1) adalah 127,5 Ind/L, nilai median adalah 165 Ind/L dan nilai Q3 (quartil 3) adalah 242,5 Ind/L. Selanjutnya kelimpahan tertinggi adalah 310 Ind/L. Pada musim timur diketahui nilai kelimpahan fitoplankton terendah adalah 0 Ind/L. Selanjutnya nilai Q1 (quartii 1) adalah 52,5 Ind/L, nilai median sebesar 135 Ind/L, dan nilai Q3 (quartil 3) adalah 365 Ind/L. Kemudian diketahui nilai kelimpahan tertinggi adalah 620 Ind/L.

Analisa korelasi pola sebaran panas terhadap kelimpahan plankton pada perairan pesisir Muara Karang dilakukan untuk mengetahui koefisien korelasinya (r). Koefisien korelasi menunjukkan status hubungan suhu terhadap kelimpahan fitoplankton. Hasil uji korelasi menggunakan software SPSS ditampilkan pada Lampiran C. Klasifikasi nilai koefisien korelasi menurut Sugiyono (2005) ditunjukkan pada Tabel 4.6.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Tabel 4.6. Klasfikasi Koefisien Korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
± 0,00 - 0,199	Sangat Lemah
± 0,20 - 0,399	Lemah
± 0,40 - 0,599	Sedang
± 0,60 - 0,799	Kuat
± 0,80 - 1,00	Sangat Kuat

Hasil perhitungan korelasi suhu perairan terhadap kelimpahan fitoplankton pada musim barat didapatkan koefisien korelasi negatif -0,086. Hasil ini menunjukan korelasi antara suhu dengan kelimpahan fitoplankton sangat lemah. Kemudian nilai signifikansi yang didapatkan adalah 0,872 (sig. > 0,05). Nilai signifikansi tersebut menunjukkan bahwa tingkat kepercayaaan korelasi yang dihasilkan sebesar 12,8% (< 95%). Dengan kata lain tidak terdapat hubungan nyata antara suhu terhadap kelimpahan fitoplankton.

Menurut Asih (2014), suhu yang optimal untuk pertumbuhan fitoplankton berkisar 25°C hingga 32°C. Hubungan negatif suhu terhadap kelimpahan fitoplankton pada musim barat dimungkinkan oleh sebaran panas yang melewati batas toleransi dari struktur komunitas fitoplankton perairan Muara Karang. Suhu normal ambient laut pada musim barat adalah 26°C. Kemudian masuknya limbah air panas kanal pendingin PT. PJB UP Muara Karang mengakibatkan peningkatan suhu hingga mencapai 33,79^{o}C. Dengan demikian peningkatan suhu yang terjadi berkisar 7,79^{o}C dari suhu ambient laut. Selain itu, mengingat rendahnya korelasi suhu terhadap kelimpahan fitoplankton pada penelitian ini, maka kelimpahan fitoplankton pada musim barat lebih dipengaruhi oleh parameter lingkungan lainnya seperti cahaya, zat hara, suhu, derajat keasaman (pH), arus, turbulensi dan kedalaman kritis, serta berkurangnya pemangsa.

Berbeda dengan musim barat, pada musim timur hasil perhitungan korelasi suhu terhadap kelimpahan fitoplankton didapatkan koefisien korelasi positif sebesar 0,543. Dengan demikian

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

maka diketahui pada musim timur suhu berkorelasi positif terhadap kelimpahan fitoplankton dengan kategori sedang. Korelasi positif menunjukkan peningkatan suhu diikuti oleh peningkatan kelimpahan fitoplankton. Kemudian nilai signifikansi yang didapatkan adalah 0,266 (sig. > 0,05). Nilai signifikansi tersebut menunjukkan bahwa tingkat kepercayaaan korelasi yang dihasilkan adalah 73,4% (< 95%). Dengan kata lain tidak terdapat hubungan nyata antara suhu terhadap kelimpahan fitoplankton.

Peningkatan suhu perairan pada batas toleransi akan menstimulir pertumbuhan serta meningkatkan laju metabolisme dan aktivitas fotosintesis fitoplankton (Asriyana dan Yuliana, 2012). Batas toleransi suhu untuk plankton yaitu 35°C (Nybakken 1992). Dengan demikian hubungan positif suhu terhadap kelimpahan fitoplankton yang didapatkan pada musim timur dimungkinkan karena sebaran panas masih berada pada batas toleransi. Selain itu dibandingkan dengan musim barat, peningkatan suhu akibat masuknya limbah air panas PT.PJB UP muara karang yang terjadi pada musim timur juga lebih rendah. Peningkatan yang terjadi pada musim timur hanya berkisar 5,3^{o}C dari suhu ambient. Suhu ambient laut pada musim timur adalah 29°C.

Hasil penelitian sebelumnya diantaranya oleh Pratiwi (2015) pada perairan Malang Rapat Kabupaten Bintan didapatkan korelasi negatif antara suhu perairan dengan kelimpahan fitoplankton dengan koefisien korelasi (r) sebesar -0,26. Kemudian hasil penelitian lain oleh Faturohman dkk (2016) di perairan laut sekitar PLTU Cirebon didapatkan korelasi positif dengan koefisien korelasi (r) adalah 0,006 yang berarti korelasi sangat lemah. Dengan demikian dapat dikatakan hubungan suhu terhadap fitoplankton dapat berkorelasi positif ataupun negatif. Status hubungan fitoplankton dengan suhu tersebut dipengaruhi oleh kemampuan toleransi fitoplankton terhadap perubahan suhu serta kondisi parameter lingkungan lainnya.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Pola arus pasca dan masterplan reklamasi di perairan pesisir Muara Karang ditinjau pada musim timur dan musim barat
   a. Pola arus musim barat cenderung ke arah selatan pada kondisi pasang tertinggi dan ke arah timur dan timur laut pada saat surut terendah. Pada musim timur arus dominan bergerak ke arah barat daya pada kondisi pasang tertinggi dan ke arah timur dan timur laut saat surut terendah.
   b. Kondisi masterplan reklamasi mengakibatkan terjadinya perubahan pola arus. Peningkatan arus terjadi pada titik T2, sedangkan pada titik T4 – T15 terjadi penurunan. Perubahan arus tersebut diakibatkan oleh terhalangnya arus oleh pulau G dan H serta kanal pembatas pada keduanya.
2. Model sebaran panas limbah air kanal pendingin PT. PJB UP Muara Karang di perairan pesisir Muara Karang pada kondisi pasca dan masterplan reklamasi ditinjau pada musim timur dan musim barat.
   a. Pola sebaran panas yang terjadi pada kondisi surut terendah memiliki sebaran yang lebih luas ke arah laut lepas dibanding dengan kondisi pasang tertinggi. Hal ini dipengaruhi oleh arus yang dominan bergerak menjauhi daratan pada kondisi surut.
   b. Kondisi masterplan reklamasi menunjukkan adanya perubahan sebaran panas perairan baik pada musim timur ataupun musim barat. Pada titik T1, T4, T5, T6, T8, T9, dan T11 terjadi penurunan, sedangkan titik T2, T7, T10, T12, T13, T14, dan T15 mengalami peningkatan suhu. Perubahan sebaran sebaran panas tersebut dipengaruhi oleh perubahan pola arus.
3. Pada musim barat suhu berkorelasi negatif terhadap kelimpahan fitoplankton dengan status korelasi lemah, sedangkan pada musim timur suhu berkorelasi positif terhadap kelimpahan fitoplankton

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

dengan kategori sedang. Nilai signifikansi pada kedua musim > 0,05 sehingga tingkat kepercayaan korelasi < 95%. Dengan kata lain tidak terdapat hubungan nyata antara suhu terhadap kelimpahan fitoplankton di perairan pesisir Muara Karang.

5.2. Saran

1. Tingkat kepercayaan analisa korelasi sebaran panas perairan terhadap kelimpahan fitoplankton pada penelitian ini cukup rendah. Hal ini dimungkinkan oleh jumlah data yang belum mencukupi untuk mewakili kondisi perairan Muara Karang. Diperlukan kajian lebih lanjut dengan jumlah data yang cukup.
2. Perlu dilakukan analisa sebaran panas perairan terhadap jenis fitoplankton. Kajian tersebut dapat dilakukan untuk mengetahui jenis fitoplankton yang tahan dan rentan terhadap perubahan suhu di perairan pesisir Muara Karang. Dengan demikian diharapkan akan diketahui jenis fitoplankton yang dapat digunakan sebagai indikator kelayakan suhu perairan untuk kehidupan fitoplankton di perairan Muara Karang.
3. Perubahan arus dan suhu pada kondisi masterplan reklamasi akan berpengaruh terhadap kondisi perairan laut sekitar Muara Karang. Perlu dilakukan kajian lebih lanjut apakah perubahan sebaran arus dan suhu yang terjadi berpotensi berdampak penting terhadap ekologi, ekonomi, sosial dan budaya pada kawasan yang terpapar.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

DAFTAR PUSTAKA

Anam, Chairul. 2015. *Studi Pola Sebaran Panas Air Pendingin di PT.Pembangkitan Jawa-Bali Unit Pembangkit Gresik*. ITS. Surabaya.

Asih, P. 2014. *Produktivitas Primer Fitoplankton di Perairan Teluk Dalam Desa Malang Rapat, Bintan*. Skripsi. UMRAH FIKP. Tanjung Pinang.

Asriyana dan Yuliana. 2012. *Produktivitas Perairan*. PT Bumi Aksara. Jakarta.

Brown et al. 1989. *Ocean Circulation*. New York: Pergamon Press.

Cahyani, Chevy. 2011. *Model Sebaran Panas Air Kanal Pendingin Instalasi Pembangkit Listrik ke Badan Air Laut*. Universitas Indonesia

Djokosetiyanto, D., Rahardjo, S. 2006. *Kelimpahan dan Keanekaragaman Fitoplankton di Perairan Pantai Dadap Teluk Jakarta*. Jurnal Ilmu-ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia, Jilid 13, Nomor 2: 135-141

Effendi H. 2000. *Telaahan kualitas air bagi pengelolaan sumberdaya dan lingkungan perairan. Jurusan manajemen sumberdaya perairan*. Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan. Bogor. Institut Pertanian Bogor.

Faturohman, I., Sunarto., Nurruhwati, I. 2016. *Korelasi Kelimpahan Plankton Dengan Suhu Perairan Laut di Sekitar PLTU Cirebon*. Jurnal Perikanan Kelautan Vol. VII No. 1

Fenchel T. 1978. *Ecology og micro and meiobenthos.* Ann. Rev. Ecol. And Systematic 9: 99 – 121.

http://rakhman.net/2013/07/jenis-sistem-air-pendingin.html (diakses pada 25 Desember 2017).

Indriani,. Kurniawati N,. Hendri M. (2010). *Simulasi Pemodelan Arus Pasang Surut di Luar Kolam Pelabuhan Tanjung Priok Menggunakan Perangkat Lunak SMS 8.1*. Jurnal : Maspari Journal 01 (2010) 79-83.

Kasman., Nurjaya, I.W., Damar, A., Muchsin, I., Arifin, Z. 2010. *Prediksi Sebaran panas dari Air Buangan Sistem Air Pendingin PT. Badak NGL di Perairan Bontang Menggunakan Model Numerik*. Ilmu Kelautan. UNDIP.

Kennish, M. J. (2001*). Practical Handbook of Marine Science*. Third Edition. New Jersey : Institute of Marine and Coastal Sciences, Rutgers University.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Keputusan Menteri Lingkungan Hidup (Kepmen LH) No. 51 Tahun 2004 tentang *Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut*. Kantor Kementerian Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia. Jakarta.

Majewski, W., Miller, D. C. (1979). *Predicting Effect of Power Plant Once-Through Cooling on Aquatic System*. Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

Newell GE and Newell RC. 1977. *Marine Plankton.* A Practical Guide. Fifth Edition. Hutchinson. 244 p.

Nybakken, J. W. 1992. *Biologi Laut; Suatu Pendekatan Ekologis*. PT Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.

PCTMSL (Permanent Committee On Tides And Mean Sea Level). 2017. *Australian Tides Manual*. Intergovermental Committee on Surveying and Mapping.

Pickard, G. L and S. Pond. 1983. *Introductory Dynamical Oceanography*, 2nd Edition. New York: Pergamon Press.

Pratiwi, E.D., Koenawan, C.J., Zulfikar, A. 2015. Hubungan Kelimpahan Plankton terhadap Kualitas Air di Perairan Malang Rapat Kabupaten Bintan Provinsi Kepulauan Riau. FKIP UMRAH.

PT.PLN. 2016. *Adendum Analisis Dampak Lingkungan Hidup (ANDAL) Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (Pltgu) Muara Karang Kapasitas 500 Mw*. PT.PLN

Purba, M. 2004. *Distribution of Suhue and Salinity in the Ocean*, Proceeding of the Seminar on the Development of Marine Radioecology in Indonesia.Jakarta.

Rudyani, F.P., Armono, H.D., Sujantoko. 2013. *Pemodelan Gelombang di Kolam Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong*. JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No. 2

Setiawan, Agus. 2016. *Simulasi Model Hidrodinamika dan Dispersi Termal di Teluk Jakarta Pra- dan Pasca-reklamasi 17 Pulau*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir. Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan. Kementerian Kelautan dan Perikanan.

Stewart, R. H. 2006. *Introduction to Physical Oceanography*, Department of Oceanography. Texas: Texas A&M University.

Triadmojo, Bambang. 1999. *Teknik Pantai*. Beta.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id

Wyrtki, K. 1961. *Physical Oceanography of the Southeast Asian Waters*. Naga Report 2. Scripps Institution Of Oceanography,La Jolla,California,195 pp.

Yulihastin, Erma. 2010. *Mekanisme Interaksi Monsun Asia dan Enso*. Berita Dirgantara Vol. 11 No. 3 September 2010:99-105.

digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id digilib.uinsby.ac.id