

**KAJIAN PENYEBARAN PLUME TERMAL OUTLET AIR PENDINGIN  
POWER PLANT PT NEWMONT NUSA TENGGARA  
DI PERAIRAN TELUK BENETE**

**Satriyo Panalaran, Indra Budi Prasetyawan, Siddhi Saputro <sup>\*)</sup>**

Program Studi Oseanografi, Jurusan Ilmu Kelautan  
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. H. Soedharto, SH, Tembalang Semarang. 50275 Telp/Fax (024) 7474698

**Abstrak**

*Panas yang masuk ke badan air dapat melalui interaksi antara atmosfer dan air, ataupun dapat melalui kegiatan yang dilakukan manusia. Panas yang bersumber dari kegiatan manusia disebut juga panas artificial, yang dalam hal ini bersumber dari outlet power plant. Konsentrasi termal di titik sumber (outlet) memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan sekitarnya, sehingga terjadi kondisi dimana konsentrasi thermal menyebar dari sumber ke lingkungan sekitarnya, kondisi itu lah yang diistilahkan sebagai penyebaran plume termal. Proses penyebaran suhu di perairan dapat melalui tiga proses yaitu secara radiasi, adveksi, dan difusi. Proses adveksi berpengaruh besar terhadap proses-proses transport di badan air. Pengambilan data dilakukan di Teluk Benete pada tanggal 1 hingga 15 April 2011. Data primer yang digunakan pada penelitian ini adalah data arus perairan dan data suhu perairan. Sedangkan data sekunder yang digunakan adalah data pasang surut, peta bathimetri, data angin dan cuaca. Hasil penelitian menunjukkan jenis pasang surut di Teluk Benete adalah campuran condong ke harian ganda. Karakteristik arus di Teluk Benete di lapisan dasar cenderung bergerak ke arah barat laut dan tenggara dengan kecepatan 0,6 – 17,4 cm/detik. Arus di lapisan menengah cenderung bergerak ke semua arah dengan kecepatan 0,2 – 14,2 cm/detik. Arus di lapisan permukaan cenderung bererak ke semua arah dengan kecepatan 0,15 – 21,7 cm/detik. Dari pemisahan kecepatan arus ke dalam komponen arus pasut dan arus residu, maka didapatkan bahwa arus di Teluk Benete lebih didominasi oleh arus residu. Hasil pengukuran suhu air di dekat outlet menunjukkan suhu di kolom air berkisar antara 28,0 – 28,8 °C. Sedangkan suhu pada stasiun kontrol suhu berkisar antara 27,7 – 28,9 °C. Hasil simulasi model penyebaran termal menunjukkan bahwa plume termal dari outlet air pendingin power plant tidak memiliki jangkauan yang luas, yaitu ditunjukkan pada jarak 50 meter dari outlet, suhu perairan hanya memiliki rentang kurang dari 0,5 °C. Hal ini menunjukkan bahwa pada jarak ini suhu air telah serupa dengan suhu lingkungan perairan di sekitarnya.*

**Kata kunci:** *plume termal, arus, model transport, Teluk Benete*

**Abstract**

*The heat temperature that enters into the waters through interaction between the atmosphere and water, or can be done through human activities. The heat wich comes from human activities is called artificial heat. In this research derived artificial heat input is enter from the outlet power plant. Thermal concetration at source point (outlet) have higher value than around, so that thermal move from higher concentration (source) to lower concentration (surround), that condition is called plume thermal dispersion. Mechanism of thermal dispersion in the water can be through three processes, such as : radiation, advection, and difusion. Advection is the major effect of transport processes in the waters. The data takes in the Benete Bay on 1st – 15th April 2011. The data retrieval is direct measurement of the primary data and secondary data collection. The primary data was used in this research were current and water temperature of waters. While secondary data was used in this research were tide, bathimetry data, weather, and wind data. The research indicates the type of tide in the Benete Bay was mixed tide prevailling diurnal. The characteristic of current in Benete bay in bottom layer tend to move towards the northwest and southeast with velocity 0,6 – 17,4 cm/s. Current in the middle layer was tend to move in all direction with velocity 0,2 – 14,2 cm/s. Current in the surface layer also tend to move in all direction with velocity 0,15 – 21,7 cm/s. From separation of current velocty to current tide component and residual tide component,*

<sup>\*)</sup> Penulis Penanggung Jawab

*then can be conclude about the current in Benete Bay more dominated by residual tide. Results of measurements of waters temperature near the outlet shows the temperaure in the water column have range from the 28,0 – 28,8 °C. While the temperature at the control station have range between 27,7 – 28,9 °C. The result of thermal dispersion simulation indicate that the plume thermal from the outlet cooling water of power plant did not have a wide range. That is a distance of 50 meters from the outlet, the waters temperature only has less range of 0,5 °C. This suggest that is at a distance of 50 meters from the outlet, the waters temperature was similiar to the temperature of surrounding.*

**Key words:** plume thermal, current, transport model, Teluk Benete

## 1. Pendahuluan

Teluk Benete yang berlokasi di 8°52'49'' - 8°53'59'' LS dan 116°44'2'' - 116°45'7'' BT merupakan lokasi yang memiliki peranan penting bagi aktivitas PTNNT. Di lokasi ini terdapat pelabuhan yang digunakan sebagai pelabuhan transportasi penumpang dan barang. Selain itu, di sekitar lokasi Teluk Benete dibangun sebuah *power plant* yang berfungsi untuk mensuplai kebutuhan listrik di dalam area PTNNT dengan daya sebesar 232 *Megawatt* (AMDAL Proyek PLTU PTNNT, 1997).

*Power plant* memerlukan sistem pendinginan oleh air (*cooling water system*), yang berfungsi untuk mendinginkan mesin melalui kondesor. Air yang telah digunakan sisa pendinginan, kemudian di lepaskan kembali ke lingkungan perairan melalui pipa yang disebut outlet air pendingin. Air yang keluar dari outlet tersebut memiliki suhu lebih tinggi dari lingkungan nya, hal ini lah yang kemudian disebut sebagai *plume* termal. Penyebaran *plume* termal dipengaruhi oleh faktor adveksi dan difusi. Proses transport oleh faktor adveksi cenderung disebabkan oleh adanya arus yang bekerja pada perairan. Sedangkan faktor difusi disebabkan adanya interaksi antar partikel karena adanya gradien konsentrasi (Pickard et.al., 2007). Kondisi arus perairan yang dikaji pada penelitian ini selanjutnya digunakan sebagai bahan kajian mengenai besar pengaruh arus yang menjadi faktor adveksi di dalam proses transport oleh *plume* termal.

Penggunaan pendekatan model matematik dalam suatu penelitian yaitu bertujuan untuk dapat memberikan gambaran sesungguhnya suatu kondisi di lapangan dengan adanya keterbatasan alat, waktu, dan biaya. Pendekatan model matematik dapat menginterpretasikan mengenai kondisi sesungguhnya di lapangan karena model merupakan prototipe atau peniruan dari kondisi sesungguhnya di lapangan dalam ruang dan waktu (Latief, 2002). Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan model matematik dengan menggunakan software Aquasea.

Kajian mengenai penyebaran *plume* termal sangat diperlukan untuk mempelajari hubungan antara penyebaran *plume* termal dengan faktor oseanografis seperti arus laut. Hal tersebut sebanding dengan tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengkaji penyebaran *plume* termal outlet air pendingin power plant di Teluk Benete.

## 2. Materi dan Metode Penelitian

### 2.1. Materi Penelitian

Materi yang digunakan dalam penelitian ini, sebagai data primer antara lain adalah data arus, dan data suhu air laut. Sedangkan yang digunakan sebagai data sekunder terdiri dari peta bathimeri Teluk Benete (dengan skala 1 : 25000), data pasang surut, angin, curah hujan, intensitas radiasi matahari. Data-data sekunder tersebut diperoleh dari pencatatan oleh Divisi Marine Monitoring, Environmental Department, PT Newmont Nusa Tenggara. Ada pula sebagai data sekunder yaitu hasil model pasang surut Teluk Benete menggunakan Software Naotide yang digunakan sebagai inputan pasang surut dalam model matematik pada Software Aquasea.

### 2.2. Metode Penelitian, Pengolahan dan Analisis Data

#### Metode Penentuan Lokasi Sampling

Penentuan titik pengukuran menggunakan metode *area sampling*. *Area sampling method* atau disebut juga metode sampling daerah digunakan untuk menentukan titik pengambilan *sample* apabila daerah yang diteliti sangat luas. Pengambilan data dilakukan di Perairan Teluk Benete, dengan tiga stasiun pengukuran, antara lain stasiun TG 2, stasiun TB 2, dan stasiun TB 1. Stasiun TG 2 yaitu stasiun pengukuran pasang surut,

stasiun TB 2 yaitu stasiun pengukuran variasi suhu perairan dan stasiun pengukuran arus, sedangkan stasiun TB 1 digunakan sebagai titik kontrol variasi suhu perairan.

Penempatan ADCP pada stasiun TB 2 dengan alasan stasiun TB 2 terletak di tengah Teluk Benete sehingga diasumsikan dapat menginterpretasikan pola arus secara umum di Teluk Benete tanpa dipengaruhi gelombang di daerah pantai yang mampu membangkitkan arus sejajar pantai. Sebagai pertimbangan dalam pengukuran suhu perairan, pengukuran dilakukan pada 3 titik, yaitu pada outlet air pendingin *power plant* sebagai *source*, pada jarak 50 meter dari outlet (sebagai tempat yang dianggap masih mendapatkan pengaruh dari outlet), dan pada titik yang diduga tidak terpengaruh penyebaran *plume* termal outlet air pendingin *power plant* (sebagai titik kontrol) yaitu pada mulut teluk.

#### **Pengukuran Pasang Surut**

Pengukuran pasang surut pada penelitian ini menggunakan automatic tide gauge yang ditempatkan pada koordinat  $8^{\circ}53'50,76''$  LS dan  $116^{\circ}44'40,71''$  BT; dan disebut stasiun TG2. Pengukuran pasang surut pada penelitian ini dilakukan selama 15 hari untuk mendapatkan nilai elevasi muka air pada kondisi *spring tide* dan *neap tide*. Data tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung komponen-komponen pasut (M2, S2, K2, N2, K1, O1, P1, M4, dan MS4) menggunakan metode admiralty. Nilai dari komponen-komponen pasut tersebut selanjutnya akan digunakan untuk menghitung muka air laut rata-rata (MSL), muka air laut saat pasang tertinggi (HHWL), dan muka air laut saat surut terendah (LLWL), dan tipe pasang surut perairan.

#### **Pengukuran Arus Laut**

Metode yang digunakan dalam pengukuran data arus yaitu metode euler, dimana dalam pengukuran didapatkan arah dan kecepatan arus. Pengukuran data arus menggunakan ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) type RDI Sentinel 4 beam. Pengukuran arus dilakukan di tengah Teluk Benete, pada stasiun TB 2 dengan titik koordinat  $8^{\circ}53'26,40''$  LS dan  $116^{\circ}44'25,79''$  BT. Pengukuran arus dilakukan dalam beberapa *layer cell* (30 *cell*), dimana tiap *cell* mewakili kolom air sekitar 1 meter. Pengukuran arus pada penelitian ini dilakukan selama 15 hari dengan interval waktu perekaman 1 menit.

Pengolahan data arus dilakukan pada tiga lapisan kedalaman, yaitu lapisan permukaan (0,2D); lapisan menengah (0,5D); dan lapisan dasar (0,8D). Pengolahan data arus ini terdiri dari grafik kecepatan arus vs waktu, current rose, dan pemisahan arus total kedalam komponen arus pasut dan arus residu menggunakan *Software World Current Analysis*. Sebagai verifikasi dengan hasil model dilakukan pemisahan arus pasut ke dalam komponen sumbu x dan y, yang selanjutnya digunakan sebagai pembanding dengan hasil model arus laut.

#### **Pengukuran Suhu Perairan**

Pengukuran suhu perairan secara kontinyu menggunakan alat bernama *Temperatur recorder* dengan jenis *starmon mini*. Alat ini menggunakan termistor sebagai sensor suhu. Alat ini sensitif terhadap perubahan suhu dengan keakuratan hingga  $0,001^{\circ}\text{C}$ . Pengukuran suhu perairan dalam penelitian ini dilakukan selama 15 hari dengan interval waktu perekaman 2 menit. Pengukuran menggunakan *Temperatur recorder* pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis variasi suhu pada kolom air di sekitar outlet air pendingin. Pengukuran suhu perairan dilakukan pada stasiun TB 1 dan TB 2 yang digunakan untuk membandingkan variasi suhu di kolom perairan antara titik yang dekat outlet air pendingin dengan titik yang jauh dari outlet sebagai titik kontrol.

Pemantauan suhu perairan di Teluk Benete sebelumnya telah secara rutin dilakukan oleh Divisi *monitoring* pada *Environmental Department* PTNNT. Pemantauan tersebut dilakukan dengan menempatkan *temperature recorder* pada empat stasiun yaitu HB1, HB2, HB3, dan HB4 (khusus HB4 *temperature recorder* ada pada kedalaman 2 m, 5m, dan 10 m). Pada penelitian ini digunakan data suhu perairan selama tiga tahun, untuk melihat trend suhu perairan di Teluk Benete.

#### **Model Hidrodinamika dan Model Transport Termal**

Pola arus dan pola pasang surut perairan disimulasikan menggunakan *Software Aquasea*, dan selanjutnya hasil dari model hidrodinamika tersebut digunakan sebagai perhitungan kembali dalam model transport termal outlet air pendingin di perairan Teluk Benete.

### **3. Hasil dan Pembahasan**

Penyebaran *plume* termal di perairan tidak bisa terlepas dari kondisi fisis oseanografi (pasut dan arus laut) serta kondisi suhu perairan itu sendiri. Segala bentuk material atau zat yang tertransport di laut selalu dipengaruhi faktor hidrodinamika, begitu pula pada transport termal dimana arus laut berpengaruh terhadap

proses adveksi. Sedangkan suhu perairan umumnya dipengaruhi oleh interaksi antara atmosfer dan air. Pada penelitian ini, pengaruh atmosferik yang diperhitungkan antara lain intensitas radiasi matahari dan curah hujan selama kurun waktu penelitian.

**3.1. Pasang Surut Teluk Benete**

Informasi pasang surut pada penelitian ini dibutuhkan untuk menetapkan waktu terjadinya pasang purnama dan perbani (*spring tide* dan *neap tide*). Informasi tersebut diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai hubungan antara persebaran termal dari outlet power plant terhadap kondisi pasang surut perairan. Berdasarkan perekaman elevasi muka air dari tanggal 1-15 April 2011, didapatkan kondisi pasang purnama terjadi pada tanggal 7 April 2011 sedangkan pasang perbani terjadi pada tanggal 13 April 2011. Analisa pasang surut dengan menggunakan metode admiralty, diperoleh hasil bahwa pada perairan Teluk Benete memiliki nilai :

1. MSL = 1,949 m
2. LLWL = 0,220 m
3. HHWL = 3,677 m
4. Bilangan formzahl = 0,416 (Tipe pasut campuran condong ke harian ganda)

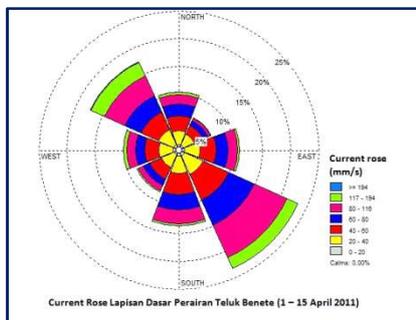
**3.2. Arus Laut Teluk Benete**

Pengukuran arus laut selama waktu penelitian (1-15 April 2011) menunjukkan bahwa :

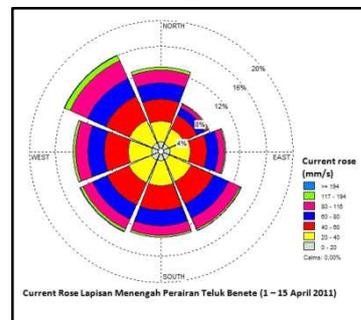
**Tabel 1.** Kecepatan Arus Laut Teluk Benete

Lapisan Kedalaman	Kecepatan Max (cm/detik)	Kecepatan Rata-rata (cm/detik)
Dasar	17,4	6,4
Menengah	14,2	4,97
Permukaan	21,7	5,8

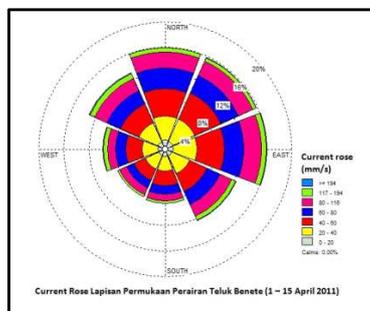
Dominansi arah dan kecepatan arus laut ditunjukkan melalui current rose sebagai berikut:



**Gambar 1.** Current Rose lapisan Dasar (sumber : Pengolahan data 2012)



**Gambar 2.** Current Rose Lapisan Menengah (sumber : Pengolahan data 2012)



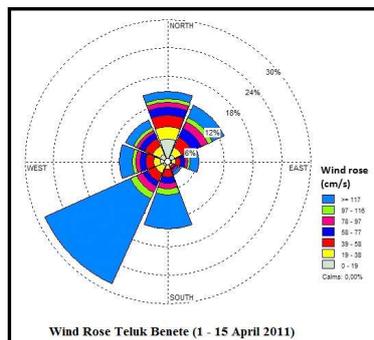
**Gambar 3.** Current Rose Lapisan Permukaan ((sumber : Pengolahan data 2012)

Current rose menunjukkan bahwa di lapisan dasar arus laut lebih dominan ke arah tenggara dan barat laut. Pada lapisan menengah, arus cenderung bergerak ke semua arah dalam besar dan prosentase kejadian yang relatif sama, terutama untuk arus yang bergerak ke arah utara, tenggara, selatan, barat daya, dan barat. Prosentase kejadian arus relatif kecil pada arah timur laut dan timur. Sedangkan prosentase kejadian arus

yang relatif sering yaitu ke arah barat laut. *Current rose* arus di lapisan permukaan menunjukkan bahwa arus dominan cenderung bergerak ke arah utara, timur laut, dan timur dengan prosentase kejadian yang relatif sama dalam besar kecepatan arus.

Pemisahan komponen arus ke dalam arus pasut dan arus residu dilakukan untuk mengetahui jenis arus yang mendominasi perairan. Dari hasil pemisahan komponen arus menggunakan Software World Current Analysis didapatkan rata-rata komponen arus pasut di lapisan dasar sebesar 48,56%; pada lapisan menengah sebesar 34,09%; pada lapisan permukaan sebesar 35,15%. Sedangkan pada arus total hasil perata-rataan di semua kedalaman, di dapatkan rata-rata komponen arus pasut sebesar 41,43% dari arus total. Maka dapat disimpulkan bahwa arus di Teluk Benete lebih di pengaruhi oleh arus residu.

Angin dapat memberikan pengaruh pada pergerakan arus laut terutama di lapisan permukaan, dimana gesekan angin dan air di lapisan permukaan dapat menyeret massa air di lapisan permukaan yang selanjutnya menyeret pula massa air pada lapisan dibawahnya. Kondisi angin selama kurun waktu penelitian ditunjukkan sebagai berikut :



Gambar 4. Wind Rose Teluk Benete

Wind Rose menunjukkan bahwa dominansi angin di Teluk Benete bergerak dari arah barat daya. Hal ini menunjukkan adanya kesesuaian antara pergerakan arus permukaan pada Gambar 4 dan angin pada *Wind rose*, dimana arus pada lapisan permukaan menunjukkan dominansi arus sebagian bergerak ke arah timur laut. Meskipun demikian sebagian besar lainnya bergerak ke arah utara dan timur, hal itu menunjukkan ada faktor lain yang berpengaruh pada arus di lapisan permukaan selain angin.

### 3.3. Kondisi Atmosfer Perairan (Selama Kurun Waktu Penelitian)

#### Intensitas Radiasi Matahari

Suhu di setiap perairan memiliki nilai yang berbeda-beda, hal ini disebabkan karena perbedaan panas yang diterima antara daerah satu dengan daerah lainnya. Untuk mendapatkan gambaran mengenai pengaruh termal di perairan pada waktu dan lokasi yang berbeda, maka diperlukan informasi mengenai panas yang diterima oleh perairan tersebut pada waktu tertentu. Informasi itu diperoleh berdasarkan data intensitas radiasi matahari. Pada penelitian ini difokuskan untuk nilai intensitas radiasi matahari pada kondisi *spring tide* dan *neap tide*.

Nilai rata-rata intensitas radiasi matahari pada kondisi *springtide* (7 April 2011) adalah 216,5 Watt/m<sup>2</sup>, sedangkan nilai maksimum intensitas radiasi nya adalah 962 Watt/m<sup>2</sup>. Pada kondisi *neaptide* (13 April 2011) nilai rata-rata intensitas radiasi matahari adalah 164,7 Watt/m<sup>2</sup>, sedangkan nilai maksimum intensitas radiasi nya adalah 952 Watt/m<sup>2</sup>. Berdasarkan hal tersebut dapat dikatakan bahwa pada kondisi *springtide* dan *neaptide* memiliki intensitas radiasi matahari yang tidak jauh berbeda, sehingga dalam memperbandingkan suhu perairan pada kedua kondisi tersebut, pengaruh intensitas radiasi matahari akan diabaikan.

#### Curah Hujan

Salah satu cara yang mudah untuk melihat adanya pengaruh atmosfer terhadap suhu perairan adalah dengan mengamati ada atau tidak adanya hujan selama kurun waktu penelitian, karena adanya hujan dapat menyebabkan suhu perairan menjadi menurun. Nilai rata-rata curah hujan pada kondisi *springtide* (7 April 2011) adalah 0,002 mm, sedangkan nilai maksimum curah hujan nya adalah 0,2 mm. Pada kondisi *neaptide* (13 April 2011) nilai rata-rata curah hujan adalah 0,0014 mm, sedangkan nilai maksimum dari curah hujan

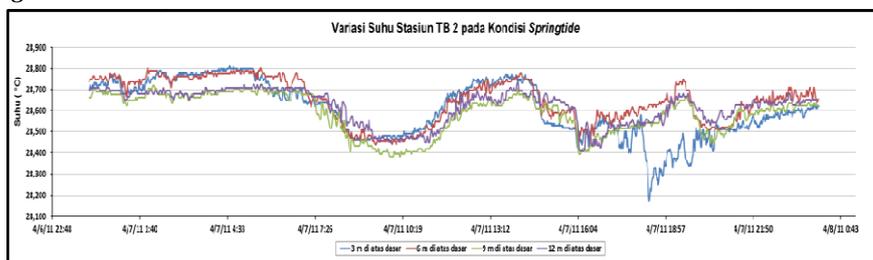
nya adalah 0,2 mm. Berdasarkan hal tersebut dapat diinterpretasikan bahwa pada tanggal-tanggal pada kondisi *springtide* dan *neaptide* dapat dikatakan tidak terjadi hujan atau terjadi hujan dalam skala sangat ringan, sehingga dalam membandingkan suhu perairan pada kedua kondisi tersebut, pengaruh curah hujan dapat diabaikan.

### 3.4. Suhu Perairan Teluk Benete

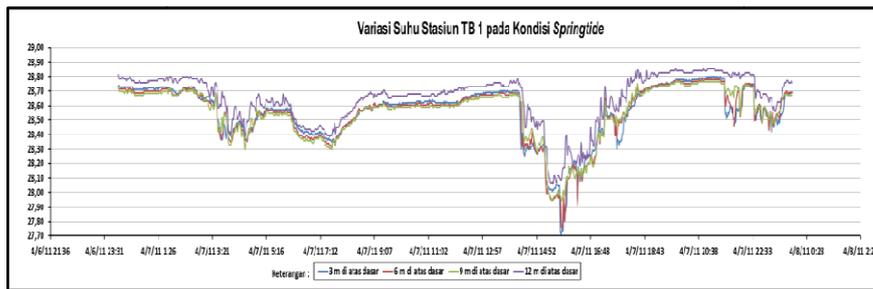
Hasil pengukuran selama tiga tahun menunjukkan bahwa kecenderungan suhu perairan di Teluk Benete menunjukkan kisaran antara 23 – 32 °C. Rata-rata suhu perairan Teluk Benete pada tahun 2008 yaitu 27,48 °C (tahun 2008), pada tahun 2009 yaitu 27,63 °C (tahun 2009), dan pada tahun 2010 adalah 28,52 °C. Dari data suhu perairan Teluk Benete selama tahun 2008 hingga 2010, didapatkan rata-rata suhu perairan selama 3 tahun adalah 28,47 °C.

### 3.5. Variasi Suhu di Stasiun TB 2 dan TB 1

#### Kondisi *Springtide*



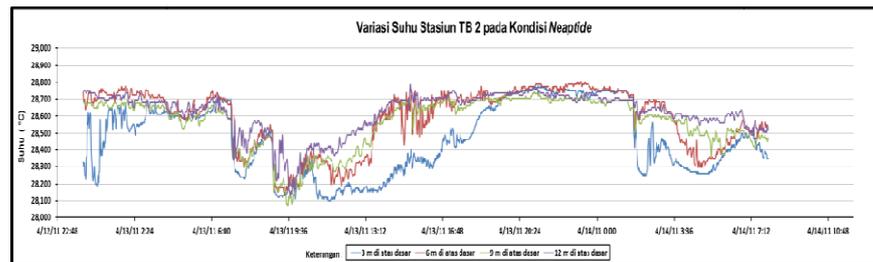
Gambar 5. Grafik Variasi Suhu di Stasiun TB 2 pada Kondisi *Springtide* (sumber: Pengolahan data 2012)



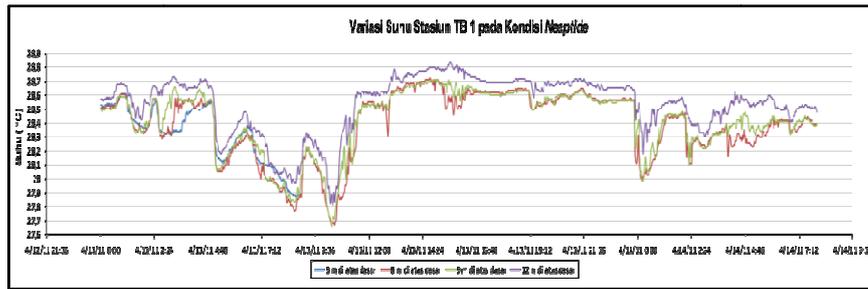
Gambar 6. Grafik Variasi Suhu di Stasiun TB 1 pada Kondisi *Springtide* (sumber: Pengolahan data 2012)

Pengukuran suhu kolom air dilakukan pada kedalaman 3 m, 6 m, 9 m, dan 12 m yang dihitung dengan titik referensi dari dasar perairan. Variasi suhu di kolom air pada stasiun TB 2 pada kondisi *springtide* menunjukkan secara berurutan kisaran suhu di tiap kolom air adalah sebagai berikut : 28,17 - 28,81 °C; 28,442 - 28,803 °C; 28,38 - 28,717 °C; 28,41 - 28,734 °C. Secara berurutan pula rata-rata suhu kolom air pada saat kondisi *springtide* adalah sebagai berikut : 28,606 °C; 28,648 °C; 28,586 °C; 28,619 °C. Sedangkan pengukuran di stasiun TB 1 secara berurutan pula ditunjukkan sebagai berikut : 27,71 - 28,8 °C; 27,763 - 28,78 °C; 27,946 - 28,765 °C; 28,063 - 28,853 °C. Secara berurutan pula rata-rata suhu kolom air pada saat kondisi *springtide* adalah sebagai berikut : 28,560 °C; 28,554 °C; 28,553 °C; 28,65 °C.

#### Kondisi *Neaptide*



Gambar 7. Grafik Variasi Suhu di Stasiun TB 2 pada Kondisi *Neaptide* (sumber: Pengolahan data 2012)

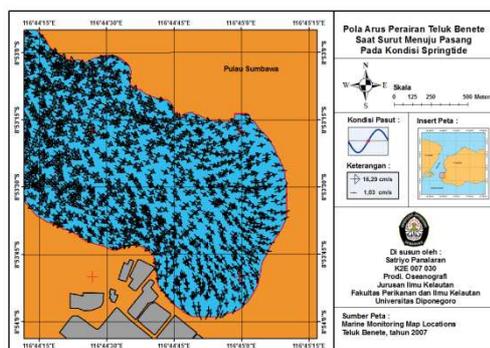


Gambar 8. Grafik Variasi Suhu di Stasiun TB 1 pada Kondisi Neap tide (sumber: Pengolahan data 2012)

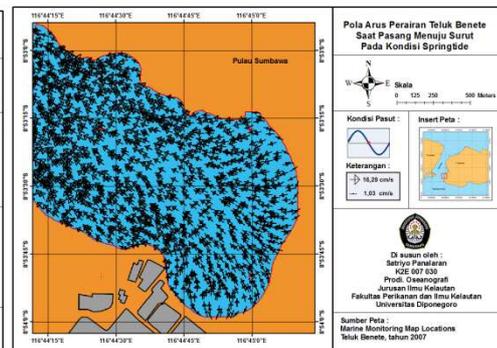
Variasi suhu di kolom air pada stasiun TB 2 pada kondisi neap tide menunjukkan secara berurutan (kedalaman 3 m, 6 m, 9 m, dan 12 m yang dihitung dengan titik referensi dari dasar perairan), didapatkan kisaran suhu di tiap kolom air adalah sebagai berikut : 28,1 - 28,78 °C; 28,136 - 28,803 °C; 28,071 - 28,744 °C; 28,128 - 28,788 °C. Secara berurutan pula rata-rata suhu kolom air pada saat kondisi neap tide adalah sebagai berikut : 28,462 °C; 28,585 °C; 28,564 °C; 28,62 °C. Sedangkan pengukuran di stasiun TB 1 secara berurutan pula ditunjukkan sebagai berikut : 27,87 - 28,61 °C (3 meter dari dasar); 27,67 - 28,726 °C (6 meter dari dasar); 27,661 - 28,711 °C (9 meter dari dasar); 27,81 - 28,84 °C (12 meter dari dasar). Secara berurutan pula rata-rata suhu kolom air pada saat kondisi neap tide adalah sebagai berikut : 28,312 °C; 28,391 °C; 28,418 °C; 28,537 °C.

Hasil pengukuran menunjukkan suhu di kolom air antara stasiun TB 2 (dekat outlet) dan stasiun TB 1 (di mulut teluk, sebagai titik kontrol) menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda. Pada kondisi spring tide, suhu di stasiun TB 2 memiliki kisaran antara 28,4 - 28,8 °C sedangkan suhu di stasiun TB 1 memiliki kisaran antara 27,7 - 28,9 °C. Begitu pula yang ditunjukkan pada kondisi neap tide, suhu di stasiun TB 2 memiliki kisaran antara 28,0 - 28,8 °C sedangkan suhu di stasiun TB 1 memiliki kisaran antara 27,7 - 28,8 °C. Berdasarkan peraturan Kep.Men LH no.51 tahun 2004 yang menyebutkan perubahan suhu hanya boleh terjadi kurang dari 2 °C, maka lingkungan perairan di Teluk Benete dapat dikatakan dalam kondisi yang aman terhadap penyebaran plume termal.

### 3.6. Simulasi Model Hidrodinamika



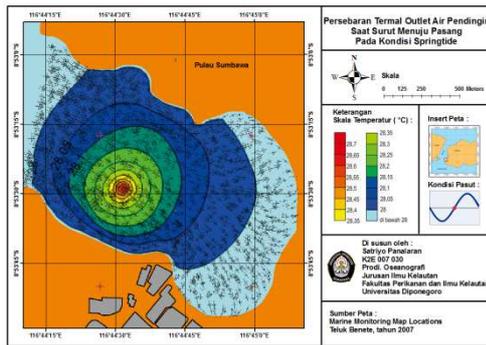
Gambar 9. Pola Arus Perairan Teluk Benete Saat Surut Menuju Pasang Pada Kondisi Spring tide (sumber: Pengolahan data 2012)



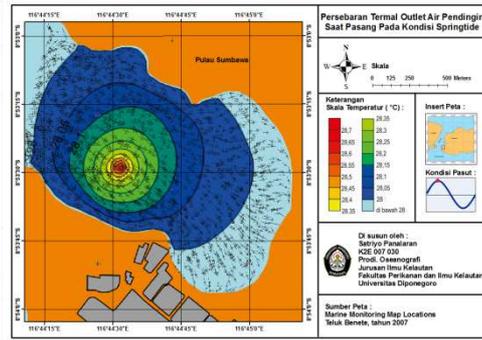
Gambar 10. Pola Arus Perairan Teluk Benete Saat Pasang Menuju Surut Pada Kondisi Spring tide (sumber: Pengolahan data 2012)

Hasil simulasi menunjukkan bahwa arus laut bergerak keluar masuk ke Teluk Benete melalui mulut teluk. Pada kondisi pasang, arus laut bergerak ke arah tenggara dan pada kondisi surut, arus laut bergerak ke arah barat laut. Arus pada kondisi pasang menuju surut bergerak ke arah barat laut dengan kecepatan arus lebih besar dari arus saat surut. Demikian halnya dengan arus pada kondisi surut menuju pasang, arus bergerak ke arah tenggara dengan kecepatan lebih besar dari arus laut saat pasang. Kecepatan arus pada kondisi pasang dan surut relatif lemah, karena pada kondisi ini terjadi pembelokan arah arus, yang menyebabkan pelemahan kecepatan arus. Kondisi ini disebut slack water, dimana arus mengalami pelemahan kecepatan arus karena adanya pembelokan arah arus yang disebabkan pasang surut (Hadi, 1992).

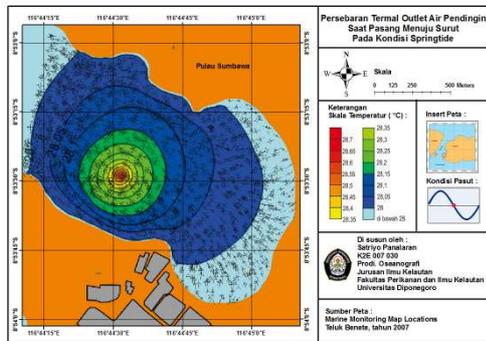
3.7. Simulasi Model Transport Termal



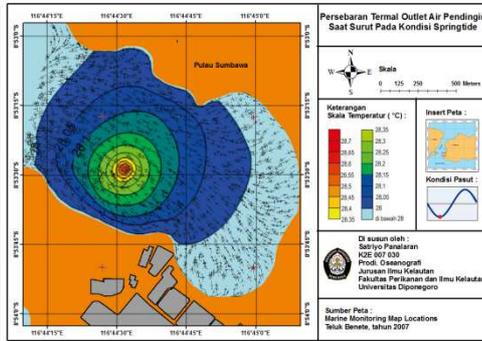
Gambar 11. Persebaran Termal Outlet Air Pendingin Saat Surut Menuju Pasang Pada Kondisi *Springtide* (sumber: Pengolahan data 2012)



Gambar 12. Persebaran Termal Outlet Air Pendingin Saat Pasang Pada Kondisi *Springtide*(sumber: Pengolahan data 2012)



Gambar 13. Persebaran Termal Outlet Air Pendingin Saat Pasang Menuju Surut Pada Kondisi *Springtide*(sumber: Pengolahan data 2012)



Gambar 14. Persebaran Termal Outlet Air Pendingin Saat Surut Pada Kondisi *Springtide*(sumber: Pengolahan data 2012)

Hasil simulasi menunjukkan suhu pada titik yang dianggap sumber memiliki variasi antara 28,5 hingga 28,7 °C. Penurunan nilai suhu pada titik yang dianggap sumber dari nilai suhu air yang terinjeksikan melalui pipa outlet disebabkan adanya pengaruh dari debit air yang memancar melalui pipa outlet, dan faktor adveksi di perairan. Selain itu disebabkan sumber air panas yang masuk ke lingkungan, yaitu melalui pipa outlet pada kedalaman 30 meter. Massa air yang memiliki suhu tinggi, akan memiliki massa jenis lebih rendah dibandingkan massa air yang memiliki suhu rendah. Sehingga massa air dengan suhu tinggi akan cenderung naik ke atas, melalui proses konveksi. Begitu pula dengan yang terjadi pada distribusi *plume* termal pada penelitian ini, air panas dari outlet air pendingin *power plant* PTNNT akan bergerak secara vertikal karena proses konveksi, sebelum menyebar secara horizontal. Massa air bersuhu panas yang mengalami proses konveksi akan berinteraksi dengan massa air di kolom air yang ada di atasnya, sehingga suhu massa air cenderung berkurang secara terus-menerus dalam perjalanannya menuju lapisan permukaan. Hasil dari proses interaksi ini, serupa dengan yang digambarkan model *transport* termal aquasea dimana suhu pada titik *source* memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan suhu lingkungan perairan. Penurunan nilai suhu dari air pendingin yang masuk ke perairan merupakan hasil dari desain saluran outlet air pendingin *power plant*, untuk memenuhi peraturan Kementerian Lingkungan Hidup yang menyebutkan bahwa batas suhu antara panas buangan hasil industri adalah maksimal 2 °C dari suhu lingkungan sebenarnya.

Penggambaran persebaran termal hasil model *transport* program aquasea dalam berbagai kondisi pasut ditunjukkan pada Gambar 46 sampai dengan Gambar 53. Gambar tersebut menjelaskan arah penyebaran termal dan besarnya di setiap titik dari daerah penelitian. Secara umum, pada berbagai kondisi pasang surut, simulasi penyebaran termal di Teluk Benete menunjukkan hasil yang hampir seragam, dimana termal menyebar hampir menjangkau seluruh domain model yaitu Teluk Benete. Jika diasumsikan suhu

perairan memiliki suhu 27 °C, maka pada titik TB 2 yang digunakan sebagai titik pemantauan mengalami peningkatan suhu sekitar 1,5 °C. Sedangkan jika dibandingkan antara titik sumber maka suhu di titik TB 2 memiliki selisih antara 0 hingga 0,2 °C.

#### 4. Kesimpulan

Hasil penelitian studi penyebaran plume termal outlet air pendingin power plant PTNNT di perairan Teluk Benete, dapat menyimpulkan bahwa Teluk Benete memiliki suhu perairan berkisar antara 23 s/d 32 °C, dimana dalam pengamatan selama 3 tahun terakhir didapatkan rata-rata suhu perairan Teluk Benete adalah 28,47 °C. Selama kurun waktu penelitian, pada stasiun pengukuran suhu kolom air TB 2 (yang berjarak 50 meter dari outlet power plant) di dapatkan suhu kolom air di Teluk Benete berkisar antara 28,1 s/d 28,8 °C. Variasi suhu ini berlaku pada kondisi *springtide* maupun pada kondisi *neaptide*. Hasil simulasi model transport termal menunjukkan bahwa suhu di titik TB2 mengalami peningkatan sekitar 1,5 °C. Sedangkan jika dibandingkan antara titik sumber maka suhu di titik TB 2 memiliki selisih antara 0 hingga 0,2 °C.

#### Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada Bapak Dr. Tonny Bachtiar, M.Sc. ; Bapak Agus Setianto, S.T; dan seluruh karyawan PT Newmont Nusa Tenggara yang telah memberikan bantuan kepada penulis selama melakukan penelitian.

#### Daftar Pustaka

- Hadi, Safwan. 1992. *Arus Laut*. Program Studi Oseanografi ITB : Bandung
- Latief, Hamzah. 2002. *Oseanografi dan Hidrolika Pantai*. Program Studi Oseanografi ITB : Bandung
- Pickard, G.L., W.J. Emery, and L.D. Talley. 2007. *Descriptive Physical Oceanography*. Edited version, Elsevier Science incorporation. New york
- PT Newmont Nusa Tenggara. 1997. *AMDAL (Analisis Mengenai Dampak Lingkungan) Proyek PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) PT Newmont Nusa Tenggara*. PTNNT