

Pengaruh Parameter Oseanografi Fisik Terhadap Indikasi Pemutihan Karang (*Coral Bleaching*) di Taman Wisata Perairan (TWP) Kapoposang Spermonde Selat Makassar

Moh. Muhaemin^{1*}, Taslim Arifin², Nafisa Mahdafikia¹, Hafidzuddin Fihrin³

¹Program Studi Ilmu Kelautan, Universitas Lampung

Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1, Gedong Meneng, Kota Bandar Lampung, Lampung 35141 Indonesia

²Pusat Riset Kelautan Badan Riset Sumber Daya Manusia, Kementerian Kelautan dan Perikanan
Jl. Pasir Putih I Ancol Timur, DKI Jakarta 14430 Indonesia

³Program Studi Klimatologi Terapan, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor
Babakan, Kec. Dramaga, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16680 Indonesia

*Corresponding author, email: mmuhaemin@gmail.com

ABSTRAK: Karang di Taman Wisata Perairan (TWP) Kapoposang terindikasi mengalami tekanan lingkungan sebagai dampak antropogenik ataupun alami. Kondisi alami yang diduga berperan terhadap kesehatan karang di kawasan tersebut adalah suhu permukaan laut (SPL), salinitas, dan arus permukaan laut (APL). Penelitian dilakukan untuk menganalisis sebaran horizontal parameter oseanografi fisik (SPL, salinitas, dan APL) dan indikasi hubungan antara parameter tersebut dengan pemutihan karang (persentase tutupan karang, PTK). Data seri waktu SPL, salinitas, dan APL pada kurun waktu 2003-2020 dianalisis berdasarkan musim dengan menggunakan Surfer 13 untuk memperoleh pola sebaran horizontal parameter tersebut. Secara terpisah, data citra Landsat pada kurun waktu 2000, 2005, 2015 dan 2020 dianalisis dengan menggunakan Er Mapper 7.0, Envi 5.3, dan ArcGis 10.7 untuk pemetaan klasifikasi karang. Analisis spasio temporal deskriptif digunakan untuk menggambarkan variabilitas kondisi oseanografi dan indikasi hubungannya dengan pemutihan karang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa SPL pada musim timur lebih tinggi dari musim barat, sedangkan salinitas dan APL di musim timur lebih rendah dari musim barat. Persentase tutupan karang hidup terhadap karang total (KH/KT) cenderung menurun pada kurun waktu 20010-2020, sedangkan persentase karang mati terhadap karang total (KM/KT) cenderung meningkat. Terdapat indikasi kuat SPL berkorelasi kuat terhadap peristiwa pemutihan karang di TWP Kapoposang.

Kata kunci: SPL; pemutihan karang; Kapoposang; musim; *hot spot*

Physical Oceanography Parameters Effect on The Indication of Coral Bleaching At Marine Tourism Park (MTP) of Kapoposang Islands Spermonde Makassar Strait

ABSTRACT: Corals at the Marine Tourism Park (MTP) of Kapoposang have been depleting by the anthropogenic or natural disaster effects. The natural phenomena which have been affecting the local corals were sea surface temperature (SST), salinity, and sea surface current (SSC). The research was conducted to analyze the horizontal distribution of those oceanographic parameters and to describe relationship indication of local coral bleaching events (represented by coral coverage area, CCA). The horizontal monsoonal distribution pattern of SST, salinity, and SSC data series (2003 to 2020) were analyzed by using Surfer ver13. In addition, the CCA's distinct Landsat imagery data (2000, 2005, 2015, and 2020) was analyzed by using Er Mapper ver 7.0, Envi ver 5.3, and ArcGis ver 10.7 softwares. Generally, the descriptive spacious-temporal data analysis was used to describe the variability of monsoonal oceanographic conditions (related to regional oceanographic phenomena) and its indication relationship with local coral bleaching events. The result showed that SST in east season was tend to higher than SST in west season; whereas salinity and SSC in east season were tend to lower than those in west season. The life and total CCA ratio (KH/KT) had different trend in which compared with the death and total CCA ratio (KM/KT). Respectively, the SST had close relationship with local coral bleaching events in MTP of Kapoposang.

Keywords: SST; coral bleaching; Kapoposang; monsoon; *hot spot*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang memiliki keanekaragaman sumberdaya alam hayati laut yang melimpah. Salah satu sumberdaya alam hayati laut yang potensial yaitu karang yang tersebar hampir di seluruh perairan Indonesia. Luas karang di Indonesia sekitar 85.707 km² yang mewakili 18% dari jumlah karang di dunia (Tomascik *et al.*, 1997). Tingkat keanekaragaman karang di Indonesia cukup tinggi yaitu 82 marga dengan 569 jenis karang (Giyanto *et al.*, 2017). Namun tingginya keragaman jenis karang di Indonesia tidak diiringi dengan baiknya kondisi karang tersebut. Hal tersebut digambarkan oleh Hadi *et al.* (2018) yang melaporkan bahwa pada tahun 2019 sekitar 33,82% karang di Indonesia berada dalam kondisi buruk, 37,38% dalam kondisi cukup, 22,38% dalam kondisi baik dan 6,42% dalam kondisi sangat baik. Karangpun memiliki keragaman fungsi antara lain fungsi ekologi, ekonomi maupun sosial budaya (Supriharyono, 2010). Tingkat kerusakan karang yang tinggi di Indonesia cenderung disebabkan oleh banyak faktor dan salah satunya adalah faktor oseanografi.

Karang merupakan salah satu biota laut yang sensitif terhadap perubahan kondisi oseanografi suatu perairan. Kondisi oseanografi yang berkaitan erat dengan kondisi karang adalah SPL, salinitas, APL. SPL merupakan suhu massa air permukaan laut yang dapat mempengaruhi suhu massa air di bawahnya namun hanya sampai pada kedalaman \pm 0-100 meter dpl (Nontji, 2005). SPL yang meningkat akan memicu penurunan kadar oksigen di laut dan penurunan daya dukung terhadap kehidupan karang. Penurunan daya dukung tersebut dapat memberikan dampak lanjutan berupa pemutihan karang (*coral bleaching*) atau bahkan kematian pada karang (Westmacott *et al.*, 2000). Perubahan suhu perairan yang melebihi ambang batas kebutuhan karang akan memberikan dampak terhadap lain terhadap pertumbuhan maupun laju reproduksi karang (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2017). Salinitas merupakan kadar garam yang terkandung dalam air. Nilai salinitas air perairan laut berkisar 30–40 ppt (Tarigan, 2000). Perubahan salinitas yang terjadi secara drastis dapat menyebabkan terjadinya pemutihan karang. Pemutihan karang merupakan respon terhadap perubahan lingkungan yang menyebabkan keluarnya zooxanthella dari polip karang ketika terjadinya stres pada karang (Hayes dan Goreau 1992) atau terganggunya sistem pigmentasi endosimbion karang (Zamani *et al.*, 2019). APL adalah faktor mendasar dari ekosistem perairan dan memiliki implikasi untuk semua aspek kehidupan akuatik (Johansen, 2014). APL dapat dijadikan salah satu faktor utama untuk menganalisis indikasi pengaruhnya terhadap kondisi terumbu karang. Kematian karang atau persentaseutupan karang hidup dapat digunakan sebagai indikator kondisi status karang.

Taman Wisata Perairan (TWP) Kapoposang memiliki keragaman sumberdaya hayati laut yang tinggi terutama komunitas karang. Tingginya keragaman tersebut menjadi daya tarik tersendiri bagi turis domestik maupun mancanegara untuk datang berwisata (Edinger *et al.*, 2000). Walaupun demikian kondisi karang di TWP Kapoposang pun dapat terganggu dengan adanya perubahan faktor alami berupa perubahan SPL, salinitas ataupun APL. Perubahan pada faktor lingkungan tersebut berpeluang menimbulkan dampak pada luasanutupan karang. Lebih lanjut memungkinkan terjadinya pemutihan ataupun kematian pada karang (Meinita, 2007). Berdasarkan fenomena tersebut, maka perlu dilakukan kajian sebaran parameter lingkungan (SPL, salinitas, dan APL) beserta indikasi hubungannya dengan pemutihan karang (persentaseutupan karang) di TWP Kapoposang.

MATERI DAN METODE

Penelitian dilakukan di TWP Kapoposang Spermonde, Selat Makassar yang termasuk dalam wilayah Kecamatan Liukang Tupabbiring, Kepulauan Pangkajene (Gambar 1). Kawasan tersebut terbagi atas 2 desa yaitu Desa Mattiro Ujung (Pulau Kapoposang dan Papandangan) dan Desa Mattiro Matae (Pulau Gondongbali, Pemanggangan, Tambakulu dan Suranti).

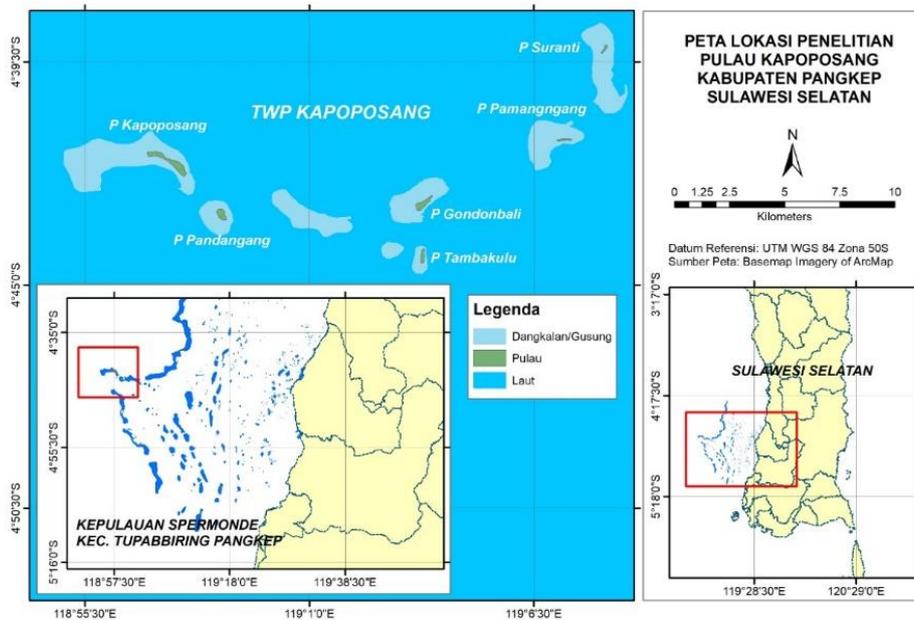
Data primer diperoleh dari hasil survei Tim Riset Sumberdaya Pesisir, Pusat Riset Kelautan BRSDM KKP. Data seri waktu (2003 - 2020) parameter SPL, salinitas dan AP diolah dengan menggunakan Surfer 13. Data citra satelit untuk pemetaan terumbu karang menggunakan Landsat

7 ETM + C1 Level-1 tahun 2000, 2005, 2010, dan 2015 dan citra Landsat 8 C1 Level-1 untuk tahun 2020, diperoleh dari United States Geological Survey (USGS) <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Analisis data dilakukan di Laboratorium Oseanografi Jurusan Perikanan dan Kelautan Universitas Lampung selama Februari-April 2021.

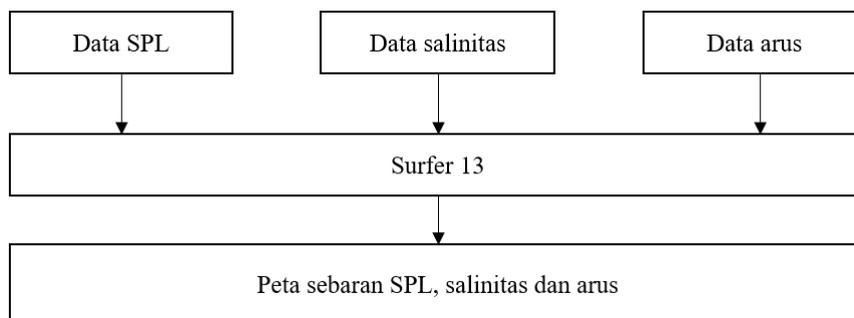
Pengolahan data menggunakan aplikasi Surfer 13 untuk mendapatkan peta sebaran spasial parameter SPL, salinitas dan APL (Gambar 2). Pengolahan data tutupan karang dengan metode pendekatan sistem informasi geografis (GIS) menggunakan beberapa aplikasi yaitu Er Mapper 7.0, Envi 5.3 dan Arc Gis 10.7 (Gambar 3).

HASIL DAN PEMBAHASAN

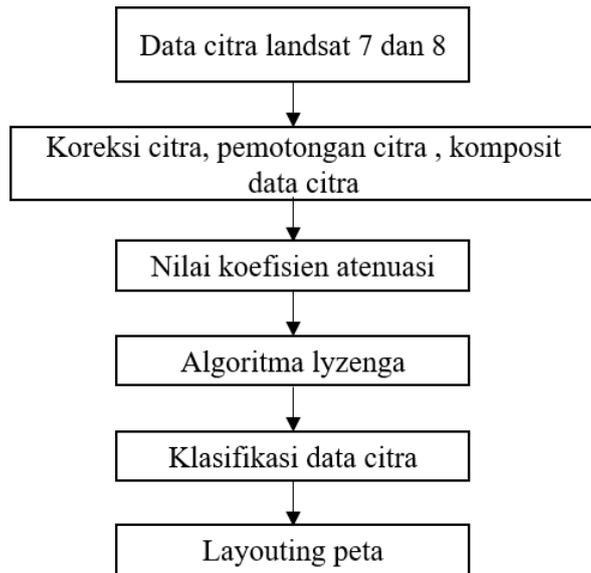
Sebaran SPL di perairan TWP Kapoposang musim timur dan barat (2003-2020) dapat dilihat pada Gambar 4 (a dan b). Berdasarkan peta sebaran SPL musim timur (2003-2020) (Gambar 4a), menunjukkan bahwa bagian timur TWP Kapoposang memiliki nilai SPL lebih tinggi dibandingkan dengan bagian barat. SPL pada musim timur memiliki rata-rata sebesar 29,571 °C. Sedangkan pada peta sebaran SPL musim barat (2003-2020) (Gambar 4b) menunjukkan bahwa bagian barat sekitar perairan TWP Kapoposang memiliki nilai SPL lebih tinggi dibandingkan dengan bagian timur. Nilai SPL pada musim barat memiliki rata-rata sebesar 28,991 °C.



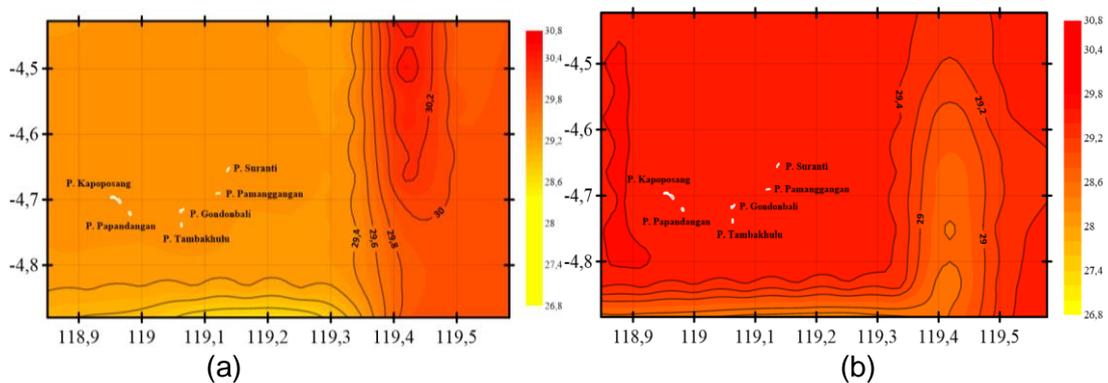
Gambar 1. Peta lokasi penelitian (Arifin *et al.*, 2019)



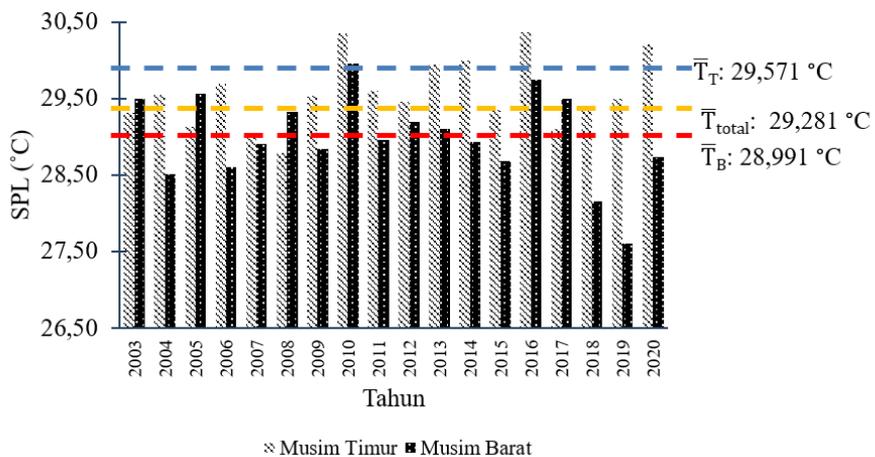
Gambar 2. Metode pengolahan data SPL, salinitas dan APL



Gambar 3. Metode pengolahan tutupan karang



Gambar 4. Sebaran SPL (°C) di perairan TWP Kapoposang (2003-2020). Keterangan (a) =Musim timur, (b) = Musim barat



Gambar 5. SPL rata-rata tahunan musim timur dan barat (2003-2020). Keterangan : \bar{T}_T = SPL rata-rata tahunan musim timur ; \bar{T}_B = SPL rata-rata tahunan musim barat ; \bar{T}_{total} = SPL rata-rata tahunan total

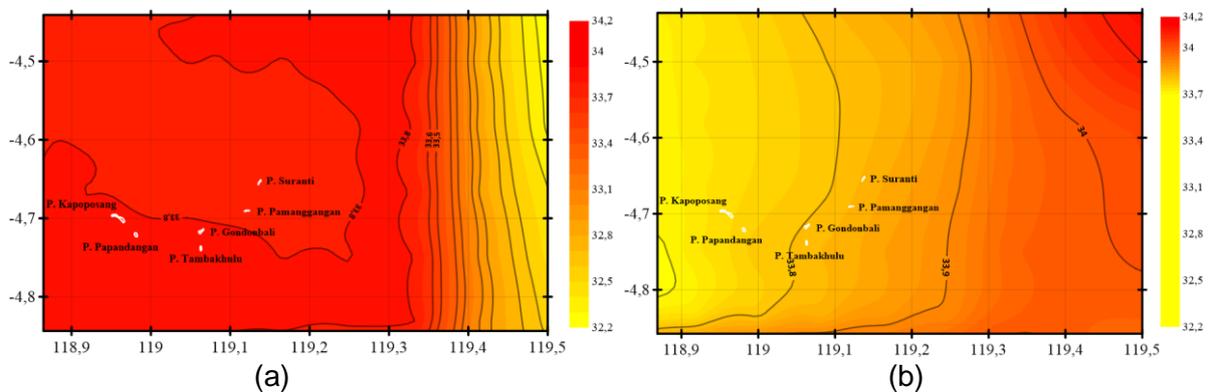
\bar{T}_T tertinggi terjadi pada tahun 2016 yaitu 30,363 °C kemudian diikuti tahun 2010 sebesar 30,348°C Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5. Kecenderungan yang sama juga dijumpai pada musim barat dengan \bar{T}_B yang tertinggi terjadi pada tahun 2010 yaitu 29,961 °C kemudian diikuti pada 2016 yaitu sebesar 29,750 °C. Secara spasial dan temporal, kisaran SPL di perairan TWP Kapoposang tidak jauh berbeda setiap tahunnya dan relatif homogen yaitu berada pada kisaran 28-31 °C, hal tersebut sesuai dengan pernyataan dari Wyrcki (1961) terkait kisaran kondisi umum suhu perairan laut tropis. \bar{T}_{2010} dan \bar{T}_{2016} pada musim timur lebih tinggi dibandingkan dengan \bar{T}_T dan \bar{T}_{total} , kecenderungan yang sama juga dijumpai pada musim barat dengan nilai \bar{T}_{2010} dan \bar{T}_{2016} lebih tinggi dibandingkan dengan \bar{T}_B dan \bar{T}_{total} hal tersebut menandakan bahwa pada tahun 2010 dan 2016 memiliki nilai (Hot Spot/ HS) yang cukup tinggi.

Nilai (Hot Spot/ HS) merupakan resultan antara nilai SPL anomali tahun ke i dengan nilai SPL normal dari kedua musim. HS bernilai positif saja yang dapat menggambarkan kejadian pemutihan karang. Nilai $HS \leq 0$ °C menunjukkan tidak ada kejadian *coral bleaching* (karang dalam kondisi baik), nilai HS yang berkisar antara 0-1 °C menunjukkan kondisi hati-hati, dan nilai $HS \geq 1$ °C menunjukkan kondisi siaga (INCOIS, 2011). Nilai HS musim timur pada tahun 2010 dan 2016 sebesar 0,777 °C dan 0,792 °C sedangkan pada musim barat sebesar 0,971 °C dan 0,759 °C. Hal tersebut menunjukkan kondisi hati-hati pada karang yang berada di perairan TWP Kapoposang karena nilai HS berkisar antara 0-1 °C.

Peningkatan SPL rata-rata tahun 2010 dan 2016 cukup drastis, \bar{T}_T tahun 2010 mengalami peningkatan sebesar 0,812 °C dari tahun sebelumnya dan pada tahun 2016 terjadi peningkatan melebihi 1 °C sebesar 1,011 °C, sedangkan pada musim barat peningkatan suhu kedua tahun tersebut melebihi 1 °C, tahun 2010 terjadi peningkatan sebesar 1,121 °C dan tahun 2016 sebesar 1,070 °C. Peningkatan suhu yang cukup ekstrem tersebut dapat menyebabkan *coral bleaching*, hal tersebut sesuai dengan Salim (2012) yang menyatakan bahwa kejadian pemutihan karang disebabkan oleh kenaikan SPL walaupun hanya sebesar 1-2 °C saja diatas suhu normal dan akan menyebabkan kematian pada karang jika terjadi dalam kurun waktu yang lama.

Sebaran rata-rata salinitas di Perairan TWP Kapoposang musim timur dan musim barat (2003-2020) dapat dilihat pada Gambar 6. Berdasarkan peta sebaran rata-rata salinitas musim timur (2003-2020) pada Gambar 6a menunjukkan bahwa bagian timur memiliki salinitas yang lebih rendah dibandingkan bagian barat TWP Kapoposang. Sedangkan, peta sebaran salinitas musim barat (2003-2020) pada Gambar 6b, menunjukkan bahwa di bagian timur memiliki salinitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan bagian barat yaitu sekitar TWP Kapoposang.

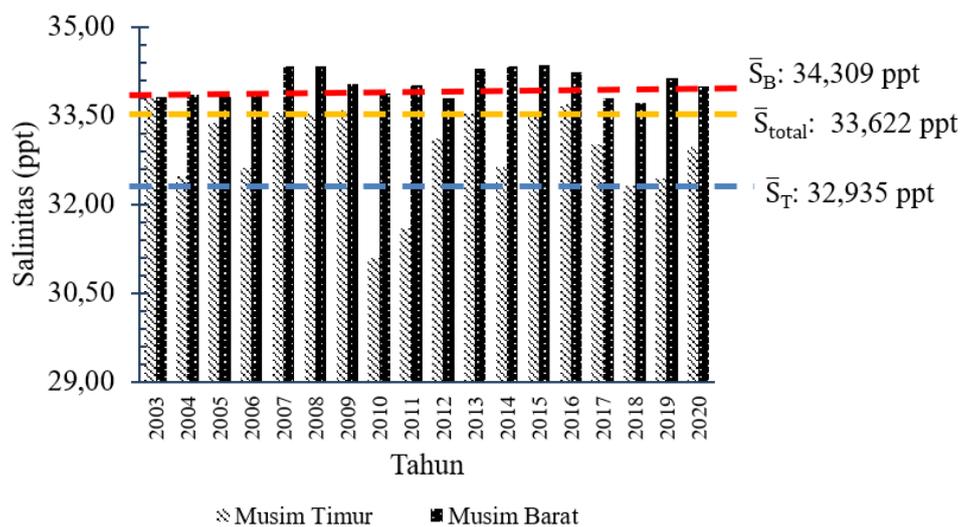
Berdasarkan Gambar 7, \bar{S}_T yang tertinggi terjadi tahun 2003 yaitu sebesar 33,792 ppt kemudian diikuti tahun 2016 sebesar 33,696 ppt. \bar{S}_B yang tertinggi terjadi tahun 2015 sebesar 34,365 ppt kemudian diikuti tahun 2016 sebesar 34,239 ppt, dari hasil analisis tersebut tahun 2016 memiliki nilai salinitas yang cukup tinggi baik pada musim timur maupun barat. Sedangkan, \bar{S}_T terendah terjadi tahun 2010 yaitu 31,096 ppt. Sedangkan, \bar{S}_B yang terendah terjadi tahun 2018



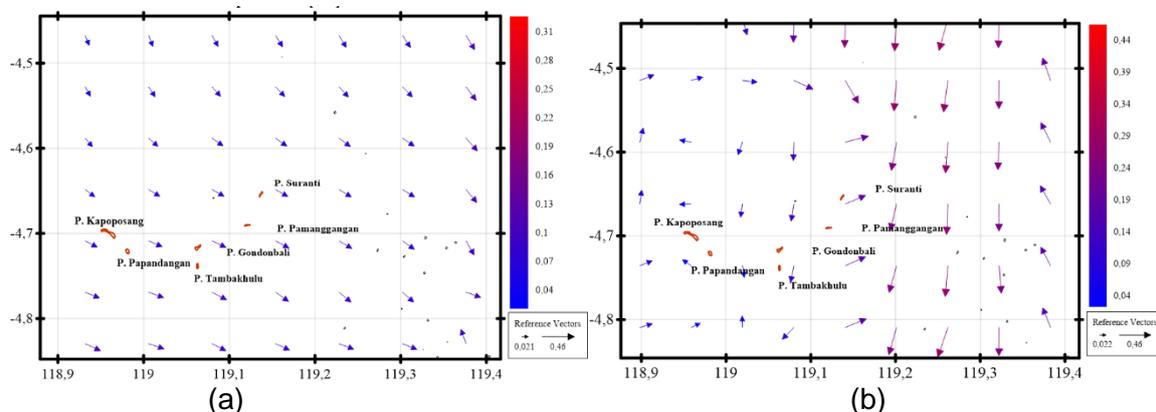
Gambar 6. Sebaran rata-rata salinitas (ppt) di perairan TWP Kapoposang (2003-2020). Keterangan: (a) Musim timur, (b) Musim barat

yaitu sebesar 33,717 ppt. \bar{S}_{2010} pada musim timur kurang dari nilai \bar{S}_T dan \bar{S}_{total} . Hal tersebut dapat menjadi indikasi penyebab pemutihan karang. Rendahnya salinitas ini diperkirakan berasal dari masukan massa air tawar yaitu dari aliran sungai di daratan, seperti masukan dari muara sungai Mahakam yang sangat mempengaruhi proses pengenceran air laut dan penurunan salinitas. Menurut pernyataan Tarigan *et al.* (2000) nilai salinitas rata-rata pada musim timur dan barat masih di perairan TWP Kapoposang dalam batas normal yaitu berada dalam kisaran 30-40 ppt.

Sebaran APL di Perairan TWP Kapoposang musim timur dan musim barat (2003-2020) dapat dilihat pada Gambar 8. Secara geografis, perairan Indonesia terletak diantara dua samudra yaitu Samudra Pasifik dan Samudra Hindia. Kondisi tersebut membentuk suatu sistem sirkulasi lintasan massa air yang mengalir dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia. Massa air hangat yang berasal dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia yang relatif dingin dan melewati perairan Indonesia, sistem sirkulasi massa air tersebut dikenal sebagai APL lintas Indonesia (Arlindo) (Wyrtki, 1961). Arlindo terjadi karena muka air Samudra Pasifik lebih tinggi dari pada muka air Samudra Hindia, yang menyebabkan terbentuknya gradien tekanan sehingga APL akan mengalir dari Samudra Pasifik menuju Samudra Hindia (Wyrtki, 1987). Arlindo melewati beberapa wilayah perairan Indonesia salah satunya adalah Selat Makassar yang menjadi lintasan utama Arlindo.



Gambar 7. Salinitas rata-rata tahunan musim timur dan barat (2003-2020). Keterangan : \bar{S}_T = Salinitas rata-rata tahunan musim timur ; \bar{S}_B = Salinitas rata-rata musim barat ; \bar{S}_{total} = Salinitas rata-rata total



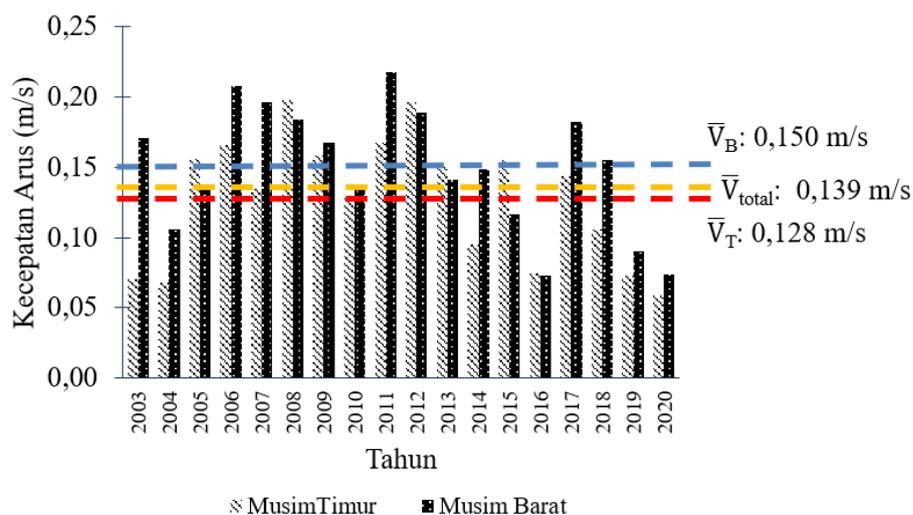
Gambar 8. Sebaran APL di perairan TWP Kapoposang (2003-2020). Keterangan: (a) Musim timur, (b) Musim barat.

Arlindo tersebut mengakibatkan terjadinya variasi parameter oseanografi secara vertikal dan horizontal di Selat Makassar.

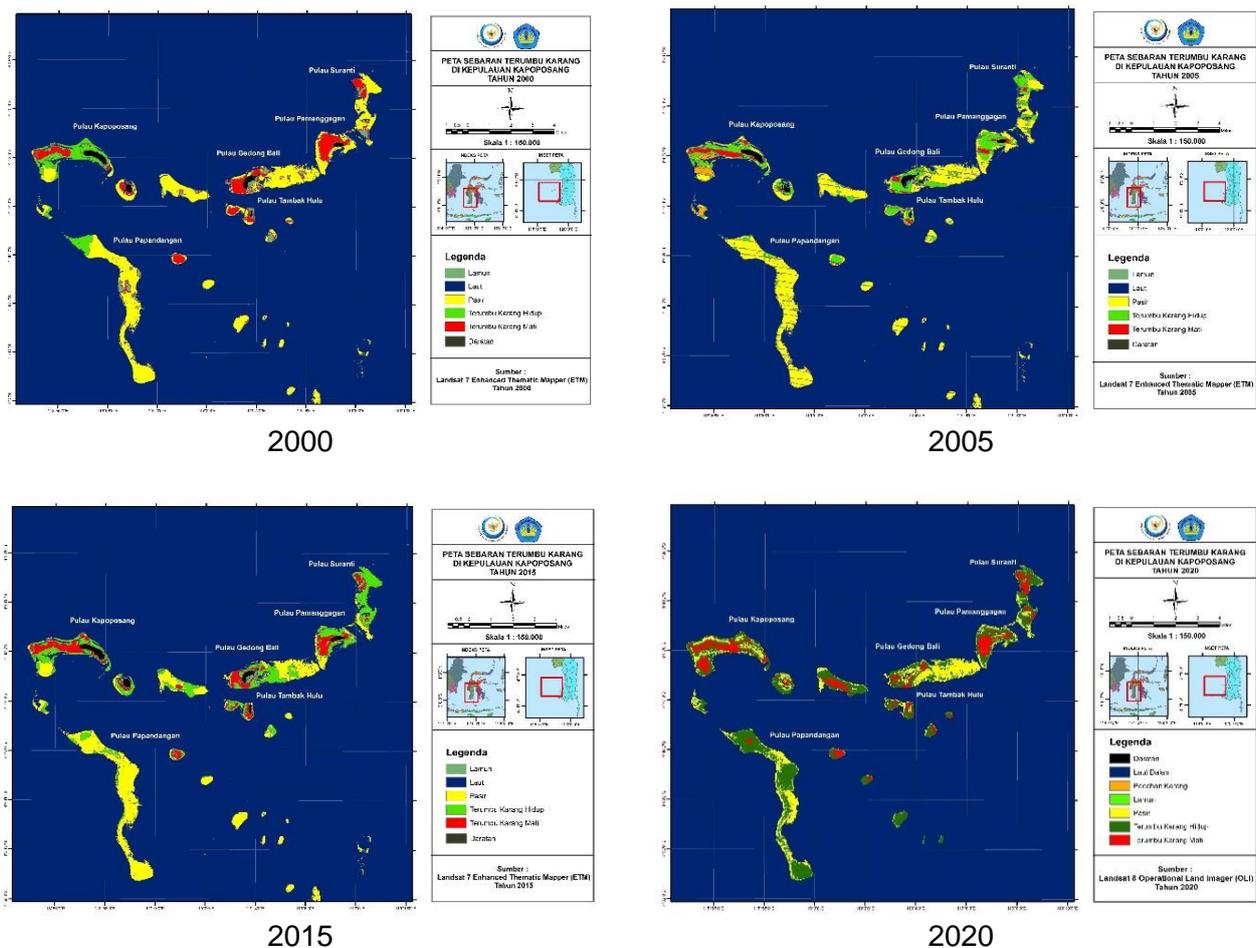
Berdasarkan hasil peta sebaran APL musim timur tahun 2003-2020 pada Gambar 8A, karakteristik APL musim timur yaitu homogen dan tidak terjadi pembelokan. Pergerakan APL dari arah utara yaitu Samudera Pasifik menuju ke Laut Sulawesi kemudian ke arah Selat Makassar melewati TWP Kapoposang, lalu berbelok ke arah timur memasuki Laut Flores. Di bagian tenggara Laut Banda APL berbelok ke arah selatan dan barat daya, memasuki Laut Timor dan terus ke Samudera Hindia. Sebagian massa air akan mengalir melalui Selat Lombok dan berakhir di Lautan Hindia. Berdasarkan hasil peta sebaran APL musim barat tahun 2003-2020 pada Gambar 8B, Karakteristik APL musim barat yaitu tidak homogen dan terjadi pembelokan yang disebabkan oleh desakan massa air yang berasal dari Laut Jawa. Pergerakan APL dari arah Samudera Pasifik ke Laut Sulawesi masuk ke Selat Makassar melewati TWP Kapoposang dan mengalami pembelokan APL. Pembelokan arah APL terjadi pada bagian selatan daratan Sulawesi Selatan pada wilayah Laut Flores masuk ke perairan Selat Makassar menuju ke arah utara, kemudian menuju ke Selat Ombai mengarah ke Samudera Hindia.

Berdasarkan Gambar 9, \bar{V}_T terendah terjadi pada tahun 2020 kemudian diikuti tahun 2016 yaitu berturut-turut sebesar 0,059 m/s dan 0,078 m/s. Sedangkan, \bar{V}_B terendah terjadi pada tahun 2016 dan 2020 yaitu sebesar 0,073 m/s dan 0,074 m/s. Pergerakan APL musim barat memiliki rata-rata kecepatan APL yang lebih kuat dibandingkan dengan musim timur setiap tahunnya yaitu berkisar antara 0,011-0,218 m/s, dibandingkan dengan kecepatan APL pada saat musim timur yang berkisar antara 0,022-0,198 m/s. Rendahnya kecepatan APL yang terjadi di tahun 2016 dan 2020 dapat berpengaruh pada pertumbuhan karang dan menyebabkan *coral bleaching*. Jika pergerakan APL sangat rendah endapan yang berada di permukaan karang tidak terangkat dan proses transfer energi pada karang tidak berjalan lancar. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Dahuri (2003) bahwa pergerakan APL diperlukan dalam proses pertumbuhan karang dalam hal menyuplai makanan berupa mikroplankton, mensuplai oksigen yang berasal dari laut lepas dan berperan dalam proses pembersihan dari endapan-endapan material yang berada di permukaan karang.

Peta sebaran terumbu karang tahun 2000, 2005, 2015 dan 2020 di kawasan TWP Kapoposang dapat dilihat pada Gambar 10. Pengolahan citra hasil klasifikasi menggunakan algoritma lyzenga disajikan dalam bentuk peta yang ditunjukkan pada Gambar 10. Hasil peta sebaran terumbu karang menunjukkan beberapa kelas diantaranya, terumbu karang hidup, terumbu karang mati, lamun, pasir, pecahan karang, laut dan daratan.



Gambar 9. Kecepatan APL rata-rata tahunan musim timur dan barat (2003-2020). Keterangan : \bar{V}_T = Kecepatan APL rata-rata musim timur ; \bar{V}_B = Kecepatan APL rata-rata musim barat ; \bar{V}_{total} = Kecepatan APL rata-rata total



Gambar 10. Peta sebaran karang tahun

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa persentase karang hidup pada tahun 2000 sebesar 26,29% dengan luasan karang hidup sebesar 3.940.333,851 m², persentase karang hidup tahun 2005 sebesar 78,57% dengan luasan karang hidup sebesar 6.242.952,666 m². Persentase karang hidup tahun 2015 sebesar 72,76% dengan luasan karang hidup sebesar 20.045.437,05 m² dan persentase karang hidup tahun 2020 sebesar 60,59 % dengan luasan karang hidupnya sebesar 15.619.478,32 m². Berdasarkan data tersebut dapat dianalisa bahwa presentase karang hidup dan luasan karang hidup pada tahun 2005 menuju tahun 2015 mengalami penurunan, sama halnya dengan tahun 2015 menuju tahun 2020 juga mengalami penurunan, hal tersebut mengindikasikan terjadinya fenomena *coral bleaching* diantara tahun-tahun tersebut. Sedangkan persentase karang mati mengalami peningkatan yaitu dari tahun 2005 menuju 2015 dan tahun 2015 menuju 2020.

Faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya *coral bleaching* yaitu faktor antropogenik ataupun kondisi oseanografi fisik suatu perairan. Faktor oseanografi fisik yang dianalisa pada penelitian ini yaitu SPL, salinitas dan APL. Faktor oseanografi fisik yang menjadi penyebab utama *coral bleaching* yaitu SPL. Kenaikan SPL regional sebesar 0,1°C menghasilkan peningkatan 35% dan 42% pada intensitas pemutihan karang secara geografis (McWilliams *et al.*, 2005). SPL adalah salah satu faktor penting yang dapat mempengaruhi stabilitas simbiosis pada karang pada tingkat individu ataupun dalam cakupan lingkup yang lebih luas, yaitu terumbu karang (Douglass, 2003; Zamani *et al.*, 2019). Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang menunjukkan nilai \bar{T}_{2010} , \bar{T}_{2016} , \bar{T}_{2020} pada musim timur lebih tinggi dibandingkan dengan \bar{T}_T dan \bar{T}_{total} , kecenderungan yang sama juga dijumpai pada musim barat dengan nilai \bar{T}_{2010} dan \bar{T}_{2016} lebih tinggi dibandingkan

Tabel 1. Luasan karang Di TWP Kapoposang (hasil olahan citra satelit pada Gambar 10)

Parameter	Tahun			
	2000	2005	2015	2020
Karang hidup (KH, m ²)	3.940.333,851	6.242.952,666	20.045.437,05	15.619.478,32
Karang mati (KM, m ²)	11.045.215,45	1.702.128,034	7.505.094,357	10.158.909,96
Total	14.985.549,3	7.945.080,7	27.550.531,41	25.778.388,29
% (KH/KT)	26,29	78,57	72,76	60,59
% (KM/KT)	73,30	21,42	27,24	39,40

dengan \bar{T}_B dan \bar{T}_{total} , namun masih dibawah \bar{T}_T (Gambar 5). Hal tersebut menandakan bahwa pada tahun 2010 dan 2016 di kedua musim memiliki nilai (Hot Spot/ HS) yang cukup tinggi. Nilai HS musim timur pada tahun 2010 dan 2016 sebesar 0,777 °C dan 0,792 °C sedangkan pada musim barat sebesar 0,971 °C dan 0,759 °C. Hal tersebut menunjukkan kondisi hati-hati pada karang karena nilai HS berkisar antara 0-1 °C. Berdasarkan data tersebut dapat dianalisa bahwa terdapat indikasi hubungan antara SPL dengan *coral bleaching*. Saat \bar{T}_{2010} dan \bar{T}_{2020} musim timur, nilai SPL cukup tinggi seiring dengan menurunnya persentase karang hidup (Tabel 1). Sehingga semakin tinggi nilai SPL maka akan semakin rendah persentase karang hidupnya. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Baron *et al.* (2010) bahwa kejadian pemutihan karang disebabkan oleh kenaikan SPL walaupun hanya sebesar 1-2 °C saja diatas suhu normal dan akan menyebabkan kematian pada karang jika terjadi dalam kurun waktu yang lama. Selain SPL, parameter oseanografi fisik yang dapat mempengaruhi *coral bleaching* yaitu APL dan salinitas.

Salinitas pada musim timur tahun 2010 mengalami penurunan yang cukup drastis dari tahun-tahun sebelumnya yang dapat berdampak pada karang. \bar{S}_{2010} musim timur adalah salinitas yang terendah diantara yang lainnya yaitu sebesar 31,096 ppt. Hal tersebut sejalan dengan menurunnya persentase karang hidup yang ada di TWP Kapoposang menuju tahun 2015, kejadian tersebut mengindikasikan bahwa adanya hubungan antara salinitas terhadap fenomena pemutihan karang. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Syahnawati *et al.*, (2013) yang menyatakan bahwa salinitas berpengaruh terhadap kehidupan organisme di perairan laut karena dapat menyebabkan terjadinya tekanan osmosis pada tubuh organisme. Organisme tersebut akan mengeluarkan energi yang besar untuk melakukan adaptasi dengan lingkungan. Namun penurunan salinitas mendekati batas toleransi akan berakibat pada kematian organisme termasuk karang. Selain salinitas, APL juga berperan dalam kelangsungan hidup terumbu karang.

Berdasarkan Gambar 9 kecepatan APL musim timur lebih rendah dibandingkan dengan musim Barat. \bar{V}_{2020} dan \bar{V}_{2016} musim timur memiliki nilai kecepatan APL yang paling rendah dibandingkan dengan tahun yang lain. Rendahnya kecepatan APL di tahun 2016 dan 2020 sejalan dengan menurunnya persentase karang hidup di tahun 2020 sehingga mengindikasikan adanya hubungan antara kecepatan APL dengan fenomena *coral bleaching*. Jika pergerakan APL sangat rendah endapan yang berada di permukaan karang tidak terangkat dan proses transfer energi pada karang tidak berjalan lancar. Menurut Tomascik *et al.*, (1997) mengemukakan bahwa adanya APL di daerah terumbu karang berperan untuk mentransportasikan sedimen tersuspensi, nutrisi dan larva serta mensuplai oksigen bagi karang.

KESIMPULAN

Parameter suhu permukaan laut (SPL) memberikan informasi yang lebih tinggi untuk memprediksi indikasi terjadinya fenomena *coral bleaching* dibandingkan dengan parameter salinitas dan APL di TWP Kapoposang Spermonde Selat Makasar.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian menggunakan DIPA Pusat Riset Kelautan BRSDM Kementerian Kelautan dan Perikanan Tahun 2019 - 2020. Ucapan terimakasih kepada Kepala Pusat Riset Kelautan BRSDM KKP atas izin dalam akses data dan penugasan peneliti untuk pembimbingan mahasiswa pada Program Studi Ilmu Kelautan Universitas Lampung; dan kepada Badan Informasi Geospasial (BIG) yang telah memberikan akses data geospasial untuk mendukung penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, T. 2019. Fisiografi dan keragaman jenis karang di pulau-pulau kecil Makassar, Kepulauan Spermonde. *Konservasi Pesisir dan Laut Ekosistem, Molekuler Ekologi, Marxan, dan Indrajaya*. IPB Press. Bogor, pp. 13–26.
- Dahuri, R. 2003. *Keanekaragaman Hayati Laut: Pembangunan Berkelanjutan Indonesia*. Jakarta. Gramedia Pustaka Utama.
- Douglass, A.E. 2003. Coral Bleaching - how and why. *Marine Pollution Bulletin*, 46: 385- 392. DOI: 10.1016/S0025-326X(03)00037-7
- Edinger E.N., Limmon, G.V., Wisnu, Heikoop, M.J. & Michael, J. 2000. Normal Coral Growth Rates on Dying Reefs: Are Coral Growth Rates Good Indicators of Reef Healthy. *Marine Pollution Bulletin*, 40(5): 404–425. DOI: 10.1016/S0025-326X(99)00237-4
- Giyanto, Abrar, M., Hadi, T.A., Budiyanto, A., Hafizt, M., Salatalohy, A. & Iswari, M. 2017. *Status Terumbu Karang Indonesia 2017*. Jakarta. LIPI Press.
- Hadi, T.A. & Giyanto, B.P. 2018. *Terumbu Karang Indonesia 2018*. Jakarta: LIPI Press.
- Hadi, T.A., Abrar, M., Giyanto., Prayudha, B., Johan, O., Budiyanto, A., Dzulmalek, A.R., Alifatri, L.O., Sulha, S. & Suharsono. 2019. *The Status Of Indonesian Coral Reefs 2019*. Jakarta. Puslit Oseanografi-LIPI.
- Hayes, R.I. & Goreau T.J. 1992. Histology of Caribbean and south Pacific bleached corals. *Proc. 7th Int. Coral Reef Symp*, 1: p.71.
- Hoegh-Guldberg, O., Poloczanska, E.S., Skirving, W. & Dove, S. 2017. Coral Reef Ecosystems under Climate Change and Ocean Acidification. *Frontiers in Marine Science*, 4: p.158. DOI: 10.3389/fmars.2017.00158.
- Indian National Centre for Ocean Information Services (INCOIS). 2011. Coral bleaching Alert System. *Technical Documentation, INCOIS, Hyderabad*. 8-10.
- Johansen, J.L. 2014. Quantifying Water Flow within Aquatic Ecosystems Using Load Cell Sensors: A Profile of Currents Experienced by Coral Reef Organisms around Lizard Island, Great Barrier Reef, Australia. *PLoS ONE*, 9(1):17-28. DOI: 10.1371/journal.pone.0083240.
- Maria, D.N.M. 2007. Coral Reefs in Indonesia: A Review on Anthropogenic and Natural Disturbances. *Journal of Marine Bioscience and Biotechnology*, 2(1): 1-10.
- McWilliams, J.P., Côté, I.M., Gill, J.A., Sutherland, W.J. & Watkinson, A.R. 2005. Accelerating impacts of temperature-induced coral bleaching in the Caribbean. *Ecology*, 86(8): 2055-2060. DOI: 10.1890/04-1657
- Nontji, A. 2005. *Laut Nusantara*. Jakarta. Djambatan.
- Salim, D. 2012. Pengelolaan ekosistem terumbu karang akibat pemutihan (Bleaching) dan rusak. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 5(2): 142-155.
- Supriharyono. 2010. *Pelestarian dan Pengelolaan Sumber daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis*. Jakarta. Gramedia.
- Syahnilawati, Baru, S. & Romy K. 2013. Kelimpahan *Acanthaster planci* pada Perairan Terumbu Karang di Pulau Santigi Selat Tiworo Kabupaten Muna, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Mina Laut Indonesia*, 3:1-12.
- Tarigan, M.S. & Edward. 2000. Perubahan Musiman Suhu, Salinitas, Oksigen Terlarut, Fosfat dan Nitrat di Perairan Teluk Ambon. *Pesisir dan Pantai Indonesia IV*. Jakarta. Puslitbang Oseanologi-LIPI. Hal. 77.

- Tomascik, T., Mah, A.J., Nontji, A. & Moosa, M.K. 1997. The Ecology of Indonesian Seas. Dalhousie University, Periplus Edition. Singapore. 1388.
- Westmacott, S., Teleki, K., Wells, S. & West, J. 2000. Pengelolaan terumbu karang yang telah memutih dan rusak kritis. Jakarta. Yayasan Terumbu Karang Indonesia.
- Wyrtki, K. 1961. Physical Oseanography of The Southeast Asian Waters. Naga Report. *Scripps Institution of Oceanography*. The University of California. La Jolla. California, 2: 195.
- Wyrtki, K. 1987. Indonesian Through Flow and The Associated Pressure Gradient. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 92: 12941-12946. DOI: 10.1029/JC092iC12p12941
- Zamani, N.P., Soedharma, D., Madduppa, H. & Muhaemin, M. 2019. The Intracellular Photopigment and Glutathione (GSH) Dynamics in *Symbiodinium* Natural Population During Light Stress and Recovery. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 325: p.012015. DOI:10.1088/1755-1315/325/1/012015.