

PENGARUH TURBULENSI TERUMBU BUATAN SILINDER BERONGGA BAGI KESUBURAN PERAIRAN

THE IMPACT OF ARTIFICIAL CYLINDRICAL REEF FOR WATER FERTILITY

Rudhy Akhwady^{*1)}, Mukhtasor²⁾, Haryo D Armono²⁾, dan Mahmud Musta'in²⁾
**¹⁾Balitbang Kelautan dan Perikanan KKP RI Jakarta, Jalan Pasir Putih 1, Ancol
Timur, Jakarta Utara**
**²⁾Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknik Kelautan ITS, Jalan Arif Rahman
Hakim Surabaya 60111**
^{*)E-mail: r_akhwady@yahoo.com}

Abstrak

Plankton sebagai indikator kesuburan perairan sangat dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara dan tingkat sebaran nutriennya. Pola sebaran dan ketersediaan unsur di sekitar habitat struktur juga dipengaruhi oleh adanya turbulensi di sekitar terumbu buatan yang terjadi. Sehingga salah satu cara meningkatkan kesuburan perairan yaitu dengan cara meningkatkan tingkat turbulensinya. Dalam makalah ini akan dikaji model pola aliran di sekitar terumbu buatan berbentuk silinder, diharapkan bentuk terumbu yang diusulkan dapat meningkatkan turbulensi dan jumlah plankton yang tertahan di sekitar terumbu buatan di tempatkan. Hasil pengukuran menunjukkan adanya peningkatan intensitas turbulen di sekitar perairan yang terjadi diantara rongga-rongga terumbu dan diukur pada saat kondisi tanpa terumbu (eksisting) sebesar 1.022 dan terdapat terumbu sebesar 0.655. Keberadaan terumbu buatan ini dapat meningkatkan kesuburan perairan dengan menahan aliran plankton agar bergerak ke dalam terumbu sehingga bisa berlindung dan tidak bergerak melewati terumbu menuju pantai. Dengan demikian plankton di dalam terumbu bisa melakukan pemijahan, perkembangbiakan serta pertumbuhan didalamnya.

Kata kunci : nutrien, plankton, terumbu buatan, turbulen

Abstract

Plankton as an indicator of abundance was strongly influenced by nutrient availability and the distribution of nutrients. Distribution patterns and the availability of elements around the habitat structure also influenced by the turbulence around the artificial reefs that occurred. Thus, the water fertility can be enhanced by improving the level of turbulence. This paper reviewed flow pattern around a cylindrical reef, with deployment of artificial reef expected increasing turbulence and amount of plankton amount in the vicinity of artificial reefs. The measurement data showed a progress about intensity of turbulence that occurred between the hollows cylindrical reefs and measured in condition any reefs (existing) at least 1.022 and 0.655 in reefs condition. The existence of this artificial reefs were expected to increase plankton abundance and against plankton then make them to keep moving inward and impassing on artificial reef toward coastal because of wave celerity in order to do spawning, nursing and growing safely.

Keywords: artificial reefs, nutrient, plankton, turbulence

1. PENDAHULUAN

Indonesia dengan luas laut 5,8 juta km² mempunyai potensi kelautan, perikanan dan pariwisata yang sangat besar. Potensi lestari sumberdaya perikanan laut Indonesia sebesar 6.167.940 ton/tahun (Budiharsono, 2001). Tetapi potensi yang besar tersebut akan hilang apabila komponen pendukungnya seperti ekosistem terumbu karang mengalami kerusakan. Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (1996) dari luas terumbu karang yang ada di Indonesia sekitar 50.000 km² diperkirakan hanya 7% terumbu karang yang kondisinya sangat baik, 33% baik, 46% rusak dan 15% lainnya dalam kondisi kritis (Supriharyono, 2000).

Rusaknya terumbu karang tersebut akan berpengaruh terhadap kelangsungan hidup ikan dan beragam biota laut lainnya. Untuk itu diperlukan suatu upaya pelestarian agar kerusakan terumbu karang dapat dicegah. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi masalah kerusakan terumbu karang tersebut diantaranya dengan transplantasi karang dan teknologi terumbu karang buatan (*artificial reef*) yang terbuat dari bahan balok beton, potongan kapal, perahu kayu, mobil bekas, dan ban bekas serta bambu.

Keberadaan plankton di suatu perairan dapat digunakan sebagai dasar informasi tentang kualitas dan tingkat kesuburan perairan, maka di dalam mendesain terumbu buatan perlu diperhatikan beberapa faktor seperti cahaya dan unsur hara. Pengaruh cahaya terkait dengan produktifitas sangat kuat, dikarenakan dibutuhkan selama kegiatan fotosintesis berlangsung (Nybakken, 1992, Estrada dan Berdallet, 1997).

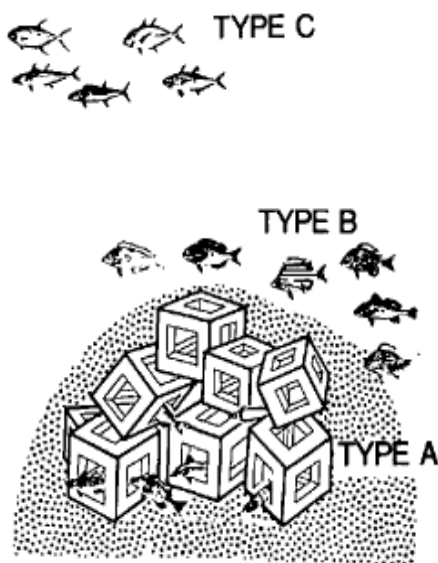
Pendapat sama juga dikemukakan oleh Nontji (2008) karena adanya pengaruh lingkungan dalam kegiatan produksi primer plankton yaitu cahaya matahari dengan spektrum yang lebar dengan panjang gelombang 400-720 nm, dimana suhu matahari berpengaruh pada perubahan enzimatik proses fotosintesis.

Plankton merupakan organisasi komunitas kelompok yang hidup secara kolektif di laut dengan pola melayang, dengan klasifikasi penggolongan plankton terdiri atas: zooplankton (hewani) dan fitoplankton (nabati). Penggolongan plankton dilakukan dengan melihat ukuran yang berhasil di tangkap oleh jaring plankton. Kemampuan fitoplankton mampu berfotosintesis dengan menyerap cahaya matahari, menyebabkan fitoplankton mempunyai ukuran yang lebih besar dari zooplankton. Fitoplankton merupakan tingkatan plankton jenis diatoms dan dinoflagelata, sedangkan zooplankton merupakan komunitas kelompok hewan-hewan planktonik dan berada di wilayah yang terdapat makanan.

Daur kehidupan fitoplankton berada di daerah yang cukup cahaya matahari untuk fotosintesis, sedangkan zooplankton hidup di daerah yang mempunyai banyak fitoplankton sebagai sumber makanan. Dari beberapa zooplankton yang hidup tersebut, merupakan sumber makanan bagi ikan yang banyak tersebar di sekeliling terumbu karang pada waktu siang hari. Sedangkan pada malam harinya, ikan-ikan bersembunyi dan mencari makan di sekitar dan di celah-celah terumbu karang. Dalam perilakunya, aktifitas ikan juga dipengaruhi oleh adanya respon terhadap terumbu karang atau yang disebut *Reefiness*, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 1. Beberapa insting kelompok ikan banyak dipengaruhi oleh adanya perbedaan stimulus "Taxis" seperti: phototaxis atau cahaya dan chemotaxis atau bau (Nakamura, 1985).

Sebagai contoh dari tiga kelompok jenis ikan, adanya jenis ikan A yang lebih menyukai kontak fisik dengan terumbu karang dan tinggal di tengah lubang/celah terumbu karang. Jenis ini merupakan mayoritas kelompok ikan yang menetap sebagai bentik seperti ikan karang dan ikan kod. Sedang ikan tipe B lebih banyak tinggal di sekitar terumbu buatan karena adanya pengaruh cahaya dan suara. Sebagian sisanya tinggal di dasar laut. Untuk kelompok jenis ikan B, terumbu karang yang

direncanakan mempunyai lubang dengan variasi ukuran tidak lebih besar dari 2 meter dimana lebar struktur ini dapat menghasilkan pusaran air maksimum di bawah kondisi arus yang ada. Di samping itu kecepatan arus di bagian dalam tidak melebihi tingkat yang normal, sehingga ikan-ikan dapat aman dipersembunyikannya.

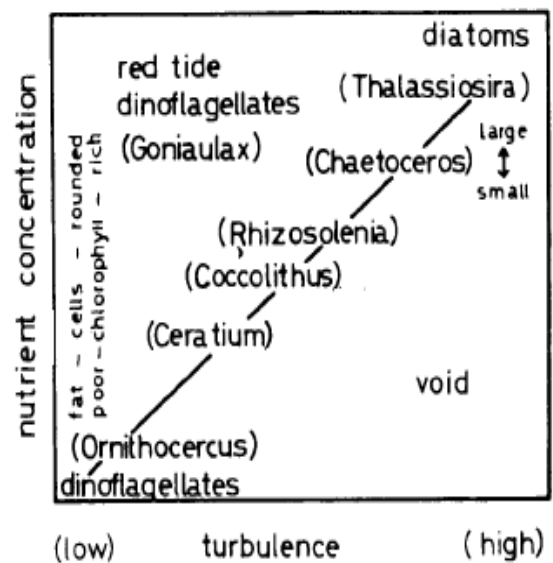


Gambar 1. Reefiness sebagai respon ikan ke arah terumbu (Nakamura, 1985)

Sedangkan untuk ikan tipe C, lebih banyak menunggu di atas terumbu dan sebagian jenis ini lebih banyak berada di bagian tengah dan atas kolom air.

Bentuk hubungan antara suplai nutrient dan turbulen terkait dengan tingkat kesuburan perairan Arus turbulen dapat terjadi dalam perairan, ketika arus air laminar bertabrakan dengan suatu penghalang (*barrier*) seperti terumbu buatan kemudian timbul pusaran (*eddies*) disekitar penghalang tersebut (Armono, 2010). Hubungan turbulen dan nutrient digambarkan dalam bentuk sistematisasi fungsi morfologi phytoplankton. Sistematisasi ini dikemukakan oleh Margalef, (1978) yang dikenal dengan Margalef's Mandala, seperti pada Gambar 2.

Kerangka konsep taxonomi Margalef (1978) mengelompokkan fitoplankton ke dalam beberapa wilayah. Jenis *diatoms* tumbuh dengan subur di perairan yang turbulen dan nutriennya tinggi. Di bawah kondisi ini terdapat *dinoflagelata* yang bergerak sesuai dengan perubahan kolom air dan dipengaruhi oleh unsur sedimen yang berperan dalam penyediaan gizi.

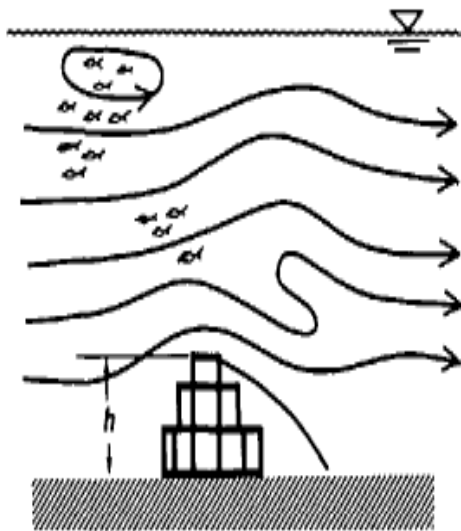


Gambar 2. Pola Kehidupan Fitoplankton (Margalef, 1978)

Beberapa planktologist sendiri juga telah membedakan skala turbulen yang terjadi berkaitan dengan fisiologi fitoplankton dan distribusinya, diantaranya adalah Yamazaki dan Osborn (1988) yang membagi ke dalam tiga skala turbulen yaitu: (1) jarak 10 km -100 km dengan perubahan gerakan air laut akibat *upwelling*; (2) jarak beberapa meter; dan (3) beberapa sentimeter, gerakan turbulen terjadi dekat permukaan dan di beberapa lapisan air laut akibat gravitasi, konveksi, angin dan instruksi termoheline.

Gelombang yang terjadi di dalam terumbu karang dapat dilihat pada Gambar 3. Menurut Kirboe (1997), turbulen skala besar akan menaikkan konsentrasi makanan dan ketersediaan makanan bagi predator. Sedang turbulen dalam skala kecil akan meningkatkan

transport nutrisi ke arah permukaan sel-sel fitoplankton. Ditambahkan juga oleh McCave (1984) apabila adanya turbulen skala sedang juga dapat meningkatkan partikel tersuspensi bahkan meningkatkan nutrisi dengan penguraian partikel yang terjadi. Sedangkan dengan adanya aliran vertikal turbulen menurut Estrada dan Berdallet (1997) akan menyebabkan adanya pencampuran perubahan penetrasi cahaya dan nutrisi sebagai akibat adanya perbedaan kolom air.



Gambar 3. Gelombang di bagian dalam Terumbu (Nakamura, 1985).

Tingkat perubahan kecepatan turbulen sangat berpengaruh pada karakteristik lingkungan perairan. Menurut Mac Kenzie, *et al.* (1991), turbulen dapat mengurangi tingkat photoadaptive secara vertikal dari populasi plankton karena perbedaan kolom air, dan dengan terjadinya turbulen terjadi proses dispersi populasi plankton akan lebih besar dibanding di daerah yang tenang.

2. METODA

Lokasi yang dipilih sebagai tempat penempatan terumbu karang buatan adalah Pantai Putih di Kecamatan Bungatan, Situbondo, Jawa Timur. Lokasi ini dipilih karena lokasi tersebut merupakan salah satu kawasan wisata dan konservasi laut yang

mempunyai kekayaan alam berupa terumbu karang dan ikan-ikan hias. Kekayaan alam ekologi pantai Pasir Putih yang sekarang ini menyebabkan semakin banyak dikunjungi oleh wisatawan baik domestik maupun manca negara. Karena selain hal tersebut, lokasi ini juga menyediakan aktifitas wisata *diving* dan *snorkling* sebagai wisata bawah air. Posisi terumbu yang diteliti berada pada kedalaman 3,2 m dengan koordinat $113^{\circ} 49,42'05$ E dan $7^{\circ} 41,30'60$ S seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Lokasi Penempatan Terumbu di Pasir Putih, Situbondo

Penempatan dan pengukuran parameter fisik dan oseanografi terumbu dilakukan di lapangan pada tanggal 17-20 Agustus 2010, dengan tujuan untuk mengetahui tingkat keberhasilan setelah penempatan (*deployment*) terumbu karang buatan. Pengukuran dilakukan dengan *Acoustic Doppler Current Profiler* (ADCP) tipe Sontek Argonaut 10-XR. Pengukuran dilakukan selama 12 jam. Hasil yang diperoleh tinggi gelombang datang (*incident*) cukup kecil.

Gelombang yang terjadi di lapangan berkisar antara 5-15 cm, dengan periode antara 2 - 4 detik. Menurut Munson (2003), intensitas turbulen didefinisikan sebagai akar rata-rata kuadrat kecepatan fluktuatif dibagi dengan kecepatan rata-rata menurut fungsi waktu sebagaimana didefinisikan dalam persamaan (1):

$$I = \frac{\sqrt{(u')^2}}{\bar{u}} = \frac{\left[\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} (u')^2 dt \right]^{1/2}}{\bar{u}} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana: *I* = Intensitas turbulen, *u* = kecepatan turbulen m/det, \bar{u} = kecepatan turbulen rata-rata.

Intensitas turbulen pada daerah yang tenang akan lebih kecil nilainya daripada yang tidak tenang, misal: intensitas untuk aliran di atmosfer dan sungai nilainya lebih besar dari 0.1. Sedangkan intensitas dalam terowongan angin memiliki intensitas turbulen antara 0.0002 sampai dengan 0.01 (Munson, 2003). Semakin besar intensitas turbulen, maka fluktuasi kecepatan turbulen juga semakin besar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

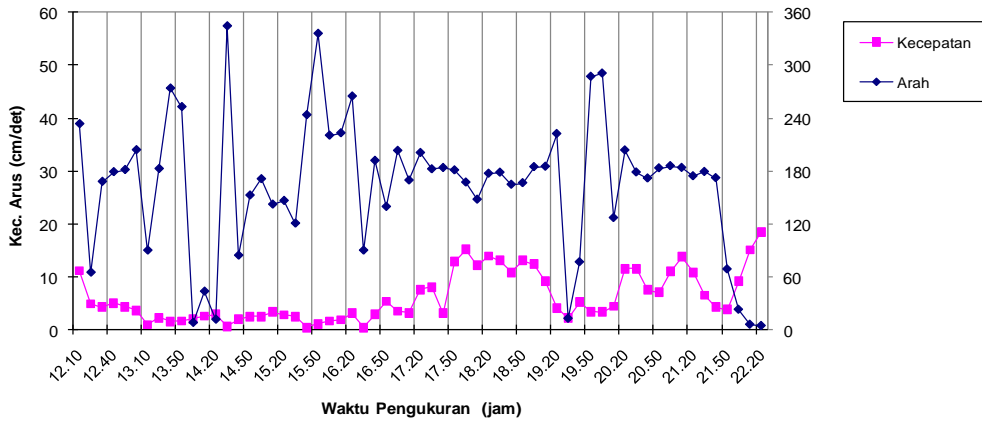
Hasil pengukuran arus di sekitar lokasi pengamatan baik pada kondisi dengan maupun tanpa terumbu buatan yang dilakukan secara serentak/bersamaan pada kedua lokasi diberikan pada Gambar 5 dan 6. Pada gambar 5 berikut ini ditunjukkan hasil pengukuran pada lokasi dengan terumbu buatan pada posisi sebelum (*offshore*) dan sesudah terumbu buatan (*onshore*). Sumbu vertikal kiri menunjukkan bacaan kecepatan arus dalam cm/detik sedangkan sumbu vertikal kanan menunjukkan arah kecepatan yang dinyatakan dalam derajat. Berturut-turut arah utara dinyatakan dalam 0 atau 360°, Timur 90°, Selatan 180°, dan Barat 270°. Sumbu horizontal menunjukkan waktu pembacaan kecepatan dan arah arus secara bersamaan. Dari hasil pengukuran tercatat bahwa kecepatan di lokasi setelah terumbu buatan

lebih tinggi bila dibandingkan dengan lokasi sebelum terumbu buatan. Demikian pula arah arus saat pengukuran di daerah *onshore* (pantai) lebih dominan ke arah utara pada awal pengukuran. Selanjutnya pada saat air menuju pasang, arus dari *offshore* berasal dari arah Selatan.

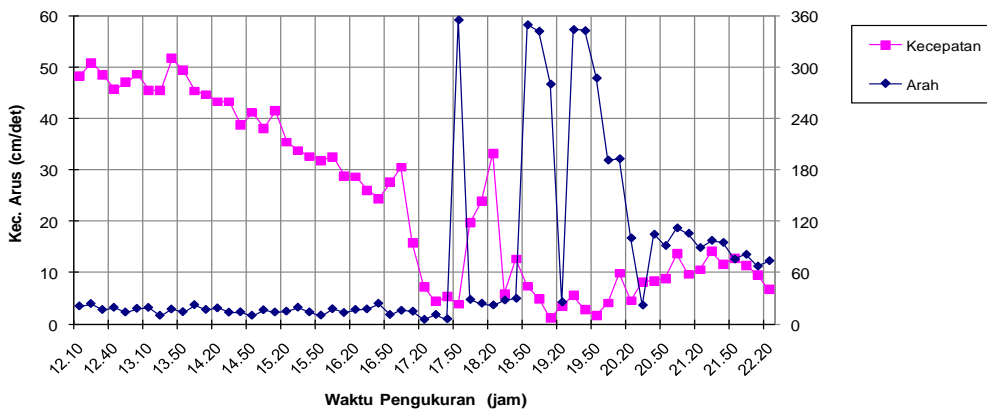
Kecepatan arus juga mengalami penurunan saat air menuju surut hingga mencapai titik terendahnya dan berangsur-angsur meningkat. Gambar 6 berikut menunjukkan pengukuran di lokasi tanpa terumbu buatan pada posisi *offshore* (laut lepas) dan *onshore* (dekat pantai). Seperti halnya Gambar 5 sebelumnya, sumbu vertikal kiri menunjukkan bacaan kecepatan arus dalam cm/detik, sedangkan sumbu vertikal kanan menunjukkan arah kecepatan yang dinyatakan dalam derajat. Berturut-turut arah utara dinyatakan dalam 0 atau 360°, Timur 90°, Selatan 180°, dan Barat 270°. Sumbu horizontal menunjukkan waktu pembacaan kecepatan dan arah arus secara bersamaan.

Pada Gambar 5 nampak jelas pula perubahan arah pergerakan arus dari kondisi pasang menuju surut sebagaimana terlihat pada Gambar 5a. Berbeda dengan kondisi dengan terumbu, kecepatan arus lebih kecil pada lokasi *onshore* bila dibandingkan dengan lokasi *offshore* untuk lokasi tanpa terumbu buatan. Kecepatan pada lokasi *onshore* berkisar antara 0,5 sampai 19 cm/det sementara kecepatan pada lokasi *offshore* berkisar antara 1 sampai 50 cm/det. Secara sepintas nampak bahwa ada penurunan nilai koefisien transmisi hingga 30%-20%, sebagaimana terlihat pada Gambar 7, namun hasil pengukuran pada lokasi tanpa terumbu pun menunjukkan nilai *Kt* hingga 30%, sehingga belum terlihat secara signifikan kinerja terumbu dalam mereduksi gelombang.

Hal ini mungkin disebabkan oleh kecilnya gelombang yang terjadi pada saat pengukuran, (maksimum hanya sebesar 15 cm) atau juga karena kekurangpekaan ADCP dalam mengukur tinggi gelombang karena berdasar

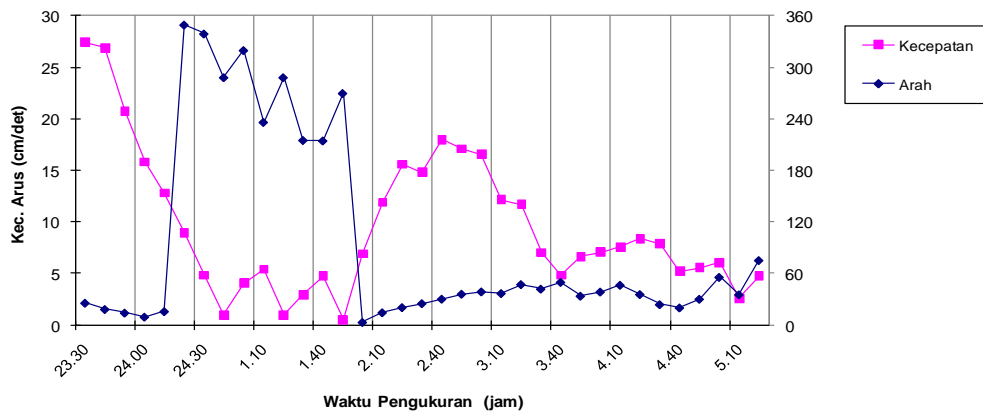


a. Kecepatan arus dengan terumbu karang buatan di *Offshore*

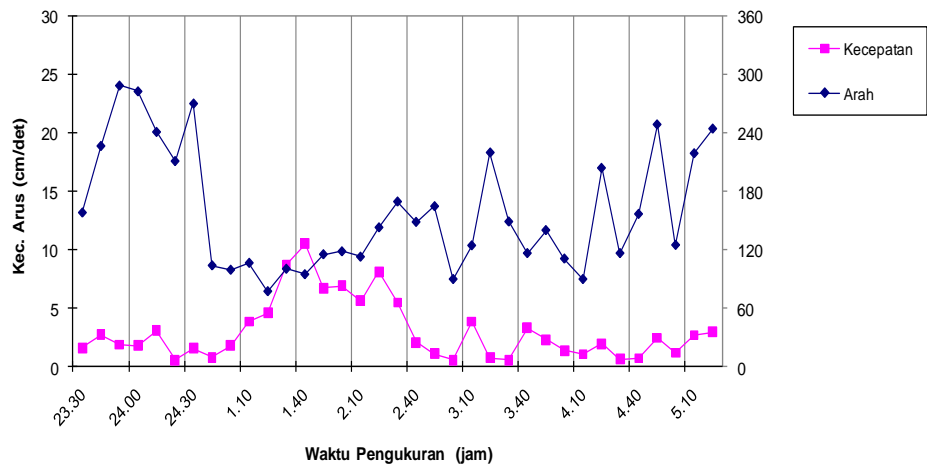


b. Kecepatan arus dengan terumbu karang buatan di *Onshore*

Gambar 5. Hasil Pengukuran Kecepatan dan Arus *Offshore* dan *Onshore* di Sekitar Terumbu Buatan



a. Kecepatan Arus Tanpa Terumbu di *Offshore*



b. Kecepatan Arus Tanpa Terumbu di *Onshore*

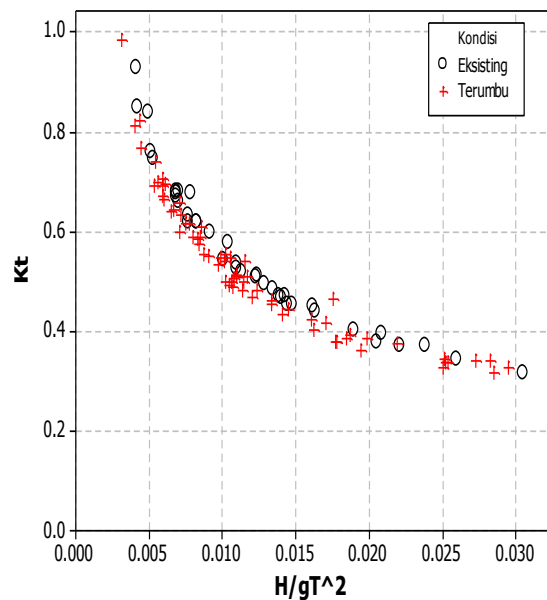
Gambar 6. Hasil Pengukuran Kecepatan dan Arus Tanpa Terumbu Buatan/Eksisting

pada sistem pressure sensor, sehingga penempatan ADCP yang terlalu jauh di bawah laut mengurangi tingkat kepekaannya dalam mengukur tinggi gelombang, ditambah lagi tinggi gelombang yang terlalu kecil.

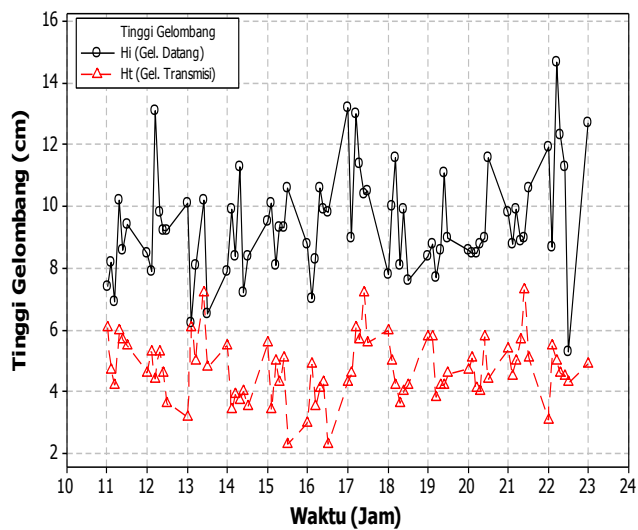
Sedangkan gelombang yang melewati terumbu buatan (*transmitted*) memiliki tinggi gelombang yang lebih kecil yaitu antara 2,5 sampai 7,5 cm dengan periode 8 sampai 10 detik pada daerah tanpa terumbu dan berkisar antara 8 sampai 12 detik pada daerah dengan terumbu (Gambar 8). Data fisik dan oseanografi hasil pengukuran berupa tinggi gelombang dan kecepatan di sekitar terumbu yang dilakukan ditampilkan dalam bentuk Tabel 2.

Berdasarkan hasil pengukuran yang dilakukan, dapat dinyatakan bahwa dengan tingginya intensitas turbulen yang terjadi zona *offshore* (wilayah gelombang datang) dibanding zona *onshore* (wilayah gelombang transmisi) dimana di area ini tinggi gelombang berhasil direduksi menjadi lebih kecil dan menyebabkan tingkat kesuburan berkurang. Sehingga dengan adanya perbedaan kesuburan akibat perbedaan intensitas turbulen di sekitar terumbu, maka biota di perairan tersebut

menjadikan keberadaan terumbu buatan sebagai zona transisi atau tempat transit (*shelter*) agar dapat melakukan kegiatan pemijahan, pembesaran dan berkembangbiakan dengan aman.



Gambar 7. Perbandingan Kecuraman Gelombang (H/gT^2) dengan Koefisien Transmisi Terumbu Terumbu Buatan



Gambar 8. Hubungan Tinggi Gelombang dengan Waktu

Tabel 2. Hasil Pengukuran Peredaman *Bottle Reef* di Situbondo

Parameter Fisik Dan Oseanografi	<i>Bottle Reef</i>	
	Incident	Transmisi
Tinggi Gelombang (cm)	9.485	4.691
Kecepatan Arus (cm/dt)	7.446	12.923
Periode (detik)	3.59	8.89
Temperatur (° C)	29.6	29.6
Intensitas Turbulensi	1.021	0.665

Sebagaimana beberapa hasil penelitian tentang hubungan kesuburan dengan turbulensi yang menyebutkan bahwa naiknya konsentrasi transport nutrien makanan akibat dan ketersediaan ke arah permukaan bagi sel-sel fitoplankton (Kirboe, 1997). Dengan adanya turbulen dapat meningkatkan partikel tersuspensi bahkan meningkatkan nutrient (McCave, 1984). Akibat aliran vertikal turbulen menurut menyebabkan adanya pencampuran perubahan penetrasi cahaya dan nutrien sebagai akibat adanya perbedaan kolom air (Estrada dan Berdalet, 1997). Tingkat terjadinya turbulen dengan adanya proses dispersi populasi plankton akan lebih

besar dibanding di daerah yang tenang (Mac Kenzie *et al.*, 1991).

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian yang dilakukan membuktikan bahwa fungsi terumbu yang terpasang di Pasir Putih, Kab. Situbondo Jawa Timur selain sebagai peredam gelombang juga berfungsi sebagai tempat habitat bagi ekosistem di sekitarnya untuk kegiatan pemijahan, perkembangbiakan dan pembesaran.

Zona *offshore* dengan intensitas turbulensi lebih tinggi sebesar 1.022 di banding zona *onshore* sebesar 0.665 membuktikan bahwa secara teoritis mempunyai tingkatan suplai nutrient bagi kesuburan perairan yang lebih baik. Sehingga dapat dinyatakan bahwa peran terumbu buatan yang terpasang dapat berfungsi sebagai zona transisi pola aliran yang berfungsi sebagai transitnya habitat (*sheltering*) bagi biota di perairan tersebut. Sehingga salah satu upaya untuk meningkatkan potensi ekosistem biota laut di suatu wilayah perairan dapat dilakukan dengan memasang terumbu agar terjadi peningkatan kesuburan suatu perairan yang ditandai dengan meningkatnya jumlah plankton. Upaya ini dapat dilakukan dengan mendesain bentuk terumbu yang selain berfungsi sebagai *fish shelter* agar dapat meredam gelombang (di zona *onshore*) dengan cara mereduksi tinggi gelombang datang (*incident*) menjadi gelombang transmisi (*transmitted*) sehingga tinggi gelombangnya menjadi lebih rendah. Dengan adanya gelombang transmisi yang lebih kecil menyebabkan kondisi garis pantai juga tetap terlindung dari serangan gelombang penyebab terjadinya erosi di sepanjang pantai.

Ucapan Terima Kasih

Ditujukan kepada Dirjen Dikti Kemendiknas yang telah memberikan bantuan dukungan dana Laporan Akhir Hibah Penelitian Tim Pasca Sarjana–HPTP (Hibah Pasca) Tahun III (kontrak No: 0172.0/02304.2/XV/2010).

DAFTAR PUSTAKA

- Budiharsono, S. (2001). Teknik Analisis Pembangunan Wilayah Pesisir dan Lautan. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Bengen, D. (2001). Ekosistem dan Sumber Daya Pesisir Laut Serta Pengelolaan Secara Terpadu dan Berkelanjutan, Prosiding Pelatihan Pengelolaan Wilayah Pesisir Terpadu. PKSPL IPB.
- Bleck, M dan H. Omeraci (2001). Wave Damping and Spectral Evolution at Art Reef. Proceedings 4th International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis. San Francisco, California, USA.
- Estrada, M dan E. Berdalet (1997). Phytoplankton in a Turbulent World. *Sci. Mar.*, 61 (Supl. 1). 125-140.
- Fachrul, M.F. (2005). Komunitas Phytoplankton Sebagai Bioindikator Kualitas Perairan Teluk Jakarta. *Seminar Nasional FMIPA UI*.
- Ilyas, M. (2000). Studi Awal Penerapan Teknologi Terumbu Karang Buatan di Sekitar Kepulauan Seribu. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*. 2 (7). Oktober, 46-52.
- Kirboe, T. (1997). Small-scale Turbulence, Marine Snow Formation, and Planktivorous Feeding. *Sci. Mar.*, 61 (Supl. 1). 141-158.
- Margalef, R. (1978). Life-Forms of Fitoplankton Survival Alternatives in an Unstable Environment. *Oceanol, Acta*, 1. 493-509.
- Matsuda, S., A.W. Matsumoto, dan Nishigori, M. Hanzawa dan M. Matsuoka (2003). Crown Height Effects on Stability of Flat Type Concrete Armor Blocks. *Proceedings of The Thirteenth, International Offshore and Polar Engineering Conference*. Honolulu, Hawaii, USA.
- McCave. I.N. (1984). Size Spectra and Aggregation of Suspended Particles in the Deep Ocean. *Deep Sea Res.* 31. 329-352.
- MacKenzie, B.R. dan W.C. Leggett (1991). Quantifying the Contribution of Small-Scale Turbulence to the encounter Rates Between Larval fish and their Zooplankton prey effects of Wind and Tide. *Marine Ecology Progress Series*. 73. 149-160.
- Munson, B.R., D.F. Young, dan T.H. Okiishi (2003). Fundamentals of Fluid Mechanic 2nd edition. John Wiley & Son, Inc. USA.
- Nakamura, M. (1985). Evaluation of Artificial Fishing Ref. Concepts in Japan. *Bulletin of Marine Science*. 37 (1). 271-278.
- Nontji, A. (2008), Plankton Laut. LIPI Press, Jakarta.
- Supriharyono (2000). Pelestarian dan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.