

**SKRIPSI**

**PEMODELAN DISPERSI PANAS DARI SISTEM PENDINGIN  
KILANG MIGAS DI PERAIRAN BONTANG**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**AISYAH PUTRI  
D131 191 060**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI****PEMODELAN DISPERSI PANAS DARI SISTEM PENDINGIN  
KILANG MIGAS DI PERAIRAN BONTANG**

Disusun dan diajukan oleh

**Aisyah Putri**  
**D131191060**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 7 Maret 2024  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Mukhsan Putra H., S.T., M.T  
NIP 197305121999031002

Pembimbing Pendamping,



Nur An-nisa Putry Mangarengi, S.T., M.Sc.  
NIP 199201142021074001

Ketua Departemen Teknik Lingkungan,



Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM., AER.  
NIP 197204242000122001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Aisyah Putri

NIM : D131191060

Program Studi : Teknik Lingkungan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Pemodelan Dispersi Panas dari Sistem Pendingin Kilang Migas di Perairan  
Bontang

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 18 Maret 2024

Yang Menyatakan

  
Aisyah Putri

## ABSTRAK

**AISYAH PUTRI.** *Pemodelan Dispersi panas dari Sistem Pendingin Kilang Migas di Perairan Bontang* (dibimbing oleh Mukhsan Putra Hatta dan Nur Annisa Putry Mangarengi)

Kota Bontang merupakan kota yang berada di pesisir timur yang langsung berbatasan dengan Selat Makassar, dimana air laut di perairan Bontang dimanfaatkan sebagai zat pendingin di industri migas untuk menghasilkan produk *Liquefied Natural Gas* (LNG) dan *Liquefied Petroleum Gas* (LPG). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola sebaran suhu akibat buangan limbah panas sistem pendingin di perairan Bontang pada saat pasang dan surut.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan model hidrodinamika 2-dimensi ROMS (*Regional Ocean Model System*). Gaya pembangkit yang digunakan dalam model adalah pasang surut dan debit buangan air pendingin. Data batimetri yang digunakan dalam model didiskritisasi secara horizontal hingga menghasilkan data grid spasial dalam bentuk matriks yang memiliki ukuran 449 x 389 dengan nilai  $\Delta x = \Delta y = 30$  m, sedangkan secara vertikal terbagi menjadi 5 level dengan pemilihan langkah waktu ( $t$ ) = 10 detik.

Verifikasi elevasi pasut surut antara hasil model dengan observasi menunjukkan kesesuaian yang baik dengan nilai RMSE 0,205 meter dan RRE sebesar 9,05%. Hasil simulasi menunjukkan perbedaan pola sebaran suhu permukaan ditemukan pada saat pasang maksimum sebaran suhu 35 °C – 37 °C menumpuk di depan mulut kanal pembuangan limbah panas (*outfall*) hal ini diakibatkan oleh arus yang dibangkitkan oleh pasang surut dengan kecepatan 0.76 m/detik. Sedangkan pada saat surut minimum massa air dengan suhu 35 °C di *outfall* bergerak ke arah perairan Bontang menuju Selat Makassar, suhu air di *outfall* mengalami kenaikan karena massa air panas diisi oleh buangan air panas dari kanal tanpa mengalami pencampuran massa air dengan suhu dibawah 35 °C.

Kata Kunci: Dispersi, Limbah Panas, Model Hidrodinamika, dan Kota Bontang

## ABSTRACT

**AISYAH PUTRI.** *Thermal Dispersion Modelling of Cooling System in Bontang Waters.* (supervised by Mukhsan Putra Hatta and Nur Annisa Putry Mangarengi)

Bontang city is on the east coast which directly borders the Makassar Strait, where sea water in Bontang water is used as cooling agent in the oil and gas industry to produce Liquefied Natural Gas (LNG) and Liquefied Petroleum Gas (LPG) products. This research aims to analyze the temperature distribution pattern due to waste heat discharge from the cooling system in Bontang water at high and low tide.

This research was carried out by using hydrodynamic model 2D ROMS (Regional Ocean Model System). Driving forces used in this model were tides and flows of cooling water discharge. The bathymetric data used in the model is discretized horizontally to produce spatial grid data in matrix form with a size of 449 x 389 with a value of  $\Delta x = \Delta y = 30$  m. Vertically it is divided into 5 levels with a time step ( $t$ ) = 10 second.

Verification of elevation between model results and observations shows good agreement with an RMSE value of 0.205 meters and an RRE of 9.05%. The simulation. The simulation results show that differences in surface temperature distribution patterns are found at spring tide. the maximum temperature distribution of 35°C – 37°C accumulates in front of the mouth of the hot waste discharge channel (outfall). This is caused by currents generated by the tide at a speed of 0.76 m/sec. Meanwhile, at neap tide, the minimum water mass with a temperature of 35°C in the outfall moves towards the Makassar Strait, the water temperature in the outfall increases because the hot water mass is filled by heat waste from the canal without experiencing mixing with water masses with temperatures below 35 °C.

Keywords: Dispersion, Heat Waste, Hydrodynamic Model, and Bontang City

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI .....</b>	<b>i</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>v</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1. Perairan Indonesia.....	4
2.2. Deskripsi Daerah Penelitian.....	4
2.3. Adveksi, Difusi, dan Dispersi .....	5
2.4. Transpor Panas di Laut .....	6
2.5. Pencemaran Limbah Panas .....	7
2.6. Hidrodinamika yang Mempengaruhi Penyebaran Panas di Laut.....	8
2.7. Zona Laut Berdasarkan Kedalaman .....	10
2.8. Karakteristik Kimia Laut .....	11
2.9. Karakteristik Fisik Laut .....	12
2.10. Baku Mutu Perairan Laut.....	21
2.11. Penelitian Terdahulu .....	24
2.12. Model Hidrodinamika.....	44
2.13. Persamaan-persamaan Dasar .....	44
2.14. Syarat Stabilitas .....	46
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>47</b>
3.1. Rancangan Penelitian .....	47
3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian .....	49
3.3. Alat dan Bahan.....	50
3.4. Populasi dan Sampel .....	52
3.5. Pelaksanaan Penelitian .....	52
3.6. Teknik Pengumpulan Data.....	53
3.7. Teknik Analisis Data.....	54
3.8. Diagram alir .....	57
<b>BAB IV .....</b>	<b>59</b>
<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>59</b>
4.1. Verifikasi Model .....	59
4.2. Pola Sebaran Suhu di Perairan Bontang saat Pasang dan Surut .....	60
4.3. Gambaran Proses Dispersi Panas di Perairan Bontang.....	77

4.4. Hubungan Antara Hasil Simulasi Pola Sebaran Dispersi Panas dan Salinitas dengan Oksigen Terlarut (DO) dan Biota Laut .....	78
4.5. Validasi Model .....	84
4.6. Solusi Penurunan Suhu Perairan Kanal .....	84
<b>BAB V_KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>86</b>
5.1 Kesimpulan .....	86
5.2 Saran.....	86
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>87</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>86</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Diagram Mawar Kecepatan Angin Daerah Kajian Di Bulan Juni.....	5
<b>Gambar 2.2</b> Profil Kecepatan Dalam Saluran .....	6
<b>Gambar 2.3</b> Klasifikasi Arus Laut.....	9
<b>Gambar 2.4</b> Zonasi Laut .....	11
<b>Gambar 2.5</b> Tipe Pasang Surut.....	12
<b>Gambar 2.6</b> Siklus Pasang Surut Dalam Satu Bulan “ <i>Lunar Month</i> ” Memperlihatkan Variasi Pasang Surut Bulanan .....	15
<b>Gambar 2.7</b> Gambaran Pasang Surut.....	16
<b>Gambar 3.1</b> Batimetri Bontang.....	44
<b>Gambar 3.2</b> Peta Daerah Kajian .....	45
<b>Gambar 3.3</b> Diagram Alir Penelitian.....	56
<b>Gambar 3.4</b> Diagram Alir Model ROMS .....	57
<b>Gambar 4.1</b> Grafik Verifikasi Elevasi Antara Observasi Hasil Dan Model .....	58
<b>Gambar 4.2</b> Kecepatan Arus (M/Det) Di Empat Lokasi Pengukuran Pada Tanggal 06 – 12 September 2022 Pada Kondisi Perbani Dan Purnama .....	59
<b>Gambar 4.3</b> Pola Sirkulasi Arus Pada Kondisi Perbani Saat Surut Menuju Pasang .....	60
<b>Gambar 4.4</b> Pola Sirkulasi Arus Pada Kondisi Perbani Saat Pasang Tertinggi ..	61
<b>Gambar 4.5</b> Pola Sirkulasi Arus Pada Kondisi Perbani Saat Pasang Menuju Surut .....	61
<b>Gambar 4.6</b> Pola Sirkulasi Arus Pada Kondisi Perbani Saat Surut Terendah.....	62
<b>Gambar 4.7</b> Pola Sirkulasi Arus Pada Kondisi Purnama Saat Surut Menuju Pasang .....	63
<b>Gambar 4.8</b> Pola Sirkulasi Arus Pada Kondisi Purnama Saat Pasang Tertinggi .....	63
<b>Gambar 4.9</b> Pola Sirkulasi Arus Pada Kondisi Purnama Saat Menuju Surut.....	64
<b>Gambar 4.10</b> Pola Sirkulasi Arus Pada Kondisi Purnama Saat Surut Terendah .	64
<b>Gambar 4.11</b> Kondisi Salinitas Hasil Observasi Di A) Permukaan, Dan B) Dasar Perairan .....	65
<b>Gambar 4.12</b> Kondisi Suhu Hasil Observasi Di A) Permukaan, Dan B) Dasar Perairan .....	66
<b>Gambar 4.13</b> Pola Sebaran Suhu Pada Kondisi Perbani Saat Surut Menuju Pasang .....	67
<b>Gambar 4.14</b> Pola Sebaran Suhu Pada Kondisi Perbani Saat Pasang Tertinggi .	68
<b>Gambar 4.15</b> Pola Sebaran Suhu Pada Kondisi Perbani Saat Pasang Menuju Surut .....	68
<b>Gambar 4.16</b> Pola Sebaran Suhu Pada Kondisi Perbani Saat Surut Minimum...	69
<b>Gambar 4.17</b> Pola Sebaran Suhu Pada Kondisi Purnama Saat Surut Menuju Pasang .....	70
<b>Gambar 4.18</b> Pola Sebaran Suhu Pada Kondisi Purnama Saat Pasang Tertinggi	70
<b>Gambar 4.19</b> Pola Sebaran Suhu Pada Kondisi Purnama Saat Pasang Menuju Surut .....	71
<b>Gambar 4.20</b> Pola Sebaran Suhu Pada Kondisi Purnama Saat Surut Terendah..	72
<b>Gambar 4.21</b> <i>Transect Path Cross Section</i> .....	73
<b>Gambar 4.22</b> Jarak Sebaran Suhu Pada Kondisi Perbani.....	74

<b>Gambar 4.23</b> Jarak Sebaran Suhu Pada Kondisi Purnama.....	74
<b>Gambar 4.24</b> Diagram batang data suhu (model), data salinitas (observasi), dan data DO (observasi) .....	77
<b>Gambar 4.25</b> Diagram batang data DO pada layer 1 (permukaan) dan layer 2 (dasar) (observasi) .....	79
<b>Gambar 4.26</b> Diagram Batang Validasi Antara Observasi Dan Model Untuk Paramater Suhu Pada Stasiun 1 .....	80

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Komponen, periode, dan fenomena konstanta harmonik pada pasang surut .....	14
<b>Tabel 2.2</b> Keputusan Men. LH No. 51 Tahun 2004 .....	19
<b>Tabel 2.3</b> Jurnal Terdahulu yang Relevan dengan Penelitian .....	20
<b>Tabel 3.1</b> Konstanta harmonik pasang surut .....	44
<b>Tabel 3.2</b> Alat dan bahan .....	46
<b>Tabel 3.3</b> Titik Pengambilan Data .....	48
<b>Tabel 4.1</b> Data Suhu Pada Kondisi Perbani Saat Surut Meuju Pasang .....	67
<b>Tabel 4.2</b> Data Suhu Pada Kondisi Perbani Saat Pasang Tertinggi .....	68
<b>Tabel 4.3</b> Data Suhu Pada Kondisi Perbani Saat Pasang Meuju Surut .....	69
<b>Tabel 4.4</b> Data Suhu Pada Kondisi Perbani Saat Surut Minimum .....	69
<b>Tabel 4.5</b> Data Suhu Pada Kondisi Purnama Saat Surut Menuju Pasang .....	70
<b>Tabel 4.6</b> Data Suhu Pada Kondisi Purnama Saat Surut Pasang Tertinggi .....	71
<b>Tabel 4.7</b> Data Suhu Pada Kondisi Purnama Saat Surut Pasang Menuju Surut .....	71
<b>Tabel 4.8</b> Data Suhu Pada Kondisi Purnama Saat Surut Terendah .....	72

## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
ROMS	<i>Regional Ocean Model System</i>
LNG	<i>Liquefied Natural Gas</i>
LPG	<i>Liquefied Petroleum Gas</i>
GDP	<i>Gross Domestic Product</i>
DO	<i>Dissolved Oxygen</i>
ENSO	<i>El Nino Southern Oscillation</i>
PDO	<i>Pacific Decadal Oscillation</i>
Arlindo	Arus Lintas Indonesia
<i>NF</i>	Nilai formzahl
$AK_1, AO_1$	Amplitudo pasang surut harian utama
$AM_2, AS_2$	Amplitudo pasang surut ganda utama
‰	ppm
$u, v, \Omega$	Komponen kecepatan rata-rata dalam arah horisontal ( $x$ dan $y$ ) dan arah vertikal ( $z$ )
$z$	Koordinat vertikal bernilai positif dengan $z = 0$ pada muka air laut rata-rata
$H_z$	Ketebalan sel grid
$f$	Parameter Coriolis
$p$	Tekanan
$\rho$ dan $\rho_0$	Total densitas air laut berdasarkan referensi
$g$	Percepatan gravitasi atau gaya gravitasi
$\nu$ dan $\nu_0$	Viskositas dan difusivitas molekular
$C$	Kuantitas <i>tracer</i>
$C_{source}$	Sumber <i>tracer</i>
$K_M$	Viskositas eddy
$K_H$	Difusivitas eddy
CFL	<i>Courant Friedrichs Levy</i>

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
$\Delta t$	<i>Time step</i> mode eksternal
$C_t$	Kecepatan gelombang mode eksternal
$H$	Tinggi gelombang
$\bar{U}_{max}$	Kecepatan maksimum rata-rata
TPXO 7.2	<i>The OSU Topex/Poseidon Global Invers Model</i>
SNI	Standar Nasional Indonesia
GPS	<i>Global Positioning System</i>
DISHIDROS-AL	Dinas Hidro-Oseanografi TNI AL
RMS	<i>Root Mean Square)</i>
RRE	<i>Relative RMS Error</i>
Na	Natrium
K	Kalium
Mg	Magnesium
Cl	Klorida
SO <sub>4</sub>	Sulfat
HCO <sub>3</sub>	Bikarbonat

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran 1</b> Data Pengambilan Arus .....	81
<b>Lampiran 2</b> Data Kualitas Air .....	84
<b>Lampiran 3</b> Data Pasang Surut .....	91
<b>Lampiran 4</b> Pengoperasian Model ROMS .....	92

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wata'ala karena atas rahmat, hidayah dan izin-Nya lah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul: **Pemodelan Dispersi panas dari Sistem Pendingin Kilang Migas di Perairan Bontang**. Shalawat serta salam penulis curahkan kepada junjungan kita, Rasulullah SAW, yang telah mengantar umat manusia menuju masa yang terang-benderang.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T.) pada jenjang S-1 Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari banyak kesulitan yang dihadapi selama penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan bimbingan, nasehat dan doa dari segala pihak, membuat penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini.

Ucapan terima kasih sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada kedua orang tua penulis yakni Bapak Dr. Eng. Idris Mandang, M.Si. dan Ibu Nurjaya S.Stat. M.Si. yang telah memberikan doa, kasih sayang, dukungan dan sebagainya yang tidak bisa penulis ungkapkan semuanya.

Pada kesempatan ini pula, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Jamaluddin Jompa, M.Sc., selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T., IPM, ASLAN Eng selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr. Amil Ahmad Iham, S.T., M.IT selaku Wakil Dekan Bidang Akademik dan Kemahasiswaan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Ibu Dr. Eng Muralia Hustim, S.T., M.T selaku Ketua Departemen, Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Bapak Dr. Eng. Mukhsan Putra Hatta M. S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan arahan dan bimbingan, dan meluangkan, waktu di tengah kesibukannya selama penulis melaksanakan penyusunan tugas akhir.

6. Ibu Nur Annisa Putry Mangarengi, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan arahan dan bimbingan, meluangkan waktu di tengah kesibukannya selama penulis melaksanakan penyusunan tugas akhir.
7. Bapak/Ibu Dosen Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik atas didikan, bimbingan, arahan, dan motivasi yang telah diberikan selama penulis menempuh Pendidikan di Universitas Hasanuddin.
8. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan selama penulis menempuh perkuliahan terutama kepada staf S1 Teknik Lingkungan Ibu Sumiati, A.S., Pak Ruslan. L, S. Ap., dan Kak Nisha Dwi Utama, S.IP.
9. Seluruh tim survei *oceanography* atas segala bantuan, semangat dan kerjasama dalam pengambilan data air laut terutama kepada Riski Indah Wiyani, S.Si., Yulian Evan Hermiagnes Evan Trixie, dan Affan Fadli Rahmadian.
10. Nur Afni Sahid, Nurhaedah Azzahra, dan Ainun Tathira yang telah menemani dari tahun pertama perkuliahan hingga masa-masa akhir perkuliahan yang dijalani dengan belajar bersama, canda tawa, mengejar kelas dan kenangan lainnya.
11. Seluruh asisten laboratorium kualitas air terutama angkatan 2019 yang telah menjadi bara semangat dalam tugas akhir ini yang telah berjuang dari pencarian judul hingga akhir penyelesaian tugas akhir dan kepada adek-adek asisten angkatan 2020 dan 2021 terima kasih telah menemani penulis dalam pengerjaan tugas akhir.
12. Seluruh teman-teman “9oKiL”, Alya Hana Natasya dan Fatima Ramadhanty Rahmat yang menjadi tempat pulang dan semangat penulis dalam penyelesaian tugas akhir agar dapat bersuka ria bersama kembali.
13. Adik tercinta, Yumi Adillah Idris. Terima kasih telah menunggu penulis untuk pulang dan memberikan semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
14. Seluruh teman-teman komunitas *trading card game* ogre Makassar yang telah menjadi tempat untuk berbagi canda, pengalaman, dan main bersama selama penyusunan tugas akhir ini.

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Kota Bontang merupakan kota yang berada di pesisir timur yang langsung berbatasan dengan Selat Makassar, dimana lokasi di perairan laut dimanfaatkan sebagai pelabuhan laut komersial dan pelabuhan minyak. Selain itu, terdapat beberapa aktivitas industri besar yang berada di sekitar lokasi perairan, aktivitas perairan dan sekitarnya cukup banyak berkontribusi terhadap perubahan kualitas perairan yang dapat mengganggu ekosistem di perairan dan penurunan kualitas air laut secara parameter fisik, kimia maupun biologi.

Kualitas air mewakili kondisi fisik, kimia, dan biologis air mengukur kemampuan badan air untuk mendukung kehidupan makhluk hidup (Ji, 2017). Menurutnya, kualitas air secara signifikan dikendalikan oleh proses hidrodinamika yang kompleks terdapat pasang surut, temperatur, angin, dan cahaya matahari. Masalah utama yang harus dihadapi terkait sumber daya air adalah pencemaran air. Pencemaran air menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga kualitas air turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai dengan peruntukannya. Sumber pencemaran air dapat berasal dari limbah kegiatan domestik atau rumah tangga, limbah industri, dan limbah pertanian

Air laut di perairan Bontang dimanfaatkan sebagai zat pendingin di industri migas untuk menghasilkan produk *Liquefied Natural Gas (LNG)* dan *Liquefied Petroleum Gas (LPG)*. Menurut Romawan (2022), air laut merupakan materi yang memiliki sifat dalam menerima dan menahan panas sehingga air laut dapat dimanfaatkan zat pendingin. Sistem yang menggunakan air laut disebut sebagai sistem pendingin, biasanya digunakan oleh industri pengolahan gas alam cair. Menurut Mayasari (2021), *Liquefied Natural Gas (LNG)* adalah gas alam yang telah di proses produksi yang melewati beberapa perlakuan. Proses pencairan gas alam dilakukan dengan cara mendinginkan gas alam murni kurang lebih pada suhu  $-160^{\circ}\text{C}$  dibawah titik didihnya dimana terjadi perubahan bentuk dari fasa gas menjadi fasa cair. Dalam menghasilkan LNG, panas sensibel dan panas laten dari

gas alam diambil sehingga menghasilkan gas alam dalam bentuk cairan yang sangat dingin (kriogenik). Cara kerja dari sistem pendingin ini yaitu dengan mengambil air laut dalam jumlah banyak, kemudian dialirkan sebagai zat pendingin ke proses produksi setelah diberi *treatment* yang cocok agar dapat menjadi zat pendingin. Setelah proses pendinginan gas alam yang telah digunakan didalam *Heat Exchanger* atau penukar panas akan dibuang ke laut melalui kanal air pendingin. Kawasan kanal ini merupakan saluran buatan yang berjarak dari saluran pipa pembuangan air pendingin berkisar 5 km. Suhu air limbah yang dikeluarkan pada *outfall* kanal berkisar 43°C sampai dengan 44°C. Peningkatan suhu secara berkala di badan air tersebut akan berpengaruh pada area-area sensitif terhadap perubahan suhu seperti terumbu karang, mangrove. atau padang lamun, selain itu akan berpengaruh pada rantai makanan pada ekosistem laut. Hal ini berdasarkan pada PP Nomor 22 tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup disebutkan bahwa baku mutu suhu air laut untuk ekosistem karang 28°C – 30 °C, mangrove 28°C – 30 °C, lamun 28°C – 32 °C.

Banyak usaha yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan dari dispersi panas atau penyebaran panas ini. Salah satu usahanya ialah sebagai peneliti yaitu dengan mengkaji dispersi panas dari sistem pendingin kilang migas dengan menggunakan metode numerik menggunakan pemodelan ROMS (*Regional Ocean Model System*). Pendekatan numerik dapat memberikan gambaran mengenai kondisi di lapangan dalam ruang dan waktu. Teknik pemodelan numerik dilakukan karena lebih praktis daripada pengamatan lapangan yang memiliki keterbatasan dan dari segi ekonomi lebih murah.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, rumusan masalah dapat disusun sebagai berikut;

- 1) Bagaimana pola sebaran suhu akibat buangan limbah panas sistem pendingin di perairan Bontang pada saat pasang dan surut?
- 2) Bagaimana gambaran proses dispersi panas di perairan Kota Bontang?
- 3) Bagaimana hubungan antara hasil simulasi pola sebaran dispersi panas dengan salinitas dan oksigen terlarut (DO)?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

- 1) Menganalisis pola sebaran suhu akibat buangan limbah panas sistem pendingin di perairan Bontang pada saat pasang dan surut.
- 2) Mengambarkan proses dispersi panas di perairan kota Bontang.
- 3) Menganalisis hubungan antara hasil simulasi pola sebaran dispersi panas dan salinitas terhadap oksigen terlarut (DO).

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bagi akademik, penelitian ini membahas mengenai pemodelan dispersi panas dari sistem pendingin kilang migas di perairan bontang sebagai salah satu penunjang untuk menyelesaikan studi S-1 Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin, sehingga dengan melakukan penelitian ini, penulis dan semua pihak terkait dapat lebih memahaminya.
- 2) Bagi masyarakat, penelitian ini memberikan informasi akan potensi zona terdampak limbah panas di perairan Bontang, Kalimantan Timur.
- 3) Bagi departemen teknik lingkungan Universitas Hasanuddin, penelitian ini dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya dalam bidang riset kualitas air khususnya mengenai penelitian tentang dispersi panas pada perairan laut.
- 4) Bagi instansi, penelitian ini memberikan informasi pola sebaran dispersi panas di perairan laut, sehingga dapat digunakan sebagai bahan kajian untuk penelitian selanjutnya.

### 1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Penelitian ini dilakukan di lapangan yaitu perairan Kota Bontang.
- 2) Pengambilan data dilakukan di empat stasiun di perairan Kota Bontang.
- 3) Parameter yang diukur adalah suhu, salinitas, densitas, arus, dan pasang surut.
- 4) Pemodelan untuk melihat dispersi panas menggunakan ROMS (*Regional Ocean Model System*).

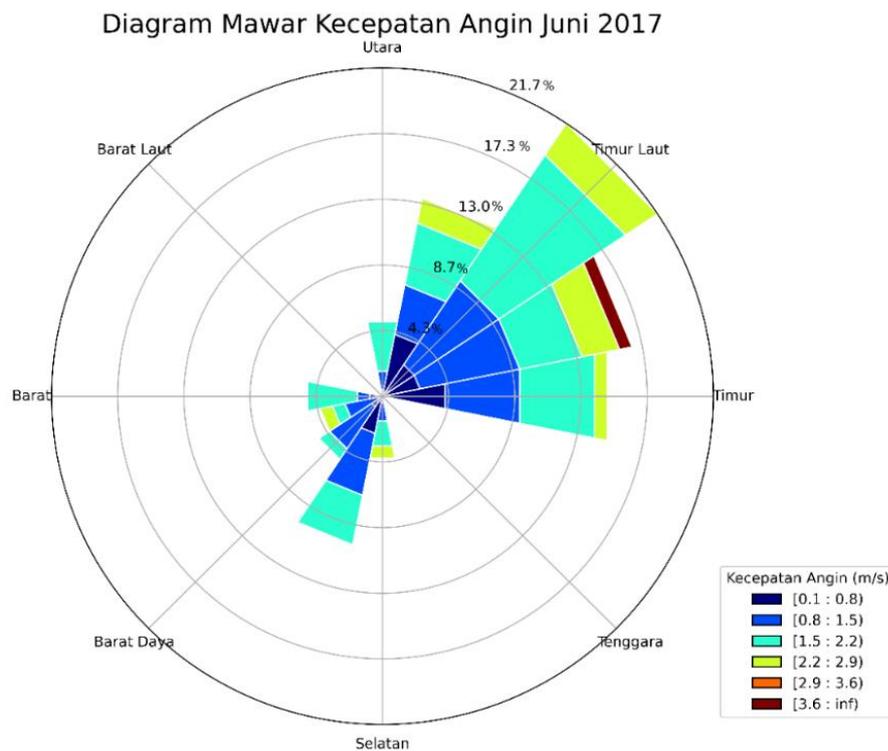
## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Perairan Indonesia**

Perairan Indonesia ialah salah satu perairan yang terletak di daerah tropis dan diapit oleh Samudera Pasifik dan Samudera Hindia. Berbagai macam fenomena yang mempengaruhi perairan Indonesia seperti angin muson, *El Nino Southern Oscillation* (ENSO), dan *Pacific Decadal Oscillation* (PDO) (Mutiara R., dkk, 2022). Menurut Karang, dkk (2011), Perairan Indonesia memiliki karakteristik yang berbeda-beda, hal ini mempengaruhi energi disipasi yang ada di wilayah masing-masing. Hal ini mempengaruhi faktor sebaran suhu permukaan laut. Selat Makassar ialah salah satu penghubung antara Samudera Pasifik dan Samudera Hindia dengan karakteristik oseanografi dipengaruhi oleh Samudera Pasifik melalui sirkulasi Arus Lintas Indonesia (Arlindo). Sirkulasi Arlindo dengan pergerakan angin muson akan berpengaruh terhadap distribusi suhu, salinitas, dan densitas. (Putra et al., 2020)

### **2.2. Deskripsi Daerah Penelitian**

Kota Bontang memiliki luas wilayah sebesar 161,88 km<sup>2</sup> dengan luas laut sekitar 349,77 km<sup>2</sup> dengan letak yang cukup strategis pada jalan trans-Kaltim dan berbatasan dengan Selat Makassar (BPS Kota Bontang, 2022). Perairan Kota Bontang berdekatan garis khatulistiwa hal ini berdampak pada pengaruh gaya Coriolis yang kecil yang mana terjadi pembelokan arah angin. Berdasarkan penelitian Romawan, 2022, memperlihatkan pergerakan angin pada bulan juni 2017 (**Gambar 2.1**) bahwa angin dominan berasal dari timur-timur laut dan bergerak ke arah barat-barat daya. Peristiwa ini disebabkan oleh posisi matahari di bulan Juni yang berada di utara bumi sehingga terjadi pembentukan angin yang bergerak dari selatan ke utara dan dalam pergerakannya dari selatan ke utara terjadi pembelokan angin oleh gaya Coriolis ke arah barat, sehingga angin yang sampai di daerah kajian bergerak dari timur ke barat atau dapat disebut dengan monsun timur. Dampak angin dari timur tersebut menyebabkan arus bergerak ke arah barat.



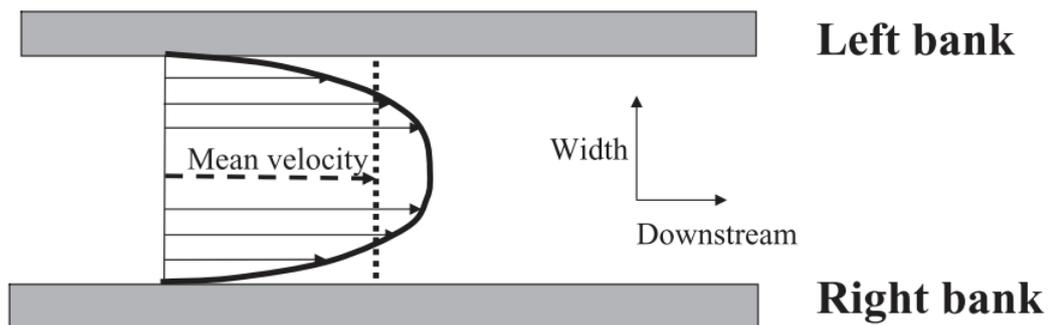
**Gambar 2.1** Diagram mawar kecepatan angin daerah kajian di bulan Juni (Sumber: Romawan, 2022)

### 2.3. Adveksi, Difusi, dan Dispersi

Adveksi mengacu pada transport secara horizontal oleh aliran yang memindahkan sebuah material tetapi tidak mendstrosi atau mencairkannya. Di Sungai maupun muara, adveksi merupakan transport utama polutan dengan arah longitudinal. Adveksi lateral pada sungai biasanya kecil. Dengan saluran lurus pada **Gambar 2.2**, profil kecepatan menunjukkan bahwa adveksi maksimum terjadi di tengah saluran sedangkan adveksi minimum terjadi di sekitar tepian sungai. Perbedaan kecepatan menyebabkan aliran tengah sungai bergerak lebih cepat daripada di dekat tepian. Variasi lateral ini mendorong terjadinya penyebaran sepanjang sungai (Ji, 2017).

Difusi adalah proses transport pada tingkat mikroskopis karena persebaran partikel berdasarkan gerakan molekul seara acak. Difusi ialah pergerakan material dari area konsentrasi tinggi ke area konsentrasi rendah diakibatkan oleh gradient konsentrasi (Ji, 2017).

Dispersi adalah penyebaran secara horizontal dan pencampuran pada massa air disebabkan oleh pencampuran turbulen dan difusi molekuler. Dispersi ini dapat mengurangi gradien konsentrasi material. Pada proses dispersi tidak hanya melibatkan pertukaran massa air, namun setiap zat terlarut di dalamnya, seperti salinitas dan polutan terlarut. Oleh karena itu, selain variabel hidrodinamika seperti suhu dan salinitas, proses dispersi juga penting untuk distribusi sedimen, racun, dan nutrisi dalam badan air (Ji, 2017).



**Gambar 2.2** profil kecepatan dalam saluran  
(Sumber: Ji, 2017)

Menurut Ji (2017), adveksi dan dispersi adalah proses utama dalam bahan terlarut yang di transport dan didistribusikan sepanjang sungai atau muara (**Gambar 2.2**). Saat air mengalir di sepanjang sungai akan mengangkut bahan terlarut melalui adveksi. Proses ini akan membawa bahan terlarut dari area dengan konsentrasi tinggi ke area konsentrasi rendah melalui dispersi. Transport secara horizontal terdapat dua komponen yaitu fluks adveksi dan fluks dispersi.

#### 2.4. Transpor Panas di Laut

Dasar dari proses fisik pada transpor panas adalah ketika limbah panas masuk ke badan air dan menyebabkan suhu air meningkat hingga terjadi ketidakseimbangan panas di permukaan badan air laut (Nurjaya & Surbakti, 2010). Menurut Romawan (2022), bahwa panas didalam laut tidak akan diam di satu tempat, namun ikut bergerak mengikuti arus laut dan dapat mengalami pengurangan maupun penambahan suhu. Pengurangan suhu terjadi jika air tidak menerima sumber panas seperti dari matahari atau atmosfer, seiring air bergerak suhu yang ada di badan air mengalami pengurangan. Kebalikannya, penambahan suhu terjadi jika air menerima sumber panas saat air bergerak.

Transpor panas di laut didasari oleh proses adveksi dan difusi. Menurut Josua dkk., 2020, proses transportasi materi dari satu tempat ke tempat lain disebut difusi. Sedangkan, adveksi adalah proses transportasi berupa arus, seperti sungai atau gerakan pasang surut yang bergerak karena gaya gravitasi. Faktor adveksi menyebabkan air membawa panas sesuai arah aliran air, sedangkan difusi memecahkan air ke arah yang tak beraturan tetapi mengikuti arah kecepatan aliran yang ada di badan air (Romawan, 2022).

## **2.5. Pencemaran Limbah Panas**

Istilah *Thermal pollution* atau limbah panas ialah deskripsi mengenai penurunan kualitas air yang diakibatkan oleh masuknya air panas, kebanyakan dari proses pendinginan industri. Perubahan suhu yang mendadak dan secara berkala membuat ekologi lokal sulit menyesuaikan diri. Limbah panas yang masuk ke badan air dapat menurunkan tingkat *dissolved oxygen* atau oksigen terlarut, menyebabkan eutrikikasi, atau mengganggu ekosistem organisme laut. Kebanyakan dari tumbuhan dan hewan yang hidup di air tidak mampu mengatur suhu tubuh internal. Oleh karena itu, suhu pada organisme tersebut berfluktuasi sesuai dengan ambian suhu dari sekitar lingkungan. Organisme yang tidak mampu menyesuaikan pada perubahan suhu akan menghilang (Ji, 2017).

Suhu air dapat memberikan pengaruh pada tingkat kemampuan tumbuhan berfotosintesis, laju metabolisme organisme air, dan sensitivitas organisme terhadap limbah, parasite, ataupun penyakit. Suhu mempengaruhi kelarutan dan toksisitas banyak parameter. Secara umum, kelarutan dari padatan akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu, sedangkan gas cenderung lebih larut dalam air dingin. Dengan meningkatnya suhu air terdapat dua faktor yang mempersulit ekosistem air untuk mendapatkan oksigen yang cukup. Pertama, metabolisme meningkat seiring dengan suhu, oleh karena itu terjadi peningkatan kebutuhan oksigen. Kedua, pada saat yang sama. Oksigen terlarut yang tersedia berkurang disebabkan oleh jumlah oksigen terlarut yang dapat ditampung air berkurang bersamaan dengan suhu. Oleh karena itu, peningkatan suhu akan meningkatkan kebutuhan oksigen (Ji, 2017).

## 2.6. Hidrodinamika yang Mempengaruhi Penyebaran Panas di Laut

Menurut Le Méhauté (1969), bahwa definisi hidrodinamika sebagai ilmu mengenai pergerakan fluida. Ilmu hidrodinamika berperan dalam model pada studi penyebaran panas di laut yaitu untuk simulasi arus dan gelombang pasang surut yang berpengaruh.

### 2.6.1. Arus Densitas

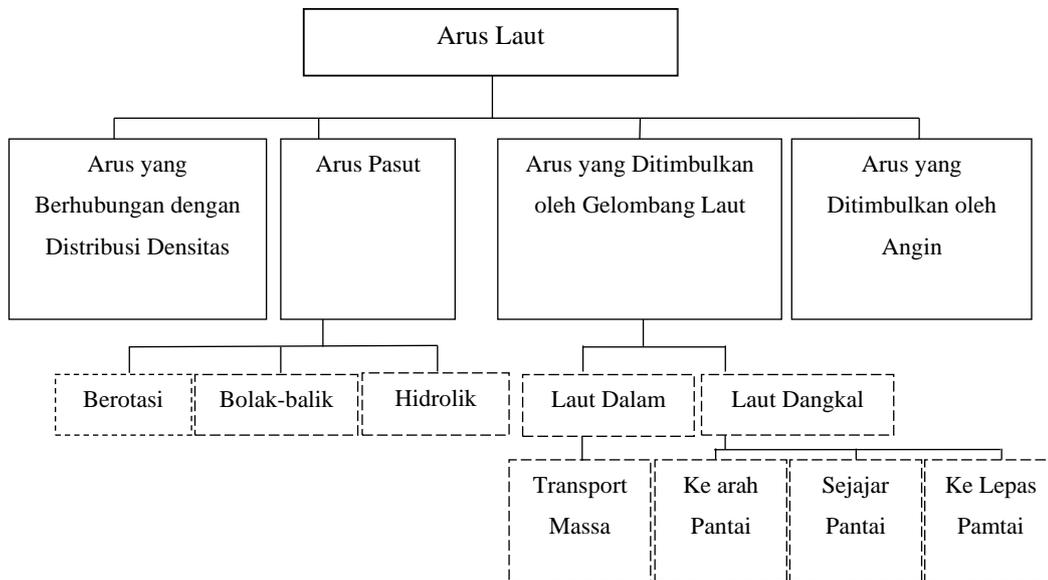
Arus laut merupakan gerakan secara horizontal massa air laut oleh sebuah gaya yang ada pada air laut seperti gradien tekanan, stress angin, gelombang laut dan pasang surut (Radjawane, 2009). Arus laut dapat diklasifikasikan menjadi empat arus utama yaitu (**Gambar 2.3**):

- 1) Arus yang berhubungan dengan distribusi densitas;
- 2) Arus yang ditimbulkan oleh angin;
- 3) Arus yang ditimbulkan oleh gelombang laut;
- 4) Arus pasang surut.

Berdasarkan Radjawane (2009), arus berhubungan dengan distribusi densitas horizontal dalam skala besar. Di daerah pantai dan muara sungai (estuari) dapat juga terbentuk arus yang berhubungan dengan distribusi densitas horisontal dalam skala kecil (lokal) akibat pengaruh air tawar yang masuk ke laut. Arus yang timbul akibat distribusi densitas secara horisontal di daerah pantai dan estuari disebut arus densitas. Arus yang memiliki kaitan dengan distribusi densitas adalah arus geostropik, arus densitas, dan sirkulasi termohalin. Arus densitas menjadi poin utama dalam penelitian ini, bahwasanya arus ini timbul akibat gradien densitas dalam arah horizontal. Gradien densitas terjadi karena variasi salinitas dan suhu.

Menurut Radjawane (2009), hubungan antara densitas dan salinitas berbanding lurus sedangkan hubungan antara densitas dan suhu adalah berbanding terbalik. Kolom air yang memiliki suhu tinggi dan salinitas rendah akan memiliki densitas rendah. Sedangkan, kolom air yang memiliki suhu rendah dan salinitas tinggi akan memiliki densitas tinggi. Adanya gradien densitas horizontal mengakibatkan gradien tekanan horizontal. Kolom air yang memiliki densitas rendah memiliki permukaan laut yang lebih tinggi dibandingkan perairan berdensitas tinggi. Hal tersebut mengakibatkan adanya kemiringan muka air laut antara daerah berdensitas rendah dan tinggi. Adanya kemiringan muka air laut

menggerakkan massa air dari daerah permukaan laut lebih tinggi ke daerah permukaan laut lebih rendah.



**Gambar 2.3** Klasifikasi arus laut  
(Sumber: Radjawane, 2009)

Mekanisme terbentuknya arus densitas di estuari sama dengan arus densitas di pantai. Di estuari terjadi pengenceran air laut oleh air sungai (tawar). Jadi kalau kita bergerak dari arah hulu ke arah laut (muara) kita akan mendapati (di permukaan) densitas air bertambah besar ke arah muara. Kondisi ini mengakibatkan muka air di hulu lebih tinggi dari pada muka air di muara, sehingga dipermukaan arus bergerak ke arah muara. Di lapisan permukaan, arus yang bergerak ke arah muara diakibatkan oleh perbedaan densitas di hulu dan di muara (arus densitas). Di lapisan bawah air asin (laut) masuk ke estuari karena pengaruh pasut (Radjawane 2009).

### 2.6.2. Gelombang Pasang Surut di Teluk

Menurut (Rijn, 2013), gelombang pasang surut memiliki periode tipikal berkisar antara 12 hingga 24 jam dengan gerak pasang surut berkaitan dengan interaksi gravitasi antara Matahari, Bumi dan Bulan. Gelombang pasang surut di laut pesisir berasal dari gaya pasang surut yang dihasilkan di laut dalam. Fenomena seperti refleksi, refraksi, gesekan dasar dan *shoaling* mempengaruhi gelombang pasang surut selama perambatan ke pantai sehingga mengakibatkan variasi rentang pasang surut. Gaya geostropik yang berkaitan dengan rotasi bumi (efek Coriolis)

sangat penting di wilayah yang lebih jauh dari pantai (permukaan pantai lebih rendah, kedalaman lebih dari 20 m). Di zona dekat pantai, arus pasang surut cenderung sejajar dengan pantai. vektor arus berputar dalam pola elips yang rata. Arus sisa biasanya kecil (sekitar 0,1 m/s) dan dapat diperkuat oleh arus yang disebabkan oleh angin, arus yang disebabkan oleh kepadatan, dan oleh pengaruh topografi lokal (pulau, tanjung, tepian pasir).

Kisaran pasang surut maksimum (*spring tide*) ketika Matahari, Bumi, dan Bulan sejajar sedangkan saat pasang surut minimum (*neap tide*) Ketika Matahari dan Bulan tegak lurus. Saat *spring tide* gravitasi antar benda langit akan saling memperkuat sehingga muka air laut akan berada di posisi tertingginya sedangkan saat *neap tide* gravitasi antar benda langit akan saling melemahkan muka air laut berada pada posisi terendahmya.

Dasarnya gelombang pasang surut akan dipengaruhi oleh perbedaan elevasi, gesekan dasar, dan gaya Coriolis. Namun, pada kedalaman kurang dari 10 meter, gelombang pasang surut hanya akan dipengaruhi oleh perbedaan elevasi dan gesekan dasar yang besar (Rijn, 2013). Pada perairan bontang memiliki kedalaman pada rentang 8 sampai 21 meter sehingga bila di tinjau oleh pernyataan Van Rijn diatas, maka penggunaan gaya Coriolis perlu di perhitungkan untuk kedalaman lebih dari 10 meter. Namun, pernyataan tersebut terbantahkan oleh pernyataan Stewart (2008) bahwa gaya Coriolis dihasil kan dari rotasi bumi dan menentukan arah rotasi dari massa air, akibatnya arus akan berputar searah jarum jam di Bumi Bagian Selatan (BBS) dan berlawanan arah jarum jam di Bumi Bagian Utara (BBU) dan berbanding linear dengan bertambahnya lintang. Sehingga faktor *Coriolis* dapat diabaikan karena perairan Bontang yang memiliki lintang yang sangat mendekati ekuator atau lintang rendah.

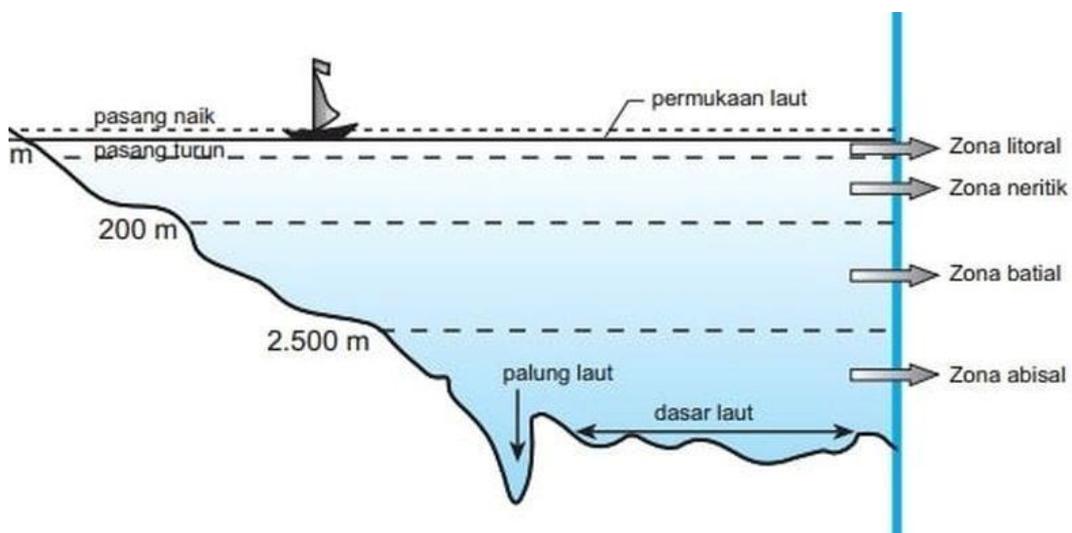
## **2.7. Zona Laut Berdasarkan Kedalaman**

Menurut Dico, 2017, berdasarkan kedalamannya laut terbagi menjadi beberapa zona kelautan, seperti:

- 1) Zona litoral adalah zona atau wilayah laut yang apabila pada saat terjadi air pasang, wilayah ini akan tergenang oleh air, dan pada saat terjadi air surut,

wilayah ini akan mengering dan berubah menjadi pantai. Oleh karena itulah maka zona ini seringkali disebut dengan daerah pasang surut.

- 2) Zona Neritik adalah wilayah perairan dangkal yang terletak dekat dengan pantai. Kedalaman dari zona ini adalah berkisar antara 50 hingga 200 meter. Kawasan ini dapat tertembus sinar matahari dengan sangat baik, sehingga menjadikannya sebagai habitat yang sangat cocok bagi berbagai jenis spesies laut seperti uburubung, fitoplankton. Zooplankton, rumput laut, serta jenis spesies lainnya.
- 3) Zona Bathial merupakan Wilayah perairan yang memiliki kedalaman yang berkisar antara 200 hingga 2000 meter. Wilayah ini tidak dapat ditembus oleh sinar matahari. Hal tersebutlah yang menjadikan kehidupan di wilayah zona bathial tidak seramai di zona neritic.
- 4) Zona Abisal merupakan bagian laut yang memiliki kedalaman lebih dari 2000 meter. Wilayah ini memiliki suhu yang sangat dingin. Hal inilah yang menjadikan zona abisal hanya memiliki beberapa spesies hewan laut. Dan di zona ini tidak dapat ditemui spesies tumbuh-tumbuhan laut.



**Gambar 2.4. Zonasi Laut**

## 2.8. Karakteristik Kimia Laut

### 2.8.1. Oksigen Terlarut (DO)

Menurut (Odum, 1993.), pasokan oksigen di dalam air terutama berasal dari difusi di udara dan melalui fotosintesis oleh tumbuhan air. Menurut Afrianto dan Liviawati (1991) oksigen terlarut dalam perairan sangat dibutuhkan dalam proses

respirasi (pernafasan) dan dekomposisi (penguraian), baik oleh tumbuhan air maupun organisme lain yang hidup di dalam air. Aktivitas yang paling banyak menggunakan oksigen adalah proses dekomposisi. Kandungan oksigen terlarut berubah-ubah dalam siklus harian. Pada waktu fajar konsentrasi oksigen terlarut rendah dan meningkat pada siang hari yang disebabkan oleh proses fotosintesis, kemudian mencapai titik maksimal lewat tengah hari. Pada malam hari saat tidak terjadi fotosintesis, pernafasan organisme memerlukan oksigen, sehingga menyebabkan penurunan konsentrasi oksigen terlarut dalam perairan (Claude E. Boyd, 1998).

Berdasarkan penelitian oleh walkuska dan wilczek (2010), bahwa peningkatan suhu perairan akan berpengaruh pada meningkatnya laju respirasi organisme selaras dengan penurunan kadar oksigen terlarut (DO) dalam air berdampak dalam air yang menyebabkan kekurangan oksigen di badan air, lebih lanjut pada kondisi peningkatan suhu terjadi bersama dengan pencemaran badan air oleh nutrient seperti nitrat akan menyebabkan autotrofikasi yang berdampak pada badan air tertentu mungkin akan kehabisan oksigen.

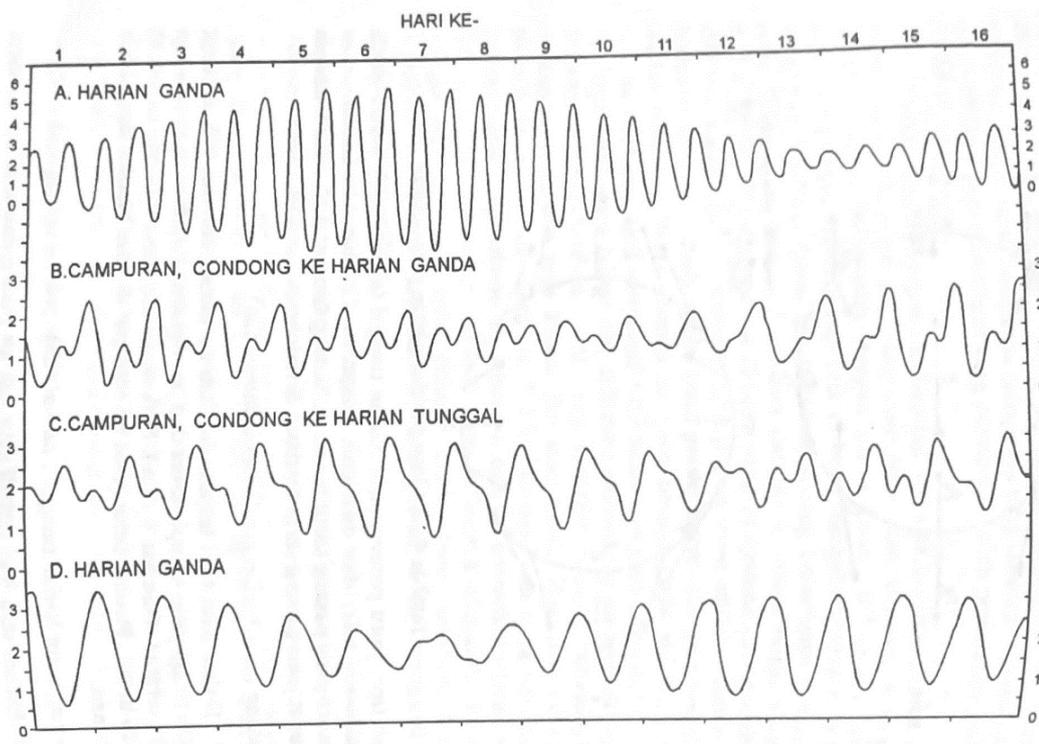
## **2.9. Karakteristik Fisik Laut**

### **2.9.1. Pasang Surut**

Pasang surut adalah permukaan air laut yang berfluktuasi diakibatkan gaya tarik benda-benda langit, seperti matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Gaya tarikan bulan 2,2 kali lebih besar dibandingkan gaya tarik matahari. Meskipun massa bulan jauh lebih kecil dari massa matahari, akan tetapi karena jarak bulan terhadap bumi lebih besar daripada pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi jauh lebih besar daripada pengaruh gaya tarik matahari (Triatmojo,1999). Pasang yang naik hingga ketinggian maksimum dinamakan *spring tide* yang terjadi pada waktu bulan baru (*new moon*). sedangkan, pasang yang turun sampai ketinggian minimum dinamakan *neap tide* (Hutabarat,1985).

Menurut Triatmojo (1999), secara umum pasang surut (pasut) di berbagai daerah dibedakan empat tipe, yaitu pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), harian ganda (*semidiurnal tide*) dan dua jenis campuran. **Gambar 2.4.** menunjukkan keempat jenis pasang surut tersebut.

- 1) Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*), yaitu dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi secara berurutan secara teratur (**Gambar 2.4.a.**). Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit.
- 2) Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), yaitu dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut (**Gambar 2.4.d.**). Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit.
- 3) Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal*), yaitu dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda (**Gambar 2.4.b.**).
- 4) Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*), yaitu pada tipe ini dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda (**Gambar 2.4.c.**).



**Gambar 2.5.** Tipe pasang surut  
(Sumber: Triatmojo,1999)

Dalam penentuan tipe pasang surut digunakan komponen  $K_1$ ,  $O_1$ ,  $M_2$ , dan  $S_2$ . Dengan keempat komponen ini dapat menentukan tipe pasang surut dengan rumus *Formzahl*. Dengan mengetahui komponen-komponen pembangkit pasang surut dapat dilakukan perhitungan untuk meramalkan pasang surut. (Poerbandono & Djunasjah, 2005 dalam Kisnarti & Prasita, 2019).

Persamaan *Formzahl* ditunjukkan sebagai berikut

$$NF = \frac{AK_1 + AO_1}{AM_2 + AS_2} \quad (2.1)$$

Dengan ketentuan;

- $NF$  = Nilai formzahl
- $AK_1, AO_1$  = Amplitudo pasang surut harian utama
- $AM_2, AS_2$  = Amplitudo pasang surut ganda utama

Secara umum, pasang surut diberbagai daerah dapat dibedakan dalam 4 (empat) tipe (**Gambar 2.4**), yaitu pasang surut harian tunggal (diurnal tide), harian ganda (semidiurnal tide) dan 2 (dua) jenis campuran dengan klasifikasi dari sifat pasang surut berdasarkan perhitungan adalah:

- 1) Pasang surut ganda (Nilai  $F < 0,25$ ), artinya dalam satu hari terdapat dua kali air tinggi dan dua kali air rendah, dengan ketinggian dua air tinggi dan rendah berurutan yang hampir sama.
- 2) Pasang surut campuran cenderung ganda ( $0,25 < F < 1,5$ ), artinya dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut tetapi tinggi dan periodenya berbeda
- 3) Pasang surut campuran cenderung tunggal ( $1,5 < F < 3,0$ ), artinya dalam satu hari terjadi satu air pasang dan satu air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang berbeda.
- 4) Pasang surut tunggal (nilai  $F > 3,0$ ), artinya dalam satu hari terjadi satu kali pasang dan satu kali surut.

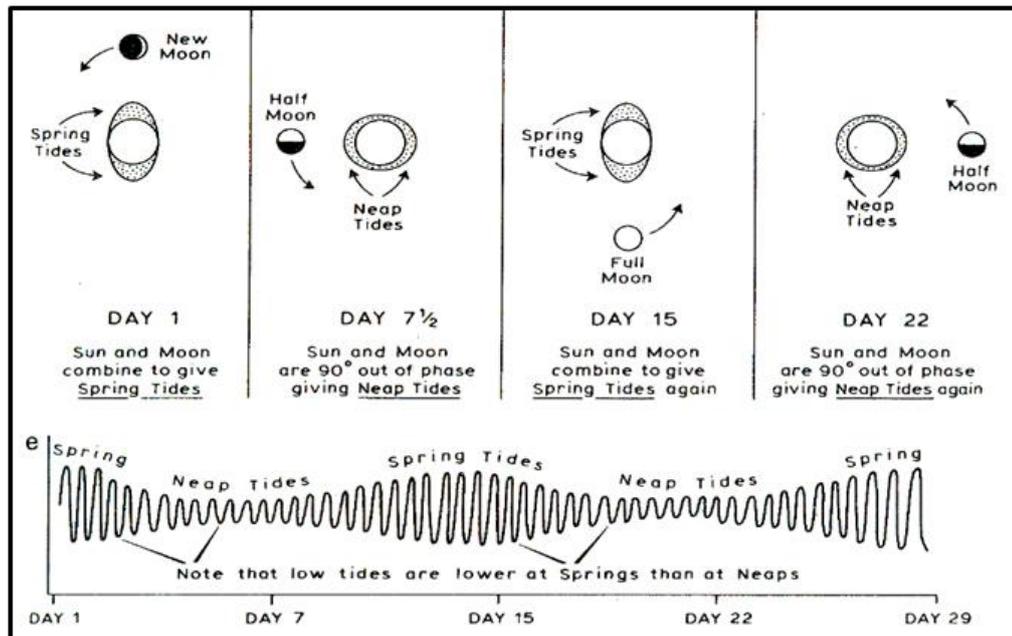
**Tabel 2.1** Komponen, periode dan fenomena konstanta harmonik pasang surut

Species	Nama Komponen	Periode (Jam)	Fenomena
Semi diurnal	M2	12.42	Gravitasi bulan dengan orbit lingkaran dan sejajar ekuator bum
	S2	12	Gravitasi matahari dengan orbit lingkaran dan sejajar ekuator bumi
	N2	12.66	Perubahan jarak bulan ke bumi akibat lintasan yang berbentuk elips
	K2	11.97	Perubahan jarak matahari ke bumi akibat lintasan yang berbentuk elips
Diurnal	K1	23.93	Deklinasi sistema bulan dan matahari
	O1	25.85	Deklinasi bulan
	P1	24.07	Deklinasi matahari
Periode Panjang	Mf	327.86	Variasi setengah bulanan
	Mm	661.3	Variasi bulanan
	Ssa	2191.4	Variasi semi tahunan
	2SM2	11.61	interaksi bulan dan matahari

	MNS2	13.13	Interaksi bulan dan matahari dengan perubahan jarak matahari akibat lintasan berbentuk elips
Perairan dangkal	MK3	8.18	Interaksi bulan dan matahari dengan perubahan jarak bulan akibat lintasan berbentuk elips
	M4	6.21	2X kecepatan sudut M2
	MS4	2.2	Interaksi M2 dan S2

(Sumber: Poerbondono & Djunasjah 2005)

Menurut Poerbondono (2005), pasang surut laut bergerak naik turun dengan periode rata-rata 12,4 jam atau 24,8 jam. Periode pasang surut adalah waktu yang dibutuhkan dari posisi muka air merata ke posisi yang sama berikutnya yang tergantung pada tipe pasang surut. Fenomena lain yang berhubungan dengan pasang surut adalah arus pasang surut, yaitu gerak badan air menuju dan meninggalkan pantai saat air pasang dan surut. Arus pasang surut ini disebabkan oleh variasi muka air, arus pasang terjadi pada waktu periode pasang sedangkan arus surut terjadi saat periode air surut. Pada saat titik balik atau perubahan muka air pasang ke surut atau sebaliknya maka kecepatan arus pasang surut sama dengan nol

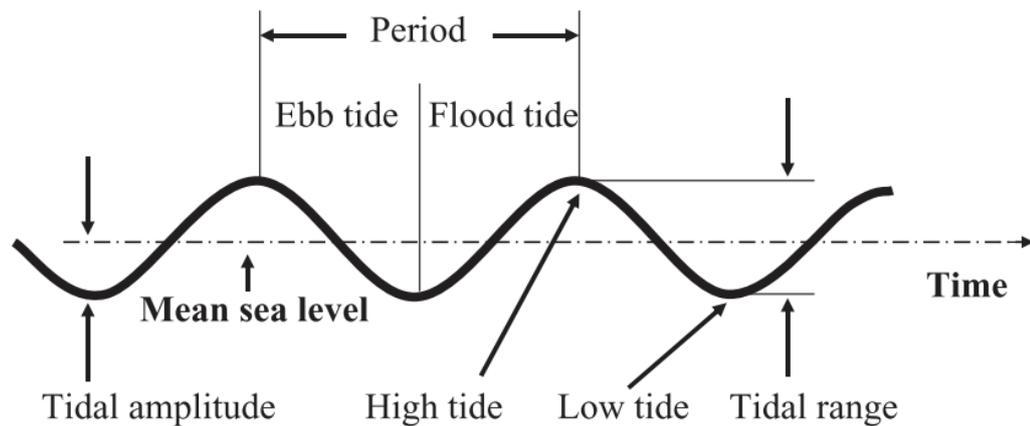


**Gambar 2.6** Siklus pasang surut dalam satu bulan “*lunar month*” memperlihatkan variasi pasang surut bulanan.

(Sumber: Pethick, 1992).

Menurut Ji ( 2017), Arus pasang surut yang bolak-balik merupakan ciri muara. Pasang surut dan arus pasang surut penting bagi muara karena berbagai alasan, yaitu;

- 1) Pasang surut ada di mana-mana dan seringkali merupakan kekuatan pendorong utama sistem,
- 2) Pasang surut merupakan faktor utama yang mengendalikan waktu penggelontoran di banyak muara,
- 3) Arus pasang surut sebagian besar bertanggung jawab atas pencampuran di muara
- 4) Arus pasang surut dapat menghasilkan aliran sisa yang mempengaruhi pengangkutan polutan dalam jangka panjang.



**Gambar 2.7.** Gambaran Pasang Surut  
(Sumber: Ji, 2017)

Dapat dilihat pada **Gambar 2.6.** *low tide* atau surut terendah berada di permukaan di permukaan air terendah yang dicapai oleh air pasang. *High tide* atau pasang tertinggi merupakan air permukaan tertinggi yang dicapai oleh air pasang. Kisaran Kisaran pasang surut adalah perbedaan tinggi muka air antara perairan tinggi dan rendah dan merupakan dua kali amplitudo pasang surut. Pasang surut (*falling tide*) adalah masa peralihan dari pasang naik ke pasang surut berikutnya. Saat air surut, muara mengalirkan air ke laut dan permukaan air turun. Arus terkait (arus pasang surut) bergerak ke arah laut. Pasang surut (*rising tide*) adalah periode transisi antara air rendah dan air tinggi berikutnya, di mana muara menerima air dari laut dan permukaan air naik. Arus terkait (*Flood current*) bergerak ke arah darat. Periode air kendur mewakili waktu kecepatan pasang surut minimum, dimana arus pasang surut berubah arah dan kecepatannya mendekati nol.

Faktor-faktor utama yang mempengaruhi perambatan dan amplitudo pasang surut meliputi: gesekan dasar, kedalaman air dan garis pantai, dan gaya Coriolis. Interaksi arus pasang surut dengan faktor-faktor ini dapat menghasilkan arus sisa yang berperan penting dalam pengangkutan polutan. Arus sisa umumnya diperoleh dengan merata-ratakan kecepatan pasang surut selama periode pasang surut. Waktu rata-rata 25 jam sering digunakan untuk menghilangkan pasang surut semidiurnal (M2 gelombang pasang) (Ji, 2017).

### 2.9.2. Suhu

Suhu merupakan salah satu variabel lingkungan yang penting dalam keberlangsungan hidup, pertumbuhan, dan reproduksi organisme akuatik (Effendi,

2003). Suhu adalah pengukuran dari kandungan panas yang mengindikasikan rata-rata energi kinetik dari substansi molekul. Semakin besar energi kinetik, semakin besar suhunya. Dengan kata lain, suhu adalah ukuran derajat panas atau dinginnya badan. Suhu air mewakili salah satu karakteristik penting dari air permukaan. Hal ini dapat mempengaruhi hewan dan tumbuhan, reproduksi, dan migrasi. Jika suhu air naik terlalu tinggi, maka tingkat oksigen terlarut akan menurun. Secara langsung dapat mengancam ekosistem dan berpotensi terjadi eutrofikasi (Ji, 2017). Dalam *hydrodynamic* dan studi kualitas air penting dalam beberapa faktor yaitu;

- 1) Suhu vertikal dalam sistem air mempengaruhi stratifikasi, merupakan elemen penting dalam pencampuran vertikal
- 2) Kelarutan oksigen terlarut ditentukan oleh suhu air. Umumnya semakin hangat air, semakin sedikit oksigen terlarut.
- 3) Dalam proses biokimia dan fisiologis yang diatur oleh suhu, peningkatan suhu ini dapat meningkatkan laju metabolisme di seluruh rantai makanan.
- 4) Beberapa proses, seperti rearition dan penyerapan bahan kimia organik menjadi partikel ini dipengaruhi oleh suhu, Peningkatan suhu dapat menyebabkan peningkatan senyawa beracun terlarut, yang biasanya paling bioaktif.
- 5) Banyak spesies akuatik yang hanya dapat menoleransi rentang suhu yang terbatas, dan perubahan suhu yang besar dapat berdampak besar pada komposisi spesies.
- 6) Suhu air juga mempunyai kepentingan ekonomi tertentu, seperti untuk pendinginan industri dan pembentukan es di saluran air yang dapat dilayari.

Menurut Ji, (2017), Suhu air juga mempengaruhi laju fotosintesis tanaman, laju metabolisme organisme akuatik, dan sensitivitas organisme terhadap limbah beracun, parasit, dan penyakit. Suhu mempengaruhi kelarutan dan, pada gilirannya, toksisitas banyak parameter lainnya. Umumnya kelarutan zat padat meningkat seiring dengan meningkatnya suhu, sedangkan gas cenderung lebih larut dalam air dingin. Ketika suhu air meningkat, ada dua faktor yang membuat kehidupan akuatik semakin sulit mendapatkan oksigen yang cukup untuk memenuhi kebutuhannya. Yang pertama adalah laju metabolisme meningkat seiring suhu dan karenanya meningkatkan kebutuhan oksigen. Kedua, pada saat yang sama, oksigen terlarut

(DO) yang tersedia berkurang, karena jumlah oksigen terlarut (DO) yang dapat ditampung air berkurang seiring dengan bertambahnya suhu. Jadi, seiring dengan peningkatan suhu, kebutuhan oksigen meningkat sementara jumlah oksigen terlarut (DO) yang tersedia menurun.

Temperatur atau suhu merupakan sifat benda atau zat dalam ruang yang menentukan ada atau tidaknya aliran bersih kalor dari atau ke dalam benda/zat tersebut. Jika tidak ada aliran kalor, maka benda/zat berada dalam kesetimbangan termodinamik dengan sekitarnya, dan suhunya sama. Jika ada aliran kalor, maka kalor akan mengalir dari benda/zat yang lebih panas ke yang lebih dingin.

### **2.9.3. Salinitas**

Salinitas adalah nilai konsentrasi garam dalam air, semakin tinggi nilai salinitas berarti semakin tinggi garam terlarut. Istilah salinitas berasal dari istilah oseanografi dan tidak memiliki definisi kimia yang tepat. Salinitas dinyatakan dalam ppm atau ‰, yaitu gram garam per liter air. Densitas air akan meningkat seiring dengan salinitas dan penurunan suhu. Hubungan ini menjelaskan mengapa air bersalinitas rendah cenderung mengapung di atas air yang lebih padat dan dingin dengan salinitas tinggi (Ji, 2017).

Konsentrasi garam dikontrol oleh batuan alami yang mengalami pelapukan, tipe tanah, dan komposisi kimia dasar perairan. Salinitas adalah indikator dalam penyebaran massa air laut sehingga penyebaran nilai-nilai salinitas secara langsung menunjukkan penyebaran dan peredaran massa air dari satu tempat ke tempat lainnya. Penyebaran salinitas secara alamiah dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain curah hujan, pengaliran air tawar ke laut secara langsung maupun lewat sungai dan gletser, penguapan, arus laut, turbulensi percampuran, dan aksi gelombang (P.S. Meadows, 1988).

Menurut (Ji, 2017), Pasang surut adalah faktor utama di muara dan aliran air tawar dalam mengendalikan distribusi salinitas secara vertikal dan horizontal. Secara vertikal, pasang surut menyebabkan percampuran vertikal yang kuat dan sedikit stratifikasi, sedangkan pasang surut tidak cukup untuk memecah stratifikasi vertikal. Secara horizontal, salinitas di muara yang kecil dan bercampur pasang surut dapat berubah dari tawar menjadi salin dalam siklus pasang surut, sedangkan salinitas di muara yang lebih besar sebagian besar dikendalikan oleh aliran masuk

air tawar musiman. Dorongan angin juga dapat mempengaruhi pencampuran vertikal secara signifikan di muara besar.

## 2.10. Baku Mutu Perairan Laut

Menurut PP Nomor 22 tahun 2021 tentang penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup. Tabel dibawah ini parameter yang ada pada PP No. 22 tahun 2021.

**Tabel 2.2** PP Nomor 22 tahun 2021

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu		
			Port	Wisata	Biota Laut
1	Warna	Pt.Co	-	30	-
2	Kecerahan	m	>3	>6	Coral: >5 Lamun: >3 Mangrove: -
3	Kekeruhan	NTU	-	5	5
4	Kebauan	-	Tidak berbau	Tidak berbau	Alami
5	Padatan tersuspensi total	mg/L	80	20	Coral: 20 Lamun: 20 Mangrove: 80
6	Sampah	-	nihil	nihil	nihil
7	Suhu	°C	alami	alami	alami Coral: 28-30 Lamun: 28-30 Mangrove: 28-32
8	Lapisan minyak	-	nihil	nihil	nihil
9	pH	-	6,5-8,5	7-8,5	7-8,5
10	Salinitas	ppm	alami	alami	alami Coral: 33-34 Lamun: s/d 34 Mangrove: 33-34
11	Oksigen terlarut	mg/L	-	>5	>5
12	BOD	mg/L	-	10	20

13	Amonia total	mg/L	0,3	0,02	0,3
14	Ortofosfat	mg/L	-	0,015	0,015
15	Nitrat	mg/L	-	0,06	0,06
16	Sianida	mg/L	-	-	0,5
17	Sulfida	mg/L	0,03	0,002	0,01
18	Hidrokarbon petroleum total	mg/L	1	-	0,02
19	Senyawa fenol total	mg/L	0,002	0,001	0,002
20	PCB	mg/L	0,01	0,005	0,01
21	PAH	mg/L	-	0,003	0,003
22	surfaktan	mg/L	1	0,001	1
23	Minyak dan lemak	mg/L	5	1	1
24	Pestisida				
	a. BHC	µg/L	-	210	210
	b. Aldrin/dieldrin	µg/L	-	17	-
	c. chlordane	µg/L	-	3	-
	d. DDT	µg/L	-	2	2
	e. Heptachlor	µg/L	-	18	-
	f. Lindane	µg/L	-	56	-
	g. Methoxy-chlor	µg/L	-	35	-
	h. Endrin	µg/L	1	1	4
	i. Toxaphan	µg/L	-	5	-
25	TBT	µg/L	0,01	-	0,01
26	Raksa	mg/L	0,003	0,002	0,001
27	Kromium heksavalen	mg/L	-	0,002	0,005
28	Arsen	mg/L	-	0,025	0,012
29	Cadmium	mg/L	0,01	0,002	0,001
30	Tembaga	mg/L	0,05	0,05	0,008
31	Timbal	mg/L	0,5	0,005	0,008
32	Seng	mg/L	0,1	0,095	0,05
33	Nikel	mg/L	-	0,075	0,05
34	Fecal coliform	Jml/100mL	-	200	-

35	Coliform (total)	Jml/100mL	1000	1000	1000
36	Pathogen	sel/100mL	-	Nihil	Nihil
37	Fitoplankton	sel/L	-	1000	1000
38	radioaktifitas	Bq/L	-	4	4

Regulasi: PP no. 22 Tahun 2021

**Keterangan:**

Alami adalah kondisi normal di alam, yang bervariasi dalam sehari (siang, malam) atau bervariasi karena musim. Data pemantauan sebagai acuan, Dimana untuk suhu diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan 2°C (dua derajat celsius) dari suhu alami.

Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah salinitas, suhu, dan oksigen terlarut (DO). Parameter suhu digunakan untuk verifikasi model dari hasil pengukuran dengan menggunakan TD-Gauge dan data suhu yang hasil observasi dengan menggunakan CTD Cast Away digunakan sebagai validasi model. Sedangkan untuk parameter salinitas dan oksigen terlarut untuk menganalisis dampak secara lingkungan.

## 2.11. Penelitian Terdahulu

**Tabel 2.3** Jurnal Terdahulu yang Relevan dengan Penelitian

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Tahun	Hasil Penelitian	Sumber Literatur
1	Luis Laguna-Zarate Luis, Héctor Barrios-Piña, Hermilo Ramírez-León, Raudel García-Díaz dan Rocio Becerril-Piña	<i>Analysis of thermal plume dispersion into the sea by remote sensing and numerical modelling</i>	2021	Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari dispersi panas (termal) ke laut dari pembangkit listrik tenaga nuklir dengan menggunakan metode <i>remote sensing</i> dan pemodelan numerik. Studi kasus penelitian ini mengenai Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Laguna Verde di pantai Teluk Meksiko. Dispersi panas (termal) dikarakterisasi dengan menerapkan <i>remote sensing</i> . Selanjutnya menggunakan simulasi numerik <i>Delft3D-Flow</i> untuk menganalisis proses dispersi termal yang cenderung ke pembangkit listrik. Analisis termal ini membandingkan perilaku parameter tak berdimensi yang berbeda. Hasil simulasi numerik ini digunakan untuk menyelidiki kinerja turbulensi AEM dan k-l	<i>Journal of Marine Science and Engineering</i> <i>J.Mar. Sci. Eng.</i> 2021, 9, 1437. <a href="https://doi.org/10.3390/jmse9121437">https://doi.org/10.3390/jmse9121437</a>

---

				dan k-ε yang terdapat dalam model <i>Delft3D-FLOW</i> . Kontribusi model turbulensi <i>Large Eddy Simulation</i> (LES) juga dianalisis. Hasilnya menunjukkan bahwa gaya konveksi dominan <i>area discharge</i> dan disekitar <i>intake</i> .	
2	Fikri, M. Y. Atmadipoera, A. S. Nurjaya, I. W	<i>Thermal dispersion model cooling water discharges from industrial activities of steam power plants (PLTU) on the north coast of Paiton, East Java</i>	2020	Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui proses sebaran limbah air panas dari PLTU Paiton baik secara horizontal maupun vertikal dengan metode observasi dan model numerik. Validasi model pasang surut dengan data observasi memiliki nilai korelasi yang tinggi ( $r = +0,908$ ). Model validasi sebaran limbah air panas di permukaan dengan hasil observasi memiliki nilai RMSE sebesar ( $e = 0,96$ ). Hasil pengamatan menunjukkan suhu air panas limbah di <i>outlet</i> tercatat antara 30°C-40°C. Secara vertikal sebaran limbah air panas di dekat <i>outlet</i> mencapai kedalaman 5 m dan secara horizontal ketebalannya semakin menipis pada jarak sekitar 500 m dari <i>outlet</i> . Hasil model menunjukkan bahwa	<i>IOP Conference Series: Earth and Environmental Science/429/012022/2020</i>  <i>doi:10.1088/1755-1315/429/1/012022</i>

---

---

			distribusi sebaran limbah air panas terjadi lebih luas pada saat air surut.		
3	Suryo, M.S.K.T. Yohana, E. Restiana, T. Gunawan, R. Rozi, K.	<i>Simulation of thermal dispersion in location of development of diesel power plant using computational fluid dynamics</i>	2021	<p>Penelitian ini menggunakan model numerik untuk mensimulasikan pola dispers termal limbah panas dari air pendingin PLTD di Perairan Halmahera. Pemodelan dispersi termal limbah panas air pendingin PLTD dilakukan menggunakan metode Ansys CFD (<i>Computational Fluid Dynamics</i>) 3-D. Data <i>input</i> yang digunakan adalah debit air panas dan suhu air limbah 37,5°C. Temperatur air laut sekitar 30,5 °C dan densitas air laut 1022 kg/m<sup>3</sup>. Pemodelan hidrodinamika arus laut dimodelkan dengan dua variasi yaitu arus konstan sebesar 0,4 m/s dan arus UDF. Arus UDF memiliki nilai arus yang berbeda untuk setiap kedalaman dengan arus kecepatan 0,005 m/s hingga 0,4 m/s. Hasil simulasi arus konstan menunjukkan penyebaran panas ke lingkungan terjadi sejauh 210 m ke arah utara <i>outlet</i> pembuangan. Nilai suhu tertinggi 37,14°C, terendah 30,8°C. Untuk</p>	<i>IOP Conference Series: Materials Science and Engineering /1096/012035/2021</i>

---

---

				model arus UDF ( <i>User Defined Function</i> ) ini, penyebaran panas adalah 210 m ke arah utara <i>outlet</i> pelepasan dengan nilai temperatur tertinggi adalah 37,13°C terendah 30,61°C.	
4	Vadhilah Savetri, Mega Laksmi Syamsuddin, Iis Rostini dan Izza Mahdiana Apriliani	<i>Thermal Front Distribution in Pangandaran Waters</i>	2020	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variabilitas spasial dan temporal dari <i>thermal front</i> di perairan Pangandaran, Jawa Barat, Penelitian ini dilakukan pada bulan januari hingga Februari 2018 di Perairan Pangandaran, Jawa barat. Bertujuan untuk mengetahui lokasi dan waktu terjadinya <i>thermal front</i> di perairan Pangandaran. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah SPL yang berasal dari AquaMODIS dan Aliran Geostropik dari ECMWF. Metode yang digunakan adalah metode deskriptif dengan pendekatan analisis spasial dan temporal. <i>Thermal Front</i> terdeteksi pada data citra raster suhu permukaan laut (SPL) menggunakan algoritma Cayulla Cornilon 1992 dengan kategori kuat dengan selisih SPL $\geq 0,5$ °C dan lemah dengan selisih SPL	<i>Global Scientific Journals</i> GSJ: Volume 8, Issue 1, January 2020, Online: ISSN 2320-9186

---

0,3°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa front yang terbentuk di perairan pangandaran merupakan front sementara dengan kekuatan lemah dan kuat. Sebaran dan frekuensi *thermal front* paling banyak ditemukan pada bulan Desember (musim barat) dengan total 11 satuan terjadi dengan rata-rata nilai SPL 29,3°C dan sebaran paling sedikit ditemukan pada bulan April (musim peralihan 1). Kisaran temperatur tertinggi dari *thermal front* adalah antara 30 -33,8 °C dan terendah berada pada kisaran 22,8 - 26,5 °C. Kejadian *thermal front* umumnya terjadi di perairan Samudera Hindia.

5	Fernandito Suryo Hutomo, Aris Ismanto, Heryoso Setiyono, Lilik	Model Sebaran Limbah Bahang di PLTU Tanjung Jati B Jepara	2021	Model dispersi termal berdasarkan model hidrodinamika diterapkan pada PLTGU Cilegon (industri tenaga listrik berbasis gas dan uap) di pesisir Pantai Margasari, Kecamatan Pulo Ampel, Serang-Banten. PLTGU ini menggunakan air laut sekitar 60.000 m <sup>3</sup> P/jam sebagai sistem air pendingin. Oleh karena itu, dihasilkan air dengan suhu tinggi	Indonesian Journal of Oceanography [February] [2021] Vol 03 No: 01 ISSN:2714-8726 <a href="https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/ijoce">https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/ijoce</a>
---	--	--	------	--	---

---

Maslukah dan Rikha Widiaratih	sekitar 5 P o PC lebih tinggi dari suhu air laut. Suhu air yang tinggi ini dialirkan ke perairan pesisir. Penelitian ini mencoba memprediksi sebarannya menurut musim tenggara dan timur laut. Verifikasi model dilakukan baik terhadap komponen hidrodinamika (pasut dan arus) maupun temperatur air. Hasil verifikasi menunjukkan pola yang cukup baik antara hasil model dan pengukuran lapangan.
6 I Wayan Nurjaya dan Heron Surbakti <i>Thermal Dispersion Model of Water Cooling PLTGU Cilegon CCPP Discharger Into Margasari Coastal Waters at The Western Coast of Banten Bay</i>	Model dispersi termal berdasarkan model hidrodinamika diterapkan pada PLTGU Cilegon (industri tenaga listrik berbasis gas dan uap) di pesisir Pantai Margasari, Kecamatan Pulo Ampel, Serang-Banten. PLTGU ini menggunakan air laut sekitar 60.000 m <sup>3</sup> /jam sebagai sistem air pendingin. Oleh karena itu, dihasilkan air dengan suhu tinggi sekitar 5°C lebih tinggi dari suhu lingkungan yang disalurkan ke perairan pantai melalui outlet. Suhu air yang tinggi ini dialirkan ke perairan pesisir. Penelitian ini mencoba memprediksi sebarannya menurut musim

---

---

			tenggara dan timur laut. Verifikasi model dilakukan baik terhadap komponen hidrodinamika (pasut dan arus) maupun temperatur air. Hasil verifikasi menunjukkan pola yang cukup baik antara hasil model dan pengukuran lapangan.		
7	Amiral Aziz, Petrus Wiyoto	Analisa Dispersi Termal di Periran Selat Sembilan, Sumut	2011	<p>Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Pangkalan Susu berbahan bakar batubara direncanakan untuk dibangun di desa Tanjung Pasir, kabupaten Langkat yang mengambil air laut sebagai pendingin kondensor pembangkit listrik, dan dibuang kembali ke laut. Untuk mengetahui kemungkinan kembali masuk nya sirkulasi air panas ke sisi pemasukkan <i>system intake</i>, untuk itu perlu dipelajari dispersi termal dalam rencana pembangunan pembangkit tersebut. Pada studi ini, pemodelan numerik digunakan untuk menentukan pola distribusi termal yang keluar dari sistem <i>outlet</i> PLTU. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa dengan konfigurasi rancangan sistem <i>intake inlet</i> dan <i>discharge outlet</i></p>	<p>Jurnal Rekayasa Lingkungan Vol. 6, No. 3, Hal. 267-273, Jakarta, November 2011. ISSN : 2085.3866 No.376/AU1/P2MBI/07/2011</p>

---

---

yang direkomendasikan, sistem pendingin kondenser PLTU Pangkalan Susu unit 3 dan 4 adalah aman dari pengaruh dispersi termal dimana resirkulasi air pendingin yang hangat tidak akan terjadi. Temperatur air pendingin yang masuk melalui sistem intake inlet kondenser adalah 30,5°C. Sedangkan untuk Pangkalan Susu unit 1 dan 2 akan dipengaruhi oleh efek kumulatif dari sebaran temperatur yang keluar dari sistem *discharge outlet* 4 unit pembangkit dimana temperatur air masuk sistem intake inlet kondenser adalah 31,2°C-32,2°C

---

8	Baldwin, Richard Charles	<i>A dispersion model for heated effluent from an ocean outfall</i>	1970	Dikembangkannya pemodelan berbasis matematika untuk dispersi effluent panas dari <i>outfall</i> . Parameter masukan meliputi kondisi atmosfer dan lautan serta karakteristik debit. Model ini memecahkan persamaan diferensial dua dimensi keadaan tunak untuk difusi panas non-konservatif dalam fluida yang bergerak. Solusinya dikalibrasi dan diverifikasi menggunakan data dari	Calhoun: The NPS Institutional Archive, Theses and Dissertations <a href="http://hdl.handle.net/10945/40144">http://hdl.handle.net/10945/40144</a>
---	--------------------------------	---	------	--	---

---

---

			survei yang dilakukan di pembangkit listrik Perusahaan Edison California Selatan di Huntington Beach, California. Bidang suhu yang diprediksi oleh model dibandingkan dengan bidang sebenarnya untuk tujuh survei berbeda. Perbandingan ini menunjukkan bahwa model dapat digunakan untuk memprediksi pengaruh skala besar dari jatuhnya pada lingkungan laut setempat.		
9	R. De Graaff, A. Lindfors, E.De Goede	<i>Modelling of a Thermal Discharge in an Ice-covered Estuary in Finland</i>	2015	Pemodelan numerik pertumbuhan es, pencairan, dan transportasi pada skala regional seperti laut pesisir, muara, sungai, atau danau dapat memberikan masukan penting untuk desain dan pemasangan infrastruktur laut yang aman dan efisien di wilayah Arktik, sub-arktik, atau garis lintang tengah. Pemodelan es dan proses fisik kompleks terkait pada skala regional ini masih belum dijelajahi. Kompleksitas pemodelan es pada skala lokal dan regional paling baik diilustrasikan di area di mana air laut yang tertutup es bercampur dengan air sungai	OTC Arctic Technology Conference 2015 DOI: 10.4043/25521-MS

---

---

segar dan pembuangan panas dari kilang atau pembangkit listrik. Situasi seperti itu ada di Svartbäckfjärden, muara sekitar 35 km di sebelah timur Helsinki, Finlandia. Dua sungai kecil mengalir ke muara ini. Muara membeku selama musim dingin dengan ketebalan es biasanya berkisar antara 20 hingga 50 cm. Di muara ini kilang minyak mengambil air pendingin pada kedalaman sekitar 15 m. Air panas dibuang ke permukaan dan mengakibatkan mencairnya es laut di sekitar muara. Namun, mengingat air tawar dari sungai di awal musim semi, dan fakta bahwa salinitas air masuk lebih tinggi daripada air permukaan, air pendingin yang dibuang telah diamati mengalir di bawah lapisan segar yang relatif dingin tepat di bawah es. Karena pencampuran plume dengan air di sekitarnya, suhu lapisan air tawar meningkat, menyebabkan pencairan es agak jauh dari muara tanaman. Makalah ini menyajikan studi kasus dengan Delft3D, yang

---

---

merupakan program pemodelan numerik terintegrasi yang fleksibel yang memungkinkan simulasi aliran 3 dimensi, transportasi sedimen, morfologi, gelombang, tumpahan, kualitas air dan ekologi, dikombinasikan dengan modul es yang dikembangkan baru-baru ini. Pemodelan 3 dimensi dengan Delft3D dari pelepasan panas dari kilang minyak di muara Svartbäckfjärden yang tertutup es disajikan dan dibandingkan dengan pengamatan lokal terhadap arus, suhu air, salinitas, dan ketebalan es. Studi kasus akan menunjukkan kemampuan Delft3D untuk mencakup semua proses fisik yang relevan yang menentukan karakteristik temporal dan spasial es dan pelepasan panas, di bawah pengaruh pelepasan sungai segar, gaya hidrodinamik, meteorologi, dan atmosfer. Kemampuan ini akan berkontribusi pada pengembangan lebih lanjut pemodelan es terintegrasi pada skala regional, yang pada akhirnya menguntungkan keberlanjutan, efisiensi, dan

---

---

				keamanan desain struktur laut di perairan yang tertutup es.	
10	Mardi Wibowo dam Velly Asvaliantina	Kajian Dispersi Panas Akibat Air Limbah Rencana Pembangunan PLTU Kuala Tungkal - Provinsi Jambi	2018	Kini untuk memenuhi kebutuhan listrik, pemerintah mencanangkan pembangunan pembangkit listrik 10.000 MW. Salah satu implementasinya dengan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batu bara seperti Kuala Tungkal di Kabupaten Tanjab Barat, Provinsi Jambi. Masalah utama dari kegiatan pembangkit listrik adalah suhu air limbah yang jauh lebih tinggi dari suhu perairan di sekitarnya. Kenaikan suhu tidak hanya akan mengurangi efisiensi sistem pendingin tetapi juga berbahaya bagi kehidupan air. Untuk meminimalkan dampak perlu dilakukan pemodelan adveksi/dispersi air panas sebelum pembangunan pembangkit listrik. Dengan pemodelan ini akan diketahui sebaran limbah panas dari PLTU secara 3 dimensi, sehingga sejak awal dapat dilakukan upaya untuk mengurangi dampak negatif yang muncul. Selain itu model ini	Jurnal Teknologi Lingkungan Vol. 19, No 1, Januari 2018

---

---

dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam penentuan lokasi intake dan *outfall* system cooling water. Penelitian ini dilakukan dalam beberapa skenario dengan menggunakan software MIKE3. Berdasarkan hasil pemodelan diketahui bahwa intensitas resirkulasi air pendingin cukup kecil ( $<0,3$  °C) diperkirakan terjadi saat air pasang semakin parah saat aliran sungai dari hulu berkurang. Sebaran air panas dengan perbedaan suhu terhadap suhu air sekitar ( $\Delta T$ )  $> 2$  °C, hanya terjadi pada daerah yang sangat terbatas, yaitu maksimal sekitar 45 m di sebelah timur lokasi *outfall*.

---

11	Kasman, I Wayan Nurjaya, Ario Damar, Ismudi Muchsin, dan Zaenal Arifin	Prediksi Sebaran Suhu dari Air Buangan Sistem Air Pendingin PT. Badak NGL di Perairan Bontang	2010	Tingginya suhu buangan air pendingin PT. Badak NGL yang dilepas ke Perairan Bontang menyebabkan terganggunya berbagai sumber daya pesisir yang ada disekitarnya. Karena itu perlu diketahui pola sebaran suhu agar dampak yang mungkin timbul dapat diminimalkan. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi pola sebaran suhu dari buangan air	<i>Article in ILMU KELAUTAN Indonesian Journal of Marine Sciences Desember 2010 Vol. 15 (4) 194- 201</i>
----	--	--	------	---	--

---

---

Menggunakan  
Model Numerik

pendingin PT. Badak NGL di Perairan Bontang, Kalimantan Timur. Prediksi dilakukan dengan menggunakan model hidrodinamika dan transpor suhu 3-D yang dimodifikasi dari model POM (Princeton Ocean Model). Gaya pembangkit yang digunakan dalam model adalah pasang surut, debit buangan air pendingin dan debit sungai. Pemilihan langkah waktu ( $\Delta t$ ) = 0,5 detik, dengan 118 grid (barat-timur)

Penelitian ini dilakukan di Perairan Bontang, Kota Bontang, Provinsi Kalimantan Timur, dengan batas wilayah administrasi berada pada posisi antara  $0^{\circ}01'21''$ - $0^{\circ}14'$  LU dan  $117^{\circ}23'$ - $117^{\circ}38'$  BT. Pengukuran dan pengumpulan data yang diperlukan dilakukan sejak tanggal 13 September-11 Oktober 2008. Pasang surut diukur dengan mistar pasut selama 29 hari dan dicatat setiap jam, suhu kedalaman diukur selama 2 hari dengan CTD SBE19, sementara suhu permukaan dengan SCT meter.

---

---

Adapun data batimetri, debit buangan air pendingin dan debit air sungai diperoleh dari data primer dan data sekunder. Stasiun pengukuran pasut, suhu permukaan dan suhu kedalaman serta posisi sungai dan buangan air pendingin dapat.

Hasil verifikasi untuk elevasi pasang surut menunjukkan bahwa elevasi hasil simulasi mempunyai kesesuaian yang baik dengan elevasi hasil pengukuran, di mana nilai korelasi 0,97 dan Kesalahan Relatif Rata-rata (Mean Relative Error/MRE) 1.32% dengan persamaan regresi  $y = 0.927x - 0.044$ . Perbedaan antara hasil simulasi dan hasil observasi kemungkinan disebabkan oleh keterbatasan data batimetri, tidak dimasukkannya angin sebagai gaya pembangkit (driving force) dalam model, atau karena keterbatasan model yang digunakan. Verifikasi suhu permukaan hasil model dengan hasil pengamatan untuk kondisi pasut purnama dan perbani menunjukkan kedekatan yang

---

---

baik, di mana nilai korelasi sebesar 0,90 dan MRE 5,17% serta 0,87 dan MRE 7,12% dengan persamaan regresi  $y = 0,851x+5,170$  dan  $y = 1,391x-15,22$  masing-masing untuk pasut purnama dan perbani. Verifikasi hasil simulasi suhu arah vertikal dilakukan terhadap data hasil pengukuran selama 2 hari (48 jam) di stasiun 8 (Gambar 4) pada kedalaman 6 m. Hasil verifikasi menunjukkan adanya kesesuaian yang baik antara suhu hasil simulasi dan suhu hasil observasi baik pada lapisan permukaan maupun pada lapisan bawah, di mana untuk layer-1 korelasi 0,83, MRE 1,56%; layer-2 korelasi 0,79, MRE 2,08; layer-3 korelasi 0,73, MRE 2,36; dan layer-4 korelasi 0,71, MRE 2,94%. Persamaan regresi untuk layer-1, 2, 3 dan 4 masing-masing adalah  $y = 1,007x -0,613$ ,  $y = 0,702x + 10,68$ ,  $y = 0,877x+4,568$  dan  $y = 0,666x+11,68$ .

Untuk mengetahui pola sebaran suhu sepanjang tahun, maka dilakukan simulasi untuk musim hujan

---

---

dan musim kemarau masing-masing pada saat perbani dan purnama. Selanjutnya hasil simulasi dari keempat kondisi tersebut masing-masing dicuplik pada saat air menuju pasang, pasang maksimum, menuju surut dan surut maksimum. Dengan demikian akan diketahui jika ada perbedaan ekstrim untuk kondisi tersebut Hasil simulasi menunjukkan adanya perbedaan untuk masing-masing kondisi cuplik terutama pada saat purnama. Hal ini disebabkan adanya perbedaan elevasi muka laut yang cukup besar untuk keempat kondisi cuplik tersebut pada saat purnama. Perbedaan suhu paling ekstrim ditemukan di Muara Kanal Pendingin (mixing point).

---

12	Dewi Surinati dan Muhammad Ramadhani Marfatah	Pengaruh Faktor Hidrodinamika Terhadap Sebaran Limbah Air Panas Di Laut	2019	Salah satu limbah yang mengkhawatikan bagi kelangsungan kehidupan biota laut adalah limbah panas. Buangan limbah panas terbesar berasal dari pembangkit listrik. Apabila limbah ini menyebar ke seluruh perairan laut maka akan sangat membahayakan bagi lingkungan laut dan hajat hidup	<i>Oseana, Volume XLIV, Nomor 1 Tahun 2019 : 26 – 37 ISSN 0216-1877</i>
----	---	---	------	--	---

---

---

biota laut tentunya. Pembangkit listrik merupakan salah satu teknologi untuk pemenuhan kebutuhan energi bagi manusia. Pembangkit listrik seperti Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTG/PLTU) merupakan suatu pusat pembangkit listrik yang menggunakan tenaga uap sebagai penggerak utama turbin untuk menghasilkan listrik. Simulasi model merupakan hasil akhir yang telah diproses (running) selama 15 hari. Hasil akhir tersebut dicuplik berdasarkan pengaruh angin musim, serta mempertimbangkan kondisi ekstrim pasang surut setempat (saat menuju surut, surut terendah, menuju pasang, serta pasang tertinggi). Waktu pencuplikan ditentukan berdasarkan data pasang surut lapangan yang diwakili bulan Januari (musim barat), dan bulan Juli (musim timur). Hasil pencuplikan tersebut akan digunakan untuk mengetahui distribusi pola arus, serta sejauh mana pengaruh buangan limbah air pendingin dalam

---

---

rentang waktu 15 hari. Hasil akhir yang ditampilkan berupa distribusi pola arus berdasarkan kondisi pasang surut tiap musimnya, serta sebaran maksimum dari limbah buangan air pendingin (cooling water) di lokasi kajian pemodelan. Buangan limbah panas dari pendingin mesin pembangkit tenaga listrik ke perairan laut secara kontinyu di suatu tempat, dan tidak mempertimbangkan kondisi perairan dan cuaca, serta iklim dapat berdampak negatif terhadap kehidupan organisme di habitat perairannya. Hal ini dapat diminimalisasi atau bahkan tidak akan berdampak sama sekali, jika dilakukan suatu usaha untuk mengatur buangan limbah air panas dengan manajemen yang tepat dan benar. Sistem pembuangan limbah air panas yang ramah lingkungan diperlukan untuk menjaga kelangsungan kehidupan ekosistem pesisir. Pola sebaran limbah cair di perairan dipengaruhi oleh pergerakan massa air di lokasi tersebut. Kecepatan pergerakan massa air

---

---

yang semakin besar akan menyebabkan pergerakan limbah cair di perairan yang semakin luas. Oleh karena itu diperlukan pemahaman hidrodinamika yang baik untuk melakukan pemodelan penyebaran limbah panas ini dalam rangka pengurangan dampak kerusakan lingkungan.

---

## 2.12. Model Hidrodinamika

Penggunaan model *numerical* untuk mensimulasi sistem air hanya dapat bekerja jika dapat mengerti batasan dan proses fisika serta melakukan verifikasi. Ada banyak perangkat lunak dalam model hidrodinamika baik yang komersial maupun gratis dan *open source*, salah satunya ialah yang dipakai pada penelitian ini yaitu *ROMS (Regional Ocean Modeling System)*, merupakan model numerik 2-Dimensi yang dapat menyelesaikan pendekatan beda hingga dari persamaan RANS (*Reynold Averaged Navier-Stokes*) menggunakan persamaan hidrostatik dan Boussinesq (Chassignet, *dkk.*, 2000; Haidvogel, *dkk.*, 2007; Warner, *dkk.*, 2008) dengan algoritma langkah waktu pemisah eksplisit (Shchepetkin dan McWilliams, 2005; Haidvogel, *dkk.*, 2007; Warner, *dkk.*, 2008). ROMS menggunakan grid horisontal kurvilinear *Arakawa C* dan koordinat vertikal sigma. Model ROMS memiliki struktur yang fleksibel yang memungkinkan terdapat banyaknya pilihan untuk menentukan komponen model, termasuk pilihan untuk skema adveksi (orde pertama, orde kedua, orde ketiga dan orde keempat), submodel turbulensi dan variasi kondisi batas (Warner et al., 2008).

## 2.13. Persamaan-persamaan Dasar

Persamaan momentum, adveksi skalar dan proses difusi dirumuskan dalam persamaan transpor. Sedangkan densitas ditentukan dari sebuah persamaan yang menghitung temperatur dan salinitas. Persamaan pembangun diberikan dalam bentuk fluks, koordinat horisontal kartesian dan koordinat vertikal sigma. Persamaan momentum yang digunakan dalam model ROMS dapat dilihat pada persamaan (2.1) dan (2.2) (Warner, *dkk.*, 2008):

Persamaan arah x:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(H_z u)}{\partial t} + \frac{\partial(u H_z u)}{\partial x} + \frac{\partial(v H_z u)}{\partial y} - f H_z v \\ & = -\frac{H_z}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} - H_z g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial s} \left( \overline{u'w'} - \frac{v}{H_z} \frac{\partial u}{\partial s} \right) \end{aligned} \quad (2.1)$$

Persamaan arah y:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(H_z v)}{\partial t} + \frac{\partial(u H_z v)}{\partial x} + \frac{\partial(v H_z v)}{\partial y} + f H_z u \\ & = -\frac{H_z}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} - H_z g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial s} \left( \overline{v' w'} - \frac{v}{H_z} \frac{\partial v}{\partial s} \right) \end{aligned} \quad (2.2)$$

Persamaan arah z:

$$\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial s} + \frac{g}{\rho_0} H_z \rho = 0 \quad (2.3)$$

Persamaan kontinuitas ditunjukkan sebagai berikut.

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(H_z u)}{\partial x} + \frac{\partial(H_z v)}{\partial y} + \frac{\partial(H_z \Omega)}{\partial s} = 0 \quad (2.4)$$

Untuk transport skalar ditunjukkan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(H_z C)}{\partial t} + \frac{\partial(u H_z C)}{\partial x} + \frac{\partial(v H_z C)}{\partial y} + \frac{\partial(\Omega H_z C)}{\partial s} \\ & = -\frac{\partial}{\partial s} \left( \overline{C' w'} - \frac{v_\theta}{H_z} \frac{\partial C}{\partial s} \right) + C_{source} \end{aligned} \quad (2.5)$$

Dimana  $u, v, \Omega$  adalah komponen kecepatan rata-rata dalam arah horisontal ( $x$  dan  $y$ ) dan arah vertikal ( $s$ ); koordinat vertikal sigma  $s = (z - \eta)/D$  dimulai dari  $s = -1$  di dasar dan  $s = 0$  di permukaan;  $z$  adalah koordinat vertikal bernilai positif dengan  $z = 0$  pada muka air laut rata-rata;  $D$  adalah total kedalaman air laut  $D = h + \eta$ ;  $h$  adalah kedalaman di bawah permukaan air laut dari dasar laut;  $H_z$  adalah ketebalan sel grid;  $f$  adalah parameter Coriolis;  $p$  adalah tekanan;  $\rho$  dan  $\rho_0$  adalah total densitas air laut berdasarkan referensi;  $g$  adalah percepatan gravitasi;  $v$  dan  $v_0$  adalah viskositas dan difusifitas molekular;  $C$  menunjukkan kuantitas *tracer* (contoh: salinitas, temperatur dan sedimen melayang);  $C_{source}$  adalah sumber *tracer*; dan sebuah fungsi  $\rho = f(C)$  digunakan untuk menggambarkan hubungan densitasnya. Persamaan ini kemudian di selesaikan dengan menggunakan parameter stress Reynolds yang dituliskan dalam persamaan berikut.

$$\overline{u' w'} = K_M \frac{\partial u}{\partial z}$$

$$\begin{aligned}\overline{v'w'} &= K_M \frac{\partial v}{\partial z} \\ \overline{\rho'w'} &= K_H \frac{\partial \rho}{\partial z}\end{aligned}\tag{2.6}$$

Dimana  $K_M$  adalah viskositas eddy dan  $K_H$  difusivitas eddy (Warner et al., 2008).

#### 2.14. Syarat Stabilitas

Dalam penentuan *time step* diperlukan syarat stabilitas menggunakan *Courant Friedrichs Levy* (CFL) dengan mode eksternal:

$$\Delta t \leq \frac{1}{C_t} \left( \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right)^{-\frac{1}{2}}\tag{2.7}$$

$$C_t = 2(gH)^{\frac{1}{2}} + \bar{U}_{max}\tag{2.8}$$

Dimana  $\Delta t$  adalah *time step* mode eksternal,  $C_t$  adalah kecepatan gelombang mode eksternal,  $g$  adalah gaya gravitasi,  $H$  adalah tinggi gelombang, dan  $\bar{U}_{max}$  adalah kecepatan maksimum rata-rata yang diharapkan. Pada mode internal memiliki *time step* lebih panjang dibanding mode eksternal dengan kriteria penentuan *time step* analog dengan mode internal yang diberikan dalam persamaan:

$$\Delta T \leq \frac{1}{C_T} \left( \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right)^{-\frac{1}{2}}\tag{2.9}$$

Dimana  $\Delta T$  adalah *time step* mode internal.  $C_T$  adalah kecepatan gelombang mode internal,  $C_T = 2C + U_{max}$  dengan  $C$  adalah kecepatan gelombang maksimum gravitasi internal yang umumnya dalam order 2 m/s dan  $U_{max}$  adalah kecepatan advectif maksimum. Karena adanya difusi, penentuan *time step* menggunakan:

$$\Delta T \leq \frac{1}{4A_H} \left( \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right)^{-1}\tag{2.10}$$