

# HYDRAULICS EFFECT OF ARTIFICIAL CORAL TO WATERS FERTILITY

## PENGARUH HIDRAULIKA TERUMBU BUATAN BAGI KESUBURAN PERAIRAN

Rudhy Akhwady<sup>1)</sup>, Mukhtasor<sup>2)</sup>, Haryo D. Armono<sup>2)</sup>, dan Mahmud Musta'in<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Jurusan T. Kelautan FTK-ITS, Surabaya, Indonesia  
E-mail : r\_akhwady@yahoo.com, Mobile Phone : 085784883809

<sup>2)</sup> Staf Pengajar Jurusan T. Kelautan FTK-ITS, Surabaya, Indonesia  
Jl. Arif Rahman Hakim Surabaya 60111

### ABSTRACT

Plankton as an indicator of waters fertility is mostly affected by the availability of nutrient elements and its distribution. Distribution model dan availability of the elements around the structural habitat are also affected by current turbulence around the artificial coral. This lead to the opportunity to improve the waters fertility by increase the levelof turbulence. Some factors tat should be considered in developing the artificial coral in sea waters area are maintain the flow model and pressure fluctuation, consider the number and void complexibility (void space) of coral, and maintain the coral position in order the strength of flow around the coral is not high. As a result fish can make maneuver easily to find any place for spawning, growth and breeding. Finally, sea ecosystem recovery by artificial coral to replace natural coral can be working optimally.

**Keywords :** Plankton, artificial coral, nutrient, turbulence

### ABSTRAKSI

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. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam mengembangkan terumbu buatan agar dapat tingkat kesuburan perairan disuatu wilayah perairan laut adalah dengan mengatur pola aliran dan fluktuasi tekanan, mempertimbangkan jumlah dan kompleksitas rongga (void space) terumbu, serta mengatur tata letak terumbu agar arus di sekitar terumbu tidak terlalu kuat. Sehingga nantinya ikan dapat melakukan manuver dalam mencari tempat yang aman untuk pemijahan, pertumbuhan dan perkembangbiakan. Dengan demikian pemulihan ekosistem laut dengan menggunakan terumbu buatan sebagai pengganti terumbu karang alami yang telah rusak dapat terwujud dengan hasil yang optimal.

**Kata-kata Kunci:** Plankton, terumbu buatan, nutrien, turbulen

### PENDAHULUAN

Sebagai salah satu ekosistem utama pesisir dan laut, terumbu karang dengan beragam biota asosiatif dan keindahan yang mempesona, memiliki nilai ekologis dan ekonomis yang tinggi. Selain berperan sebagai pelindung pantai dari hempasan gelombang dan arus yang kuat, terumbu karang juga memiliki nilai ekologis sebagai habitat, tempat mencari makanan, tempat asuhan dan pertumbuhan, serta tempat pemijahan bagi berbagai biota.

Terumbu karang sebagai faktor alamiah yang mempunyai fungsi penting bagi kelanjutan ekosistem di laut, mengingat manfaat terumbu karang sebagai tempat mengumpulkan organisme laut untuk meningkatkan efisiensi penangkapan (sebagai atraktan), melindungi dan menyediakan area asuhan, meningkatkan produktifitas alami dengan menyediakan habitat baru yang permanen bagi biota penempel (sessile) dan menjaga keseimbangan siklus rantai makanan, serta menyiapkan habitat dan simulasi karang alami untuk species tertentu (Ilyas, 2000).

Nilai ekonomis yang menonjol dari terumbu buatan adalah sebagai tempat penangkapan berbagai jenis biota laut konsumsi dan berbagai jenis ikan hias, bahan konstruksi dan perhiasan, bahan baku farmasi dan sebagai daerah wisata dan rekreasi yang menarik. Dengan melihat nilai ekologis dan ekonomis penting tersebut, ekosistem terumbu karang sebagai ekosistem produktif di wilayah pesisir laut sudah layaknya dipertahankan keberadaan dan kualitasnya (Seamann, 2000).

Banyaknya terumbu karang yang rusak saat ini menyebabkan para peneliti melakukan restorasi dengan memasang terumbu buatan yang terbuat dari bahan balok beton, potongan kapal, perahu kayu, mobil bekas, dan ban bekas serta bambu.

Untuk memperoleh kinerja terumbu buatan yang baik, maka perlu dirancang kinerja terumbu buatan sesuai dengan mempertimbangkan karakteristik terumbu karang alaminya.

Beberapa faktor fisik lingkungan yang berperan dalam perkembangan terumbu karang alami menurut (MacKenzie, et al, 1991), adalah sebagai berikut: 1). Suhu air 18°C, tapi bagi perkembangan yang optimal diperlukan suhu rata-rata tahunan berkisar antara 23°C-25°C dengan suhu maksimal yang masih dapat ditolerir berkisar antara 36°C-40°C. 2). Berada pada kedalaman perairan kurang dari 50 m (merupakan daerah perkembangan optimal yak-ni kurang dari 25m). 3). Salinitas air yang konstan berkisar antara 30‰ – 36‰.

Keberadaan plankton di suatu perairan dapat digunakan sebagai dasar informasi tentang kualitas dan tingkat kesuburan suatu wilayah perairan, hal ini dilakukan dengan melihat tingkat produktifitas terumbu karang yang sangat dipengaruhi oleh kelimpahan plankton sebagai sumber makanan.

Tingkat produksi, pertumbuhan, dan kelangsungan hidup plankton sangat dipengaruhi oleh cahaya dan unsur hara. Pengaruh cahaya terkait dengan produktifitas sangat kuat, dikarenakan dibutuhkan selama kegiatan fotosintesis berlangsung (Nybakken, 1992 ; Estrada, M dan Berdallet, E, 1997).

Pendapat sama juga dikemukakan oleh Nontji, A (2008) karena adanya pengaruh lingkungan dalam kegiatan produksi primer plankton yaitu cahaya matahari dengan spektrum yang lebar dengan panjang gelombang 400-720nm, dimana suhu matahari berpengaruh pada perubahan enzimatik proses fotosintesis (makin rendah suhu air maka berat jenis makin tinggi), selain itu pengaruh produktifitas juga dipengaruhi oleh unsur hara. Dengan unsur makro hara yang dibutuhkan seperti ; C, H, O, N, P, Si, S,

Mg, K, dan Ca, dimana unsur P dan N dibutuhkan alga fitoplankton sedangkan Si dan S dibutuhkan oleh diatom.

### Kesuburan di Sekitar Terumbu Buatan

Untuk memperoleh model terumbu buatan yang dapat memenuhi kebutuhan pola aliran yang sesuai sehingga manfaat terumbu buatan dan perkembangbiakan dapat terpenuhi, maka dalam menyusun dan membuat kelompok terumbu buatan harus mempertimbangkan beberapa aspek seperti : 1). Bentuk dan dimensi lubang (Pan lee, C et al . 2003; Sidek, F et al. 2007; Palmer et al, 1988), 2). Kecepatan arus (Nakamura, 1985 ; Yoshioka, 1993), 3). Pengaruh aliran dan distribusi turbulen (Margalef, 1978; Estrada, M dan Berdalet, E, 1978; Kirboe, T, 1997; Nybakken, 1992). Selain hal tersebut di atas, beberapa hal yang harus dipertimbangkan agar terumbu karang dapat tumbuh lebih cepat adalah kerapatan dan bahan material penyusun.

### Plankton dan Turbulen

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 jarring plankton. Dengan kemampuan fitoplankton mampu berfotosintesis dengan menyerap cahaya matahari, mempunyai ukuran yang lebih besar dari zooplankton serta merupakan tingkatan plankton jenis diatoms dan dinoflagelata. Sedangkan zooplankton merupakan komunitas kelompok hewan-hewan planktonik dan berada di wilayah yang terdapat makanan.

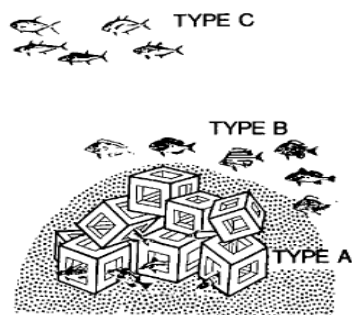
Daur kehidupan fitoplankton hidup secara melayang berada di daerah yang cukup cahaya matahari untuk fotosintesis, sedangkan zooplankton hidup di daerah yang mempunyai banyak fitoplankton sebagai sumber makanan. Dari beberapa zooplankton yang hidup tersebut, merupakan sumber makanan bagi ikan yang banyak 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.

Keanekaragaman biota dan keseimbangan biota dan ekosistem terumbu karang bergantung pada rantai makanan yang tersedia. Pengambilan ekosistem jenis biota tertentu secara berlebihan dapat mengakibatkan peledakan populasi biota yang menjadi mangsanya, sehingga dapat mengganggu keseimbangan ekosistem (Bengen, D. 2001).

Dalam perilakunya, aktifitas ikan juga dipengaruhi oleh adanya response terhadap terumbu karang, atau yang disebut "Reefness". Beberapa instink kelompok ikan banyak dipengaruhi oleh adanya perbedaan stimulus " Taxis" seperti : Phototaxis (cahaya). Chemotaxis (bau), dll (Nakamura, 1985).

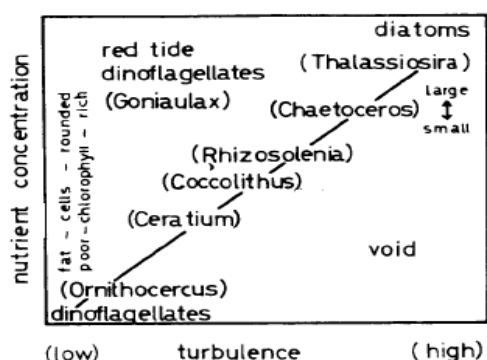
Sebagai contoh dari tiga kelompok jenis ikan, adanya jenis ikan A yang lebih menyukai kontak fisik dengan terumbu dan tinggal di tengah lubang/celah terumbu, jenis ini merupakan mayoritas kelompok ikan yang menetap sebagai bentik seperti ikan karang dan ikan kod. Sedangkan ikan tipe B lebih banyak tinggal dekat/sekitar terumbu buatan karena adanya pengaruh cahaya dan suara, dan sebagian sisanya tinggal di dasar laut. Untuk kelompok jenis ikan tersebut, terumbu karang yang direncanakan mempunyai lubang dengan variasi ukuran tidak lebih besar dari 2 meter, lebar struktur yang dapat menghasilkan pusaran air maksimum di bawah kondisi arus yang ada serta kecepatan arus di bagian dalam tidak melebihi tingkat yang normal sehingga ikan-ikan dapat aman dipersembunyikan.

Sedangkan untuk ikan tipe C, lebih banyak menunggu di atas terumbu dan sebagian jenis ini lebih banyak berada di bagian tengah dna atas kolom air. Kaitan antara terumbu dan ketidakstabilan arus, fluktuasi tekanan dan efek suara yang diakibatkan terumbu.



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

Bentuk hubungan antara suplai nutrient dan turbulen terkait dengan tingkat kesuburan perairan digambarkan dalam bentuk sistematisasi fungsi morfologi phytoplankton. Sistematisasi ini dikemukakan oleh Margalef, R (1978) yang dikenal dengan Margalef's Mandala, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Pola Kehidupan Fitoplankton (Margalef, 1978)

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.

Beberapa planktologist sendiri juga telah membedakan skala turbulen yang terjadi berkaitan dengan fisiologi fitoplankton dan distribusinya, dinataranya adalah: Yamazaki dan Osborn (1988) yang membagi ke dalam tiga skala turbulen : mesoskala (jarak 10 km -100 km) dengan perubahan gerakan air laut akibat upwelling. Meso skala (beberapa centimeter) dan fineskala (beberapa meter), gerakan turbulen terjadi dekat permukaan dan di beberapa lapisan air laut akibat gravitasi, konveksi, angin dan intrusi termohaline.

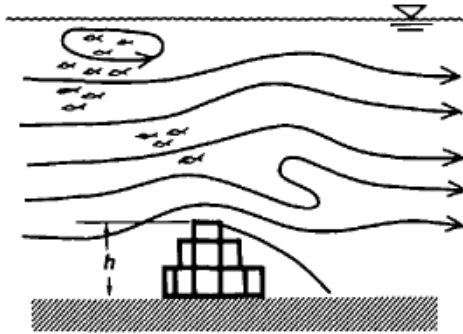
Menurut Kirboe, T (1997), turbulen skala besar akan menaikkan konsentrasi makanan dan ketersediaan makanan bagi predator. Sedang turbulen dalam skala kecil akan meningkatkan transport nutrient ke arah permukaan sel-sel fitoplankton. Ditambahkan juga oleh Mc. Cave (1984) apabila adanya turbulen skala juga dapat meningkatkan partikel tersuspensi bahkan meningkatkan nutrien dengan penguraian partikel yang terjadi.

Sedangkan dengan adanya aliran vertikal turbulen menurut Estrada, M dan Berdalet, E (1997) akan menyebabkan adanya pencampuran perubahan penetrasi cahaya dan nutrien sebagai akibat adanya perbedaan kolom air.

### Pengembangan Konsep atau Ide

Melihat Perkembangan akan kebutuhan terumbu buatan yang masih tinggi dikarenakan kegunaannya dalam meningkatkan perlindungan ekosistem laut, maka untuk itu perlu adanya

inovasi dan pengembangan model terumbu buatan yang dapat meningkatkan kesuburan. Dan hal ini hanya dapat diperoleh dengan mempertimbangkan kompleksitas porositas lubang yang sesuai serta responsive (*reefiness*) terhadap perilaku ikan, mampu mengatur aliran dan mereduksi kecepatan, mudah disusun dan mempunyai stabilitas tinggi karena mempunyai interlocking antar unit reef.



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

Menurut Nakamura (1985), untuk mendesain agar terumbu buatan dapat tumbuh maka perlu diperhatikan pola aliran dan vortex yang terjadi. Yakni dengan mengukur laju kecepatan dan lebar terumbu. Hubungan antara lebar terumbu dengan arus dinyatakan sebagai berikut :

$$Bu \sim 100 \quad (1)$$

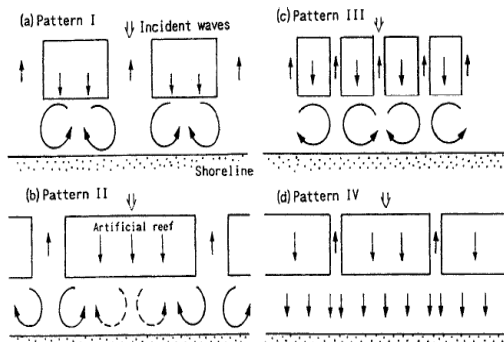
(unit ; cgs)

dimana: B = lebar terumbu, dan u = kecepatan arus.

Sebagai contoh: apabila kecepatan arus yang terjadi di sekitar terumbu adalah 8 cm/detik, maka lebar terumbu adalah 12.5 cm. Dengan demikian terjadi pola aliran dan luas rongga terumbu yang sesuai dengan kelompok jenis ikan tertentu.

Sedangkan mengenai pengaruh pola arus akibat pengaturan posisi unit reef harus diperhatikan agar peran sebagai pemecah gelombang dapat berjalan dengan baik. Seperti yang digambarkan oleh The Japanese Manual (1988) tentang pola arus disekitar breakwater (Yoshioka, 1993 dalam Matsuda, S et al (2003).

Pola arus disekitar terumbu oleh Yoshioka (1993) dalam Bleck and Omeraci (2001). di bagi ke dalam empat tipe. Pola arus yang terjadi di sekitar terumbu oleh Yoshioka (1993) dibagi menjadi empat tipe, dengan pola yang umum terjadi disekitar terumbu adalah seperti pada pola I. Dalam kondisi tertentu, jika panjang terumbu ( $L_r$ ) dan lebar bukaan ( $W_r$ ) tidak mencapai bagian tengah terumbu maka pola terumbu merupakan pola II. Dan pola III akan terbentuk apabila  $L_r$  tidak begitu panjang dan arus membentuk sirkulasi tunggal berada di antara terumbu satu dengan lainnya. Sedangkan pola IV terbentuk apabila tidak ada sirkulasi arus dimana jarak antara  $W_r$  dan  $L_r$  sangat pendek.



Gambar 4. Pola arus akibat variasi penempatan breakwater (Japanese Manual, 1988 dalam Pilarczyk, 2003)

## Pemodelan Turbulensi dan Pola Aliran di Sekitar Terumbu Karang

Berkaitan dengan upaya pemulihan terumbu karang yang rusak dengan menggantinya dengan terumbu buatan, hendaknya memperhitungkan karakteristik ekologi terumbu karang alaminya. Khususnya pada pola kehidupan dan karakteristik plankton yang berada di suatu perairan. Hal ini dimaksudkan agar kinerja terumbu buatan yang dibuat nantinya dapat bekerja sesuai dengan optimal. Yakni tumbuhnya ekosistem baru yang dapat meningkatkan kelestarian lingkungan.

Kondisi lingkungan yang harus diperhatikan seperti adanya perbedaan panas di siang hari dan dingin di malam hari. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya konveksi sel-sel (pergerakan naik turun kolom air), dan akibatnya terjadi pencampuran secara vertikal serta turunnya sel-sel fitoplankton ke bawah permukaan air.

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. Begitupun terkait dengan kecepatan, dimana laju kecepatan angin 6 m/s akan menghasilkan peningkatan ketersediaan makanan larva dibanding kecepatan 2 m/s (Sundby & Fossum, 1990).

Intensitas turbulen (derajat turbulen) didefinisikan sebagai akar rata-rata kuadrat kecepatan fluktuatif dibagi dengan kecepatan rata-rata menurut fungsi waktu. Besar intensitas turbulen pada daerah yang tenang akan lebih kecil daripada yang tidak tenang, seperti: intensitas untuk aliran di atmosfer dan sungai lebih besar dari 0.1. Sedangkan intensitas dalam terowongan angin memiliki intensitas turbulen antara 0.0002 sampai dengan 0.01 (Munson, 2003) :

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

dimana :  $I$  = Intensitas turbulen,  $u$  = kecepatan turbulen m/det,

$\overline{u}$  = kecepatan turbulen rata-rata.

Semakin besar intensitas turbulen, maka fluktuasi kecepatan turbulen juga semakin besar.

## Software Flow 3D 9.3

Pada Software *Computational Fluid Dynamic* yang digunakan dalam pengujian ini, menggunakan metode perhitungan VOF (*Volume of Fluid*) atau *Finite Different Equation*. Metode ini menggunakan sistem koordinat kartesian dengan menyelesaikan persamaan Navier-Stokes (Palmer, and Christian, 1988) :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[ u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} \right] = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + g_x + f_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[ u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y \frac{\partial v}{\partial y} \right] = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + g_y + f_y \quad (3)$$

dimana :

$u$  dan  $v$  = kecepatan fluida dalam arah koordinat kartesian ( $x, y$ ),  $A_x$  dan  $A_y$  = daerah terbuka fraksional pada aliran dalam axis  $x$  dan  $y$ ,  $V_F$  = volume terbuka fraksional pada aliran,  $t$  = waktu,  $P$  = tekanan,  $\rho$  = densitas air laut,  $f_x$  dan  $f_y$  = percepatan viskositas,  $g_x$  dan  $g_y$  = gravitasi dalam sumbu axis  $x$  dan  $y$ .

Karena air laut diasumsikan incompressible, maka harus memenuhi persamaan:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

Tetapi untuk mengijinkan pengaruh compressibility terbatas maka persamaan di atas di atas diulang oleh persamaan kontinuitas umum (Nichols dan Hirt, 1981) menjadi:

$$\frac{V_F}{\rho c^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial v A_x}{\partial x} + \frac{\partial v A_y}{\partial y} = 0 \quad (5)$$

dimana c adalah kecepatan bunyi adiabatik. Dalam FLOW3D variabel dependen dibuat dalam persamaan diatas, disusun grid yang teratur. Kemudian untuk mendefinisikan fluida secara lokal dalam ruang, sebuah fungsi waktu VOF yang dependen adalah sebagai berikut :

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[ u A_x \frac{\partial F}{\partial x} + v A_y \frac{\partial F}{\partial y} \right] = 0 \quad (6)$$

F adalah pecahan volume. Fungsi F juga digunakan untuk mengidentifikasi mesh cell yang memuat kerapatan densitas fluida. Sebuah sel fluida akan memiliki nilai F nol., satu, atau pecahan, untuk sebuah kasus dimana hanya fluida tunggal yang digunakan, sel dengan nilai F nol akan kosong atau tidak ada materi sama sekali, sel fluida tidak sama dengan nol jika sel terisi fluida. Sebuah sel interface atau sel batas permukaan didefinisikan sebagai sel yang mengandung nilai F bukan nol dan paling tidak berdekatan yang mengandung nilai F nol. Metode ini juga memiliki kapabilitas untuk mendefinisikan rintangan sel dimana fluida tidak dapat bergerak.

Prosedur dasar untuk memperoleh sebuah penyelesaian dalam langkah waktu tambahan dt menurut Nichols dan Hirt (1981) adalah sebagai berikut :

1. Pendekatan secara eksplisit penyelesaian persamaan Navier Stokes (persamaan 2.42 dan 2.43) digunakan untuk perkiraan awal.
2. Untuk memenuhi persamaan kontinuitas (persamaan 2.45), tekanan diperhitungkan secara iterasi biasa dalam masing-masing sel dan perubahan kecepatan yang dipengaruhi oleh perubahan masing-masing tekanan ditambahkan pada perhitungan kecepatan yang dihitung pada tahap pertama atau sebelumnya.
3. Pada akhirnya fungsi F yang mendefinisikan daerah fluida, diperbaharui dengan menggunakan persamaan untuk membeirikan konfigurasi fluida yang baru.

Pada tahap masing-masing, kondisi batas yang cocok harus diterapkan pada semua kondisi mesh, kondisi batas dan kondisi internal.

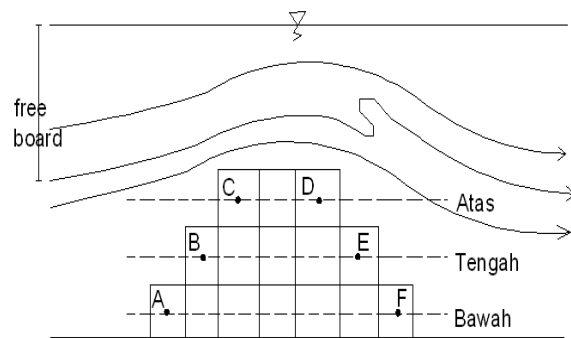
## METODE PENGUJIAN

Hubungan pengaruh kedalaman terumbu buatan tipe silinder berongga dengan besarnya perubahan kecepatan turbulen dimodelkan secara numerik dengan menggunakan Software Flow 3D 9.4 dengan *mesh cell* sebanyak 197.800. Tinggi struktur model yang digunakan (skala 1:10) adalah 0.05 m, lebar ambang 1.4 m dan probe pengukur berada pada jarak yang sama dari dasar (0.05m) atau tepatnya di tengah-tengah di lapis terbawah terumbu. Pada pengujian ini dilakukan dua model penempatan probe (pengukur), yakni sebelum terdapat terumbu (kondisi eksisting) dan sesudah terpasang terumbu. Pada kedua pengujian tersebut mendapat perlakuan yang sama yakni terjadi kecepatan arus yang sama yakni sebesar 1.2 m/s.

## Analisa Hasil Pengujian

Dari pengujian pertama (kondisi eksisting) dengan posisi titik pengukuran yang sama diperoleh dengan posisi titik pengujian kedua (setelah terumbu terpasang) diperoleh hasil pengukuran intensitas turbulen seperti yang ditampilkan pada tabel 1 di bawah ini.

jian kedua (setelah terumbu terpasang) diperoleh hasil pengukuran intensitas turbulen seperti yang ditampilkan pada tabel 1 di bawah ini.



Gambar 5. Titik Pengukuran Probe

Tabel 1. Hasil Pengukuran Pada Lapis Bawah

| Kondisi           | Titik | Intensitas Turbulen | Kedalaman Probe (cm) |
|-------------------|-------|---------------------|----------------------|
| Kondisi Eksisting | A, B, | 0.99333             | 0.05                 |
|                   | C, D  | 1.12933             | 0.05                 |
|                   | E, F  | 1.14766             | 0.05                 |
| Kondisi Reef      | A, B  | 0.84424             | 0.05                 |
|                   | C, D  | 0.85260             | 0.05                 |
|                   | E, F  | 0.86926             | 0.05                 |

Terjadinya kenaikan intensitas tersebut disebabkan karena pada saat pengukuran tanpa terumbu aliran yang terukur tidak mengalami proses gesekan dengan suatu benda. Sedangkan pada titik A dan B yang terdiri atas susunan dua baris terumbu, aliran mengalami gesekan yang menyebabkan terjadinya peningkatan turbulen.

Pada titik C dan D, yang dipasang di dalam terumbu dengan susunan baris yang panjang, terjadi peningkatan intensitas turbulen. Hal ini akibat adanya gesekan antara aliran dengan permukaan terumbu di bagian dalam dan luar terumbu serta akibat susunan dan kompleksitas lubang terumbu yang membuat gesekan aliran dengan permukaan kasar terumbu menjadi lebih sering terjadi dalam jangka waktu yang lebih lama.

Pengujian Ketiga dilakukan dengan menempatkan probe di lapisan tengah (kedua dari bawah).

Tabel 2. Hasil Pengukuran Pada Lapis Tengah

| Kondisi           | Titik | Intensitas Turbulen | Kedalaman Probe (cm) |
|-------------------|-------|---------------------|----------------------|
| Kondisi Eksisting | B,    | 1.0886              | 0.15                 |
|                   | C, D  | 1.1662              | 0.15                 |
|                   | E     | 1.1902              | 0.15                 |
| Kondisi Reef      | B     | 1.0768              | 0.15                 |
|                   | C, D  | 1.1067              | 0.15                 |
|                   | E     | 1.1185              | 0.15                 |

Pada E dan F, terjadinya peningkatan intensitas turbulen sebagai akibat panjangnya susunan terumbu yang harus di lewati aliran setelah melalau titik pengukuran A,B,C dan D. Akibat kompleksitas lubang terumbu, panjangnya susunan terumbu mengakibatkan terjadinya sedikit peningkatan intensitas turbulen dalam sisa waktu pengukuran yang ada.

Pengujian Keempat dilakukan dengan menempatkan probe di lapisan atas (ketiga dari bawah). Dari hasil pengukuran terlihat bahwa selain terjadi penurunan intensitas turbulen sepanjang aliran yang melalui terumbu. Sehingga di dalam melakukan penempatan terumbu hendaknya kedalaman air juga diperhitungkan mengingat adanya kemungkinan aliran permukaan masih berpengaruh dalam tingkat intensitas turbulen di sekitar terumbu. Terja-

dinya perubahan intensitas turbulen di setiap kedalaman dari permukaan ke lapisan bawah aliran disebabkan pengaruh aliran permukaan dan osilasi gerak partikel gelombang semakin berkurang.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Pada Lapis Atas

| Kondisi           | Titik | Intensitas Turbulen | Kedalaman Probe (cm) |
|-------------------|-------|---------------------|----------------------|
| Kondisi Eksisting | C, D  | 1.19326             | 0.65                 |
| Kondisi Reef      | C, D  | 0.81344             | 0.65                 |

Selain hal tersebut, perlunya dilakukan pengukuran tingkat kualitas air dan unsur hara yang mendukung ketersediaan sumber makanan bagi biota laut yang ada.

## KESIMPULAN

Dalam merencanakan dan membuat terumbu buatan, hendaknya memperhatikan sifat dan karakteristik alami terumbu karang. Agar nantinya keberhasilan ekosistem di sekitar terumbu buatan dapat terbentuk sesuai dengan kondisi alamiahnya.

Dalam hal ini plankton sebagai indikator kesuburan perairan sangat dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara dan tingkat sebaran nutrien. Sedangkan pola sebaran dan ketersediaan nutrient hasil proses fotosintesis plankton di sekitar terumbu buatan sangat dipengaruhi oleh adanya turbulensi, dan kecepatan arus.

Semakin tinggi turbulen, maka tingkat unsur *diatoms*-nya juga semakin bertambah. Hal ini akibat dari meningkatnya ketersediaan nutrient bagi fitoplankton yang semakin besar.

Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam mengembangkan terumbu buatan yakni: kedalaman, lebar dan ukuran lubang terumbu, kompleksitas porositas/lubang yang sesuai dan responsive (*reefiness*) terhadap perilaku ikan, mampu mengatur aliran dan mereduksi kecepatan serta perlu diatur posisi perletakan terumbu buaatannya agar kecepatan arus yang terjadi di sekitar terumbu tidak terlalu kuat. Hal ini dikarenakan beberapa jenis ikan cenderung mencari tempat perlindungan yang aman bagi pemijahan, perkembangbiakan dan pertumbuhan.

Pada hasil pemodelan diperoleh gambaran perbedaan kondisi di suatu tempat antara awal yang belum terpasang terumbu dan setelah terpasang. Pada kondisi awal, intensitas turbulen lebih tinggi di banding dengan setelah terpasang. Dengan penurunan intensitas turbulen yang bermanfaat untuk mencari tempat perlindungan yang aman ke arah bagian dalam susunan terumbu buatan (Nakamura, 1985).

Dengan mengenali karakter hidraulika perairan, nantinya dapat digunakan sebagai acuan dalam penempatan terumbu yang sesuai, agar tujuan dalam meningkatkan kesuburan serta upaya pemulihan ekosistem dapat bekerja secara optimal.

## Daftar Pustaka

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 and Omeraci, H. (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 and Berdalet, E. (1997). "Phytoplankton in a Turbulent World". *SCI. MAR.*, 61 (Supl. 1): 125-140.
- Ilyas, M., (2000). "Studi Awal Penerapan Teknologi Terumbu Karang Buatan di Sekitar Kepulauan Seribu." *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, V2. n7, Oktober 2000, hal. 46-52 /Humas-BPPT/ANY.
- 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 et al (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.
- Mc. Cave, IN, (1984). "Size Spectra and Aggregation of Suspended Particles in the Deep Ocean". *Deep Sea Res.*, 31:329-352.
- MacKenzie, et al (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, et al. (2003). *Fundamentals of Fluid Mechanic 2*. 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.
- Palmer, G.N., Christian, C.D. (1988). " Design and Construction of rubble Mound Breakwater." *IPENZ Transactions, Vol. 25, No 1/CE*.
- Pan Lee, C et all. (2003). "Wave Field With Submerged Porous Breakwater". *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, Vol 26, No. 3, PP 333-342.
- Sidek, F.J. et al, (2007). "The Effects of Porosity of Submerged BW Structures on Non Breaking Wave Transformations", *Malaysian Journal of Civil Engineering*, 19 (1) : 17 – 25.
- Seamann, W. Jr. (2000). *Artificial Ref. Evaluation: With Application to Natural Marine Habitat*. CRC Press. Florida.
- Sundby S & Fossum. P (1990). "Feeding Conditions of Arcto Norwegian Cod Larvae Compared with Rothschild-Osborn Theory on Small Scale Turbulence and Plankton contact rates." *J. Plankton Res.* 12:1153-1162.
- Yamazaki, H., Osborn, T.R. (1988). "Review of oceanic turbulence: implications for biodynamics." In: B.J. Rothschild (ed.): *Toward a Theory of Biological-Physical Interactions in the World Ocean*, pp. 215-234". Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.