

**PERGERAKAN LARVA KARANG (Planula) *Acropora*
DI KEPULAUAN SERIBU, BIAWAK, DAN KARIMUNJAWA
BERDASARKAN KONDISI OSEANOGRAFI**

Vega K. Nurulita, Noir P. Purba, Yeni Mulyani, dan Syawaludin A. Harahap

Universitas Padjadjaran

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola pergerakan planula *Acropora* Kepulauan Seribu, Biawak, dan Karimunjawa berdasarkan kondisi oseanografi (arus, batimetri, dan pasang surut) Laut Jawa. Metode yang digunakan adalah simulasi hidrodinamika (HD) dan *particle tracking* (PT) yang dilakukan pada bulan Januari, April, Oktober, dan November 2016. Area penelitian meliputi 6 pulau di bagian timur Kepulauan Seribu; Pulau Biawak, Gosong, dan Candikian; dan 6 pulau di bagian barat Kepulauan Karimunjawa. Semua pulau mewakili zona inti, perlindungan, pemanfaatan, dan pemukiman. Data yang digunakan adalah data hidrodinamika yaitu angin, pasang surut, dan batimetri serta data partikel yaitu berat dan *flux* planula. Hasil simulasi model HD menunjukkan pergerakan arus di area model memiliki pengaruh yang kuat dari pasang surut dengan pola yang bolak-balik. Kecepatan arus berubah-ubah seiring kondisi air laut saat pasang dan surut. Hasil simulasi model PT menunjukkan pergerakan planula di Kepulauan Seribu memiliki pola bergerak ke utara dan selatan dengan pergerakan terjauh adalah 7,89 km; di Kepulauan Biawak polanya bergerak ke tenggara dan barat laut dengan pergerakan terjauh 5,93 km; di Kepulauan Karimunjawa polanya bergerak ke timur dan barat dengan pergerakan terjauh 9,32 km. Wilayah yang potensial untuk pertumbuhan planula adalah Pulau Tondan Barat, Tondan Timur, dan Menjangan Besar sehingga ketiga pulau yang termasuk zona pemanfaatan ini dapat dimanfaatkan untuk rehabilitasi atau direkomendasikan menjadi zona inti. Kepulauan Biawak yang merupakan Kawasan Konservasi Laut Daerah (KKLD) memiliki Pulau Biawak sebagai daerah potensial pertumbuhan karang dan dapat dijadikan wilayah rehabilitasi.

Kata kunci: *Acropora*, Laut Jawa, pergerakan, planula, simulasi

Abstract

This research aim to find out the pattern of *Acropora* larvae trajectory in Seribu, Biawak, and Karimunjawa Islands based on oceanographic condition. The method was by using hydrodynamic (HD) and particle tracking (PT) simulations in 4 periods (January, April, October, and November). The station area in Seribu Islands were Penjaliran Timur, Rengit, Panggang, Pramuka, West Tondan, and East Tondan Island; Biawak Islands were Biawak, Gosong, and Candikian Island; Karimunjawa Islands were Kumbang, Geleang, Burung, Kemujan, and Menjangan Besar Island. All stations represented the conservation, protection, utilization, and settlement zone. The data was including wind (ECMWF), tidal (Tide Model Driver), bathymetry (GEBCO), and the mass of planula. The result showed that the current pattern and velocity was affected by tidal conditions. The larvae trajectory in Seribu Islands had movement pattern to north and south with the longest movement was 7.89 km; the movement pattern in Biawak Islands was to the southeast and northwest with the longest movement was 5.93 km; and the movement pattern in Karimunjawa Islands was to the east and west with the longest movement was 9.32 km. The potential areas that suitable for coral were West Tondan, East Tondan, and Menjangan Besar Island where the three were utilization zone. These areas could be utilized for a rehabilitation or recommended as the conservation zone. In Biawak Islands, the potential area that suitable for coral was Biawak Island and recommended as the rehabilitation area.

Keywords: *Acropora*, Java Sea, movement, planula, simulation

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang beriklim tropis sehingga di dalamnya memiliki potensi sumberdaya hayati laut yang bervariasi, salah satunya adalah ekosistem terumbu karang. Terumbu karang merupakan suatu ekosistem yang dibentuk dari endapan padat kalsium karbonat (CaCO_3) yang dihasilkan oleh karang dengan sedikit tambahan dari alga berkapur (*Calcareous algae*) dan organisme lainnya yang mensekresikan CaCO_3 (Nybakken, 1992). Ekosistem terumbu karang memiliki fungsi yang sangat penting sebagai tempat memijah, mencari makan, daerah asuhan bagi biota laut, sumber plasma nutfah, serta pelindung pantai dari degradasi dan abrasi (Timotius, 2007). Terumbu karang secara umum bereproduksi dengan dua cara yaitu aseksual dan seksual. Dalam reproduksi seksual, arus laut berperan penting pada proses fertilisasi terutama pada masa *spawning* dan fase planula (Richmond, 1987).

Dalam distribusinya, terumbu karang di laut lepas berkaitan dengan kondisi dari perairan tersebut. Salah satunya adalah kondisi oseanografinya yaitu arus laut (Daniel, 2014). Arus laut diperlukan untuk tersedianya aliran yang membawa asupan makanan dan oksigen serta melindungi karang dari pengaruh sedimentasi. Arus dan gelombang membawa plankton baru untuk makanan polip karang (Nybakken, 1992) dan membersihkan bagian struktur terumbu karang dari endapan lumpur (Burke, 2012). Reproduksi seksual pada karang akan menghasilkan larva planula yang berenang bebas dan akan menetap pada substrat yang cocok. Fase penempelan planula ke substrat merupakan fase kritis yang menentukan keberhasilan reproduksi karang secara seksual. Dalam hal ini, arus laut akan membawa larva planula sampai menemukan substrat yang cocok (Richmond, 1997). Setelah larva planula berhasil menempel pada substrat yang sesuai maka akan dimulai proses rekrutmen. Proses rekrutmen ini merupakan bagian penting dari penambahan individu baru dalam ekosistem terumbu karang. Informasi mengenai status rekrutmen karang di sebuah wilayah perairan sangat penting untuk diketahui, terlebih dalam hal informasi potensi pemulihan terumbu karang maupun keberlanjutan keturunan biota karang. Hal ini bertujuan untuk melihat kesuksesan sebuah

ekosistem terumbu karang melakukan pemulihan habitat karang karena kerusakan alami maupun antropogenik (Bacthiar *et al.*, 2012).

Penelitian tentang pola sebaran larva planula yang juga berkaitan dengan rekrutmen karang telah dilakukan oleh Fitriadi *et al.* (2017) dengan mengambil lokasi di Pulau Biawak, Indramayu. Penelitian dilakukan dengan odel *particle tracking* untuk melakukan simulasi yang kemudian divalidasi dengan data survei lapangan. Pada penelitian tersebut diketahui bahwa planula yang berasal dari Pulau Biawak bergerak mengikuti sirkulasi air laut yang didominasi oleh pasang surut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus perairan Pulau Biawak bergerak dari arah utara menuju selatan dengan kisaran kecepatan 0,045 - 0,075 m/s pada bagian timur laut dan selatan pulau dan untuk bagian barat hingga utara pulau kecepatan arus berkisar 0,015-0,195 m/s. Pola pergerakan planula pada bulan Maret 2015 dapat diprediksikan bahwa ekosistem terumbu karang yang berada di utara dan timur laut wilayah perairan Pulau Biawak berasal dari planula-planula yang bergerak terbawa oleh arus laut dari wilayah perairan Pulau Biawak. Hasil pemodelan *particle tracking* juga menunjukkan bahwa perairan Pulau Biawak memiliki dua prediksi wilayah rekrutmen yaitu bagian barat hingga barat daya (A) dan utara hingga selatan pulau (B). Wilayah prediksi A sebesar 4,443 km² dan wilayah prediksi B sebesar 5,448 km².

Perairan Laut Jawa merupakan perairan dangkal dengan luas 310.000 km² yang berada di antara Pulau Kalimantan, Jawa, Sumatera, dan Sulawesi (Lubis *et al.*, 2005). Di Laut Jawa terdapat beberapa gugusan kepulauan yaitu Kepulauan Seribu yang masuk administrasi DKI Jakarta, Kepulauan Karimun Jawa yang masuk administrasi Jawa Tengah, Kepulauan Biawak yang masuk administrasi Jawa Barat. Ketiga kepulauan tersebut merupakan Taman Laut Nasional dan Kawasan Konservasi Laut Daerah (KKLD). Berdasarkan data Kawasan Konservasi Jenis Ikan (KKJI) di Taman Laut Nasional dan KKLD tersebut terdapat jenis karang yang hamper tersebar di seluruh wilayah zonasi (zona inti, perlindungan, pemanfaatan, dan pemukiman) yaitu *Acropora*. Adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi keterkaitan jenis *Acropora* yang berada di ketiga wilayah tersebut berdasarkan

karakteristik tersebut berdasarkan karakteristik oseanografi Laut Jawa.

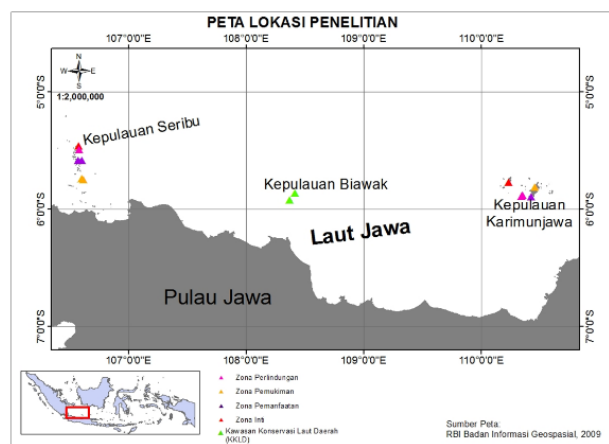
Adapun tujuan dari pelaksanaan penelitian ini adalah mengetahui arah sebaran larva karang dan pola wilayah rekrutmen karang di Kepulauan Seribu, Biawak, dan Karimunjawa.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April-September 2017 dengan mengambil area penelitian di perairan Laut Jawa yang meliputi

wilayah Kepulauan Seribu, Biawak, dan Karimunjawa (Gambar 1).

Penentuan titik lokasi penelitian (Gambar 1) didasarkan pada zonasi ekosistem terumbu yang juga merupakan lokasi ditemukannya jenis karang *Acropora*. Masing-masing zonasi ditandai dengan warna, dimana warna merah muda mewakili zona perlindungan, warna kuning mewakili zona pemukiman, warna ungu mewakili zona pemanfaatan, warna merah tua mewakili zona inti, dan warna hijau mewakili KKLD. Pada Tabel 1 tersaji data wilayah beserta koordinat sebagai berikut:



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Tabel 1. *Acropora* di Lokasi Penelitian (KKJI DKP)

No.	Area	Lokasi	Koordinat		Keterangan
			Latitude	Longitude	
1.	Kepulauan Seribu	Penjalaran Timur	106.570599° BT	-5.460738° LS	Zona Inti
2.		P. Rengit	106.578055° BT	-5.492500° LS	Zona Perlindungan
3.		P.Tondan Timur	106.583333° BT	-5.583333° LS	Zona Pemanfaatan
4.		P.Tondan Barat	106.569504° BT	-5.583576° LS	Zona Pemanfaatan
5.		P. Panggang	106.603061° BT	-5.735650° LS	Zona Pemukiman
6.		P. Pramuka	106.614268° BT	-5.749230° LS	Zona Pemukiman
7.	Kepulauan Biawak	P. Biawak	108.370997° BT	-5.922900° LS	KKLD
8.		P. Gosong	108.416500° BT	-5.862300° LS	KKLD
9.		P. Candikian	108.443611° BT	-5.7957° LS	KKLD
9.	Kepulauan Karimunjawa	P. Kumbang	110.237317° BT	-5.769680° LS	Zona Inti
10.		P. Geleang	110.354830° BT	-5.880700° LS	Zona Perlindungan
11.		P. Burung	110.343366° BT	-5.891210° LS	Zona Perlindungan
12.		P. Menjangan Besar	110.429218° BT	-5.893201° LS	Zona Pemanfaatan
13.		P. Kemujan	110.460219° BT	-5.813501° LS	Zona Pemukiman

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif dan pemodelan data. Data yang digunakan berupa parameter oseanografi yaitu angin (diunduh dari ECMWF), batimetri (diunduh dari GEBCO), dan pasang surut (diperoleh dari TMD), serta data berat planula dari penelitian Benahayu (2000); Nozawa (2011), dan Fitriadi *et al.* (2017).

Pemodelan dalam penelitian ini dilakukan dalam 2 tahapan yaitu pemodelan *Hydrodynamic* (HD) dan *Particle Tracking* (PT). Pembuatan model HD dilakukan untuk memperoleh model hidrodinamika perairan Laut Jawa yaitu pergerakan arus dan elevasi muka laut. Data oseanografi lainnya yang diperlukan dalam penelitian ini adalah pasang surut dimana data ini selanjutnya akan dihitung dengan metode Admiralty yang hasilnya berupa bilangan Formzahl. Bilangan Formzahl ini akan menentukan tipe pasang surut di area kajian. Setelah mendapatkan hasil pemodelan HD, selanjutnya adalah pemodelan PT untuk memodelkan pergerakan planula. Hasil pengolahan data kemudian dianalisis secara deskriptif untuk menjelaskan kondisi oseanografi di Laut Jawa dan penentuan wilayah rekrutmen karang dimana planula yang telah berhenti bergerak atau diam pada kedalaman kurang dari 25 meter yang diasumsikan sudah menempel pada substrat dasar perairan dan akan berkembang menjadi karang dewasa. Simulasi model HD dilakukan selama 1 tahun untuk memperoleh pola pergerakan arus tiap periode muson, sementara simulasi model PT dilakukan dalam 4 periode yaitu Januari, April, Oktober, dan November yang didasarkan pada waktu pemijahan karang *Acropora*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

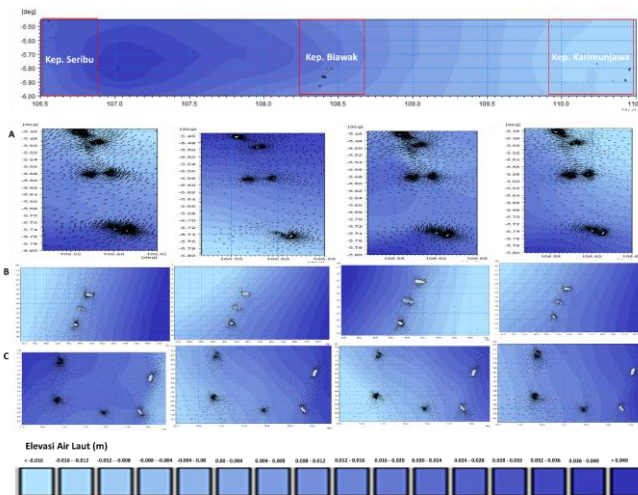
Hasil simulasi model hidrodinamika Laut Jawa meliputi kondisi batimetri, angin, arus permukaan, dan pasang surut dan hasil simulasi model *particle tracking* meliputi pergerakan planula.

Arus

Pada visualisasi pola pergerakan arus Laut Jawa yang digambarkan di wilayah-wilayah kajian yaitu Kepulauan Seribu, Biawak, dan Karimunjawa. Pola pergerakan arus dibagi berdasarkan muson di Indonesia

yaitu Muson Barat (MB), Muson Timur (MT), dan Muson Peralihan (MP) I&II. Pola pergerakan arus di Kep. Seribu ditampilkan pada Gambar 2.

Pola pergerakan arus di Kep. Seribu (Gambar 2 A) saat terjadi pasang menunjukkan arah dominan dari timur laut ke barat daya. Pola ini terjadi sama di semua periode musim. Kecepatan arus tertinggi dari semua periode terjadi pada Januari 2016 dimana kecepatannya berkisar 0,9-0,18 m/s. Kondisi ini terjadi saat air menuju pasang. Pada periode ini, saat keadaan menuju pasang yaitu pukul 21.00 WIB tinggi elevasi muka air laut adalah -0,002-0,008 m dengan kecepatan arus 0,06-0,21 m/s dimana arus bergerak dari barat daya menuju utara. Kondisi pasang tertinggi pada periode ini terjadi pada 10 Januari 2016 pukul 03.00 WIB dengan tinggi elevasi muka air laut 0,433-0,466 m dan kecepatan arusnya 0,09-0,18 m/s, dalam kondisi ini arus bergerak dari utara menuju selatan. Pola pergerakan arus di Kep. Biawak (Gambar 2 B) menunjukkan arah dominan dari timur dan tenggara menuju barat dan barat laut dimana pola ini juga sama terjadi di semua periode musim. Kecepatan arus tertinggi terjadi pada Januari dengan kecepatan yang berkisar 0,06-0,21 m/s. Pada periode ini, kondisi air laut pasang terjadi pada pukul 20.00 WIB. Tinggi elevasi muka air laut adalah 0,035-0,042 m dan kecepatan arusnya 0,06-0,21 m/s dimana arus bergerak dari timur ke barat. Kondisi pasang tertinggi pada periode MB ini terjadi pada 19 Januari 2016 pukul 23.00 WIB dimana tinggi elevasi muka air lautnya adalah 0,343-0,354 m dengan kecepatan arus 0,05-0,13 m/s dan bergerak dari timur laut ke barat. Pola pergerakan arus di Kep. Karimunjawa menunjukkan pola yang bergerak dari timur laut menuju barat daya (Gambar 2 C) dimana kecepatan arus tertinggi terjadi pada Januari dengan kecepatan 0,05-0,3 m/s. Pada periode ini kondisi arus saat air laut menuju pasang menunjukkan pergerakan dari barat menuju timur dengan kecepatan 0,05-0,3 m/s dan tinggi elevasi muka air lautnya 0,0064-0,0152 m. Lalu pada saat kondisi pasang tertinggi yang terjadi pada 13 Januari 2016 pukul 16.00 WIB, arus bergerak dari timur ke barat dengan kecepatan 0,022-0,20 m/s dan tinggi elevasi muka air lautnya adalah 0,264-0,33 m.



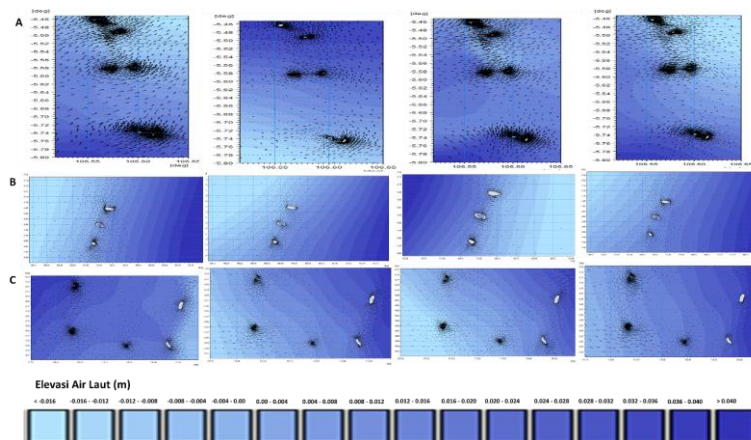
Gambar 2. Pergerakan Arus Saat Pasang, (A) Kep. Seribu, (B) Kep. Biawak, (C) Kep. Karimunjawa (kiri ke kanan: MB, MP I, MT, MP II)

Kondisi sebaliknya yaitu saat terjadi surut menunjukkan bahwa pergerakan arus berbalik dari saat terjadi pasang. Kecepatan arus saat kondisi menuju pasang mengalami penurunan dari saat surut dan kecepatan arus yang paling tinggi terjadi pada saat kondisi air laut menuju surut. Dikatakan bahwa pola arus di perairan ini merupakan pola arus pasang surut juga dikarenakan kecepatannya yang berubah-ubah. Menurut Duxbury *et al.* (2002) dalam Ismail dan Taofiqurohman (2012), kecepatan arus pasang surut biasanya berubah-ubah secara periodik dalam suatu selang waktu tertentu. Visualisasi pergerakan arus di Laut Jawa saat terjadi surut ditunjukkan oleh Gambar 3.

Gambar 3 A menunjukkan pola pergerakan arus di Kep. Seribu saat air laut sedang surut. Jika saat terjadi pasang, arus

bergerak utara menuju selatan, maka saat surut yang terjadi adalah sebaliknya yaitu arus bergerak dari selatan menuju utara. Saat kondisi surut ini, kecepatan arus juga lebih tinggi dibanding saat kondisi pasang yaitu berkisar 0,075-0,325 m/s. Selanjutnya, pergerakan arus di Kep. Biawak juga menunjukkan pola yang sama yaitu berbalik arah dari saat terjadi pasang.

Pada saat surut, arus di Kep. Biawak (Gambar 3 B) bergerak dari barat menuju timur dengan kecepatan yang lebih tinggi yaitu 0,125-0,325 m/s. Gambar 3 C menunjukkan pergerakan arus di area Kep. Karimunjawa dimana saat kondisi surut arus bergerak dari barat menuju timur dengan kecepatan yang lebih tinggi dari saat terjadi pasang yaitu 0,08-0,48 m/s.



Gambar 3. Pergerakan Arus Saat Surut, (A) Kep. Seribu, (B) Kep. Biawak, (C) Kep. Karimunjawa (kiri ke kanan: MB, MP I, MT, MP II)

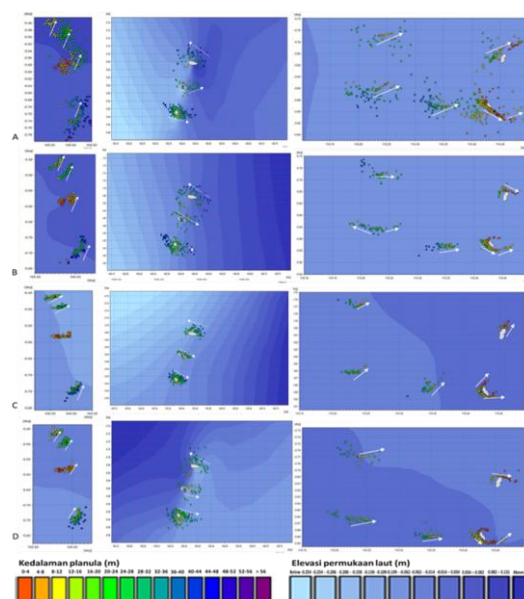
Dari keempat periode tersebut, diketahui bahwa pola pergerakan arusnya memiliki pola yang sama yaitu pola yang bolak-balik. Pola arus ini juga disertai dengan adanya perubahan kecepatannya, dimana perubahan ini terlihat saat adanya kondisi menuju pasang dan menuju surut. Ketika kondisi air laut menuju pasang, kecepatan arus berada di kisaran yang rendah dibandingkan saat kondisi air laut menuju surut. Hal ini diduga karena kecepatan air mengalir yang mengikuti gravitasi (dari kondisi pasang ke surut) akan membuat kecepatan gerak air lebih cepat dibandingkan saat kondisi surut menuju pasang yang membuat gerakan air melamban. Dengan perubahan pola arus ini, kecepatan arus juga mengalami perubahan dimana ketika kondisi air laut menuju surut, kecepatan arus menjadi lebih tinggi dibanding saat pasang, dan ketika menuju pasang terjadi penurunan kecepatan arus. Dengan kondisi ini, dapat disimpulkan bahwa pola arus yang terjadi di wilayah Kep. Seribu merupakan pola arus bolak-balik atau reversing current dimana pola arus ini terjadi karena pengaruh pasang surut yang kuat. Dalam 4 periode musim, tidak ada perubahan arah gerakan arus, dimana polanya sama di sepanjang musim. Menurut Thurmann (2007) dalam Sugianto (2009), ketika pola angin musiman tidak terlalu mempengaruhi pola dan kecepatan arus, maka pola gerak arus cenderung dipengaruhi oleh kondisi pasang surut di perairan tersebut. Adanya kecenderungan kecepatan arus yang

berfluktuasi saat kondisi menuju pasang dan menuju surut juga menandakan bahwa kecepatan arus ini dipengaruhi oleh pasang surut.

Pergerakan Planula

Untuk mengetahui pergerakan planula secara jelas, visualisasi pola pergerakan planula yang ditampilkan dibagi menjadi empat periode yaitu pada bulan Januari, April, Oktober, dan November. Empat periode ini merupakan waktu terjadinya pemijahan karang *Acropora*. Pola pergerakan planula pada tiap wilayah dapat dilihat pada Gambar 4.

Dari hasil simulasi model particle tracking, pergerakan planula dipengaruhi oleh pola pergerakan arus permukaan. Pola arus permukaan menunjukkan pergerakan bolak-balik ke arah timur laut dan utara lalu ke barat daya wilayah Kepulauan Seribu. Pergerakan planula pada Januari 2016 menunjukkan pergerakan pada 12 jam pertama planula bergerak ke arah timur laut dan utara wilayah Kepulauan Seribu lalu pada 12 jam selanjutnya, planula bergerak menuju wilayah barat daya. Pola ini terjadi secara terus menerus pada hari kedua sampai akhir pergerakan. Di akhir pergerakannya, planula umumnya menetap di bagian timur laut dan ada juga di bagian utara tiap pulau dengan mendominasi akhir pergerakannya di kedalaman 15 -20 m. Pergerakan planula di Kep. Biawak pada hari pertama yaitu dalam kurun waktu 12 jam, planula bergerak



Gambar 4. Pergerakan Planula, (A) Januari, (B) April, (C) Oktober, (D) November (kiri ke kanan: Kep. Seribu, Biawak, Karimunjawa)

menuju tenggara pulau lalu di waktu 12 jam berikutnya planula bergerak menuju barat laut. Pada hari kedua, planula bergerak dengan pola yang sama dengan hari pertama. Pada hari ketiga sampai akhir pergerakan (hari ke-7) pola pergerakan ini tidak berubah. Diduga, selain karena dipengaruhi karakteristik arus MB, pergerakan ini juga karena arus di perairan Kepulauan Biawak sangat dipengaruhi oleh pasang surut. Ini ditunjukkan dengan pola pergerakan arus dalam pemodelan yang bergerak cenderung bolak-balik. Selain karena dipengaruhi karakteristik arus MB, pergerakan ini juga karena arus di perairan Kepulauan Biawak sangat dipengaruhi oleh pasang surut. Ini ditunjukkan dengan pola pergerakan arus dalam pemodelan yang bergerak cenderung bolak-balik. Di Kep. Karimunjawa, pergerakan planula hari pertama di tiap pulau berbeda-beda. Di Pulau Kemujan dan Pulau Burung, planula bergerak ke arah timur laut. Di Pulau Menjangan Besar, planula bergerak menuju tenggara. Di Pulau Kumbang dan Pulau Geleang, planula bergerak menuju timur. Pada hari kedua, pola pergerakan planula di semua area simulasi model sama-sama bergerak ke arah barat. Di hari ketiga, planula bergerak ke arah timur area simulasi model. Pola pergerakan ini sama sampai akhir pergerakan. Di akhir pergerakan, secara dominan terlihat planula menetap di bagian timur dan timur laut tiap pulau. Kesamaan pola pergerakan yang mengarah menuju timur dan timur laut wilayah area simulasi diduga karena adanya pengaruh dari pergerakan arus permukaan terhadap pola pergerakan planula. Pergerakan arus MB pada periode Januari menunjukkan gerak yang dominan ke arah timur dan timur laut dengan kecepatan yang cukup tinggi.

Pergerakan planula di Kep. Seribu pada periode April, 24 jam pertama, planula bergerak menuju utara wilayah. Di hari kedua, dalam kurun waktu 18 jam planula bergerak menuju selatan dan di sisa 6 jam pada hari kedua, planula bergerak ke utara. Di hari ketiga, pergerakan planula memiliki pola yang sedikit berbeda dimana pada 6 jam pertama (00.00-06.00) dan 6 jam ketiga (12.00-18.00) planula bergerak ke selatan sementara pada 6 jam kedua (06.00-12.00) dan 6 jam keempat (18.00-23.00) planula bergerak ke utara. Pola di hari ketiga ini merupakan pola yang sama

sampai akhir pergerakan planula yaitu sampai hari ke-8. Planula yang berhenti atau menetap di area kedua pulau ini berada pada kedalaman 10-20 m. Di wilayah Kep. Biawak, pada hari pertama yaitu dalam kurun waktu 12 jam (00.00-12.00) planula bergerak menuju wilayah barat laut lalu di waktu 12 jam berikutnya (12.00-23.00) planula bergerak menuju tenggara. Pola pergerakan dalam simulasi model ini terlihat sama pada hari kedua sampai akhir pergerakan (hari ketujuh). Di Kep. Karimunjawa, pergerakan planula di hari pertama dalam waktu 12 jam pertama (00.00-12.00) planula bergerak menuju barat laut pada 12 jam berikutnya terjadi perbedaan arah pergerakan planula pada tiap pulau. Pola pergerakan di hari berikutnya sampai ke-7 yang merupakan akhir pergerakan memiliki pola yang sama pada hari sebelumnya.

Pergerakan planula pada Oktober di Kep. Seribu dalam kurun waktu 8 jam di hari pertama, planula bergerak menuju utara wilayah Kepulauan Seribu lalu pada jam ke-9 sampai jam ke-24 pergerakan planula terlihat berbeda di masing-masing pulau yaitu di Pulau Penjalinan Timur dan Rengit planula bergerak ke barat daya, di Pulau Tondan Barat dan Tondan Timur planula bergerak barat, serta di Pulau Panggang dan Pramuka planula bergerak selatan. Pola yang seragam terlihat pada hari ketiga dimana pada 8 jam pertama (00.00 – 08.00) planula di semua pulau bergerak ke utara, lalu pada 8 jam kedua (08.00-16.00) planula bergerak ke selatan, dan pada 8 jam ketiga (16.00-23.00) planula bergerak lagi ke utara. Pola ini terus terjadi sampai akhir pergerakan planula. Kedalaman yang didominasi oleh planula pada akhir pergerakan berada di kedalaman 12-16 m. Pergerakan planula di Kep. Biawak pada hari pertama, tepatnya di waktu 6 jam pertama (00.00-06.00) planula bergerak ke arah barat.laut. Lalu pada 6 jam berikutnya (06.00-12.00) planula bergerak menuju timur. Mulai memasuki hari kedua, pola pergerakan planula masih sama dengan pola hari pertama. Pada hari ketiga sampai hari terakhir tidak terjadi perubahan pola pergerakan. Planula mulai berhenti bergerak pada hari ketujuh. Di Kep. Karimunjawa, pergerakan planula hari pertama pada jam ke-8 sampai jam ke-20 bergerak ke arah timur laut, lalu setelah jam ke-20 planula bergerak ke bagian barat kepulauan. Pola ini

terus terjadi di hari berikutnya sampai hari ketujuh yang merupakan akhir dari pergerakan planula. Pada hari pertama pergerakan, di waktu 12 jam pertama (00.00-12.00) planula di semua pulau bergerak menuju timur area kepulauan lalu pada 12 jam berikutnya (12.00-23.00) planula bergerak ke arah barat. Sepanjang hari kedua, planula terus bergerak menuju bagian barat kepulauan dan memasuki hari ketiga planula kembali bergerak menuju bagian barat. Memasuki hari keempat sampai hari ketujuh yang merupakan akhir pergerakan, planula bergerak mengikuti pola hari pertama. Planula yang berada di Kep. Karimunjawa di akhir pergerakannya mendominasi kedalaman 4-15 m dan memulai proses rekrutmen di hari ke-5 sampai ke-7.

Pergerakan planula di Kep. Seribu pada November pada hari pertama, dalam kurun waktu 12 jam (00.00-12.00) planula pada masing-masing pulau bergerak ke selatan wilayah Kepulauan Seribu, kemudian di 12 jam berikutnya (12.00-23.00) planula bergerak utara. Pola pergerakan ini terus terjadi sampai akhir pergerakan di hari ke-5 dimana planula mendominasi akhir pergerakannya di kedalaman 5-15 m. Di Kep. Biawak, pergerakan planula pada hari pertama, dalam kurun waktu 12 jam (00.00-12.00) planula bergerak menuju tenggara. Lalu memasuki pada 12 jam berikutnya planula mulai bergerak menuju barat laut. Pada hari kedua, Pola yang sama terus terjadi sampai akhir pergerakan planula di hari ketujuh. Di akhir pergerakan seluruh di semua periode, planula mendominasi wilayah di tenggara dan timur Pulau Biawak dan Gosong dimana planula yang berada di dekat pulau menetap di kedalaman 12-20 m, sementara sebagian lainnya yang bergerak menjauhi pulau berada di kedalaman lebih dari 25 m. Pergerakan planula di Kep. Karimunjawa pada hari pertama pergerakan, di waktu 12 jam pertama (00.00-12.00) planula di semua pulau bergerak menuju timur area kepulauan lalu pada 12 jam berikutnya (12.00-23.00) planula bergerak ke arah barat. Sepanjang hari kedua, planula terus bergerak menuju bagian barat kepulauan dan memasuki hari ketiga planula kembali bergerak menuju bagian barat. Memasuki hari keempat sampai hari ketujuh yang merupakan akhir pergerakan, planula bergerak mengikuti pola hari pertama.

Menurut Nybakken (1992), karang dapat tumbuh dan hidup dengan baik dengan

kondisi kedalamannya yang tidak lebih dari 25 meter. Dengan adanya teori tersebut dan melihat hasil model simulasi *particle tracking* dimana planula di Kep. Seribu memiliki akhir pergerakan di kedalaman 5-15 m; di Kep. Biawak berada di kedalaman 4-20 m; dan di Kep. Karimunjawa berada pada kedalaman 4-16 m. Dengan adanya asumsi bahwa planula yang menetap di kedalaman kurang dari 25 m karena kondisi ini mendukung masuknya intensitas cahaya matahari yang cukup untuk pertumbuhan planula, dapat dikatakan bahwa planula bisa terus tumbuh dan memulai proses rekrutmen. Proses rekrutmen karang dimulai setelah planula mulai menempel pada substrat dan pada beberapa penelitian dilaporkan bahwa planula memulai proses rekrutmen pada hari 3 sampai 14 sebelum mengendap. Dari hasil simulasi model *particle tracking*, umumnya planula berhenti bergerak di hari ke-4 sampai ke-7.

Dari hasil simulasi model pergerakan planula di Kepulauan Seribu, Biawak, dan Karimunjawa diketahui bahwa pergerakan planula sangat dipengaruhi oleh pergerakan arus pasang surut. Arus pasang surut sendiri merupakan arus yang memiliki arah dan kecepatan tergantung pada kondisi pasang surut. Pola pergerakan arus pasang surut cenderung bolak-balik dan kecepatan akan berubah sesuai kondisi saat terjadi pasang dan surut. Hal ini ditunjukkan dimana planula bergerak mengikuti arah arus yang terjadi di masing-masing kepulauan. Arus yang mempengaruhi pergerakan planula ini merupakan arus pasang surut karena pola pergerakannya yang bolak-balik dimana kecepatannya mengalami penurunan saat terjadi pasang dan mengalami peningkatan saat kondisi surut.

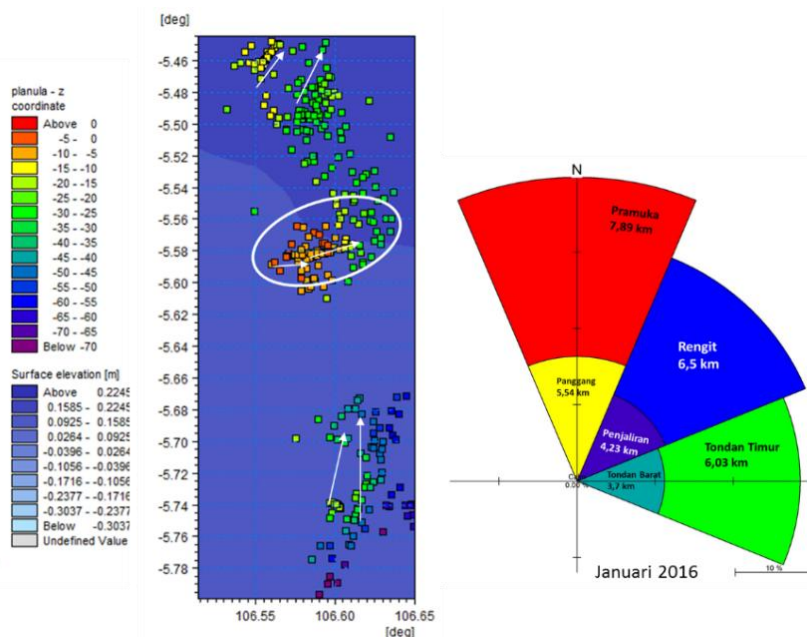
Prediksi Wilayah Potensial Pertumbuhan Karang

Dari hasil simulasi model *particle tracking* yang telah dilakukan di wilayah Kepulauan Seribu, Biawak, dan Karimunjawa, dapat diasumsikan bahwa tiap kepulauan memiliki wilayah yang potensial untuk pertumbuhan planula karang dilihat dari keberadaannya berdasarkan kedalaman di hasil simulasi model. Hal ini dilihat dari mulai berhentinya planula pada kedalaman tertentu yang memungkinkan planula untuk terus hidup. Pola pergerakan planula di Kepulauan Seribu memiliki kecenderungan bergerak

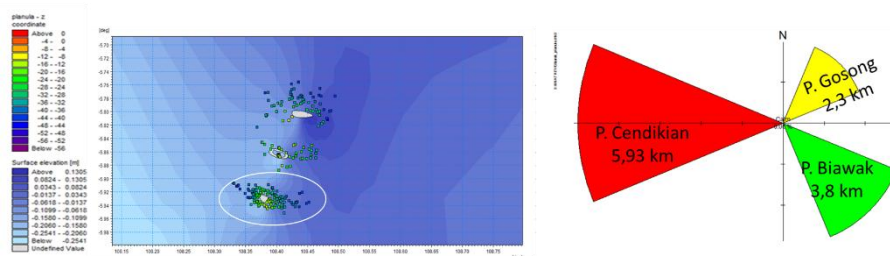
menuju utara wilayah kepulauan. Sementara di Pulau Panggang, planula yang berasal dari pulau ini juga terlihat bergerak menuju barat daya Pulau Pramuka yang kemudian menetap. Dari hasil simulasi model pergerakan planula juga terlihat bahwa planula yang berada di wilayah perairan Pulau Pramuka sebagian besar dianggap mati hal ini dikarenakan dari hasil model, planula yang menetap di wilayah pulau ini berada di kedalaman yang lebih dari 25 m. Menurut Nybakken (1992) karang tidak dapat tumbuh pada kedalaman lebih dari 25 m.

Dari hasil simulasi model *particle tracking* selama sebulan, rekrutmen karang diperkirakan mulai terjadi pada hari ke-5 sampai ke-10. Asumsi dimulainya proses rekrutmen ini dilihat dari hasil simulasi model berdasarkan menetapnya planula atau planula sudah tidak terlihat bergerak lagi. Asumsi ini juga didukung dengan adanya penelitian Tay *et al.* (2012) yang menyatakan bahwa larva karang biasanya akan mengendap di hari ke-3

sampai ke-5 setelah bulan purnama. Namun penelitian lainnya yaitu Yusuf *et al.* (2014) menyatakan karang Acroporidae mampu bertahan selama 94-130 jam sebelum akhirnya mengendap. Gambar diagram yang berada di samping kanan area Kepulauan Seribu menunjukkan pergerakan planula terjauh yang terjadi pada bulan Januari. Pergerakan terjauh terjadi di Pulau Pramuka dimana planula bergerak sejauh 7,89 km menuju utara wilayah Kep. Seribu. Wilayah yang cukup potensial untuk pertumbuhan karang berdasarkan kedalamannya ditunjukkan pada bagian lingkaran putih yaitu Pulau Tondan Barat dan Tondan Timur. Dari seluruh area pulau, planula di kedua pulau ini yang menunjukkan keberadaannya dalam perairan dengan kondisi dapat tumbuh dengan baik yaitu pada kedalaman 4-15 m. Didasarkan pada asumsi kedalaman yang mendukung karang untuk terus hidup, maka keberadaan planula di kedua pulau ini sangat mungkin untuk terus tumbuh.



Gambar 5. Wilayah Rekrutmen di Kep. Seribu



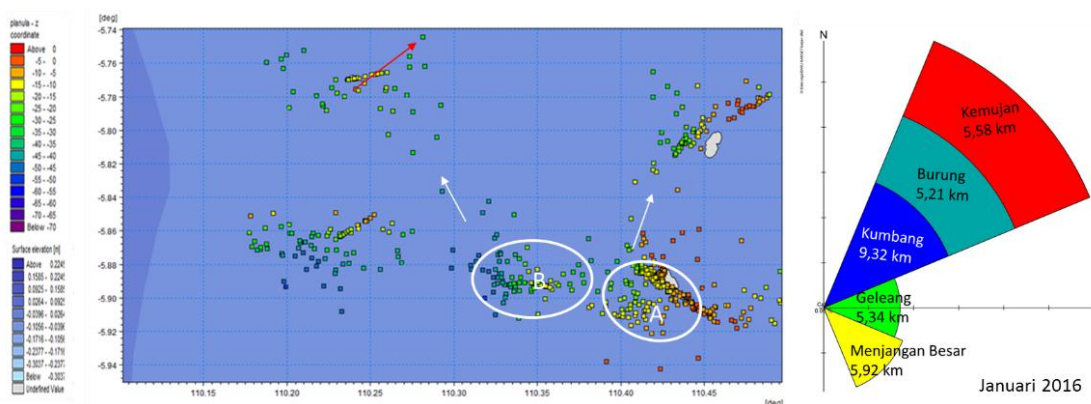
Gambar 6. Wilayah Rekrutmen Kep. Biawak

Dari gambar terlihat bahwa di bagian tenggara dan selatan pulau sangat memungkinkan menjadi wilayah potensial tumbuhnya karang dimana planula-planula di wilayah dekat dengan Pulau Biawak berada di kedalaman kurang dari 20 m. Pada simulasi model, terlihat di akhir pergerakan adanya planula yang bergerak menuju timur laut. Menurut Fitriadi (2016) bergeraknya planula ke wilayah timur laut yang menjauhi Pulau Biawak diprediksi bergerak menuju Pulau Gosong. Proses rekrutmen karang dimulai ketika planula sudah menempel pada substrat. Berdasarkan hal tersebut, proses rekrutmen di Pulau Biawak diketahui terjadi pada hari ke-6 dan ke-7. Diagram pergerakan planula (Gambar 6) menunjukkan bahwa pergerakan terjauh planula terjadi di Pulau Candikian dengan jarak sejauh 5,93 km menuju barat pada periode Januari. Wilayah untuk pertumbuhan karang kemungkinan berada di wilayah tenggara dan barat Pulau Biawak dimana planula yang menetap di wilayah ini menetap pada kedalaman 10-20 m. Mengacu pada pernyataan Nybakken (1992), planula atau karang dalam kedalaman ini memungkinkan untuk bertahan hidup dan tumbuh mengingat pada kedalaman ini cahaya matahari yang masuk berintensitas tinggi. Wilayah yang diperkirakan dapat menjadi area yang potensial untuk pertumbuhan karang di Kepulauan Karimunjawa adalah Pulau Menjangan Besar (lingkaran A) dan Geleang (lingkaran B). Hal ini didasarkan dari hasil simulasi model yang menunjukkan bahwa

planula yang berada di kedua pulau berada di kedalaman yang optimum yaitu antara 4-10 m. Selain itu, melihat pergerakan planula di kedua pulau ini yang memiliki kecenderungan bergerak menuju menyebar ke area simulasi.

Di Pulau Menjangan Besar, sebagian planula mengarah ke luar area simulasi dan sebagian lainnya ada yang menuju ke Pulau Kemujan (di atas Pulau Menjangan Besar) serta Pulau Geleang, dan sebagian kecil juga ke bagian utara area simulasi. Planula berhenti bergerak atau akhirnya menetap pada hari ke-6 dan ke-7. Menurut Connolly and Baird (2010) in Baird *et al.* (2012), larva karang biasanya mulai mengendap pada substrat pada hari ketiga sampai 14 setelah berada di perairan. Pergerakan planula terjauh terjadi pada periode Januari di Pulau Kumbang (tanda panah merah) yang bergerak sejauh 9,32 km ke timur laut.

Berdasarkan hasil simulasi di Kepulauan Seribu, Biawak, dan Karimunjawa menunjukkan bahwa wilayah yang cukup potensial untuk pertumbuhan karang adalah Pulau Tondan Barat, Tondan Timur, Biawak, dan Menjangan Besar. Pulau Tondan Barat, Tondan Timur, dan Menjangan Besar merupakan zona pemanfaatan sementara Pulau Biawak termasuk ke KKLD. Dari hasil tersebut, ketiga pulau yang merupakan zona pemanfaatan dan Pulau Biawak dapat dimanfaatkan untuk kawasan rehabilitasi terumbu karang guna melestarikan sumber daya hayati lautnya.



Gambar 7. Prediksi Wilayah Rekrutmen Kep. Karimunjawa

SIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Pola pergerakan arus di Laut Jawa yang meliputi Kep. Seribu, Biawak, dan Karimunjawa merupakan pola arus pasang surut karena polanya yang bolak-balik (*reversing current*) dimana kecepatannya berubah-ubah seiring kondisi perairan saat pasang dan surut.
2. Pola pergerakan planula menunjukkan bahwa planula bergerak mengikuti pola arus sehingga gerakannya juga bolak-balik dengan pergerakan dominannya mengarah ke utara di Kepulauan Seribu; ke tenggara di Kepulauan Biawak; dan ke timur laut di Kepulauan Karimunjawa.
3. Prediksi wilayah yang potensial untuk pertumbuhan karang berdasarkan kedalamannya adalah Pulau Tondan Barat dan Tondan Timur (Kep. Seribu), Pulau Biawak (Kep. Biawak, dan Pulau Menjangan Besar (Kep. Karimunjawa).

DAFTAR PUSTAKA

- Baird, A. H., Emslie, M. J., & Lewis, A. R. (2012). Extended Periods of Coral Recruitment on The Great Barrier Reef. International Coral Reef Symposium.
- Burke, L., Reynter, K., Spalding, M., & Perry, A. (2011). Reefs At Risk Revisited. World Resources Institute.
- Daniel, D. (2014). Karakteristik Oseanografis dan Pengaruhnya Terhadap Distribusi Tutupan Karang di Wilayah Pulau Pari Kabupaten Kepulauan Seribu. Universitas Gadjah Mada.
- Fitriadi, C. A. (2016). *Model Sebaran Larva Karang (Planula) di Kawasan Konservasi Laut Daerah Pulau Biawak, Indramayu, Jawa Barat*. Jatinangor: Unpad.
- Haryono., N. S. (2004). Karakteristik Pasang Surut Laut di Pulau Jawa. *Universitas Gadjah Mada*.
- KKJI. (2001). Taman Laut Nasional Karimunjawa. *Direktorat Jenderal Kelautan, Pesisir dan Pulau-pulau Kecil. KKP*.
- KKJI. (2002). Taman Nasional Laut Kepulauan Seribu. *Direktorat Jenderal Kelautan, Pesisir dan Pulau-pulau Kecil. KKP*.
- KKJI. (2004). Kawasan Konservasi Laut Daerah Kepulauan Biawak, Indramayu, Provinsi Jabar. *Dirjen Kelautan, Pesisir dan Pulau-pulau Kecil. KKP*.
- Lubis, E., Pane, A. B., Kurniawan, Y., Chaussade, J., Lamberts, C., & Potier, P. (2005). *Buku Atlas Perikanan Tangkap dan Pelabuhan Perikanan Tangkap di Pulau Jawa Suatu Pendekatan Geografi Perikanan Tangkap Indonesia*. Bogor: Program Kajian Kepelabuhan Perikanan dan Transportasi Maritim Lembaga Penelitian Institut Pertanian Bogor.
- Nozawa, Y. (2011). *Survival Dynamics of Reef Coral Larvae With Special Consideration of Larval Size and the Genus Acropora*. Canberra: Marine Biological Laboratory.
- Nybakken, J. W. (1992). *Biologi Laut: Suatu Pendekatan Ekologis*. Jakarta: (Penerjemah: M. Eidman dan Koesoebimono) PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Richmond, R. H. (1987). Energetics, Competency, and Long-distance Dispersal of Planula Larvae of The Coral *Pocillopora damicornis*. *Mar Biol* , 527-533.
- Tay., Y. C., Todd., P. A., Rosshaug., P. S., & Chou, L. M. (2012). Simulating The Transport of Broadcast Coral Larvae among The Southern Islands of Singapore. *Aquatic Biology Vol.15*, 283-297
- Timotius, S. (2007). Biologi Terumbu Karang. *TERANGI*.
- Wiens, J. (2006). Connectivity Research - What Are The Issues? In: Connectivity Conservation. *Cambridge University Press*.
- Yusuf., S., Zamani., N. P., & Jompa, J. (2014). Perkembangan Larva Dalam Embriogenesis Karang *Acropora* Hasil Pemijahan Ex-situ. *Ilmu Kelautan dan Perikanan Vol 42(2)*, 48-54.