

KERAPATAN VEGETASI, MODEL ARSITEKTUR AKAR, SERTA SIMULASI HIDRODINAMIKA *RHIZOPHORA APICULATA* BL. DI TELUK BONE, SULAWESI SELATAN

*(Vegetation Density, Root Architecture Model, and Hydrodynamic Simulation
Rhizophora apiculata Bl. in Bone Bay, South Sulawesi)*

ASWAR RUSTAM¹⁾, IBNUL QAYIM²⁾ DAN ERIZAL³⁾

¹⁾ Mahasiswa Program Studi Biologi Tumbuhan, IPB

²⁾ Dosen Departemen Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB

³⁾ Dosen Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik Pertanian, IPB

Email: aswarrustam1991@gmail.com

Diterima 27 Maret 2017 / Disetujui 08 Mei 2017

ABSTRACT

Mangrove is the only ecosystem that grows and develops in the coastal area. This study was conducted to analyze the mangrove forest vegetation to create a simulation of the root system of *Rhizophora apiculata* Bl. related to its ability in the process of hydrodynamic fluid of seawater in the Lompo village, District Awangpone, Bone Regency, South Sulawesi. Criteria that used as a model reference had minimum age approximately five years and minimum height of about 2 m. The variables that measure were height, diameter, and length of the roots. The parameters of the simulation are the average speed of sea level, the dynamic pressure of seawater, as well as drag coefficient of Gulf of Bone. Based on this research, vegetation area with highest density located at second kilometer, medium density located at first kilometer, and the lowest density located at third kilometer. The average velocity of seawater, the lowest is in the natural cropping pattern of highest density, meanwhile the highest is in the parallel cropping pattern of lowest density. Dynamic pressure, the lowest is in the natural cropping pattern of highest density, meanwhile the highest is in the parallel cropping pattern of lowest density. The drag coefficient, the highest is in the natural cropping pattern of highest density, meanwhile the lowest is in the parallel cropping pattern of lowest density.

Keywords: drag coefficient, hydrodynamics, mangrove, *Rhizophora apiculata* Bl., simulation

ABSTRAK

Mangrove adalah satu-satunya ekosistem yang tumbuh dan berkembang di daerah. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis vegetasi hutan mangrove untuk membuat simulasi dari sistem perakaran *Rhizophora apiculata* Bl. terkait kemampuannya dalam proses hidrodinamika fluida di Dusun Lompo, Kecamatan Awangpone, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan. Kriteria yang dijadikan model acuan berusia sekitar lima tahun dengan tinggi sekitar 2 m. Variabel yang diukur adalah tinggi, diameter, serta panjang akar. Parameter simulasi adalah kecepatan rata-rata permukaan laut, tekanan dinamis, serta koefisien seret Teluk Bone. Berdasarkan hasil penelitian, vegetasi dengan kerapatan tertinggi berada pada kilometer kedua, kerapatan sedang berada pada kilometer pertama, dan kerapatan jarang berada pada kilometer ketiga. Kecepatan rata-rata air laut terendah terdapat pada pola tanam alami kerapatan padat, sedangkan yang tertinggi terdapat pada pola tanam sejajar kerapatan jarang. Tekanan dinamis terendah berada pada pola tanam alami kerapatan padat, sedangkan yang tertinggi berada pada pola tanam sejajar kerapatan jarang. Koefisien seret tertinggi berada pada pola tanam alami kerapatan padat, sedangkan yang terendah berada pada pola tanam sejajar kerapatan jarang.

Kata kunci: hidrodinamika, koefisien seret, mangrove, *Rhizophora apiculata* Bl., simulasi

PENDAHULUAN

Hutan mangrove ditemukan hampir di seluruh daerah tropis dan subtropis (Alongi 2015). Spesies-spesies mangrove dikelompokkan berdasarkan ukuran dan kerumitan sistem perakarannya dan memiliki peran penting terhadap disipasi arus dan energi gelombang laut (Mazda *et al.* 2007). Habitat hutan mangrove menyediakan perlindungan bagi daerah pesisir dan juga estuaria dari badai, erosi, dan juga tsunami (Zhang *et al.* 2015). Daerah estuaria atau sungai, mangrove tidak hanya dianggap sebagai penghalang aliran air, namun juga sebagai penyeimbang pinggir dan saluran sungai (Nagelkerken *et al.* 2010). Sebagai tambahan, penelitian mengenai ketahanan vegetasi terhadap kekuatan dan

karakteristik struktur turbulensi kecepatan aliran air, atau biasa disebut dengan koefisien seret (C_D), di lingkungan hutan mangrove menjadi perhatian para peneliti (Lopez and Garcia 2001).

Spesies *Rhizophora apiculata* Bl. yang termasuk dalam kelompok mangrove sejati (Giesen *et al.* 2007) dan tumbuh di zona terendam air laut dikenal mampu melindungi garis pantai, memperkaya perairan pesisir (Kathiresan and Bingham 2001), mampu bertahan dan mengurangi pembanjiran akibat tsunami pada tahun 2004 Yanagisawa *et al.* 2009; Kathiresan 2012). Daerah estuaria, aliran air berubah dengan adanya akar mangrove. Hasil penelitian di Coral Creek, Pulau Hinchinbrook, Australia, menunjukkan bahwa kecepatan di sungai utama setinggi 200 cm/s; namun, kecepatan

berkurang hingga 10 cm/s di daerah mangrove (Wolanski *et al.* 1990). Hasil pengamatan kemiringan permukaan air, ditemukan bahwa akar *Rhizophora* menunjukkan ketahanan yang cukup tinggi terhadap koefisien seret (C_D) = 1,2 (Zhang *et al.* 2015).

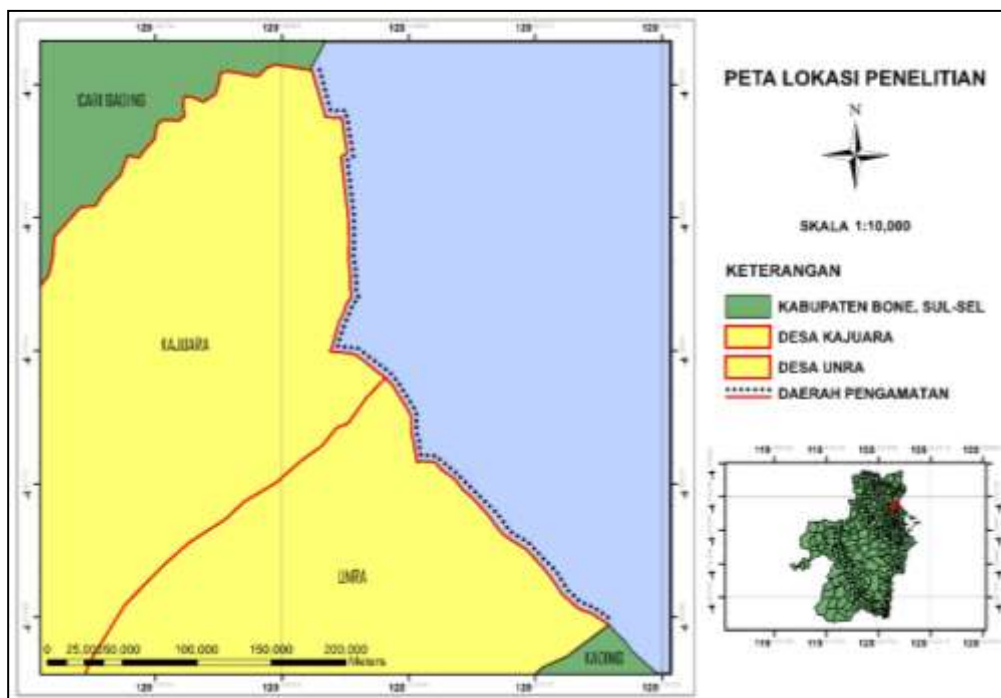
Salah satu daerah di Indonesia yang memiliki hutan mangrove adalah Teluk Bone yang terletak di antara Provinsi Sulawesi Selatan dengan Propinsi Sulawesi Tenggara (Jamal *et al.* 2010; Rahardiawan 2013). Ekspansi perkebunan kelapa sawit menjadi ancaman bagi hutan mangrove. Ancaman lainnya berupa stres pada tingkat ekosistem seperti polusi organik dari efek berkembang pesatnya daerah pinggiran kota (Fries 2016).

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis vegetasi hutan mangrove hingga membuat

simulasi pada sistem perakaran *Rhizophora apiculata* Bl. terkait kemampuannya dalam proses hidrodinamika fluida koefisien seret air laut di Dusun Lompo, Kecamatan Awangpone, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan.

METODE PENELITIAN

Analisis vegetasi dilaksanakan pada bulan April-Desember 2015. Pengambilan data dilakukan di Dusun Lompo (4°25'35.63" LS dan 120°20'46.28" BT), Kecamatan Awangpone, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan (Gambar 1).



Gambar 1 Lokasi pengamatan (Sumber data: 1. Data PODES Badan Pusat Statistik 2010, 2. Peta RBI Bakosurtanal Skala 1:10000)

Pembuatan model serta simulasi gerak hidrodinamika koefisien seret pada sistem perakaran *Rhizophora apiculata* Bl. dimulai pada bulan Agustus-Oktober 2016 di Laboratorium Teknik Lingkungan Biosistem, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Setiap lokasi penelitian dibuat plot sampel yang berukuran 100 m x 30 m yang diukur menggunakan pita meter berukuran 50 m. Setiap plot sampel kemudian dicatat titik koordinatnya menggunakan GPS *Garmin 72H*.

Proses penentuan model acuan, variabel yang diukur adalah tinggi batang utama (T_{bu}); diameter batang utama (D_{bu}); panjang akar primer (P_{ap}); diameter akar primer (D_{ap}); panjang akar sekunder (P_{as}); diameter akar

sekunder (D_{as}); panjang akar tersier (P_{at}); diameter akar tersier (D_{at}). Adapun pada proses simulasi, variabel yang diteliti adalah kecepatan rata-rata permukaan air laut, tekanan dinamis air laut, dan koefisien seret yang disertai dengan *Root Mean Square Error* (RMSE). Variabel yang dihitung dalam proses analisis vegetasi adalah kerapatan mutlak dan kerapatan relatif.

Pembuatan model arsitektur akar *Rhizophora apiculata* Bl. didahului oleh pengukuran cabang akar yang menjadi model acuan menggunakan pita meter berukuran 5 m. Kriteria yang dijadikan model berumur sekitar dua tahun yang diperkirakan telah mampu secara optimal bertahan pada kondisi pasang tertinggi. Kondisi lingkungan dengan pasang tertinggi sekitar 1 m menjadikan model acuan harus memiliki tinggi bebas

ranting minimal sekitar 1 m dan tinggi total minimal sekitar 2 m. Jangkauan percabangan model acuan yang dipilih memiliki luas minimal sekitar 1 m, serta memiliki percabangan akar terbanyak.

Pengkajian simulasi dengan menggunakan CFD secara garis besar terdiri atas tiga proses kerja utama, yaitu *Preprocessing*, *Solving*, dan *Postprocessing*. Tahap *preprocessing* dilakukan dengan pembuatan geometri dengan dimensi model perakaran digambarkan 1:1 terhadap kondisi lingkungan di lokasi pengamatan. Kondisi lingkungan pengamatan kemudian diadopsi ke dalam proses simulasi yang menggunakan tiga spesies kondisi pola tanam, yaitu pola tanam sejajar, pola tanam silang, dan pola tanam alami dengan kerapatan vegetasi yang berbeda. Plot pengamatan dan jumlah kerapatan vegetasi kemudian disederhanakan. Selanjutnya, tahap *solving* yaitu mencari solusi persamaan atur dinamika fluida yang telah didiskritisasi. Tahap terakhir adalah *post processing*, yaitu penyajian data hasil simulasi yang berupa plot kontur, plot vektor, dan animasi (Niam 2011).

Analisis vegetasi didahului oleh pembuatan kurva spesies area dengan tujuan untuk mengetahui luas minimum area dari satuan plot yang dianggap mewakili suatu tipe komunitas tertentu. Setiap lokasi penelitian dibuat plot sampel yang diukur menggunakan pita meter berukuran 50 meter. Setiap plot sampel kemudian dicatat titik koordinatnya menggunakan GPS *Garmin 72H*. Seluruh spesies yang hadir di dalam plot sampel diidentifikasi serta dihitung jumlahnya. Data yang diperoleh kemudian dianalisis dengan menghitung

kerapatan relatif dan frekuensi relatifnya menggunakan aplikasi *Microsoft Excel 2016 64bit*.

Persamaan yang digunakan untuk menganalisis vegetasi sebagai berikut:

$$(1) \text{ Kerapatan} = \frac{\text{Jumlah Total Individu Spesies } i}{\text{Jumlah Luas Petak Pengamatan (ha)}}$$

$$(2) \text{ Kerapatan Relatif} = \frac{\text{Kerapatan Spesies } i}{\text{Jumlah Kerapatan Seluruh Spesies}} \times 100\%$$

Persamaan yang digunakan untuk mensimulasikan gerak hidrodinamika sebagai berikut (Sadrey 2009):

$$C_D = \frac{F_x}{\frac{1}{2} \rho V^2 D_{Av} L} \quad (3)$$

Variabel yang disimulasi; koefisien gaya seret (C_D); komponen partikel aliran air laut (F_x); kerapatan air laut (ρ); kecepatan rata-rata air laut (V); lebar dimensi *domain* simulasi (D); serta panjang dimensi *domain* simulasi (L).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Vegetasi

Hasil analisis vegetasi tercatat bahwa vegetasi hutan mangrove di Desa Lompo, Kecamatan Lamuru, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan, spesies *Rhizophora apiculata*, memiliki tingkat kerapatan vegetasi yang berbeda-beda pada tiap plot pengamatan (Tabel 1). Daerah yang memiliki kerapatan vegetasi tertinggi berada pada kilometer kedua, sebesar 3.035 individu (67 individu/ha), daerah yang memiliki kerapatan vegetasi sedang berada pada kilometer pertama, sebesar 1.955 (43 individu/ha), dan daerah yang kerapatan vegetasi terendah berada pada kilometer ketiga, sebesar 1.024 individu (23 individu/ha).

Tabel 1 Sebaran vegetasi spesies *Rhizophora apiculata* Bl. pada tiap kilometer di sepanjang garis pantai Teluk Bone, Desa Lompo, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan

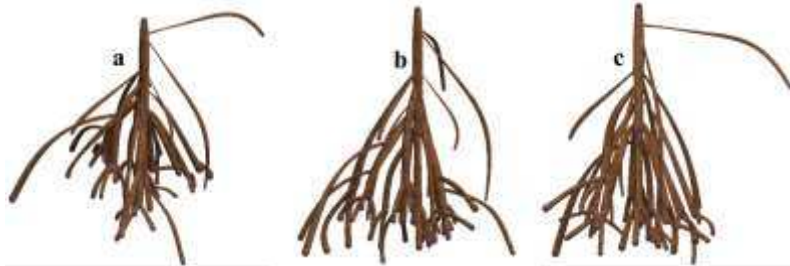
Kilometer	Plot	Titik koordinat	Jumlah	Kerapatan mutlak (KM)	Kerapatan relatif (KR)
Pertama	1	S 04'24"723 E 120'20'817	342	1.140	17,49
	2	S 04'24"825 E 120'20"838	543	1.810	27,78
	3	S 04'24"960 E 120'20"845	400	1.333	20,46
	4	S 04'24"961 E 120'20"844	240	800	12,28
	5	S 04'25"085 E 120'20"824	430	1.433	21,99
Total			1.955	6.517	100
Kedua	6	S 04'25"216 E 120'20"858	867	2.890	28,57
	7	S 04'25"311 E 120'20"858	360	1.200	11,86
	8	S 04'25"472 E 120'20"872	700	2.333	23,06
	9	S 04'25"618 E 120'20"931	430	1.433	14,17
	10	S 04'25"734 E 120'20"993	678	2.260	22,34
Total			3.035	10.117	100
Ketiga	11	S 04'25"820 E 120'21"085	239	797	23,34
	12	S 04'25"926 E 120'21"188	328	1.093	32,03
	13	S 04'26"058 E 120'21"335	140	467	13,67
	14	S 04'26"249 E 120'21"487	215	717	20,99
	15	S 04'26"307 E 120'21"638	102	340	9,96
Total			1.024	3.413	100
Total			6.014	20.047	300

Berdasarkan hasil pengamatan, maka dapat disimpulkan bahwa vegetasi *Rhizophora apiculata* Bl. di desa Lompo digolongkan menjadi tiga kelompok, yaitu kelompok kerapatan padat, kerapatan sedang, dan kerapatan jarang.

2. Model Arsitektur Akar

Berdasarkan hasil pengukuran, tinggi bebas ranting yang diperoleh adalah 81 cm, tinggi mulai dari permukaan

tanah hingga batang bebas ranting adalah 175 cm (μD_{ap} : 5,9 cm). Luas jangkauan percabangan yang diperoleh adalah 108 cm dengan jumlah percabangan akar sebanyak tiga cabang dengan masing-masing percabangan sebanyak 22 cabang primer (μP_{ap} : 93,2 cm; μD_{ap} : 3,2 cm), 31 cabang sekunder (μP_{as} : 55,5 cm; μD_{as} : 3,3 cm), dan satu cabang tersier (P_{at} : 33 cm; μD_{as} : 2,5 cm) (Gambar 2).



Gambar 2 Arsitektur akar tampak (a) isometri, (b) depan, (c) samping

3. Simulasi Hidrodinamika Koefisien Seret

Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh data kecepatan rata-rata permukaan air laut, tekanan dinamis, koefisien seret, serta RMSE dari koefisien seret, mengalami perubahan mengikuti pola tanam silang, sejajar, dan alami, pada kepadatan vegetasi yang berbeda, yaitu kerapatan padat, kerapatan sedang, dan kerapatan jarang. Selain itu, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa sistem perakaran, kerapatan vegetasi, serta pola tanam vegetasi *Rhizophora apiculata* Bl. menjadi penyebab perbedaannya nilai kecepatan rata-rata permukaan air laut, tekanan dinamis, serta koefisien seret di Teluk Bone.

Kecepatan rata-rata permukaan air laut pada kerapatan yang berbeda, terendah berada pada pola tanam alami kerapatan padat, sebesar 1,10 m/s, sedangkan kecepatan rata-rata tertinggi berada pada pola tanam sejajar kerapatan jarang, sebesar 1,25 m/s (Gambar 3). Tekanan dinamis terendah berada pada pola tanam alami kerapatan padat, sebesar 636,71 Pa, sedangkan tekanan dinamis tertinggi berada pada pola tanam sejajar kerapatan jarang, sebesar 792,01 Pa (Gambar 4). Koefisien seret yang tertinggi berada pada pola tanam alami kerapatan, sebesar 0,14 (RMSE: 6×10^{-4}), sedangkan koefisien seret terendah berada pada pola tanam sejajar kerapatan jarang, sebesar 0,03 (RMSE: 2×10^{-4}), berbanding terbalik dengan kecepatan rata-rata permukaan air laut dan tekanan dinamis (Gambar 5).



Gambar 3 Grafik kecepatan rata-rata permukaan air laut pada berbagai kerapatan dan pola tanam vegetasi



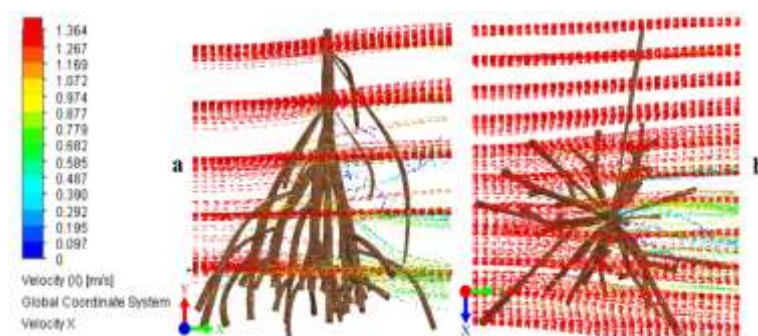
Gambar 4 Grafik tekanan dinamis air laut pada berbagai kerapatan dan pola tanam vegetasi



Gambar 5 Grafik koefisien *seret* air laut pada berbagai kerapatan dan pola tanam vegetasi

Keberadaan vegetasi berdampak besar selama kondisi batang terendam sehingga seluruh profil kecepatan air laut akan terhambat. Peristiwa ini menyebabkan air laut yang bergerak mengalami gaya-gaya resultan akibat adanya interaksi antara sistem perakaran dan air laut. Kondisi batang yang terendam akan menyebabkan kecepatan orbital tertinggi akan melewati kanopi tumbuhan. Kecepatan air hanya akan melambat selama bagian bawah kolom air terhambat (Suzuki *et al.* 2012). Aliran air laut yang datang menuju arah x di sekitar akar akan melibatkan daerah separasi. Aliran air laut terlepas dari benda dan membentuk sebuah

daerah sirkulasi di bagian hilir. Kemudian daerah *wake* akan terbentuk, yaitu daerah difusif yang terus menerus akan membesar sampai jarak tertentu ke bagian hilir kecepatannya lebih rendah daripada kecepatan aliran sebelum mengenai akar. Setelah itu, lapisan batas laminar terbentuk di sekitar akar, di dekat bagian depan, yang diikuti oleh lapisan batas turbulen. Semakin banyak dan luas cabang akar, maka semakin banyak pula partikel air laut yang akan terhalangi. Sebaliknya, semakin sedikit dan sempit cabang akar, maka semakin sedikit pula partikel air laut yang terhalangi (Gambar 6).



Gambar 6 Kontur aliran air laut saat melewati akar tampak samping, Kontur aliran air laut saat melewati akar tampak (a) samping, (b) atas

Pengaruh mitigasi mangrove sendiri tergantung oleh dua hal penting, yaitu terjangan gelombang dan tarikan aliran (Srikanth *et al.* 2016). Kemampuan ekosistem mangrove dalam mengendalikan banjir berada di sistem perakarannya (Danielsen *et al.* 2005). Spesies *Rhizophora apiculata* Bl. memiliki akar topang yang sangat kompleks sehingga membantu mereka untuk bertahan terhadap kuatnya aliran (Kathiresan 2012), menstabilkan tegakannya di alam, dan mengumpulkan serta mengendapkan sisa-sisa hasil erosi, ranting dedaunan yang terbawa oleh aliran air laut untuk membangun tanah di bawahnya (Srikanth *et al.* 2016). Perlindungan dan restorasi vegetasi mangrove, hutan-hutan di pesisir, serta bukit-bukit pasir akan berdampak bukan hanya untuk tsunami, tetapi juga level kenaikan air laut (Kathiresan 2012), angin puting beliung, mengurangi erosi pesisir dan pinggiran sungai, serta menjaga

biodiversitas yang berada di dalamnya (Srikanth *et al.* 2016), melindungi pesisir dari terjangan badai (Ohira *et al.* 2013; Mendez-Alonzo *et al.* 2015), serta menjadi penyangga kehidupan biota yang merupakan sumber penghidupan masyarakat lokal menjadi sangat besar pengaruhnya yang terbukti nilai kelimpahan rata-rata kepiting di kawasan mangrove yang dilindungi secara signifikan lebih tinggi dari nilai yang diperoleh di situs direboisasi (Bandibas and Hilomen 2016). Bahkan jika fungsi nonlinear, seperti perlindungan pantai, dimasukkan sebagai bahan evaluasi perekonomian, maka secara realistis, penggunaan jasa ekosistem berubah menjadi konversi habitat dan manajemen berbasis ekosistem akan sangat baik digunakan (Barbier *et al.* 2008).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa terdapat tiga spesies kelompok kerapatan pada vegetasi hutan mangrove Desa Lompo, Kecamatan Lamuru, Kabupaten Bone, Sulawesi Selatan. Daerah yang memiliki jumlah akumulasi individu tertinggi berada pada kilometer kedua, sebesar 3.035 individu (10.117 individu/ha). Daerah yang berada pada posisi kedua yaitu kilometer pertama dengan jumlah sebesar 1.955 (6.517 individu/ha). Daerah yang memiliki nilai akumulasi terendah berada pada kilometer ketiga, sebesar 1.024 individu (3.413 individu/ha).

Kecepatan rata-rata permukaan air laut pada kerapatan yang berbeda, terendah berada pada pola tanam alami kerapatan padat, sebesar 1,10 m/s, sedangkan kecepatan rata-rata tertinggi berada pada pola tanam sejajar kerapatan jarang, sebesar 1,25 m/s. Tekanan dinamis terendah berada pada pola tanam alami kerapatan padat, sebesar 636,71 Pa, sedangkan tekanan dinamis tertinggi berada pada pola tanam sejajar kerapatan jarang, sebesar 792,01 Pa. Koefisien *seret* yang tertinggi berada pada pola tanam alami kerapatan, sebesar 0,14 (RMSE: 6×10^{-4}), sedangkan koefisien *seret* terendah berada pada pola tanam sejajar kerapatan jarang, sebesar 0,03 (RMSE: 2×10^{-4}), berbanding terbalik dengan kecepatan rata-rata permukaan air laut dan tekanan dinamis. Kecepatan rata-rata air laut pada pola tanam silang, sejajar, dan alami, mengalami penurunan tergantung kerapatan vegetasi dan berbanding lurus dengan tekanan dinamis. Lain halnya yang terjadi pada koefisien *seret*, ketika vegetasi semakin padat, maka koefisien *seret* juga akan semakin tinggi. Ketika vegetasi semakin berkurang, maka koefisien *seret* juga akan berkurang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak Agus Ghautsun Niam, S. Tp., M. Si. yang telah membantu dalam proses simulasi, serta kepada Bapak Suardi yang telah membantu dalam proses pengamatan di lokasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Alongi DM. 2015. The impact of climate change on mangrove forests. *Curr Clim Change Rep.* 1:30–39. doi:10.1007/s40641-015-0002-x
- Bandibas M and Hilomen V. 2016. Crab biodiversity under different management schemes of mangrove ecosystems. *Global Journal of Environmental Science and Management-GJESM.* 2:19–30. doi:10.7508/gjesm.2016.01.003
- Barbier EB, Koch EW, Silliman BR, Hacker SD, Wolanski E, Primavera J, Granek EF, Polasky S, Aswani S, Cramer LA *et al.* 2008. Coastal ecosystem-based management with nonlinear in ecological functions and values. *Science.* 319:321–323. doi:10.1126/science.1150349
- Danielsen F, Sørensen MK, Olwig MF, Selvam V, Parish F, Burgess ND, Hiraishi T, Karunakaran VM, Rasmussen MS, Hansen LB *et al.* 2005. The Asian tsunami: a protective role for coastal vegetation. *Science.* 310:643. doi:10.1126/science.1118387
- Friess DA. 2016. Mangrove forests. *Current Biology.* 26:R746–R748. doi:10.1016/j.cub.2016.04.004
- Giesen W, Wulffraat S, Zieren M and Scholten L. 2007. *Mangrove Guidebook for Southeast Asia.* Bangkok (TH): FAO and Wetlands International.
- Jamal M, Fedi M, Sondita A, Haluan J and Wiryawan DB. 2010. Pemanfaatan Data Biologi Ikan Cakalang (*Katsuwonus pelamis*) dalam rangka pengelolaan perikanan bertanggung jawab di Perairan Teluk Bone. *Jurnal Natur Indonesia Oktober.* 14:107–113.
- Kathiresan K. 2012. Importance of Mangrove Ecosystem. *International Journal of Marine Science.* 2:70–89. doi:10.5376/ijms.
- Kathiresan K and Bingham BL. 2001. Biology of mangroves and mangrove ecosystems. *Advances in Marine Biology.* 40:81–251. doi:10.1016/S0065-2881(01)40003-4.
- Lopez F and Garcia MH. 2001. Mean flow and turbulence structure of open-channel flow through non-emergent vegetation. *Journal of Hydraulic Engineering.* 127:392–402. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(2001)127:5(392).
- Mazda Y, Wolanski E and Ridd P V. 2007. *The Role of Physical Processes in Mangrove Environments.* Tokyo (JP): Terrapub.
- Mendez-Alonzo R, Moctezuma C, Ordonez VR, Angeles G, Martinez AJ and Lopez-Portillo J. 2015. Root biomechanics in Rhizophora mangle: Anatomy, morphology and ecology of mangrove's flying buttresses. *Annals of Botany.* 115:833–840. doi:10.1093/aob/mcv002
- Nagelkerken I, Schryver AM De, Verweij MC, Dahdouh-Guebas F, Velde G van der and Koedam N. 2010. Differences in root architecture influence attraction of fishes to mangroves: A field experiment mimicking roots of different length, orientation, and complexity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.* 396:27–34. doi:10.1016/j.jembe.2010.10.002
- Niam AG. 2011. Simulasi Distribusi Suhu dan Pola Pergerakan Udara pada Rumah Tanaman Tipe Standard Peak Berventilasi Mekanis Menggunakan CFD (Computational Fluid Dynamics) [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Ohira W, Honda K, Nagai M and Ratanasuwan A. 2013. Mangrove stilt root morphology modeling for estimating hydraulic drag in tsunami inundation

- simulation. *Trees - Structure and Function* 27:141–148. doi:10.1007/s00468-012-0782-8
- Rahardiawan R. 2013. Struktur Geologi Teluk Bone - Sulawesi Selatan Geological Structures of the Bone Gulf- South of Sulawesi. *Jurnal Geologi Kelautan*. 11:141–148.
- Sadrey M. 2009. Drag Force and Drag Coefficient. In *Aircraft Performance*. Germany (DE): VDM Verlag Dr. Müller. doi:10.1002/9780470117859
- Srikanth S, Lum SKY and Chen Z. 2016. Mangrove root: adaptations and ecological importance. *Trees - Structure and Function*. 30:451–465. doi:10.1007/s00468-015-1233-0
- Suzuki T, Zijlema M, Burger B, Meijer MC and Narayan S. 2012. Wave dissipation by vegetation with layer schematization in SWAN. *Coastal Engineering*. 59:64–71. doi:10.1016/j.coastaleng.2011.07.006
- Wolanski E, Mazda Y, King B and Gay S. 1990. Dynamics, flushing and trapping in Hinchinbrook Channel, a Giant Mangrove Swamp, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 31:555–579.
- Yanagisawa H, Koshimura S, Goto K, Miyagi T, Imamura F, Ruangrassamee A and Tanavud C. 2009. The reduction effects of mangrove forest on a tsunami based on field surveys at Pakarang Cape, Thailand and numerical analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 81:27–37. doi:10.1016/j.ecss.2008.10.001
- Zhang X, Chua VP and Cheong HF. 2015. Hydrodynamics in mangrove prop roots and their physical properties. *Journal of Hydro-Environment Research*. 9:281–294. doi:10.1016/j.jher.2014.07.010.