

**SIMULASI PEMODELAN SEBARAN SUHU AKIBAT LIMBAH AIR PANAS
POWER PLANT PT. AMMAN MINERAL NUSA TENGGARA
TELUK BENETE, SUMBAWA BARAT
WASTE HEAT MODELING SIMULATION POWER PLANT PT. AMMAN MINERAL
NUSA TENGGARA, BENETE BAY, WEST SUMBAWA**

Rexcha Oktavania Sukmawanty¹, Kunarso², Lilik Maslukah^{2*}, Aris Ismanto²

¹Program Sarjana Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

²Program Studi Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

*Corresponden author email: lilik_masluka@yahoo.com

Submitted: 12 January 2022 / Revised: 20 July 2022 / Accepted: 19 August 2022

<http://doi.org/10.21107/jk.v15i2.13289>

ABSTRACT

Power Plant PT. Amman Mineral Nusa Tenggara is a thermal power station (PLTU) that supplies electricity located in West Sumbawa Regency. The power plant utilizes seawater from Benete Bay as cooling water for the condenser, which produces hot water waste (heat) that released back into the water. The hot water waste that generated must pass the cooling stage so the temperature of the hot water waste can close to the normal temperature of the water. The objective of this research is to determine the temperature distribution due to hot water waste released by the power plant and predict the temperature distribution in the event of a cooling system failure. To carry out the study used several data include temperature, currents, bathymetry, tides, and the discharge of heat water. The research method used is advection-dispersion hydrodynamic modeling by Delft3D software. The results of hydrodynamic modelling showed that the distribution of hot water waste in normal conditions and in the cooling system where there is a damage, are leading to the east and west according to the direction of tidal current. Result of measurement to the water around the outlet shows the average temperature in the water column is 28,5°C. The temperature increase due to hot water waste reaches 2,5°C in normal conditions, and 3,5°C in conditions if there is damage to the cooling system. In normal conditions, the dispersion area of hot water waste is 25,39 Ha during spring tide, and 9,31 Ha during neap tide. In the damaged condition of cooling system, the dispersion area during spring tide is 41,95 Ha and 35,61 Ha during neap tide.

Keywords: Distribution, Waste Heat, Temperature, Delft3D

ABSTRAK

Power Plant PT. Amman Mineral Nusa Tenggara yang terletak di Kabupaten Sumbawa Barat merupakan PLTU yang mensuplai kebutuhan listrik untuk operasional perusahaan. Power plant memanfaatkan air laut dari Teluk Benete sebagai media pendingin untuk kondensor yang hasil akhirnya berupa limbah air panas (bahang) yang dikeluarkan kembali ke perairan. Limbah air panas yang akan dikeluarkan harus melewati tahap pendinginan sehingga suhu limbah air panas dapat mendekati suhu normal perairan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran suhu akibat limbah air panas yang dikeluarkan oleh power plant dan memprediksi sebaran suhu apabila terjadi kerusakan sistem pendingin. Data primer yang digunakan dalam penelitian ini adalah data temperatur dan arus laut. Sedangkan data sekunder yang digunakan adalah data batimetri, pasang surut, dan debit limbah air bahang. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemodelan hidrodinamika adveksi-dispersi dengan software Delft3D. Hasil penelitian menunjukkan sebaran limbah air panas pada kondisi normal maupun apabila terjadi kerusakan sistem pendingin mengarah ke arah timur dan barat, sesuai dengan arah pergerakan arus. Kenaikan suhu akibat limbah air bahang mencapai 2,5°C pada kondisi normal, dan 3,5°C pada kondisi apabila terjadi kerusakan sistem pendingin dari suhu rata-rata perairan sebesar 28,5 °C. Pada kondisi normal, luas sebaran pada saat pasang purnama sebesar 25,39 Ha dan

pada saat pasang perbani sebesar 9,31 Ha, sedangkan pada kondisi apabila terjadi kerusakan sistem pendingin luas sebaran limbah saat pasang purnama sebesar 41,95 Ha dan ketika pasang perbani sebesar 35,61 Ha.

Kata Kunci: Sebaran, Limbah Air Panas, Temperatur, Delft3D

PENDAHULUAN

Dengan pesatnya perkembangan jumlah penduduk dunia, permintaan untuk listrik pemanasan meningkat tajam. Dalam pemenuhan kebutuhan energi ini di beberapa wilayah di bangun suatu sistem pembangkit listrik, salah satu diantaranya adalah pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Pembangkit listrik tenaga uap (*power plant*) dalam sistem operasionalnya membutuhkan energi dari bahan bakar batubara. Salah satu PLTU di Indonesia, yang berada di Pulau Sumbawa adalah power plant PT. Amman Mineral Nusa Tenggara. *Power plant* ini terletak di Teluk Benete yang berlokasi di koordinat 8° 52'49"-8°53' 59" LS dan 116°44'2"-116°45'7" BT.

Power plant ini terdiri dari PLTU dengan kapasitas 5 unit 28 MW, dengan tambahan kapasitas pembangkit dari PLTD 18 generator diesel 5,1 MW (Andal Proyek PLTU PT. NNT, 1997). Prinsip kerja pada *power plant* adalah air dipanaskan pada *boiler* sehingga menghasilkan uap yang berfungsi untuk memutar turbin. Turbin dan generator yang berhubungan menyebabkan uap yang memutar turbin juga memutar generator sehingga dihasilkan energi listrik. Proses ini berlangsung secara terus-menerus, dimana air yang telah berubah menjadi uap akan didinginkan kembali pada *cooling water system* (Hartono, 2011). Hasil dari proses pendinginan pada *cooling water system* adalah limbah air panas (bahang). Limbah ini akan mengalami proses pendinginan kembali sebelum dikeluarkan ke perairan Teluk Benete.

Air pendingin yang berasal dari Teluk Benete digunakan untuk mendinginkan generator, minyak pelumas turbin, serta alat pendingin siklus tertutup dari alat penukar panas. Tiap kondensor unit PLTU batubara akan didinginkan dengan air dari Teluk Benete yang dilewatkan melalui sistem pendingin. Aliran total akan mencapai 24.396m³/jam untuk 4 unit PLTU batubara dan 30.495 m³/jam untuk 5 unit. Pembuangan limbah air bahang oleh *power plant* dilakukan melalui dua pipa yang terletak pada kedalaman 30 meter dekat dengan mulut Teluk Benete. Pipa tersebut memiliki ujung terbuka (*open minded*) dengan diameter 1,37 meter (Andal Proyek PLTU PT. NNT, 1997). Namun demikian, selama proses ini dapat

menyebabkan air ini menjadi lebih hangat dari air yang awalnya dialirkan ke pembangkit listrik (Issakhov & Zhandalet, 2021). Terlebih lagi jika terjadi adanya kerusakan pada pipa pembuangan. Pembuangan air panas ini dapat menyebabkan dampak lingkungan dari sudut pandang polusi termal, dan berpengaruh terhadap flora dan fauna (Madden *et al.*, 2013; Jebakumar, *et al.*, 2018). Suhu perairan dapat mempengaruhi banyak aspek kualitas air (Ducharme, 2008; Kaushal *et al.*, 2010). Ambang batas suhu limbah air panas yang dapat dikeluarkan oleh PLTU sebesar menurut KepMenLH No.363/2013 adalah 40°C.

Pola penyebaran pembuangan limbah di perairan dipengaruhi oleh arus pasang surut. Penelitian mengenai sebaran limbah air panas pada perairan Teluk Benete sebelumnya telah dilakukan oleh Panalaran *et al.*, (2012) menggunakan pemodelan dengan *software* Aquasea. Berdasarkan hasil pengukuran, suhu perairan di Teluk Benete memiliki variasi antara 28,5-28,7°C. Simulasi pemodelan dilakukan dengan asumsi bahwa suhu perairan sebesar 28°C dan berdasarkan hasil simulasi didapatkan bahwa suhu pada titik pantau model mengalami kenaikan sebesar 1,5°C dengan pola seragam ke seluruh bagian Teluk Benete pada berbagai kondisi pasang surut. Penelitian lain terkait dengan pemetaan pola sebaran limbah air panas juga pernah dilakukan oleh Wijaya *et al.*, (2015) menggunakan citra landsat 8 di Perairan sekitar PLTU Sumuradem Indramayu Jawa Barat. Pemetaan ini dilakukan dengan mengolah data saluran termal citra Landsat 8, yaitu dengan mengkonversi nilai digital menjadi nilai radian dan konversi nilai radian menjadi temperatur. Penggunaan citra dalam hal ini hanya untuk tujuan pemantauan untuk melihat pola sebaran bahang secara temporal pada beberapa tahun sebelumnya. Penelitian pemetaan menggunakan citra Landsat tidak dapat digunakan untuk prediksi jika terjadi adanya kebocoran pipa dengan suhu air yang lebih tinggi. Pemetaan sebaran hasil simulasi model hidrodinamika sangat diperlukan untuk prediksi kejadian yang akan datang. Kinerja model yang dihasilkan menggunakan *software* Delft3D diharapkan dapat lebih memberikan informasi yang lebih baru atau melengkapi dari kinerja dari *software* Aquasea yang digunakan sebelumnya.

Berdasarkan latar belakang tersebut,

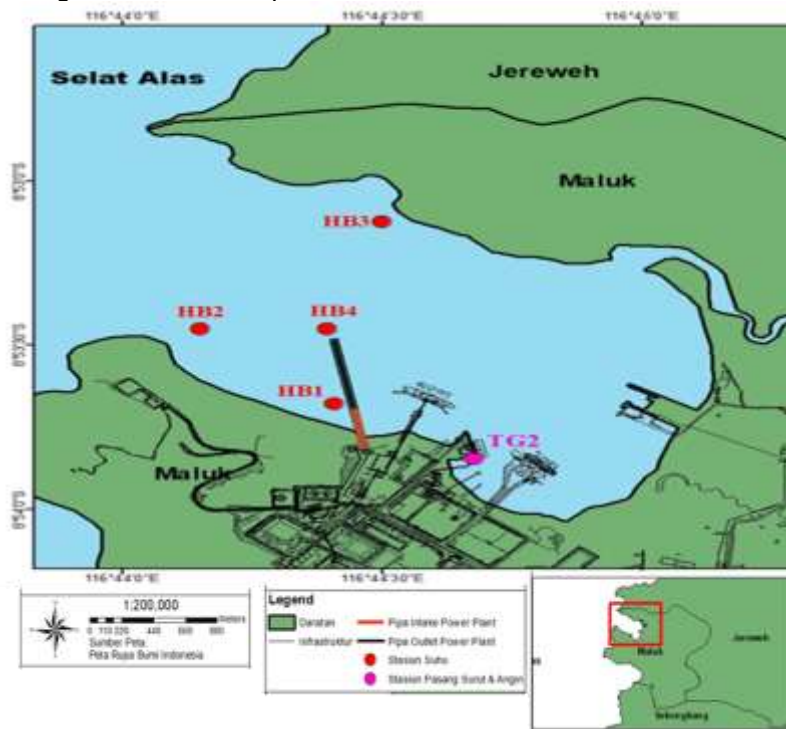
diperlukan kajian terkait simulasi pola sebaran limbah air panas serta luas sebaran limbah menggunakan pemodelan dengan *software Delft3D*. Modul yang digunakan dalam pemodelan ini adalah modul *Delft3D-Flow* yang digunakan untuk memodelkan hidrodinamika, salinitas, suhu, transpor sedimen dan morfologi pantai. *Delft3D* menggunakan pendekatan *finite different method* sehingga *mesh* yang dihasilkan lebih rapat dan mampu menambah ketelitian perhitungan model. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pola sebaran limbah air panas serta luas sebaran limbah air panas pada kondisi normal dan kondisi apabila terjadi kerusakan sistem pendingin pada saat pasang purnama dan pasang perbani.

MATERI DAN METODE

Materi penelitian meliputi data primer dan data sekunder. Data primer dalam penelitian ini adalah data temperatur, serta arah dan kecepatan arus. Pengukuran data temperatur

air laut dilakukan pada empat lokasi berdasarkan pada pemantauan bulanan yang dilakukan oleh divisi Marine Environmental Monitoring di PT Amman Mineral Nusa Tenggara, yaitu di stasiun HB1, HB2, HB3 dan HB4 yang terletak di perairan Teluk Benete (**Gambar 1**). Koordinat tiap stasiun antara lain: stasiun HB1 (116°44'24.5" BT dan 8°53' 40.6" LS); stasiun HB2 (116°44'9" BT dan 8°53' 27" LS); stasiun HB3 (116°44'30"BT dan 8° 53'7.32" LS); stasiun HB4 (116° 44'23.6" BT dan 8° 53'27" LS); dan stasiun TG2 (116° 44'40.5" BT dan 8° 53' 50.7" LS). Pengukuran pasang surut dilakukan pada stasiun TG2.

Lokasi pemasangan ADCP untuk pengukuran arus di kolom air terletak di stasiun HB4, yang merupakan stasiun terdekat dengan pipa outlet air pendingin. Pengukuran arus permukaan juga dilakukan menggunakan bola duga di stasiun HB1, HB2, dan HB3 sebagai data pembandingan ADCP.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Pengukuran Temperatur

Temperatur diukur menggunakan *temperature recorder* atau termistor. Termistor bekerja menggunakan sensor suhu yang mengukur temperatur tiap 10 menit dan di *deploy* pada tiap stasiun selama bulan Maret 2020. Pada stasiun HB1 dan HB2, termistor dipasang pada kedalaman 3 meter. Pada stasiun HB3, termistor dipasang pada kedalaman 5 meter. Pemasangan disesuaikan dengan kedalaman perairan.

Pengukuran Arus Laut

Pengukuran arus laut dengan ADCP dilakukan di kedalaman 19 meter di dasar laut, dengan jarak antara ADCP dengan pipa *outlet* air pendingin ±15 meter. ADCP dipasang selama 23 hari, sejak tanggal 11 Maret 2020 – 2 April 2020. Interval pengukuran data arus diatur setiap 10 menit. Data ADCP yang digunakan merupakan data arus pada kedalaman 1 meter yang direratakan.

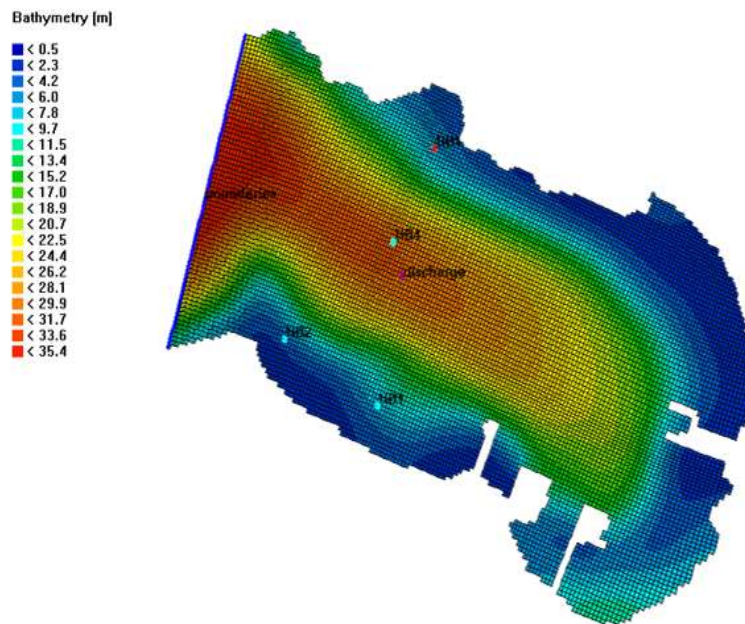
Pengukuran Pasang Surut

Pengukuran pasang surut dilakukan menggunakan *tide gauge pressure*, yang bekerja berdasarkan prinsip tekanan. Data *time series* pasang surut dengan interval pengukuran data satu jam sejak tanggal 1 – 31 Maret 2020 digunakan sebagai *input* untuk pemodelan arus dan juga sebaran limbah panas. Tipe pasang surut daerah penelitian merupakan pasang surut campuran condong ke harian ganda, dengan nilai MSL sebesar 1,912 m, nilai HHWL (High Highest Water Level) sebesar 2,956 m dan LLWL (Low Lowest Water Level) sebesar 0,784 m.

Model Arus dan Sebaran Limbah Air Panas

Model arus dan sebaran limbah air panas diolah menggunakan *software* Delft 3D menggunakan modul *Flow* dengan syarat batas

model hidrodinamika yang dibagi menjadi dua yaitu, pertama syarat batas terbuka yang terletak di bagian barat laut atau di mulut teluk, karena berbatasan langsung dengan Selat Alas. Kedua, syarat batas tertutup digambarkan sebagai garis pantai yang mengelilingi Teluk Benete. Kondisi awal perairan berupa ketinggian muka air laut. Data inputan yang digunakan dalam pengolahan data antara lain: data batimetri Teluk Benete, data pasang surut bulan Maret 2020, dan data *discharge* air bahang. Domain untuk model di ilustrasikan pada **Gambar 2**. Grid yang terdapat pada Delft 3D dijelaskan dengan m yang menunjukkan arah sumbu x dan n yang menunjukkan grid searah sumbu y. Nilai m yang digunakan pada model ini adalah 172, sedangkan nilai n adalah 101. Domain model ini dibuat berdasarkan data batimetri Teluk Benete dengan kedalaman maksimum 35,4 meter dan kedalaman minimum 0,5 meter.



Gambar 2. Domain model daerah penelitian

Simulasi model dilakukan tanggal 1 Februari 2020 hingga 31 Maret 2020 dengan *time step* sebesar 60 menit. Jumlah langkah waktu pemodelan sebesar 4321. Suhu awal perairan diasumsikan sebesar 28,5°C dan salinitas perairan sebesar 34 ppt, disesuaikan dari hasil observasi lapangan. Parameter angin dalam simulasi ini dianggap seragam. Simulasi sebaran limbah air panas terbagi menjadi dua skenario yaitu :

Skenario **pertama**, data debit dan suhu limbah air bahang yang digunakan sebagai inputan data dalam pemodelan berupa data debit limbah dalam kondisi normal yaitu sesuai data

insitu dan dikeluarkan secara *continue* selama bulan Maret dengan interval pengukuran data tiap 1 jam. Data debit yang terukur memiliki rentang nilai antara 4,851-8,419 m³/detik, dengan suhu antara 32,742-40,789 °C. Data ini kemudian dijadikan *input* pada Delft 3D-Flow pada bagian *operations*. Data debit air bahang ini dikeluarkan melalui titik "*discharge*" yang telah ditentukan pada kedalaman 30 meter sesuai lokasi penempatan pipa di Teluk Benete.

Skenario **kedua** yaitu, model yang digunakan untuk memprediksi sebaran limbah air panas apabila terjadi kerusakan sistem pendingin

pada pipa *outlet*. Kerusakan sistem pendingin terjadi apabila air yang telah digunakan untuk mendinginkan peralatan-peralatan yang bekerja pada sistem, tidak mengalami pendinginan secara sempurna sebelum dikeluarkan ke perairan. Sehingga suhu air bahang yang dikeluarkan cukup tinggi yang dapat berdampak buruk bagi biota. Data inputan debit air bahang yang digunakan adalah data debit selama bulan Maret dengan temperatur air diatur sebesar 41 °C.

Validasi Model

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil model dengan hasil pengukuran lapangan untuk mengetahui nilai error yang didapatkan. Pada penelitian ini, validasi dilakukan pada data pasang surut, suhu dan arus. Metode validasi yang dilakukan adalah metode *Root Mean Square* (RMS), yaitu metode yang dilakukan untuk membandingkan akurasi antara dua atau lebih model dalam analisis spasial. Semakin kecil nilai RMS suatu model, maka semakin akurat model tersebut (Rohita et al., 2012).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi Model Arus dan Sebaran Limbah Panas pada Kondisi Normal

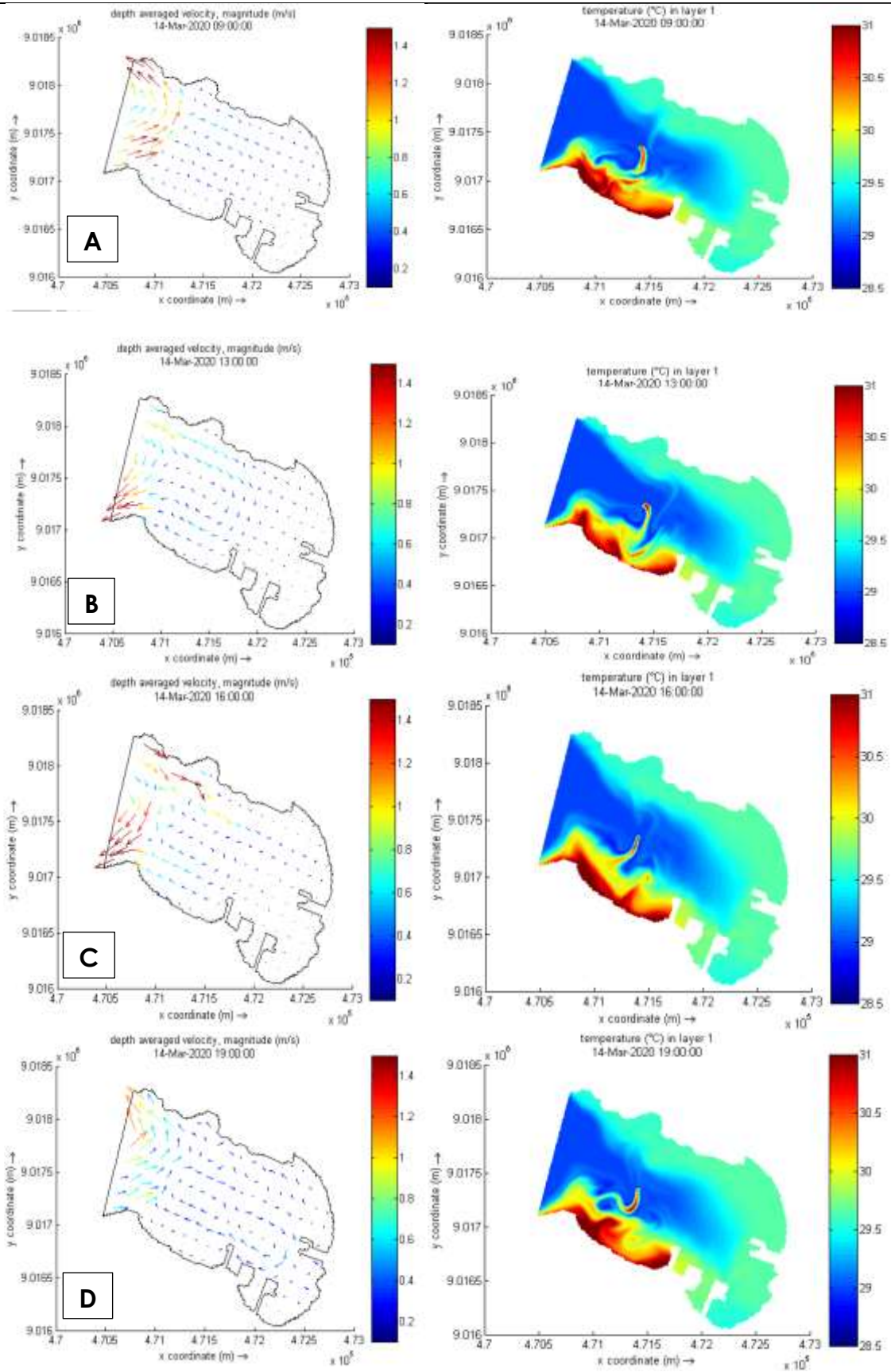
Model hidrodinamika menggambarkan pola arus di Teluk Benete yang dilakukan selama periode Bulan Maret 2020. Model hidrodinamika dibagi menjadi 4 kondisi yaitu pola arus saat surut menuju pasang, pasang tertinggi, surut menuju pasang dan saat surut terendah. Pola arus dan pola sebaran limbah panas pada kondisi tersebut di sajikan pada **Gambar 3**.

Hasil pemodelan hidrodinamika menunjukkan bahwa pola arus saat pasang purnama cenderung bergerak bolak balik ke arah barat laut dan barat daya. Pola pergerakan massa air di atas terjadi pada hampir semua kondisi pasang surut, baik pada saat pasang perbani maupun pasang purnama. Pola sebaran panas yang cenderung ke selatan tampak terkait dengan pola arus saat pasang yang cenderung ke arah timur dan selatan (tenggara). Sedangkan pada saat surut di wilayah tersebut terjadi pola arus pusar yang sebagian akan mengarah ke selatan (Gambar 3C dan 3D). Kecepatan arus maksimum terletak pada bagian mulut teluk yang mencapai 2,2 m/s dan

bergerak ke luar teluk. Pada stasiun HB4 atau di bagian tengah teluk, kecepatan arus rata-rata yang terukur sebesar 0,288 m/s. Pola sebaran air panas yang dipengaruhi oleh arus pasang tersebut sesuai dengan hasil penelitian Wibowo et al., (2012) yang menyatakan bahwa pola persebaran limbah air panas disebabkan karena proses adveksi, yang dalam hal ini di bangkitkan oleh arus pasang surut. Huboyo dan Badrus (2007) juga mengatakan bahwa pola sebaran limbah air panas searah dengan pola arus di perairan sekitarnya.

Limbah air panas yang dikeluarkan oleh pipa outlet menyebabkan kenaikan suhu permukaan laut. Suhu permukaan air rata-rata di Teluk Benete pada bulan Maret berdasarkan hasil pengukuran lapangan adalah 28,5°C, namun karena adanya buangan air limbah, suhu perairan mengalami peningkatan sebesar 2,5°C. Saat pasang purnama, luas rata-rata sebaran limbah air panas mencapai 25,39 Ha (Gambar 3, sedangkan pada saat pasang perbani luas rata-rata sebaran limbah air panas sebesar 9,31 Ha. Suhu limbah air bahang yang mengalami penurunan ketika memasuki badan air dipengaruhi oleh pencampuran massa air bahang yang memiliki suhu tinggi dengan massa air di sekitar yang memiliki suhu lebih rendah. Massa air bahang yang dikeluarkan pada kedalaman 30 meter dengan suhu antara 32,742-40,789 °C, akan mengalami penurunan hingga 25-31°C. Hal ini terjadi karena adanya peristiwa difusi di perairan, yaitu persebaran massa air yang disebabkan karena perbedaan gradien suhu sehingga massa air bergerak dari suhu yang lebih tinggi ke massa air dengan suhu yang lebih rendah (Wibowo et al., 2012).

Selain itu, posisi penempatan pipa air pendingin yang terletak pada kedalaman 30 meter juga menyebabkan suhu limbah air bahang yang terdeteksi pada hasil pemodelan mengalami penurunan. Hal ini dapat disebabkan karena massa air bahang yang memiliki suhu tinggi dan densitas yang besar akan bergerak secara vertikal ke permukaan air. Dalam proses perambatannya, massa air akan mengalami penurunan suhu hingga 25-31°C dari rata-rata suhu permukaan air sebesar 28,5°C. Hasil ini didukung dengan penelitian oleh Panalaran et al., (2012) dilokasi yang sama menjelaskan bahwa peningkatan suhu akibat limbah air panas yang dikeluarkan ke Teluk Benete sebesar 1,5°C dari suhu rata-rata perairan sebesar 28,47°C.



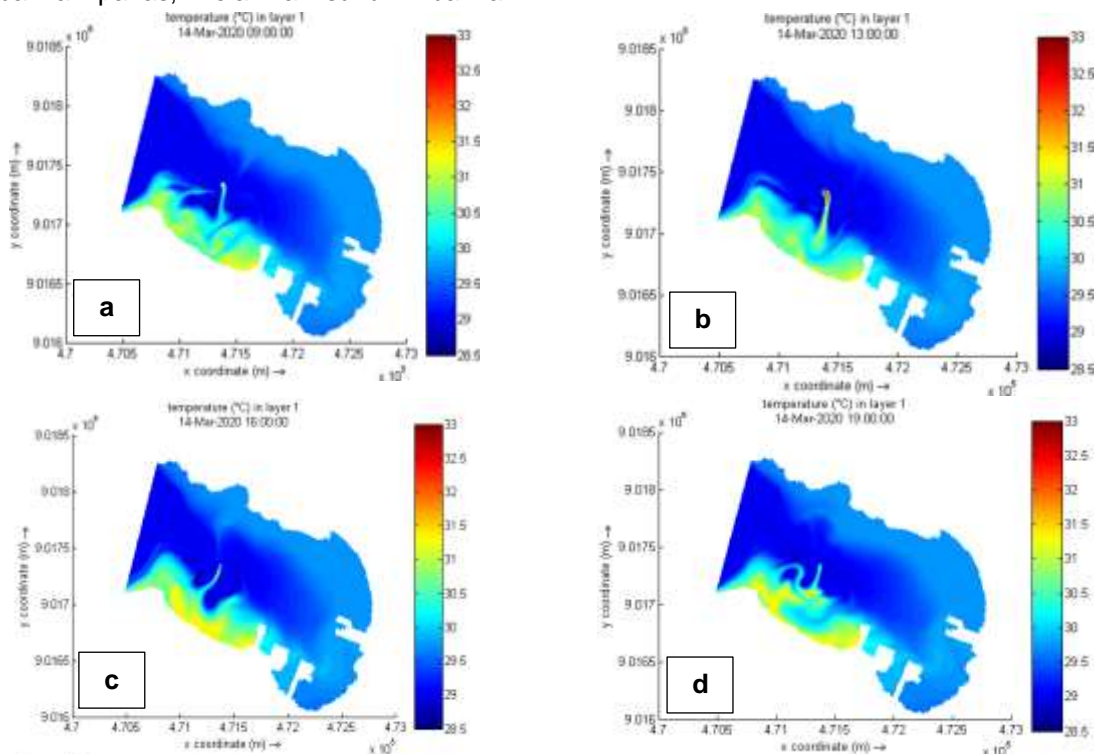
Gambar 3. Pola Arus dan Pola Sebaran Limbah Panas saat Pasang Purnama pada Kondisi Normal (A) Surut Menuju Pasang (B) Pasang Tertinggi (C) Pasang Menuju Surut (D) Surut Terendah

Simulasi Model Sebaran Limbah Panas pada Kondisi Apabila Terjadi Kerusakan Sistem Pendingin

Pada prediksi model apabila terjadi kerusakan sistem pendingin, sebaran limbah air panas cenderung bergerak ke arah selatan dan ketika mencapai garis pantai limbah akan bergerak ke arah barat dan timur baik saat pasang purnama maupun pasang perbani. Hasil secara lengkap disajikan pada Gambar 4. Hal yang membedakan antara pola sebaran limbah air panas pada kondisi normal (Gambar 3) dengan kondisi prediksi (Gambar 4) adalah luas sebaran limbahnya. Pada prediksi model apabila terjadi kerusakan sistem pendingin saat kondisi pasang purnama, luas rata-rata sebaran limbah air panas mencapai 41,95 Ha, sedangkan pada saat pasang perbani luas rata-rata sebaran limbah air panas sebesar 35,61 Ha. Proses persebaran limbah air panas yang berasal dari pipa *outlet* menuju ke perairan disekitarnya dipengaruhi oleh proses difusi yang terjadi di badan perairan. Pernyataan ini didukung oleh penelitian Cahyana (2011) yang menyebutkan bahwa sebaran limbah air panas dipengaruhi oleh proses difusi yang terjadi di perairan.

Perbedaan pada prediksi model apabila terjadi kerusakan sistem dengan model dalam kondisi normal, tidak hanya terdapat pada luas sebaran limbah air panas, melainkan suhu limbah air

panas yang telah bercampur dengan suhu perairan disekitarnya. Pada prediksi model, suhu limbah air panas cenderung meningkat hingga 33°C baik saat pasang purnama maupun pasang perbani. Namun saat pasang purnama, suhu limbah air panas pada pipa *outlet* adalah 33°C dan terus berkurang hingga 30°C yang ditandai dengan warna biru muda hingga kekuningan. Ketika pasang perbani, suhu limbah air panas disekitar pipa *outlet* sebesar 33°C namun dengan luasan yang sangat kecil, suhu semakin menurun hingga 30-30,5°C yang ditandai warna biru muda. Suhu perairan yang dominan pada prediksi model apabila terjadi kerusakan sistem pendingin berkisar pada 30-32°C yang terjadi pada pasang purnama maupun perbani. Hal ini mengindikasikan bahwa suhu pada prediksi model yang telah diatur pada 41°C berdasarkan data air bahang mengalami penurunan hingga 30-32°C. Penurunan suhu air laut ini dapat dipengaruhi karena terjadinya proses konveksi atau proses mixing serta terjadinya turbulensi kolom perairan. Souza et al, (2012) menjelaskan bahwa turbulensi dan mixing merupakan mekanisme penting dalam mendorong dinamika pesisir laut, terkait pengangkutan momentum, massa dan panas (termasuk suhu perairan). Turbulensi ini dihasilkan oleh gesekan dasar oleh arus pasang surut dan kecepatan orbit gelombang, serta oleh arus yang digerakkan oleh angin.

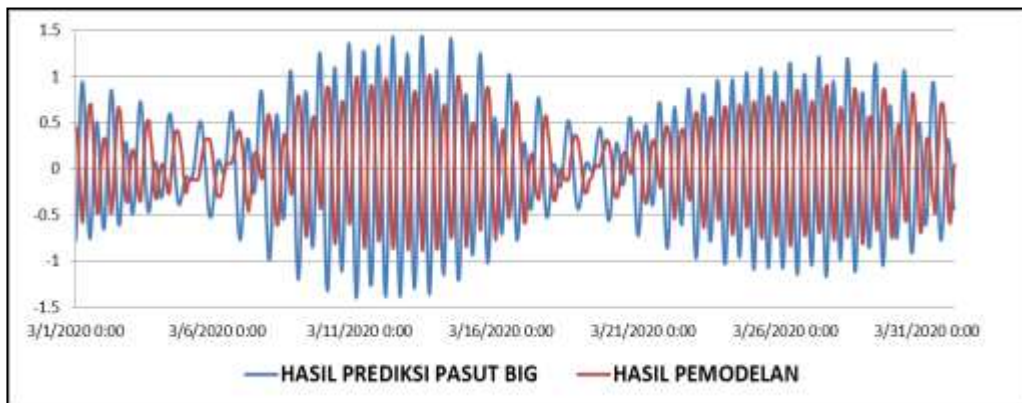


Gambar 4. Pola Sebaran Limbah Panas saat Terjadi Kerusakan Sistem Pendingin pada Pasang Purnama (a) Surut menuju Pasang (b) Pasang Tertinggi (c) Pasang menuju Surut dan (d) Surut terendah

Validasi Hasil Pemodelan dengan Hasil Pengukuran Lapangan Validasi Data Pasang Surut

Validasi data pasang surut hasil pemodelan dilakukan melalui analisis perbandingan dengan data pengukuran oleh BIG (Badan Informasi Geospasial). Grafik perbandingan data pasang surut antara hasil pemodelan dengan data pasang surut oleh BIG menunjukkan nilai pasang surut yang seragam dan ditandai dengan kedua garis yang berhimpitan antara hasil pemodelan dengan hasil pengukuran lapangan (**Gambar 5**). Selain

itu, grafik korelasi menunjukkan hasil yang serupa yaitu nilai pasang surut yang hampir sama dengan nilai R^2 sebesar 0,7848. Verifikasi menggunakan metode RMSE untuk data pasang surut menghasilkan nilai error sebesar 3,8366 m. Dapat disimpulkan bahwa nilai pasang surut hasil pemodelan sesuai dengan nilai pengukuran lapangan, sehingga hasil pemodelan dianggap dapat mempresentasikan keadaan pasang surut sebenarnya di lapangan dan dapat diolah menjadi pemodelan arus dan pemodelan sebaran limbah air panas.

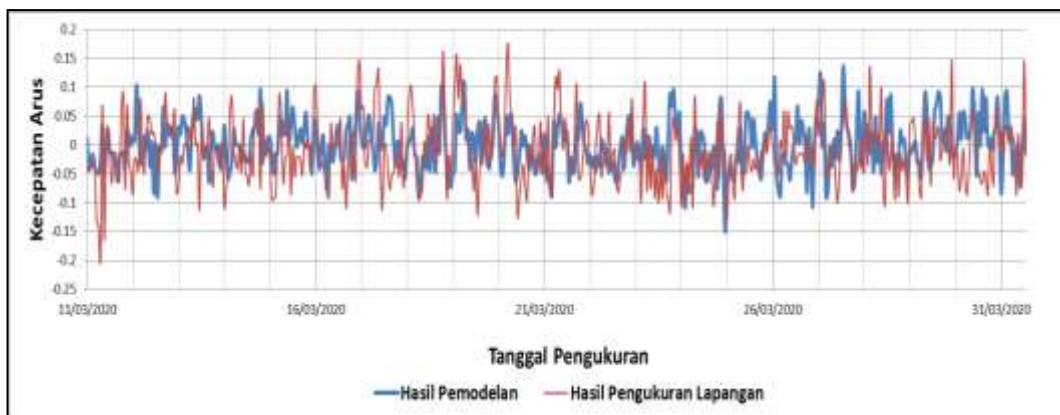


Gambar 5. Grafik Perbandingan Data Pasang Surut Hasil Pemodelan VS Hasil Prediksi Pasang Surut BIG

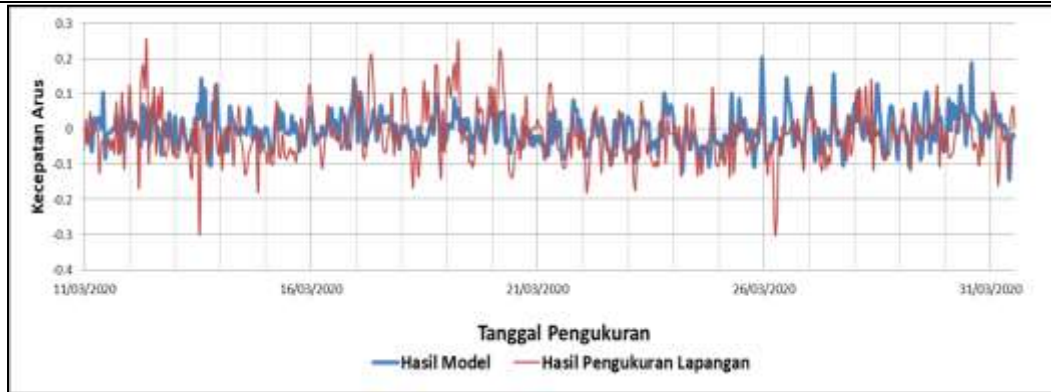
Validasi Data Arus Laut

Kecepatan arus dari ADCP yang digunakan untuk validasi merupakan data kecepatan arus rata-rata pada kedalaman 1 meter. Validasi dilakukan menggunakan metode RMSE pada model dan hasil pengukuran lapangan. Pada komponen arus u, perhitungan nilai RMSE yang didapatkan sebesar 0,2793 m/s, sedangkan pada komponen arus v nilai RMSE

yang didapatkan sebesar 0,3361 m/s. Nilai RMSE yang kurang dari 30% menunjukkan bahwa kesalahan yang terjadi pada model cenderung kecil, dan dapat disimpulkan bahwa model pola arus sesuai dan mampu menggambarkan pola arus sebenarnya di lapangan. Grafik perbandingan kecepatan arus arah U dan V disajikan pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Kecepatan Arus U berdasarkan Data Hasil Model VS Hasil Pengukuran Lapangan.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Kecepatan Arus V berdasarkan Data Hasil Model VS Hasil Pengukuran Lapangan.

Validasi Model Sebaran Limbah Air Panas

Hasil simulasi menunjukkan bahwa temperatur berada pada nilai 28,51°C, sedangkan data temperatur hasil pengukuran lapangan sebesar 28,58°C. Hasil validasi menunjukkan nilai RMSE, pada HB1 adalah 2,22°C, stasiun HB2 yang terletak di sebelah barat dekat dengan mulut teluk, temperatur rata-rata hasil pemodelan sebesar 28,51°C, dan berdasarkan pengukuran lapangan sebesar 28,54°C dengan nilai RMSE nya 2,35°C. Pada stasiun HB3 yang terletak di sebelah utara dekat dengan pantai, rerata temperatur hasil pemodelan sebesar 28,51 °C dan lapangan sebesar 28,40 °C dengan RMSE sebesar 2,33 °C.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil simulasi pemodelan limbah air panas *Power plant* PT. Amman Mineral Nusa Tenggara pada kondisi normal memiliki pola sebaran yang dominan ke arah timur dan barat, dengan luas sebaran pada saat pasang purnama sebesar 25,39 Ha dan pada saat pasang perbani sebesar 9,31 Ha dengan kenaikan suhu perairan mencapai 2,5 °C. Sedangkan pada model prediksi apabila terjadi kerusakan sistem pendingin menunjukkan pola sebaran limbah dominan ke arah timur dan barat dengan kenaikan suhu perairan mencapai 3,5 °C dari suhu rata-rata perairan Teluk Benete dengan luas sebaran limbah saat pasang purnama sebesar 41.95 Ha dan ketika pasang perbani sebesar 35,61 Ha.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Bapak Agus Setianto dari PT Amman Mineral Nusa Tenggara Sumbawa Barat, yang telah memfasilitasi penelitian ini. Penelitian ini merupakan bagian dari skripsi pada Program Sarjana Oseanografi, FPIK, Undip.

DAFTAR PUSTAKA

- Cahyana, C. (2005). Model Hidrodinamika Laut. *Batan: Buletin Limbah*, 9(2), 23-32.
- Ducharne, A. (2008). Importance of stream temperature to climate change impact on water quality. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12(3), 797-810.
- Hadi, S. (2002). *Arus Laut*. ITB, Bandung.
- Huboyo, H. S., & Zaman, B. (2007). Analisis Sebaran Temperatur dan Salinitas Air Limbah PLTU-PLTGU Berdasarkan Sistem Pemetaan Spasial (Studi Kasus: PLTU-PLTGU Tambak Lorok Semarang). *Jurnal Presipitasi*, 3(2), 40-45.
- Ismanto, A., Widada, S., & Susiati, H. (2008). Kajian Dispersi Termal dalam Rencana Pembangunan PLTN Muria: Sebuah Analisis. *Jurnal Geoaplika*, 3(3), 143-150.
- Issakhov, A., & Zhandaulet, Y. (2021). Thermal pollution zones on the aquatic environment from the coastal power plant: Numerical study. *Case Studies in Thermal Engineering*, 25, 100901.
- Jebakumar, J. P. P., Nandhagopal, G., Babu, B. R., Ragumaran, S., & Ravichandran, V. (2018). Impact of coastal power plant cooling system on planktonic diversity of a polluted creek system. *Marine pollution bulletin*, 133, 378-391.
- Kaushal, S. S., Likens, G. E., Jaworski, N. A., Pace, M. L., Sides, A. M., Seekell, D., ... & Wingate, R. L. (2010). Rising stream and river temperatures in the United States. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8(9), 461-466.
- Madden, N., Lewis, A., & Davis, M. (2013). Thermal effluent from the power sector: an analysis of once-through cooling system impacts on surface water temperature. *Environmental Research Letters*, 8(3), 035006.
- Panalaran, S. Prasetyawan, I.B. (2013). Kajian

- penyebaran plume termal outlet air pendingin *power plant* PT Newmont Nusa Tenggara di Perairan Teluk Benete. *Buletin Oseanografi Marina*, 2, 71-80.
- Poerbandono, D.N. dan Djunarsjah, E. (2005). *Survey Hidrografi*. Rafika Aditama, Bandung.
- PT Newmont Nusa Tenggara. (1997). *ANDAL Proyek PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) PT Newmont Nusa Tenggara*. PT NNT
- Rodhita, M., Limantara, L. M., & Dermawan, V. (2013). Rasionalisasi Jaringan Penakar Hujan Di DAS Kedungsoko Kabupaten Nganjuk. *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*, 3(2), 185-194.
- Sidjabat, M.M. (1974). *Pengantar Oseanografi*. Institut Pertanian Bogor, 238p.
- Suharsimi, A. (2002). *Prosedur Penelitian*. Rineka Cipta, Jakarta.
- Surinati, D., & Marfatah, M. R. (2019). Pengaruh Faktor Hidrodinamika Terhadap Sebaran Limbah Air Panas Di Laut. *OSEANA*, 44(1), 26-37.
- Souza, H. J., Burchard, H., Carsten, E., Pattiaratchi, C., Haren H.V. (2012). *Coastal ocean turbulence and mixing in: coupled coastal wind, wave and current dynamics* (eds C. Mooers, P.Craig, N. Huang), Cambridge University Press.
- Wibowo, N. T., Sugianto, D. N., & Indrayanti, E. (2012). Studi Model Persebaran Panas Pada Perairan Dalam Rencana Pembangunan Pltu Karanggeneng Roban, Batang. *Journal of Oceanography*, 1(2), 102-110.
- Wijaya, Y. J., Yusuf, M., & Helmi, M. (2015). Studi Variabilitas Spasial Dan Temporal Temperatur Permukaan Laut Berdasarkan Analisis Citra Termal Satelit Landsat-8 Di Perairan Pltu Sumuradem Indramayu Jawa Barat. *Journal of Oceanography*, 4(1), 141-149.