

1 PENDAHULUAN

Latar Belakang

Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) mengeluarkan status kondisi terumbu karang Indonesia pada tahun 2018 yaitu hanya 6,56% saja yang dalam kondisi sangat baik. Sebaran kondisi tutupan terumbu karang Indonesia untuk wilayah bagian barat dengan kondisi sangat baik sekitar 8,97%; bagian tengah 4,91% dan bagian timur sebesar 4,05%. Ada sekitar 83 marga karang keras dan 569 jenis yang tersebar di perairan Indonesia, atau setara dengan 76% marga dan 69% jenis karang yang ada di dunia terdapat di perairan Indonesia (LIPI, 2018). Terumbu karang memiliki peran penting bagi biota laut lainnya seperti menyediakan habitat bagi lebih dari satu juta spesies dan memberikan jasa ekosistem (seperti: penyedia makanan, perlindungan pantai) bagi manusia di wilayah tropis dan subtropis (Cinner, *et al.* 2012, Pendleton, *et al.* 2016. Meskipun penting, terumbu karang mengalami penurunan kondisi karena banyaknya tekanan dalam beberapa dekade terakhir.

Penurunan kondisi terumbu karang diakibatkan oleh faktor alami dan antropogenik. Saat ini keberadaan terumbu karang dan biota laut terancam karena adanya pengasaman lautan (*ocean acidification*) akibat peningkatan karbondioksida dan peningkatan suhu laut (*ocean warming*) karena adanya pemanasan global (Hughes *et al* 2003, Kleypas *et al* 2006, Worm *et al* 2006, Hoegh-Guldberg *et al* 2009, UNEP TEBB 2009). Kerusakan fisik secara alami berupa gempa bumi, tsunami dan topan serta aktifitas pemangsaan masif (*outbreak*) dari *Achantaster plancii* dan *Drupella sp* (Tomascik 1991, Tokeshi and Daud 2011). Selain itu terjadi kerusakan akibat pemanfaatan wilayah pesisir seperti pertanian, industri, pengerukan pantai, penangkapan ikan dengan racun serta bom, buangan jangkar kapal, aktifitas pariwisata, reklamasi, sedimentasi, penambangan karang dan lain-lain. Aktifitas manusia di bidang pelayaran (transportasi laut) juga dapat mengganggu dan merusak ekosistem terumbu karang seperti pencemaran serta kerusakan massif akibat kandasnya kapal (Negri 2002, Chalengger 2006, Jones 2007, Daud dan Rattu 2011).

Sejak manusia pertama kali mulai membangun kapal, peristiwa kandasnya kapal di terumbu karang sering tidak terelakkan dan mengakibatkan kerusakan biologis dan fisik yang parah. Kerusakan fisik yang disebabkan oleh kapal kandas bersifat akut yang menciptakan hamparan pecahan karang yang dapat menjadi sumber gangguan dan kematian yang signifikan bagi terumbu karang dan menghambat pemulihan (Lirman, *et al* 2010; Raymundo, *et al* 2018). Kandasnya kapal-kapal besar merusak ribuan meter habitat bentik utamanya terumbu karang (Schmahl *et al.* 2006). Kejadian kapal kandas di terumbu karang sangat jarang menjadi perhatian sehingga sedikit sekali yang bisa terdata. Sebagai contoh kejadian kapal kandas yang dilaporkan di Florida mencapai 600 kejadian setiap tahunnya dan jika dihitung yang tidak dilaporkan maka jumlahnya akan lebih banyak lagi (Shutler *et al.* 2006). Indonesia sebagai negara kepulauan memiliki posisi strategis dalam alur pelayaran laut nasional dan internasional. Data dari *marine traffic* tahun 2017 menunjukkan bahwa perairan Indonesia dilewati oleh kapal dengan berbagai tipe dan ukuran mencapai 327 ribu rute/23 km²/tahun

(www.marinetraffic.com). Tingginya rute alur pelayaran laut di perairan Indonesia menyebabkan potensi terjadinya kapal kandas dan merusak terumbu karang menjadi tinggi.

Sejak kejadian kandasnya kapal MV. Caledonian Sky di Raja Ampat tahun 2017, pemerintah Indonesia gencar melakukan penegakan hukum terhadap pelaku kerusakan. Saat ini ada 2 kementerian teknis (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan = KLHK, Kementerian Kelautan dan Perikanan = KKP) dan 1 kementerian koordinator (Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi) yang aktif dalam penanganan kasus kapal kandas di Indonesia. Perangkat hukum yang digunakan saat ini, untuk menindak pelaku kerusakan yaitu Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (selanjutnya disebut **“UU PPLH”**). Salah satu asas yang dianut adalah asas tanggung jawab negara yang artinya negara bertanggung jawab menjamin pemanfaatan sumber daya alam untuk memberikan manfaat sebesar-besarnya bagi kesejahteraan dan hidup rakyat baik generasi masa kini maupun masa depan, menjamin hak warga negara untuk memperoleh lingkungan hidup yang baik dan sehat serta untuk mencegah perusakan dan/atau pencemaran lingkungan hidup dari kegiatan pemanfaatan sumber daya alam. Pada pasal 90 UU PPLH memberikan kewenangan kepada instansi Pemerintah dan Pemerintah Daerah yang bertanggungjawab dalam bidang lingkungan hidup untuk mengajukan gugatan ganti rugi dan tindakan tertentu terhadap usaha dan/atau kegiatan yang telah menyebabkan pencemaran dan/atau perusakan lingkungan hidup yang mengakibatkan kerugian lingkungan hidup. Secara teknis klaim ganti rugi kerusakan lingkungan hidup diatur berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 7 Tahun 2014 (selanjutnya disebut **“PERMEN LH No.7/2014”**) tentang Perhitungan Ganti Rugi Akibat Pencemaran dan/atau Kerusakan Lingkungan. Berkaitan dengan hal tersebut, panduan yang digunakan berupa Pedoman Penanganan Perkara Lingkungan Hidup sesuai Keputusan Ketua Mahkamah Agung Republik Indonesia Nomor: 36/KMA/SK/II/2013. Pemberlakuan Pedoman Penanganan Perkara Lingkungan Hidup berdasarkan keputusan tersebut salah satunya adalah terkait pencemaran air laut dan/atau perusakan laut (terumbu karang, mangrove dan padang lamun).

Kerusakan terumbu karang akibat kandasnya kapal bervariasi, bergantung pada bobot, kecepatan tipe dan ukuran kapal, seperti luka yang relatif kecil hingga degradasi menyeluruh pada kompleksitas struktur terumbu karang sebagai sebuah ekosistem. Diperlukan penilaian skala kompensasi dan pemulihan didasarkan pada penilaian tingkat kerusakan dan penentuan waktu yang diperlukan untuk pemulihan ke keadaan sebelum kejadian (Andrews *et al.*, 2005). Proses penghitungan kerugian lingkungan hidup akibat pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup dilakukan melalui proses klarifikasi terjadinya pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup dan identifikasi lingkungan hidup yang terkena dampak pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan hidup.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.

Perumusan Masalah

Sebagai negara kepulauan Indonesia memiliki ekosistem terumbu karang dengan beragam tipe dan karakter habitat pada hampir semua pulau-pulainya, selain itu juga terdapat di lautan lepas yang jauh dari daratan berupa gosong terumbu (*patch reef*). Laut yang digunakan sebagai media penghubung kadang berbenturan dengan ekosistem ini. Indonesia memiliki terumbu karang terbesar di Asia, namun tidak memiliki rekaman formal jumlah kerusakan terumbu karang karena pelayaran serta belum memiliki standar baku dalam penghitungan luasan, tingkat dan dampak kerusakan terumbu karang oleh kapal kandas di perairan Indonesia. Indonesia seharusnya seperti Filipina dan negara-negara Karibia, yang memiliki aturan formal dan perhatian yang besar pada kasus tersebut. Sebagai contoh, Filipina memiliki catatan yang baik tentang kapal kandas di terumbu karang pada area konservasi Thubata Reef, sedangkan di Indonesia catatan formal kejadian kapal kandas di terumbu karang sangat jarang ditemukan. Padahal kejadian kapal kandas banyak terjadi di perairan Indonesia, selain itu kajian mengenai dampak ekologis yang ditimbulkannya juga sangat minim. Muncul juga permasalahan lain yaitu memberikan bukti secara hukum seperti mencari barang bukti, menghitung luasan dan tingkat kerusakan secara fisik, menghitung kerugian ekonomi dan sosial serta pemulihan ekosistem.

Berbagai kasus kerusakan terumbu karang akibat kandasnya kapal kurang diperhatikan oleh ilmuwan, pengelola terumbu karang, penyelam serta pelaut itu sendiri. Penilaian ekologis terhadap keanekaragaman hayati yang hilang sangat sedikit, spesies atau organisme apa yang musnah, seberapa parah dan luas kerusakannya tidak terdata. Selain itu bentuk dan upaya restorasi atau perbaikan apa yang sudah dilakukan, masih belum jelas. Hal ini menjadi penting untuk dikaji, karena bisa jadi dampak yang ditimbulkan sangat signifikan pengaruhnya terhadap kondisi ekosistem terumbu karang Indonesia secara umum.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

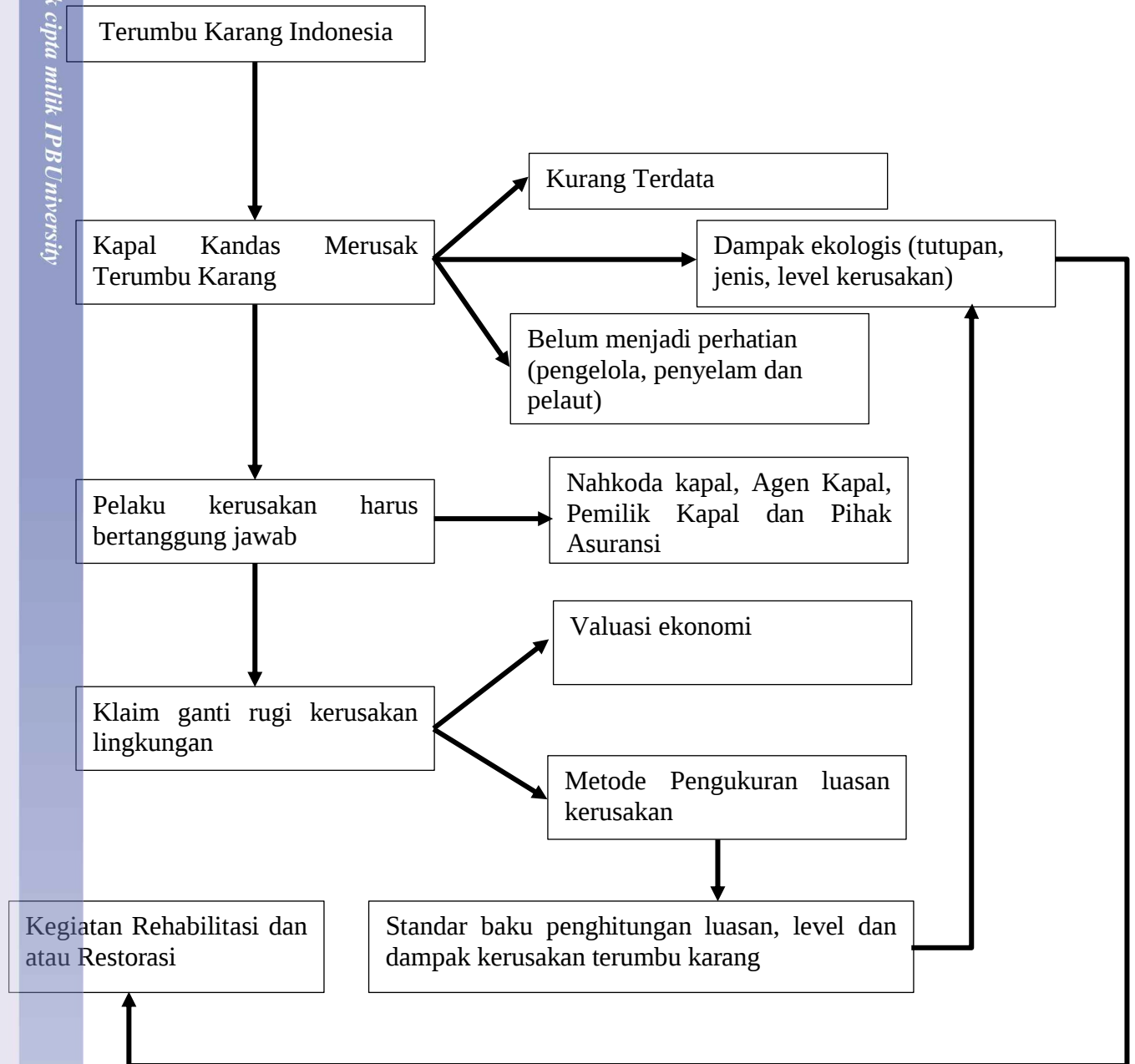
1. Mengidentifikasi tipe profil terumbu karang terdampak
2. Mengidentifikasi kondisi substrat dasar perairan di areal terdampak.
3. Mengidentifikasi jenis karang yang terdampak.
4. Mengidentifikasi dan memetakan area kerusakan terumbu karang.
5. Mengkuantifikasi luasan area dan tingkat kerusakan terumbu karang.

Manfaat Penelitian

Hasil penelitian yang difokuskan untuk menghitung luasan dan tingkat kerusakan habitat terumbu karang. Perhitungan ini menjadi langkah pertama yang harus dilakukakn untuk menentukan besarnya kerusakan yang akan menjadi masukan untuk langkah berikutnya dalam menentukan besaran klaim kerusakan lingkungan. Metode dan analisa dapat digunakna untuk menjadi acuan , karena hingga saat ini belum ada metode baku yang digunakan di Indonesia. Selanjutnya dengan mengetahui dampaknya, para pemangku kepentingan bisa segera melakukan kegiatan restorasi atau rehabilitasi terumbu karang yang sesuai dengan

tingkat kerusakannya dan harapannya dari hasil kajian ini bisa menjadi langkah awal pemerintah untuk melakukan pendataan dan pencatatan secara formal kejadian kapal kandas di Perairan Indonesia.

Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 1. Alur proses perumusan masalah, tujuan hingga manfaat penelitian

2 METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Perairan Indonesia yang mewakili bagian barat, tengah dan timur (Gambar 2). Penelitian dilakukan mulai dari tahun 2017 hingga tahun 2019. Masing-masing pengamatan disetiap lokasi dilakukan selama $\pm$ 3-5 hari.



Gambar 2. Lokasi Kapal kandas di Perairan Indonesia sebagai lokasi penelitian dengan 3 ukuran dan tipe (kapal besar tipe *bulk carrier*, kapal sedang tipe *barge* dan LCT, kapal kecil tipe pinisi)

Kapal yang kandas dalam kajian ini dikelompokkan menjadi 3 kategori kapal berdasarkan beratnya dan 3 tipe kapal berdasarkan bentuknya. Kelompok dan tipe kapal kandas yang telah diidentifikasi adalah kelompok kapal kecil (berat < 100 ton) dengan tipe kapal pinisi, kapal sedang (berat antara 100-3000 ton) dengan tipe kapal *Landing Craft Tank* (LCT) dan tongkang (*Barge*) serta kapal besar (berat > 3000 ton) dengan tipe kapal *Bulk Carrier* (Tabel 1).

Tabel 1. Pengelompokkan kapal kandas berdasarkan Gross Tonase (GT), tipe kapal, dan lokasi kandas

No	Nama	Gross Tonase (GT)	Tipe	Kategori	Waktu survei pasca kandas	Lintang	Bujur
1	KM Amanikan	98	Phinisi	Kapal Kecil	3 minggu	5°51'11"	106°38'16"
2	KM Manta Mae	98		(< 100 GT)	3 minggu	5°47'12.38"	110°27'29.40"
3	LCT Gandha Nusantara 15	102	Landing Craft Tank (LCT)	Kapal Sedang	3 minggu	1°44'19.90"S	107°27'2.70"

4	LCT Radja Samudera Abadi	719	(100-3.000 GT)	3 minggu	1°58'088" S	108°06'41 9"
5	Tongkang Marine Power 3022	2.500	Tongkan g (Barge)	6 minggu	5°51'18" S	110°29'17 "
6	Tongkang SPA 27007	2.500		4 minggu	5°28'56" S	95°13'36"
	MT Alex	154.3 79	Kapal Besar (> 3.000 GT)	6 minggu	8,4780 LS	119,5560
	MV Caledonian Sky	4.200	Bulk carrier	6 minggu	00°32'19, 49"	130°33,19 '91"
	MV Lyric poet	44.20 3		5 minggu	00°30'99 2"	130°40'2 83"

Sumber : diolah dan dimodifikasi dari www.marinetraffic.com; www.indoyachts.com

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat selam dasar dan alat selam *self contained underwater breathing apparatus* (SCUBA), kamera digital bawah dan *housing* anti air, kotak *frame* PVC (55 x 48 cm), meteran roll (100 m dan 50 m), *surface marker buoy* (SMB), alat tulis bawah air, dan plastik sampel.

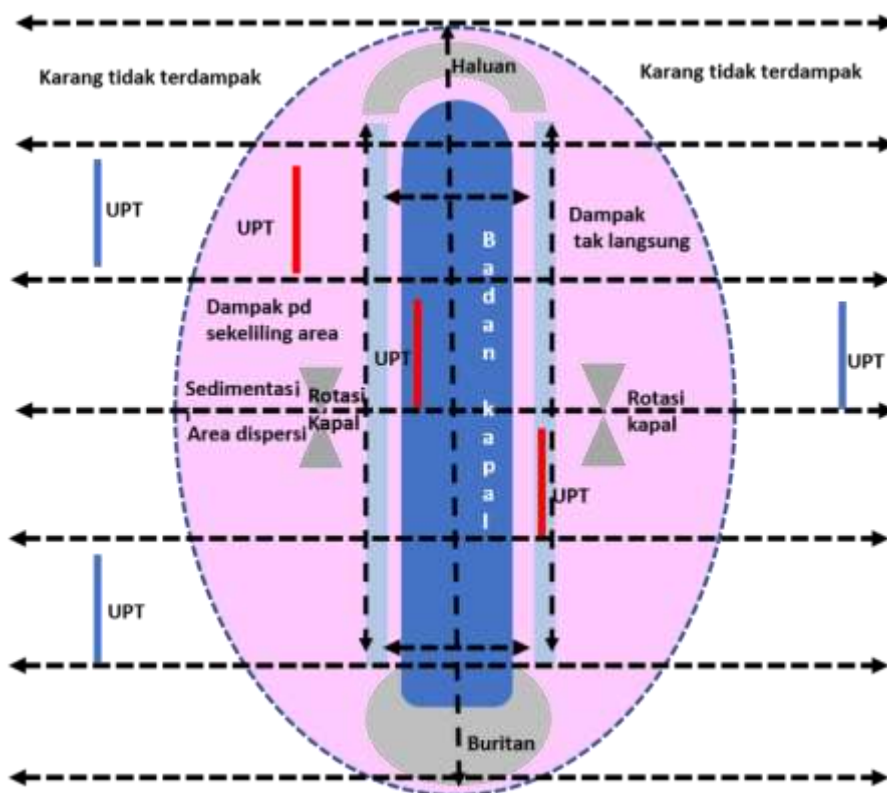
Metode Survei

Teknik Pengambilan Data

Pengambilan data sekitar 3-5 hari (rata-rata pengambilan data dilakukan 3-6 minggu sejak kejadian kapal kandas). Teknik pengambilan data dilakukan secara insitu (*ground truth*) dengan bantuan alat selam SCUBA untuk survey jelajah dan menggunakan garis transek sebagai panduan. *Swim survey* untuk pengamatan cepat di bawah air disertai dengan penentuan titik-titik penanda dan titik koordinat geografis (GPS, *Geographic Positioning System*) (*Rapid Reef Assesment*, Hill and Wilkinson 2004). Adapun tahapan pengambilan data adalah sebagai berikut :

1. Survey jelajah secara cepat dilakukan untuk mengamati profil terumbu lokasi target dan mengidentifikasi batasan areal yang terdampak dan yang tidak terdampak. Begitu batasan kedua daerah jelas teridentifikasi dari permukaan air, pada titik ini ditandai di bawah air dengan *buoy* penanda spesifik pada batasan parit/gunung (tumpukan pecahan karang) atau daerah bekas tapak badan kapal. Penandaan *buoy* apung sekaligus perekaman titik koordinat dengan GPS dilakukan pada setiap sudut di ujung belakang dan di depan tapak kapal digunakan sebagai patokan pemetaan bawah air. Penanda antara area terdampak dan area yang tidak terdampak ini (area kontrol) juga menjadi patokan penentuan pengambilan data tutupan dan keanekaragaman jenis karang antar area secara mendetail.

2. Pengambilan data kondisi substrat dasar perairan menggunakan metode Transek Foto Bawah Air (*Underwater Photo Transect*=UPT) lewat pemotretan bawah air dengan kamera digital (Giyanto *et al.*, 2010; Giyanto, 2012a; Giyanto, 2012b) atau transek garis menyinggung (*Line Intercept Transect* =LIT) sepanjang 50 meter (English *et al* 1997). Titik pengamatan dilakukan pada 4-6 titik yaitu 2-3 transek di areal yang tidak terdampak dan 2-3 transek di areal terdampak. Pada tahapan kedua ini, jika pengamatan yang digunakan adalah UPT maka, penyelam pertama memasang meteran roll di dasar perairan dengan mengaitkan atau menempelkan meteran pada substrat dasar sepanjang 50 meter. Setelah itu penyelam kedua melakukan pengambilan data dengan kamera digital dan frame dengan dimensi 58 x 44 cm, dimana sudut pengambilan foto harus tegak lurus dengan frame. Pemotretan dilakukan dari meter ke 1 sampai meter ke 50 dengan jarak antar frame 1 meter, bergantian di sisi kiri dan kanan meteran. Pengamatan yang menggunakan LIT, maka penyelam pertama memasang meteran roll di dasar perairan dengan mengaitkan atau menempelkan meteran pada substrat dasar sepanjang 50 meter. Selanjutnya penyelam kedua akan mencatat setiap kategori substrat dasar yang bersinggungan dengan meteran sepanjang 50 m tersebut.
3. Pengambilan data jenis karang menggunakan metode transek sabuk (*belt transect*) dan pencacahan (English *et al.*, 1997), dimana pengamat berenang pada radius 2 x 50 m dan mencatat setiap jenis karang yang ditemukan pada setiap transek yang dipasang.
4. Pengambilan data luasan kerusakan terumbu karang menggunakan Metode *Fishbone* (tulang ikan) (Gambar 3) dengan meteran roll digunakan sebagai alat bantu ukur (Hudson and Goodwin 2001, Collier 2007).
5. Pada kerusakan karang yang bersifat parsial, khusus untuk ukuran luas kerusakan langsung (terdampak) diperoleh dengan teknik kuadran grid 1 x 1 meter dengan grid 10 cm (Modifikasi English *et al*, 1997) (Gambar 4). Penampang koloni karang yang mati (*mortalitas*), memutih dan beberapa yang telah ditumbuh algae dapat dengan jelas diidentifikasi dan dibedakan dengan kematian yang alami. Pengukuran areal terdampak tidak langsung (2. Dispersal) yaitu dengan mengukur lingkaran terluar patch damage mengikuti batasan reruntuhan/pecahan/patahan karang dengan menggunakan roll meter (50 m ketelitian 1 cm). Dokumentasi dengan kamera bawah air untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas mengenai tipe kerusakan dan kondisi karang yang terdampak.



Gambar 3. Ilustrasi metode tulang ikan „Fishbone Method“ (Hudson and Goodwin 2001, Collier 2007).



Gambar 4. Metode Kuadrat grid (modifikasi dari English *et al*, 1997)

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Analisis Data

Data hasil UPT pada setiap transek dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak *Coral Point Counter for excel extention* = CPCe (Kohler & Gill, 2006), sedangkan jika menggunakan LIT data akan diolah dengan perangkat lunak *microsoft excel* 2007. Analisa persentase tutupan substrat dasar perairan merujuk pada kategori yang digunakan English *et al.* (1997) dengan perhitungan persentase kategori tutupan substrat diperoleh dari rumus :

$$\text{Persentase tutupan kategori} = \frac{\text{jumlah kategori ke } - i}{\text{Banyaknya titik acak}} \times 100\%$$

atau

$$\text{Persentase tutupan kategori} = \frac{\text{Panjang kategori ke } - i}{\text{Panjang transek}} \times 100\%$$

Penilaian kondisi terumbu karang secara umum merujuk pada kriteria baku kerusakan terumbu karang berdasarkan kriteria penilaian kondisi terumbu karang merujuk pada kriteria yang dikembangkan oleh Giyanto *et al.*, 2017 (Tabel 2).

Tabel 2. Kriteria kondisi terumbu karang dan potensi pemulihan

No	Tutupan Karang Keras		Potensi Pemulihan	
	Kategori	Kriteria	Kategori	Kriteria
1	Rendah	<19%	Rendah	Fleshy seaweed => 3% atau Rubble > 60%; HC <= 5%
2	Sedang	19 -35%		
3	Tinggi	>35%	Tinggi	Fleshy seaweed < 3% atau Rubble <= 60%; HC > 5%

Kriteria kerusakan khusus pada tingkatan status koloni karang dikategorikan dengan mengestimasi persentase "*partial mortality*" karang mati yang lama dan baru (Gomez *et al* 1994, Ginsburg *et al* 1998, DeVantier and Done (2007). Tipe dan bentuk substrat yang terdegradasi diidentifikasi dan dianalisis berdasarkan areal terdampak dan yang tidak terdampak, kemudian areal terdampak secara langsung dengan kategori umum (1) kerusakan substrat/terumbu, (2) rusak/matinya biota bentik, (3) kerusakan karang, dan secara tidak langsung yaitu matinya karang hidup akibat tertimbun tumpukan puing ataupun potongan-potongan substrat, erosi dan sedimentasi dari substrat dan karang mati yang tertubruk kapal. Degradasi dan tipe kerusakan terumbu dan karang dilakukan „*insitu*“ secara deskriptif lewat pengamatan fisik kondisi terumbu karang secara umum dan keberadaan biota benthos. Secara khusus pada biota karang batu (scleractinian) pengamatan didasarkan pada bentuk morfologi hidup ataupun mati, karang lepas/tercabut, karang pecah ataupun hancur sampai perubahan struktur tiga dimensi karang dan terumbu. Tingkat kematian karang ditentukan lewat pengamatan pada koloni yang mati (cenderung 100 persen skeleton memutih ataupun mulai ditutup alga) mengikuti sebaran luas areal (Precht 1998, Jaap 2000, Precht *et al* 2001, Precht and Robbart 2006, Jaap *et al* 2006, Shutler *et al* 2006, Jones 2007).

Pengukuran kerusakan terumbu karang dihitung dengan pendekatan area terdampak (terlindas kapal) tipe parsial didasarkan atas pengukuran sederhana dari luasan kuadran dengan grid (*kuadrat grid*) 1 x 1 meter dengan grid 10 cm (100 kotak per kuadran) masing-masing titik kerusakan karang (*patch damage*). Kriteria kerusakan khusus pada tingkatan status koloni karang ini dikategorikan dengan mengestimasi persentasi '*mortality dan partial mortality*' karang mati yang lama dan baru (Gomez *et al* 1994, Ginsburg *et al* 1998, DeVantier and Done (2007).

- (1) Luasan mortalitas karang (m^2) = $(M + PM/2)$, dimana M = Jumlah kotak penuh karang mati, PM (partial) = Jumlah kotak $\frac{1}{2}$ penuh.
- (2) Pada area tidak terdampak langsung yaitu reruntuhan pecahan/patahan karang di sekitar perimeter *patch damage*, perhitungan didasarkan atas panjang lingkaran (C) dengan formula luas lingkaran / elips (m^2) = $(C^2 / 4 \cdot \pi)$.

Hasil luasan mortalitas karang dengan metode *kuadrat grid*, merupakan nilai absolut dari luas kerusakan karang mati yang terdampak langsung.

Total luasan area kerusakan karang terdampak (*massive damage*) diperoleh dengan pengukuran jarak antar titik-titik secara langsung di bawah air. Dengan didasarkan rumus perhitungan luas poligon tak beraturan, yaitu :

$$A_p = \frac{(X_1 \cdot Y_2 - X_2 \cdot Y_1) + (X_2 \cdot Y_3 - X_3 \cdot Y_2) + (X_3 \cdot Y_4 - X_4 \cdot Y_3) + \dots + (X_n \cdot Y_1 - X_1 \cdot Y_n)}{2}$$

(AP = luas polygon, sedangkan X dan Y adalah koordinat sebuah titik jika ditinjau dari sumbu X ataupun Y), kedua teknik pengukuran ini dianalisis dengan bantuan program komputer. Ukuran jarak antar titik di bawah air diplot dan dianalisis dengan menggunakan kombinasi *software* program CPCe.

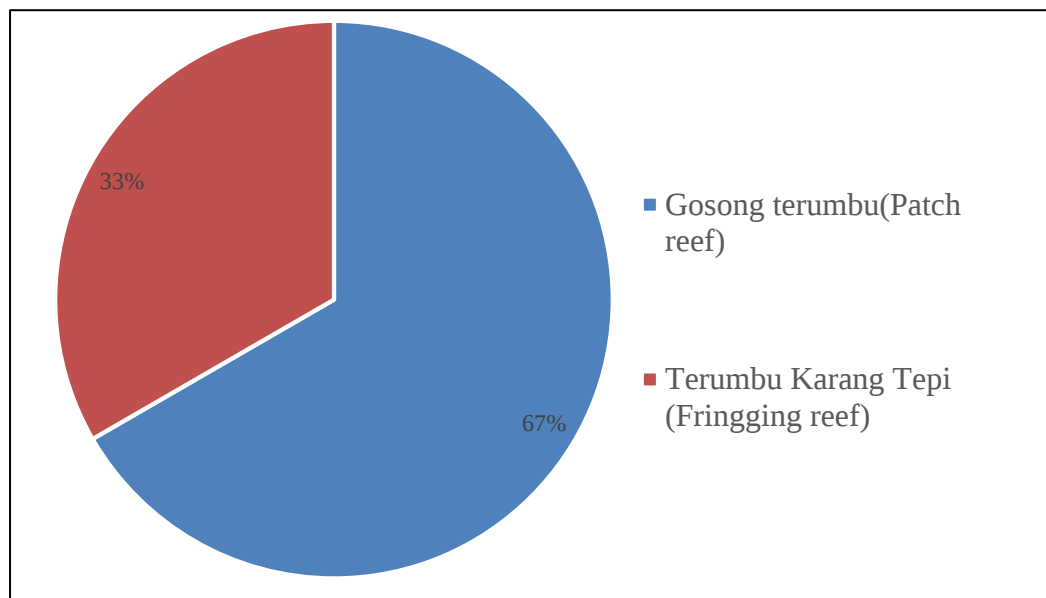
Analisis statistik non parametrik menggunakan Uji Kruskall Wallis dengan perangkat lunak *SPSS Statistics 23*. Uji ini digunakan karena data yang diambil merupakan data kondisi alami yang tidak bisa dikontrol. Analisis statistik ini dilakukan untuk melihat perbedaan perubahan kondisi substrat dasar perairan pada area kontrol dan area terdampak.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

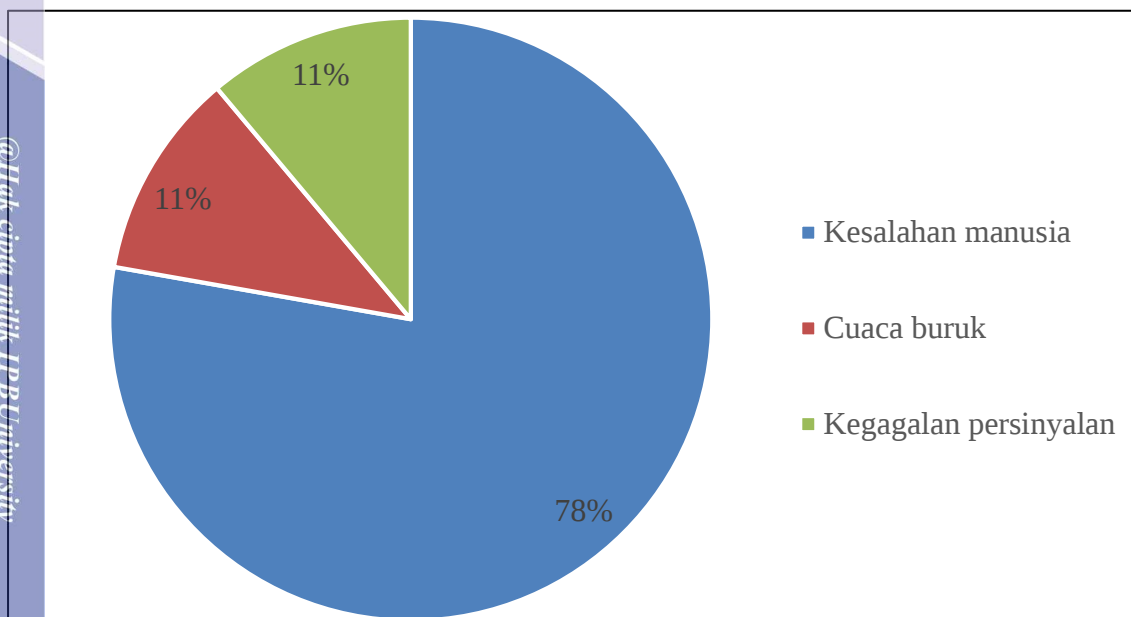
Profil Terumbu Karang terdampak dan Penyebab kapal kandas

Lokasi kapal kandas diperairan Indonesia secara resmi terdata dan dilakukan tindakan hukum oleh pemerintah melalui kementerian lingkungan hidup dan kehutanan (KLHK) sejak tahun 2017, sedangkan sebelumnya tidak terdapat data resmi mengenai penindakan terhadap kerusakan oleh kapal kandas. Kejadian kapal kandas pada terumbu karang sebagian besar terjadi pada terumbu karang tipe gosong terumbu (*patch reef*) sebanyak 67 persen dan pada tipe terumbu karang tepi (*fringing reef*) sebanyak 33 persen (Gambar 5). Kejadian kapal kandas di perairan Indonesia pada 9 lokasi (2016-2019) disebabkan oleh kesalahan manusia (*human error*), cuaca buruk dan kegagalan persinyalan. Sebagian besar penyebabnya dari 3 faktor tersebut adalah kesalahan manusia (*human error*) sebanyak 78 persen, akibat cuaca buruk 11 persen dan akibat kegagalan persinyalan 11 persen (Gambar 6).



Gambar 4. Persentase komposisi profil terumbu karang yang tertubruk kapal.

Kejadian kapal kandas pada gosong terumbu dalam kajian ini teridentifikasi sebagian besar disebabkan oleh kesalahan manusia dan pada terumbu karang tepi diakibatkan oleh cuaca buruk serta kegagalan persinyalan.



Gambar 5. Komposisi persentase penyebab kapal kandas di terumbu karang

Dampak terhadap kondisi substrat dasar perairan

Pengamatan kondisi substrat dasar perairan terbagi menjadi 3 area yaitu area alami (area kontrol) yang berjarak 5-10 m dari lokasi kandas, area terdampak tidak langsung dan area terdampak langsung. Area kontrol merupakan area terumbu karang yang tidak terdampak oleh kejadian kapal kandas. Penentuan area kontrol ini sangat penting untuk melihat perubahan substrat dasar perairan sebelum adanya gangguan, sehingga terlihat perubahan kondisi substrat dasar perairan di lokasi tersebut. Pengamatan kondisi substrat dasar pada kajian ini didasarkan pada 5 kelompok utama yaitu Karang hidup (KH), Karang mati (DC), karang mati dengan alga (DCA), Pecahan Karang (*Rubble*), Biotik= hewan benthik non karang dan abiotik= pasir, lumpur dan rock.

Hasil pengamatan pada lokasi kapal kandas, telah terjadi perubahan kondisi substrat dasar perairan. Pada kapal besar tipe *bulk carrier* telah terjadi penurunan signifikan pada tutupan karang keras hidup (KH) dari rerata $49,54 \pm 17,23\%$ (area kontrol) menjadi hanya $1,09 \pm 0,61\%$ (area terdampak langsung) dan $8,99 \pm 4,53\%$ (area terdampak tidak langsung). Berdasarkan perubahan tutupan karang keras hidup dapat dikatakan bahwa telah terjadi kematian karang keras hidup yang mencapai 98,92% pada area terdampak langsung. Selain itu peningkatan tutupan *rubble* juga terjadi cukup signifikan dari hanya $11,19 \pm 6,10\%$ (area kontrol) menjadi $61 \pm 18,41\%$ (area terdampak langsung) dan $29,01 \pm 16,91\%$ (area terdampak tidak langsung), sedangkan tutupan kategori substrat lainnya (DCA, DC, Biotik dan Abiotik) cenderung stabil (Gambar 8A).

Dampak oleh kapal ukuran sedang tipe *barge* dan LCT, juga menyebabkan perubahan substrat dasar perairan yang sangat signifikan. Hal ini terlihat sangat mencolok pada tutupan karang keras hidup rerata $42,70 \pm 5,26\%$ (area kontrol) dan tidak menyisakan sama sekali karang hidup pada area terdampak langsung, sedangkan pada area tidak terdampak langsung menyisakan sekitar $19,32 \pm 7,77\%$

saja. Artinya bahwa kematian karang keras hidup mencapai 100% pada lokasi terdampak langsung. Selain itu perubahan sangat signifikan juga terjadi pada tutupan rubble, dari hanya $0,83 \pm 0,69\%$ pada area kontrol bertambah drastis pada area terdampak langsung menjadi $73,00 \pm 20,29\%$ dan pada area tidak terdampak langsung menjadi $18,74 \pm 9,14\%$. Tutupan karang mati (DC) juga mengalami peningkatan dari hanya 2,21 pada area kontrol meningkat menjadi 25% pada area terdampak langsung dan $19,32\%$ pada area tidak terdampak langsung (Gambar 8B).

Pada kapal kecil tipe Phinisi perubahan substrat dasar perairan juga terjadi pada karang hidup dari $35,45 \pm 0,31\%$ (Area kontrol) menurun menjadi $11,40 \pm 0,0\%$ (area terdampak tidak langsung) dan tidak ditemukan adanya karang hidup sama sekali pada area terdampak langsung. Berdasarkan perubahan tutupan karang keras hidup yang sangat signifikan tersebut menunjukkan bahwa telah terjadi kematian karang keras hidup mencapai 100% pada area terdampak langsung. Hal ini juga diikuti oleh peningkatan tutupan rubble yang awalnya hanya $6,51 \pm 6,51\%$ (area kontrol) menjadi $60 \pm 5\%$ (area terdampak langsung) dan $31,39 \pm 0\%$ (area terdampak tidak langsung) (Gambar 8C).

Secara umum dapat dikatakan bahwa semua ukuran dan tipe kapal yang kandas telah menyebabkan perubahan kondisi substrat dasar perairan yang sangat signifikan, dimana pada kondisi awal didominasi oleh tutupan karang hidup berubah menjadi dominasi rubble, DCA dan DC. Perubahan ini dinilai sangat signifikan berdasarkan hasil Uji Kruskal-Wallis menunjukkan bahwa perubahan kondisi tutupan karang hidup menjadi karang mati berbeda nyata, pada area terlindas dan area dispersal pada semua ukuran dan tipe kapal yang kandas. Hal ini terlihat dari nilai P Value (Asymp. Sig) sebesar $0,047 < 0,05$ yang merupakan nilai batas kritis (Gambar 7).

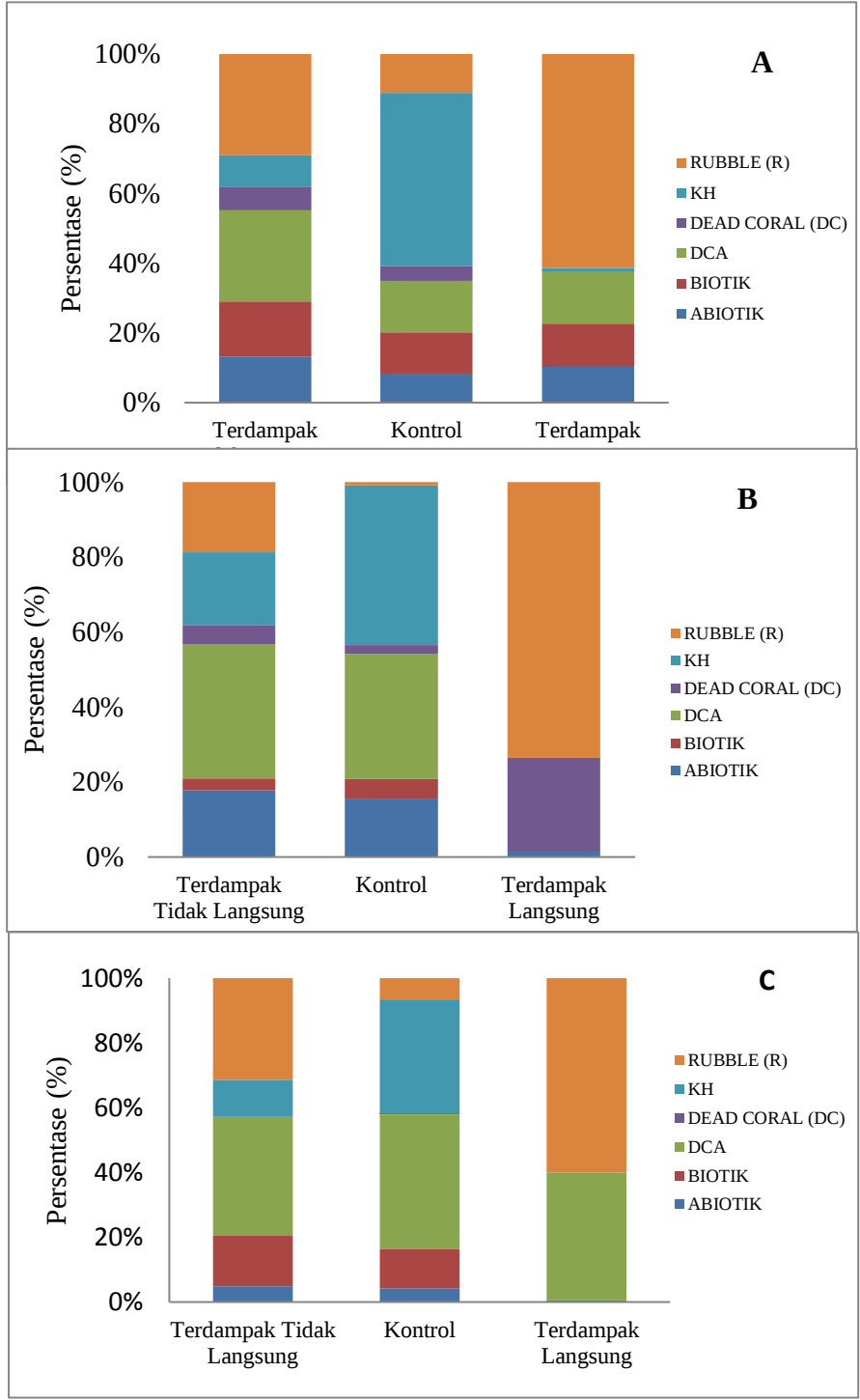
Kruskal-Wallis Test			
Ranks			
	Kategori	N	Mean Rank
Persentase (%)	KH	9	7.00
	KM	9	12.00
	Total	18	
Test Statistics ^{a,b}			
	Persentase (%)		
Chi-Square	3.947		
df	1		
Asymp. Sig.	.047		

Gambar 6. Hasil uji tes Kruskal-Wallis Perubahan karang hidup (KH) menjadi Karang Mati (KM)

Karang tumbuh dan berkembang melalui pembelahan polip secara terus menerus. Setiap polip menghasilkan zat kapur yang didepositkan sebagai kerangka karang. Bentuk deposisi kapur berbeda-beda bergantung pada jenis karangnya, baik

struktur maupun kecepatannya dan didapatkan bentuk pertumbuhan yang berbeda-beda. Bentuk tumbuh karang (*life form*) akan berbeda berdasarkan jenis dan lokasi tempat hidupnya.

@Hak cipta milik IPB University

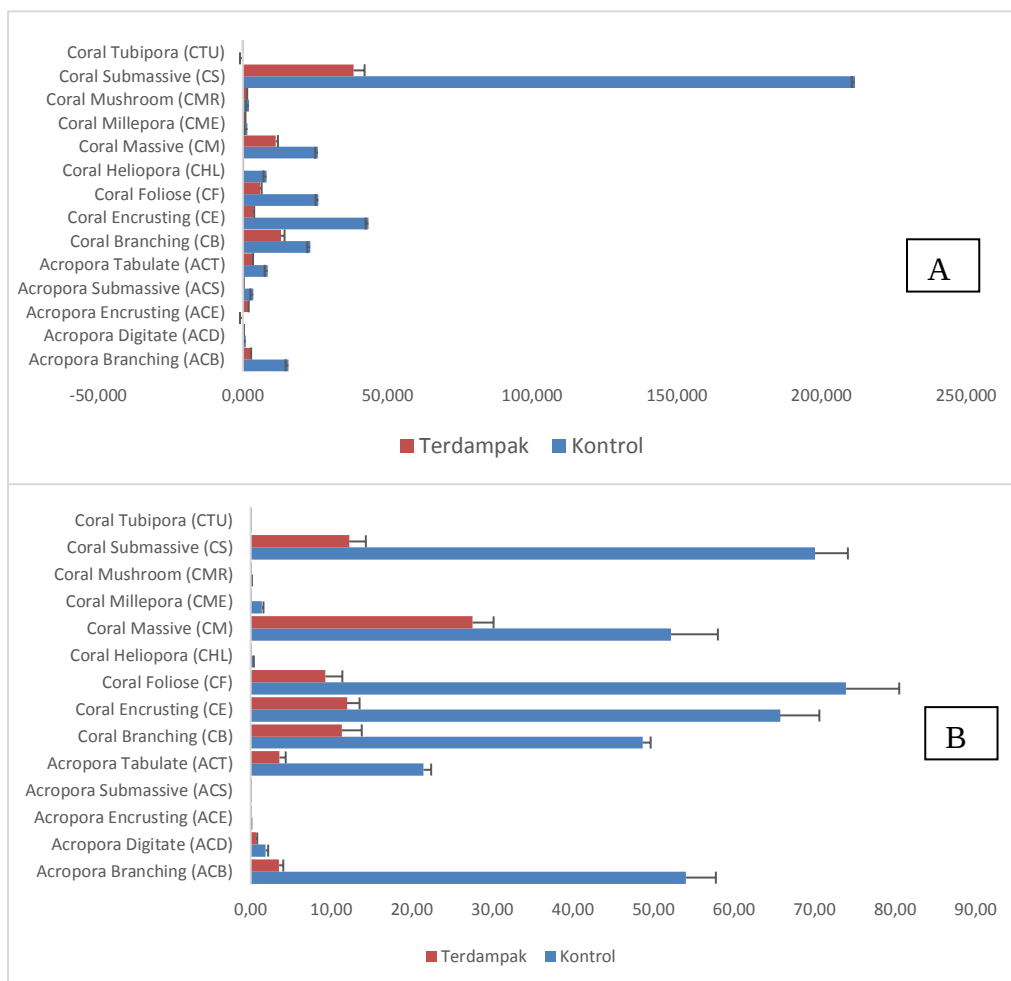


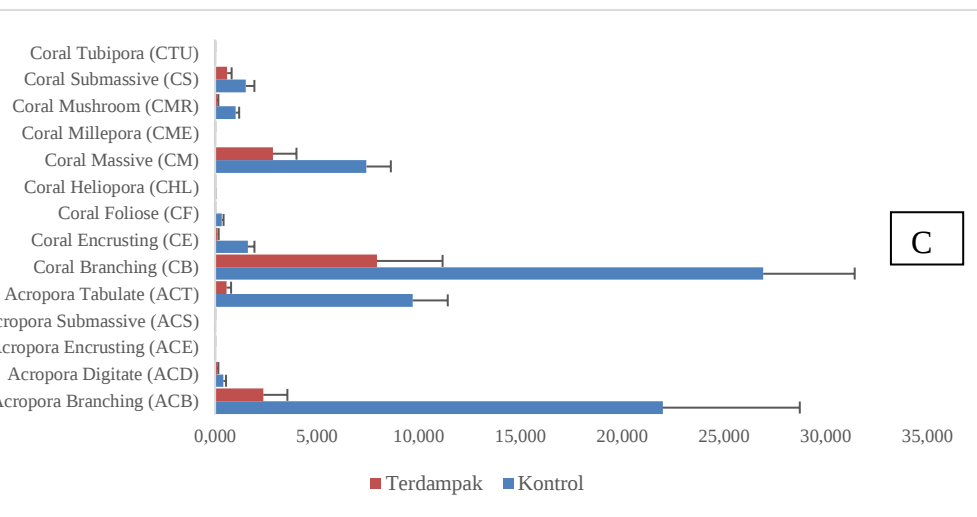
Gambar 7. Kondisi substrat dasar perairan di area kontrol, terdampak langsung dan terdampak tidak langsung pada semua tipe dan ukuran kapal (A: Kapal besar tipe *bulk carrier*, B: Kapal Sedang tipe *barge* dan LCT, C: Kapal Kecil Tipe Phinisi)

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Bentuk pertumbuhan karang hidup digunakan untuk menentukan jenis dan formasi terumbu karang yang rusak. Berdasarkan bentuk pertumbuhannya persentase tutupan karang keras hidup pada area kontrol dan terdampak didominasi oleh bentuk pertumbuhan *coral submassive* (CS) mencapai $211 \pm 17\%$ (Gambar 7C), karang lembaran (*coral foliose*=CF) mencapai $73,93 \pm 6,60\%$ (Gambar 7B) dan karang bercabang (*coral branching*=CB) mencapai $26,93 \pm 4,50\%$ (Gambar 7C). Sisanya adalah bentuk pertumbuhan karang masif (*Coral massive*=CM), karang jamur (*Coral mushroom*=CMR), karang mengerak (*Coral Encrusting*=CE), Karang Biru (*Coral Heliopora*=CHL), Karang Api (*Coral Millepora*=CME) dan Karang Merah (*Coral tubipora*=CTU). Data lebih lengkap tentang bentuk pertumbuhan karang keras bisa dilihat di Gambar 9.

Bentuk pertumbuhan karang keras hidup yang dominan ditemukan berupa karang submassif, bercabang dan lembaran. Hal ini mengindikasikan bahwa lokasi kapal kandas berada dalam lingkungan yang cukup tenang hingga ekstrim. Bentuk pertumbuhan karang submasif dan masif merupakan tipe karang yang pertumbuhannya lambat, umumnya yang masuk dalam kelompok ini adalah marga *Favia*, *Favites* dan *Porites*, sedangkan bentuk pertumbuhan karang bercabang dan lembaran merupakan kelompok karang dengan laju pertumbuhan cepat, seperti marga *Acropora* dan *Montipora*. Berdasarkan data tersebut maka dalam melakukan rehabilitasi dan atau restorasi terumbu karang pada lokasi kapal kandas, harus dominan mewakili bentuk-bentuk pertumbuhan tersebut, sehingga bisa mendekati kondisi awal ekosistem terumbu karang yang ada sebelumnya.



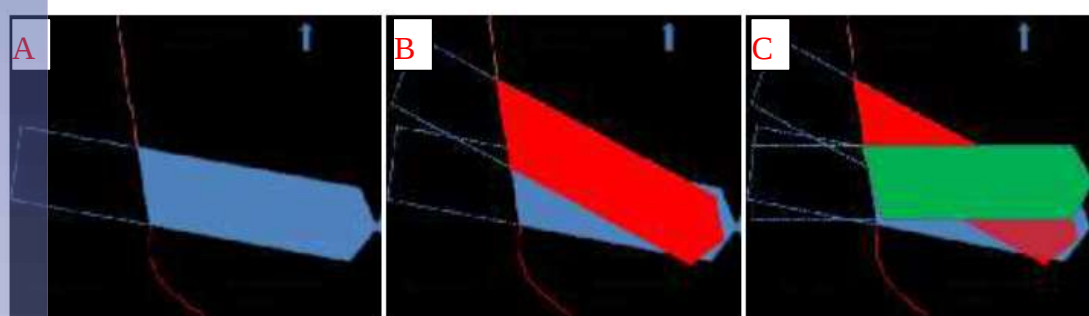


Gambar 8. Perubahan tutupan bentuk pertumbuhan karang keras di area kontrol dan terdampak oleh semua tipe dan ukuran kapal

Areal Terdampak, Tingkat dan Luasan Kerusakan Terumbu Karang

Kapal yang kandas di terumbu karang akan menyebabkan kerusakan ekosistem terumbu karang yang parah, tergantung pada ukuran, kecepatan dan tipe kapalnya. Pada penelitian ini kapal dikelompokkan menjadi 3 kelompok berdasarkan ukuran dan tipenya (Tabel 1).

Proses atau tahapan kapal kandas sampai penyelamatan (*re-floating*) umumnya melalui 3 proses (Tissier, 2010) yaitu tahapan pertama A saat kapal baru kandas dengan posisi haluan dan kemudi yang tidak sejajar (warna biru), B menunjukkan kapal bergerak mengayun supaya bisa sejajar dengan buritan dan keluar dari posisi kandasnya (warna merah pekat) dan C menunjukkan lambung kapal yang kandas mulai sejajar saat proses penyelamatan, dan proses tersebut meningkatkan area kerusakan (warna hijau pekat) (Gambar 10).



Gambar 9. Pemodelan proses terjadinya kapal kandas A. Jejak area masuk (*Inbound track area*) B. Area istirahat lambung (*Hull resting area*) C. Area parkir (*Parking lot area*)

Pengukuran luasan dan area kerusakan terumbu karang dilakukan dengan menggunakan pendekatan *ground truth* dan membuat simulasi proses kejadian kandasnya kapal, sehingga didapatkan gambaran kerusakan yang akan timbul.

Hasil pengamatan menunjukkan bekas tapak kapal, berupa karang yang memutih. Jejak tersebut digunakan sebagai titik pemasangan pelampung patok,

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.

pemetaan dan penilaian. Hantaman badan kapal yang menubruk terumbu dan menyebabkan terpotongnya terumbu karang pada kedalaman tertentu. Pengamatan di bawah air, terlihat areal puncak rata-rata terumbu pada telah terpotong atau terpankas oleh badan kapal. Kerusakan terumbu karang akibat kandasnya kapal dapat berupa luka yang relatif kecil hingga degradasi menyeluruh pada struktur kompleks terumbu karang sebagai ekosistem dan habitat bentik.

Pada kajian ini, tipe kerusakan terumbu karang akibat kapal kandas dikelompokkan menjadi 3 kelompok berdasarkan ukuran kapal (kecil, sedang dan besar) dan tipe kapal (kapal phinisi, kapal *barge* dan LCT, serta kapal *bulk carrier*), yaitu :

1) Kapal Besar (kapal *bulk carrier*)

Hasil pengamatan dilapangan berhasil teridentifikasi 4 area kerusakan terumbu karang yang disebabkan oleh kapal, dilihat berdasarkan jejak, tipe dan tingkat kerusakannya yaitu :

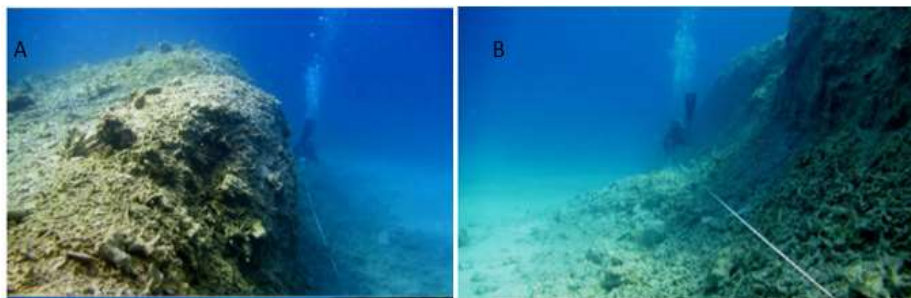
- a. Area Lindas (Gambar 11) merupakan area utama tempat badan kapal, menubruk, melintas dan melindas terumbu karang. Ciri utama kerusakan pada area ini adalah berupa formasi terumbu karang yang terpotong atau tergerus rata sampai menghilangkan struktur 3 dimensi terumbu karang. Pada area ini terkadang rata-rata terumbu yang telah tertabrak akan membentuk seperti “kanal” dengan dominasi pecahan karang (*rubble*). Seringkali juga akan membentuk adanya gundukan/tumpukan potongan terumbu karang memanjang di sisi kiri dan kanan seperti “dinding kanal” dengan ketinggian yang berbeda-beda mulai dari ~0,5 m sampai lebih dari ~3 m. Pengukuran luasan kerusakan menggunakan pendekatan luasan poligon tidak beraturan.



Gambar 10. Kondisi terumbu karang pada area terlindas oleh kapal besar tipe *bulk carrier*.

- b. Area gundukan (*Mound zone*, Gambar 12) adalah tumpukan beragam pecahan karang dan serpihan kerangka kapur yang tertumpuk di sisi kiri dan kanan seperti “dinding kanal” dengan tinggi gundukan yang berbeda-beda tergantung ukuran kapal. Seperti pada area terlindas, kerusakan terumbu karang dan biota bentik lainnya sangat parah, tidak ditemukan adanya biota bentik yang masih hidup pada area ini. Substrat dasar perairan yang ditemukan didominasi oleh pecahan karang, pasir serta serpihan kerangka kapur karang yang terangkat oleh lambung kapal. Pengukuran area gundukan didapatkan dengan pendekatan luas poligon

tak beraturan. Hasil pengukuran ketinggian “dinding” mencapai rata-rata 2,5 m.



Gambar 11. Kondisi terumbu karang area gundukan (A=gundukan kiri dan B=gundukan kanan) pada kapal besar tipe *bulk carrier*.

- c. Area hempasan (*Propeller zone*, Gambar 13) adalah ratahan terumbu dengan kedalaman tertentu yang membentuk seperti “mangkuk/kubangan”. Jumlah mangkuk ini akan bergantung pada olah gerak kapal saat mencoba melepaskan diri dari area *lot parking*. Kerusakan pada area ini juga sangat parah, namun bentuk kerusakannya berupa pecahan karang yang terangkat dan terlempar ke daerah sekitarnya. Kerusakannya bisa berupa potongan karang yang terbelah dan terpotong dengan ukuran lebih besar dari pecahan karang atau terkadang dominan pecahan karang. Luasan kerusakan pada area ini diukur dengan pendekatan ukuran luasan tertentu, jika berbentuk mendekati *ellips* atau poligon tak beraturan, maka akan mengikuti perhitungan salah satu luasan tersebut.



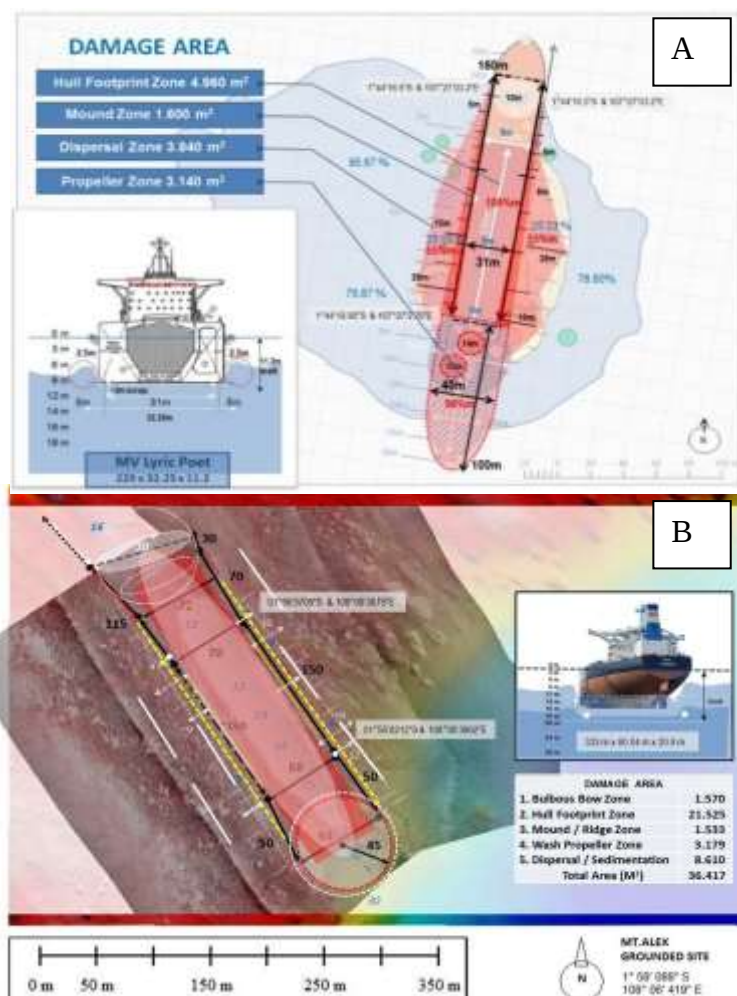
Gambar 123. Kondisi terumbu karang pada area propeller pada kapal besar tipe *bulk carrier*

- d. Area dispersal (*Dispersion zone*, Gambar 14) adalah areal di sisi kiri dan kanan area gundukan yang secara tidak langsung berproses mengikuti dinamika arus, gelombang dan badai. Dinamika ini mengangkat sisa-sisa sedimen dan pecahan karang yang labil dan menutupi karang hidup disekitarnya. Kerusakan pada area ini cukup parah, namun tidak mematikan semua karang dan biota bentik. Ciri utama kerusakannya adalah koloni karang hidup terkubur atau tertimpa atau tertindih sebagian oleh pecahan karang, namun kemungkinan akan bertambah luas seiring

berjalannya waktu karena adanya pengaruh badai atau dinamika oseanografi. Pengukuran luasan pada area ini menggunakan pendekatan poligon tak beraturan karena bentuknya mendekati ke bentuk tersebut.



Gambar 134. Kondisi terumbu karang pada area dispersal oleh kapal besar tipe *bulk carrier*

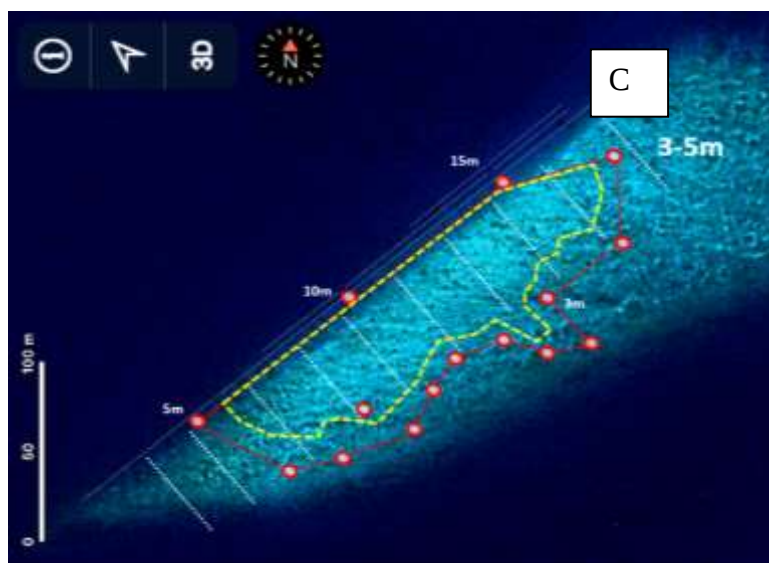


@Hak cipta milik IPBUniversity

IPBUniversity

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.



Gambar 145. Sketsa hasil pengukuran luasan kerusakan terumbu karang oleh kapal besar tipe *bulk carrier* di Indonesia (A=MV. Lyric Poet, B= MT. Alex C=MV. Caledonia Sky)

Rangkuman lengkap luasan kerusakan terumbu karang oleh kapal besar tipe *bulk carrier* di Indonesia disampaikan pada Tabel 3 dan ilustrasi kerusakan ditampilkan pada Gambar 15. Total luasan kerusakan sebesar 69.564 m².

Tabel 3. Perhitungan luas kerusakan terumbu karang oleh 3 kapal besar tipe *bulk carrier*

No	Area Kerusakan	Luasan Kerusakan (m ²)	Persentase Kematian karang (%)
1	Dispersal	18.398	55-98
2	Gundukan	3.133	99-100
3	Terlindas	41.714	99-100
4	Propeller	6.319	99-100
Total		69.564	

2) Kapal Sedang (*Barge* dan *LCT*)

Hasil pengamatan menunjukkan bekas tapak kapal, berupa karang yang memutih. Jejak tersebut digunakan sebagai titik pemasangan pelampung patok, pemetaan dan penilaian. Pada pengamatan di bawah air, terlihat areal puncak ratahan terumbu yang terpotong atau terpankas oleh badan kapal.

Teridentifikasi 3 area kerusakan terumbu karang berdasarkan jejak, tipe dan tingkat kerusakannya yaitu :

a. Area Terlindas (Gambar 16)

merupakan areal terdampak langsung jelas terlihat bekas kandasnya kapal yang merupakan areal utama tempat badan kapal kandas, menubruk, dan melindas. Kerusakan parah yang terjadi pada terumbu yang dangkal, hal ini dicirikan dengan tipe kerusakan koloni-koloni karang dengan berbagai bentuk pertumbuhan dan jenisnya. Kondisi kerusakan dan mortalitas karang di tiap

titik patch reef adalah 100 persen. Potongan koloni-koloni karang tersebut membentuk lintasan yang rata memutih.



Gambar 156. Kondisi terumbu karang pada area terlindas oleh kapal sedang tipe *barge* dan LCT

- b. Area kerusakan parsial (Gambar 17)
- Merupakan titik-titik kerusakan pada satu atau lebih koloni karang yang tersebar berjauhan dan terjadi pada terumbu karang yang relative lebih dalam. Ciri utama kerusakan berupa koloni karang terpangkas atau terpotong, sehingga menyebabkan koloni karang pecah, terangkat atau terbalik, kadang terlihat juga potongan kerangka kapur karang yang memutih. Sebagai contoh beberapa *Acropora tabulate* dan bercabang juga terpotong dan tercabut menyisahkan patahan-patahan koloni karang disekitarnya. Patahan-patahan koloni karang diantaranya menutupi karang hidup lain.



Gambar 167. Kondisi terumbu karang pada area parsial oleh kapal kecil tipe *barge* dan LCT

- c. Area Dispersal (Gambar 18)
- Merupakan areal terdampak tidak langsung yang berupa patahan-patahan karang dan reruntuhan koloni karang yang jatuh di sekitar titik utama kerusakan. Patahan-patahan karang tersebut disebut juga *Coral of Opportunities* yang berpeluang untuk hidup. Jika tidak segera dilakukan

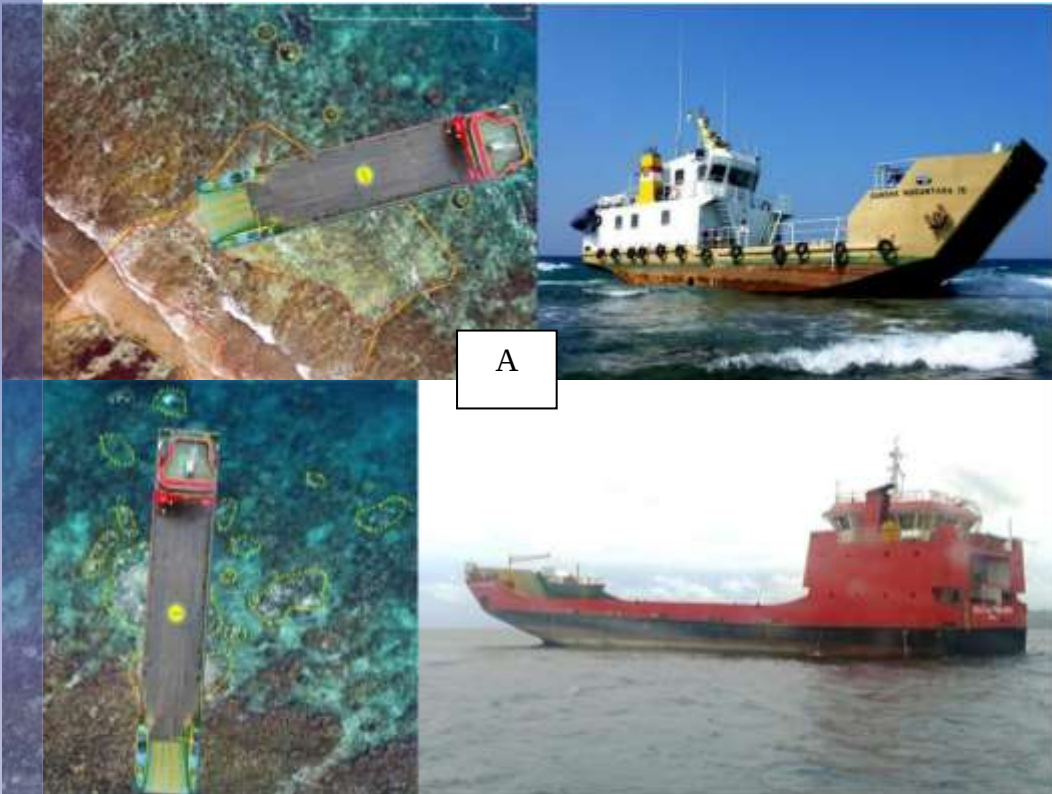
rehabilitasi (remediasi / mitigasi) berproses seiring waktu dan dinamika oseanografi berpeluang juga untuk mati (50:50).

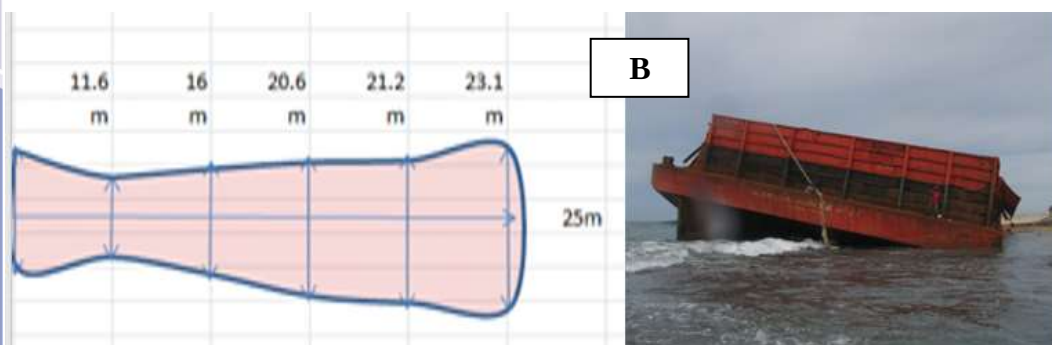


Gambar 178. Kondisi terumbu karang pada area dispersal oleh kapal sedang tipe *barge* dan LCT

@Hak cipta milik IPBUniversity

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.





Gambar 18. Ilustrasi hasil pengukuran luasan kerusakan terumbu karang oleh kapal sedang tipe LCT (A) dan *Barge* (B) di Indonesia.

Luasan kerusakan terumbu karang oleh kapal sedang tipe *barge* dan LCT selengkapannya ditampilkan pada tabel 4 dan sketsa pengukuran kerusakan ditampilkan pada Gambar 19. Total luasan kerusakan yang terdata adalah sebesar 38.890 m^2 .

Tabel 4. Perhitungan luas kerusakan terumbu karang akibat kandasnya 4 kapal sedang tipe *barge* dan LCT.

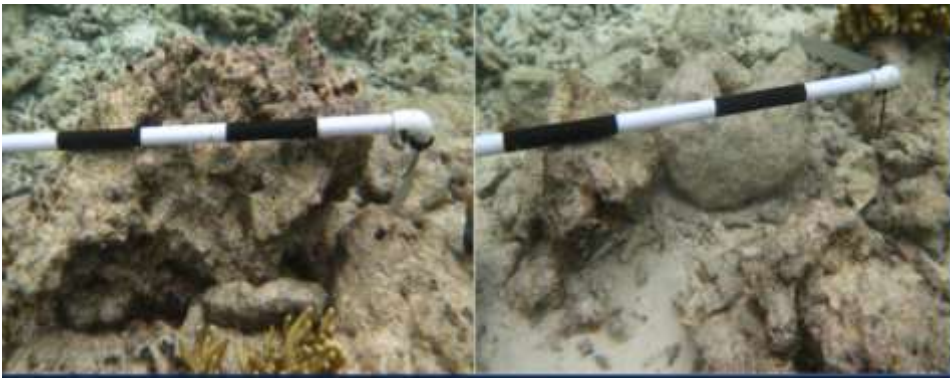
No	Area Kerusakan (m ²)	Luasan Kerusakan (m ²)	Persentase Kematian karang (%)
1	Dispersal	36.062	50-98
2	Parsial	52,47	99-100
3	Terlindas	2.775,2	99-100
Total		38.889,67	

3) Kapal Kecil (Kapal Phinisi)

Hasil pengamatan menunjukkan bekas tapak kapal, berupa karang yang memutih. Jejak tersebut digunakan sebagai titik pemasangan pelampung patok, pemetaan dan penilaian. Kerusakan terumbu karang oleh tipe kapal ini, teridentifikasi menjadi 2 area kerusakan terumbu karang berdasarkan jejak, tipe dan tingkat kerusakannya yaitu :

a. Area Terlindas (Gambar 20)

Merupakan areal terdampak langsung pada kandasnya kapal dan areal utama tempat badan kapal kandas, menubruk, dan melindas. Karang yang terlindas terlihat mengalami kematian, posisi basal karang berubah posisi menjadi ke atas dan di sisi samping sehingga bagian yang hidup menghadap dasar atau substrat. Koloni karang terbelah, patah dan menjadi bongkahan-bongkahan besar dan kecil. Kuatnya tubrukan menyebabkan pecahan koloni karang bertebaran di dasar perairan.



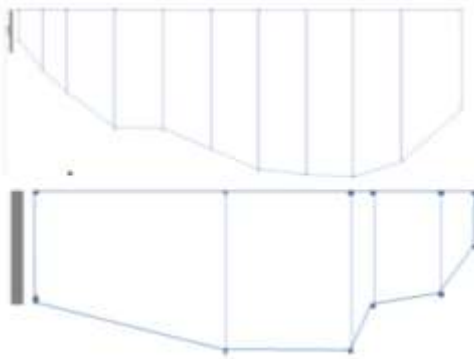
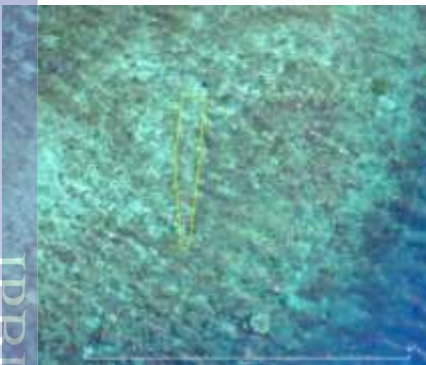
Gambar 19. Kondisi terumbu karang pada area terlindas oleh kapal kecil tipe pinisi

b. Area Dispersal (Gambar 21)

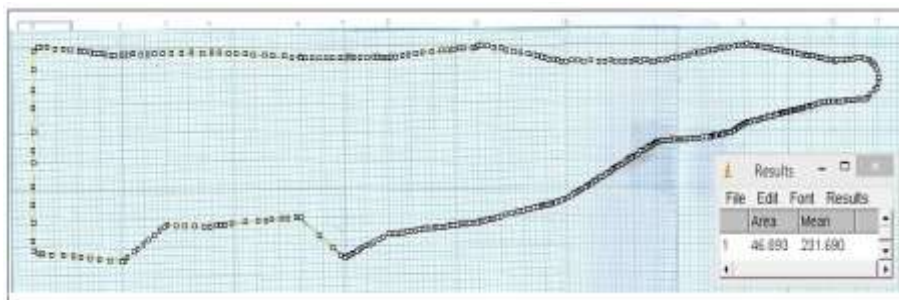
Merupakan areal terdampak tidak langsung akibat kandasnya kapal. Ciri utama kerusakannya berupa koloni karang mati yang menindih atau menimpa koloni karang hidup di sekitarnya, karena terbawa oleh arus atau gelombang perairan. Kondisi ini menyebabkan beberapa koloni karang hidup akan mati dan membuat efek luasan kerusakan menjadi meluas.



Gambar 20. Kondisi terumbu karang pada area dispersal oleh kapal kecil tipe pinisi.



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.



Gambar 21. Ilustrasi hasil pengukuran luasan kerusakan terumbu karang oleh kapal kecil tipe pinisi di Indonesia

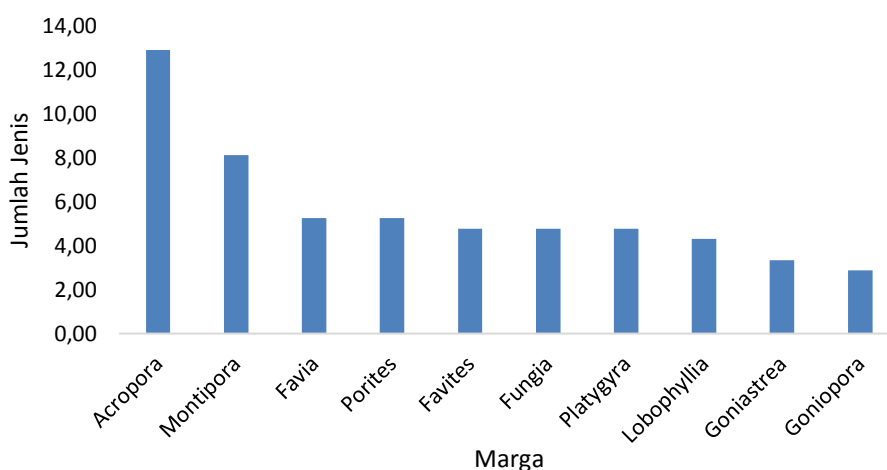
Rangkuman lengkap kerusakan terumbu karang oleh tipe kapal ini disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 22, dengan total luasan sebesar 163,81 m².

Tabel 5. Perhitungan luas kerusakan terumbu karang akibat kandasnya 2 kapal kecil tipe pinisi

No	Area Kerusakan	Luas Kerusakan (m ²)	Persentase Kematian karang (%)
1	Dispersal	4,59	50-98
2	Terlindas	159,22	100
	Total	163,81	

Keanekaragaman Jenis Karang Batu dan Status Konservasi

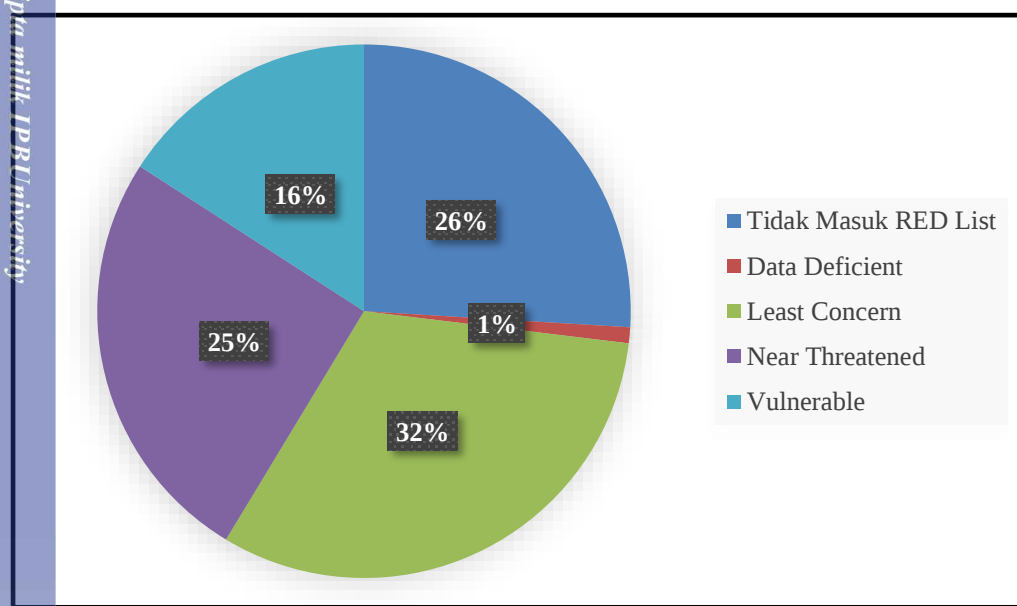
Kriteria konservasi bagi perlindungan jenis dan komunitas yaitu kekhasan, keterancaman dan kegunaan (UU No.5/1990) lewat pendekatan nilai penting jenis, komunitas dan ekosistem menjadi pertimbangan utama pada ekosistem terumbu karang ini. Merujuk hasil identifikasi, hampir semua jenis karang yang ditemukan di lokasi kapal kandas masuk daftar merah IUCN (*International Union for Conservation of Nature-Red list*).



Gambar 22. Sepuluh marga karang keras dengan jumlah jenis tertinggi yang ditemukan disemua lokasi kapal kandas

Hasil identifikasi dilapangan pada semua lokasi kejadian kapal kandas berhasil ditemukan sekitar 49 marga karang keras. Sebanyak 46 marga karang keras masuk kelas Anthozoa dan 3 marga masuk kelas Hydrozoa. Total spesies karang keras yang ditemukan sebanyak 209 spesies. Secara keseluruhan spesies yang dominan terdampak adalah dari marga *Acropora* 12,92% (27 jenis), marga *Montipora* 8,13% (17 jenis) dan marga *Favia* serta *Porites* 5,26% (11 jenis), sedangkan marga sisanya dibawah 1% (Gambar 23).

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang



Gambar 234. Komposisi persentase status konservasi karang terdampak berdasarkan kategori *IUCN Red list*

Status konservasi karang terdampak kapal kandas berdasarkan *IUCN-Red list* telah berhasil teridentifikasi sebanyak 2 jenis (0,96%) masuk kategori Data Deficient (DD); 66 jenis (31,58%) masuk kategori *least concern* (LC); 53 jenis (25,36%) masuk kategori *near threatened* (NT); dan sebanyak 34 jenis (16,26%) masuk kategori *vulnerable* (VU) (Gambar 24). Dominan karang yang terdampak masuk kategori ‘terancam’ (*near threatend*) dan *least concern* artinya spesies ini masuk kriteria yang mendekati rentan karena populasi dan sebarannya bergantung pada upaya konservasi serta harus menjadi fokus perhatian dalam pemantauan terkait populasi dan distribusinya di alam. Fokus perhatian dalam kajian ini merekomendasikan untuk melihat kategori ‘rentan’ (*vulnarable*) sebanyak 34 jenis karang keras, yang artinya jenis-jenis ini mendekati status terancam, dimana sebagian besar penyebabnya adalah kerusakan atau hilangnya habitat jenis-jenis tersebut. Daftar lengkap jenis karang yang masuk kategori *vulnerable* disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Jenis-jenis karang keras terdampak yang masuk kategori *vulnerable*

No	Jenis Karang Keras
1	<i>Acropora echinata</i> (Dana, 1846)
2	<i>Acropora indonesia</i> (Wallace, 1997)

3	<i>Acropora loisetteae</i> (Wallace, 1994)
4	<i>Acropora microcladors</i> (Ehrenberg, 1834)
5	<i>Acropora willisae</i> (Veron and Wallace, 1984)
6	<i>Astreopora cucullata</i> (Lamberts, 1980)
7	<i>Astreopora gracilis</i> (Bernard, 1896)
8	<i>Euphyllia ancora</i> (Veron & Pichon, 1980)
9	<i>Euphyllia cristata</i> (Chevalier, 1971)
10	<i>Euphyllia paradivisa</i> (Veron, 1990)
11	<i>Galaxea astreata</i> (LAMARCK, 1816)
12	<i>Heliofungia actiniformis</i> (Quoy & Gaimard, 1833)
13	<i>Heliopora coerulea</i> (Pallas 1766)
14	<i>Isopora cuneata</i> (Dana, 1846)
15	<i>Lobophyllia corymbosa</i> (Forskal, 1775)
16	<i>Lobophyllia pachysepta</i> (Chevalier, 1975)
17	<i>Montipora cactus</i> (Bernard, 1897)
18	<i>Montipora capricornis</i> (Veron, 1985)
19	<i>Montipora delicatula</i> (Veron, 2000)
20	<i>Montipora gaimardi</i> (Bernard, 1897)
21	<i>Montipora orientalis</i> (Nemanzo, 1967)
22	<i>Pachyseris rugosa</i> (lammarck, 1901)
23	<i>Pachyseris speciosa</i> (Dana, 1846)
24	<i>Pavona cactus</i> (Forskål, 1775)
25	<i>Pavona decussata</i> (Dana, 1846)
26	<i>Pavona venosa</i> (Ehrenberg, 1834)
27	<i>Pectinia alccicornis</i> (Saville & Kent, 1871)
28	<i>Pectinia lactuca</i> (Pallas, 1766)
29	<i>Physogyra lichtensteini</i> (Edwards & Haime 1851)
30	<i>Pocillopora elegans</i> (Dana, 1846)
31	<i>Porites cumulatus</i> (Nemanzo, 1955)
32	<i>Porites nigrescens</i> (Dana, 1848)
33	<i>Psammocora stellata</i> (Verrill, 1868)
34	<i>Symphyllia hassi</i> (Pillai and Scheer, 1976)

PEMBAHASAN

Kejadian kapal kandas di terumbu karang sudah terjadi sejak berkembangnya dunia pelayaran. Menurut Hayasaka-Ramírez dan Ortiz-Lozano (2014) kejadian kapal kandas terjadi selama periode tahun 1902-1945 dan 1970-2010, yang disebabkan oleh kesalahan manusia, kerusakan mesin, cuaca buruk dan kegagalan sinyal. Hal ini sejalan dengan hasil kajian ini bahwa kapal kandas di 9 lokasi terjadi karena kesalahan manusia, cuaca buruk dan kegagalan persinyalan saat pelayaran. Lokasi kejadian kapal kandas di terumbu karang sebagian besar terjadi pada terumbu karang tipe gosong dan sedikit pada terumbu karang tepi. Kejadian seperti

ini juga dilaporkan terjadi di Florida yang sebagian besar menimpa terumbu karang tipe gosong yang tidak terlihat dari permukaan (Lutz, 2006).

Dampak yang ditimbulkan oleh kapal kandas terhadap terumbu karang dinilai berdasarkan perubahan kondisi substrat dasar perairan antara area kontrol dengan area terdampak (langsung maupun tidak langsung). Berdasarkan hasil kajian ini terdapat perubahan kondisi substrat dasar perairan yang awalnya didominasi oleh tutupan karang hidup berubah menjadi dominan pecahan karang (*rubble*), karang mati serta karang mati dengan alga. Hasil penelitian beberapa ahli menyatakan bahwa dampak kapal kandas menyebabkan terjadinya penurunan tutupan karang hidup dalam bentuk tercabut, terhempas, hancurnya kerangka karang, dan berpindahannya endapan sedimen, serta hilangnya struktur kompleksitas tiga dimensi terumbu karang (Precht, 1998; Jaap, 2000; Precht *et al.*, 2001; Riegl, 2001; Precht and Robbart, 2006; Jaap *et al.*, 2006; Jones, 2007; Lirman *et al.*, 2010). Selain itu menurut Schroeder *et al.*, (2008) saat kapal menubruk terumbu karang akan membuka kolonisasi substrat yang sebelumnya sudah ada, sehingga membuat ruang terbuka yang susah ditempati anakan karang. Selanjutnya menurut Alison *et al.*, (2012) menyatakan bahwa persentase karang hidup yang bertahan pada lokasi kapal kandas setelah lebih dari satu tahun umumnya sangat rendah.

Hamparan *rubble* susah ditumbuhi atau ditempati anakan karang, karena sangat dinamis pergerakannya sehingga akan menghambat pemulihan terumbu karang. Hal ini sejalan dengan pernyataan Giyanto, *et al.* (2017) bahwa dominannya tutupan *rubble* akan menurunkan kemampuan terumbu karang untuk pulih. Rendahnya pemulihan terumbu karang dikarenakan rekrutmen anakan karang pada *rubble* sangat rendah dan kemungkinan juga tidak akan ada rekrutmen, namun akan ditumbuhi atau tertutupi oleh alga (Fox *et al.*, 2005; Raymundo *et al.*, 2007; Edwards and Gomez, 2008; Victoria-Salazar *et al.*, 2017). Dampak lainnya adalah hilangnya koloni karang hidup disekitarnya, karena *rubble* sangat mudah terbawa oleh arus, gelombang dan badai (Bruckner and Bruckner, 2001; Idris *et al.*, 2019). Kerusakan fisik seperti itu bersifat akut dan menjadi sumber gangguan serta kematian yang signifikan bagi terumbu karang dan menghambat pemulihan (Lirman *et al.*, 2010; Raymundo *et al.*, 2018).

Berbagai biota berasosiasi dengan terumbu karang terutama karang keras dengan bentuk pertumbuhan beragam. Biota karang memiliki struktur morfologi beragam yang menjadikannya penting bagi biota laut untuk berlindung, mencari makan dan memijah. Karang hidup memiliki polip aktif dilapisi mucus (jaringan hidup) pada kerangka luarnya dan berwarna-warni, sedangkan karang mati tidak lagi memiliki polip dan jaringan mucus serta tidak lagi berwarna dan hanya meninggalkan kerangka kapur putih (Veron, 2000, Collier 2007, Wakeford *et al* 2008). Kecepatan tumbuh karang bervariasi bergantung pada jenisnya. Karang jenis *Porites spp*, *Favites spp*, *Goniopora spp*, dan *Favia spp* merupakan karang yang kecepatan tumbuhnya lambat (Nugraha *et al.*, 2008; Tito *et al.*, 2015; Tito *et al.*, 2016). Sebagian besar jenis-jenis tersebut memiliki bentuk pertumbuhan masif dan submasif, yang dikategorikan pertumbuhannya lambat, sedangkan jenis karang yang pertumbuhannya cepat adalah jenis karang *Acropora* (bentuk pertumbuhan bercabang) dan *Montipora* (bentuk pertumbuhan lembaran atau mengerak) (Johan dan Herminawati, 2015; Arifin dan Luthfi, 2016; Nurcahyani *et al.*, 2018; Muhlis, 2019; Antou *et al.*, 2019; Pratiwi *et al.*, 2019). Formasi terumbu karang yang rusak di lokasi kapal kandas berupa karang sub-masif, mengerak, bercabang dan lembaran.

Bentuk pertumbuhan yang dominan rusak adalah kelompok sub-masif, maka pendekatan perbaikan yang tepat dan efisien sangat diperlukan, karena bentuk pertumbuhan tersebut masuk kategori yang lambat tumbuh.

Luasan dampak kerusakan terumbu karang akibat kapal kandas bervariasi dari hanya beberapa ratus meter oleh kapal kecil hingga ribuan meter yang disebabkan oleh kapal sedang dan besar. Area kerusakan yang ditimbulkan oleh masing-masing tipe dan ukuran kapal dipetakan menjadi beberapa area yaitu terlindas, gundukan, hampasan, parsial dan dispersal. Area terlindas, gundukan dan hampasan merupakan area yang mengalami kerusakan sangat parah dengan kematian karang mencapai ~100% serta dominan substrat dasarnya berupa *rubble*. Area kerusakan parsial dan dispersal merupakan area yang juga mengalami kerusakan cukup parah, namun masih bisa ditemukan adanya karang hidup yang tersisa. Menurut Yusuf, (2014) semua karang yang berada pada daerah terdampak akan tergerus rata, dengan dominan karang mati dan terpecah menjadi potongan kecil-kecil (< 25 cm) yang tidak stabil jika terbawa oleh arus dan gelombang. Beberapa hasil penelitian lainnya juga mengungkapkan bahwa operasi penyelamatan yang ceroboh menambah kerusakan terumbu karang yang seharusnya tidak terdampak dan menyebabkan efek akut yang berlangsung lama pada proses pemulihan terumbu karang (Aronson, 1997; Wakeford *et al.*, 2008). Hal senada juga dinyatakan oleh Shutler *et al.*, (2006) bahwa kejadian kandasnya kapal menyebabkan terumbu karang pecah, terlepas dan tidak stabil serta menyebabkan luka insidental pada hewan dan tumbuhan disekitarnya. Dampak lainnya yang muncul pada upaya penyelamatan yang memandu pergerakan kapal keluar dari tempat kandasnya akan memperluas kerusakan karang diluar area parkir kapal. Setelah kapal lepas, akan menyisakan karang yang “luka” sehingga akan mematikan karang tersebut (Schuhmacher *et al.*, 2002; Edward and Gomez, 2008).

Berdasarkan hasil observasi, kerusakan karang yang terjadi bersifat masif dan luas di lokasi kandasnya kapal. Tingkat kerusakan yang timbul, lebih banyak dipengaruhi oleh ukuran kapal yang besar dengan kecepatan tinggi dan beban muatan yang berat. Hal ini sejalan dengan pernyataan beberapa penelitian sebelumnya bahwa kerusakan terumbu karang dipengaruhi oleh kecepatan, kondisi muatan, sudut haluan kapal saat menubruk terumbu karang, sebagai contoh kapal besar (ukuran panjang >75 ft) sangat mudah merusak ribuan meter persegi terumbu karang dan biota bentik (Symons *et al.*, 2006; Nguyen *et al.*, 2011). Selain itu terjadi pencemaran pada karang oleh cat kapal yang menempel atau tumpahan bahan bakar kapal (Lirman *et al.*, 2010; Precht *et al.*, 2001). Kapal kandas lebih banyak menyebabkan kerusakan fisik pada terumbu karang yang bisa menjadi perantara adanya penyakit karang melalui jaringan karang yang luka diserang oleh mikroba patogen (Lamb *et al.*, 2011; Williams *et al.*, 2010; Katz *et al.*, 2014). Seperti terlihat adanya perubahan warna menjadi merah muda dari karang jenis *Porites lutea* akibat respon terhadap stress yang berusaha beradaptasi dan bertahan hidup setelah adanya gangguan dari kapal kandas. Menurut Beeden *et al.*, (2008) perubahan warna karang (*tissue discolouration*) hanya disebabkan oleh hewan yang hidup berasosiasi dalam koloni karang (*borers*), kompetitor, alga, bekas gigitan ikan dan terakhir bekas kerusakan yang bisa dikaitkan dengan kapal kandas pada koloni karang yang berukuran besar dari kelompok pertumbuhan massif. Lebih lanjut dikatakan *tissue discolouration* ini bukanlah termasuk ciri-ciri dari penyakit karang.

Sebagian koloni karang massif yang telah mati terdapat bekas cat kapal yang menempel, akan membuat bagian koloni tersebut susah untuk bisa *recovery* seperti semula. Cat kapal mengandung anti biofouling agar hewan penempel tidak bisa menempel pada badan kapal. Hewan penempel akan memperlambat laju kapal dan dapat merusak badan kapal lebih cepat. Cat kapal yang mengandung senyawa anti-fouling ini dikenal dengan nama Trybutyl Tin (TBT), dimana kontaminasi senyawa ini sangat efektif membunuh larva maupun hewan penempel dewasa (Osterath, 2014), sehingga akan terjadi menurunkan rekrutmen karang baru (Negri *et al.*, 2002), dapat menghambat fertilisasi dan mertamorfosa larva (Negri & Heyward, 2001). Penggunaan TBT ini dapat menimbulkan dampak negatif pada ekosistem laut (Walmsley, 2006; Langston, 2006). Senyawa TBT tergolong senyawa yang sangat beracun dan secara alami sulit diuraikan. Keberadaan cat kapal yang menempel pada koloni karang akan dapat mengganggu pertumbuhan karang dan menghambat penempelan biota lain termasuk larva karang pada bongkahan karang mati yang ada cat kapalnya. Indikasi kontaminasi senyawa TBT dapat terdeteksi juga dari sedimen di lokasi kapal kandas (Jones, 2007). Meskipun saat ini sudah menggunakan bakteri karang *Pelagibacter variabilis* yang dianggap lebih aman sebagai *antifouling* sebagai hasil penelitian (Sabdono, 2007).

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.

4 SIMPULAN DAN SARAN

SIMPULAN

Profil terumbu karang yang dominan tertubruk kapal adalah tipe gosong terumbu (*patch reef*) yang jarang terlihat muncul ke permukaan dan sebagian besar terjadi karena kesalahan manusia (*human error*). Perubahan substrat dasar perairan, jenis karang terdampak, area dan tingkat kerusakan serta luasan kerusakan dikelompokkan berdasarkan ukuran dan tipe kapal sebagai berikut :

- a. Kapal Besar tipe *bulk carrier*
Tutupan karang keras hidup menurun drastis dan tutupan *rubble* mengalami peningkatan, sedangkan tutupan kategori substrat lainnya (DCA, DC, Biotik dan Abiotik) cenderung stabil. Jenis karang yang terdampak pada 3 lokasi mencapai 97 jenis. Area dan tingkat kerusakan yang ditimbulkan berupa (1) area terlindas dengan tingkat kerusakan sangat parah, (2) area gundukan dengan tingkat kerusakan sangat parah, (3) area hempasan, dengan tingkat kerusakan juga sangat parah, dan (4) area dispersal dengan tingkat kerusakan cukup parah. Total luasan kerusakan terumbu karang mencapai 69.564 m².
- b. Kapal Sedang tipe *barge* dan LCT
Perubahan tutupan karang keras hidup menurun signifikan, sedangkan tutupan *rubble* dan karang mati (DC) meningkat. Jenis karang terdampak mencapai 109 jenis pada semua lokasi. Area dan tingkat kerusakan yang ditimbulkan berupa (1) area lindasan dengan tingkat kematian karang mencapai 100%, (2) area kerusakan parsial dengan tingkat kematian karang hanya pada koloni, (3) area dispersal dengan tingkat kematian karang hidup mencapai ~50%). Total luasan kerusakan terumbu karang mencapai 38.890 m².
- c. Kapal kecil tipe phinisi
Tutupan karang keras hidup menurun drastis dan tutupan *rubble* mengalami peningkatan. Jenis karang yang terdampak mencapai 90 jenis pada semua lokasi. Area dan tingkat kerusakan yang ditimbulkan berupa (1) area terlindas, dengan tingkat kerusakan sangat parah dan (2) area dispersal, dengan tingkat kerusakan cukup parah, kematian karang mencapai ~50%. Total luasan kerusakan mencapai sebesar 163,81 m².

SARAN

1. Metode pengukuran luasan kerusakan pada kajian ini bisa digunakan oleh pemerintah untuk menjadi acuan dalam penilaian dampak kerusakan oleh kapal kandas.

Hasil pengukuran luasan kerusakan berdasarkan metode perhitungan ini, dapat digunakan untuk menilai kerugian ekonomi akibat hilangnya jasa ekosistem terumbu karang.

Pendataan kapal kandas di perairan Indonesia harus menjadi perhatian pemerintah.

Kegiatan restorasi dan atau rehabilitasi terumbu karang yang rusak diharapkan menggunakan pendekatan rehabilitasi aktif karena dominannya tutupan pecahan karang (*rubble*) di lokasi kandas.

Pengaturan alur pelayaran pada lokasi-lokasi yang terdapat banyak gosong terumbu.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPBUniversity.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPBUniversity.

5 DAFTAR PUSTAKA

- Alison L. Moulding, Vladimir N. Kosmynin, David SG. 2012. Coral recruitment to two vessel grounding sites off southeast Florida, USA. *Int. J. Trop. Biol.* 60: 99-108.
- Antou. K. J. P., Ari, B. R., dan Ruddy. D. M. 2019. Tingkat Ketahanan Hidup dan Laju Pertambahan Karang *Acropora* sp. yang ditransplantasi Pada Substrat Buatan Di Perairan Kampung Ambong, Likupang Timur. *Jurnal Ilmiah Platax*, (7):(1).
- Arifin. Z., dan Lutfi O.M. 2016. Studi Pertumbuhan Dan Survival Rate Pada Transplantasi Karang *Acropora* sp. di Pantai Kondang Merak Kabupaten Malang. *Seminar Nasional Perikanan Dan Kelautan VI*, Malang: Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya Malang.
- Aronson RB, DW Swanson. 1997. Disturbance and recovery from ship groundings in the Florida Keys National Marine Sanctuary. In Baruch Rinkevich (2005): *Conservation of Coral Reefs through Active Restoration Measures: Recent Approaches and Last Decade*. *Progress. Environ. Sci. Technol.* 39 : 4333-4342
- Beeden R. Bette LW, Laurie J. R, Cathie A. P, Ernesto W. 2008. Assessing Coral Health on Indo-Pacific Reefs. CRTR Program Project Executing Agency, Centre for Marine Studies, The University of Queensland, St Lucia, Qld 4072, Australia.
- Bruckner AW, RJ Bruckner. 2001. Condition of restored *Acropora palmata* fragments off Mona Island, Puerto Rico, 2 years after the Fortuna Reefer ship grounding. In Baruch Rinkevich (2005): *Conservation of Coral Reefs through Active Restoration Measures: Recent Approaches and Last Decade*. *Progress. Environ. Sci. Technol.* 39: 4333-4342
- Bernhard R. 2001. Degradation of Reef Structure, Coral and Fish Communities in The Red Sea by Ship Groundings and Dynamite Fishing. *Bulletin of Marine Science*. 69(2) : 595-611
- Challenger GE, 2006. International Trends in Injury Assessment and Restoration. In *Coral Reef Restoration Handbook* (Editor: W.E. Prent). Taylor and Francis. Florida USA.
- Collier C, Dodge R, Gilliam D, Gracie K, Grgg L, Jaap W, Mastry M, Poulos N 2007. Rapid Response and Restoration for Coral Reef Injuries in Southeast Florida - Guidelines and Recommendations. Florida Department of Environmental
- Gomez ED, Alino PM, Yap HT, Licuanan WY (1994) A review of the status of Philippine Reef. *Mar Pollut Bull* 29: 62-68
- DeVantier LM, Done (2007). Inferring Past Outbreaks of The Crown-of Thorns Seastar from Scar Patterns on Coral Heads (in Geological approaches to coral reef ecology) Editor. RB Aronson. Springer, p85-125.
- Daud JRP FV, Rattu 2011. The Impact of Land filled (coastal reclamation) on Coral Reefs in Kalasey-Bulo, Manado Bay. *Jurnal Ekowisata* November 2011. ISSN 1978-452X

- Edwards AJ and ED Gomez, 2008 Reef Restoration Concepts and Guidelines: Making Sensible Management Choices in the Face of Uncertainty. 38p.
- English, S., C. Wilkinson & V. Baker. 1997. *Survey Manual for Tropical Marine Resources* (2nd Edition). Australian Institute of Marine Science, Australia: x + 390 hlm.
- Fox HE, Mous PJ, Pet JS, Muljadi AH, Caldwell RL. 2005. Experimental assessment of coral reef rehabilitation following blast fishing. *Conserv Biol*; 19: 98±107.
- Fox, H.E., 2004. Coral recruitment in blasted and unblasted sites in Indonesia: assessing rehabilitation potential. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 269, 131e139.
- Fox, H.E., Caldwell, R.L., 2006. Recovery from blast fishing on coral reefs: a tale of two scales. *Ecol. Appl.* 16, 1631e1635.
- Fox, H.E., Pet, J.S., Dahuri, R., Caldwell, R.L. 2003. Recovery in rubble fields: longterm impacts of blast fishing. *Mar. Pollut. Bull.* 46, 1024e1031.
- Ginsburg RN, G Eberhard, K William, 2001. Partial mortality of massive reef-building corals: an index of patch reef condition, Florida Reef Tract. *Bulletin of Marine Science*, Volume 69, Number 3, November 2001, pp. 1149-1173(25)
- Gittings, S., Bright, T., Holland, B., 1990. Five years of coral recovery following a freighter grounding in the Florida Keys. In: *Proceedings of the American Academy of Underwater Sciences*, 10th Annual Symposium, pp. 89e105
- Giyanto. 2012a. Kajian tentang panjang transek dan jarak antar pemotretan pada penggunaan metode transek foto bawah air. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia* 38(1): 1-18
- Giyanto 2012b. Penilaian kondisi terumbu karang dengan metode transek foto bawah air. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia* 38(3):377-390.
- Giyanto, M. Abrar, T. A. Hadi., A. Budiyanto, M. Hafizt, A. Salatalohy & M. Y. Iswari. 2017. *Status Terumbu Karang Indonesia*. Puslit Oseanografi-LIPI. Jakarta. ix+30 hlm.
- Gomez ED, Alino PM, Yap HT, Licuanan WY (1994) A review of the status of Philippine Reef. *Mar Pollut Bull* 29: 62-68
- Hill J, C Wilkinson, 2004. Methods for Ecological Monitoring of Coral Reefs. A Resource for Manager ver.1. Reefbase, GCRMN, Reef Check. AIMS publ. ISBN 0642322376. 123p
- Hughes TP, AH Baird, DR Bellwood, M Card, SR Connolly, C Folke, R Grosberg, O Hoegh-Guldberg, JBC Jackson, J Kleypas, JM Lough, P Marshall, M Nyström, SR Palumbi, JM Pandolfi, B Rosen, J Roughgarden, 2003. Climate Change, Human Impacts, and the Resilience of Coral Reefs. *Science* 301. no.5635, pp.929-933 DOI: 10.1126/science.108504
- Hoegh-Guldberg O, 2009. Climate Change and Coral Reefs: Trojan Horse or False Prophecy? *Coral Reefs* (2009) 28:569–575
- Hudson JH, WB Goodwin, 2001. Assessment of vessel grounding injury to coral reef and seagrass habitats in the Florida Keys National Marine Sanctuary, Florida: Protocol and Methods. *Bulletin of Marine Science* 69(2):509-516.
- Jaap WC, 2000. Coral reef restoration. *Ecological Engineering* 15, 345–364.
- Jaap WC, Hudson, J.H., Gilliam, D., Dodge, R.E., Shaul, R., 2006. Coral reef restoration with case studies from Florida. In: Co^te, I.M., Reynolds, J.D.

- (Eds.), Coral Reef Conservation. Cambridge University Press, Zoological Society of London, pp. 478–514.
- Jones RJ, 2007. Chemical contamination of a coral reef by the grounding of a cruise ship in Bermuda. *Marine Pollution Bulletin* 54 (2007) 905–911.
- Kleypas JA, RA Feely, VJ Fabry, C Langdon, CL Sabine, LL Robbins, 2006. Impacts of Ocean Acidification on Coral Reefs and Other Marine Calcifiers: A Guide for Future Research. NSF, NOAA, USGS, 88 pp.
- Katz SM, Pollock FJ, Bourne DG, Willis BL. Crown-of-thorns starfish predation and physical injuries promote brown band disease on corals. *Coral Reefs*. 2014; 33: 705±716.
- Keputusan Ketua Mahkamah Agung Republik Indonesia Nomor 36/KMA/SK/II/2013. Tentang Pemberlakuan Pedoman Penanganan Perkara Lingkungan Hidup.
- Kohler, K. E: M. Gill. 2006. Coral Point Count With Excel extensions (CPCe): A visual basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Comput Geosci* 32(9):1259-1269.
- Lamb JB, Willis BL. Using Coral Disease Prevalence to Assess the Effects of Concentrating Tourism Activities on Offshore Reefs in a Tropical Marine Park. *Conserv. Biol.* 2011; 25:1044±1052 <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2011.01724.x> PMID: 21848962
- Langston, William J. (Editor). 2006. Tributyltin Pollution On a Global Scale. An Overview of Relevant dan Recent Research: Impacts dan Issues. WWF UK. Godalming, Surrey. United Kingdom. 48 pp.
- Lirman D., MW Miller, 2003. Modeling and monitoring tools to assess recovery status and convergence rates between restored and undisturbed coral reef habitats. In Baruch Rinkevich (2005): Conservation of Coral Reefs through Active Restoration Measures: Recent Approaches and Last Decade. *Progress. Environ. Sci. Technol.* 39 : 4333-4342
- Lirman D., N. Gracias, B. Gintert, A. C. R. Gleason, G. Deangelo, M. Dick1, E. Martinez, R. P. Reid. 2010. Damage and recovery assessment of vessel grounding injuries on coral reef habitats by use of georeferenced landscape video mosaics. *Limnol. Oceanogr.: Methods*. 8: 88–97
- Muhlis. (2019). Pertumbuhan Kerangka Karang Acropora di Perairan Sengigi Lombok. *Jurnal Biologi Tropis*.
- Negri AP, LD Smith, NS Webster, AJ Heyward. 2002. Understanding ship-grounding impacts on a coral reef: potential effects of anti-foulant paint contamination on coral recruitment. *Mar Pollut Bull.* 44(2); 111-117.
- Negri AP., AJ Heyward, 2001. Inhibition of coral fertilization and larval metamorphosis by tributyltin and copper. *Mar Environ Res* 51(1):17-27.
- Nguyen, T.-H., Amdahl, J., Leira, B.J., Garr_e, L., 2011. Understanding ship-grounding events. *Mar. Struct.* 24, 551-569.
- Nurcahyani L. P. A. D., I Wayan G. A. K. dan Widiastuti K. (2018). Laju Pertumbuhan dan Tingkat Kelangsungan Hidup Transplantasi Karang Acropora secale di Pantai Serangan dan Pantai Geger, Bali. *Marine Aquatic Science*, (4): 297-303.
- Osterath B. 2014. Cat pembunuh mahluk hidup. IPTEK. Website: <https://www.dw.com/id/cat-pembunuh-mahluk-hidup/a-17488228> (diakses Tanggal 2 September 2018).

Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2014 tentang Ganti Kerugian Akibat Pencemaran dan/atau Kerusakan Lingkungan Hidup.

Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2015 Tentang Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan.

Precht, W.F., Aronson, R.B., Swanson, D.W., 2001. Improving scientific decision-making in the restoration of ship-grounding sites on coral reefs. *Bulletin of Marine Science* 69, 1001–1012. Precht, W.F., 1998. The art and science of reef restoration. *Geotimes* 1, 16–20.

Precht WF, Robbart M, 2006. Coral reef restoration: the rehabilitation of an ecosystem under siege. In: Precht, W.F. (Ed.), *Coral Reef Restoration Handbook*. Taylor & Francis, Boca Raton, FL (USA), pp. 1–24.

Raymundo L, Maypa A, Gomez ED, Cadiz P. Can dynamite-blasted reefs recover? A novel, low-tech approach to stimulating natural recovery in fish and coral populations. *Mar Pollut Bull.* 2007; 54: 1009± 1019. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.02.006> PMID: 17383687

Rosales, R.M.P.R. 2006. Estimating Appropriate Fines for Ship Grounding Violations in Tubbataha Reef National Marine Park. Report of Consultant, Environmental Economics. Conservation International. Philippines.

Sabdono A., 2007. Pengaruh ekstrak antifouling bakteri karang *Pelagiobakter variabilis* strain USP3.37 terhadap penempelan barnakel di perairan Pantai Teluk Awur, Jepara. *Ilmu Kelautan* 12(1)18-23

Schuhmacher H.; van Treeck, P.; Eisinger, M.; Paster, M. 2002. Transplantation of coral fragments from ship groundings on electrochemically formed reef structures. In Baruch Rinkevich (2005): *Conservation of Coral Reefs through Active Restoration Measures: Recent Approaches and Last Decade*. Progress. Environ. Sci. Technol. 39 : 4333-4342

Shutler SK, Gitting S, Penn T, Schittone J. 2006. Compensatory Restoration : How Much Each is Enough ? Legal, Economic, and Ecological Consideration. Precht W.F (Editor) : in *Coral Reef Restoration Handbook*. Taylor and Francis-CRC.

Syafyudin Y. 2014. Investigation Of Coral Reef Degradation Due To ‘Ship Grounding’. Proceeding of International Conference on Marine Science and Fisheries. Makassar.

Suharsono. 2008. *Jenis-Jenis Karang di Indonesia*. Jakarta : LIPI Press. vii + 344 hlm.

Suharsono dan O.K. Sumadhiharga. (eds). 2014. *Panduan Monitoring Kesehatan Terumbu Karang*. COREMAP CTI LIPI. Jakarta. x + 63 hlm.

Suharsono. 2008. *Bercocok Tanam Karang dengan Transplantasi* – Jakarta : LIPI Press, 67 hlm.

Schroeder, R.E., Green, A.L., DeMartini, E.E., Kenyon, J., 2008. Long-term effects of a ship-grounding on coral reef fish assemblages at Rose Atoll. *Am. Samoa. Bull Mar. Sci.* 82, 345-364.

Tito, C. K., Agus S., Sri, Y. C., Suciadi C. N., Abdul R. Z., dan Aldino J. S. (2015). Analisis Pertumbuhan Karang *Porites* Di Pulau Siladen Utara, Bunaken, Sulawesi Utara. *Seminar Nasional Tahunan XII*. Hasil Penelitian Perikanan dan Kelautan.

- Tito, C. K., Aldino J. S., Jejen J.H., Muji W.I dan Abdul R. Z. (2016). Kajian SPL, Presipitasi, dan Salinitas Kaitannya dengan Laju Pertumbuhan Karang Porites di Nusa Penida, Bali. *Seminar Nasional Perikanan dan Kelautan VI*. Denpasar: Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,.
- Tissier ML, 2010. Hanjin Istanbul Grounding Survey Report. ITOPI & P& I Club Britannia. Envision. United Kingdom.
- Tomascik T, 1991. Coral Reef Ecosystem Environment; Management Guidelines. Marine and Coastal Resources Management. KLH/MDI, Jakarta. 164 halaman.
- Tokeshi M, JRP Daud, 2011. Assessing feeding electivity in *Acanthaster planci*: a null model analysis. Coral Reefs DOI 10.1007/s00338-010-0693-3
- UNEP (United Nations Environment Programme), 2009. The Economics of Ecosystem and Biodiversity (TEEB). 105p.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 39 Tahun 2008 Tentang Kementerian Negara
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 140, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5059).
- Veron JEN LM DeVantier, E Turak, AL Green, S Kininmonth, M Stafford-Smith, N.Peterson, 2009. Delineating the Coral Triangle. *Galaxea, Journal of Coral Reef Studies* 11: 91-100
- Veron JEN, 2000. Corals of the World. Australian Institute of Marine Science, Vol.1-3.
- Victoria-Salazar I., Hector A., Hernandez A., Jorge A., Meave, Miguel ARZ., Alejandro V Z., Juan PCG., Haydee LA. 2017. Did the community structure of a coral reef patch affected by a ship grounding recover after 15 years? Merging historical and recent data sets. *Ocean Coast Manage.* 144: 59-70
- Wakeford M, TJ Done, CR Johnson, 2008. Decadal trends in a coral community and evidence of changed disturbance regime. *Coral Reefs* 27:1–13. DOI 10.1007/s00338-007-0284-0
- Williams GJ, Aeby GS, Cowie RO, Davy SK. Predictive Modeling of Coral Disease Distribution within a Reef System. *PLoS One*. 2010; 5:e9264 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009264> PMID: 20174663
- Worm B, EB Barbier, N Beaumont, JE Duffy, C Folke, BS Halpern, JBC Jackson, HK Lotze, F Micheli, SR Palumbi, E Sala, KA Selkoe, JJ Stachowicz, R Watson. 2006. Impacts of Biodiversity Loss on Ocean Ecosystem Services. *Science* 314,787.

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Mataram pada tanggal 13 Desember 1981 sebagai anak sulung dari pasangan Bapak Yusuf dan Ibu Rahmah. Pendidikan sarjana ditempuh di Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan IPB, lulus pada tahun 2004. Pada tahun 2018, Penulis diterima di Program Studi Ilmu Kelautan pada Program Pasca Sarjana IPB.

Penulis bekerja di Yayasan Terumbu Karang Indonesia (TERANGI) sebagai kepala divisi pengelolaan sumberdaya terumbu karang. Penulis juga diperbantukan sebagai tenaga ahli penanganan kerusakan terumbu karang akibat pencemaran dan kapal kandas di Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), selain itu penulis juga menjadi instruktur selam bintang satu di CMAS Indonesia dan terdaftar sebagai assesor kompetensi bidang konservasi pada lembaga sertifikasi profesi kelautan (LSPK).

Selama bekerja dan kuliah penulis juga menulis artikel publikasi ilmiah pada jurnal nasional dan internasional. Karya ilmiah penulis berjudul *Assessment of coral reefs health in Nature Recreation Park (TWA=Taman Wisata Alam) Sangiang Island, Banten* telah diterbitkan oleh IOP Conference Series Earth and Environmental Science 429:012020. Artikel lain yang berjudul *Kerusakan Terumbu Karang Akibat Kapal Kandas (Ship Grounding) di Indonesia : Studi Kasus Kapal Kandas di Perairan Bangka-Belitung oleh Kapal Tipe Motor Vessel MV Lyric Poet*, akan diterbitkan tahun 2020 pada jurnal ilmiah perikanan dan kelautan-Universitas Airlangga.

© 2020 by Institut Pertanian Bogor