

**PERUBAHAN SEBARAN LIMBAH AIR PANAS PT. PJB UP MUARA KARANG  
AKIBAT MASTERPLAN REKLAMASI  
CHANGES IN THE DISTRIBUTION OF HOT WATER WASTE AT PT. PJB UP MUARA KARANG  
DUE TO RECLAMATION MASTERPLAN**

**Alfath Islami<sup>1</sup>, Rudhy Akhwady<sup>2</sup>, Mauludiyah<sup>3</sup>**

<sup>1,3</sup> Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel, Jl. Jend. Ahmad Yani, No 117, Surabaya

<sup>2</sup> Pusat Riset Kelautan, Badan Riset dan Sumber Daya Manusia Kelautan Perikanan

\*Corresponden author email: [alfathislami@gmail.com](mailto:alfathislami@gmail.com)

Submitted: 07 July 2020 / Revised: 24 October 2020 / Accepted: 07 December 2020

<http://doi.org/10.21107/jk.v13i3.7823>

**ABSTRACT**

*The reclamation master plan in muara karang waters has the potential to influence the hydrodynamic conditions and the temperature distribution of the waters affected by the inclusion of hot water waste from the PT.PJB UP muara karang power plant activities. The purpose of this study is to determine changes in current patterns and the heat distribution of waste water from PT. PJB UP muara karang due to the reclamation master plan in muara karang waters, north Jakarta. this research uses hydrodynamic modeling. The hydrodynamic modelling is based on continuity and momentum equations. The model produced in this study is quite in accordance with field conditions with a relative error value less than 15%. the conditions of reclamation masterplan result the change of current patterns, especially around the intake canal where the current velocity decreased due to obstruction of water mass flow by islands g and h and the canal boundary on both. the changes of the current pattern inflicted the changes of distribution pattern of heat water waste in muara karang. Increased water temperatures due to the reclamation masterplan occur in the western and eastern areas with a difference in water temperature of 0.35°C - 1°C compared to post reclamation conditions. this is inversely proportional to the temperature in the area around the intake canal which is decreased with a temperature difference of -1°C to -3°C.*

**keyword:** Reclamation, Thermal dispersion, Modeling

**ABSTRAK**

*Rencana induk reklamasi di perairan Muara Karang berpotensi mempengaruhi kondisi hidrodinamika dan distribusi temperatur perairan yang dipengaruhi oleh masuknya limbah air panas dari kegiatan PLTU PT.PJB UP Muara Karang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan pola arus dan distribusi kalor air limbah dari PT. PJB UP Muara Karang karena adanya rencana induk reklamasi di Perairan Muara Karang, Jakarta Utara. Penelitian ini menggunakan pemodelan hidrodinamik. Pemodelan hidrodinamika didasarkan pada persamaan kontinuitas dan momentum. Model yang dihasilkan pada penelitian ini cukup sesuai dengan kondisi lapangan dengan nilai error relatif kurang dari 15%. Kondisi masterplan reklamasi mengakibatkan terjadinya perubahan pola arus terutama disekitar intake canal dimana kecepatan arus menurun akibat terhambatnya aliran massa air oleh pulau G dan H serta batas saluran pada keduanya. Perubahan pola arus tersebut menyebabkan terjadinya perubahan pola sebaran limbah air panas di Muara Karang. Peningkatan suhu air akibat masterplan reklamasi terjadi di wilayah barat dan timur dengan perbedaan suhu air 0,35oC - 1oC dibandingkan kondisi pasca reklamasi. Hal ini berbanding terbalik dengan temperatur di sekitar saluran intake yang mengalami penurunan dengan perbedaan temperatur -1oC sampai -3oC.*

**Kata Kunci:** Reklamasi; Sebaran Panas; Pemodelan

**PENDAHULUAN**

Masuknya limbah air panas dari kanal pendingin ke badan air laut akibat aktivitas pembangkit listrik tenaga termal PT. PJB UP Muara Karang tentu akan mempengaruhi sebaran suhu perairan Muara Karang. Mengacu pada Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 54 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut, perubahan suhu air laut tidak boleh lebih dari 2°C dari suhu lingkungan (Menteri Lingkungan Hidup, 2004), maka air buangan dari sistem pendingin PLTU harus dikelola terlebih dahulu untuk menurunkan suhunya sebelum dibuang kembali ke laut. Selanjutnya sebagaimana tercantum dalam masterplan reklamasi Teluk Jakarta, terdapat dua buah pulau reklamasi yang akan dibangun di wilayah perairan pesisir Muara Karang yaitu pulau G dan Pulau H. Pulau G berada di sisi Utara Muara Karang dan Pulau H di sisi Utara Tanjung Pluit. Kondisi tersebut tentu akan berpengaruh terhadap hidrodinamika dan sebaran suhu perairan pesisir Muara Karang.

Dalam aktivitas PLTU yang menggunakan air laut sebagai sumber air pendingin maka pembuangan limbah air panas dari proses pendinginan tersebut ke badan air laut sangat penting untuk memperhatikan pola sebaran panas yang terjadi agar tidak menimbulkan resirkulasi panas. Resirkulasi panas terjadi ketika ada kenaikan suhu di intake, kenaikan suhu ini akan mengurangi efisiensi sistem pendinginan, yang akhirnya mengurangi efisiensi PLTU (Wibowo, 2018).

Masuknya limbah air panas ke lingkungan laut tentunya akan berpengaruh terhadap kelestarian organisme dan ekosistemnya, sebagaimana disebutkan oleh Huboyo (2007) bahwa temperatur air yang lebih tinggi

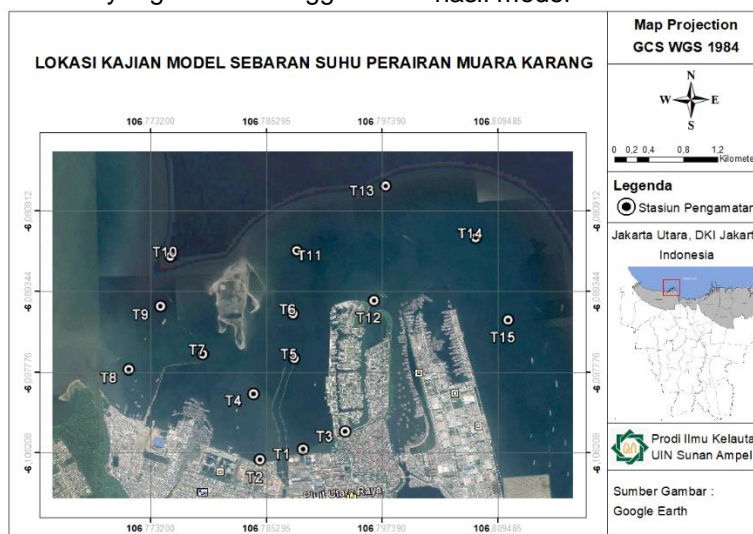
mengakibatkan peningkatan laju respirasi dan konsumsi oksigen oleh organisme perairan, sehingga lebih mudah terkena penyakit, parasit dan bahan kimia beracun. Lebih lanjut Shah (2017) menjelaskan bahwa meningkatnya temperatur lingkungan perairan akan berdampak pada konsentrasi oksigen terlarut yang kemudian akan berpengaruh pada kemampuan metabolisme, reproduksi, umur organisme perairan dan menghambat pertumbuhan ekosistem perairan.

Mengetahui hal tersebut, maka perlu dilakukan kajian terkait dampak masterplan reklamasi terhadap perubahan pola arus dan sebaran suhu perairan Muara Karang, sehingga akan diketahui zona perairan terpapar dan dapat dikaji upaya penanggulangannya guna meminimalisir dampak negatif yang ditimbulkan. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui perubahan pola arus dan sebaran panas limbah air panas kanal pendingin PT.PJB UP Muara Karang akibat kondisi masterplan reklamasi di Perairan Muara Karang, Jakarta Utara.

**METODE PENELITIAN**

**Penentuan Stasiun Penelitian**

Penelitian dilaksanakan di Perairan Pesisir Muara Karang, Jakarta Utara, Provinsi DKI Jakarta. Penelitian ini dibagi atas 15 stasiun (**Gambar 1**). Pembagian stasiun pengamatan dilakukan dengan cara Purposive sampling berdasarkan pada beberapa tempat berbeda yang berpotensi terpapar sebaran limbah air panas PT.PJB UP Muara Karang guna menggambarkan tingkat sebaran panas limbah di tiap stasiun. Selain itu hasil model sebaran panas juga divalidasi dengan data pengukuran lapangan sehingga akan diketahui korelasi hasil model



**Gambar 1.** Lokasi kajian dengan lima belas titik pengamatan

**Pemodelan Pola Arus dan Sebaran Limbah Air Panas**

Pemodelan hidrodinamika dilakukan dengan menggunakan persamaan momentum yang diintegrasikan dengan persamaan kontinuitas (DHI, 2014), sebagai berikut :

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial y} = f\bar{v}h - gh\frac{\partial\eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_o}\frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_o}\frac{\partial\rho}{\partial x} + \frac{\tau_{xx}}{\rho_o} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_o} - \frac{1}{\rho_o}\left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{xy}) + hu_s S \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial h\bar{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y} + \frac{\partial h\bar{v}\bar{u}}{\partial x} = -f\bar{u}h - gh\frac{\partial\eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_o}\frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_o}\frac{\partial\rho}{\partial y} + \frac{\tau_{xy}}{\rho_o} - \frac{\tau_{by}}{\rho_o} - \frac{1}{\rho_o}\left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(hT_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y}(hT_{yy}) + hv_s S \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

- t : time
- S : *magnitude of discharge*
- x, y : koordinat Kartesian
- ϕ : lintang geografis
- η : *surface elevation*
- g : percepatan gravitasi
- d : *still water depth*
- ρ : densitas

- h = η + d : *total water depth*
- ρ<sub>0</sub> : *reference density*
- v : komponen kecepatan
- u<sub>s</sub>, v<sub>s</sub> : *velocitas of discharge into ambient water arah x dan y*
- f = 2Ωsinϕ : parameter coriolis

Selanjutnya untuk thermal dispersion didasarkan pada persamaan adveksi – difusi yaitu :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} = F_T + \frac{\partial}{\partial z}\left(D_v\frac{\partial T}{\partial z}\right) + \hat{H} + T_s S \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

- t : waktu
- S : debit dari titik sumber
- x,y,z : koordinat kartesian
- T<sub>s</sub> : suhu sumber
- u,v,w : komponen kecepatan
- F<sub>T</sub> : difusi arah horizontal
- T : suhu
- H : suhu akibat panas dari atmosfer
- D<sub>v</sub> : koefisien dispersi vertikal
- h : kedalaman
- D<sub>h</sub> : koefisien dispersi horizontal

Pemodelan sebaran panas dilakukan dengan mengamati perbedaan dua musim, musim barat dan timur, sehingga diketahui model sebaran panas pada tiap - tiap musim. Temperatur ambient laut adalah 26°C pada musim barat dan 29°C musim timur. Data debit sungai karang, *Outlet* PLTU dan PLTGU yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Data Sungai Karang, Inlet dan Outlet PLTGU dan PLTU

No	Keterangan	Suhu (°C)		Debit (m <sup>3</sup> /s)	
		Maret	Juli	Maret	Juli
1	Inlet PLTGU	26	30.1	13.80	13.75
2	Inlet PLTU	26	29.7	18.67	18.67
3	Outlet PLTGU	33.2	32.4	13.80	13.75
4	Outlet PLTU	33.8	34.3	18.67	18.67
5	Sungai Karang (Setiawan, 2016)	-	-	10.88	10.88

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Distribusi Angin pada Musim Barat dan Timur**

Arus permukaan laut umumnya digerakan oleh tegangan angin yang bekerja pada permukaan laut. Angin cenderung mendorong lapisan air di permukaan laut searah dengan arah gerakan angin. namun adanya gaya Coriolis mengakibatkan arus tidak bergerak searah dengan arah angin tetapi dibelokkan ke arah

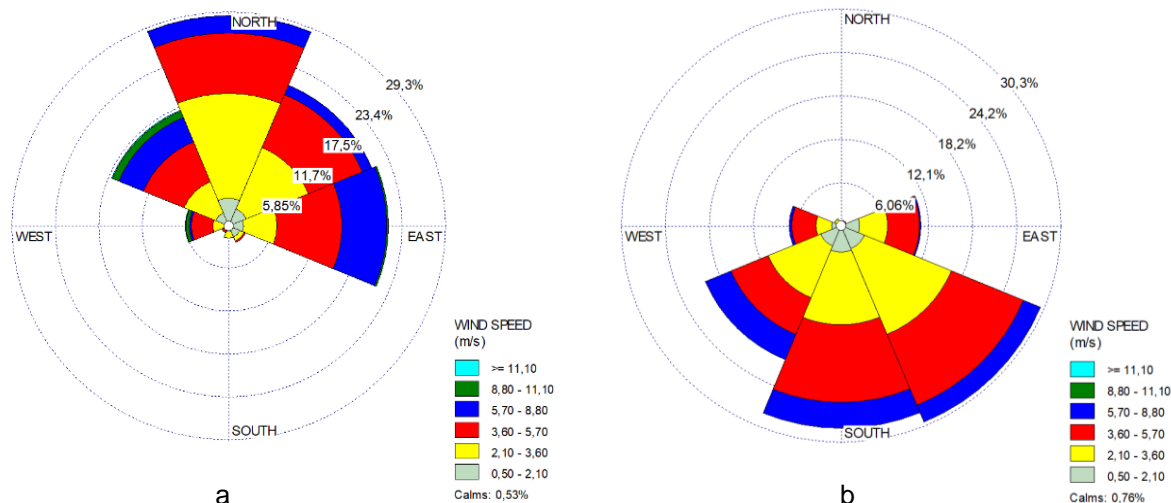
kanan di belahan bumi utara dan ke arah kiri di belahan bumi selatan. Arus yang dibangkitkan oleh angin kecepatannya berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman (Aziz, 2006)

Hasil pengolahan data angin pada lokasi penelitian selama kurang lebih 4 tahun terakhir (2014 – 2017) ditinjau pada musim barat dan musim timur di tampilkan dalam bentuk mawar angin pada **Gambar 2**. Diketahui kecepatan dan arah angin pada lokasi penelitian

bervariasi, yang selanjutnya dibagi pada enam range yaitu 0,5-2,1, 2,1-3,6, 3,6-5,7, 5,7-8,80, 8,80-11,0, dan  $\geq 11$ .

Pada musim barat arah angin dominan berasal dari arah Utara dengan frekuensinya mendekati 29,3%. Untuk angin dari timur didapatkan frekuensinya adalah 19%. Selanjutnya frekuensi angin yang berasal dari timur laut

adalah sebesar 17.5%. Pada angin musim timur (bulan juli, agustus, september) diketahui kecepatan angin tertinggi adalah 5,70 – 8,80 m/s. Arah angin dominan berasal dari arah tenggara dengan frekuensinya mendekati 30.3%. Dari arah selatan didapatkan frekuensi angin berkisar 28%, selanjutnya dari tenggara didapatkan frekuensi angin sebesar 15%.



Gambar 2. Windrose data angin teluk jakarta (a: musim barat, b: musim timur)

### Hasil Pengolahan Data Pasang Surut Teluk Jakarta

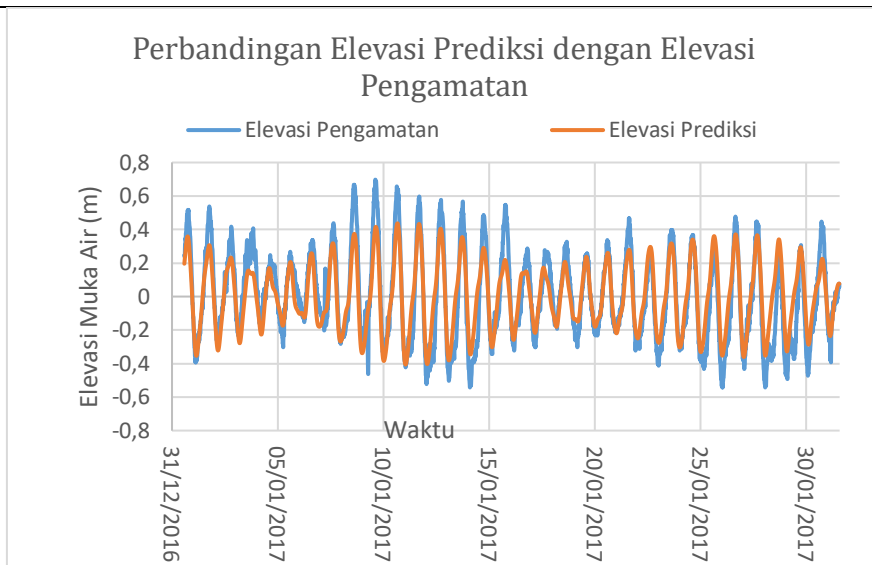
Pasang surut adalah fenomena naik turunnya muka laut secara berulang dengan periode tertentu akibat adanya gaya tarik benda-benda angkasa terutama matahari dan bulan terhadap massa air di bumi (Irawan *et al.*, 2018). Pola umum arus akibat pasang surut adalah bergerak satu arah pada kondisi pasang dan berputar ke arah sebaliknya pada kondisi surut. Arus pasang surut mencapai kecepatan maksimum di pertengahan antara pasang tertinggi dan surut terendah. Sedangkan kecepatan minimumnya atau yang biasa disebut *Slack Water* terjadi ketika mendekati pasang tertinggi atau surut terendah dalam waktu yang relatif singkat, (Pond and Pickard, 1983).

Hasil perhitungan bilangan formzhal menunjukkan bahwa pasang surut di perairan Muara Karang memiliki tipe harian tunggal dengan nilai formzhal 3.34. Hasil tersebut cukup sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh Indriani *et al.*, (2010) pada teluk jakarta

yang mana bilangan formzhal yang didapat adalah 3.444. Selanjutnya untuk nilai MSL, HHWL, MHWL, LLWL, dan MLWL pada perairan Muara Karang adalah sebagaimana berikut :

MSL (Mean Sea Level)	= 0 m
Zo (Chart Datum)	= 0.596 m
Highest High Water Level	= 0.596 m
Mean High Water Level	= 0.438 m
Lowest Low Water Level	= -0.596 m
Mean Low Water Level)	= -0.438 m

Hasil verifikasi data prediksi pasang surut dengan data pengukuran lapangan pada stasiun pengamatan pasang surut Sunda Kelapa menunjukkan korelasi yang baik (mendekati 1), dimana nilai korelasinya adalah 0.913, sedangkan untuk nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) adalah sebesar 0.0027. Dengan demikian dikatakan bahwa data prediksi pasang surut yang digunakan pada penelitian ini cukup sesuai dengan kondisi lapangan. Grafik perbandingan elevasi pasang surut tersebut ditampilkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Perbandingan Elevasi Prediksi dengan Elevasi Pengamatan

**Pola Arus di Perairan Pesisir Muara Karang ditinjau pada Musim Timur dan Musim Barat**

*Pola Arus Musim Barat*

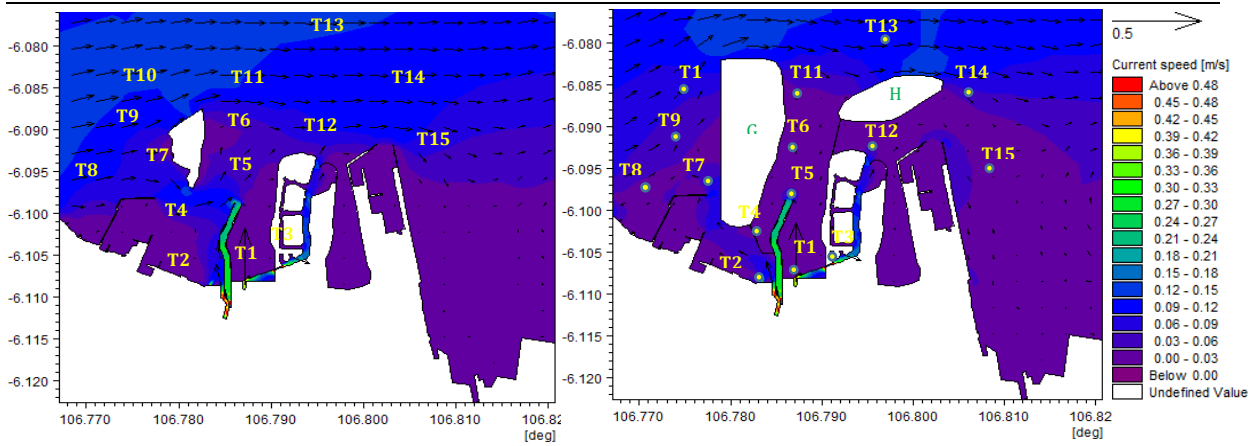
Hasil model pola arus di perairan pesisir Muara Karang ditinjau pada musim barat ditampilkan pada **Gambar 4**. Pada Gambar tersebut ditunjukkan pola arus pada kondisi pasca dan masterplan reklamasi. Pola arus di perairan laut Muara Karang dominan dipengaruhi oleh fenomena pasang surut air laut, Pada musim barat cenderung bergerak bolak balik barat daya dan timur laut. Diketahui kecepatan arus tertinggi adalah pada area kanal intake dikarenakan bentuk kanal yang berupa celah sempit serta adanya pengambilan air laut secara berkesinambungan untuk keperluan air pendingin

Terdapat perubahan arah dan kecepatan arus akibat pulau G dan pulau H. Pada kondisi pasca reklamasi aliran air di sekitar kanal intake masih cukup baik dengan kecepatan arus berkisar 0.12 m/s, sedangkan pada kondisi masterplan reklamasi aliran air tersebut terhalang oleh adanya Pulau G serta kanal pembatas pada Pulau tersebut sehingga menurunkan kecepatan arus hingga 0.03 m/s. Kondisi seperti ini juga terjadi di area rencana reklamasi Pulau H. Peningkatan kecepatan arus terjadi

pada titik T2, sedangkan pada titik T4 – T15 terjadi penurunan. Senada dengan hasil penelitian ini, Jia (2013 : 339) dalam penelitiannya juga menjelaskan bahwa reklamasi dapat mengakibatkan perubahan pola arus dan bahkan menghalangi aliran arus laut. Lebih lanjut Suntoyo (2017) menegaskan bahwa reklamasi mengakibatkan pola arus berubah sesuai dengan bentuk reklamasinya.

Selanjutnya pada titik T3 yang berada pada pantai Mutiara kecepatan arus dominan dipengaruhi oleh debit kanal outlet PLTU. Kecepatan arus pada titik T3 adalah 0,3 m/s. Pada kondisi masterplan reklamasi, di titik T2 kecepatan arus mengalami peningkatan dengan adanya pulau G. Kecepatan rata – rata pasca reklamasi adalah 0,035 m/s sedangkan pada masterplan sebesar 0.039 m/s. Hal ini dikarenakan tereduksinya massa air yang bergerak ke titik T2 akibat adanya pulau G. Dengan demikian kecepatan arus pada titik T2 dominan dipengaruhi oleh debit outlet PLTGU. Pada titik T4 – T15 kecepatan arus mengalami penurunan. Hal ini diakibatkan arus pasang surut yang dominan bergerak ke arah barat dan timur terhalang oleh adanya pulau G dan pulau H. Kecepatan arus pasca reklamasi pada titik T4 – T15 adalah 0,032 – 0,090 m/s, sedangkan kecepatan arus masterplan reklamasi berkisar 0,005 – 0,057 m/s.





Gambar 4. Pola Arus Musim Barat Pasca Reklamasi (a) dan Masterplan Reklamasi (b)

*Pola Arus Musim Timur*

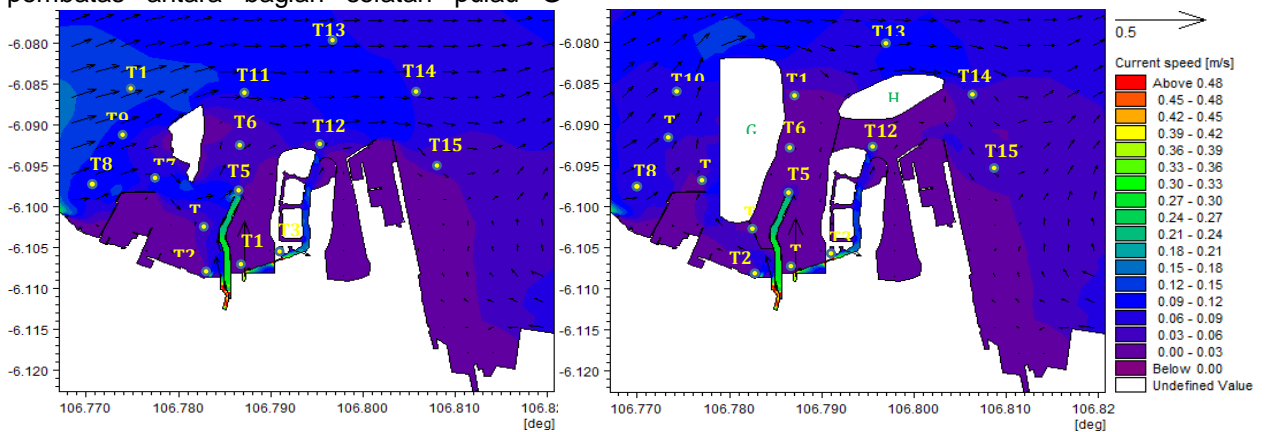
Pola arus musim timur pada perairan pesisir Muara Karang ditunjukkan pada Gambar 5. Pola arus yang terjadi di perairan pesisir Muara Karang pada musim timur cenderung bolak balik ke arah barat pada kondisi pasang dan ke arah timur saat surut. Hasil ini juga senada dengan penelitian sebelumnya oleh Sanusi *et al.*, (2005) yang menyatakan kecepatan arus di Teluk Jakarta dominan bergerak bolak balik ke arah barat dan timur. Kecepatan arus musim timur pada titik pengamatan T1 adalah sebesar 0,001 m/s baik pada pasca reklamasi maupun pada kondisi masterplan reklamasi.

Pada titik T2 kecepatan rata – rata pada pasca reklamasi adalah 0,035 m/s. Arus pada titik T2 dipengaruhi oleh pertemuan arus pasang surut dengan arus akibat debit outlet PLTGU. Pada kondisi masterplan reklamasi kecepatan arus pada titik T2 adalah 0,039 m/s serta dominan dipengaruhi oleh debit outlet PLTGU. Hal ini dikarenakan arus pasang surut yang mengarah ke titik T2 terhalang oleh pulau G dan kanal pembatas antara bagian selatan pulau G

dengan kanal intake. Pada titik T3 yang berada pada kanal Outlet PLTU didapatkan kecepatan arus rata – ratanya adalah 0,3 m/s baik pada kondisi pasca reklamasi serta masterplan reklamasi. Kecepatan arus pada titik T3 dominan dipengaruhi oleh debit Outlet PLTU.

Pada titik T4 terjadi penurunan kecepatan arus yang cukup signifikan dengan adanya pulau reklamasi dan kanal pembatas. Pada kondisi pasca reklamasi kecepatan arus adalah sebesar 0,033 m/s, sedangkan pada kondisi masterplan kecepatan arus sebesar 0,003 m/s. Hal ini dikarenakan lokasi titik T4 yang berbatasan dengan kanal pembatas antara pulau G dan kanal intake.

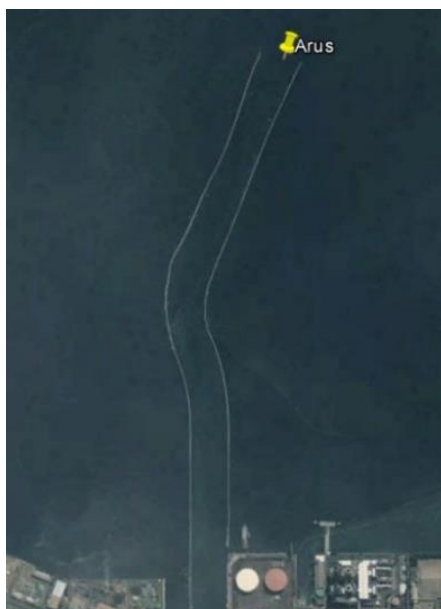
Pada titik T5 – T15 juga terjadi penurunan kecepatan arus. Pada kondisi pasca reklamasi kecepatan arus pada titik T5 – T15 berkisar 0,031 – 0,085 m/s, sedangkan pada masterplan reklamasi kecepatan arusnya berkisar 0,020 – 0,058 m/s. Hal ini diakibatkan arus pasang surut yang dominan bergerak ke arah barat dan timur terhalang oleh adanya pulau reklamasi.



Gambar 5. Pola Arus Musim Timur Pasca Reklamasi (a) dan Masterplan Reklamasi (b)

**Verifikasi Hasil Model Pola Arus di Perairan Pesisir Muara Karang**

Menurut Rudyani (2013) suatu model dikatakan cukup sesuai dengan kondisi lapangan dengan nilai persen error relatif <15%. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai kecepatan arus rata-rata hasil model pada saat pasang adalah 0.20 m/s sedangkan pada kondisi surut sebesar 0,19 m/s. Kecepatan arus rata – rata hasil pengukuran lapangan adalah 0,20 m/s pada kondisi pasang dan surut. Didapatkan nilai persen error relatif sebesar 0,193% pada kondisi pasang dan 5,1% pada kondisi surut. Dengan demikian model arus yang dihasilkan pada penelitian ini sesuai dengan kondisi di lapangan. Titik pengukuran arus ditunjukkan pada **Gambar 6**.



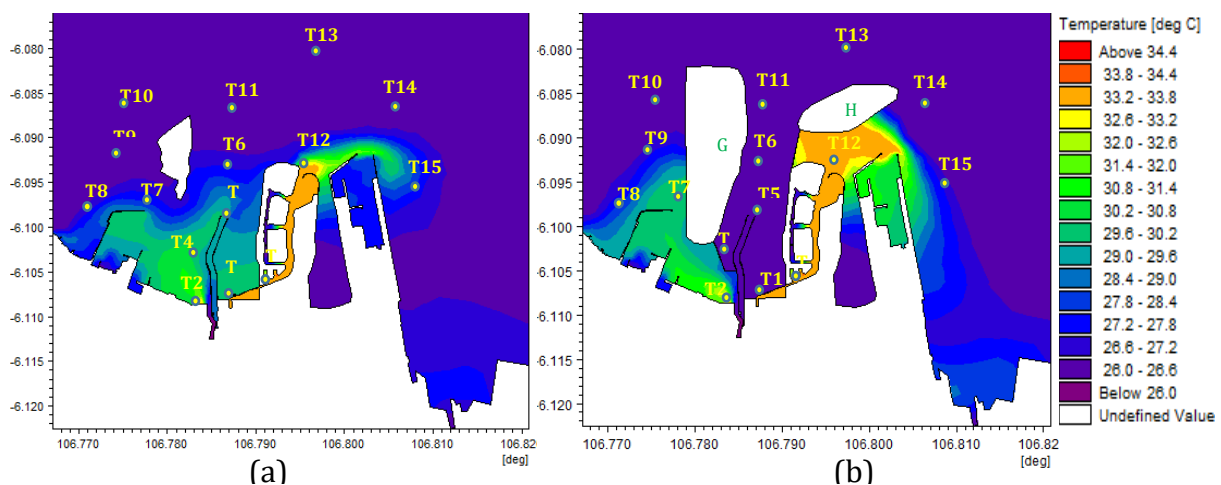
**Gambar 6.** Lokasi pengukuran arus laut  
Sumber : Google Earth

**Pola Sebaran Panas Limbah Air Kanal Pendingin PT PJB UP Muara Karang Pasca dan Masterplan Reklamasi**

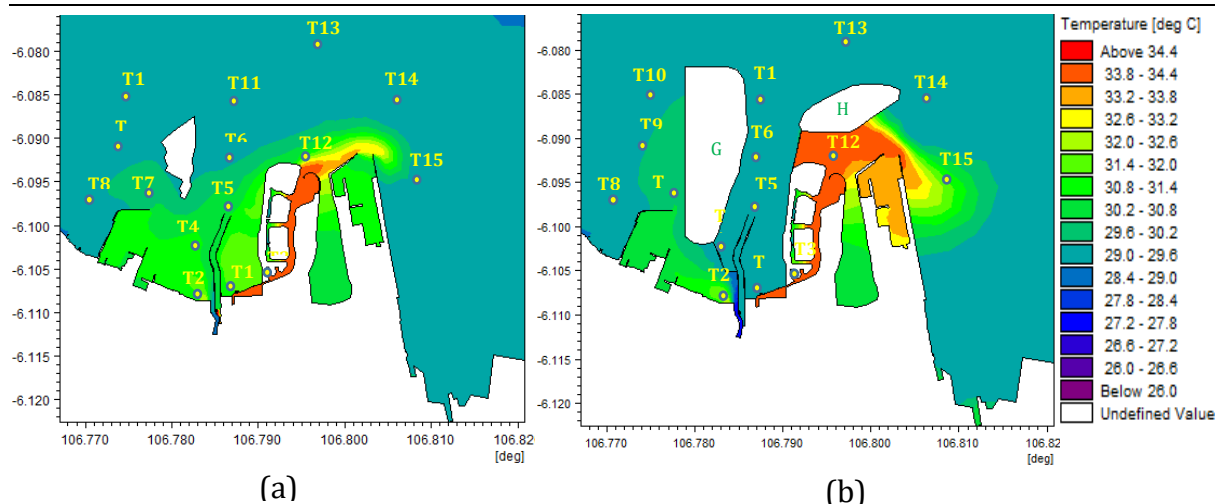
Menurut Cahyani (2011) sebaran panas pada badan air laut sangat dipengaruhi oleh arus, dimana semakin tinggi kecepatan arus maka semakin besar juga proses adveksi yang terjadi. Adveksi merupakan proses perpindahan panas yang dipengaruhi oleh aliran. Selain itu sebaran panas pada badan air laut juga dipengaruhi oleh proses difusi. Difusi merupakan proses perpindahan panas dalam bentuk rambatan dari air dengan suhu tinggi ke air yang memiliki suhu lebih rendah.

Model sebaran panas limbah air kanal pendingin pasca dan masterplan reklamasi pada musim barat ditunjukkan pada **Gambar 7**, sedangkan untuk musim timur ditunjukkan pada **Gambar 8**. Secara umum sebaran suhu perairan pada musim timur lebih tinggi dibanding dengan musim barat. Pada musim barat sebaran suhu tertinggi berkisar 33.8°C sedangkan pada musim timur mencapai 34.4°C, hal ini dikarenakan suhu ambient laut pada musim timur lebih tinggi 3°C dari musim barat yaitu 29°C.

Sebaran panas yang terjadi pada kondisi surut terendah memiliki sebaran yang lebih luas ke arah laut lepas dibanding dengan kondisi pasang tertinggi. Hal ini dipengaruhi oleh arus dominan bergerak menjauhi daratan pada kondisi surut. Selain itu volume dan massa air laut pada kondisi surut terendah juga lebih sedikit dibanding dengan kondisi pasang tertinggi yang mengakibatkan meningkatnya proses difusi pada sebaran panas secara horizontal.



**Gambar 7.** Pola Sebaran Panas Limbah Air Kanal Pendingin Pasca Reklamasi (a) dan Masterplan Reklamasi (b) pada Musim Barat



**Gambar 8.** Pola Sebaran Panas Limbah Air Kanal Pendingin Pasca Reklamasi (a) dan Masterplan Reklamasi (b) pada Musim Tlmur

Pada titik T1 yang berada tepat didepan kanal outlet PLTU didapatkan penurunan suhu pada kondisi masterplan reklamasi, hal ini dikarenakan kanal pembatas pada pulau G dan pulau H yang menghalangi massa air panas dari PLTU dan PLTGU bergerak ke arah kanal intake dan titik T1. Suhu rata – rata musim barat di titik T1 pada kondisi pasca reklamasi adalah 29,3°C, sedangkan pada kondisi masterplan reklamasi adalah 26,06°C. Pada titik T2 terjadi peningkatan suhu perairan yang mana saat kondisi pasca reklamasi didapatkan suhu rata – rata 30.6 °C, sedangkan pada kondisi masterplan reklamasi suhu mencapai 31,62°C. Hal ini dikarenakan semakin sempitnya wilayah sebaran massa air panas dari outlet PLTGU akibat adanya kanal pembatas antara pulau G dengan kanal intake.

Pada titik T4 suhu rata – ratanya adalah 29,2 °C, sedangkan pada kondisi masterplan reklamasi suhu rata – rata adalah 26,07°C. Hal serupa juga terjadi pada titik T5 dan titik T6. Diketahui suhu rata – rata titik T5 adalah 28,66°C dan T6 adalah 27,14°C, sedangkan pada kondisi masterplan reklamasi didapatkan suhu sebesar 26.06°C. Penurunan tersebut dikarenakan massa air panas dari PLTGU langsung bergerak ke arah sisi barat pulau G akibat adanya kanal pembatas antara kanal intake dengan pulau G. Penurunan suhu pada area intake kanal tersebut bermanfaat bagi PLTU dan PLTGU Muara Karang karena air pendingin yang didapatkan akan lebih rendah suhunya sehingga lebih memaksimalkan proses pendinginan.

Hasil model sebaran suhu di area kanal intake ini berbeda dengan penelitian sebelumnya oleh Setiawan (2016) yang mana justru terjadi peningkatan suhu perairan di area tersebut.

Perbedaan ini dikarenakan pada penelitian tersebut belum menggunakan skenario adanya kanal pembatas antara pulau G dengan kanal intake sebagaimana tercantum dalam AMDAL Rencana Reklamasi Pulau G oleh PT Muara Wisesa Samudra (2013).

Pada titik T7 dan T8 suhu rata – rata 28,70°C dan 27.47 °C, sedangkan pada kondisi masterplan reklamasi adalah 29,80 °C dan 27,81 °C. Peningkatan tersebut diakibatkan oleh semakin tingginya kecepatan arus yang membawa massa air panas limbah outlet PLTGU langsung mengarah ke sisi barat pulau G akibat adanya kanal pembatas. Kecepatan arus yang lebih tinggi akan meningkatkan proses adveksi pada proses dispersi panas (Cahyani, 2011). Pada titik T9 – T11 tidak didapatkan perubahan suhu yang signifikan. Suhu perairan pada titik T9 – T11 berkisar 26,06 – 26,3 °C.

Selanjutnya pada titik T12 terjadi peningkatan suhu perairan, suhu perairan tertinggi pasca reklamasi berkisar 33,33°C, sedangkan pada kondisi masterplan reklamasi perubahan suhu yang terjadi berkisar 1 °C dengan suhu tertinggi pada area tersebut berkisar 34,4 °C. Adanya kanal pembatas antara Tanjung Pluit dengan sisi barat pulau H sebagaimana tercantum dalam AMDAL Rencana Reklamasi Pulau H oleh PT.Taman Harapan Indah (2015) mengakibatkan peningkatan suhu pada area tersebut lebih tinggi dibanding penelitian sebelumnya oleh Setiawan (2016) dimana perubahan suhunya hanya sekitar 0.5 °C. Hal ini karena dengan adanya kanal pembatas tersebut sebaran massa air panas terbatas ke sisi Timur.



Peningkatan suhu perairan yang terjadi pada titik T2, T7, T8 dan T12 tersebut berpotensi mempengaruhi stabilitas ekosistem perairan laut Muara Karang. Berdasarkan penelitian oleh Walkuska dan Wilczek (2010) dijelaskan bahwa peningkatan suhu perairan akan berpengaruh pada meningkatnya laju respirasi organisme diikuti oleh penurunan kadar oksigen terlarut dalam air sehingga dapat menyebabkan kekurangan oksigen di badan air, lebih lanjut pada kondisi peningkatan suhu terjadi bersama dengan pencemaran badan air oleh nutrient (misal : nitrat, fosforat) akan menyebabkan eutrofikasi dengan konsekuensi badan air tertentu mungkin kehabisan oksigen. Peningkatan suhu air juga menyebabkan perubahan perilaku ikan yang mengubah ritme migrasi atau pemijahan. Sebagian besar ikan membutuhkan kisaran suhu tertentu untuk bertelur. Setiap penyimpangan dari pola hidup ini biasanya mengakibatkan penghentian atau kegagalan perilaku pemijahan .

Selanjutnya terkait pengaruh peningkatan suhu perairan terhadap Moluska, Talmage dan Gobler (2011) dalam studinya menerangkan

bahwa suhu secara signifikan mempengaruhi pertumbuhan dan sintesis lipid pada tahap juvenil dan larva bivalvia. Contohnya pada larva *Mercenaria mercenaria*, suhu berpengaruh signifikan terhadap metamorfosis. Persentase individu yang telah bermetamorfosis dan bertahan hidup, serta tingkat pertumbuhan individu semuanya tertinggi untuk individu yang tumbuh pada suhu 24 C dan terendah untuk individu yang tumbuh pada suhu 28 C. Mengenai ukuran, larva *M. mercenaria* pada 24 C memiliki diameter rata-rata  $553 \pm 38 \mu\text{m}$  sementara seiring meningkatnya suhu semakin menekan ukuran dengan individu yang tumbuh pada suhu 28 C yang memiliki diameter rata-rata  $325 \pm 22 \mu\text{m}$ . Indeks lipid *M. mercenaria* selalu lebih tinggi pada suhu 24 C dibandingkan dengan larva yang tumbuh pada suhu 28 C

#### Verifikasi Model Sebaran Panas pada Titik Pengamatan

Hasil perhitungan persen error relatif model sebaran panas dengan hasil pengukuran ditunjukkan pada **Tabel 2**.

**Tabel 4.** Verifikasi Model Sebaran Suhu (°C) Perairan Pesisir Muara Karang

Stasiun	Model (°C)	Pengukuranm (°C)	% Error Relatif
T1	31.2	30.8	1.32
T2	31.2	30.3	2.82
T3	34.3	31.3	9.57
T4	30.6	31.0	1.32
T5	30.7	31.1	1.25
T6	30.0	31.1	3.48

Berdasarkan pada Tabel 4, diketahui nilai persen error relatif pada Titik T1 nilai persen error relatifnya adalah 1.32%, Titik T2 adalah 2.82%, kemudian T3 adalah 9.57%, selanjutnya pada titik T4 dan T5 masing – masing sebesar 1.32% dan 1.25%, dan terakhir pada titik T6 adalah 3.48%. Dengan demikian maka dikatakan hasil model sebaran temperatur yang dilakukan cukup baik dan sesuai dengan kondisi lapangan.

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### Kesimpulan

Secara umum pola arus di perairan laut Muara Karang dominan bergerak ke arah barat daya pada kondisi pasang tertinggi dan ke arah timur dan timur laut saat surut terendah. Pada kondisi pasca reklamasi arus di sekitar kanal intake masih cukup baik dengan kecepatan aliran berkisar 0.12 m/s. Sebaran suhu perairan yang dipengaruhi oleh limbah air panas pada kondisi pasca reklamasi menyebar ke arah barat, utara dan timur dengan sebaran suhu tertinggi ke

arah timur khususnya di area kolam Pantai Mutiara yang mana merupakan jalur pembuangan limbah air panas dari kanal PLTU. Pada kondisi pasca reklamasi sebaran limbah air panas juga masuk ke area kanal intake yang merupakan sumber air pendingin untuk aktivitas pembangkit PLTU dan PLTGU. Sebaran suhu di area kanal intake tersebut mencapai 30.8 °C pada musim barat dan mencapai 32 °C pada musim Timur.

Kondisi pada rencana masterplan reklamasi mengakibatkan terjadinya perubahan pola arus, khususnya di area sekitar kanal intake yang mana kecepatan arusnya mengalami penurunan akibat terhalangnya aliran masa air oleh pulau G dan H serta kanal pembatas pada keduanya. Pada kondisi ini kecepatan arus di sekitar kanal intake hanya berkisar 0.03 m/s. Perubahan pola arus tersebut tentu juga mengakibatkan perubahan pola sebaran limbah air panas dari outlet PLTU dan PLTGU di perairan Muara Karang. Peningkatan suhu perairan akibat masterplan reklamasi terjadi di

area barat dan timur dengan selisih suhu perairan 0.35 °C – 1°C dibanding kondisi pasca reklamasi. Kemudian suhu perairan di area sekitar kanal intake pada kondisi masterplan reklamasi berkisar 26.6 °C pada musim Barat dan 29.6 °C pada musim Timur. Nilai suhu di area sekitar kanal intake tersebut mengalami penurunan dibanding dengan kondisi pasca reklamasi dengan selisih suhu -1°C hingga -3°C.

### Saran

Perubahan arus dan suhu pada kondisi masterplan reklamasi akan berpengaruh terhadap kondisi perairan laut sekitar Muara Karang. Untuk itu perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk memetakan perubahan sebaran arus dan suhu yang terjadi terhadap ekologi, ekonomi, sosial dan budaya pada kawasan yang terpapar.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dapat berjalan dengan baik berkat dukungan dari beberapa lembaga dan institusi dalam bentuk data ataupun dukungan teknis. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada UIN Sunan Ampel Surabaya, Pusat Riset Kelautan BRSDM KP, dan PT.PJB UP Muara Karang yang telah banyak membantu dalam penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- Azis, M. F. (2006). Gerak air di laut. *Oseana*, 31(4), 9-21.
- Cahyani, C. (2011). *Model Sebaran Panas Air Kanal Pendingin Instalasi Pembangkit Listrik ke Badan Air Laut*. Universitas Indonesia.
- DHI. (2014). *MIKE 21 Flow Model FM Hydrodynamic Modul-User Guide*. DHI. Denmark
- 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.
- Indriani, I., Kurniawaty, N., & Hendri, M. (2010). Simulasi Pemodelan Arus Pasang Surut di Luar Kolam Pelabuhan Tanjung Priok Menggunakan Perangkat Lunak SMS 8.1. *Maspri Journal*, 1(1), 79-83.
- Irawan, S., Fahmi, R., & Roziqin, A. (2018). Kondisi Hidro-Oseanografi (Pasang Surut, Arus Laut, Dan Gelombang) Perairan Nongsa Batam. *Jurnal*

*Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 11(1), 56-68.

- Wang, J., Hong, H., Zhou, L., Hu, J., & Jiang, Y. (2013). Numerical modeling of hydrodynamic changes due to coastal reclamation projects in Xiamen Bay, China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 31(2), 334-344.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2004. *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004 tentang Baku Mutu air laut*. Kementerian Lingkungan Hidup
- Pickard, G. L and Pond, S. (1983). *Introductory Dynamical Oceanography, 2nd Edition*. New York: Pergamon Press.
- PT. Muara Wisesa Samudra. (2013). *Analisis Dampak Lingkungan Hidup Rencana Reklamasi Pulau G di Kawasan Reklamasi Pantai Utara Jakarta*. PT. Muara Wisesa Samudra. Jakarta.
- PT. Taman Harapan Indah. (2015). *Analisis Dampak Lingkungan Hidup Reklamasi Pulau H di Kawasan Pantai Utara Jakarta*. PT. Taman Harapan Indah. Jakarta.
- PT.PLN. (2016). *Adendum Analisis Dampak Lingkungan Hidup (ANDAL) Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Gas Uap (PLTGU) Muara Karang Kapasitas 500 MW*. PT.PLN.
- Rudyani, F.P., Armono, H.D., Sujantoko. (2013). Pemodelan Gelombang di Kolam Pelabuhan Perikanan Nusantara Brondong. *Jurnal Teknik Pomits*, 2(2)
- Sanusi, H. S., Koropitan, A. F., Haeruddin, H., & Nugraha, A. K. (2005). Pemodelan Pola Arus dan Sebaran Konsentrasi Tembaga (Cu) Terlarut di Teluk Jakarta. *ILMU KELAUTAN: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 10(3), 165-168.
- Setiawan, A. (2016). *Simulasi Model Hidrodinamika dan Dispersi Termal di Teluk Jakarta Pra- dan Pasca-reklamasi 17 Pulau*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Laut dan Pesisir. Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan. Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Suntoyo, S., Hidayah, M. I., & Ikhwan, H. (2017). Impact of Reclamation Development on Sedimentation and Current Pattern in East Coast Surabaya (Pamurbaya). *International Journal of Offshore and Coastal Engineering*, 1(2), 79-85.
- Shah, V., Dekhatwala, A., Banerjee, J., & Patra, A. K. (2017). Analysis of dispersion of heated effluent from power plant: a case study. *Sādhanā*, 42(4), 557-574.

- Talmage, S.C., Gobler, C.J. (2011). *Effects of Elevated Temperature and Carbon Dioxide on the Growth and Survival of Larvae and Juveniles of Three Species of Northwest Atlantic Bivalves*. Stony Brook University, Southampton, New York, United States of America
- Walkuska, G., & Wilczek, A. (2010). Influence of Discharged Heated Water on Aquatic Ecosystem Fauna. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19(3), 547-552.
- Wibowo, M., & Asvaliantina, V. (2018). Kajian Dispersi Panas Akibat Air Limbah Rencana Pembangunan PLTU Kuala Tungkal-Provinsi Jambi. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 19(1), 1-12.