

Kondisi Arus Pasang Surut dan Angin di Perairan Sekitar PLTU Muara Karang sebagai Indikator Persebaran NORM

Nurin Fazira Asdwina^{1*}, Heny Suseno², Muslim¹, dan Mohamad Nur Yahya³

¹Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. H. Soedharto, SH, Tembalang, Semarang, 50275

²Pusat Riset Teknologi Radioisotop, Radiofarmaka dan Biodosimetri. Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

³Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi dan Mutu Nuklir. Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Jl. Kawasan Puspiptek Serpong, Setu, Tangerang Selatan, Banten, 15314

Email: *nurinfa09@gmail.com

Abstrak

Arus dan angin merupakan parameter fisika oseanografi yang dapat dijadikan sebagai indikator persebaran senyawa kimia, khususnya radionuklida di perairan. Arus di perairan sekitar PLTU yang terletak di perairan Teluk Jakarta didominasi oleh pengaruh pasang surut. Adanya PLTU menghasilkan fly ash yang sebarannya terbawa angin dan kemudian memasuki perairan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana arus pasang surut dan arah angin mempengaruhi persebaran NORM (*Naturally Occuring Radioactive Material*) di sedimen yang merupakan bahan radioaktif yang terdapat di bumi secara alami dan mengalami peningkatan akibat aktivitas PLTU. Pemodelan arus pasang surut di verifikasi dengan data observasi BIG serta kecepatan dan arah angin di interpretasikan menggunakan *windrose*. Hasil penelitian menunjukkan kecepatan arus di sekitar perairan PLTU Muara Karang pada saat pasang tertinggi di bulan Juni 2021 berkisar antara 0,03-0,19 m/s dan saat surut terendah berkisar 0–0,15 m/s. Arus dengan kecepatan dibawah 0,5 m/s tidak berpengaruh secara langsung terhadap sebaran radionuklida di sekitar perairan PLTU, tetapi tidak menutup kemungkinan bila dalam jangka waktu yang lama arus dapat menggerakkan sedimen. Kecepatan arus yang semakin besar ke arah lepas pantai akan mempengaruhi proses difusi dan adveksi. Arah angin dominan berkontribusi pada persebaran NORM yang berada di barat laut-utara PLTU, karena kekuatan anginnya hanya terpusat di sekitar PLTU sehingga mengakibatkan konsentrasi maksimum diperoleh di dekat cerobong asap.

Kata kunci: Arus pasang surut, angin, sedimen, sebaran NORM, PLTU Muara Karang

Abstract

Currents and winds are oceanographic physical parameters that can be used as indicators of the distribution of chemical compounds, especially radionuclides in waters. Currents in the waters around the power plant located in the waters of Jakarta Bay are dominated by tidal influences. The existence of power plant produces fly ash which is scattered by the wind and then enters the waters. The aim of the research was to determine the extent to which tidal currents and wind direction affect the distribution of NORM (Naturally Occuring Radioactive Material) in sediments which are radioactive materials found on earth naturally and have increased due to power plant activity. Tidal current modeling was verified with BIG observation data and wind speed and direction were interpreted using windrose. The results showed that the current velocity around the waters of Muara Karang power plant at the highest tide in June 2021 ranged from 0.03-0.19 m/s and at low tide it ranged 0–0.15 m/s. Currents with velocities below 0.5 m/s have no direct effect on the distribution of radionuclides around the waters of the power plant, but it is possible if the currents can move sediment for a long time. The higher the current velocity offshore will affect the diffusion and advection processes. The dominant wind direction contributes to the distribution of NORM which is in the northwest-north of the power plant, because the wind strength is only concentrated around the power plant so that the maximum concentration is obtained near the chimney.

Keywords : Tidal current, wind, sediment, NORM distribution, Muara Karang power plant

PENDAHULUAN

Salah satu pembangkit listrik dengan lokasi strategis di Ibukota Jakarta adalah PLTU 4-5 Muara Karang yang mampu memenuhi 15% dari total kebutuhan listrik di DKI Jakarta. Terdapat 2 unit operasional

berkapasitas 2 x 200 MW. PLTU dengan sistem *dual firing* yang dapat menggunakan bahan bakar gas dan bahan bakar minyak (*Marine Fuel Oil*) atau campuran gas dan minyak. Hernández *et al.* (2014) menyatakan bahwa penggunaan bahan bakar fosil untuk PLTU menghasilkan lepasan berupa abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*) yang mengandung NORM dengan konsentrasi aktivitas tertentu. Minyak yang digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik mengandung radionuklida seperti Radium, Thorium, Kalium beserta anak luruhnya yang dilepaskan dari operasional PLTU sehingga akan terpapar ke lingkungan sekitar yang didominasi oleh perairan laut (El-Gamal *et al.*, 2013; Ozden *et al.*, 2018). *Fly ash* yang keluar akan terbawa angin karena ukuran partikelnya yang halus dan kemudian memasuki perairan dalam bentuk partikulat yang persebarannya dipengaruhi oleh arus dan terendapkan dalam sedimen dasar perairan (Vives *et al.*, 2018). Terjadinya pengendapan NORM ini akan memicu terjadinya TENORM (*Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material*) yang berbahaya bagi lingkungan. NORM di lingkungan khususnya di sedimen laut dapat berdampak pada peningkatan paparan internal, karena unsur-unsur tersebut akan masuk dalam suatu kehidupan organisme laut yang akhirnya sampai ke manusia melalui jejaring makanan. Menurut Suseno dan Wahono (2018), sebaran radionuklida di kolom air disebabkan oleh proses difusi, adveksi atau partikel *scavenging* (kemampuan menangkap unsur).

Arus di perairan sekitar PLTU yang terletak di perairan Teluk Jakarta didominasi oleh pengaruh pasang surut. Hal ini sejalan dengan Wirasatriya *et al.* (2006) yang menyatakan bahwa arus yang terjadi di teluk dan laguna adalah akibat massa air mengalir dari permukaan yang lebih tinggi ke permukaan yang lebih rendah yang disebabkan oleh pasut. Menurut Muslim *et al.* (2015), arus memberikan pengaruh langsung terhadap persebaran radionuklida di laut karena mampu membantu proses resuspensi sedimen yang menggerakkan sedimen laut, sehingga radionuklida yang telah terakumulasi berkemungkinan terlepas kembali ke perairan.

Selain dipengaruhi oleh arus, kondisi klimatologi juga berpengaruh pada sebaran spasial radionuklida. *Fly ash* berpotensi untuk terlepas ke lingkungan karena sistem filtrasi pada cerobong jika berfungsi dengan baik hanya dapat mengurangi emisi abu terbang ke udara sekitar 95 %, sehingga sisanya terlepas ke lingkungan dan berpotensi sebagai bahan pencemar (Anggraini *et al.*, 2018). *Fly ash* dilepaskan ke lingkungan melalui pergerakan angin, sehingga angin dominan berpotensi mempengaruhi persebaran NORM yang terkandung dalam *fly ash* yang akhirnya jatuh ke perairan sekitar (Liu *et al.*, 2015; Amin *et al.*, 2013). Penelitian mengenai dinamika arus dan angin dalam menggerakkan senyawa kimia, khususnya NORM masih sedikit dilakukan. Untuk mengetahui sejauh mana arus dan angin berpengaruh terhadap sebaran NORM di sedimen dasar perairan sekitar PLTU Muara Karang, Jakarta Utara maka perlu dilakukan pemantauan.

METODE

Pemodelan Arus MIKE 21 Flow Model FM

Pemodelan arus menggunakan MIKE 21 modul *Flow Model FM* untuk mendapatkan nilai kecepatan dan arah arus. Pemodelan diawali dengan pembuatan *mesh* menggunakan data garis pantai dan data batimetri dalam format (.xyz). Kedua data tersebut digunakan untuk membangun domain model atau *mesh*. Pembuatan *mesh* pada *software* MIKE 21 menggunakan modul *Mesh Generator*. Tahapan selanjutnya adalah membuat skenario model yang disimulasikan pada bulan penelitian yaitu Juni 2021. Domain model menggunakan batas perairan garis pantai Jakarta Utara untuk *land boundary* dan elevasi pasang surut untuk batas terbuka. Lama simulasi selama 1 bulan dan menggunakan input angin dengan interval waktu 1 jam.

Verifikasi Pasang Surut

Pasang surut yang dihasilkan dalam pemodelan hidrodinamika diverifikasi dengan pasang surut yang diperoleh dari Badan Informasi Geospasial pada bulan Juni 2021. BIG memperoleh nilai prediksi pasang surut berdasarkan pada data observasi lapangan dan konstanta harmonik. Menurut Minarrohman dan Pratomo (2017) bahwa perhitungan nilai verifikasi model menggunakan rumus RMSE (*Root Mean Square Error*) sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}}$$

Keterangan:

RMSE	= Nilai <i>Root Mean Square Error</i>
Y_i	= Data instansi BIG
\hat{Y}_i	= Data prediksi MIKE
n	= Jumlah data

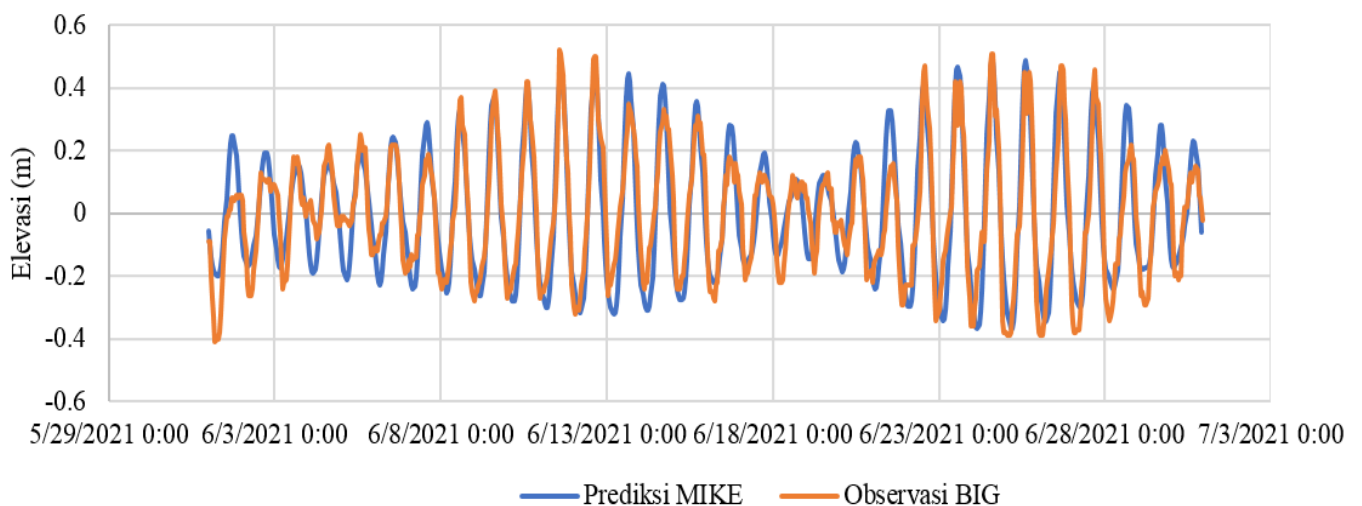
Menurut Xu dan Chua (2017), nilai RMSE menunjukkan perbedaan nilai yang terdapat diantara sampel yang diprediksi oleh pemodelan hidrodinamika (MIKE 21) dan nilai yang berasal dari data observasi langsung oleh instansi.

Metode Pengolahan Data Angin

Data angin diunduh dari website resmi Marine Copernicus <https://marine.copernicus.eu/> kemudian diolah menggunakan ODV (*Ocean Data View*) dan pengolahan rata – rata angin 5 tahun (2016-2021) dengan Ms. Excel hingga memperoleh nilai kecepatan angin dan arah angin secara time series. Data angin juga divisualisasikan dalam bentuk mawar angin (*windrose*) untuk mempermudah interpretasi arah dominan angin pada Plot Composer MIKE Zero.

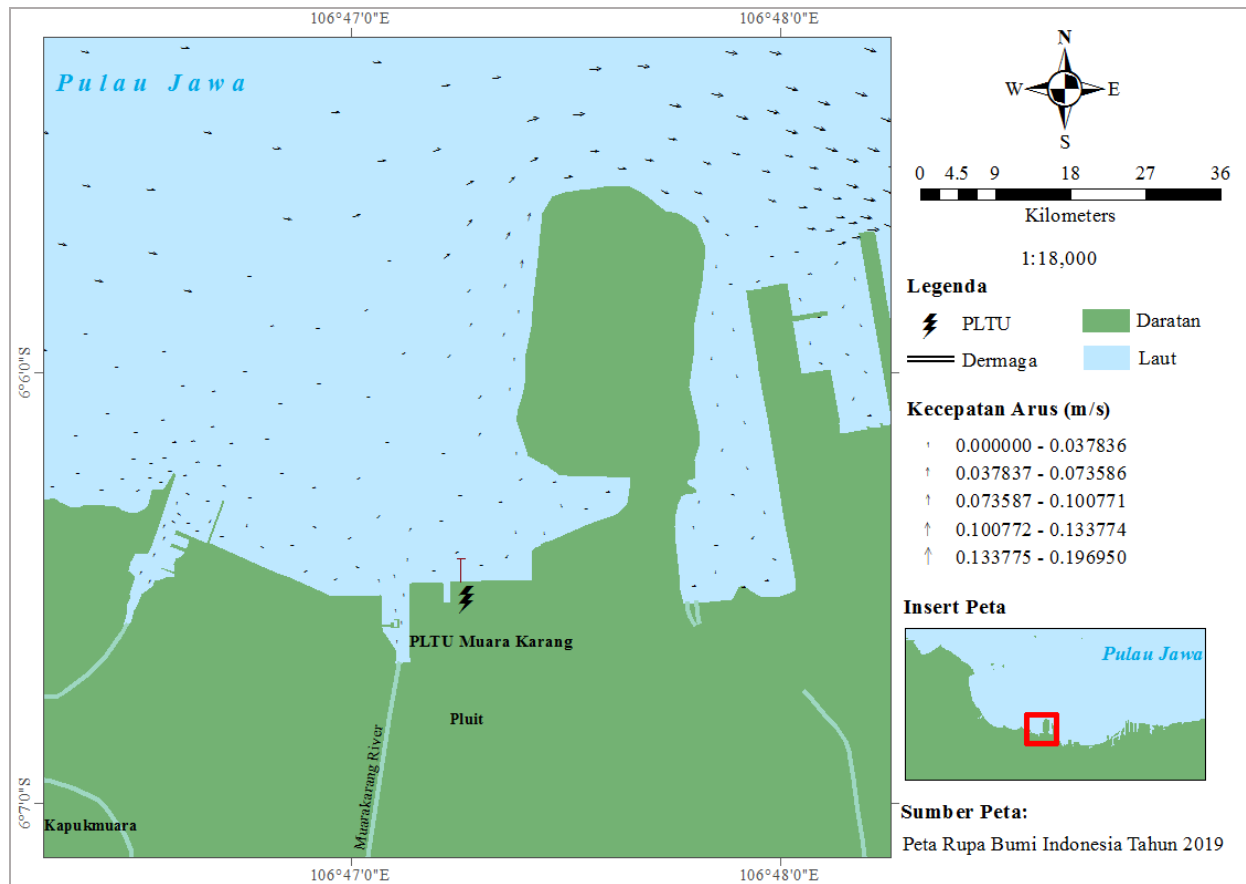
HASIL DAN PEMBAHASAN

Verifikasi model hidrodinamika dilakukan dengan membandingkan data observasi dari instansi BIG dengan hasil model (Lazure *et al.*, 2009; Wisla *et al.*, 2018) Nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) yang diperoleh adalah 9,26% (**Gambar 1**). Data yang di bandingkan memiliki fase yang sama meskipun elevasinya sedikit berbeda. Menurut Huang *et al.* (2010) nilai RMSE maksimum yang diterima adalah 40%.



Gambar 1. Verifikasi Hasil Model dan Data BIG

Pola arus pasang surut bergerak dengan arah yang saling bertolak belakang (**Gambar 2**) dimana pada saat kondisi pasang arus bergerak kearah timur, sementara (**Gambar 3**) berbalik ke arah barat saat kondisi surut.

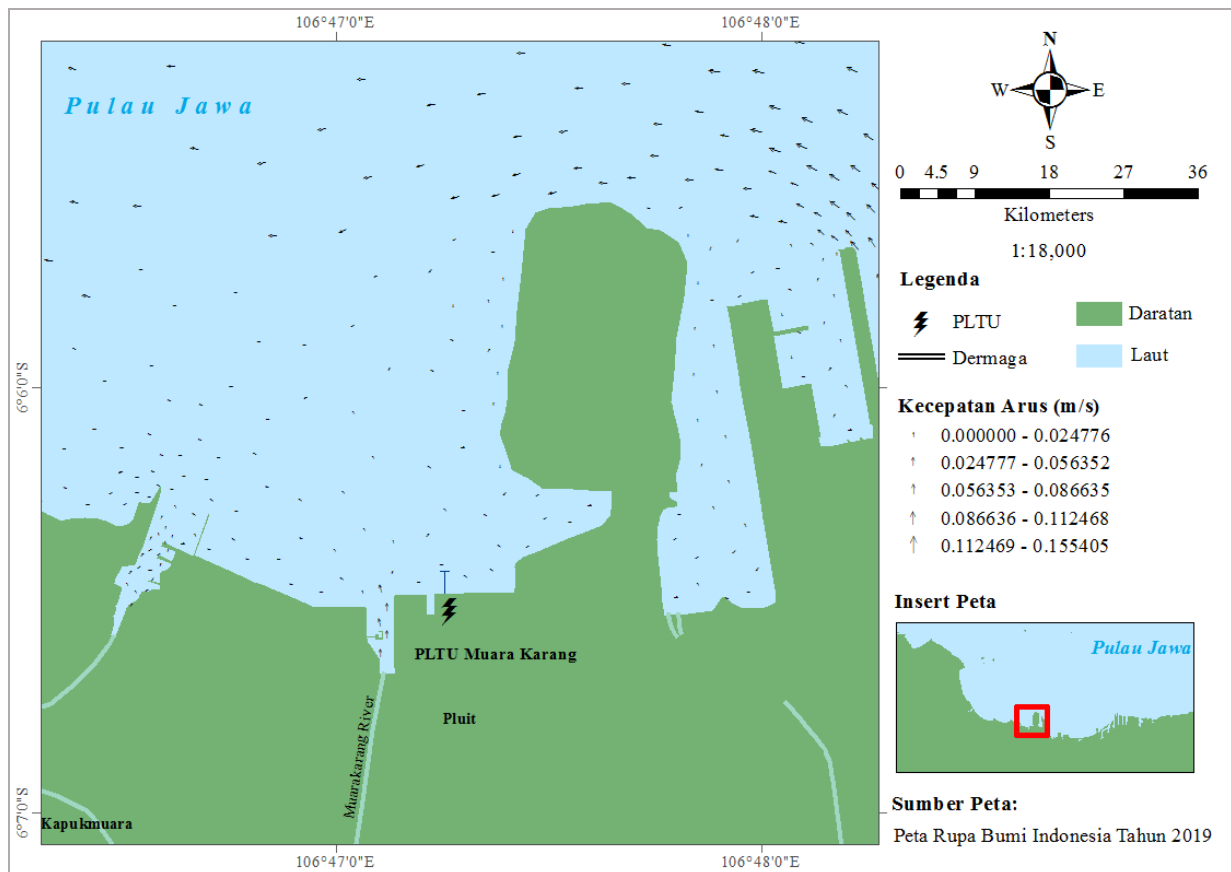


Gambar 2. Pola Arus Pasang Tertinggi

Kecepatan arus di sekitar perairan PLTU Muara Karang pada saat pasang tertinggi berkisar antara 0,03-0,19 m/s dengan nilai rata-rata 0,09 m/s. Kecepatan arus semakin besar seiring menuju luar teluk atau lepas pantai, sehingga mempengaruhi tingginya tingkat persebaran bahan kimia. Hal ini dapat terjadi karena kondisi pada permukaan perairan yang menuju lepas pantai merupakan perairan terbuka yang menyebabkan proses difusi dan adveksi berjalan dengan baik (Muslim, 2007). Pada kondisi surut terendah, kecepatan arus menurun dan berkisar antara 0–0,15 m/s dengan rata-ratanya 0,07 m/s. Menurut Wisna *et al.* (2018) saat surut terendah kecepatan nol dapat muncul di sepanjang teluk karena elevasi permukaannya yang rendah. Pada kondisi surut terendah, dinamika air menjadi lebih tenang sehingga transportasi massa air hampir tidak terjadi (Hendrawan *et al.*, 2016). Secara umum, dinamika massa air yang sangat lemah memicu terjadinya sedimentasi (Kartadikaria *et al.*, 2011).

Pada pasang tertinggi kecepatan maksimum arus mencapai 0,19 m/s dengan kecepatan tertinggi berada di arah timur. Pada kondisi ini, elevasi tertinggi dan energi pasang surut terbentuk sehingga menyebabkan kecepatan rambat arus pasang surut yang tinggi. Kecepatan arus yang lebih tinggi ini dapat menyebabkan remobilisasi sehingga radionuklida yang terakumulasi dapat terlepas ke perairan (Muslim *et al.*, 2015). Sementara kecepatan maksimum pada saat surut terendah ditemukan berada di bagian barat dengan nilai 0,15 m/s. Ketika air menjadi dangkal, dinamika air cenderung lemah karena akibat adanya gesekan (Wisna *et al.*, 2018). Hal tersebut memicu sedimentasi karena minimnya turbulensi dan pencampuran di dalam teluk. Dinamika di dalam teluk menyebabkan mekanisme distribusi zat terlarut dan zat tersuspensi menjadi mudah, dan akhirnya mengendap dan terakumulasi di dasar sedimen (Hendrawan dan Asai, 2014). Air yang lebih tenang akan memicu transportasi yang lemah dan kurang mempengaruhi turbulensi serta pencampuran, sehingga sedimen relatif mengendap dengan cepat (Hendrawan *et al.*, 2016). Oleh karena itu, kecepatan arus yang rendah pada perairan PLTU ini cenderung tidak berpengaruh secara langsung terhadap sebaran radionuklida di sekitar perairan PLTU. Hal ini sesuai dengan Muslim *et al.* (2015) bahwa arus dapat

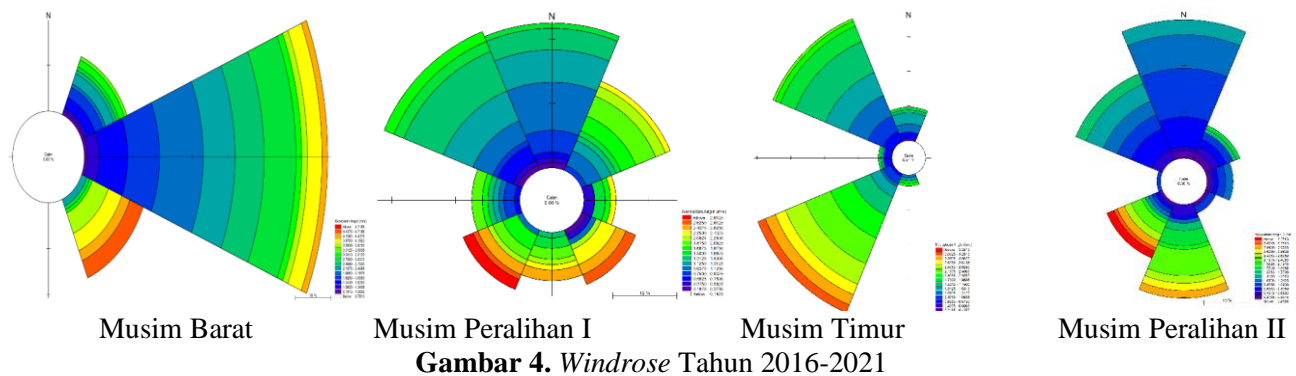
menggerakkan ukuran sedimen yang halus apabila kecepatan di atas 0,5 m/s, tetapi tidak menutup kemungkinan bila dalam jangka waktu yang lama arus dapat menggerakkan sedimen.



Gambar 3. Pola Arus Surut Terendah

Berdasarkan Liu *et al.*, (2015), kondisi klimatologi dapat mempengaruhi distribusi spasial radionuklida karena *fly ash* pada PLTU berpotensi untuk dilepaskan ke atmosfer melalui pergerakan angin (Dinis *et al.*, 2013). Terdapat tiga faktor utama yang mempengaruhi konsentrasi *fly ash* yaitu kecepatan dan arah dominan angin, stabilitas atmosfer dan distribusi ukuran partikel, namun faktor yang paling berpengaruh adalah kecepatan dan arah angin (Nikezić *et al.*, 2017; Vaasma *et al.*, 2017).

Pada musim barat kecepatan angin maksimum sebesar 0,9-4,6 m/s dengan arah dominan barat. Kecepatan maksimum pada musim peralihan I adalah 0,2-2,9 m/s dengan arah angin dominan barat laut-utara. Musim timur memiliki arah angin dominan barat daya-barat laut dengan kecepatan maksimum 0,02-3,2 m/s, sementara musim peralihan II, arah angin dominannya menuju utara dengan kecepatan maksimum 0,3-3,3 m/s. Kecepatan angin cenderung lebih kecil dibandingkan penelitian Alviandini *et al.* (2019) di PLTU Tanjung Jati yaitu sebesar 6-8 m/s. Berdasarkan Nikezić *et al.* (2014) stabilitas atmosfer akan terjadi saat angin kencang (di atas 6 m/s) dan batas kecepatan angin untuk mengangkat debu adalah sekitar 10 m/s, namun stabilitas juga dapat terjadi pada kecepatan angin rendah jika terdapat sumber debu yang aktif seperti cerobong asap. Oleh sebab itu *fly ash* yang keluar dari cerobong PLTU cenderung terdistribusi sesuai dengan arah dominan angin yaitu pada sebelah barat laut dan utara, kemudian jatuh ke lingkungan sekitar PLTU yang didominasi perairan laut. Nikezić *et al.* (2017) menjelaskan jika kecepatan angin rendah, akan mengakibatkan konsentrasi maksimum diperoleh di dekat cerobong asap dan jika bergerak lebih jauh dari sumbernya, konsentrasinya berkurang.



KESIMPULAN

Kecepatan arus di sekitar perairan PLTU Muara Karang pada saat pasang tertinggi berkisar antara 0,03-0,19 m/s dan saat surut terendah berkisar 0–0,15 m/s. Arus dengan kecepatan dibawah 0,5 m/s tidak berpengaruh secara langsung terhadap sebaran radionuklida di sekitar perairan PLTU, tetapi tidak menutup kemungkinan bila dalam jangka waktu yang lama arus dapat menggerakkan sedimen. Kecepatan arus yang semakin besar ke arah lepas pantai akan mempengaruhi proses difusi dan adveksi. Arah angin dominan berkontribusi pada persebaran NORM yang berada di barat laut-utara PLTU, karena kekuatan anginnya hanya terpusat di sekitar PLTU sehingga mengakibatkan konsentrasi maksimum diperoleh di dekat cerobong asap.

DAFTAR PUSTAKA

- Alviandini, N. B., Muslim, M., Prihatiningsih, W. R., & Wulandari, S. Y. 2019. Aktivitas NORM pada Sedimen Dasar di Perairan PLTU Tanjung Jati Jepara dan Kaitannya dengan Ukuran Butir Sedimen serta TOC. *Eksplorium*, 40(2):115.
- Anggraini, N. H., Iskandar, D., & Stefanus, M. 2018. Studi Peningkatan Radionuklida Alam karena Lepas-an Abu Terbang di Sekitar PLTU Labuan. *Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 19(1):29–40.
- Dinis, M. L., Fiúza, A., Carvalho, J. D., Góis, J., Castro, M., & Frias, R. 2013. Radiological Impact Associated to Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials (TENORM) from Coal-Fired Power Plants Emissions. *Proceeding of WM2013 Conference*, Phoenix.
- El-Gamal, H., Farid, M. E. A., Abdel Mageed, A. I., Hasab, M., & Hassanien, H. M. 2013. Considerable Hazards Produced by Heavy Fuel Oil in Operating Thermal Power Plant in Assiut, Egypt. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(9):6331–6336.
- Hendrawan, I. G., & Asai, K. 2014. Numerical Study on Tidal Currents and Seawater Exchange in the Benoa Bay, Bali, Indonesia. *Acta Oceanologica Sinica*, 33(3):90–100.
- Hendrawan, I. G., Uniluha, D., & Maharta, I. P. R. F. 2016. Karakteristik Total Padatan Tersuspensi (Total Suspended Solid) Dan Kekeruhan (Turbidity) Secara Vertikal Di Perairan Teluk Benoa, Bali. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, 2(1):29-33.
- Hernández, C. M.A., Bernal-Castillo, J., Morera-Gómez, Y., Guillen-Arruebarrena, A., Cartas-Aguila, H. A.,

- & Acosta-milián, R. 2014. Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in Ashes from a Fuel-Oil Power Plant in Cienfuegos, Cuba, and the Associated Radiation Hazards. *Radiation Protection Dosimetry*, 158(4):421–426.
- Huang, A., Rao, Y. R., & Lu, Y. 2010. Evaluation of a 3-D Hydrodynamic Model and Atmospheric Forecast Forcing using Observations in Lake Ontario. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 115(2).
- Kartadikaria, A. R., Miyazawa, Y., Varlamov, S. M., & Nadaoka, K. 2011. Ocean Circulation for the Indonesian Seas Driven by Tides and Atmospheric Forcings: Comparison to Observational Data. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 116(9).
- Lazure, P., Garnier, V., Dumas, F., Herry, C., & Chifflet, M. 2009. Development of a Hydrodynamic Model of the Bay of Biscay. Validation of Hydrology. *Continental Shelf Research*, 29(8):985–997.
- Liu, G., Luo, Q., Ding, M., & Feng, J. 2015. Natural Radionuclides in Soil near a Coal-Fired Power Plant in the High Background Radiation Area, South China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(6).
- Minarrohman, M. G., & Pratomo, D. G. 2017. Simulasi Arus dan Distribusi Sedimen secara 3 Dimensi di Pantai Selatan Jawa. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2): 172-177.
- Muslim. 2007. *Marine Radionuclide (Nuklir di laut)*. Universitas Diponegoro Press, Semarang.
- Muslim, Suseno, H., & Rafsani, F. 2015. Distribution of ^{137}Cs Radionuclide in Industrial Wastes Effluents of Gresik, East Java, Indonesia. *Atom Indonesia*, 41(1):47–50.
- Nikezić, D. P., Gršić, Z. J., Dramlić, D. M., Dramlić, S. D., Lončar, B. B., & Dimović, S. D. 2017. Modeling air concentration of fly ash in Belgrade, Emitted from Thermal Power Plants TNTA and TNTB. *Process Safety and Environmental Protection*, 106:274–283.
- Nikezić, D. P., Lončar, B. B., & Gršić, Z. J. 2014. Mathematical Modeling of Environmental Impacts of a Reactor through the Air. *Nuclear Technology and Radiation Protection*, 29(4):268–273.
- Ozden, B., Guler, E., Vaasma, T., Horvath, M., Kiisk, M., & Kovacs, T. 2018. Enrichment of Naturally Occurring Radionuclides and Trace Elements in Yatagan and Yenikoy Coal-Fired Thermal Power Plants, Turkey. *Journal of Environmental Radioactivity*, 188:100–107.
- Suseno, H., & Wahono, I. B. 2018. Present Status of ^{137}Cs in Seawaters of the Lombok Strait and the Flores Sea at the Indonesia Through Flow (ITF) Following the Fukushima accident. *Marine Pollution Bulletin*, 127:458–462.
- Vaasma, T., Loosaar, J., Kiisk, M., & Tkaczyk, A. H. 2017. Radionuclide Concentration Variations in the Fuel and Residues of Oil Shale-Fired Power Plants: Estimations of the Radiological Characteristics over a 2-year Period. *Journal of Environmental Radioactivity*, 173:25–33.
- Vives i B., J., Aoyama, M., Bradshaw, C., Brown, J., Buesseler, K. O., Casacuberta, N., Christl, M., Duffa, C., Impens, N. R. E. N., Iosjpe, M., Masqué, P., & Nishikawa, J. 2018. Marine Radioecology after the Fukushima Dai-ichi Nuclear Accident: Are we Better Positioned to Understand the Impact of Radionuclides in Marine Ecosystems?. *Science of the Total Environment*, 618(11):80–92.
- Wirasatriya, A., Hartoko, A., & Suripin. 2006. Kajian Kenaikan Muka Laut sebagai Landasan Penanggulangan Rob di Pesisir Kota Semarang. *Jurnal Pasir Laut*, 1(2):31–42.
- Wisha, U. J., Tanto, T. Al, Pranowo, W. S., & Husrin, S. 2018. Current Movement in Benoa Bay Water, Bali, Indonesia: Pattern of Tidal Current Changes Simulated for the Condition before, during, and after Reclamation. *Regional Studies in Marine Science*, 18:177–187.

Xu, M., & Chua, V. P. 2017. A Numerical Study on Land-Based Pollutant Transport in Singapore Coastal Waters with a Coupled Hydrologic-Hydrodynamic Model. *Journal of Hydro-Environment Research*, 14:119–142.