



## **LAPORAN PENGAJIAN**

# **PEMBUANGAN LIMBAH CAIR PLTU MOLOTABU 2 x 12 MW KE LAUT OLEH PT. TENAGA LISTRIK GORONTALO**



**PT. TENAGA LISTRIK GORONTALO**  
Jl. Trans Sulawesi Desa Bintalahe  
Kecamatan Kabila Bone Kabupaten Gorontalo

**TAHUN 2014**

[Type text]

## KATA PENGANTAR

Puji dipanjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan ijin Nyalah laporan kajian Ijin Pembuangan Limbah Cair (IPLC) PLTU Molotabu 2 x 12 MW oleh PT. Tenaga Listrik Gorontalo dapat diselesaikan.

Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2006 tentang Persyaratan dan Tata Perijinan Pembuangan Air Limbah ke laut bahwa setiap jenis usaha/kegiatan yang akan melakukan pembuangan air limbah ke laut wajib mendapatkan ijin dari menteri. Kajian ini dibuat sebagai dasar analisa dan pertimbangan dalam penerbitan ijin dimaksud.

Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian kajian ini.

Gorontalo, Juni 2014  
Pemrakarsa



**Deni Damanhuri**  
*Manager Operasional*

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>BAB I                    RONA AWAL BADAN AIR</b>	
1.1 Karakteristik Kimia .....	I - 1
1.2 Karakteristik Biologi .....	I - 3
1.3 Hidrooceanografi .....	I - 5
1.3.1 Pengamatan Pasang Surut .....	I - 5
1.3.2 Batimetri .....	I - 8
<b>BAB II                  DAMPAK PEMBUANGAN</b>	
2.1 Lokasi Studi.....	II - 1
2.2 Deskripsi Model .....	II - 2
2.2.1 Persamaan Pembangun .....	II - 2
2.2.2 Desain Model .....	II - 5
2.2.3 Syarat Batas .....	II - 7
2.3 Validasi Model .....	II - 8
2.4 Hasil Model .....	II - 10
2.4.1 Hasil Model Hidrodinamika .....	II - 10
2.4.2 Hasil Model Sebaran Limbah Cair.....	II- 12
2.4.2.1 Model Sebaran Nilai pH .....	II- 12
2.4.2.2 Model Sebaran Nilai TSS.....	II- 14
2.4.2.3 Model Sebaran Nilai Temperatur .....	II - 15
2.4.2.4 Model Sebaran Nilai Besi.....	II - 17
2.4.2.5 Model Sebaran Nilai Mangan.....	II - 18
2.5 Identifikasi Kondisi yang Paling Kritis Akibat Kondisi Oceanografi.....	II-20
2.6 Penentuan Zona of Initial Dillution (ZID) .....	II-21
2.7 Potensi Perpindahan Polutan .....	II-21
2.8 Komposisi dan Kerentanan Komunitas Biologi Terpajan oleh Air Limbah .....	II-21
2.9 Nilai Penting Badan Air.....	II-22
2.10 Lokasi Akuatik Khusus .....	II-22
2.11 Potensi Dampak Terhadap Kesehatan Manusia .....	II-22
2.12 Potensi Lokasi .....	II-23
<b>BAB III                MITIGAS</b>	
3.1 Upaya Meminimalkan Dampak Pembuangan Limbah Cair ke Laut ..	III-1
3.2 Kesimpulan .....	III-2
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

[Type text]

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
Tabel 1.1 Hasil Analisa Kualitas Air Laut di Teluk Tomini .....	I – 1
Tabel 1.2 Hasil Analisa Kualitas Air Limbah Bahang PLTU Molotabu .....	I – 2
Tabel 1.3 Hasil Analisa Kualitas Plankton di Badan Air Pantai Molotabu, Teluk Tomini .....	I – 3
Tabel 1.4 Komponen Pasang Surut .....	I – 7
Tabel 1.5 Elevasi Penting di perairan Teluk Tomini (pelabuhan dekat PLTU Molotabu) .....	I – 8
Tabel 2.1 Konsentrasi Parameter dalam Limbah Cair dan Input Model.....	II – 2

[Type text]

## DAFTAR GAMBAR

		<b>Halaman</b>
Gambar 1.1	Pengikatan (Levelling) Terhadap Peilscaal .....	I – 6
Gambar 1.2	Fluktuasi Muka Air Di Pelabuhan PLTU Molotabu, Teluk Tomini.....	I – 8
Gambar 1.3	Pergerakan Perahu Dalam Menyusuri Jalur Sounding .....	I – 9
Gambar 1.4	Penempatan peralatan echosounder dan GPS Receiver .....	I– 10
Gambar 1.5	Hasil Pengukuran Batimetri .....	I– 12
Gambar 2.1	Lokasi Studi .....	II – 1
Gambar 2.2	Diagram Alir Proses Pemodelan Sebaran Limbah Cair.....	II – 5
Gambar 2.3	Area Model .....	II – 7
Gambar 2.4	Verifikasi Pasang Surut hasil pengukuran di sekitar PLTU Molotabu dengan Hasil Model .....	II – 9
Gambar 2.5	<i>Current rose</i> kondisi arus hasil pemodelan di sekitar PLTU Molotabu.....	II– 10
Gambar 2.6	Hasil Model Arus Perairan Teluk Tomini Kondisi Surut Menuju Pasang.....	II– 10
Gambar 2.7	Hasil Model Arus Perairan Teluk Tomini Kondisi Pasang Menuju Surut.....	II– 11
Gambar 2.8	Pola sebaran nilai pH limbah pada kondisi Surut menuju Pasang .....	II– 12
Gambar 2.9	Pola sebaran nilai pH limbah pada Kondisi Pasang Menuju Surut .....	II– 13
Gambar 2.10	Pola sebaran nilai TSS pada kondisi Surut menuju Pasang.....	II– 14
Gambar 2.11	Pola sebaran nilai TSS pada Kondisi Pasang Menuju Surut.....	II– 15
Gambar 2.12	Pola sebaran nilai Temperatur pada kondisi Surut menuju Pasang .....	II– 16
Gambar 2.13	Pola sebaran nilai Temperatur pada Kondisi Pasang Menuju Surut.....	II– 16
Gambar 2.14	Pola sebaran konsentrasi Besi pada kondisi Surut menuju Pasang .....	II– 17
Gambar 2.15	Pola sebaran konsentrasi Besi pada Kondisi Pasang Menuju Surut .....	II– 18
Gambar 2.16	Pola sebaran Mangan pada kondisi Surut menuju Pasang.....	II– 19
Gambar 2.17	Pola sebaran Mangan pada Kondisi Pasang Menuju Surut .....	II– 19

[Type text]

## **DAFTAR LAMPIRAN**

- Lampiran 1 Profil Perusahaan
- Lampiran 2 Curriculum Vites Tim Pengkaji IPLC
- Lampiran 3 Hasil Analisis Laboratorium



# RONA AWAL BADAN AIR

## 1.1. Karakteristik Kimia



Badan air penerima limbah cair PLTU Molotabu adalah teluk yaitu Teluk Tomini yang merupakan daerah pesisir (*coastal zone*) yakni wilayah peralihan antara ekosistem darat dan ekosistem laut yang saling berinteraksi. Perairan Teluk Tomini merupakan salah satu teluk terbesar di Indonesia.

Aktivitas di sekitar lokasi kajian (lokasi pembuangan limbah cair) adalah penangkapan ikan, pariwisata dan pelabuhan.

Untuk mengetahui karakteristik kimia dari badan air penerima limbah cair maka dilakukan sampling air laut pada daerah intake dan outlet. Parameter yang dianalisis di dalam air laut adalah parameter fisik/kimia yang terkandung di dalam limbah cair yang dibuang ke badan air. Pada dasarnya limbah cair yang dibuang ke badan air Teluk Tomini berasal dari :

- Out Let WWTP (belum beroperasi)
- Out Let Oil Catcher (belum beroperasi)
- Out Let Limbah Bahang

Pada saat sekarang ini PLTU Molotabu sedang dalam tahap uji coba (*commisioning*), masih menunggu surat keputusan layak operasi. Sehingga untuk sementara, limbah yang berasal dari pengolahan air (*Water Treatment Plant*) hanya dialirkan ke saluran *Outfall Condenser* yang juga menampung limbah bahang PLTU untuk kemudian dibuang ke badan air penerima (Teluk Tomini), sehingga yang dikaji dalam laporan ini hanya berasal dari outlet/outfall limbah bahang. Hasil analisis kualitas air laut Teluk Tomini adalah sebagaimana terlihat pada Tabel 1.1 berikut ini.

**Tabel 1.1. Hasil Analisis Kualitas Air Laut Teluk Tomini**

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	
				AL-1	AL-2
A	Fisika				
1	Kebauan	-	Tidak berbau	Tidak berbau	Tidak berbau
2	TSS	mg/l	80	3,5	2,8
3	Suhu	°C	Alami	30,4	29,5

No	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	
				AL-1	AL-2
4	Kekeruhan	NTU	5	3,2	0,8
B	Kimia				
1	pH	-	6,5 – 8,5	8,15	8,15
2	Salinitas	‰	Alami	32	14
3	Oksigen Terlarut (DO)	mg/l	> 5	7,65	7,89
4	BOD	mg/l	20	4,2	3,2
5	Sulfida (H <sub>2</sub> S)	mg/l	0,01	0,07	0,07
6	Nitrat (NO <sub>3</sub> -N)	mg/l	0,008	0,003	0,03
7	Amonia Total (NH <sub>3</sub> -N)	mg/l	0,3	0,22	0,3
8	Surfaktan (Deterjen)	mg/l	1	0,4	0,5
9	Hidrocarbon (HC)	mg/l	1	0,02	0,01
10	Raksa (Hg)	mg/l	0,002	< LD	< LD
11	Cadmium (Cd)	mg/l	0,001	< LD	< LD
12	Tembaga (Cu)	mg/l	0,008	0,0076	< LD
13	Timbal (Pb)	mg/l	0,008	< LD	< LD
14	Seng (Zn)	mg/l	0,005	< LD	< LD

Sumber : Hasil analisis Laboratorium UPTD Keselamatan Kerja dan Hiperkes, Manado, 2014

Keterangan :

- AL-1 : Titik inlet air laut, N : 000 25' 96,2" E : 1230 08' 03,5"
- AL-2 : Titik outlet air laut, N : 000 26' 01,1" E : 1230 07' 98,0"

AL-1 merupakan daerah in take untuk air pendingin PLTU Molotabu. AL-2 merupakan lokasi pembuangan limbah cair (limbah bahang) dan sebagai daerah penyebaran limbah cair (limbah bahang) di Teluk Tomini dan ditetapkan sebagai titik kontrol di Teluk Tomini.

Pada umumnya, hasil analisis laboratorium menunjukkan bahwa di kedua lokasi belum ada yang melampaui baku mutu kecuali parameter NO<sub>3</sub>-N di lokasi AL-2.

Teluk Tomini merupakan badan air penerima limbah cair kegiatan PLTU yaitu air limbah dari proses pengolahan air yang dialirkan ke bak sedimentasi untuk kemudian dibuang bersama dengan air limbah bahang dari kegiatan pendinginan turbin PLTU.

Hasil pengujian kualitas air limbah pada lokasi inlet air limbah bahang dan outlet limbah bahang disajikan pada Tabel 1.2.

**Tabel 1.2. Hasil Analisa Kualitas Air Limbah Bahang PLTU Molotabu**

No	Parameter	Satuan	Baku mutu	Hasil	
				AL-3	AL-4
1	pH	-	6 – 9	7,1	7,1
2	TSS	mg/l	200	24	24
3	Besi (Fe)	mg/l	5	< LD	< LD
4	Suhu	°C	Suhu Udara	44,2	40
5	Mangan (Mn)	mg/l	2	< LD	< LD

Sumber : Hasil analisis Laboratorium UPTD Keselamatan Kerja dan Hiperkes, Manado, 2014

Keterangan :

- AL-3 : Titik inlet air limbah, N : 0° 25' 96,2" E : 123° 08' 03,5"
- AL-4 : Titik outlet air limbah, N : 0° 26' 00,87" E : 123° 07' 59,56"



Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan masuknya limbah cair berupa air limbah bahang PLTU tidak mempengaruhi suhu air laut karena pada lokasi out let air limbah, suhu yang terdeteksi adalah 40°C sementara untuk suhu air laut di posisi outlet adalah 29,5°C. Hal ini disebabkan badan air penerima limbah bahang dari PLTU Molotabu yaitu Teluk Tomini merupakan salah satu teluk terbesar di Indonesia dengan luas 59.500 km<sup>2</sup> mampu melakukan *self purification*.

## 1.2. Karakteristik Biologi

Kualitas biologi yang dikaji adalah keberadaan biota Plankton di lokasi studi. Pengambilan sampel biota Plankton dilakukan di Pantai Molotabu di pesisir Teluk Tomini. Pengambilan sampel biota plankton di sungai Pantai dilakukan di sekitar inlet air laut, out let air limbah PLTU dan di sebelah kanan PLTU sebagai titik kontrol.

Parameter yang ditentukan adalah jumlah taksa, kelimpahan, indeks keanekaragaman dan indeks keseragamannya. Hasil analisis kualitas biologi dari perairan Pantai Molotabu adalah sebagaimana terlihat pada Tabel 1.3.

**Tabel 1.3. Hasil Analisa Kualitas Plankton di Badan Air Pantai Molotabu, Teluk Tomini**

No.	Jenis Plankton	Jumlah Individu per liter		
		Kontrol	B-1	B-2
	<b><i>Phytoplankton</i></b>			
1.	<i>Trichodesmium thiebauti</i>	60	12	36
2.	<i>Pelagothrix cleve</i>	-	-	230
3.	<i>Rhizosolenia olata</i>	-	-	1
4.	<i>Bidulphio sp</i>	1	1	2
5.	<i>Thalldiothrix Sp</i>	-	-	2
6.	<i>Climacosphenia moniligerd</i>	1	-	-
7.	<i>Coscinodiscus nadullfe</i>	1	-	-
8.	<i>Favela Sp</i>	1	1	-
9.	<i>Coxiela sp</i>	1	-	-
10.	<i>Ceratium extensum</i>	1	1	1
11.	<i>Ceratium Declinatum</i>	-	-	1
12.	<i>Ceratium Cefoidi</i>	-	-	1
13.	<i>Ceratium Contartum</i>	-	1	1
14.	<i>Dinaphysis homunculus</i>	-	-	1
15.	<i>Bacteriastrumelonatum</i>	5	4	-
16.	<b><i>Biddulphia reticulata</i></b>	-	-	4
17.	<i>Brachionus plicatilis</i>	-	5	3
18.	<i>Brachionus spp.</i>	2	4	-
19.	<i>Ethomodiscus gzeallae</i>	-	4	-
20.	<i>Fragilaria sp</i>	-	2	6
21.	<i>Gleotrichia pisum</i>	-	2	-
22.	<i>Keratella cruciformis</i>	-	-	2
23.	<i>Leptocylindrum danicus</i>	-	5	-
24.	<i>Navicula sp</i>	5	6	-
25.	<i>Pelagothrix clavei</i>	3	-	-
26.	<i>Spirogyra sp</i>	-	2	4

No.	Jenis Plankton	Jumlah Individu per liter		
		Kontrol	B-1	B-2
27.	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	3	-	-
28.	<i>Tintinopsis</i> spp	-	4	-
29.	<i>Triceratium</i> spp	-	6	-
	<b>Zooplankton</b>			
1.	<i>Calanus finmarchin</i>	-	-	1
2.	<i>Paracalanus poruus</i>	-	-	1
3.	<i>Larva gastropoda</i>	1	-	2
	Jumlah taksa	13	16	18
	Jumlah kepadatan (individu/liter)	85	60	299
	Indeks keragaman (H')	1,831	3,653	1,419
	Indeks keseragaman (E)	0,412	0,892	0,249
	Indeks dominan (D)	0,509	0,096	0,607

Sumber : Hasil pengamatan Tahun 2013

Keterangan :

- B-1 : Titik inlet air laut, N : 0° 25' 96,2" E : 123° 08' 03,5"
- B-2 : Titik outlet air laut, N : 0° 26' 01,1" E : 123° 07' 98,0"
- Kontrol : Pantai Molotabu, Teluk Tomini (bagian barat PLTU Molotabu)  
N : 0° 23' 50" E : 123° 08' 05"

Tolak ukur dari indeks-indeks tersebut adalah sebagai berikut:

(1). Indeks Keragaman (Diversitas ) Shannon (H)

- $H' > 3$  = Keragaman tinggi, perairan relatif tidak tercemar
- $1 < H' < 3$  = Keragaman sedang, perairan setengah tercemar
- $H' < 1$  = Keragaman rendah, perairan tercemar

(2). Indeks keseragaman Simpson

Indeks keseragaman jenis (E) berkisar antara nilai 0 hingga 1, dimana :

- Bila nilai E mendekati 1 berarti penyebaran individu antar jenis relatif sama
- Bila nilai E mendekati 0 berarti penyebaran individu antar jenis relatif tidak sama dan ada sebuah kelompok individu jenis tertentu yang relatif melimpah.

Dari hasil analisa kualitas biota plankton di badan air Teluk Tomini terlihat bahwa jumlah taksa di ketiga lokasi pengambilan sampel tidak jauh berbeda. Indeks Keragaman (Diversitas) Shannon (H) lokasi kontrol dan B-2 dikategorikan sedang dan indeks keseragaman Simpson (E) untuk lokasi kontrol dan B-2 (outlet) mendekati 0 yang berarti penyebaran individu antar jenis relatif tidak sama dan ada sebuah kelompok individu jenis tertentu yang relatif melimpah. Sementara itu untuk lokasi B-1 (lokasi inlet air laut) nilai Indeks Keragaman (Diversitas ) Shannon dikategorikan tinggi berarti perairan relatif tidak tercemar dengan indeks keseragaman Simpson (E) mendekati 1 yang berarti penyebaran individu antar jenis relatif sama dan masih cocok bagi perkembang-biakan biota perairan.

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa dengan masuknya limbah cair PLTU dan ke badan air Teluk Tomini tidak mengakibatkan penurunan sifat fisik, kimia dan sifat biologi daripada perairan tersebut sehingga kualitas air laut masih sesuai dan dapat dipergunakan sesuai dengan peruntukannya.

### 1.3. Hidroceanografi

Survey hidroceanografi dilakukan untuk mendapatkan gambaran mengenai kondisi perairan setempat yaitu kondisi pasang surut, arus dan sedimen. Sehubungan hal tersebut maka pekerjaan yang dilakukan dalam survey hydro oceanografi ini meliputi pengamatan pasang surut, pengukuran arus.

#### 1.3.1. Pengamatan Pasang Surut

Pasang surut (pasut) laut merupakan hasil dari gaya tarik gravitasi dan efek sentrifugal. Efek sentrifugal adalah dorongan ke arah luar pusat rotasi. Gravitasi bervariasi secara langsung dengan massa tetapi berbanding terbalik terhadap jarak. Meskipun ukuran bulan lebih kecil dari matahari, gaya tarik gravitasi bulan dua kali lebih besar dari pada gaya tarik matahari dalam membangkitkan pasang surut laut karena jarak bulan lebih dekat ke bumi dari pada jarak matahari ke bumi. Gaya tarik gravitasi menarik air laut ke arah bulan dan matahari, menghasilkan dua tonjolan (bulge) pasang surut gravitasional di laut. Lintang dari tonjolan pasang surut ditentukan oleh deklinasi, sudut antara sumbu rotasi bumi dan bidang orbital bulan dan matahari.

Pengamatan Pasang Surut dilaksanakan 15 hari dengan pembacaan ketinggian air setiap 30 menit. Pengukuran dilakukan pada suatu tempat yang secara teknis memenuhi syarat. Pengamatan pasang surut dilaksanakan menggunakan *peilscoal* otomatis Otometric Water Level Recorder dengan interval skala 1 (satu) cm. Hasil pengamatan pada mesin *peilscoal* dicatat pada formulir pencatatan elevasi air pasang surut yang telah disediakan. Kemudian diikatkan (levelling) ke patok (BM) Pengukuran Topografi terdekat pada salah satu patok temporary, untuk mengetahui elevasi nol *peilscoal* dengan menggunakan waterpass wild. Sehingga referensi topografi pengukuran bathimetri dan pasang surut mempunyai datum (bidang referensi) yang sama

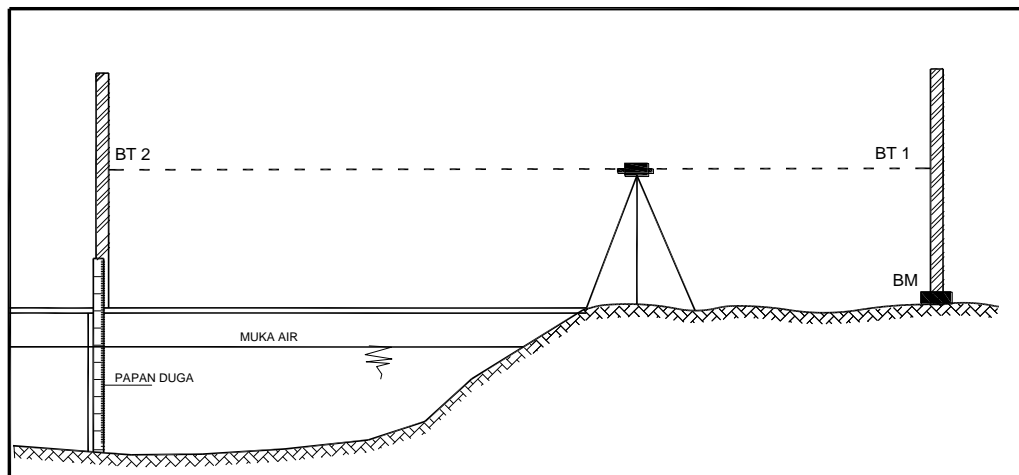
Elevasi Nol Peilschaal = TP + BT.1 – BT.2,

dimana:

TP = Tinggi titik patok terdekat dengan peilshcaal

BT.1 = Bacaan benang tengah dipatok

BT.2 = Bacaan benang tengah dipeilshcaal



**Gambar 1.1 Pengikatan (Levelling) Terhadap Peilscaal**

Selanjutnya dilakukan pengolahan data pasang surut dengan alur sebagaimana disajikan pada gambar 1.2. Perhitungan konstanta pasang surut dilakukan dengan menggunakan metode admiratif. Hasil pencatatan diambil dengan interval 1 jam sebagai input untuk admiralty dan konstanta pasang surut. Dengan konstanta pasang surut yang ada pada proses sebelumnya dilakukan penentuan jenis pasang surut menurut rumus berikut:

$$Nf = \frac{K1 + O1}{M2 + S2}$$

Dimana jenis pasang surut untuk nilai Nf:

- f :0 – 0,25, pasang surut harian ganda (semidiurnal)
- f :0,25 – 1,50, pasang surut campuran condong ganda (mixed semi diurnal)
- f :1,50 – 3,0 , pasang surut campuran condong tunggal (mixed diurnal)
- > 3,0 , pasang surut harian tunggal (diurnal)

Menguraikan komponen-komponen pasang surut adalah menguraikan fluktuasi muka air akibat pasang surut menjadi komponen-komponen harmonik penyusunannya. Besaran yang diperoleh adalah amplitudo dan fase setiap komponen-komponen pasang surut dan menentukan elevasi penting tinggi muka air, diantaranya yaitu:

- M2 : Komponen Utama bulan (semidiurnal).
- S2 : Komponen Utama matahari (semidiurnal).
- K1 : Komponen bulan.
- O1 : Komponen Utama bulan (diurnal).
- M4 : Komponen Utama bulan (kuartal diurnal).
- MS4 : Komponen Matahari bulan.

Peramalan hasil pengukuran tersebut dipergunakan untuk pengikatan muka air rata rata sebagai referensi Bathimetri.

Sebagai informasi pasang surut Teluk Tomini, dipergunakan data yang telah diamati dan dihitung 15 hari dengan Metode Admiralty diperoleh konstanta pasut sebagai berikut.

**Tabel 1.4. Komponen Pasang surut.**

<b>Komponen Pasang Surut</b>							
<b>Nama</b>	<b>So</b>	<b>M2</b>	<b>S2</b>	<b>K1</b>	<b>O1</b>	<b>M4</b>	<b>MS4</b>
Amplitudo	0.5524	0.1945	0.1885	0.1572	0.1349	0.0114	0.0194
Phase	0.00	73.13	185.21	261.92	201.63	238.08	341.69

Jadi dari hasil pengamatan pasang surut dilokasi tersebut type pasang surut dapat kita uraikan sebagai berikut.

$$f = \frac{0,1572 + 0,1349}{0,1945 + 0,1885} = 0,76$$

Type pasang surut adalah : 0,25 – 1,50 : Pasut campuran condong ganda. (*Mixed Semi Diurnal*).

Jadi disekitar Perairan Teluk Tomini dekat Pelabuhan PLTU Molotabu umumnya terjadi 2 (dua) kali pasang surut setiap hari.

Untuk mendapatkan nilai elevasi penting Pasang Surut dilaksanakan untuk kurun waktu yang cukup panjang yaitu selama 20 tahun, kerana permukaan air laut rata rata (MSL) akan terulang selama 18,61 tahun (Julian Years).;

Perlu diketahui pengamatan 18,61 tahun adalah yang terbaik untuk menentukan nilai MSL (Mean Sea Level). Apa alasan pengamatan yang terbaik selama 18,61 tahun, bahwa untuk mengetahui peredaran matahari bulan mengelilingi bumi, garis edar matahari mengelilingi bumi disebut "ekliptika". Matahari melalui ekliptika lamanya 365,2422 hari (Mean Polar Days). Satu keliling garis edar bulan membentuk sudut 5° 8' terhadap ekliptika. Satu kali keliling bulan beredar melalui garis edarnya memakan waktu 27,3216 hari keliling (Mean Solar Days) perbedaannya 27,3216 hari dan 27,2122 hari adalah 0,1094 hari. Jadi simpul itu bergerak ke Barat 0,1094 hari setiap 27,2122 hari. Sewaktu bulan dan matahari bergerak ke Timur, simpul bulan akan kembali ketempat semula setelah:

$$\frac{27,3216}{0,1094} + \frac{27,2122}{365,25} = 18,61 \text{ tahun}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut diatas dengan melakukan pengamatan 18,61 tahun diyakini semua variasi harmonik yang ada telah tercakup semuanya. Hasil elevasi penting dalam perencanaan adalah sebagai berikut :

- HWS : *High Water Spring* (muka air tinggi)
- MHWS : *Mean High Water Spring* (rata rata muka air tinggi saat purnama)
- MHWL : *Mean High Water Level* (rata rata seluruh muka air tinggi).

- MSL : *Mean Sea Level*, (rata rata seluruh muka air yang terjadi)
- MLWL : *Mean Low Water Level* (rata rata seluruh muka air rendah).
- MLWS : *Mean Low Water Spring* ( rata 2 muka air rendah saat purnama ).
- LWS : *Lowest Water Spring* (muka air rendah).

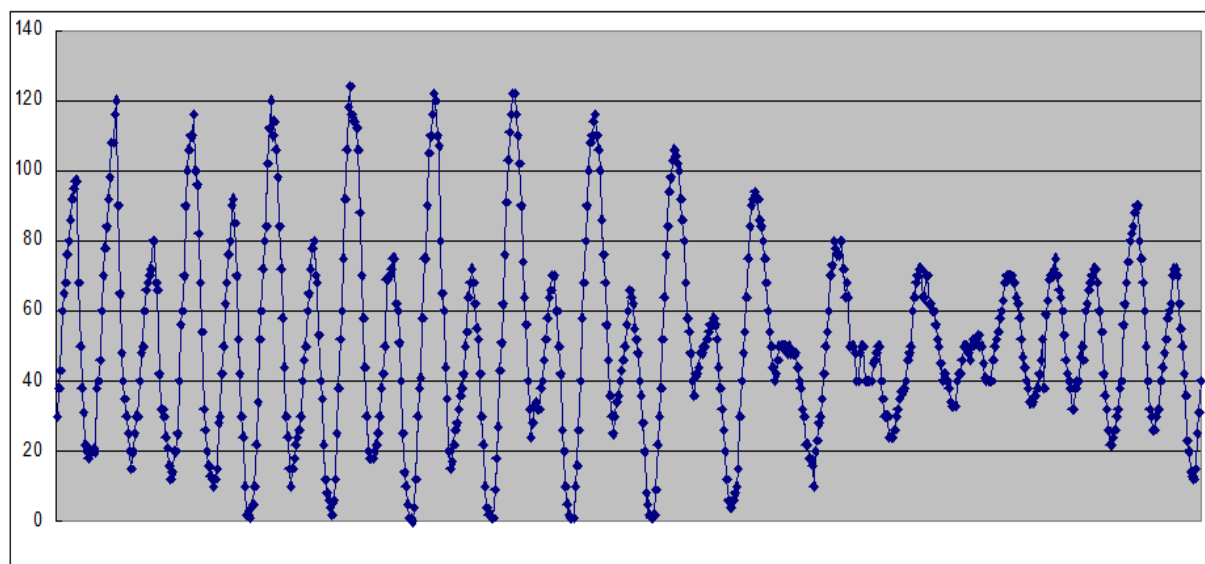
Secara khusus angka elevasi rata rata muka air saat purnama (spring) yaitu MHWS dan MLWS diperoleh dari merata ratakan pasang tertinggi dan surut terendah setiap periode waktu purnama (pada umumnya terjadi satu kali dalam kurun waktu 15 hari).

Jenis Pasang Surut adalah Semi Diurnal dengan dua kali pasang dan dua kali surut setiap hari. Secara detail elevasi muka air penting lokasi ini disajikan sebagai berikut:

**Tabel 1.5. Elevasi Penting di perairan Teluk Tomini (pelabuhan dekat PLTU Molotabu)**

No.	Elevasi Penting di perairan Teluk Tomini	Satuan (cm)
1	<i>Highest Water Spring</i> (HWS)	124,00
2	<i>Mean High Water Spring</i> (MHWS)	91,33
3	<i>Mean High Water Level</i> (MHWL)	89,13
4	<i>Mean Sea Level</i> (MSL)	56,74
5	<i>Mean Low Water Level</i> (MLWL)	24,35
6	<i>Mean Low Water Spring</i> (MLWS)	11,20
7	<i>Lowest Water Spring</i> (LWS)	0,00
8	Tunggang Pasang	124,00

Sumber: Hasil Analisa Tim, 2014



**Gambar 1.2. Fluktuasi Muka Air Di Pelabuhan PLTU Molotabu, Teluk Tomini**

### 1.3.2. Batimetri

Survey batimetri atau sering disebut dengan pemeruman (sounding) ,dimaksudkan untuk mengetahui keadaan topografi laut. Cara yang dipakai dalam pengukuran ini adalah dengan

menentukan posisi-posisi kedalaman laut pada jalur memanjang dan jalur melintang untuk cross chek. Penentuan posisi posisi kedalaman dilakukan dengan menggunakan DGPS.

Secara umum kegiatan survey batimetri terdiri dari :

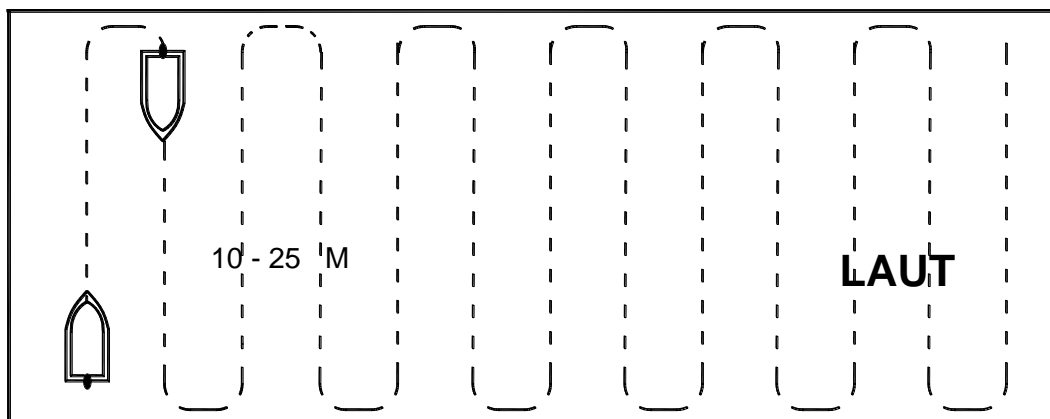
- ✚ Menentukan/mendirikan stasiun pasang surut.
- ✚ Pengukuran kedalaman menggunakan echosaunder dan pengukuran posisi horizontal pada perairan dengan menggunakan DGPS (Differential Global Positioning System) .
- ✚ Pengukuran pemantaian .
- ✚ Penggambaran.

a. Metodologi pelaksanaan survey

Metodologi pelaksanaan survey batimetri ini adalah sebagai berikut :

Jalur sounding adalah jalur perjalanan kapal yang melakukan sounding dari titik awal sampai ke titik akhir dari kawasan survey. Jarak antara jalur sounding tergantung pada resolusi ketelitian yang diinginkan.

Biasanya dilaksanakan jarak antara jalur sounding 20 - 50m untuk tiap jalur sounding dilakukan pengambilan data kedalaman perairan sejauh 5 s/d 10 meter. Titik awal dan akhir untuk tiap jalur sounding dicatat dan kemudian data tersebut di input ke dalam alat pengukur yang dilengkapi dengan fasilitas Echosounder Raytheon type DE-719c, untuk dijadikan acuan atau patokan perjalanan motorboat sepanjang jalur sounding. Contoh jalur sounding pada kawasan pengukuran dapat dilihat pada gambar 1.3.



**Gambar 1.3. Pergerakan Perahu Dalam Menyusuri Jalur Sounding**

b. Peralatan Survey

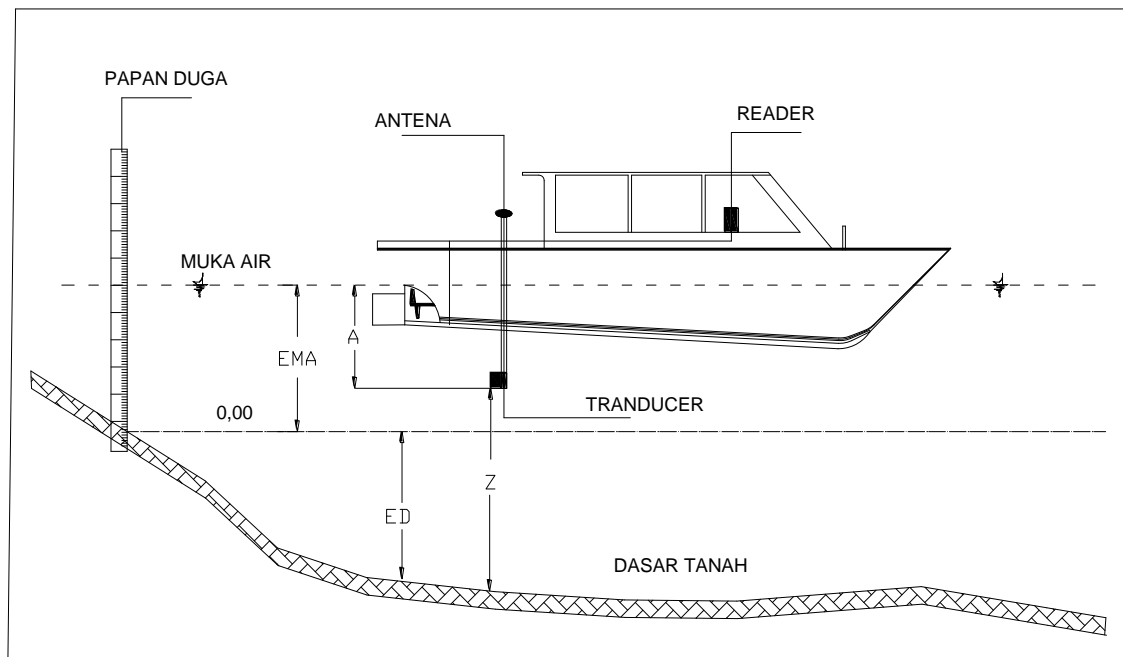
Peralatan survey yang dipergunakan pada pengukuran bathimetri adalah

- Echo Sounder merk Raytheon Type DE-719C dilengkapi dengan penentuan posisi GPS (Global Positioning System) yang akan memberikan posisi alat pada

kerangka horizontal dengan bantuan stalit. Dengan fasilitas ini, kontrol posisi dalam kerangka horizontal dari suatu titik tetap di darat tidak diperlukan. Penempatan Echo Sounder dan GPS Receiver ini dan perlengkapannya pada perahu dapat dilihat pada gambar 1.3.

- Note book adalah satu unit portable computer diperlukan untuk menyimpan data yang didownload dari alat GPS Receiver
  - Perahu  
Perahu digunakan untuk membawa surveyor dan peralatan pengukuran menyusuri jalur-jalur sounding yang telah ditentukan. Dalam operasinya, perahu tersebut harus memiliki beberapa kriteria, antara lain:
    - Perahu harus cukup luas dan nyaman untuk para surveyor dalam melakukan kegiatan pengukuran dan downloading data dari alat ke komputer, dan lebih baik tertutup dan bebas dari getaran mesin.
    - Perahu harus dapat stabil dan mudah ber manuver pada kecepatan rendah.
    - Kapasitas bahan bakar harus memenuhi atau sesuai dengan panjang jalur sounding.
  - Papan duga  
Papan duga digunakan pada kegiatan pengamatan fluktuasi muka air laut, dalam hal ini dipergunakan otometric water level recorder merek OTT .
  - Peralatan keselamatan  
Peralatan keselamatan yang diperlukan selama kegiatan survey dilakukan antara lain life jacket
  - Form Pencatatan data pasang surut
- c. Koreksi Kedalaman
- Data yang dicatat pada alat GPS Receiver adalah jarak antara transducer alat ke dasar perairan. Transducer tersebut diletakkan di bagian samping tengah kapal, dibawah permukaan air yang tidak terpengaruh oleh pasang surut. Oleh sebab itu diperlukan suatu koreksi kedalaman terhadap jarak transducer ke permukaan air dan koreksi kedalaman terhadap pasang surut. Gambar 1.4 menampilkan sketsa definisi besaran-besaran panjang yang terlibat dalam proses koreksi tersebut





**Gambar. 1.4. Penempatan peralatan echosounder dan GPS Receiver.**

- EMA* = Elevasi muka air diukur dari nol papan duga
- Z* = Kedalaman air hasil sounding (jarak dasar perairan ke transducer)
- A* = Jarak transducer ke muka air

Dari definisi-definisi di atas maka elevasi dasar saluran dihitung dari nol papan duga adalah (*ED*):

$$ED = Z + A - EMA$$

d. Pengikatan Terhadap Elevasi Referensi

Hasil dari koreksi pertama (koreksi terhadap jarak transducer ke muka air dan terhadap pasang surut) menghasilkan elevasi dasar perairan terhadap nol papan duga. Elevasi ini kemudian diikatkan kepada elevasi LLWL yang dihitung pada peramalan data pasang surut. Pengikatan terhadap LLWL dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut ini:

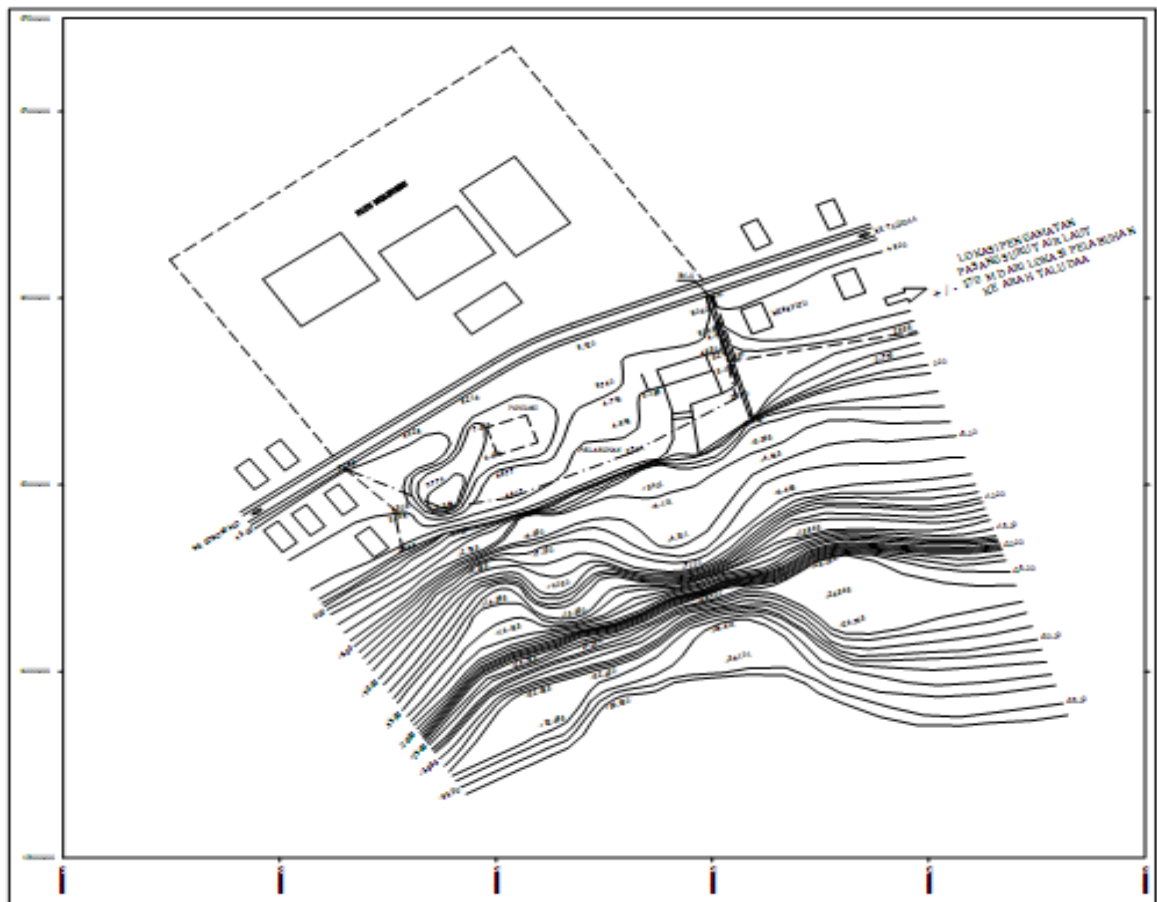
$$ED\ LWS = ED - ELWS$$

Keterangan:

- ED LWS* = Elevasi dasar perairan relatif terhadap LLWL
- ED* = Elevasi dasar perairan relatif terhadap nol papan duga
- ELWS* = Elevasi LWS relatif terhadap nol papan duga

Dengan demikian LLWL berada pada elevasi +0,00 m

Hasil Pengukuran Batimetri dapat dilihat pada **Gambar 1.5**



**Gambar 1.5 Hasil Pengukuran Batimetri di Jetty/dermaga PLTU Molotabu**



## **2.1 Lokasi Studi**

Pemodelan sebaran limbah cair dilakukan di perairan pesisir Desa Molotabu, Kabupaten Bone Bolango. Outlet limbah cair berada di koordinat 123°07'59,56" BT; 0°26'0,87" LU. Lokasi studi ditampilkan pada gambar 2.1.

## **2.2. Deskripsi Model**

Model yang dijalankan dalam studi ini terbagi menjadi dua bagian, yaitu:

1. Model Hidrodinamika (Arus dan Pasang Surut)
2. Model Sebaran Limbah cair

Hasil yang diperoleh dari model hidrodinamika arus dan pasang surut digunakan sebagai penggerak model sebaran limbah cair.

Model hidrodinamika yang digunakan adalah *The Princeton Ocean Model* (POM). POM merupakan model hidrodinamika 3 dimensi dengan permukaan bebas yang menggunakan koordinat sigma untuk koordinat vertikal serta memasukkan submodel turbulensi di dalamnya. Model ini dibangun pada akhir 1970 oleh Blumberg dan Mellor dengan kontribusi dari beberapa ahli lainnya dan terus dimodifikasi hingga saat ini.

POM telah digunakan untuk memodelkan estuari, wilayah pantai, serta lautan global. Karena dijalankan di bawah platform bahasa pemrograman Fortran, maka pengguna model ini dapat menuliskan kodenya sendiri untuk diatur sesuai dengan permasalahan yang dihadapi. Untuk model hidrodinamika 2 dimensi, dapat juga dijalankan dengan model ini dengan mengubah mode yang disediakan.

Lokasi pembuangan limbah cair berada pada perairan pesisir dengan diasumsikan bahwa variasi kecepatan terhadap kedalaman tidak terjadi, sehingga persamaan aliran yang digunakan dalam model ini merupakan persamaan aliran 2 dimensi.

Pemodelan untuk sebaran limbah cair dijalankan menggunakan persamaan transport yang disandingkan dengan model hidrodinamika.



Gambar 2.1. Lokasi Studi

## 2.2.1. Persamaan Pembangun

### Persamaan Hidrodinamika

Persamaan dasar aliran yang digunakan merupakan persamaan aliran 2 dimensi pada rerata kedalaman (*depth averaged*) untuk kondisi aliran sub kritis. Kondisi aliran terjadi pada penampang sangat lebar, sehingga variasi kecepatan terhadap kedalaman relatif kecil. Percepatan gravitasi yang terjadi lebih dominan dibandingkan dengan percepatan aliran vertikal, sehingga persamaan aliran dapat didekati dengan persamaan aliran dangkal (*shallow water equation*).

Integrasi persamaan momentum dan persamaan kontinuitas horizontal terhadap kedalaman  $h: \eta + d$  diperoleh persamaan perairan dangkal sebagai berikut:

Persamaan Kontinuitas:

$$\frac{\partial D\bar{U}}{\partial x} + \frac{\partial D\bar{V}}{\partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0$$

Persamaan Momentum:

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}^2}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U}\bar{V}}{\partial y} - f\bar{V} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho_0 D} + A_H \Delta \bar{U}$$

$$\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{U}\bar{V}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}^2}{\partial y} + f\bar{U} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho_0 D} + A_H \Delta \bar{V}$$

dimana:

$\eta$  : elevasi muka air

$\bar{U}$  and  $\bar{V}$  : kecepatanyang dirata-ratakan terhadap kedalaman;

$D : H + \eta$  : kedalaman total

$\tau_{sx}$  and  $\tau_{sy}$  : tekanan permukaan arah x dan y;

$\tau_{bx}$  and  $\tau_{by}$  : tekanan dasar arah x dan y;

$A_H$  : horizontal eddy viscosity;

$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$  : operator Laplace 2-dimensi.

Komponen tekanan lateral  $T_{ij}$  memasukkan suku gesekan *viscous*, gesekan *turbulent* dan adveksi differensial. Suku-suku tersebut diestimasi menggunakan konsop viskositas eddy yang dirata-ratakan terhadap gradien kecepatan rata-rata:

$$T_{ij}: 2A \frac{\partial \bar{U}}{\partial x}, T_{xy}: A \left( \frac{\partial \bar{U}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{V}}{\partial x} \right), T_{yy}: 2A \frac{\partial \bar{V}}{\partial y}$$

Komponen tekanan dasar dalam arah x dan y diformulasikan sebagai berikut:

$$\tau_{bx} = \rho c_f U \sqrt{U^2 + V^2} \left[ 1 + \left( \frac{\partial z_b}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial z_b}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\tau_{by} = \rho c_f V \sqrt{U^2 + V^2} \left[ 1 + \left( \frac{\partial z_b}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial z_b}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

dimana  $c_f$  adalah koefisien tegangan dasar:

$$c_f = \frac{g}{C^2} = \frac{gn^2}{\lambda^2 H^{1/3}}$$

### Persamaan Transport Limbah cair

Persamaan transport yang digunakan diformulasikan sebagai berikut (Teisson, 1991):

$$\frac{\partial C}{\partial t} : \frac{\partial}{\partial t} \left( K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial t} \left( K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \left( u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} \right) + Q_c(t, x, y) - R_c(t, x, y)$$

dengan:

- $C$  : konsentrasi kandungan limbah cair, mg/liter
- $t$  : waktu, detik
- $u$  : kecepatan aliran arah x, m/detik
- $v$  : kecepatan aliran arah y, m/detik
- $K_x$  : koefisien dispersi arah x, m<sup>2</sup>/detik
- $K_y$  : koefisien dispersi arah y, m<sup>2</sup>/detik
- $Q_c$  : koefisien suku sumber, 1/detik
- $R_c$  : konsentrasi seimbang dari suku sumber, mg/liter/detik

Persamaan di atas dijalankan untuk kandungan bahan limbah cair dari PLTU Molotabu berupa pH, TSS, Besi dan Mangan. Masing-masing parameter dibedakan oleh nilai koefisien suku sumber ( $Q_c$ ), koefisien adveksi, koefisien difusi, dan koefisien seimbang dari suku sumber ( $R_c$ ).

Transport polutan ini diakibatkan karena proses adveksi dan difusi, serta turbulensi laut. Parameter kecepatan arus diperoleh dari hasil simulasi model hidrodinamika dengan komponen kecepatan vertikal dihitung dari kecepatan u dan v dengan menggunakan persamaan kontinuitas. Difusi turbulen horizontal dihitung dengan menggunakan koefisien distribusi horizontal ( $K_x$  dan  $K_y$ ) dibagi oleh sirkulasi kecepatan arus.

Pada dasarnya model transport ini memungkinkan untuk memperhatikan adanya pertukaran udara-laut (gas) yang disinyalir berpengaruh besar pada perubahan air laut akibat adanya limbah cair, pengaruh distribusi yang lain seperti halnya suspended particulate matter (SPM) yang ada dalam air laut dan mengalami pengendapan (sinking), dan deposisi partikel selanjutnya sebagai sedimen dan melihat degradasi dalam air laut. Tinjauan masing-masing komponen ini, dirangkum dalam suku  $R_c$  pada persamaan, dan akan disesuaikan dengan jenis bahan limbah cair yang akan disimulasikan yang berasal dari outlet ( $Q_c$ ).

Untuk pemodelan sebaran temperatur / termal perlu dimasukkan suku lain untuk mengakomodir proses dissipasi panas yang berlangsung pada limbah termal. Dalam kesetimbangan panas pada permukaan bebas, dimasukkan beberapa proses sebagai berikut; radiasi gelombang pendek netto (dari matahari), radiasi gelombang panjang (misalnya dari

awan), radiasi gelombang panjang yang keluar dari permukaan (hukum Stefan-Boltzmann), evaporasi dan pertukaran panas ke udara yang diturunkan dari perbedaan panas antara air dan udara (konveksi).

Dalam hubungannya dengan perairan yang mengalami pemanasan secara buatan (misalkan akibat buangan limbah termal dari PLTU), hilangnya panas akan bertambah akibat radiasi gelombang panjang, evaporasi, dan konveksi. Peningkatan hilangnya panas ini dimasukkan dalam suku peluruhan (decay) dalam perhitungan temperatur ekses  $F \cdot T$ , dimana  $F$  adalah koefisien decay panas dan  $T$  adalah temperatur ekses. Berikut ini persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai koefisien decay panas:

jika  $W \geq W_{\min}$ :

$$F = \frac{0.2388}{(\rho \cdot C_p \cdot H)(4.6 - 0.09(T_r + T) + 4.06 \cdot W) \exp(0.033(T_r + T))} + 0.2388 K_{shift} / (\rho \cdot C_p \cdot H)$$

jika  $W < W_{\min}$ :

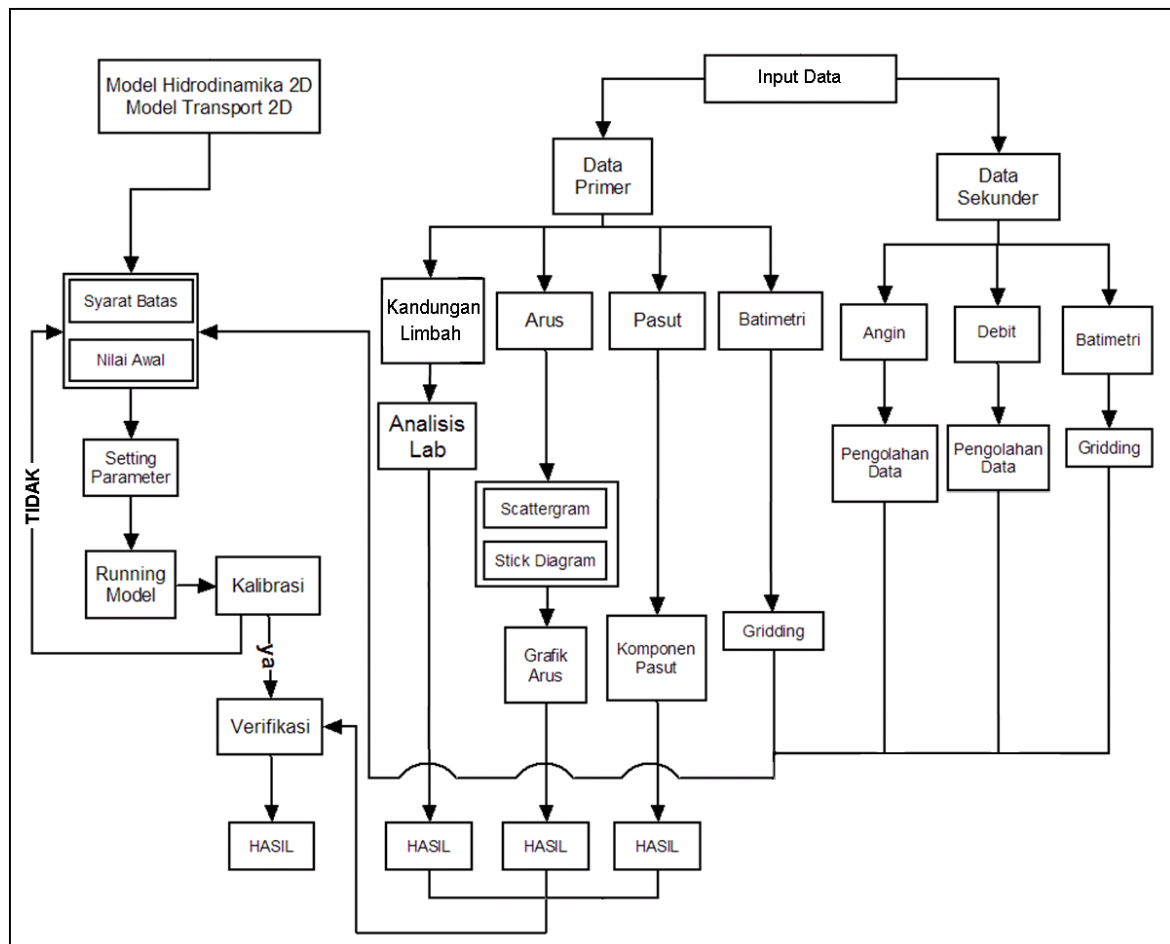
$$F = \frac{0.2388}{(\rho \cdot C_p \cdot H) \left( \left( (4.6 - 0.09(T_r + T) + 0.06 \cdot W_{\min}) \exp(0.03(T_r + T)) - K_{\min} \right) \left( \frac{W_{\min}}{W} \right)^2 + K_{\min} + K_{shift} \right)}$$

dengan:

- $\Psi$  = densitas air
- $C_p$  = panas spesifik
- $H$  = kedalaman air (m)
- $T_r$  = temperatur referensi ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $T$  = temperatur ekses ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $W$  = kecepatan angin (m/s)

Dalam model,  $\Psi \cdot C_p$  bernilai  $106 \text{ Cal/m}^3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Persamaan hidrodinamika dan transport tersebut diselesaikan secara numerik dengan menggunakan metode beda hingga semi implisit. Variabel yang akan dihitung ( $\eta, \bar{U}$ , dan  $\bar{V}$ ) diletakkan dalam *staggered ARAKAWA-C grid* (Mellor, 2004).



Gambar 2.2. Diagram Alir Proses Pemodelan Sebaran Limbah cair

### 2.2.2. Desain Model

Kondisi utama yang mendefinisikan model hidrodinamika adalah sebagai berikut:

- Langkah waktu yang dipilih adalah 30 detik dengan mempertimbangkan syarat kestabilan CFL (*Courant Friederich Levy*) dan waktu durasi simulasi adalah 15 hari untuk mewakili siklus pasang surut.
- Jenis eddy viskositas horisontal telah dipilih untuk formulasi Smagorinsky dengan nilai konstan 0,28.
- Jenis resistensi dasar dipilih ketetapan Manning dengan nilai konstanta 32  $m^{1/3}/s$ .
- Panjang interval pelan di permulaan (*soft start*) untuk angin telah dipilih untuk 5 jam untuk menghindari efek blow out.
- Batas tertutup (daratan) di berlakukan fluks normal nol untuk semua variabel.
- Data kedalaman laut yang digunakan sebagai input model diperoleh dari data kedalaman perairan publikasi Dinas Hidrooseanografi (DISHIDROS) TNI Angkatan Laut.
- Sebagai input model digunakan data elevasi pasang surut hasil peramalan pasang surut dengan NAO Tide, yaitu model pasang surut yang dilakukan oleh



Koji Matsumoto. Model pasang surut regional ini untuk daerah perairan Indonesia memiliki selang ruang  $1/6^\circ$  (10 menitan) dalam arah lintang dan bujur. Untuk verifikasi hasil pemodelan Hidrodinamika, digunakan data pasang surut hasil survey pasang surut pada bulan Mei 2014 di dekat lokasi PLTU Molotabu oleh Universitas Negeri Gorontalo.

- Tegangan permukaan berasal dari kecepatan dan arah angin rata-rata daerah pemodelan yang diperoleh dari BMKG Stasiun Klimatologi terdekat Tahun 2003 – 2013.
- Area pemodelan terdiri dari 6007 elemen hitung yang mewakili area 10 km x 3.5 km. Area pemodelan ditunjukkan pada Gambar 3.

Kondisi umum yang didefinisikan pada model transport limbah cair adalah:

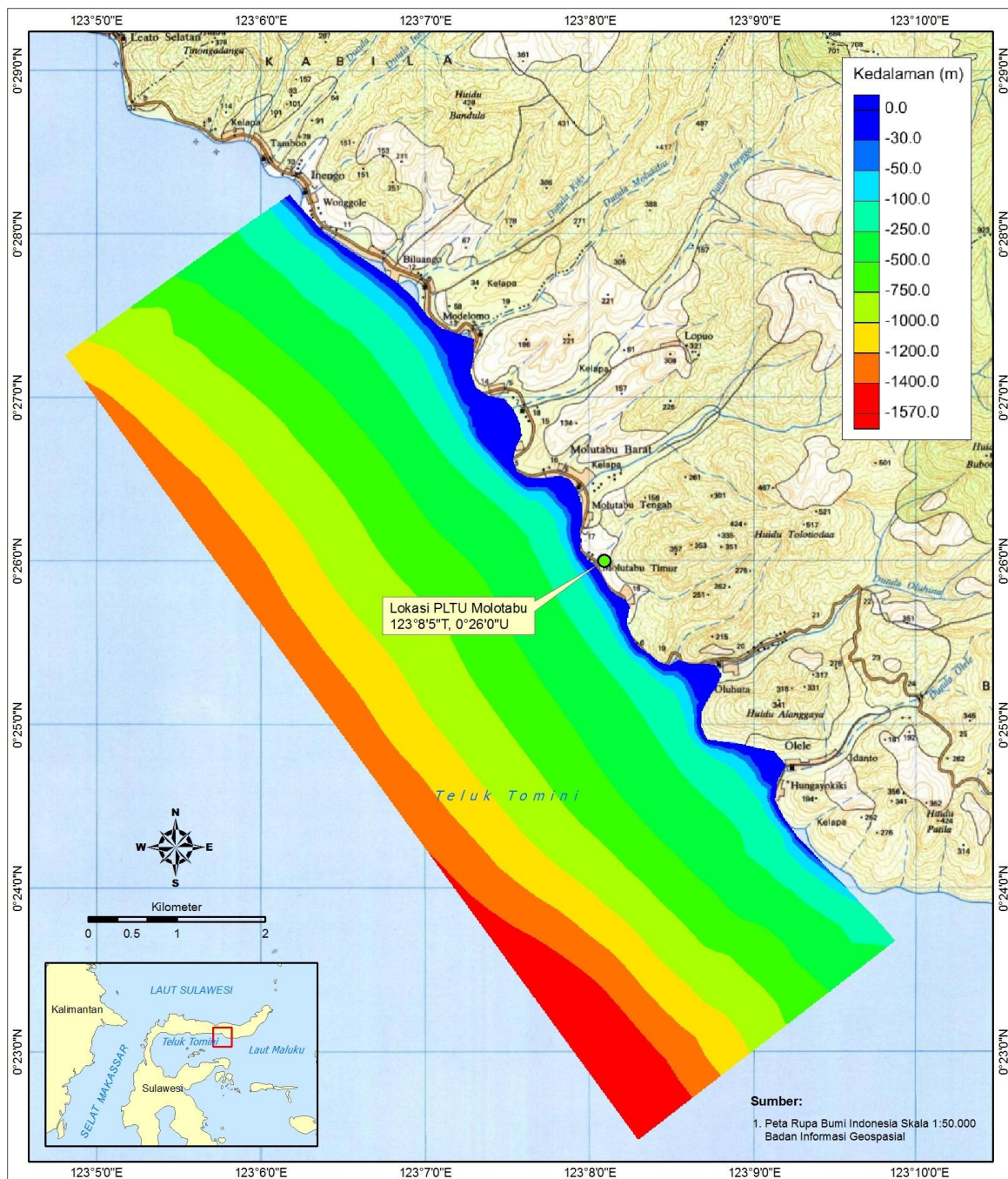
- Profil dasar laut diterapkan dengan tegangan geser kritis konstan  $0,07 \text{ N/m}^2$ .
- Lapisan dasar digambarkan sebagai lapisan pasir halus dengan koefisien erosi konstan  $5.10^{-5} \text{ kg/m}^2/\text{s}$  dan tegangan geser kritis dari  $0,1 \text{ N/m}^2$ . Kekuatan erosi memiliki nilai 10 dan kepadatan konstan  $200 \text{ kg/m}^3$ .
- Untuk melihat dampak pembuangan limbah, sumber polutan dianggap hanya berasal dari outlet limbah dan badan air penerima dianggap netral/rata-rata (pH=7 dan suhu=29 °C) atau konsentrasinya nol (TSS, Besi, dan Mangan).
- Debit outlet limbah cair diasumsikan dibuang secara kontinyu ke laut dengan debit **0,297** m<sup>3</sup>/detik.
- Konsentrasi parameter yang terkandung dalam limbah cair dan konsentrasi yang dimasukkan dalam input model ditunjukkan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Konsentrasi Parameter dalam Limbah Cair dan Input Model**

No	Parameter	Satuan	Hasil Lab/Pengukuran	Input Model
1	pH	-	7,1	7,1
2	TSS	mg/L	24	24
3	Temperatur	°C	40	40
4	Besi	mg/L	Tidak Terdeteksi	5*
5	Mangan	mg/L	Tidak Terdeteksi	2*

Sumber : UPTD Keselamatan Kerja dan Hiperkes, Manado, 2014

Keterangan: \* Berdasarkan Baku Mutu dalam PerMen LH No.8/2009



Gambar 2.3 Area Model

### 2.2.3. Syarat batas

Batas darat menggunakan syarat batas tertutup dimana kecepatan yang datang tegak lurus pantai adalah sama dengan nol (*zero flow normal*). Pada 1 batas terbuka sebelah timur diletakkan elevasi pasang surut, sementara pada batas terbuka barat di masukkan variabel kecepatan yang digerakkan dengan menggunakan kondisi batas radiasi Sommerfeld

didasarkan pada teknik propagasi gelombang.

Pendekatan syarat batas radiasi direpresentasikan oleh persamaan adveksi berikut (Chapman, 1985 dalam Ningsih *et al*, 2007):

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} \pm c \frac{\partial \phi}{\partial n} : 0$$

dimana,

$\phi$  : kecepatan arus dalam arah tegak lurus (normal) bidang batas

$c$  : kecepatan fasa gelombang pasut yang nilainya didekati dengan  $c: \sqrt{gd}$ .

Tanda pada bagian atas dan bawah (+ dan -) masing-masing disesuaikan dengan batas terbuka pada sisi kanan dan kiri.

Bentuk numerik dari persamaan di atas dapat ditulis dengan,

$$\frac{\phi_B^{n+1} - \phi_B^{n-1}}{2\Delta t} \pm c \left( \frac{(\phi_B^{n+1} + \phi_B^{n-1})}{2} - \phi_{B\pm 1}^n \right) : 0$$

dimana subskrip  $B$  menyatakan batas, dan superskrip  $n-1$ ,  $n$ ,  $n+1$  menyatakan level waktu.

Selanjutnya persamaan dapat ditulis sebagai berikut (Mellor, 2004):

$$\phi_B^{n+1} : \frac{(\phi_B^{n-1}(1 - \mu) + 2\mu\phi_{B\pm 1}^n)}{(1 + \mu)}$$

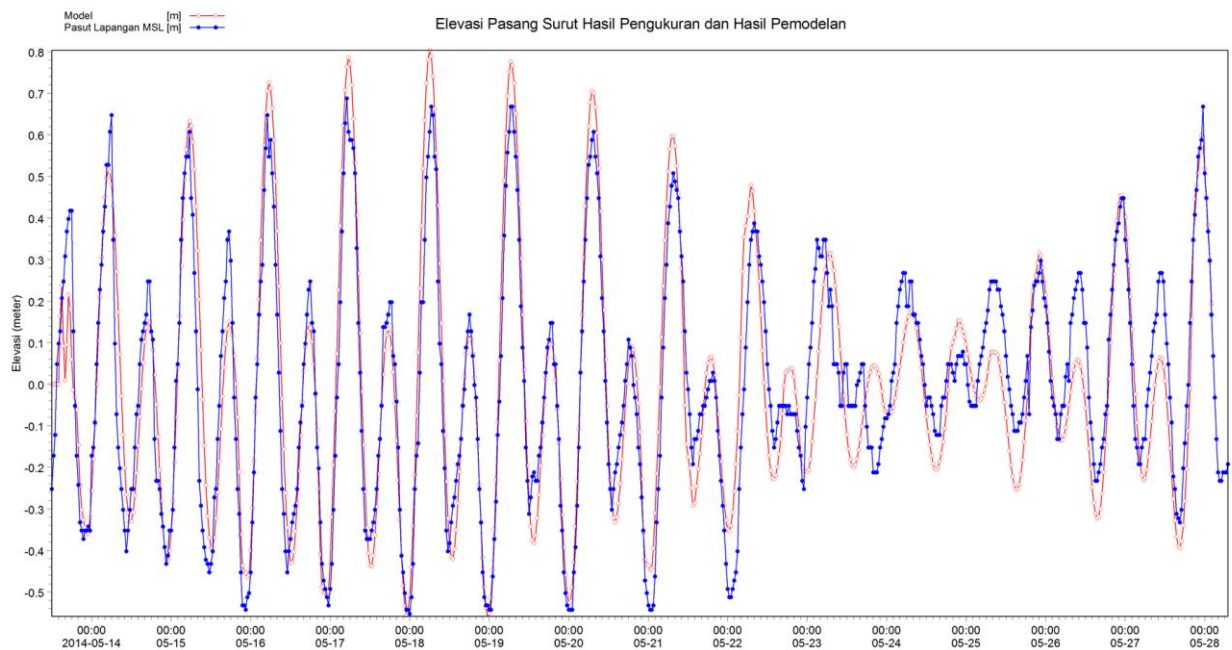
dengan  $\phi_B^{n+1}$  adalah nilai yang diprediksi di batas (dapat merupakan kecepatan arus atau elevasi permukaan air). Sedangkan  $\mu$  adalah bilangan Courant yang didefinisikan dengan  $\mu: c \frac{\Delta t}{\Delta x}$  (Mellor, 2004).

### 2.3. Validasi Model

Untuk mengetahui sejauh mana model yang dihasilkan cukup baik, dilakukan langkah verifikasi hasil model dengan data lapangan. Jika nilai dari model tidak terlalu jauh dengan data lapangan, maka model diharapkan cukup mampu mewakili kondisi sebenarnya. Hal ini perlu dilakukan karena sebelum dilakukan analisis model penyebaran limbah cair, model hidrodinamika yang digunakan harus dipastikan memiliki hasil yang baik. Verifikasi model yang dilakukan adalah verifikasi data pasut, dimana data tersebut adalah komponen utama penggerak massa air yang menyebabkan transport polutan.

Gambar di bawah ini menunjukkan hasil verifikasi parameter pasang surut. Verifikasi menunjukkan hasil yang cukup baik dengan beberapa error pada sebagian langkah waktu terutama pada awal dan akhir simulasi. Error di awal simulasi diakibatkan belum tercapainya stabilitas saat model dijalankan. Sedangkan di akhir simulasi dimungkinkan akibat kondisi pasang surut perbani memungkinkan tenaga pembangkit hidrodinamika selain pasang surut

dan angin meningkat dan hal ini tidak tercakup dalam asumsi yang digunakan model.



**Gambar 2.4. Verifikasi Pasang Surut hasil pengukuran di sekitar PLTU Molotabu dengan Hasil Model**

## **2.4. Hasil Model**

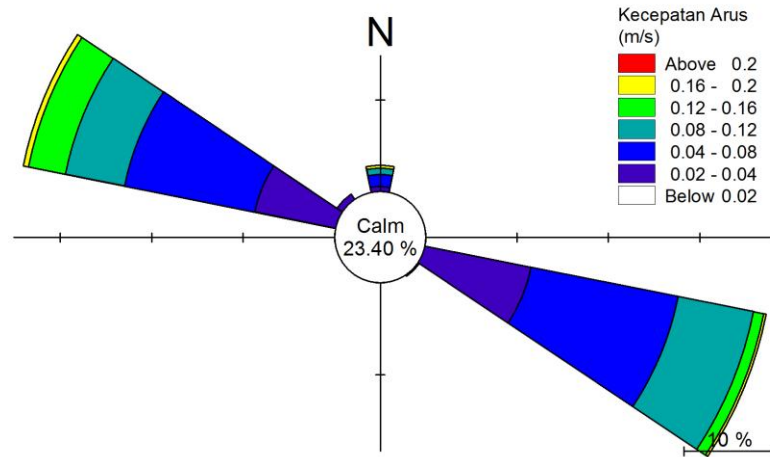
### **2.4.1. Hasil Model Hidrodinamika**

Hasil pemodelan arus menunjukkan kecepatan arus berkisar antara 0.0 – 0.18 m/detik dengan kecepatan rata-rata sebesar 0,05 m/detik. Kecepatan maksimum yang terdeteksi sebesar 0.18 terjadi pada kondisi pasang menuju surut.

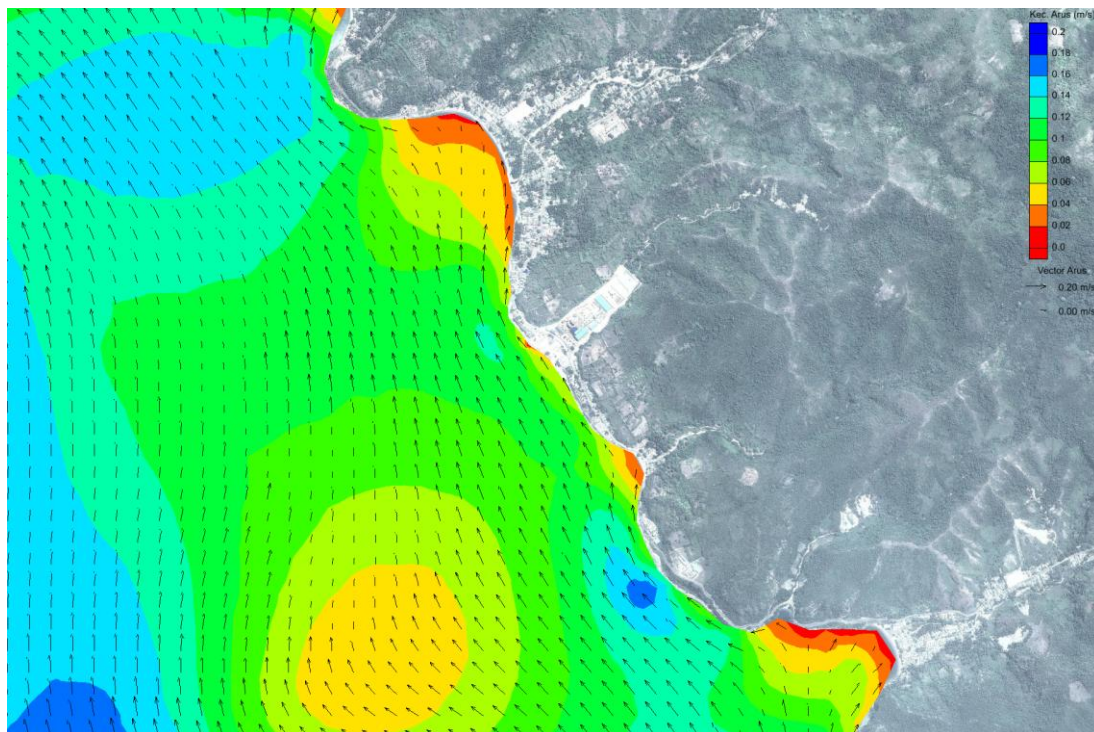
Pergerakan arus di sekitar PLTU Molotabu pada kondisi surut menuju pasang (pasang) lebih dominan dari arah Tenggara ke Barat Laut, sedangkan pada kondisi pasang menuju surut (surut) lebih dominan dari arah sebaliknya yaitu Barat laut menuju Tenggara. Pergerakan arus bolak-balik ini mencirikan dominasi pembangkit arus di lokasi outlet PLTU Molotabu adalah pasang surut.

Arah pergerakan arus di lokasi kajian juga menunjukkan bahwa arus di sekitar perairan PLTU Molotabu masih mengikuti pola arus lebih besar yaitu pola arus di Teluk Tomini. Pada saat pasang, massa air kan bergerak masuk ke teluk, dan pada saat surut, massa air bergerak keluar teluk.

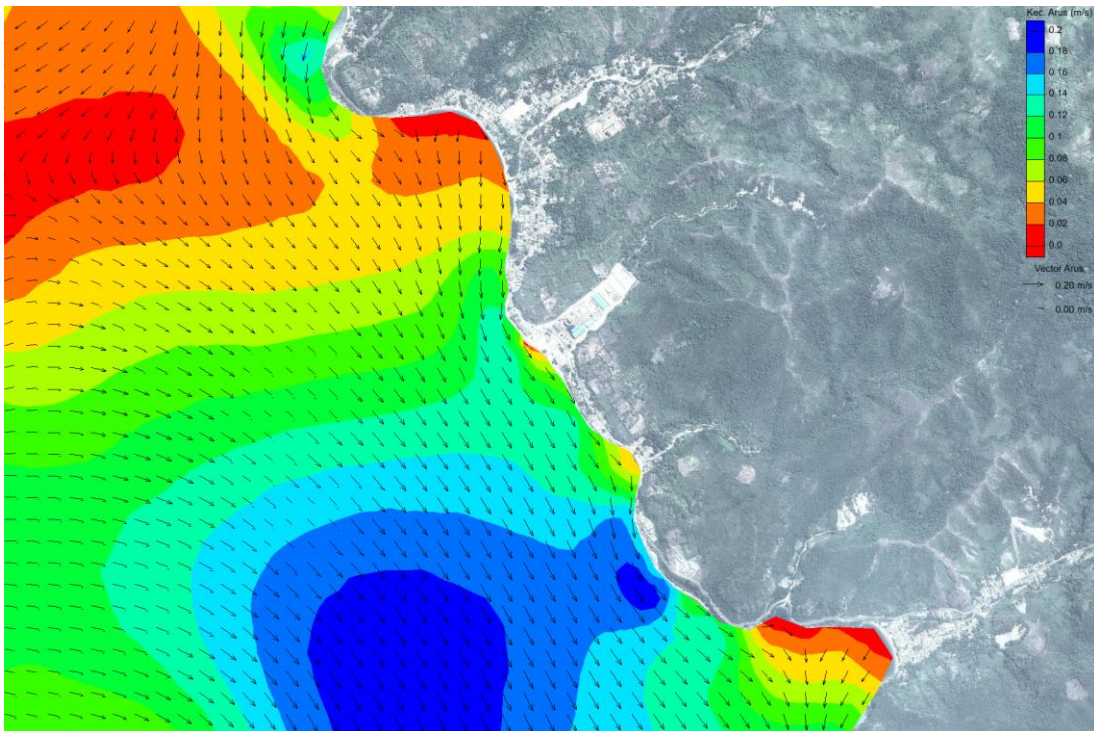
Dominasi arus pasang surut (bolak-balik) tersebut digambarkan pada current rose berikut:



**Gambar 2.5.** *Current rose* kondisi arus hasil pemodelan di sekitar PLTU Molotabu



**Gambar 2.6.** Hasil Model Arus Perairan Teluk Tomini Kondisi Surut Menuju Pasang



**Gambar 2.7. Hasil Model Arus Perairan Teluk Tomini Kondisi Pasang Menuju Surut**

#### **2.4.2. Hasil Model Sebaran Limbah Cair**

Secara umum pola sebaran limbah cair mengikuti kondisi musim yang terjadi yang dipengaruhi oleh arah pergerakan dari arus pasut. Arus pasut yang terjadi memiliki dominasi lebih besar dibandingkan arus akibat pengaruh lain karena lokasi studi yang berada di perairan pesisir, sehingga secara harian akan mengalami pergerakan relatif mengikuti arus pasut yang terjadi.

##### **2.4.2.1. Model Sebaran Nilai pH**

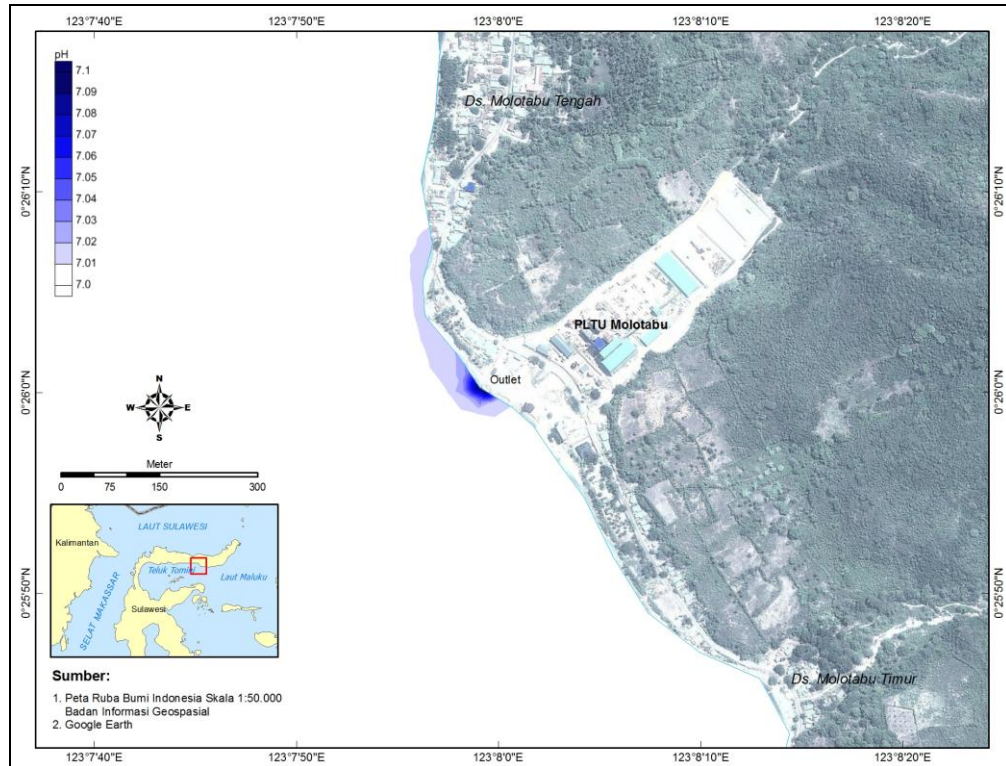
Sumber nilai pH yang diberikan pada pusat outlet dalam model ini adalah sebesar 7,1. Pada awal simulasi, diasumsikan kondisi pH di perairan yang dimodelkan memiliki nilai 7 (netral). Limbah cair yang dibuang memiliki kondisi pH basa (7,1). Dari kondisi tersebut, akan diamati lebih lanjut sejauh mana nilai pH 7,1 dari limbah cair mempengaruhi perairan pada daerah studi.

Plume nilai pH limbah cair berdasarkan hasil model menunjukkan pergerakan ke arah barat laut pada kondisi surut menuju pasang, sedangkan untuk kondisi pasang menuju surut menunjukkan pergerakan ke tenggara dengan area yang lebih besar. Nilai pH dari hasil buangan limbah secara harian akan mengalami pergerakan relatif secara difusif maupun mengikuti arus pasut yang terjadi (advectif).

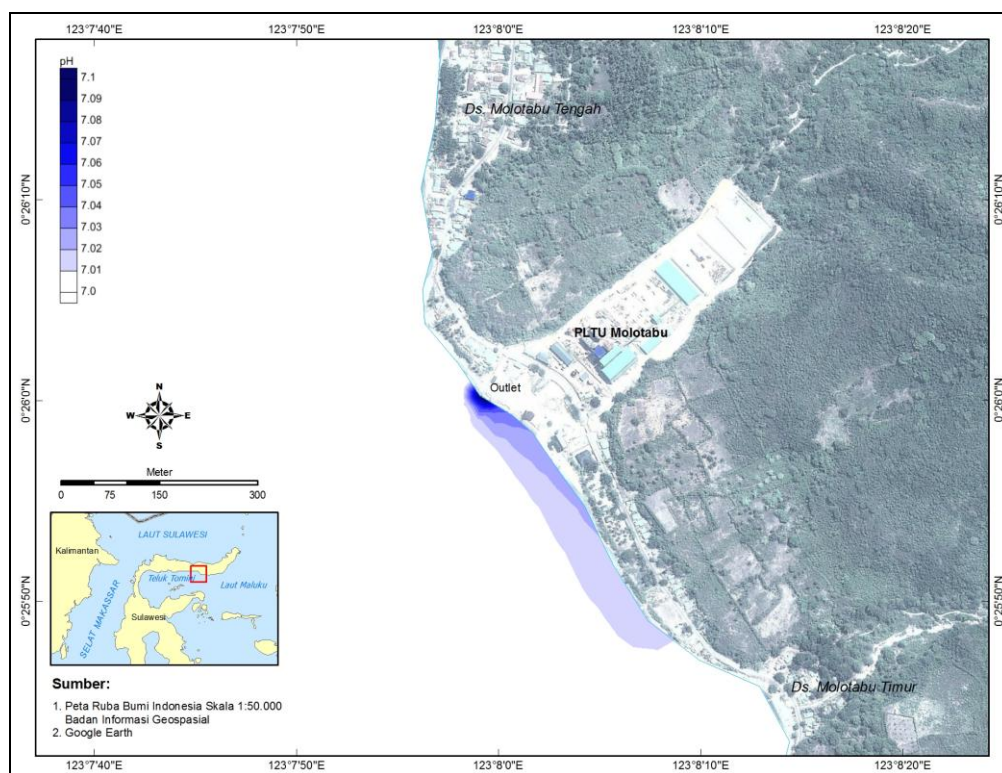
Pada kondisi surut menuju pasang, nilai pH 7,01 yang menyebar dari outlet mencapai jarak

240 meter sedangkan limbah dengan pH 7,04 pada model terlihat bergerak hingga 73 meter dari outlet limbah cair. pH dengan nilai 7,08 mencapai jarak <20 meter.

Sedangkan pada kondisi pasang menuju surut, nilai pH 7,01 yang menyebar dari outlet mencapai jarak 458 m sedangkan limbah dengan pH 7,04 pada model terlihat bergerak hingga 243 meter dari pusat outlet limbah cair. Dan pH dengan nilai 7,08 mencapai jarak 23 meter.



**Gambar 2.8. Pola sebaran nilai pH limbah pada kondisi Surut menuju Pasang**



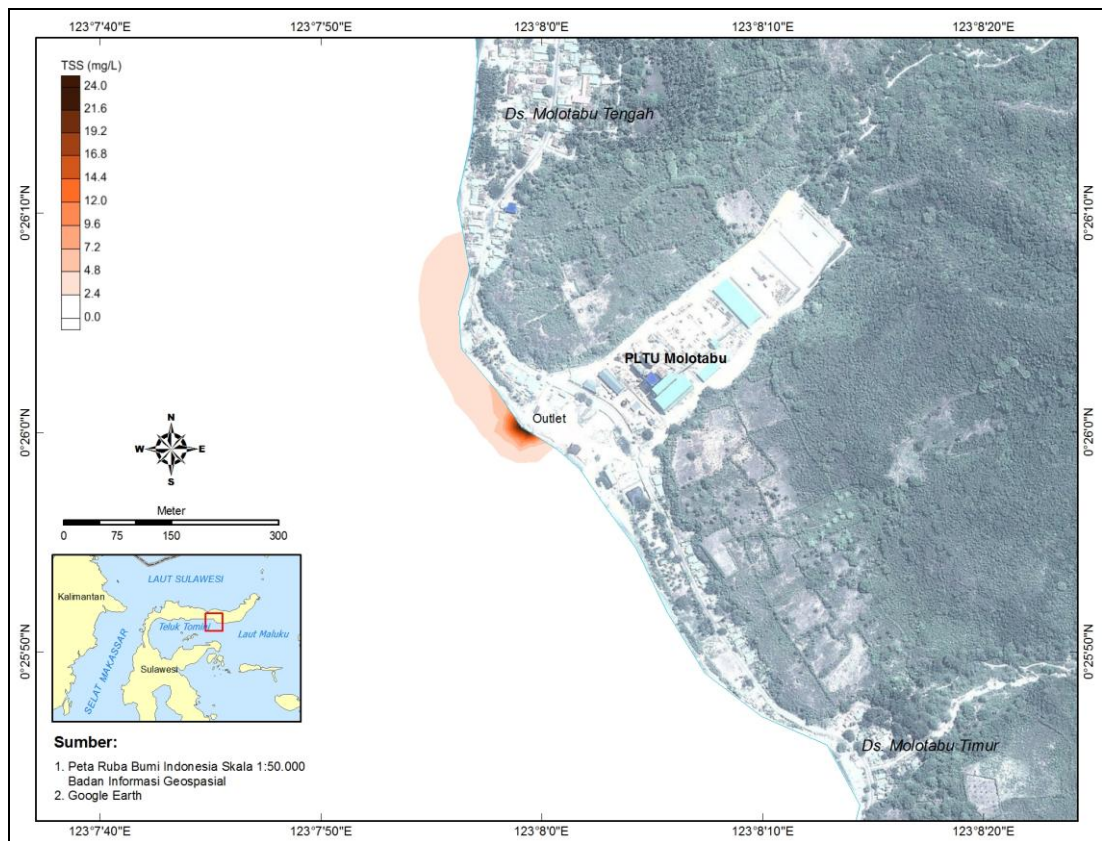
**Gambar 2.9. Pola sebaran nilai pH limbah pada kondisi Pasang menuju Surut**

### **2.4.2.2 Model Sebaran TSS**

Konsentrasi TSS yang diberikan dalam model adalah 24 mg/L dari outlet. Sebaran konsentrasi TSS berdasarkan hasil model menunjukkan adanya pergerakan secara relatif sejajar pantai ke arah tenggara & barat laut. Hal tersebut disebabkan oleh dominasi arus pasang yang terjadi, sehingga sedimen tersuspensi secara harian akan mengalami pergerakan relatif mengikuti arus pasang yang terjadi.

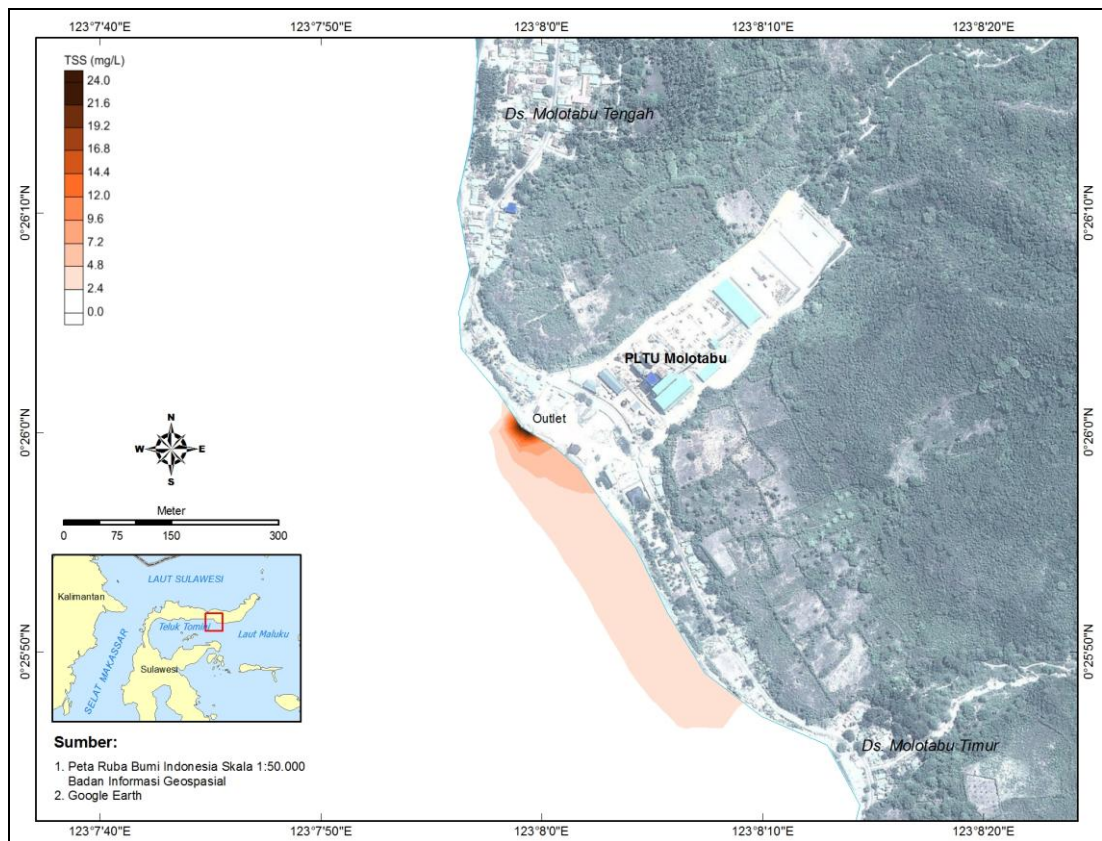
Pada kondisi surut menuju pasang, plume TSS bergerak ke arah barat laut dengan konsentrasi 2,4 mg/L hingga 300 meter. Konsentrasi TSS 7,2 mg/L bergerak pada jarak 75 m. Konsentrasi TSS sebesar 14,4 mg/L pada model terlihat hanya bergerak hingga 30 meter dari pusat outlet limbah cair.





**Gambar 2.10. Pola sebaran TSS pada kondisi Surut menuju Pasang**

Pada kondisi pasang menuju surut, plume TSS bergerak relatif menyebar dalam perairan teluk dengan konsentrasi 2,4 mg/L hingga 500 meter. Konsentrasi TSS 7,2 mg/L bergerak pada jarak 150 m dan mencapai 30 m pada konsentrasi sedimen tersuspensi 14,4 mg/L. Konsentrasi TSS sebesar 19,2 mg/L pada model terlihat hanya bergerak <20 meter dari pusat outlet limbah cair.



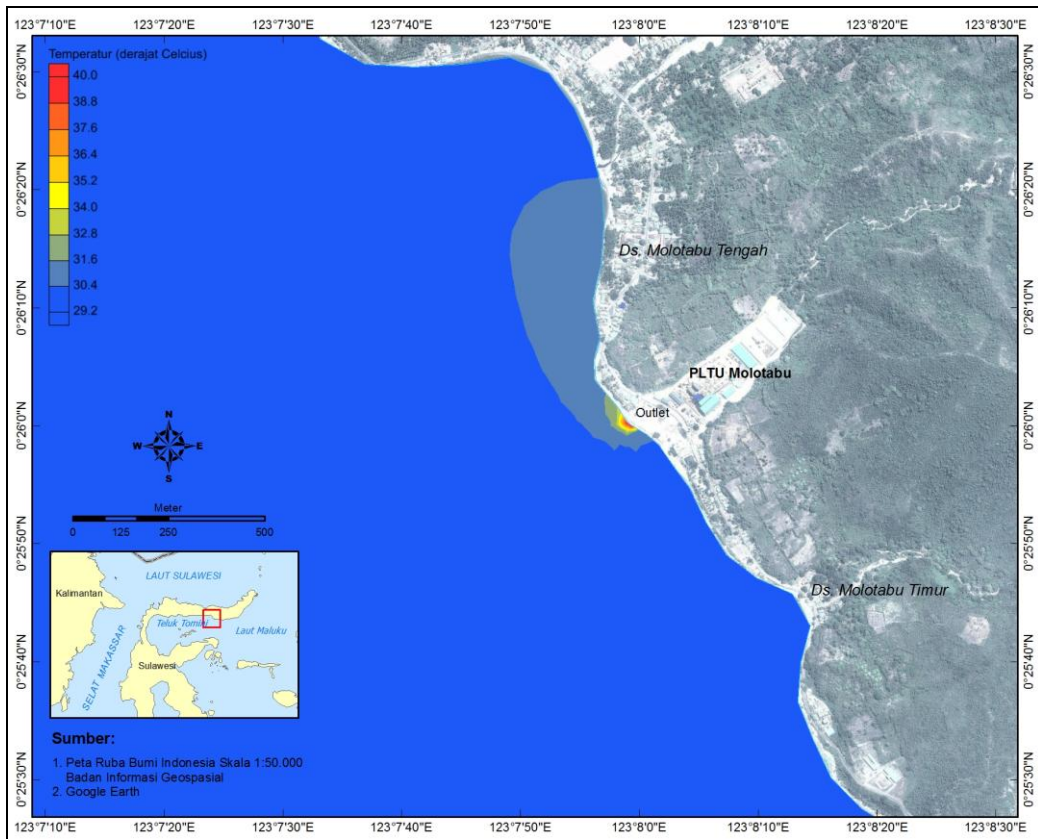
**Gambar 2.11. Pola sebaran TSS pada kondisi Pasang menuju Surut**

### **2.4.2.3. Model Sebaran Temperatur**

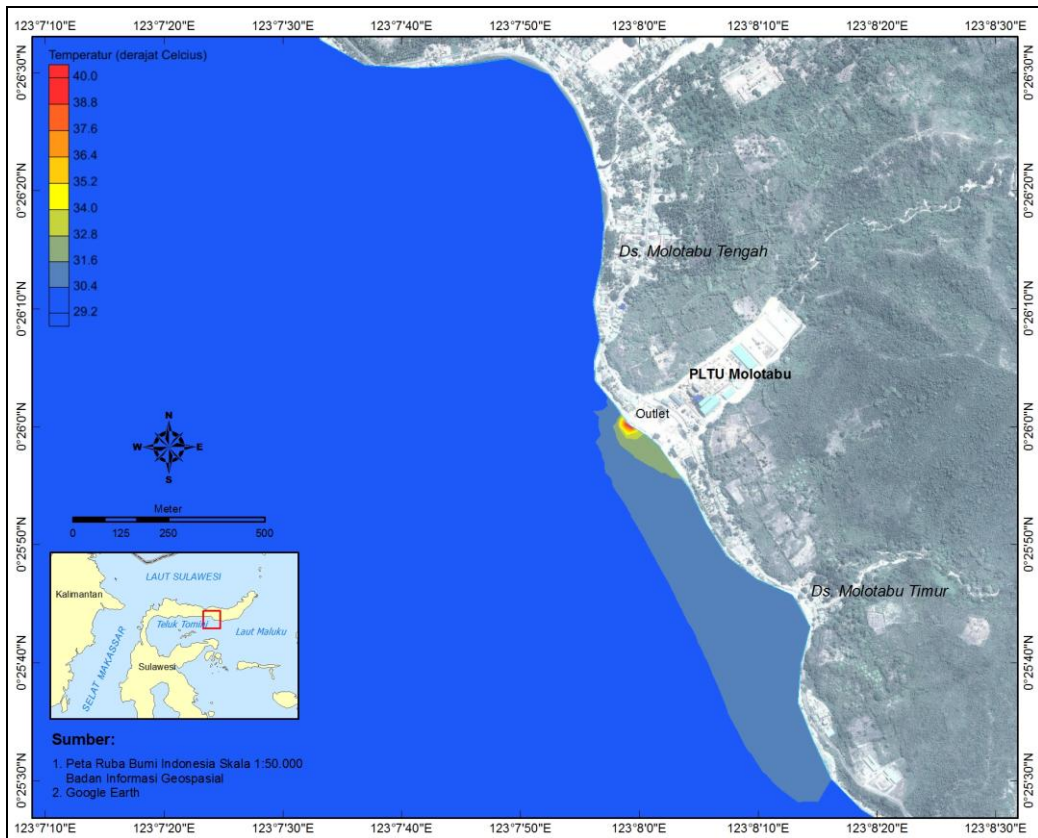
Temperatur pada limbah yang dikaji dalam model berasal dari outlet sebesar 40°C. Suhu alami badan air penerima di perairan sekitar PLTU Molotabu diasumsikan sebesar 29,2°C. Dari perbedaan suhu limbah cair dengan badan air penerima ini disimulasikan sejauh mana pergerakan eksese temperatur dari limbah cair mempengaruhi perairan sekitarnya. Sebagai nilai baku mutu dari temperatur perairan ini adalah suhu udara yang terukur saat pengukuran yaitu 35°C.

Temperatur dari hasil buangan limbah bergerak akibat proses difusi maupun adveksi akibat arus. Plume temperatur pada limbah cair berdasarkan hasil model menunjukkan pergerakan ke arah barat laut pada kondisi surut menuju pasang, sedangkan untuk kondisi pasang menuju surut menunjukkan pergerakan ke arah tenggara dengan area relatif lebih besar.

Pada kondisi surut menuju pasang, temperatur 31,4°C (+2,2°C) yang menyebar dari outlet mencapai jarak 625 meter sedangkan limbah dengan temperatur 32,8°C (+3,6°C) pada model terlihat bergerak hingga 80 meter dari outlet limbah cair. Temperatur dengan nilai 35°C (+6°C) mencapai jarak 34 meter.



**Gambar 2.12. Pola sebaran Temperatur pada kondisi Surut menuju Pasang**



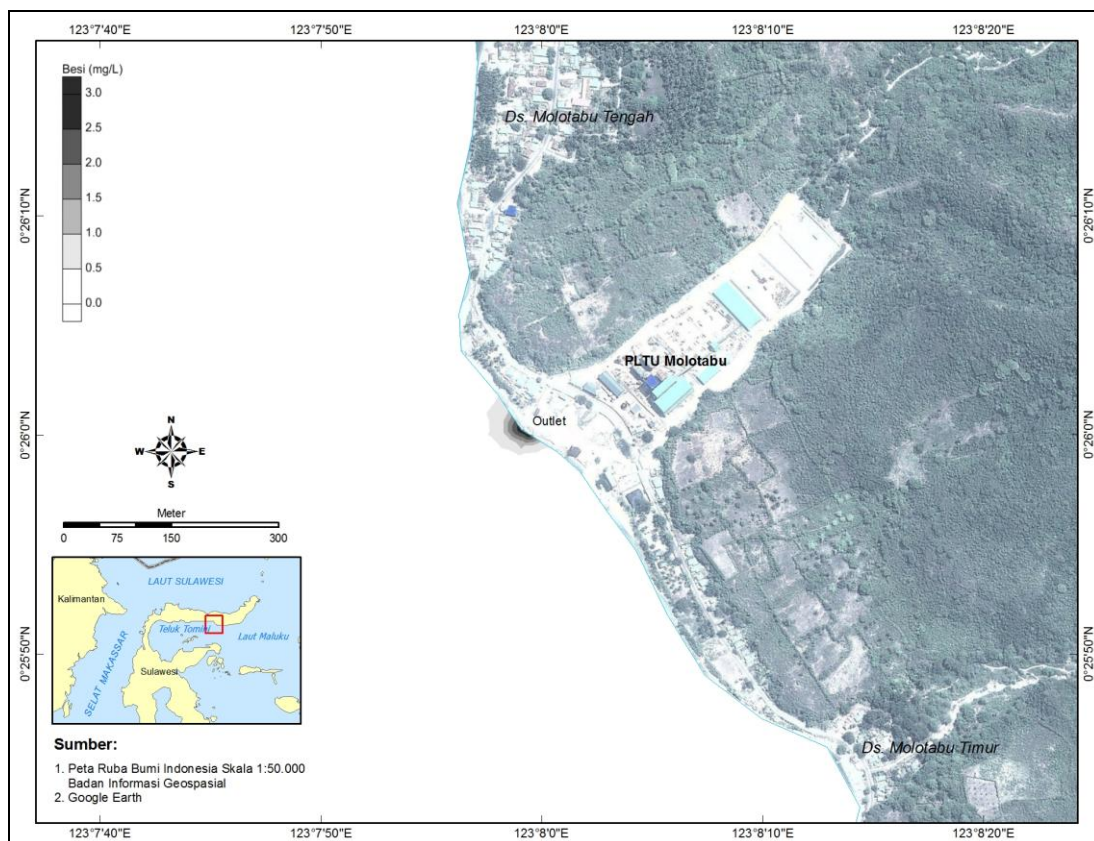
**Gambar 2.13. Pola sebaran Temperatur pada kondisi Pasang menuju Surut**

Sedangkan pada kondisi pasang menuju surut, temperatur 31,4°C (+2,2°C) yang menyebar ke arah tenggara dari outlet mencapai jarak 1075 meter sedangkan limbah dengan temperatur 32,8°C (+3,6°C) pada model terlihat bergerak hingga 185 meter dari outlet limbah cair. Temperatur dengan nilai 35°C (+6°C) mencapai jarak 38 meter.

#### **2.4.2.4. Model Sebaran Besi**

Pada pusat outlet limbah cair pada model ini diberikan konsentrasi Besi sebesar 5 mg/L dengan sumber kontinyu pada outlet limbah cair. Nilai tersebut bukan merupakan hasil analisis pada limbah cair, namun merupakan nilai baku mutu limbah cair bagi kegiatan pembangkit tenaga thermal (PerMen LH No.8/2009). Analisis dari laboratorium tidak menunjukkan kandungan Besi dalam limbah cair (tidak terdeteksi). Sebaran Besi berdasarkan hasil model menunjukkan pergerakan relatif plume sejajar pantai ke arah barat laut & tenggara di sekitar outlet.

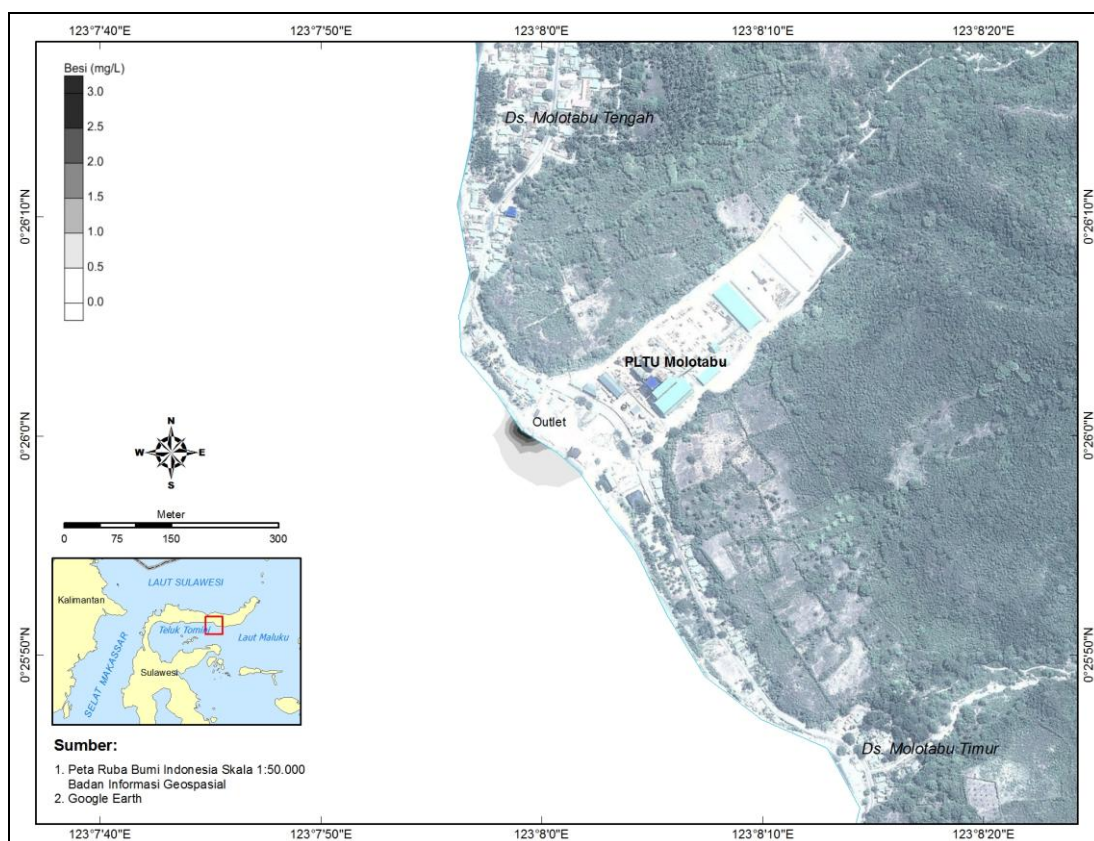
Pada kondisi surut menuju pasang, Besi sebesar 0,5 mg/L yang menyebar ke arah barat laut dari outlet mencapai jarak 80 meter sedangkan limbah dengan kandungan Besi sebesar 1 mg/L pada model terlihat bergerak hingga 35 meter dari outlet limbah cair. Besi dengan nilai 1,5 mg/L mencapai jarak <20 meter.



**Gambar 2.14. Pola sebaran konsentrasi Besi pada kondisi Surut menuju Pasang**

Sedangkan pada kondisi pasang menuju surut, Besi sebesar 0,5 mg/L yang menyebar dari outlet mencapai jarak 90 meter sedangkan limbah dengan kandungan Besi sebesar 1 mg/L

pada model terlihat bergerak hingga 51 meter dari outlet limbah cair. Besi dengan nilai 1,5 mg/L mencapai jarak <20 meter.



**Gambar 2.15. Pola sebaran konsentrasi Besi pada kondisi Pasang menuju Surut**

#### **2.4.2.5. Model Sebaran Mangan**

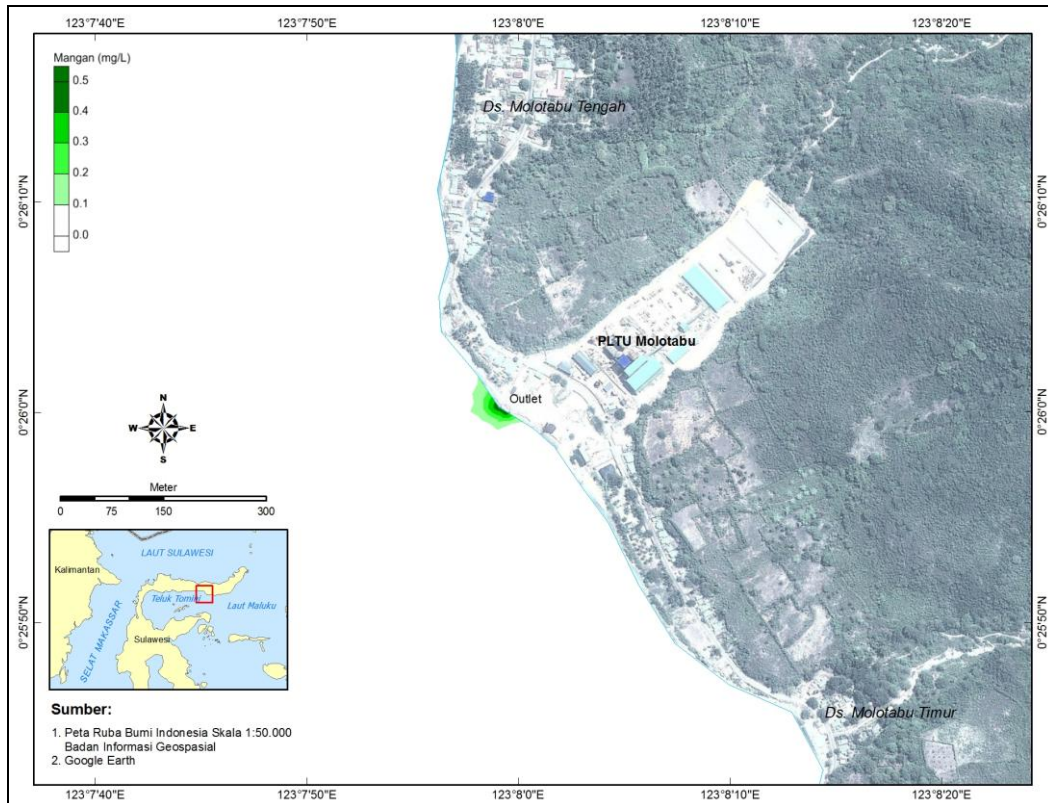
Sumber nilai Mangan yang diberikan pada pusat outlet dalam model ini adalah sebesar 0.5 mg/L. Nilai tersebut bukan merupakan hasil analisis pada limbah cair, namun merupakan nilai baku mutu limbah cair bagi kegiatan pembangkit tenaga thermal (PerMen LH No.8/2009). Analisis dari laboratorium tidak menunjukkan kandungan Mangan dalam limbah cair (tidak terdeteksi). Simulasi berikut menunjukkan arah pergerakan kandungan Mangan dalam limbah cair di perairan apabila terdapat kandungan mangan dalam limbah cair.

Plume Mangan limbah cair berdasarkan hasil model menunjukkan pergerakan ke arah barat laut pada kondisi surut menuju pasang, sedangkan untuk kondisi pasang menuju surut menunjukkan pergerakan ke tenggara dengan area yang lebih besar. Mangan dari hasil buangan limbah secara harian akan mengalami pergerakan relatif akibat proses difusi maupun adveksi mengikuti pergerakan arus pasut.

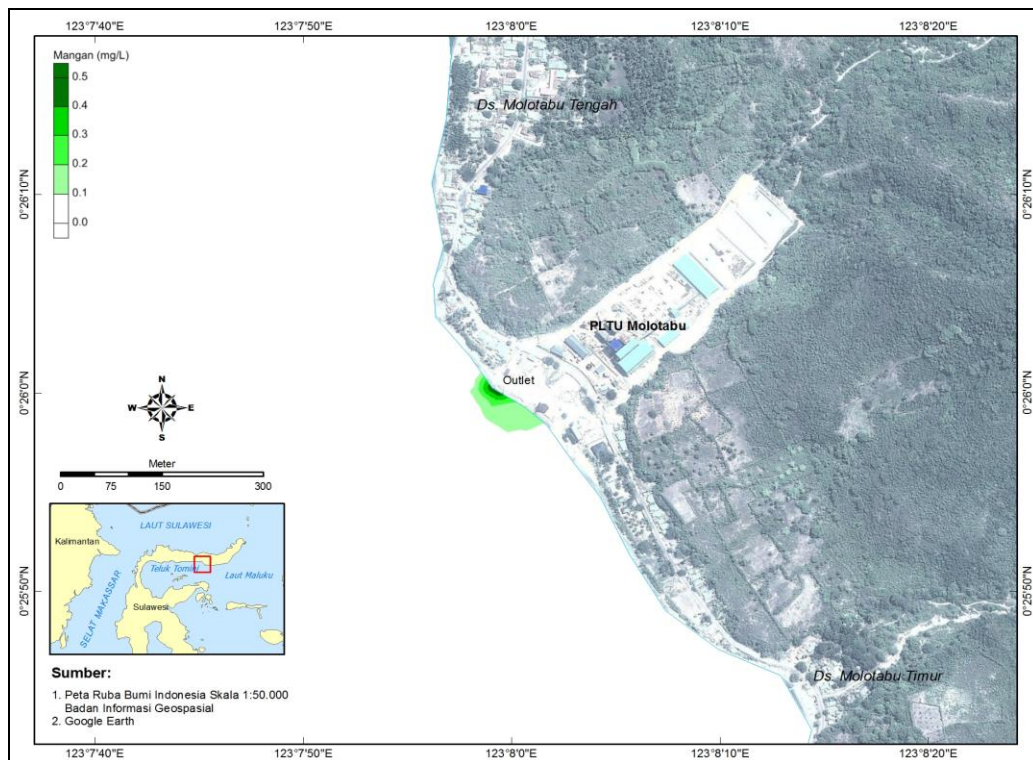
Pada kondisi surut menuju pasang, Mangan 0,1 mg/L yang menyebar dari outlet mencapai jarak 70 meter dan 40 meter sebesar 0,2 mg/L. Sedangkan limbah dengan Mangan 0,3 mg/L pada model terlihat bergerak <20 meter dari outlet.

Sedangkan pada kondisi pasang menuju surut, Mangan 0,1 mg/L yang menyebar dari outlet

mencapai jarak 87 m dan 46 meter sebesar 0,2 mg/L .Sedangkan limbah dengan Mangan 0,3 mg/L bergerak hingga <20 meter dari pusat outlet.



**Gambar 2.16. Pola sebaran Mangan pada kondisi Surut menuju Pasang**



**Gambar 2.17. Pola sebaran Mangan pada kondisi Pasang menuju Surut**

## **2.5 Identifikasi Kondisi yang Paling Kritis Akibat Kondisi Oceanografi**

Pola sebaran limbah cair di perairan terutama 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.

Dari uraian kondisi oseanografi di perairan PLTU Molotabu dapat digambarkan hal-hal berikut:

1. Pergerakan massa air di sekitar PLTU Molotabu terutama adalah akibat arus yang disebabkan oleh kejadian pasang surut di lokasi. Arus pasang surut di lokasi kegiatan bergerak ke arah barat laut saat pasang dan ke tenggara saat surut dengan kecepatan maksimum 0,2 m/s pada kondisi pasut purnama.
2. Arus akibat angin permukaan yang berhembus dimungkinkan relatif kecil karena kondisi lokasi geografis PLTU Molotabu yang berada di perairan Teluk Tomini yang merupakan perairan semi tertutup.  
Angin yang berhembus dari utara pada musim hujan tidak memiliki cukup ruang untuk menggerakkan massa air secara efektif sehingga arus akibat angin di musim ini dimungkinkan sangat kecil.  
Sedangkan angin di musim kering meskipun memiliki area hembusan cukup luas di sebelah selatan PLTU, namun pergerakannya akan terhalang oleh daratan di sebelah utara dan timur PLTU.
3. Gelombang yang terbentuk di lokasi PLTU didominasi oleh gelombang di musim selatan. Pada musim selatan ini, gelombang signifikan 0,65 m dan gelombang maksimum yang terbentuk mencapai 1,99 m.  
Secara teori, gelombang tidak menggerakkan massa air secara langsung, namun saat menjalar ke perairan pesisir, gelombang akan mengalami deformasi hingga mengalami pecah. Gelombang pecah akan mentransfer energy di perairan sehingga mampu menggerakkan massa air dalam skala lokal. Apabila gelombang pecah membentuk sudut dengan garis pantai, maka pergerakan massa air yang ditimbulkan akan bergerak dengan arah sejajar sepanjang pantai.  
Dari hasil perhitungan gelombang pecah menunjukkan bahwa kecepatan arus sepanjang pantai di lokasi PLTU mencapai 0,62 m/s pada musim selatan (terutama bulan Agustus) dengan arah barat laut.
4. Kondisi kritis pergerakan massa air yang mungkin terbentuk di lokasi PLTU adalah saat kondisi arus pasang surut mencapai kondisi maksimum (kondisi purnama) dan arus sepanjang pantai mencapai maksimum saat musim selatan dan gelombang pecah membentuk sudut dengan garis pantai.  
Kondisi kritis ini bila diperhitungkan akan menimbulkan pergerakan arus maksimum mencapai 0,82 m/s ke arah barat laut. Dengan kecepatan arus tersebut, bila kondisi kritis tetap terjaga hingga 1 jam, akan mampu menggerakkan massa air ataupun limbah cair hingga jarak **2,95 Km** dari outlet.

## **2.6 Penentuan Zona of Initial Dillution (ZID)**

*Mixing zone / zone of initial dilution* (area dengan konsentrasi melebihi baku mutu) dari hasil simulasi tidak terbentuk karena tidak ada parameter pada limbah cair yang melebihi baku mutu kecuali untuk parameter suhu. *Mixing zone* suhu dari outlet limbah adalah radius 38 m.

## **2.7 Potensi Perpindahan Polutan**

Hasil pemodelan sebaran limbah cair ke laut menyimpulkan bahwa secara umum, sebaran limbah cair bergerak relatif sejajar pantai ke arah barat laut dan tenggara mengikuti pergerakan arus yang terjadi di lokasi studi.

Polutan yang dihasilkan oleh operasional PLTU Molotabu di Desa Bintalahe, Kecamatan Kabila Bone, Kabupaten Bone Balango, Provinsi Gorontalo adalah berupa air limbah bahang PLTU. Untuk sementara ini, air limbah yang berasal dari proses pengolahan air seperti proses desalinisasi dan demineralisasi dialirkan ke bak multi level sedimentasi yang kemudian dialirkan ke kanal yang menampung limbah bahang untuk dibuang ke badan air penerima.

Perpindahan polutan dari PLTU sangat dipengaruhi oleh arah angin dan kecepatan angin serta pergerakan arus air laut mengikuti pola pasang surut. Dengan adanya pergerakan aliran air laut maka terjadi pengenceran searah dengan arah pergerakan arus laut tersebut. Distribusi polutan akibat pergerakan arus laut akan mengakibatkan penurunan konsentrasi polutan seiring dengan semakin jauhnya pergerakan arus laut.

## **2.8 Komposisi dan Kerentanan Komunitas Biologi Terpapar oleh Air Limbah**

Limbah air panas dari instalasi pembangkit listrik biasanya dibuang secara langsung ke laut sehingga meningkatkan suhu air dan menimbulkan pencemaran termal. Kenaikan suhu 10 derajat dapat mempercepat aktivitas metabolisme biota air menjadi dua kali dari biasanya. Berdasarkan hasil analisa kualitas biota plankton di perairan dekat lokasi PLTU Molotabu dari Indeks Diversitas (Keragaman) masih dalam tahap keragaman sedang – tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pada saat kajian ini dilakukan badan air masih belum tercemar. Kondisi ini bisa terjadi karena PLTU Molotabu masih dalam tahap commissioning (uji coba) sehingga kuantitas limbah yang dihasilkan tidak banyak.

Apabila PLTU Molotabu beroperasi maksimal maka komponen biota air baik dari segi nekton, plankton dan juga terumbu karang akan terpapar air limbah dari proses PLTU. Komposisi dan kerentanan komunitas biologis yang akan terpapar limbah sangat tergantung kepada kecepatan metabolik masing-masing biota air. Karena masing-masing jenis biota air memiliki kecepatan metabolik yang berbeda, maka biota air hanya dapat hidup pada rentangan suhu tertentu yang berbeda-beda untuk setiap kelompok biota. Populasi hewan air akan menurun pada suhu tinggi, hanya sedikit jenis hewan yang dapat hidup pada suhu di atas 40°C. Tumbuhan lebih tahan terhadap kenaikan suhu. Kenaikan suhu air akan menurunkan



prosentasi kelarutan oksigen. Pengaruh polusi thermal juga meningkatkan toksisitas zat kimia tertentu.

Untuk mengatasi hal ini, maka WWTP (Waste Water Treatment Plant) atau Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) PLTU Molotabu wajib beroperasi selama jam operasional PLTU untuk meminimasi terpajannya komunitas biologis yang ada di perairan sekitar PLTU Molotabu.

## **2.9 Nilai Penting Badan Air**

Badan air penerima limbah cair PLTU Molotabu di Desa Bintalahe, Kecamatan Kabilqa Bone, Kabupaten Bone Balango, Provinsi Gorontalo adalah berupa daerah pesisir (*coastal zone*) yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut perairan Teluk Tomini.

Pada lokasi dekat Pelabuhan PLTU Molotabu yaitu 3.340 m dari out let kanal PLTU terdapat aktivitas wisata pantai dan kawasan terumbu karang. Meskipun demikian dari hasil pola sebaran polutan, jangkauan terpanjang berjarak 1.075 m dari lokasi PLTU Molotabu berupa pola sebaran temperatur pada saat kondisi pasang menuju surut, sehingga tidak mempengaruhi kawasan wisata pantai dan terumbu karang.

Pada lokasi pembuangan limbah cair tidak ditemukan adanya lokasi akuatik khusus dan juga bukan termasuk kawasan suaka alam laut, bukan merupakan daerah yang memiliki nilai penting dalam siklus hidup spesies tertentu, tidak ditemukan adanya daerah pemijahan ikan dan bukan merupakan daerah yang memiliki nilai penting dalam siklus hidup spesies ikan tertentu. Daerah persebaran limbah cair juga bukan merupakan jalur perpindahan spesies migratori.

## **2.10 Lokasi Akuatik Khusus**

Pada lokasi pembuangan limbah cair tidak ditemukan adanya lokasi akuatik khusus dan juga bukan termasuk kawasan suaka alam laut, bukan merupakan daerah yang memiliki nilai penting dalam siklus hidup spesies tertentu, tidak ditemukan adanya daerah pemijahan ikan dan bukan merupakan daerah yang memiliki nilai penting dalam siklus hidup spesies ikan tertentu. Daerah persebaran limbah cair juga bukan merupakan jalur perpindahan spesies migratori.

## **2.11 Potensi Dampak Terhadap Kesehatan Manusia**

Badan air Teluk Tomini sebagai media penerima limbah cair tidak dimanfaatkan oleh manusia (penduduk) untuk kebutuhan mandi maupun untuk air minum. Meskipun adanya lokasi wisata laut dekat Pelabuhan PLTU Molotabu namun tidak terpengaruh oleh sebaran polutan karena berjarak 3 km dari lokasi PLTU Molotabu sehingga dengan adanya aktivitas pembuangan

limbah cair PLTU Molotabu ke laut tidak menimbulkan dampak terhadap kesehatan manusia.

## **2.12 Potensi Lokasi**

Desa Bintalahe dan Desa Molotabu termasuk wilayah ekosistem pesisir di Teluk Tomini. Secara ekologis, ekosistem laut dan pesisir menyediakan keragaman hayati (biodiversity) yang cukup tinggi seperti terumbu karang, rumput laut, hasil perikanan laut dan lain sebagainya. Potensi terbesar di lokasi studi yaitu perikanan dengan jenis ikan terbanyak seperti cumi, Deho, Tuna, Lajang, Sindaru, Cakalang, Oci dan lain sebagainya. Kemelimpahan jenis biota laut ini berpotensi meningkatkan perekonomian masyarakat sekitar. Namun, dalam hal penangkapan ikan, nelayan di sekitar lokasi studi masih menggunakan cara tradisional sehingga tangkapan ikan tidak maksimal.

Selain potensi perikanan laut, potensi pariwisata yaitu berupa wisata pantai Molotabu dengan keindahan terumbu karang. Pantai Molotabu berjarak  $\pm$  3,34 km dari lokasi PLTU Molotabu. Bibir pantai ini dipenuhi oleh batuan kerikil halus sehingga pengunjung pantai juga bisa melakukan refleksi kaki. Akan tetapi obyek wisata ini masih belum banyak dikenal orang sehingga diperlukan promosi ke wisatawan dalam dan luar negeri.

## **2.13 Faktor yang Terkait dan Relevan dengan Pembuangan Air Limbah ke Laut**

Faktor yang terkait dan relevan dengan pembuangan air ke laut tergantung kepada pada beberapa hal yaitu:

- a. Karakteristik air limbah (termasuk kuantitas seperti debit limbah yang dihasilkan dan kualitas limbah yang dihasilkan terkait dengan karakteristik fisik terutama temperatur air limbah, karakteristik biologi terutama kemelimpahan biota laut serta karakteristik kimia terkait dengan kandungan zat dan logam berbahaya dalam air limbah tersebut),
- b. Kondisi oceanografi meliputi arus, gelombang dan pasang surut
- c. Kondisi meteorologi terutama angin
- d. Sirkulasi massa air tempat pembuangan limbah



### 3.1. Upaya Meminimalkan Dampak Pembuangan Limbah Cair ke Laut

Idealnya suatu PLTU dengan bahan bakar batu bara akan menghasilkan bermacam-macam limbah cair dari proses pengoperasian PLTU tersebut diantaranya :

- Limbah dari kondensor (air pendingin) yang dikenal juga dengan limbah air panas atau limbah bahang (untuk PLTU Molotabu limbah utama yang dihasilkan adalah limbah bahang)
- Limbah dari WWTP (*Waste Water Treatment Plant*) yang berasal dari limbah boiler, limbah dari penggunaan resin untuk pengolahan air baku dan semua limbah cair yang dihasilkan kegiatan PLTU diproses di WWTP ini untuk kemudian dibuang ke badan air penerima (untuk PLTU Molotabu, WWTP saat ini belum beroperasi maksimal)
- Limbah dari *sedimentation basin*. *Sedimentation* merupakan bak penampungan yang ada di luar ruangan Lindi Coal Yard, dimana bak tersebut menampung diantaranya : Rembesan air hujan, rembesan air hujan dari coal yard, dari Area Gedung Batubara.

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 diminimalisasikan atau bahkan tidak akan berdampak sama sekali jika dilakukan suatu usaha untuk mengatur buangan limbah panas dengan manajemen yang tepat dan benar. Manajemen buangan limbah tersebut meliputi pengaturan mengenai hal-hal sebagai berikut:

- a. Pembuangan limbah panas dengan volume tertentu pada suatu musim dan kondisi cuaca dan iklim tertentu dengan suatu kondisi perairan laut yang tepat.
- b. Pengaturan pembuangan limbah panas pada pipa-pipa buangan limbah panas yang tepat pada suatu musim dan kondisi cuaca dan iklim tertentu dengan suatu kondisi perairan laut yang tepat jika terdapat beberapa pipa buangan (outfall).
- c. Pembuangan limbah panas dengan suhu air tertentu pada suatu musim dan kondisi cuaca dan iklim tertentu dengan suatu kondisi perairan laut yang tepat jika menggunakan mekanisme regulator pendingin sebelum dibuang ke perairan.
- d. Kedalaman pipa buangan limbah panas pada suatu musim dan kondisi cuaca dan iklim tertentu dengan suatu kondisi perairan laut yang tepat jika terdapat beberapa pipa buangan panas pada beberapa level kedalaman sebagai alternatif buangan.
- e. Pembatasan jumlah buangan air panas ke dalam badan air yang sama.
- f. Melakukan control dengan difusi.
- g. Menstransfer panas dari air ke atmosfer dengan tower pendingin basah atau kering.

- h. Pembuangan air panas kedalam kolam yang dangkal atau kanal untuk pendinginan dan memanfaatkan kembali (*reuse*) sebagai air pendingin (*cooling water*).

Selain manajemen pembuangan limbah bahang, untuk selanjutnya dalam meminimalkan dampak negatif pembuangan limbah cair ke laut oleh PLTU Molotabu perlu dilakukan hal berikut yaitu:

- a. Mengoperasikan WWTP (*Waste Water Treatment Plant*) secara maksimal.
- b. Melakukan pemantauan lingkungan sesuai dengan yang ditetapkan dalam dokumen UKL – UPL Pembangunan PLTU Molotabu seperti pengambilan sampel air laut dan biota untuk lokasi-lokasi inlet, outlet dan kontrol perairan di sekitar PLTU Molotabu

Mobilisasi dari kapal-kapal tongkang yang memuat batu bara juga menimbulkan dampak berupa jatuhnya sisa-sisa material batu bara ke bawah laut yang bisa merusak terumbu karang dan biota laut, untuk menanggulangi dampak tersebut dalam proses pengangkutan batu bara perlu mengadopsi Sistem Manajemen Keselamatan (berdasarkan ISM Code (International Safety Management)) yang didalamnya dimuat prosedur operasi keselamatan dan perlindungan lingkungan.

### **3.2. Kesimpulan**

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari Pengkajian Pembuangan Limbah Cair Ke laut oleh PLTU Molotabu, Desa Bintalahe, Kecamatan Kabila Bone, Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo yaitu :

1. Hasil analisa kualitas limbah cair dari kegiatan operasional PLTU Telah memenuhi baku mutu limbah cair menurut Per-Men LH No. 08 tahun 2009 tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pembangkit Listrik Tenaga Termal.
2. Parameter sifat fisik dan kimia dari air Teluk Tomini sebagai badan air penerima limbah cair tidak bertambah signifikan setelah menerima beban pencemar dari limbah cair PLTU Molotabu.
3. Hasil analisa kualitas plankton menunjukkan bahwa dengan masuknya limbah cair PLTU Molotabu ke badan air ternyata tidak mengakibatkan penurunan sifat biologi daripada perairan tersebut.
4. Hasil simulasi penyebaran limbah cair di badan air Teluk Tomini menunjukkan bahwa kemampuan badan air penerima sangat besar untuk menerima masuknya limbah cair PLTU Molotabu dengan tidak mengakibatkan penurunan kualitas air laut.
5. Badan air penerima limbah bukan merupakan kawasan suaka alam laut, bukan daerah yang memiliki nilai penting dalam siklus hidup spesies tertentu, tidak ditemukan adanya daerah pemijahan ikan, bukan merupakan daerah yang memiliki nilai penting dalam

siklus hidup spesies ikan tertentu dan bukan merupakan jalur perpindahan spesies migratori.

6. Berdasarkan hal tersebut diatas, pembuangan limbah cair PLTU Molotabu, Desa Bintalahe, Kecamatan Kabila Bone, Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo ke badan air laut (Teluk Tomini) dapat dilakukan tanpa merusak dan mencemari lingkungan laut sehingga Izin pembuangan limbah cair ke laut dapat diberikan kepada PLTU Molotabu, Desa Bintalahe, Kecamatan Kabila Bone, Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo
7. Lokasi pemantauan (titik penataan) di badan air sungai sebagai badan air penerima limbah cair PLTU Molotabu, Desa Bintalahe, Kecamatan Kabila Bone, Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo adalah sebagai berikut :

**Teluk Tomini (Perairan dekat Pelabuhan PLTU Molotabu):**

- Titik Pengamatan 1 (titik inlet air laut), N :  $00^{\circ} 25' 96,2''$  E :  $123^{\circ} 08' 03,5''$
- Titik Kontrol (titik outlet air laut) , N :  $00^{\circ} 26' 01,1''$  E :  $123^{\circ} 07' 98,0''$

## **Daftar Pustaka**

- Bowie, George L., et al. 1985. *Rates, Constant, and Kinetics Formulations in Surface Water Quality Modeling*. U.S Environmental Protection Agency
- DHI Water & Environment. 2007. *Advection-Dispersion Module, Scientific Documentation*. DK-2970 Horsholm. Denmark
- Le Méhauté, Bernard. 1976. *An Introduction to Hydrodynamics and Water Waves*. Springer-Verlag. New York
- Mellor, G.L. 2004. *Users Guide for a Three-Dimensional, Primitive Equation, Numerical Ocean Model*. Princeton University. Princeton
- Ningsih, Sari Nining, B. Priyono, S. Hadi dan A. Tarya. 2007. *Studi Awal Pemodelan Numerik Transpor Sedimen 2D Horisontal di Estuari Mahakam, Kalimantan Timur*. Jurnal JTM. Volume XIV. No.2.
- Teisson, C. 1991. *Cohesive suspended sediment transport: feasibility and limitations of numerical modelling*. Journal of Hydraulic Research, Vol. 29, No. 6. Panigrahi & Tripathy. 2011. *Numerical Simulation of Advection-Dispersion for Monitoring Thermal Plume Re-Circulation In A Shallow Coastal Environment*. Applied Ecology and Environmental Research 9(4): 341-354. Alöki KFT., Budapest, Hungary.



**KEMENTERIAN KESEHATAN RI**  
DIREKTORAT JENDERAL  
PENGENDALIAN PENYAKIT DAN PENYEHATAN LINGKUNGAN  
BALAI TEKNIK KESEHATAN LINGKUNGAN DAN PENGENDALIAN PENYAKIT  
KELAS I MANADO

Jl. Adipura Raya, Lingk. X. Kel. Paniki Bawah, Kec. Mapangot Manado,  
Telp.: (0431)-818150, (0431)-818148, Fax: (0431)-818148, e-mail: btklmdo@gmail.com, website: btkl-manado.or.id

No. Kode LKLM-IV.5.10.5

**LAPORAN HASIL PENGUJIAN**

No : PS.02.02/XI.9/ /2014

**ASLI**

**Pemeriksaan Fisika dan Kimia**

Jenis Sampel : Air Limbah  
Nama Pelanggan : DR.Ir. H Fitri Lihawa M.Si  
Lokasi Pengambilan : Inlet PLTU Molotabu  
No. Sampel : 1878

Pengambil Sampel : Markus L  
Tgl. Pengambilan : 12-04-2014  
Tgl. Penerimaan : 14-04-2014  
Tgl. Pemeriksaan : 15-04-2014

PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP  
NOMOR 08 TGL 7 APRIL TAHUN 2009  
TENTANG BAKUMUTU AIR LIMBAH BAGI USAHA DAN/ATAU KEGLATAN  
PEMBANGKIT TENAGA THERMAL

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Metode Pengujian	Limit Detection
<b>A. FISIKA</b>						
1	Ph	-	6-9	7,1	SNL.06.6989.11-2004	
2	TSS	mg/L	200	24	SNL.06.6989.3-2004	
3	Besi (Fe)	mg/l	5	<LD	SNL.06.6989.4-2009	
4	Suhu	°C	Suhu Udara	30,2	SNL.06.6989.23-2005	0,0174
5	Mangan (Mn)	mg/l	2	<LD	SNL.06.6989.5-2009	0,0306

Saat pengambilan sampel mesin off

Hasil Analisa Sesuai Sampel Yang Kami Terima

Catatan : Sampel yang diterima dalam kondisi baik dengan volume 1,5 liter dalam botol air minum kemasan

Manado 21 April 2014  
Manager Teknis  
  
Christinne N. Kandoung S.Pd  
NIP. 19731226 200311 2 002



**KEMENTERIAN KESEHATAN RI**  
DIREKTORAT JENDERAL  
PENGENDALIAN PENYAKIT DAN PENYEHATAN LINGKUNGAN  
BALAI TEKNIK KESEHATAN LINGKUNGAN DAN PENGENDALIAN PENYAKIT  
KELAS I MANADO

Jl. Adiguna Raya, Lingk. X, Kel. Faticu Bawah, Kec. Mapanget Manado,  
Telp.: (0431)-818150, (0431)-818148, Fax: (0431)-818148, e-mail: btklindo@gmail.com, website: btkl-manado.or.id

No. Kode LKLM-IV.5.10.5

**LAPORAN HASIL PENGUJIAN**

No : PS.02.02/XI.9/ /2014

**ASLI**

**Pemeriksaan Fisika dan Kimia**

Jenis Sampel : Air Laut  
Nama Pelanggan : DR. Ir. H Fitri Lihawa M.Si  
Lokasi Pengambilan : Outlet PLTU Molotaba

Pengambil Sampel : Markus L.

Tgl. Pengambilan : 12-04-2014

Tgl. Penerimaan : 14-04-2014

Tgl. Pemeriksaan : 15-04-2014

No. Sampel : 1877 a

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Limit Deteksi
<b>A. FISIKA</b>					
1	Kebasaan	-	Tidak Berbau	Tidak Berbau	
2	TSS	mg/L	80	2,8	
3	Suhu	°C	Alami	29,5	
4	Kekeruhan	NTU	5	0,8	
<b>B. KIMIA</b>					
1	pH	-	6,5-8,5	8,15	
2	Salinitas	‰	Alami	14	
3	Oksigen Terlarut	mg/l	>5	7,89	
4	BOD5	mg/L	20	3,2	
5	Sulfida (H <sub>2</sub> S)	mg/L	0,01	0,07	
6	Nitrat (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	0,008	0,03	
7	Surfaktan (Deterjen)	mg/l	1	0,5	
8	Amonia Total(NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	0,3	0,3	
9	Hydro Carbon(HC)	mg/l	1	0,01	
10	Raksa(Hg)	mg/l	0,001	<LD	0,0007
11	Kadmium (Cd)	mg/l	0,001	<LD	0,0039
12	Tembaga (Cu)	mg/l	0,008	<LD	0,0080
13	Timbal (Pb)	mg/l	0,008	<LD	0,0056
14	Seng (Zn)	mg/l	0,05	<LD	0,0072

Hasil Analisa Sesuai Sampel Yang Kami Terima

Catatan : Sampel yang diterima dalam kondisi baik dengan volume 1,2 liter dalam botol air mineral kemasan Baku Mutu Mengacu pada KepMen LH No. 51 Thn 2004 Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut.

Manado 21 April 2014  
Manajer Teknis  
  
Christine N. Kardona, S.Pd  
NIP. 19731225 200312 2 002





**KEMENTERIAN KESEHATAN RI**  
DIREKTORAT JENDERAL  
PENGENDALIAN PENYAKIT DAN PENYEHATAN LINGKUNGAN  
BALAI TEKNIK KESEHATAN LINGKUNGAN DAN PENGENDALIAN PENYAKIT  
KELAS I MANADO

Jl. Adipura Raya, Lingk. X, Kel. Periki Buroah, Kec. Mapanget Manado,  
Telp.: (0431)-818150, (0431)-818148, Fax: (0431)-818148, e-mail: btklmdo@gmail.com, website: btkl-manado.or.id

No. Kode LKLM-IV.5.10.5

**LAPORAN HASIL PENGUJIAN**

No : PS.02.02/XL9/ /2014

**ASLI**

**Pemeriksaan Fisika dan Kimia**

Jenis Sampel : Air Limbah  
Nama Pelanggan : DR.Ir. H Fitri Lihawa M.Si  
Lokasi Pengambilan : Outlet PLTU Molotabu

Pengambil Sampel : Markus L.

Tgl. Pengambilan : 12-04-2014

Tgl. Pengiriman : 14-04-2014

Tgl. Pemeriksaan : 15-04-2014

No. Sampel : 1878 b

PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP  
NOMOR 08 TGL 7 APRIL TAHUN 2009  
TENTANG BAKUMUTU AIR LIMBAH BAGI USAHA DAN /ATAU KEGIATAN  
PEMBANGKIT TENAGA THERMAL

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Metode Pengujian	Limit Detection
<b>A. FISIKA</b>						
1	Ph	-	6-9	7,1	SNI.05-6989.11-2004	
2	TSS	mg/L	200	24	SNI.06.6989.3-2004	
3	Besi (Fe)	mg/l	5	<LD	SNI.06.6989.4-2002	
4	Suhu	°C	Suhu Udara	30,2	SNI.06.6989.23-2005	0,0174
5	Mangan (Mn)	mg/l	2	<LD	SNI.06.6989.5-2009	0,0306

Saat pengambilan sampel mesin Off

Hasil Analisa Sesuai Sampel Yang Kerti Terima

Catatan : Sampel yang diterima dalam kondisi baik dengan volume 1,5 liter dalam botol air mineral kemasan

Manado, 21 April 2014

Manager Teknis

*Christinne N. Kandam S.Pd*

Christinne N. Kandam S.Pd  
NIP. 19731226 200312 2 002



**KEMENTERIAN KESEHATAN RI**  
DIREKTORAT JENDERAL  
PENGENDALIAN PENYAKIT DAN PENYEHATAN LINGKUNGAN  
BALAI TEKNIK KESEHATAN LINGKUNGAN DAN PENGENDALIAN PENYAKIT  
KELAS I MANADO

Jl. Adiguna Raya, Lingk. X. Kel. Pantei Barua, Kec. Mapanget Manado,  
Telp.: (0431)-818150, (0431)-818148, Fax: (0431)-818148, e-mail: btkmdo@gmail.com, website: btkl-manado.or.id

No. Kode LKLM-IV.5.10.5

**LAPORAN HASIL PENGUJIAN**

No : PS.02.02/XI.9/ 2014

**ASLI**

**Pemeriksaan Fisika dan Kimia**

Jenis Sampel : Air Laut  
Nama Pelanggan : DR.Ir. H Fitri Liliwa M.Si  
Lokasi Pengambilan : Islet PLTU Molotabu

Pengambil Sampel : Markus L.

Tgl. Pengambilan : 12-04-2014  
Tgl. Pemeriksaan : 14-04-2014  
Tgl. Pemeriksaan : 15-04-2014

No. Sampel : 1877

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu	Hasil Analisa	Limit Detection
<b>A. FISIKA</b>					
1	Kebasaan	-	Tidak Berbau	Tidak Berbau	
2	TSS	mg/L	80	2,87	
3	Suhu	°C	Alami	29,6	
4	Kekeruhan	NTU	5	2,8	
<b>B. KIMIA</b>					
1	pH	-	6,5-8,5	7,94	
2	Salinitas	‰	Alami	13	
3	Oksigen Terlarut	mg/l	>5	7,87	
4	BOD5	mg/L	20	3,2	
5	Sulfida (H <sub>2</sub> S)	mg/L	0,01	0,07	
6	Nitrat (NO <sub>3</sub> -N)	mg/L	0,008	0,003	
7	Surfaktan (Deterjen)	mg/l	1	0,5	
8	Hidro Carbon(HC)	mg/l	1	0,01	
9	Raksa(Hg)	mg/l	0,001	<LD	0,0007
10	Amonia Total(NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	0,3	0,3	
11	Kadmium (Ca)	mg/L	0,001	<LD	0,0039
12	Tembaga (Cu)	mg/L	0,008	<LD	0,0080
13	Timbal (Pb)	mg/L	0,008	<LD	0,0076
14.	Seng (Zn)	mg/L	0,05	<LD	0,0072

Catatan : Sampel yang diterima dalam kondisi baik dengan volume 1,2 liter dalam botol air mineral keemasan Baku Mutu Mengacu pada KepMen LH No. 51 Thn 2004 Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut.

Manado  
21 April 2014  
Christiane N. Kaidouw S.Pd  
NIP. 19731206 200311 2 002