

JURNAL

**SEBARAN LIMBAH PANAS PADA PASANG DAN SURUT DI AREA
PLTU (PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP) TELUK SIRIH,
PADANG PROVINSI SUMATERA BARAT**

**OLEH
TEGUH CAKRA AL HAMDA**



**FAKULTAS PERIKANAN DAN KELAUTAN
UNIVERSITAS RIAU
PEKANBARU
2020**

SEBARAN LIMBAH PANAS PADA PASANG DAN SURUT DI AREA PLTU (PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP) TELUK SIRIH, PADANG PROVINSI SUMATERA BARAT

Oleh

Teguh Cakra Al Hamda¹⁾, Mubarak²⁾, Musrifin Galib²⁾

Jurusan Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Kelautan
Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia
cakraalhamda@gmail.com

ABSTRAK

Tingkat kebutuhan pemakaian listrik setiap tahunnya terus mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi. Teknologi yang digunakan dalam memproduksi listrik salah satunya adalah PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap) dimana PLTU Teluk Sirih merupakan PLTU pertama di Sumatera Barat yang beroperasi sejak tahun 2013 dan memiliki kapasitas sebesar 2x112 MW. Keberadaan PLTU di perairan Teluk Sirih diduga mempengaruhi karakteristik perairan tersebut. Hal ini karena selain memproduksi listrik, juga menghasilkan limbah air panas dari proses penyerapan uap panas yang masuk ke perairan pantai melalui kanal buangan (*outlet*). Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui proses sebaran limbah air panas dari PLTU Teluk Sirih pada saat pasang dan surut dengan data lapangan dan pemodelan hidrodinamika perairan, serta data observasi suhu permukaan laut di 16 titik sampling. Verifikasi data lapangan dan model hidrodinamika memiliki nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 5,74% ($e = 0,015$). Pola sirkulasi laut di perairan Pantai Teluk Sirih dikendalikan utamanya oleh gaya pasang surut, dimana pola aliran pada saat pasang surut menuju kearah timur laut dengan sebagian bergerak ke arah barat daya. Hasil observasi menunjukkan suhu dari limbah air panas di outlet sampai laut di depannya tercatat antara 32°C sampai 35°C. Secara horizontal, zona delusi dari limbah panas mencapai radius 500 m dari mulut *outlet*. Dimana limbah panas terjadi lebih luas pada saat kondisi surut purnama.

Kata Kunci : PLTU Teluk Sirih, Limbah Air Panas, Model Hidrodinamika

¹⁾Mahasiswa Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau

²⁾Dosen Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Riau

DISTRIBUTION OF HEAT WASTE IN TIDE ON THE PLTU AREA (THERMAL POWER STATION) SIRIH BAY, PADANG PROVINCE WEST SUMATERA

By

Teguh Cakra Al Hamda¹⁾, Mubarak²⁾, Musrifin Galib²⁾

Department of Marine Science, Faculty of Fisheries and Marine University of
Riau, Pekanbaru, Indonesia
cakraalhamda@gmail.com

ABSTRACT

The level of electricity usage needs continues to increase each year in line with increased economic growth. One of the technologies used in producing electricity is the PLTU (Thermal Power Station) where PLTU Teluk Sirih is the first PLTU in West Sumatra that has been operating since 2013 and has a capacity of 2x112 MW. The existence of a power plant in the waters of Sirih Bay is thought to affect the characteristics of these waters. This is because besides producing electricity, it also produces hot water waste from the process of absorbing hot steam that enters the coastal waters through the outlet channel. The purpose of this study was to determine the distribution process of hot water waste from PLTU Teluk Sirih at high tide and ebb with field data and hydrodynamic modeling of waters, as well as sea surface temperature observation data at 16 sampling points. Verification of field data and hydrodynamic models has a Root Mean Square Error (RMSE) value of 5.74% ($e = 0.015$). The pattern of ocean circulation in the waters of the Sirih Bay Coast is mainly controlled by the tidal force, where the flow pattern at the time of the tides goes northeast with some moving towards the southwest. Observations show the temperature of the waste of hot water in the outlets until the sea in front of them is recorded between 32 °c to 35 °c. Horizontally, the delusional zone of the waste heat reaches a radius of 500 m from the mouth of the outlet where the waste heat occurs more broadly during low tide conditions.

Keywords : PLTU Teluk Sirih, Heat Waste, Hydrodynamic Model

¹⁾Student Faculty of Fisheries and Marine University of Riau, Pekanbaru

²⁾Lecturer Faculty of Fisheries and Marine University of Riau, Pekanbaru

PENDAHULUAN

Tingkat kebutuhan pemakaian listrik setiap tahunnya terus mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi. Pembangkit listrik merupakan salah satu teknologi untuk pemenuhan kebutuhan energi bagi manusia. Energi listrik yang dihasilkan berasal dari berbagai sumber energi. Salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga uap. PLTU adalah suatu sistem pembangkit termal dengan menggunakan air sebagai cairan kerjanya, yaitu dengan memanfaatkan energi kinetik uap untuk menggerakkan poros sudu-sudu turbin (Kurniawan, 2013).

PLTU Teluk Sirih adalah suatu pusat pembangkit tenaga listrik dengan kapasitas terpasang 2 x 112 megawatt yang menggunakan uap sebagai penggerak utama turbin guna menghasilkan tenaga listrik. PLTU Teluk sirih merupakan, pembangkit listrik pertama di Sumatra barat yang beroperasi sejak 2013. Sistem PLTU ini bekerja dengan menggunakan air laut sebagai cairan kerja. Air laut diubah menjadi uap di boiler (ketel uap) dan keluar dari turbin, kemudian uap dimasukkan ke kondensor (mesin pengembun) dengan pendingin berasal dari air laut sehingga mencair kembali. Buangan air pendingin berupa air panas ini dikeluarkan melalui *outlet* menuju kolam di sekitaran PLTU yang disebut "limbah air panas".

Limbah air panas yang keluar dari *outlet* akan menyebar dan bercampur dengan air laut di sekitarnya yang dipengaruhi oleh proses hidrodinamika. Limbah air panas ini mengakibatkan perubahan suhu laut yang berdampak pada proses-proses fotosintesis, respirasi aerobik dan pertumbuhan, reproduksi, metabolisme dan kematian dari suatu organisme. Jika suhu meningkat atau turun jauh diluar batas ambang yang diberikan dari suatu spesies seperti ikan, *insecta*, bentuk invertebrata, zooplankton, phytoplankton dan mikroba, maka kemampuan untuk bertahan hidup sangat diragukan.

Secara umum pada kawasan semi tertutup seperti teluk, arus pasang surut merupakan faktor utama dalam proses perpindahan massa air. Selain pengaruh dari pasang surut, gesekan dasar perairan, interaksi antara atmosfer dan permukaan laut, serta variasi topografi di suatu perairan memiliki peran penting dalam mekanisme transport diarea pesisir. Dengan mengetahui pengaruh pasang surut terhadap sebaran limbah di perairan Teluk Sirih merupakan langkah awal untuk memprediksi dampak limbah air panas terhadap perairan di sekitarnya baik terhadap ekosistem maupun biota.

Studi sebaran limbah air panas PLTU Teluk Sirih dilakukan untuk mengkaji dan memahami distribusi limbah air panas yang keluar dari *outlet*. Sebaran limbah air panas dapat dilihat dari hasil skenario model baik pada saat pasang ataupun pada saat surut.

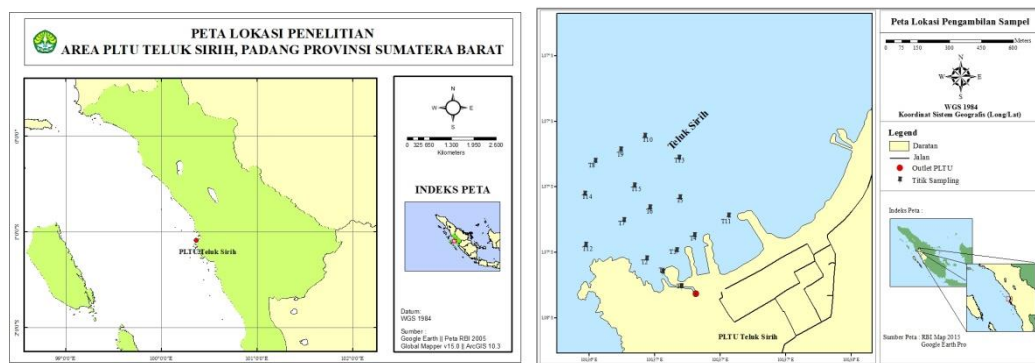
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2019 di PLTU Teluk Sirih Padang Provinsi Sumatera Barat. Materi yang digunakan meliputi data sekunder dan data sekunder. Data Primer yang digunakan yaitu pengambilan data suhu, ph, salinitas yang di lakukan pada saat perbani dan purnama serta data real pasang surut pada waktu peliputan 5 – 20 Oktober 2019 yang diambil dari web *IOC sea*

level monitoring. Sedangkan data sekunder yaitu data batimetri, prediksi pasut, data garis pantai dan data arus dari LRSDKP Padang. Metode yang digunakan dalam pengolahan data ini adalah metode *survey* dengan lokasi pengamatan dan pengukuran lapangan di perairan yang data lapangan tersebut akan diolah terlebih dahulu untuk mendapatkan data hasil pengukuran. selanjutnya data akan disajikan dalam bentuk gambar, grafik dan dibahas secara deskriptif berdasarkan dari referensi yang didapatkan.

Penentuan Stasiun

Penentuan stasiun ditetapkan seara *purposive sampling* dengan menetapkan 16 titik stasiun (Gambar 1). Penetapan ini didasarkan penentuan kemana arah buangan ini sampai kembali kesuhu normal perairan laut dari buangan awal (*outlet*) limbah air panas berdasarkan jarak sampai 1000 m. Penentuan koordinat dilakukan dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS) yang berpedoman pada citra *Google Earth*. Selain itu, penentuan stasiun juga menyesuaikan dengan kondisi lapangan.



Gambar 1. Peta Lokasi dan Titik Sampling Penelitian

Pengukuran Parameter Oseanografi

Parameter perairan yang diukur meliputi suhu perairan, pH perairan dan salinitas perairan. Tujuan dilakukan pengukuran oseanografi perairan untuk menggambarkan kondisi perairan saat penelitian berlangsung dan sebagai gambaran faktor-faktor yang berhubungan dengan sebaran limbah buangan air panas di sekitaran perairan teluk sirih.

Pengolahan Data Arus Laut

Dari pengolahan data arus yang ada di perairan Teluk Bungus didapatkan beberapa hasil pengolahan yang berupa profil vertikal arus yang menentukan arah arus dominan dalam suatu perairan yang mana perairan Teluk Sirih merupakan bagian dari perairan Teluk Bungus. Data ini didapatkan di LRSDKP Padang.

Pengolahan Data Model Arus Laut

1. Pra-Pengolahan Model

Data yang digunakan adalah garis pantai hasil digitasi garis pada *Software Google Earth* tahun 2019 yang diproses dengan *ArcMap 10.4* dan *Software Surfer 15*, batimetri Teluk Sirih yang bersumber pada pengolahan MIKE C-MAP, dan data pasang surut perairan sebagai hasil prediksi oleh *MIKE toolbox*.

Analisis dan interpretasi data model terdiri dari: membuat batas area (*mesh boundary*), *time series* dan *point series*. Batasan area dibuat berdasarkan luas wilayah kajian dengan memasukkan data garis pantai dan data batimetri perairan.

Selanjutnya, *time series* merupakan hasil dari prediksi elevasi pasang surut untuk membuat model arus laut, sedangkan *point series* merupakan hasil olahan model yang menampilkan data pasang surut, kecepatan arus dan arah arus yang digunakan untuk melakukan verifikasi model dengan data hasil pengukuran lapangan.

2. Pengolahan Model

Model arus laut dibuat secara dua dimensi dengan menampilkan arah dan kecepatan arus perairan Teluk Sirih selama 15 hari (5 Oktober – 19 Oktober). Secara umum, hasil model arus perairan Teluk Sirih dipetakan dalam empat kondisi ekstim pasang surut (pasang surut purnama dan pasang surut perbani) menggunakan *software ArcMap* dengan menggunakan interpolasi menggunakan metode IDW (*Inverse Distance Weighted*).

3. Verifikasi Model

Verifikasi merupakan langkah dalam menganalisis hasil model. Verifikasi dilakukan dengan membandingkan data hasil model dengan data pasang surut. Dimana data pasang surut dilakukan sendiri dan mengambil data real time pasang surut di web *IOC sea level monitoring* dan Verifikasi dilakukan dengan teknik analisis validasi silang atau Cross validation analysis yaitu membagi data *training* dan data *testing* secara berurutan (Wilks, 2006). Tingkat *error* dapat dihitung menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) dengan rumus sebagai berikut:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum(o-b)^2}}{n}$$

Dimana :

o = Data Observasi

b = Data Model

n = Jumlah Data

Pemetaan Hasil Model

Digitasi daratan dilakukan dengan menggunakan digitasi *polygon* menggunakan *software Google Earth Pro*. Digitasi daratan diperlukan untuk membuat peta dengan *software ArcMap* sehingga memudahkan untuk menginterpretasikan hasil model.

Pemetaan Suhu Perairan

Setelah mendapatkan data Primer dari limbah air panas buangan tersebut data diolah terlebih dahulu di *Ms.Excel*. Digitasi daratan dilakukan dengan menggunakan digitasi *polygon* menggunakan *software Google Earth Pro*. Digitasi daratan diperlukan untuk membuat peta dengan *software ArcMap* sehingga memudahkan untuk menginterpretasikan Suhu Perairan. Suhu perairan di 16 titik pengambilan data selanjutnya diinterpolasi dengan metode *Kriging*. Setelah interpolasi, data kecepatan arus dari hasil pemodelan di masukkan untuk menyesuaikan arah arus dan suhu permukaan dari buangan limbah panas ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kedaaan Umum Lokasi Penelitian

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Teluk Sirih terletak di desa Teluk Sirih Kecamatan Bungus Teluk Kabung Kota Padang Provinsi Sumatera Barat. Secara geografis, PLTU Teluk Sirih berada pada koordinat 1-04'-23" LS dan 100-

22'-28" BT. Letak geografis PLTU Teluk Sirih berada di ujung Teluk kabung yang sangat dekat dengan perairan lepas Selat Mentawai dipenghujung teluk. Kondisi perairan PLTU Teluk Sirih sering tenang dan terkadang berubah dengan arus yang kuat dengan kolam pelabuhan yang sangat dalam karena tempat berlabuhnya kapal pengangkut batubara untuk kegiatan PLTU. Keadaan cuaca secara umum sama dengan cuaca disekeliling equator, angin beraturan, dan curah hujan yang cukup tinggi menurut pengamatan selama di lapangan.

Jarak dari PLTU Teluk Sirih dengan pusat Kota Padang sekitar 33,2 km dan 57 km dari Bandara Internasional Minangkabau (BIM). Keberadaan PLTU Teluk Sirih di Kota Padang juga sangat membantu untuk menopang kebutuhan akan listrik di provinsi Sumatera Barat baik dalam bidang wisata, ekonomi dan industri.

Pemodelan dan Verifikasi model Arus laut

Berdasarkan perbandingan antara pengamatan elevasi muka air laut di lapangan dengan hasil model diperoleh nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 5,74%. Menurut Chormanski *et al.*, (2009) nilai RMSE < 40 % menandakan bahwa model menghasilkan simulasi hidrodinamika yang baik berdasarkan syarat batas model yang telah dibuat. Hasil verifikasi disajikan dalam grafik pada Gambar 3.

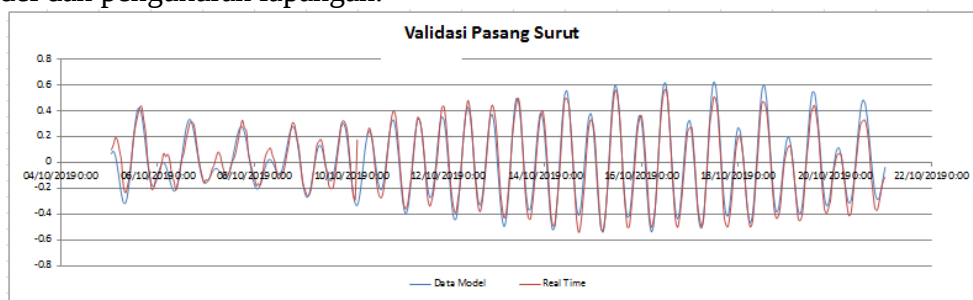
Secara umum, hasil verifikasi pasang surut (Gambar 5) menunjukkan kesesuaian yang cukup baik, dimana tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara data hasil model dan hasil pengukuran lapangan. Perhitungan nilai *error* yang dilakukan menunjukkan nilai RMSE (%) sebesar 5,74%.

Pola dari grafik pasang surut menunjukkan pola yang menyerupai antara hasil model dan pengukuran lapang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Perbedaan nilai pasang surut tertinggi antara hasil model dan hasil simulasi sebesar 0,015 meter serta nilai pasang surut dari hasil simulasi model cenderung lebih tinggi dari pada hasil pengukuran lapang.

Tipe pasang surut di sekitar perairan Teluk Bungus adalah campuran condong harian ganda (Tanto *et al*, 2016). Teluk Sirih merupakan bagian dari kawasan Teluk Bungus yang memiliki kondisi pasang surut yang sama.

Nilai RMSE atau nilai *error* dari hasil pengukuran lapangan dan hasil simulasi model sebesar ($e = 0,015$). Hal tersebut menunjukkan bahwa selisih nilai elevasi muka laut dari pengukuran lapangan dan simulasi model sebesar 0,015 m. Nilai dari RMSE yang ditampilkan menunjukkan bahwa sedikit terjadinya *error*.

Gambar 2 menunjukkan bahwa secara umum hasil model memiliki pola yang sama dengan pengukuran lapangan walaupun terdapat perbedaan nilai elevasi. Perbedaan ini diduga disebabkan oleh perbedaan kondisi batimetri hasil model dan pengukuran lapangan.



Gambar 2. Verifikasi Muka Air Laut

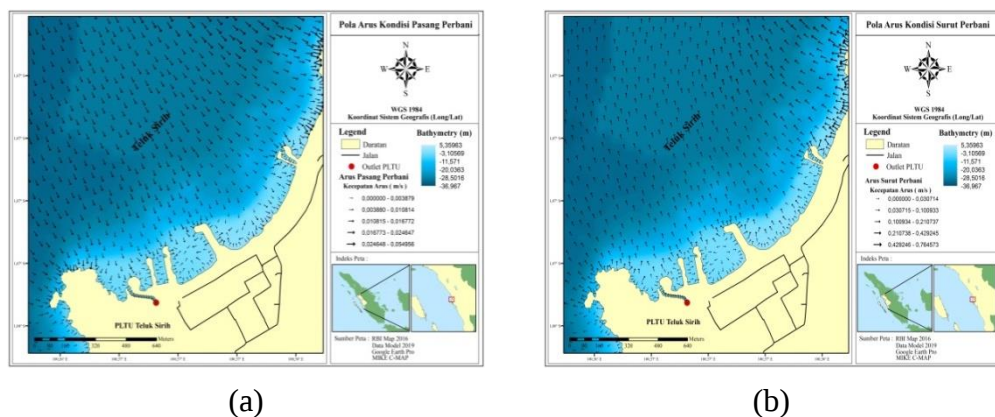
Hasil model numerik MIKE 21 modul *fm* ditampilkan dalam empat kondisi ekstrim pasang surut yang menunjukkan bahwa terdapat perbedaan arah dan kecepatan arus di perairan Teluk Sirih yaitu pada saat pasang perbani, surut perbani, pasang purnama dan surut purnama yang di sajikan pada Gambar 4.

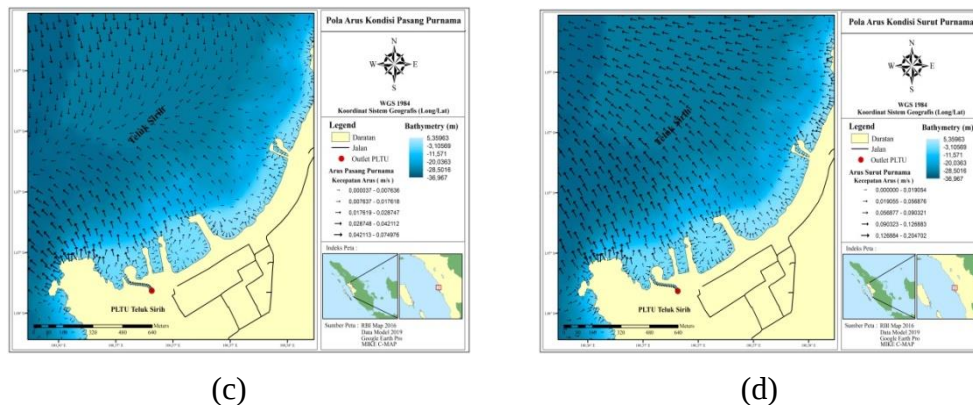
Kecepatan arus selama empat periode pasang surut masih rendah hal ini ditunjukkan dengan kecepatan arus tertinggi terjadi pada surut perbani dengan kecepatan 0,03-0,76 m/s dibanding kondisi pasang perbani dengan kecepatan arus berkisar 0,003-0,05 m/s. Sedangkan untuk kondisi pasang purnama kecepatan arus berkisar 0,007-0,075 m/s dan 0,01-0,2 m/s pada kondisi surut purnama (Gambar 3). Pelling *et al.*, (2013) menginformasikan bahwa perubahan kondisi batimetri menyebabkan perubahan elevasi muka air laut dan berpengaruh terhadap kecepatan arus pasang surut. Pada umumnya kecepatan arus di perairan Teluk Sirih tidak begitu kuat, hal ini di jelaskan oleh menurut Nugroho dan Anugroho (2007) meyakini bahwa pola arus di Teluk Bungus tergolong arus lemah karena sudah banyak terdeformasi dibagian mulut teluk, sehingga mekanisme transport yang terjadi menjadi kecil dan menimbulkan pendangkalan di beberapa wilayah Teluk Bungus yang mana Teluk Sirih sendiri merupakan bagian dari Teluk Bungus.

Pola pasang surut di Teluk Sirih yang dihasilkan dari simulasi model dominan dipengaruhi oleh pasang dan surut. Hal tersebut dilihat dari pola arus yang bergerak menuju daratan pada saat pasang dan pola arus yang bergerak menuju laut pada saat surut. Di perairan teluk, pembangkitan arus didominasi oleh gaya pasang surut, sehingga di wilayah tersebut didominasi oleh arus pasut, terutama dibagian muara sungai yang dapat terlihat jelas pengaruh arus pasang surutnya. (Wisha *et al.*, 2015)

Jika dilihat pada empat kondisi pasut kecepatan arus pada perairan Teluk Sirih lebih merata di kecepatan 0,2 m/s pada kondisi surut purnama yang mendominasi perairan Teluk Sirih. Berbeda halnya dengan pada saat surut perbani yang kecepatan tertingginya mencapai 0,76 m/s namun kecepatan arus yang terjadi di perairan Teluk Sirih dominan hanya berkisar antara 0,03 – 0,1 m/s.

Berdasarkan hasil model yang di peroleh dapat dilihat bahwa pada setiap kondisi pasang surut, kecepatan arus tertinggi berada pada bagaian timur laut Teluk Sirih. Menurut Sidauruk (2015) bahwa perbedaan nilai kecepatan yang dihasilkan dari kedua kondisi pasut utama tersebut disebabkan karena adanya perbedaan interval elevasi pasut yang besar yang terjadi pada kondisi purnama maupun pada kondisi perbani, dimana interval elevasi yang besar akan menciptakan arus yang lebih kuat dibanding kondisi sebelumnya.

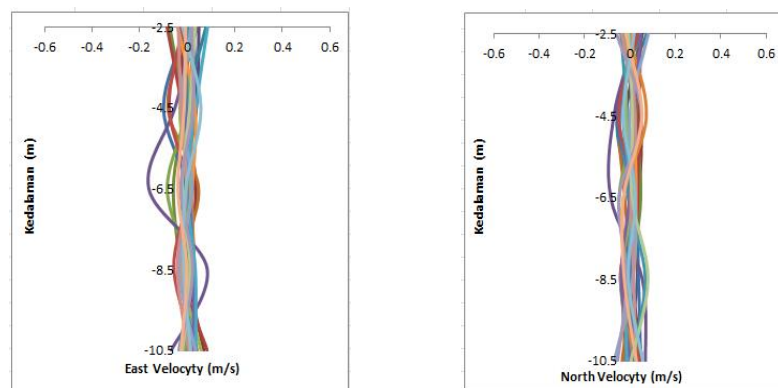




(c) (d)
Gambar 3. Pola Arus Laut dalam Empat Kondisi Esktrim Pasang Surut: (a) Pasang Perbani; (b) Surut Perbani; (c) Pasang Purnama; (d) Surut Purnama

Arus Laut

Teluk Sirih yang juga termasuk kedalam Teluk Bungus memiliki keriteria arus yang tidak berbeda jauh dengan kondisi perairan Teluk Bungus. Profil vertikal arus menggambarkan kondisi arus pada tiap kedalaman di perairan Teluk Sirih (Gambar 2). Arus di Teluk Sirih bergerak secara tidak teratur terutama di kedalaman 6,5 m, dapat dilihat bahwa gerakan arus dari kedalaman 2,5 – 10,5 m. Pergerakan arus dari kedalaman 10,5 m yang semakin kepermukaan semakin tidak beraturan. Ini disebabkan karena beberapa faktor seperti angin, gaya *coriolis*, temperatur dan kadar garam.



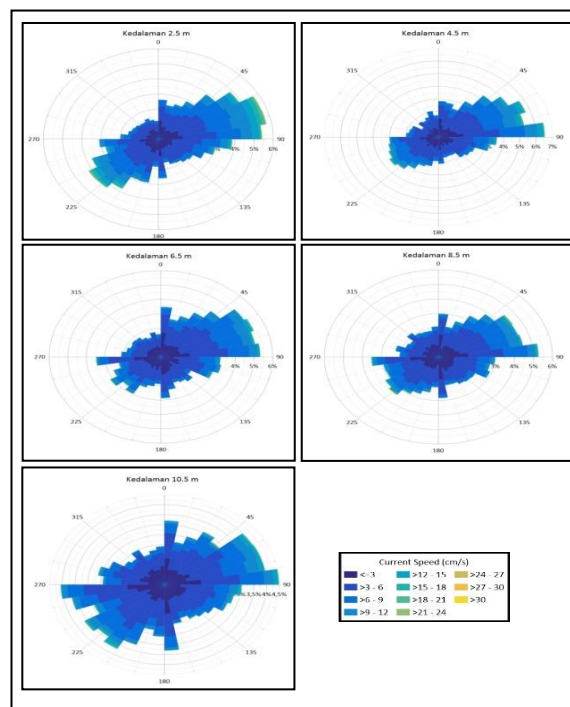
Gambar 4. (a) Profil Vertikal Arus U (timur-barat) (b) Profil Vertikal Arus V (utara-selatan)

Gambar 4 menggambarkan bahwa arus di Teluk Sirih bergerak secara tidak teratur di setiap kedalamannya. Dapat dilihat bahwa gerakan arus pada profil vertikal arus dari kedalaman 10,5 – 2,5 m yang semakin kepermukaan pergerakan semakin tidak beraturan. ini disebabkan karena adanya beberapa faktor seperti gaya *coriolis*, temperatur.

Arus di Teluk Sirih bergerak secara tidak teratur terutama di kedalaman 6,5 m, dapat dilihat bahwa gerakan arus dari kedalaman 2,5 – 10,5 m (Gambar 2). Pergerakan arus dari kedalaman 10,5 m yang semakin kepermukaan semakin tidak beraturan. Ini disebabkan karena beberapa faktor seperti, gaya *coriolis*, temperatur. Bernawis (2000) menjelaskan tenaga angin memberikan pengaruh terhadap arus permukaan sekitar 2 % dari kecepatan angin itu sendiri.

Selanjutnya berdasarkan pengukuran dilapangan arah arus di perairan Teluk Sirih lebih didominasi ke arah timur laut dan barat daya perairan (Gambar 5). *Current Rose* menggambarkan arah dan kecepatan arus yang berbeda pada tiap kedalaman diperairan Teluk Sirih.

Pada Gambar 5, kondisi perkedalaman memiliki perbedaan kecepatan arus. Dimulai pada kedalaman 10,5 m kecepatan arus >21-24 cm/s yang mengarah ke timur dan barat daya. Sedangkan pada kedalaman 2,5 m kecepatan lebih condong mengarah ke timur laut dan barat daya dengan kecepatan mencapai >21-24 cm/s. Arah arus yang dominan pada garfik tersebut yaitu bergerak kearah timur laut dengan sebagian bergerak ke arah barat daya. Hal tersebut bisa terjadi karena faktor dari keadaan angin yang pada periode tersebut adalah angin Musim Barat berhembus dari bulan Oktober – Februari (Wisha *et al.*, 2015). Menurut Tanto *et al.* (2016) menyatakan bahwa *Drift Current* dipermukaan dipengaruhi oleh kondisi angin muson dan menyebabkan pengangkutan partikel tersuspensi yang tinggi di wilayah Teluk Bungus.



Gambar 5. *Current Rose* perkedalaman perairan

Sebaran Limbah Panas

Interaksi antara permukaan air laut dan atmosfer dapat mempengaruhi pergerakan massa air. Selain itu, interaksi antara atmosfer dan permukaan air mempengaruhi dari sebaran limbah air panas, seperti adanya proses radiasi, evaporasi, dan konduksi antara permukaan laut dan atmosfer (Ji, Zhen-Gang 2008). Sebaran limbah air panas membuat pola sebaran panas yang keluar dari *outlet*. Nilai suhu tertinggi di *outlet* yang mempunyai nilai sebesar 35°C.

Warna pada Gambar 6 menunjukan tinggi rendahnya suhu perairan Laut Teluk Sirih yang dipengaruhi dari sebaran limbah air panas. Skala warna suhu yang menunjukan warna merah tua menunjukan interval nilai suhu sebesar 34°C sampai 35°C. Suhu dengan interval 32°C sampai 33°C ditunjukan oleh gradasi

warna kuning muda menuju warna *orange* dan suhu dengan interval 28°C sampai 31°C ditunjukkan dari gradasi warna biru menuju warna kuning. terdapat vektor yang mewakili kecepatan arus disekitar perairan. Vektor dari nilai kecepatan arus tertinggi sebesar 0,2 m/s yang terdapat di sekitar mulut outlet, sedangkan rata-rata kecepatan arus di sekitar perairan sebesar 0,35 m/s. Nilai kecepatan arus yang tertinggi disebabkan oleh arus dari *outlet* yang membawa limbah air panas. Penurunan dan pencampuran kecepatan arus di *outlet* terhadap arus lingkungan sebanding dengan limbah air panas yang akan mengalami penurunan nilai suhu dan menyebar mengikuti pola pergerakan arus. Pola sebaran limbah air panas mengikuti pola pergerakan arus yang dipengaruhi oleh pasang surut.

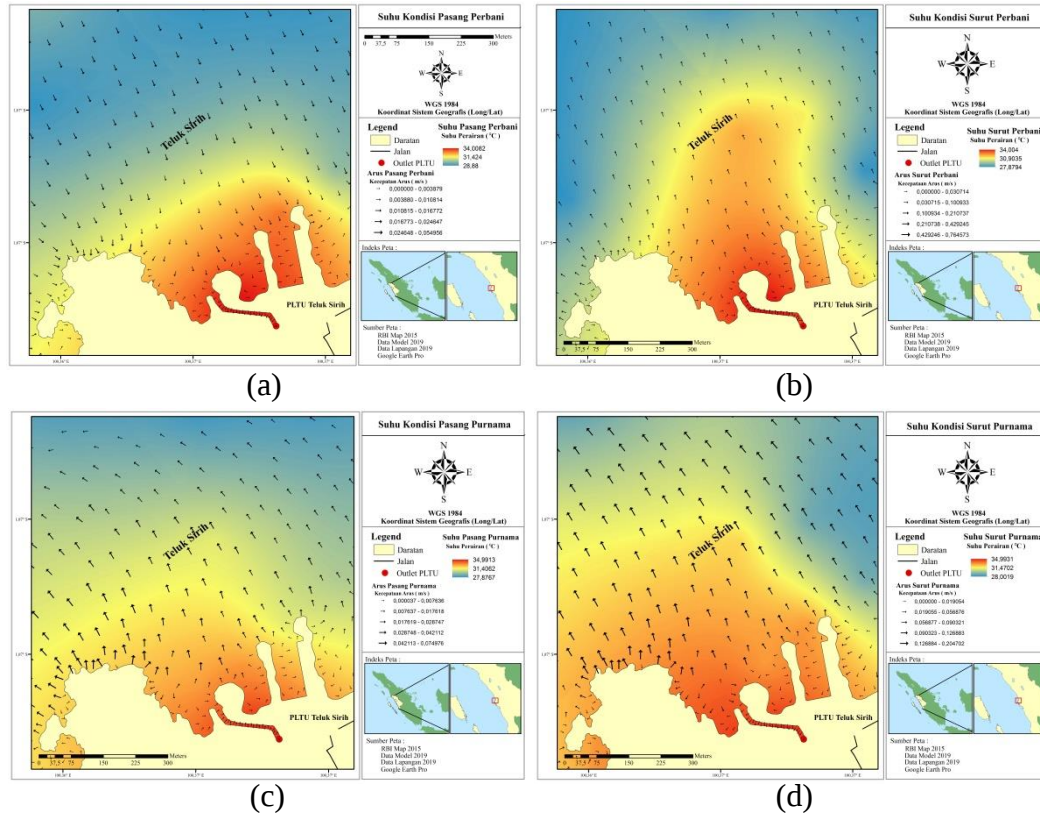
Pengukuran lapangan selama empat kondisi pasang surut, suhu permukaan laut tertinggi terletak pada kondisi surut purnama. Kecepatan rata-rata arus surut 0,2 m/s (Gambar 7) menyebabkan sebaran suhu permukaan menyebar sejauh radius 500 m, sesuai dengan pernyataan Nondji (2007) bahwa pergerakan arus adalah pergerakan mengalir suatu massa air, sehingga persebaran suhu permukaan laut juga terpengaruhi oleh arus, baik arus pasut maupun arus non pasut. Pada kondisi surut purnama suhu permukaan perairan yang berkisar 32 – 35°C lebih mengarah ke barat daya PLTU Teluk sirih. Sesuai dengan Arah arus yang dominan pada garfik *current rose* pada gambar 5 yaitu bergerak ke arah timur laut dengan sebagian bergerak ke arah barat daya. Hal tersebut bisa terjadi karena faktor dari keadaan angin yang pada periode tersebut adalah angin Musim Barat berhembus dari bulan Oktober – Februari (Wisha *et al.*, 2015).

Persebaran suhu mengalami persebaran dan penurunan secara konveksi dengan suhu tertinggi 35 °C dan suhu terendah 32 °C dikarenakan oleh pengaruh kedalaman perairan dan pencampuran suhu rata-rata perairan Teluk Sirih. Dalam profil vertikal arus, Arus di Teluk Sirih bergerak secara tidak teratur terutama di kedalaman 6,5 m, dapat dilihat bahwa gerakan arus dari kedalaman 2,5 – 10,5 m (Gambar 4). Pergerakan arus dari kedalaman 10,5 m yang semakin ke permukaan semakin tidak beraturan. Ini disebabkan karena beberapa faktor seperti, gaya *coriolis*, temperatur. Hal ini dijelaskan juga oleh Bernawis (2000), menurut letaknya arus terbagi atas dua yaitu arus atas dan arus bawah. Tenaga angin memberikan pengaruh terhadap arus permukaan sekitar 2 % dari kecepatan angin itu sendiri..

Nilai kecepatan arus yang tertinggi disebabkan oleh arus dari *outlet* yang membawa limbah air panas. Penurunan dan pencampuran kecepatan arus di *outlet* terhadap arus lingkungan sebanding dengan limbah air panas yang akan mengalami penurunan nilai suhu dan menyebar mengikuti pola pergerakan arus. Pola sebaran limbah air panas mengikuti pola pergerakan arus yang dipengaruhi oleh pasang surut.

Proses transport hidrodinamik memiliki peran penting dalam fenomena pergerakan air laut. Terdapat beberapa proses transport hidrodinamik, diantaranya adveksi, dispersi, pencampuran secara vertikal, dan konveksi. Proses adveksi dan dispersi merupakan proses utama dari material atau massa air terlarut yang berpindah dan terdistribusikan di sekitar pesisir ataupun estuari (Ji 2008). Limbah air panas yang keluar dari outlet dan tersebar secara horizontal menuju lingkungan tanpa mengurangi nilai suhu merupakan proses dari adveksi.

Sedangkan terjadinya penurunan nilai suhu di sekitar *outlet* merupakan proses dari difusi. Pada saat pasang terjadi masukan air laut yang masuk menuju



Hasil pengambilan data lapangan di perairan Teluk Sirih menunjukan

Pada kondisi pasang perbani suhu yang tinggi hanya berada stasiun T0, T1, T2, T3, dan T4 yang mana suhunya berkisar antara 32-34°C. Dengan kecepatan arus 0,003-0,05, suhu permukaan perairan lebih ke arah Timur dengan radius 250 m. Begitu pula pada saat pasang purnama suhu di stasiun T0, T1, T2 dan T3 memiliki suhu 32-35°C dimana pada saat pasang purnama ini kecepatan arus berkisar antara 0,007-0,075 m/s dengan radius suhu hanya 250 m mengarah ke Barat dan kembali normal untuk suhu di stasiun lainnya. Menurut Fikri (2018) Pada saat pasang sebaran suhu seperti termampatkan di sekitar outlet, sehingga memiliki luasan sebaran suhu yang kecil. Hal tersebut dipengaruhi oleh perambatan arus menuju darat pada saat pasang.

Pada kondisi surut perbani tanggal 8 Oktober 2019 pukul 12.20 – 13.19 WIB, didapatkan suhu outlet PLTU Teluk Sirih mencapai angka 34⁰C dengan jarak pengambilan 100 m dari mulut buangan limbah air panas. Setelah itu pengambilan data suhu dilakukan pada jarak 170 m di stasiun T1 dengan suhu masih 34⁰C, mengalami perubahan suhu di jarak 250 m dari buangan awalnya yaitu suhu 33⁰C pada stasiun T2 dan T3. Tapi berbeda dengan jarak 250 m pada T4 yang pada saat surut perbani memiliki suhu yang rendah yaitu 31⁰C hal ini bisa didasarkan kepada kondisi surut yang terjadi di perairan, dikarenakan pada saat tersebut kecepatan arus mengarah lurus ke arah utara Teluk Sirih dan tidak lagi mengarah ke bagian timur perairan. Hal ini didukung dengan suhu perairan yang ada di stasiun lain yaitu pada stasiun T6 yang memiliki suhu 32⁰C dengan radius 500 m.

Pada saat surut purnama suhu perairan berkisar antara 28 – 31⁰C terjadi di jarak melebihi 500 m. Pada saat kondisi ini suhu permukaan sedikit meluas dikarenakan surut purnama dan mengarah ke barat daya Teluk Sirih. Pada stasiun T12 dan T6 memiliki suhu 32⁰C. Kecepatan arus yang dominan yaitu 0,12-0,20 m/s membuat jarak sebaran menjadi lebih jauh lagi, menurut Sidauruk (2015) bahwa perbedaan nilai kecepatan yang dihasilkan dari kedua kondisi pasut utama tersebut disebabkan karena adanya perbedaan interval elevasi pasut yang besar yang terjadi pada kondisi purnama maupun pada kondisi perbani, dimana interval elevasi yang besar akan menghasilkan arus yang lebih kuat dibanding kondisi sebelumnya.

Parameter Oseanografi PLTU

Tabel 5 menampilkan statistik deskriptif dari data kualitas perairan yang menunjukkan rata-rata suhu tertinggi perairan terjadi pada saat surut purnama yaitu 31,18 ⁰C dengan suhu berkisar antara 28-35 ⁰C. Pemanfaatan Teluk Sirih sebagai daerah PLTU menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kondisi perairan Teluk Sirih. Kondisi ini dapat dilihat dari data yang di dapat di lapangan menunjukkan peningkatan kondisi perairan baik suhu, pH, dan juga salinitas. Penelitian sebelumnya yang dilakukan langsung oleh PLTU Teluk Sirih tahun 2017 menyampaikan suhu dari buangan limbah hingga sampai ke laut lepas berkisar antara 30-32⁰C sedangkan pada saat sekarang ini suhu permukaan perairan berkisar antara 28-35⁰C. Menurut Kurniawan (2008) Semakin tinggi temperatur dan salinitas perairan maka semakin kecil kelarutan O₂ dalam air.

Kondisi pH perairan Teluk Sirih sendiri memiliki rata – rata tingkat asam basa tertinggi terjadi pada kondisi pasang purnama yaitu 7,96 yang mana pH berkisar antara 7,87 – 8,00. Perairan dengan kisaran pH antara 7 - 8,5 merupakan daerah yang potensial sebagai tempat budidaya dan rekreasi, sedangkan untuk kepentingan terumbu karang nilai pH berkisar antara 6-9 (Edward dan Tarigan, 2003).

Tidak berbeda jauh dengan statistik deskriptif untuk parameter salinitas memiliki rata – rata tingkat kadar garam tertinggi terjadi pada kondisi pasang purnama yaitu 32,69 ‰ dengan salinitas berkisar antara 31-34 ‰ di 16 titik pengambilan data. Pada umumnya nilai salinitas wilayah laut Indonesia berkisar antara 28-33 ‰ (Nontji, 2002). Menurut Eliza (1992), bahwa salinitas yang ideal untuk pertumbuhan dan perkembangan karang juga berkisar antara 25-40 ‰. Hal ini menjelaskan bahwa perairan di Teluk Sirih masih tergolong dalam kondisi aman. Namun akibat suhu yang tinggi sudah terlihat alga disekitar *outlet*.

Pengambilan data dilakukan dari pukul 07.18 – 13.19 pada tanggal 8 Oktober 2019 dan 09.53 – 16.06 WIB pada tanggal 16 Oktober 2019 dengan keadaan perairan Teluk Sirih pada umumnya berawan dan sedikit sinaran matahari.

Statistik Deskriptif Untuk Parameter Suhu						
No	Kondisi Pasut	Rata Rata	Min	Max	Modus	Standar Deviasi
1	Pasang Perbani	30.87	29	34	29	1.927865832
2	Surut Perbani	30.25	28	34	28	2.29492193
3	Pasang Purnama	30.56	28	35	28	2.279437065
4	Surut Purnama	31.18	28	35	29	2.227666941
Statistik Deskriptif Untuk Parameter Ph						
No	Kondisi Pasut	Rata Rata	Min	Max	Modus	Standar Deviasi
1	Pasang Perbani	7.85	7.77	8.00	7.83	0.053096261
2	Surut Perbani	7.88	7.67	8.03	7.8	0.106458129
3	Pasang Purnama	7.96	7.87	8.00	8	0.056437445
4	Surut Purnama	7.95	7.87	8.00	8	0.053054828
Statistik Deskriptif Untuk Parameter Salinitas						
No	Kondisi Pasut	Rata Rata	Min	Max	Modus	Standar Deviasi
1	Pasang Perbani	32.06	31.00	33.00	33.00	0.83416625
2	Surut Perbani	32.38	31.00	33.00	32	0.619139187
3	Pasang Purnama	32.69	31.00	34.00	33	0.87321246
4	Surut Purnama	31.72	30.00	34.00	31	1.210630001

KESIMPULAN DAN SARAN

Proses sebaran limbah yang terjadi di PLTU Teluk Sirih berpengaruh terhadap arus pasang surut, dengan suhu permukaan perairan yang tinggi bercampur dengan suhu limbah buangan air panas.

Arus ketika pasang mempengaruhi sebaran suhu di *outlet* PLTU, yang memiliki luasan sebaran suhu yang kecil. Dimana pada saat surut sebaran suhu menyebar dengan jauh dari mulut *outlet*, luasan sebaran suhu lebih luas terjadi akibat adanya dorongan dari arus lingkungan. Hal tersebut dipengaruhi oleh arus menuju laut, sehingga arah gerak limbah air panas selaras dengan arah gerak arus lingkungan pada kondisi surut, dimana Zona Delusi perairan Teluk Sirih terjauh berada di radius 500 m dari mulut *outlet* PLTU Teluk Sirih terjadi pada kondisi surut purnama yang dipengaruhi oleh arus pasang surut di perairan PLTU Teluk Sirih.

Penurunan kualitas lingkungan akibat buangan limbah air panas di PLTU Teluk Sirih meliputi pH dan salinitas yang masih terbilang aman. Namun peningkatan suhu yang terjadi akan berdampak buruk bagi distribusi oksigen di perairan Teluk Sirih.

Harapan selanjutnya perlu dilakukan monitoring dengan parameter pengukuran lapangan yang lebih lengkap untuk kepentingan data input model dan dilakukan secara rutin untuk mengetahui perubahan atau perbedaan dari setiap waktu. Peneliti diharapkan lebih memperdalam kondisi kimia dan biologi laut.

DAFTAR PUSTAKA

- Bernawis, L.I. 2000. Temperature and Pressure Responses on El-Nino 1997 and La- Nina 1998 in Lombok Strait. The JSPS-DGHE International Symposium on Fisheries Science in Tropical Area.
- Edward dan Tarigan Z.2003. Pemantauan kondisi hidrologi diperairan Raha P. Muna, Sulawesi Tenggara Dalam Kaitannya Dengan Kondisi Terumbu Karang. Makara, Sains, Vol. 7 (2): 73-82.
- Eliza, 1992. Dampak Pariwisata terhadap pertumbuhan terumbu karang. Lingkungan dan Pembangunan, 12(3): 150-170.
- Fikri, M.Y. 2018. Studi Sebaran Limbah Air Panas PLTU Paiton dari Observasi dan Pemodelan Numerik. Skripsi Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Ji Zhen-Gang. 2008. Hydrodynamics and Water Quality, Modeling Rivers, Lakes, and Estuaries. Canada : Permissions Department, John Wiley, and Sons.
- Kurniawan, G. 2008. Studi Ekologi Kista Dinoflagellata Spesies Penyebab HAB (*harmful algal bloom*) di Sedimen pada Perairan Teluk Jakarta. IPB: Bogor. Skripsi. Hal 23
- Kurniawan, F. 2013. Teknik dan Aplikasi Manajemen Perawatan Industri. Yougyakarta : Graha Ilmu.
- Nontji, A. 2002. Laut Nusantara. Penerbit Djambatan. Jakarta: 59-67.
- Nontji, A. 2007. Laut Nusantara. Djambatan. Jakarta.
- Nugroho, D. S., & Anugroho, A. (2007). Studi Pola Sirkulasi Arus Laut di Perairan Pantai Provinsi Sumatra Barat. Ilmu Kelautan. 12(2), 79-92.
- Pelling, H.E., K. Uehara dan A.M. Green. 2013. The Impact of Rapid Coastline Changes and Sea Level Rise on the Tide in the Bohai Sea, China. Journal of Geophysical Research 118 (7): 3462-3472.
- Sidauruk, P., D.N Sugianto, dan A. Ismanto. 2015. Analisis Sedimen Dasar Akibat Pengaruh Arus Sejajar Pantai (*Longshore Current*) di Perairan Makassar. Jurnal Oseanografi 4 (3): 563-569.
- Tanto, T.A., S. Husrin., U.J. Wisha.,A. Putra., R.K. Putri dan Ilham. 2016. Karakteristik Oseanografi Fisika (Batimetri, Pasang Surut, Gelombang Siknifikan dan Arus Laut) Perairan Teluk Bungus. Jurnal Kelautan 9 (2)
- Wilks, D.S. 2006. Statistical Methods in The Atmospheric Sciences. USA: Elsevir.
- Wisha, U.J., Husrin, S. dan Prihantono, J. 2015. Hydrodynamics Banten bay during transitional seasons (August-September). Ilmu Kelautan. 20(2):101-112. doi: 10.14710/ik.ijms.20.2.101-112.