

## KAJIAN SEBARAN PANAS PADA OUTLET PLTU BOLOK KUPANG

Remigildus Cornelis \*)

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui rambatan panas akibat temperatur air yang keluar dari out let PLTU Batu bara Bolok masih sangat tinggi dibanding suhu air disekitarnya. Hal ini dapat mengganggu kondisi lingkungan disekitarnya sehingga diperlukan usaha untuk mengetahui bagaimana rambatan panas dan sejauh mana pengaruhnya.

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode experimental dan kajian analisis finite element menggunakan program SMS versi 8.1. Data suhu pada daerah air laut diasumsikan sedangkan data suhu air laut eksisting disekitarnya didapat dengan melakukan pengukuran langsung dilapangan dan berdasarkan data sekunder disamping itu. Berdasarkan data – data tersebut selanjutnya dilakukan simulasi dengan program SMS versi 8.1

Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan hasil simulasi pola arus menunjukkan bahwa kecepatan sebaran temperatur mengikuti kecepatan arus air yaitu maksimum 0.238 m/det sehingga kecepatannya adalah 500 m per 30 menit. Suhu pada daerah outlet PLTU dengan debit 3000 liter/det meningkatkan suhu eksisting hingga 2<sup>0</sup>C dalam radius 100 m. Perbedaan suhu akan semakin menurun seiring bertambahnya radius jangkauan dengan rata-rata 30% setiap jarak 100 m dengan waktu rambatan saat arus puncak 6 jam. Kondisi ini akan berbalik apabila letak pipa outlet dan inlet cukup berdekatan.

### PENDAHULUAN

Dalam rangka menjamin kesinambungan ketersediaan tenaga listrik bagi masyarakat Kota Kupang dan sekitarnya serta mendukung kegiatan pembangunan di daerah, PT. PLN (Persero) wilayah NTT sedang membangun PLTU Batubara Bolok berkapasitas 2 x 15 MW yang lokasinya terletak di KIB, Kecamatan Kupang Barat, Kabupaten Kupang dan di rencanakan mulai beroperasi pada tahun 2012 mendatang.

Sebagai upaya lanjut pengelolaan lingkungan, maka perlu diadakan kajian mengenai penyebaran panas dari limbah termal outlet PLTU Bolok dan dampaknya terhadap lingkungan perairan sekitarnya untuk membantu meningkatkan mutu pengelolaan dan pengawasan dampak lingkungan dimasa mendatang.

#### **Tujuan, Manfaat Kajian dan Teknik Analisa Data**

Tujuan dari kegiatan pengkajian ini adalah mengkaji sebaran panas air outlet PLTU Bolok di perairan Bolok. Manfaat kajian ini adalah memberi informasi bagi instansi terkait tentang karakteristik penyebaran temperatur air outlet sehingga memudahkan pembinaan pelaksanaan pengelolaan lingkungan.

Untuk mendapatkan data yang akurat dan komprehensif sebagai masukan dalam kajian ini, digunakan beberapa pendekatan, antara lain Observasi melalui pengamatan

\*) Dosen Teknik Sipil FST Undana

langsung di lokasi untuk mengetahui kondisi lingkungan fisik maupun teknis lokasi, Pengukuran melalui pemetaan dengan GPS dan pengukuran dengan alat duga hand load serta dokumentasi melalui pengumpulan data pendukung, peta navigasi, peta geografi dan data lain sebagai penunjang. Mendokumentasikan setiap momen penting yang terjadi di setiap calon lokasi sebagai rujukan kajian karakteristik penyebaran temperatur air outlet PLTU Bolok. Karakteristik penyebaran suhu air outlet PLTU Bolok diketahui lewat simulasi model numerik menggunakan program SMS versi 8.1 menggunakan data -data antara

### **Deskripsi Perairan Bolok**

Perairan Bolok berada di Desa Bolok, Kecamatan Kupang Barat, Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Kondisi perairan Bolok relatif tenang karena terlindung dari pulau-pulau sekitar seperti Pulau Semau dan Pulau Kambing sehingga cukup potensial menjadi lokasi budidaya sedangkan pantai Bolok memiliki topografi landai tipe substrat pantai karang dan dasar perairan didominasi oleh pasir putih butiran halus ditambah dengan patahan karang dan lamun.



### **2.3 Kondisi Fisik Perairan Bolok**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian kondisi fisik perairan adalah : GPS, Termometer, Termokopel, Current Meter, Pengukur Kecepatan Angin, Kompas, Perahu, Kamera Digital, Hand Load, Alat Bantu Ukur

Hasil pengukuran parameter fisik air laut menunjukkan bahwa pada kedalaman 2m – 7m, suhu air berkisar 26°C - 28°C

## 2.4 Data Klimatologi

### a. Temperatur

Berdasarkan data rata-rata suhu di Kota Kupang dari tahun 1995-2004 diketahui bahwa bulan oktober, November dan Desember merupakan bulan rerata temperatur udara tertinggi sedangkan bulan Juli temperatur udara terendah.

Untuk menentukan suhu air laut pada perairan laut maka selain data sekunder yang diambil dari instansi klimatologi, maka dilakukan observasi pengukuran dilapangan pada beberapa titik dan diperoleh data seperti table berikut :

Tabel 2.4 Data Rata - Rata Suhu Air di Lokasi Studi

Titik Sample	Kedalaman	Temperatur	Kecepatan Arus
1,2,3	0	27.70	
	1	27.60	
	2	27.60	0.0485 m/det
	3	27.50	
	4	27.40	0.1 m/det
	5	27.20	
	6	26.00	
	7	26.5	0.238 m/det

Terlihat bahwa suhu air laut berkisar antara 26 hingga 28 C<sup>o</sup>.

### b. Kecepatan dan Arah Angin

Berdasarkan data sekunder , kecepatan dan arah angin terbesar terjadi pada tahun 2003 bulan Oktober (35 knots) dengan arah angin ke selatan (S), sedangkan pada tahun 2004 kecepatan angin terbesar terjadi pada bulan Maret (35 knots) dengan arah angin ke Tenang Barat Laut (T/BL). Kecepatan dan arah angin dari tahun 2002-2004 terendah terjadi pada bulan Januari (14 knost) dengan arah angin ke T/BL dan T/B/BL.

### c. Pasang Surut

Pasang surut merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi rambatan panas di perairan laut. Pasang surut terbesar dipengaruhi oleh rambatan pasang surut

Samudera Hindia di sebelah selatan dan Laut Banda di Sebelah Utara. Di sekitar lokasi studi jenis pasang surut adalah tipe campuran yang didominasi oleh pasut ganda dan keadaan ini hampir berlaku pada semua wilayah Nusa Tenggara Timur (Disidros AL, Departemen Perhubungan, 2002) dimana bila suatu perairan mengalami satu kali pasang dan satu kali surut dalam satu hari disebut tipe pasut (pasang surut) tunggal, dan jika dalam sehari terjadi 2 kali pasang dan 2 kali surut di sebut tipe ganda (diurnal). Sedangkan tipe campuran, yaitu peralihan tipe tunggal ke ganda.

#### **d. Arus Laut**

Kondisi saat terjadi pasang, arah arus menuju ke bagian utara sedangkan pada saat surut arah arus menuju ke bagian Selatan. Arah arus perairan di sekitar lokasi PLTU dipengaruhi oleh pasang surut (pasut) Samudra Hindia (Departemen Perhubungan, 2002).

Kecepatan arus maximum pada saat pasang purnama yang dibangkitkan oleh pasut adalah sebesar 0,83-1,03 m/detik dengan arah Selatan. Pada saat pasang perbani, kecepatan arus pasut berkisar antara 0,52-0,90 m/detik dengan arah arus ke bagian Selatan hingga Barat Daya lebih kecil dibandingkan saat bulan purnama.

#### **e. Tinggi Gelombang**

Di Selat Semau, gelombang kuat sering terjadi pada musim barat dan musim timur. Gelombang merambat masuk ke perairan selat semau yang senantiasa mengalami hambatan karena adanya pulau semau. Nilai kisaran tinggi gelombang pasang dari bulan Januari sampai bulan Desember 2006 berkisar antara 1,5-2,2 m sedangkan pada saat surut berkisar antara 0,3-0,4 m. Nilai kisaran tinggi gelombang pada bulan Januari sampai bulan Oktober 2007 berkisar antara 1,7-2,2 m sedangkan pada saat surut berkisar antara 0,3-0,4 m. Gelombang pasang tertinggi pada tahun 2006 terjadi pada bulan April (2,2 m) dan terendah pada bulan Nopember (1,5 m) sedangkan gelombang surut tertinggi 0,4 m berlangsung selama 7 (tujuh) bulan dan terendah 0,3 m selama 5 bulan.

Gelombang pasang tertinggi pada tahun 2007 terjadi pada bulan April dan Oktober (2,2 m) dan terendah pada bulan Agustus dan September (1,7 m) sedangkan

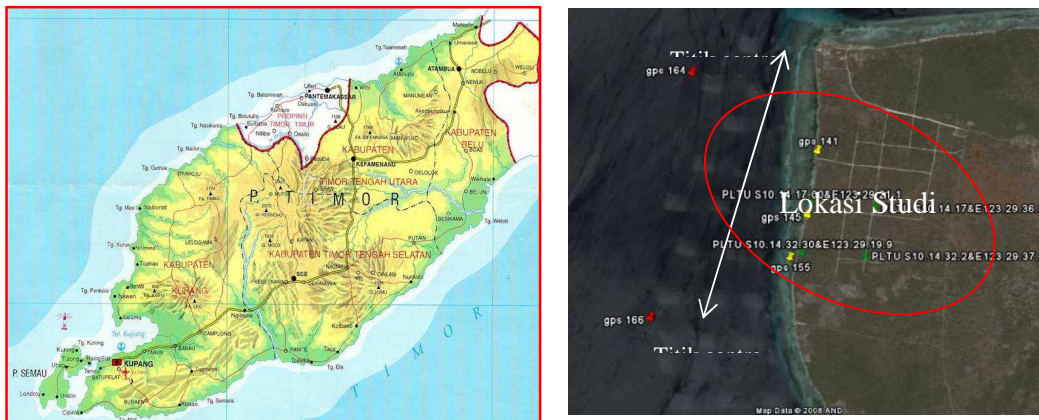
gelombang surut tertinggi 0,4 m berlangsung selama 7 (tujuh) bulan dan terendah 0,3 m selama 3 bulan

#### f. Kondisi Bathimetri Perairan Bolok

Selat Semau yang menghubungkan Teluk Kupang dengan Selat Rote tergolong cukup dalam dengan lebar 1,4 km di bagian Utara dan 4,4 km di bagian Tengah serta panjang 12 km. Kedalaman laut berkisar antara 64 - 147 m sedangkan dibagian pantai antara 31 - 93 m. Semakin ke Selatan semakin dalam dan mencapai 150 - 200 m. Di samping itu, lebar antara Tanjung Lalendo (Kawasan Industri Bolok) dengan Tanjung Kabata (Pulau Semau)  $\pm$  4 km.

#### 3.1 Deskripsi Lokasi Outlet PLTU Bolok

Lokasi kajian karakteristik penyebaran panas air outlet PLTU Bolok terletak di perairan bolok dengan koordinat geografisnya adalah  $10^{\circ}14'32.14''$  S dan  $123^{\circ}29'08.37''$ E. Berjarak lebih kurang 200 m dari pantai dengan kondisi bathimetri dasar perairan relatif landai dan kondisi perairan adalah relatif tenang. Seperti terlihat pada gambar 1 berikut :



Gambar 3.1. Lokasi kajian penyebaran panas air outlet PLTU Bolok.

#### 3.2 Pendekatan Masalah dan Metodologi

Pemahaman terhadap karakteristik hidrolika lokasi perairan terutama pada lokasi outlet PLTU dalam kajian ini dilakukan dengan melakukan simulasi model elemen hingga. Model elemen hingga tersebut setelah diperiksa dan di sesuaikan dengan kondisi lapangan atau dikalibrasi dengan kondisi eksisting, dipakai untuk analisis pola

arus dan pola penyebaran panas, baik pada kondisi eksisting maupun setelah pengembangan.

a. Interaksi pola arus dan temperatur

Langkah pertama adalah memahami pola arus disekitar daerah studi yang terletak diantara outlet PLTU Bolok dan daerah budidaya mutiara milik PT. TOM. Pola arus terutama dipengaruhi oleh pasang surut dan angin serta bentuk geografis daerah pantai lokasi studi. Selanjutnya adalah pemahaman pola distribusi temperatur dan sedimen yang salah satunya didasari oleh pemahaman tentang pola arus didaerah studi.

b. Sebaran temperatur

Distribusi temperatur dipengaruhi oleh mekanisme pengaliran medium (dalam hal ini air), mekanisme dispersi dan mekanisme transfer panas (pertukaran panas terutama ke udara). Mekanisme pengaliran panas ditentukan oleh kecepatan aliran yang membawanya. Dalam pendekatan dua dimensi, parameter aliran adalah kecepatan horisontal rata-rata (*depth averaged*). Mekanisme dispersi atau difusi diakibatkan oleh adanya turbulensi aliran dan distribusi vertikal yang tidak seragam. Parameter dari mekanisme ini yang dinyatakan dalam koefisien dispersi dapat didekati dari parameter yang paling berpengaruh pada turbulensi dan distribusi vertikal kecepatan. Dalam hal ini parameter tersebut adalah tegangan geser dasar. Parameter ini merupakan fungsi kedalaman, kecepatan dan kekasaran dasar aliran sedangkan mekanisme transfer panas dianalogikan sebagai *sink* dalam mekanisme transpor polutan.

### 3.3 Formulasi Matematis

a. Hidrodinamika

Persamaan dasar aliran asumsi yang digunakan dalam kajian ini merupakan persamaan aliran 2 dimensi pada rerata kedalaman (*depth average*) untuk kondisi aliran sub kritis. Kondisi aliran diasumsikan terjadi pada sungai sangat lebar sehingga variasi kecepatan terhadap kedalaman relatif kecil sehingga percepatan gravitasi lebih dominan dibandingkan dengan percepatan aliran vertikal. Dengan demikian persamaan dasar aliran dapat didekati dengan persamaan aliran dangkal (*shallow water equation*).

Komponen kecepatan rata-rata kedalaman dalam koordinat horizontal x dan y didefinisikan sebagai berikut :

$$U = \frac{1}{H} \int_{Z_b}^{Z_b+H} u \, dz \dots\dots\dots(1)$$

$$V = \frac{1}{H} \int_{Z_b}^{Z_b+H} v \, dz \dots\dots\dots(2)$$

Dengan H = kedalaman air, Zb = elevasi dasar sungai, Zb + H = elevasi muka air;

U = kecepatan horizontal arah x dan V = kecepatan horizontal arah y;

Persamaan kontinuitas untuk aliran 2 dimensi rata-rata kedalaman (*averaged continuity equation*) dapat dituliskan sebagai :

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(HU) + \frac{\partial}{\partial y}(HV) = 0 \dots\dots\dots(3)$$

Persamaan momentum apada arah sumbu x dan y unuk aliran dua dimensi rata-rata kedalaman sebagai:

$$\frac{\partial}{\partial t}(HU) + \frac{\partial}{\partial x}(\beta_{xx}HUU) + \frac{\partial}{\partial y}(\beta_{xy}HUV) + gH\frac{\partial Z_b}{\partial x} + \frac{1}{2}g\frac{\partial H^2}{\partial x} + \frac{1}{\rho}\left[\tau_{bx} - \tau_{sx} - \frac{\partial}{\partial x}(H\tau_{xx}) - \frac{\partial}{\partial y}(H\tau_{xy})\right] = 0 \dots\dots\dots(4)$$

Untuk aliran arah sumbu x,dan

$$\frac{\partial}{\partial t}(HV) + \frac{\partial}{\partial x}(\beta_{xy}HUV) + \frac{\partial}{\partial y}(\beta_{yy}HVV) + gH\frac{\partial Z_b}{\partial y} + \frac{1}{2}g\frac{\partial H^2}{\partial y} + \frac{1}{\rho}\left[\tau_{by} - \tau_{sy} - \frac{\partial}{\partial x}(H\tau_{yx}) - \frac{\partial}{\partial y}(H\tau_{yy})\right] = 0 \dots\dots\dots(5)$$

Untuk aliran pada sumbu y

Dengan :  $\beta_{xx}, \beta_{xy}, \beta_{yx}$  dan  $\beta_{yy}$  adalah koefisien koreksi momentum; g adalah percepatan gravitasi;  $\rho$  adalah rapat massa air;  $\tau_{bx}$  dan  $\tau_{by}$  adalah geser dasar;  $\tau_{sx}$  dan  $\tau_{sy}$  adalah tegangan geser permukaan; dan  $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yx}$  dan  $\tau_{yy}$  adalah tegangan geser akibat tubulensi (misalnya  $\tau_{xy}$  adalah tegangan geser kearah sumbu x yang bekerja pada bidang tegak lurus kearah sumbu y)

Komponen tegangan geser pada dasar dalam arah sumbu x dan y dihitung sebagai berikut :

$$\tau_{bx} = \rho c_f U \sqrt{U^2 + V^2} \left[ 1 + \left( \frac{\partial z_b}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial z_b}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (6)$$

$$\tau_{by} = \rho c_f V \sqrt{U^2 + V^2} \left[ 1 + \left( \frac{\partial z_b}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial z_b}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (7)$$

Dengan  $c_f$  adalah koefisien geser dasar yang dapat hitung sebagai :

$$c_f = \frac{g}{c^2} = \frac{gn^2}{\lambda^2 H^{1/3}} \dots\dots\dots (8)$$

Dengan  $c$  = koefisien chezy;  $n$  = koefisien kekasaran manning; dan  $\lambda = 1.486$  bila menggunakan satuan Inggris dan 1.0, bila menggunakan satuan Internasional (SI).

Tegangan geser tubulen rata-rata kedalaman dihitung menggunakan konsep eddy viskositas dari Boussinesq, yakni :

$$\tau_{xx} = \rho \nu_{xx} \left( \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial U}{\partial x} \right) \dots\dots\dots (9)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \rho \nu_{xy} \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial U}{\partial x} \right) \dots\dots\dots (10)$$

$$\tau_{yy} = \rho \nu_{yy} \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial U}{\partial y} \right) \dots\dots\dots (11)$$

Untuk penyederhanaan perhitungan nilai eddy viskositas kinematik rata-rata kedalaman dianggap isotropik (diasumsikan bahwa nilai  $\nu_{xx}, \nu_{xy}, \nu_{yx} = \nu_{yy}$ ), dan eddy viskosits isotropik dinotasikan dengan  $\nu$  yang nilainya ( $0.3 \pm 0.6$  UH).

**b. Angkutan air panas**

Distribusi angkutan dua dimensi dikontrol oleh mekanisme konveksidifusi yang di formulasikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{\partial hC}{\partial t} + U \frac{\partial hC}{\partial x} + v \frac{\partial hC}{\partial y} &= -S \\ + \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x h \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y h \frac{\partial C}{\partial y} \right) + khC &= 0 \end{aligned} \dots\dots\dots (12)$$



Dengan :  $H$  adalah kedalaman air;  $U, V$  adalah kecepatan arah horizontal arah  $x$  dan  $y$ ;  $C$  adalah konsentrasi polutan  $D_x, D_y$  adalah koefisien difusi turbulen arah  $x$  dan  $y$ ;  $s$  adalah local source atau sink polutan,  $k$  adalah laju pertambahan polutan

### **3.4. Model Numeris dan aplikasinya**

Model matematik yang digunakan untuk kajian hidrolika adalah RMA2 (Resource Management Associates) dari waterways Experiment Station, RMA2 merupakan program aliran dua dimensi rerata kedalaman, permukaan aliran bebas (free surface) dan menggunakan metode elemen hingga dalam menyelesaikan masalah hidrodinamik. RMA2 dapat digunakan untuk menghitung elevasi permukaan air, dan kecepatan aliran pada masalah aliran air dangkal (shallow water flow problems). RMA2 pertama kali dikembangkan oleh Norton, dkk (1973) di Resource management associater, Inc. of Davis California, kemudian dimodifikasi oleh sejumlah peneliti dari waterways experiment Station (Thomas dan Mc Anally, 1991).

Model matematik yang digunakan untuk kajian model penyebaran angkutan polutan yang merupakan angkutan air panas adalah RMA4 (Resource Management Associates) dari Waterways Experiment Station. RMA4 merupakan model angkutan polutan yang merupakan salah satu modul SMS. Hasil solusi dinamik dari RMA2 digunakan untuk mendefinisikan medan kecepatan aliran sebagai input bagi model RMA4.

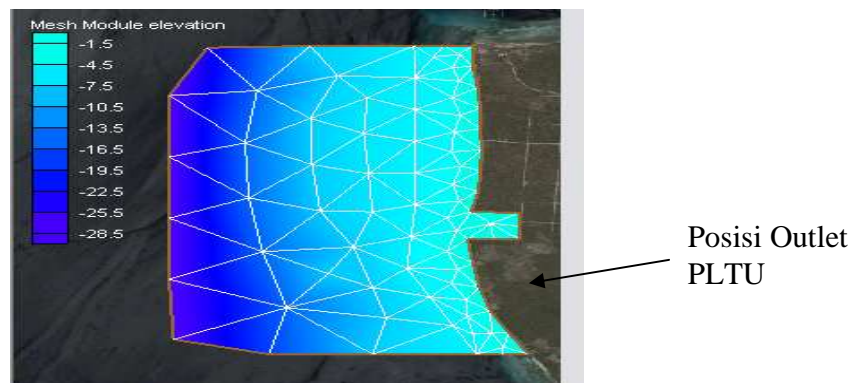
Aplikasi model numerik dengan metode elemen hingga untuk model dua dimensi aliran permukaan dan sebaran temperatur memungkinkan dilakukannya pemilihan daerah hitung menjadi elemen-elemen yang terdistribusi dengan pola yang luwes. Oleh karena itu, pemilihan daerah hitung yang lebih rinci dapat dikonsentrasikan di daerah yang dikehendaki. Dengan demikian perkiraan pola aliran dan penyebaran panas di daerah tersebut dapat dilakukan secara lebih rinci tanpa memakan waktu dan memori yang terlalu banyak.

Untuk keperluan simulasi dan analisis model, terlebih dahulu dibuat jaring elemen (mesh) daerah studi. Jaring elemen yang dibuat terdiri dari jaring elemen eksisting, alternatif A dan alternatif B. Simulasi dan analisis model meliputi pola arus, pola penyebaran air panas dari outlet PLTU Bolok . Alternatif A untuk kondisi pasang

dimanan arah arus menuju Utara, alternatif B saat kondisi surut dimana arah arus menuju Selatan. Karena lokasi outlet PLTU relatif tertutup maka pengaruh kecepatan angin relatif tidak mempengaruhi tinggi gelombang disekitar lokasi PLTU Bolok.

### 3.5. Diskretisasi, Kondisi awal, kondisi batas dan kalibrasi

Daerah studi dibagi dalam elemen-elemen dengan ukuran bervariasi sesuai kemungkinan variasi parameter aliran dilokasi daerah studi. Daerah yang memungkinkan adanya perubahan atau variasi parameter dalam ruang, misalnya perbedaan kecepatan tiap jarak tertentu yang besar memerlukan elemen-elemen yang lebih kecil. Sebaliknya daerah yang luas dengan kedalaman seragam barangkali cukup digunakan elemen-elemen yang besar saja sehingga mengurangi beban kerja hitungan.



Gambar.3. Diskritisasi daerah kajian penyebaran panas

Kondisi awal untuk semua simulasi dengan teknik cold star. Walaupun keadaannya tidak realistis untuk simulasi arus, setelah running siklus pasang surut, hasil simulasi hanya dipengaruhi oleh kondisi batas beberapa sebelumnya (kondisi awal sudah tidak berpengaruh). Untuk simulasi sebaran temperatur diperlukan running beberapa siklus pasang surut sampai diperoleh keseimbangan antara supply dengan sink. Sehingga diperoleh sebaran cyclic yang permanen.

Kondisi batas berupa batas terbuka yang berhubungan dengan laut lepas batas garis pantai. Pada batas laut lepas muka air turun naik sesuai dengan gerakan air pasang surut. Pada batas garis pantai secara otomatis simulasi akan menganggap sebagai dinding sehingga aliran sejajar garis pantai. Untuk memprediksi pola arus dipermukaan Tanjung Lelendo, Bolok, digunakan data pasang surut di tanjung di Tenau Kupang dari data Angkatan Laut. Berdasarkan konstanta pasang surut yang telah dianalisis. Kondisi

batas angin digunakan angin dominan di tanjung Lelendo untuk musim barat dan musim timur.

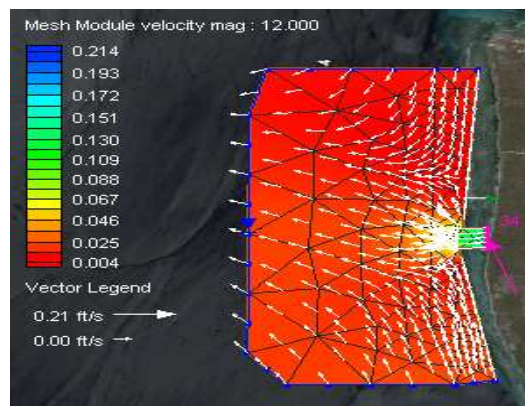
Kalibrasi untuk simulasi arus mengacu pada laporan HIDROS Angkatan Laut dan kalibrasi untuk simulasi penyebaran temperatur mengacu pada kondisi eksisting.

### 3.6. Hasil simulasi alternatif A

Hasil simulasi pola arus dan sebaran temperatur pada layout alternatif A untuk kondisi pasang dengan arah arus dominan menuju Utara ditunjukkan pada gambar 4 .

#### a. Hasil simulasi pola arus

Simulasi pola arus menunjukkan bahwa saat pasang walaupun terdapat suplai air outlet sebesar 3000 liter/det tegak lurus pantai, namun terlihat bahwa trend arah arus pada perairan bolok masih mengikuti arah dominan arus yaitu bergerak dari arah Selatan menuju Utara, mulai dari laut sabu menuju pelabuhan tenau. Karena lokasi Outlet relatif terhalang sehingga arus akan bergerak menjauh menuju tanjung lelendo disebelah utara Perairan Bolok. Kondisi ini menyebabkan daerah-daerah yang berjarak  $> 300$  m akan mendapat pengaruh arus yang lebih besar dari pada daerah daerah yang berjarak  $< 300$  m dari bibir pantai.

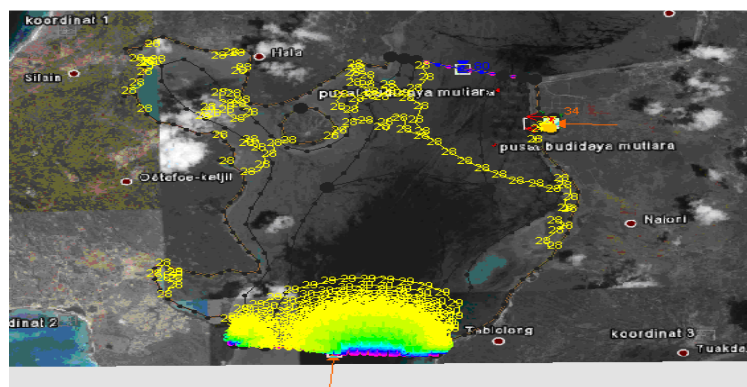


Gambar 4. Simulasi Arah Arus Menuju Utara Saat Pasang

#### b. Hasil simulasi sebaran temperatur

Untuk simulasi sebaran temperatur (gambar 2.5 dan 2.6 ), hasil simulasi yang disajikan berupa pola sebaran peningkatan temperatur air terhadap temperature ambience. Untuk kondisi dengan arah arus saat pasang dengan arah dominan menuju Utara, areal yang berjarak  $> 300$  m dari garis pantai, proses pertukaran panas dan

kesetimbangan suhu perairan akan terpengaruh oleh arah aliran arus dan kecepatan arus sedangkan daerah - daerah yang berjarak < 300 m akan mengalami dampak perlambatan penurunan suhu. Dari gambar 3.6 terlihat bahwa pertambahan suhu air akibat aliran outlet PLTU relatif sangat kecil. Setelah 6 jam ternyata pertambahan suhu yang signifikan hanya berada areal dengan radius 100 m dari titik outlet dengan kenaikan <math>1^0\text{ C}</math>. Setelah 6 jam. Pergerakan rambatan suhu umumnya mengikuti arah pergerakan arus. Radius pengaruh kenaikan suhu hanya berada pada maksimum radius 500 m.



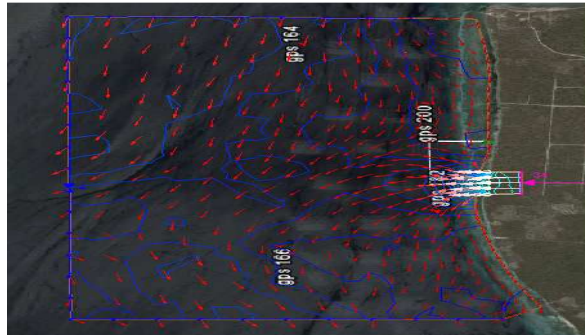
Gambar 5. Simulasi Trend Penyebaran Temperatur di Outlet PLTU alternatif A

### 3.7. Hasil simulasi alternatif B

Hasil simulasi pola arus dan sebaran temperatur pada layout alternatif B untuk kondisi surut dengan arah arus dominan menuju Selatan ditunjukkan pada gambar 3.6 .

#### a. Hasil simulasi pola arus

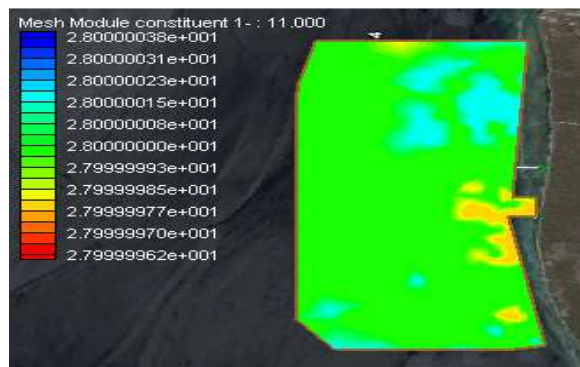
Simulasi pola arus menunjukkan bahwa saat surut akibat suplai air outlet sebesar 3000 liter/det tegak lurus pantai, hal ini akan membantu mempercepat pergerakan air masuk ke alur utama pergerakan yang berjarak cukup jauh mengikuti arah dominan arus yaitu bergerak dari arah Utara menuju Selatan, memasuki perairan terbuka. Kondisi ini menyebabkan daerah-daerah yang berjarak <math>300\text{ m}</math> akan tersedot dan cepat tergantikan oleh air dari arah Utara.



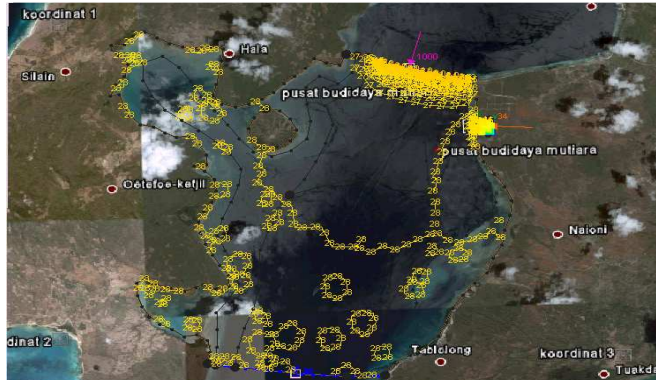
Gambar 6. Simulasi Pola Arus saat Pasang Menuju Selatan

b. Hasil simulasi sebaran temperatur

Hasil simulasi yang disajikan berupa pola sebaran peningkatan temperatur air terhadap temperature ambience. Untuk kondisi dengan arah arus saat surut dengan arah dominan menuju Selatan, areal yang berjarak < 300 m dari garis pantai akan tersedot bercampur dengan air dari Utara. Akibat suplai air dari PLTU sebesar 3000 liter/det dengan arah tegak lurus bibir pantai menyebabkan air disekitar pantai akan terdorong menuju Selatan sehingga terjadi proses pertukaran panas dan kesetimbangan suhu yang lebih cepat namun yang mengkhawatirkan adalah daerah yang berjarak > 300 m akan terkena dampak peningkatan suhu sekitar  $1^{\circ}\text{C}$  tergantung besar laju arus menuju Selatan terutama areal yang berada disebelah Selatan Outlet. Namun dari hasil simulasi terlihat bahwa setelah 6 jam ternyata pertambahan suhu yang signifikan hanya berada areal dengan radius 300 m dari titik outlet dengan kenaikan <  $1^{\circ}\text{C}$ . namun akan cepat tercapai kesetimbangan karena volume air dari arah Utara yang besar. Model sebaran arus dapat dilihat pada gambar 7 dan gambar 8 berikut :



Gambar 7. Detail Simulasi Trend Penyebaran Temperatur di Outlet



Gambar 8. Simulasi Trend Penyebaran Temperatur di Outlet PLTU alternatif B

### 3.8 Kajian Sebaran Temperatur

Perubahan temperatur sebagai fungsi waktu untuk berbagai alternatif layout pengembangan diamati dengan titik tinjau (gage). Dari pengamatan titik tinjau untuk berbagai alternatif pengembangan, dapat dibandingkan perubahan temperatur dari berbagai alternatif. Untuk setiap alternatif layout, pengamatan perubahan temperature dilakukan pada dua lokasi, yaitu pada mulut Outlet dan pada Intake. Pengamatan tersebut dilakukan untuk mengetahui besarnya pengaruh bentuk/ alternatif layout terhadap peningkatan temperature air didaerah Outlet PLTU. Dari alternatif A dan B terlihat bahwa suhu pada daerah outlet dengan debit 3000 liter/det meningkatkan suhu eksisting hingga  $2^{\circ}\text{C}$  dalam radius 100 m. Perbedaan suhu akan semakin menurun seiring bertambahnya radius jangkauan dengan rata-rata 30% setiap jarak 100 m dengan waktu rambatan saat arus puncak 6 jam.

## PENUTUP

### 5.1 Simpulan

Dari hasil kajian yang dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil simulasi pola arus menunjukkan bahwa saat kondisi pasang walaupun terdapat suplai air outlet PLTU sebesar 3000 liter/det tegak lurus pantai, terlihat bahwa trend arah arus pada perairan bolok mengikuti arah dominan arus yaitu bergerak dari arah Selatan menuju Utara, mulai dari laut sabu menuju pelabuhan tenau menyebabkan daerah-daerah yang berjarak  $> 300$  m akan mendapat pengaruh arus yang lebih besar dari pada daerah daerah yang berjarak  $<$

300 m dari bibir pantai. Pola sebaran temperatur air dan kenaikan suhu air terhadap ambience temperatur perairan Bolok akibat aliran outlet PLTU relatif sangat kecil. Setelah 6 jam, pertambahan suhu yang signifikan hanya berada pada areal dengan radius 100 m dari titik outlet dengan kenaikan  $< 1^{\circ}$  C. Setelah itu, Pergerakan rambatan suhu umumnya mengikuti arah pergerakan arus. Radius pengaruh kenaikan suhu berada pada maksimum radius 500 m. Sedangkan saat surut, pola arus akibat suplai air outlet sebesar 3000 liter/det tegak lurus pantai, hal ini akan membantu mempercepat pergerakan air masuk ke alur utama pergerakan yang berjarak cukup jauh mengikuti arah dominan arus yaitu bergerak dari arah Utara menuju Selatan, memasuki perairan terbuka. Kondisi ini menyebabkan daerah-daerah yang berjarak  $< 300$  m akan tersedot dan cepat tergantikan oleh air dari arah Utara.

2. Kecepatan sebaran temperatur mengikuti kecepatan arus air yaitu maksimum 0.238 m/det sehingga kecepatannya adalah 500 m per 30 menit. Suhu pada daerah outlet PLTU dengan debit 3000 liter/det meningkatkan suhu eksisting hingga  $2^{\circ}$ C dalam radius 100 m. Perbedaan suhu akan semakin menurun seiring bertambahnya radius jangkauan dengan rata-rata 30% setiap jarak 100 m dengan waktu rambatan saat arus puncak 6 jam. Kondisi ini akan berbalik apabila letak pipa outlet dan inlet cukup berdekatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Budiharsono S., 2001. Teknik Analisis Pembangunan Wilayah Pesisir dan Lautan. Pradnya Paramita. Jakarta. 159p.
- Burhannudin, A. Djamali, As. Genisa., 1994. Pengaruh suhu pada komunitas ikan di perairan PLTU Muara Karang, Jakarta. Seminar Pemantauan Pencemaran Laut. Jakarta 7-9 Februari 1994
- Thomas