

Distribusi Dan Karakteristik Kualitas Perairan Ekosistem Mangrove Pulau Kecil Taman Nasional Bunaken

Joshian Nicolas William Schaduw

Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Sam Ratulangi, Manado, Sulawesi Utara, Indonesia.

Email Koresponden: schaduw@unsrat.ac.id

Diterima: Januari 2018 / Disetujui: Februari 2018 / Publikasi online: Maret 2018
© 2018 Fakultas Geografi UGM dan Ikatan Geograf Indonesia (IGI)

Abstrak Ekosistem mangrove mempunyai fungsi ekologi dan sosial ekonomi bagi masyarakat pesisir, mempertahankan fungsi ini merupakan langkah mempertahankan fungsi ekosistem disekitarnya diantaranya terumbu karang dan padang lamun. Kajian ini menganalisa kondisi kualitas perairan ekosistem mangrove yang ada pada empat pulau kecil di Taman Nasional Bunaken (Pulau Bunaken; Pulau Manado Tua; Pulau Mantehage; Pulau Nain) dan korelasi karakteristik kualitas air pulau-pulau tersebut (suhu, salinitas, kekeruhan, total suspended solid, pH, Dissolved Oksigen, NO₃-N, dan PO₄-P) dengan menggunakan *Principal Component Analysis* (PCA), kajian ini menggunakan instrumen pengukuran kualitas air *in situ* dan *ex situ* di laboratorium. Selain itu, hasil kualitas air ini akan dibandingkan dengan baku mutu yang telah ditetapkan pemerintah pada ekosistem mangrove, hal ini sebagai bahan pertimbangan pengelolaan ekosistem mangrove dimasa yang akan datang. Hasil yang diperoleh dari kajian ini adalah kualitas air keempat pulau ini masuk dalam kategori baik dan dapat mendukung kelangsungan hidup biota yang berasosiasi didalamnya. Korelasi karakteristik kualitas air sebesar 94%, faktor utama 1 (F1) 79,33% dan faktor utama 2 (F2) 14,22% dengan penciri utama suhu, PO₄-P, dan salinitas, dendogram menunjukkan adanya dua tingkatan hubungan kekerabatan dimana Pulau Nain dan Pulau Manado Tua memiliki kekerabatan kondisi perairan yang sama, diikuti Pulau Bunaken dan Mantehage. Kondisi ini harus dipertahankan dan dimonitoring secara berkala mengingat Taman Nasional Bunaken banyak mendapat tekanan dari aktivitas antropogenik dan perubahan iklim global.

Kata Kunci : Mangrove; Bunaken; Kualitas air; PCA.

Abstract Mangrove ecosystems have ecological and socio-economic functions for coastal communities, preserve these functions is a step to maintain the function of adjacent ecosystems including coral reefs and seagrass beds. This study analyzed the water quality conditions of mangrove ecosystem within four small islands in Bunaken National Park (Bunaken Island, Manado Tua Island, Mantehage Island and Nain Island) and water quality characteristic correlation among these islands (e.g. temperature, salinity, turbidity, total suspended solid, pH, Dissolved Oxygen, NO₃-N, and PO₄-P) using *Principal Component Analysis* (PCA), this study used laboratory *in situ* and *ex situ* water quality measurement instruments. In addition, the results of this water quality then compared with the government standard quality for mangrove ecosystem water quality, this is a consideration for the management of mangrove ecosystems in the future. The results obtained from this study shows the water quality of these four islands in the category of good and can support the existence of associate biota that live in it. The correlation of water quality characteristic was 94%, main factor 1 (F1) 79,33% and main factor 2 (F2) 14,22% with main characteristics are temperature, PO₄-P, and salinity, grouping these characteristics through dendogram showed two levels of relationship where Nain Island and Manado Tua Island have the same relationship of their water condition, followed by Bunaken Island and Mantehage. This condition must be maintained and monitored regularly as Bunaken National Park is under considerable get pressure from anthropogenic activities and global climate change.

Keywords: Mangrove; Bunaken; Water quality; PCA

PENDAHULUAN

Kondisi perairan suatu ekosistem pesisir sangat mempengaruhi produktifitas dan fungsi dari ekosistem tersebut. Poedjirahajoe (2011) menyatakan bahwa, faktor habitat sangat berpengaruh terhadap komposisi penyusun ekosistem mangrove bahkan perubahan kualitas habitat secara kompleks dapat mengakibatkan pergeseran jenis vegetasi penyusunnya. Jenis vegetasi yang mampu beradaptasi pada kondisi habitat yang mengalami perubahan dikhawatirkan

dapat mendominasi kawasan tersebut sehingga menyebabkan terjadinya penurunan keanekaragaman jenis di dalam kawasan. Dalam pengelolaan kawasan mangrove perlu diketahui kondisi ekologis habitat yang sesuai dengan jenis tanaman yang ada pada ekosistem tersebut. Ekosistem mangrove dapat diartikan sebagai ekosistem yang ditumbuhi oleh berbagai vegetasi khas mangrove yang tidak dapat digantikan oleh vegetasi lainnya. Vegetasi tersebut sangat khas baik dalam hal penampakan (*habitus*) hingga pengelompokan

(clustering). Untuk dapat bertahan hidup pada kondisi habitat tersebut, vegetasi mangrove mempunyai pola adaptasi tertentu, mulai dari adaptasi peakaran, adaptasi daun hingga adaptasi bunga dan buah. Salah satu bentuk adaptasi yang khas adalah membentuk struktur komunitas, memiliki pola asosiasi dan zonasi tertentu (Hilmi *et al*, 2015).

Kualitas perairan ekosistem mangrove sangat mempengaruhi kondisi kesehatan tumbuhan mangrove, walaupun tumbuhan ini terkenal dengan tumbuhan yang memiliki adaptasi yang tinggi terhadap perubahan salinitas, tumbuhan ini juga rentan terhadap perubahan kualitas airnya seperti suhu, pH, dan DO. Ketidakstabilan parameter kualitas air tersebut akan mengakibatkan penurunan kualitas bahkan kematian pada mangrove.

Luas total ekosistem mangrove pulau kecil Taman Nasional Bunaken (TNB) mencapai 977,630 ha yang tersebar di empat pulau. Terdapat delapan jenis mangrove yang teridentifikasi di Pulau Mantehage, yaitu : *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculata*, *Rhizophora stylosa*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Bruguiera cylindrical*, *Cerriopstagal*, *Sonneratia alba*, dan *Lumnitzera littorea*, luasan mangrove pulau ini mencapai luas 893,8 ha (Lahabu *et al*, 2015 dan Schaduw, 2012). Pulau Bunaken dengan luas mangrove 71,576 ha, memiliki lima jenis mangrove yaitu *Sonneratia alba*, *Avicennia marina*, *Xylocarpus granatum*, *Rhizophora apiculata*, dan *Bruguiera gymnorrhiza*, yang terbagi dalam empat family yaitu *Sonneratiaceae*, *Avicenniaceae*, *Meliaceae*, dan *Rhizophoraceae*. (Schaduw, 2016), Pulau Manado tua dengan luas 7,814 ha memiliki dua jenis mangrove yaitu jenis *Avicennia alba* dari family *Avicenniaceae* dan *Rhizophora mucronata* dari family *Rhizophoraceae* (Schaduw, 2012), Pulau Nain ini memiliki dua jenis mangrove yaitu jenis *Rhizophora apiculata* dan *Avicennia marina* masing-masing dari family *Avicenniaceae* dan *Rhizophoraceae* dengan luas 4,4 ha. Berbeda halnya dengan kondisi jenis mangrove di Rarowatu Utara, Bombana Sulawesi Tenggara yang meliputi dua desa yaitu Desa Watumentade dan Desa Tunas Baru diperoleh hasil terdapat 6 jenis vegetasi mangrove, antara lain *Alba*, *Avicennia marina*, *Sonneratia alba*, *Lumnitzera littorea*, *Bruguiera gymnorrhiza* dan *Rhizophora apiculata* (Alimuna *et al*, 2009), sedangkan jumlah jenis mangrove yang ada di Andai Kabupaten Manokwari komposisi jenis vegetasi penyusun hutan mangrove Andai untuk tingkat semai terdiri dari 31 jenis (22 genus dan 17 family), tingkat pancang 29 jenis (17 genus dan 11 family), dan tingkat pohon 30 jenis (18 genus dan 11 family) (Matan *et al*, 2010). Berdasarkan kajian Arizona dan Sunarto (2009) di Kampung Tobati Jayapura jenis mangrove didominasi genus *Rhizophoraceae* dengan jenis *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculata* dan *Rhizophora stylosa*, sedangkan Kampung Nafri ditemukan 9 jenis mangrove sejati yaitu : *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora*

apiculata, *Sonneratia alba*, *Aegiceras comiculatum*, *Cerriops tagal*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *Scyphiphora hydrophyllacea*, dan *Nypa fructicans*. Tingginya keanekaragaman mangrove membuat ekosistem ini sangat penting untuk dilestarikan, ekosistem mangrove memberikan kontribusi yang sangat besar bagi produktivitas perairan pesisir, transport bahan organik, pelindung pantai, pereduksi bahan pencemar, dan tempat migrasi onthogenik biota yang berasosiasi di dalamnya.

Kajian ini bertujuan untuk menganalisa kondisi kualitas air ekosistem mangrove pulau kecil yang ada pada Taman Nasional Bunaken. Keempat pulau yang menjadi objek penelitian adalah Pulau Mantehage, Pulau Bunaken, Pulau Manado Tua, dan Pulau Nain. Nilai strategis dari lokasi penelitian antara lain Pulau Mantehage adalah salah satu Pulau terluar Indonesia di Sulawesi utara yang memiliki luasan mangrove terbesar, Pulau Bunaken adalah destinasi wisata kelas dunia untuk keindahan bawah laut, sedangkan Pulau Nain adalah salah satu sentra budidaya rumput laut Sulawesi utara. Selain itu tingginya aktivitas manusia dan pengaruh perubahan iklim di pulau kecil akan meningkatkan kerentanan ekosistem ini. Manfaat dari kajian ini adalah sebagai bahan masukan untuk pengambil kebijakan, khususnya pengelola Taman Nasional Bunaken untuk pengembangan dan pelestarian ekosistem mangrove yang ada di sana.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada ekosistem mangrove yang ada di empat pulau kecil Taman Nasional Bunaken diantaranya Pulau Mantehage, Pulau Bunaken, Pulau Manado Tua, dan Pulau Siladen. Taman Nasional Bunaken memiliki lima pulau kecil, hanya saja Pulau Siladen tidak memiliki ekosistem mangrove. Masing-masing pulau ini memiliki jumlah Desa yang berbeda, sehingga stasiun pengamatan diambil pada masing-masing desa. Kajian ini menggunakan 4 Stasiun (pulau) dan 8 Sub stasiun (desa). Taman Nasional Bunaken masuk dalam wilayah administrasi Kota Manado dan Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara (Gambar 1). Kajian ini dilakukan pada bulan November 2017.

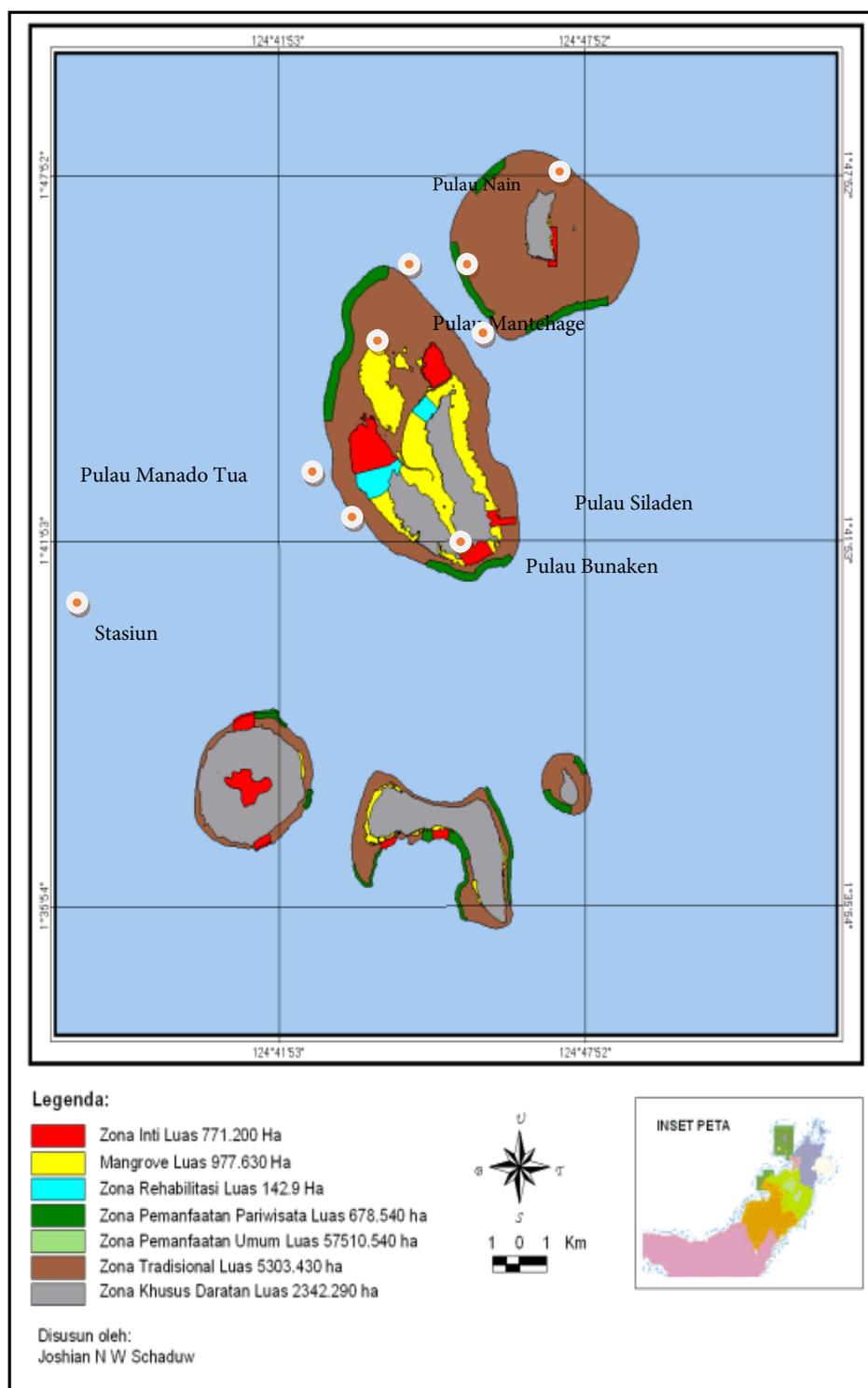
Jenis dan Analisis data

Variabel penelitian ini adalah suhu, salinitas, kekeruhan, total suspended solid, pH, Dissolved Oksigen, NO₃-N, dan PO₄-P. Pada setiap pulau stasiun pengamatan ditempatkan pada masing-masing desa. Pulau Mantehage empat desa, Pulau Bunaken dua desa, Pulau Manado Tua satu desa, dan Pulau Nain satu Desa. Setiap jalur dibagi menjadi tiga zona, yaitu proksimal, medial, dan distal yang masing-masing zona diambil tiga kali ulangan. Semakin tebal mangrove maka jarak antar zona akan semakin panjang dan sebaliknya.

Kualitas Air

Parameter yang dapat diukur di lapangan (*in situ*) seperti salinitas, suhu, DO, dan PH langsung diukur dan dicatat hasilnya, kemudia dianalisa secara deskriptif dan tabulasi. Pada kajian ini alat yang digunakan adalah Horiba *for Water Quality*, sedangkan untuk TSS, Kekeruhan, NO-3N dan PO4-P sampel dimasukkan

dalam wadah botol kaca (*ex situ*), kemudian dianalisis di Laboratorium Biologi Laut Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Sam Ratulangi Manado, untuk variabel TSS, Kekeruhan, NO-3N dan PO4-P analisa dilakukan di laboratorium dengan menggunakan metode analisa yang digunakan Kurniadi *et al*, (2015).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian Pulau-Pulau Kecil Taman Nasional Bunaken
Principle Components Analysis

Untuk melihat hubungan antar stasiun pengamatan penelitian berdasarkan variabel yang diukur digunakan Analisis Komponen Utama (*Principle Components Analysis*). Metode ini bertujuan mendeterminasi sumbu-sumbu optimum tempat diproyeksikannya individu-individu dan / atau variabel-variabel. Untuk menentukan hubungan antara dua variabel digunakan pendekatan matriks korelasi yang dihitung dari indeks sintetik (Ludwig dan Reynolds, 1988), Indeks yang digunakan adalah indeks tertinggi dan terendah masing-masing atribut setiap dimensi, jadi dalam kasus ini ada delapan indeks dari empat pulau objek penelitian. PCA merupakan metode statistik deskriptif yang bertujuan menyajikan informasi maksimum suatu matriks data kedalam bentuk grafik (Bengen 2000; Bakus 2007). Matriks tersebut terdiri dari stasiun penelitian yang dalam hal ini adalah PPK TNB (matriks baris), serta karakter suhu, salinitas, kekeruhan, total suspended solid, pH, Dissolved Oksigen, NO₃-N, dan PO₄-P (matriks kolom). Dalam menganalisa, masing-masing karakter dianalisa secara terpisah. Karena data tersebut tidak mempunyai unit pengukuran yang sama, maka data ini dinormalisasikan lebih dahulu melalui pemusatan dan pereduksian. Dengan demikian nilai PCA tidak direalisasikan dari nilai-nilai parameter inisial, tetapi dari indeks sintetik yang diperoleh dari kombinasi linier nilai-nilai parameter inisial. Analisis ini bertujuan untuk Untuk mengekstraksi informasi yang terdapat dalam matriks data yang berukuran besar; menghasilkan suatu representasi grafik yang memudahkan interpretasi dan mempelajari suatu matriks data dari sudut pandang kemiripan antara individu atau hubungan antara variabel. Ludwig dan Reynolds, (1988) menyederhanakan persamaan ini sebagai berikut : $R_s \times s = A_s \times n \times A_t \times n \times s$ dimana: $R_s \times s =$ Matriks korelasi rij; $A_s \times n =$ Matriks indeks sintesis rij; $A_t \times n \times s =$ Matriks transpose (pertukaran baris/kolom) dari matriks A

Semakin kecil jarak *Euclidean* antara dua variabel maka semakin mirip karakteristik variabel tersebut. Selain itu dengan analisa PCA ini maka kita dapat menentukan variabel yang menjadi peubah penting dalam penelitian ini (Legendre & Legendre, 2014). Pengelohan data dilakukan dengan menggunakan program *XL STAT*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu

Kondisi suhu pada perairan ekosistem mangrove pulau-pulau kecil TNB tergolong baik dan masih sesuai dengan baku mutu untuk biota laut serta untuk kegiatan pariwisata. Suhu perairan bagian depan kearah laut lebih tinggi dibandingkan bagian tengah dan belakang, hal ini dipengaruhi penetrasi cahaya matahari terhadap kolom air. Bagian belakang ekosistem ini yang berdekatan dengan daratan ditutupi oleh kanopi mangrove,

sehingga suhu pada bagian ini cenderung rendah. Suhu perairan tertinggi pada pulau Nain dan Pulau Manado (29,67°C), sedangkan suhu terendah adalah pulau Mantehage (28,96°C) (Tabel 1). Untuk data yang lebih rinci tentang kondisi suhu pulau kecil dapat dilihat pada Tabel 1. Kondisi suhu ini juga dipengaruhi oleh luas dari ekosistem mangrove, terindikasi pulau yang memiliki ekosistem mangrove yang besar kondisi suhu perairan lebih rendah dibandingkan yang kecil. Suhu perairan Kabupaten Barru berkisar antara 30,2°C -30,3°C (Malik, 2013), sedangkan suhu perairan ekosistem mangrove di distrik Liquisa Timor Leste dikisarn 28°C -30°C (Jesus, 2012), kajian Wantasen (2013) di perairan ekosistem mangrove Desa Basaan I terhadap suhu perairan menunjukkan angka 31°C, suhu perairan ekosistem mangrove pada patung Ngurah Rai Tuban Denpasar memiliki nilai rata-rata 29,1°C (Suriani, 2006). Kajian kualitas air di Sungai Buaya di Pulau Bunyu Kalimantan Utara mendapatkan nilai rata-rata pengukuran suhu berkisar antara 28-28,5 °C pada saat pasang dan 28-29,3 °C saat surut, tidak terdapat perbedaan yang besar baik saat pasang maupun surut (Kurniadi, 2015). Ulqodry *et al*, (2010) dalam kajiannya di perairan mangrove Tanjung Api-api Sumatera Selatan mendapatkan hasil pengukuran suhu berkisar 27,6°C-30,4°C. Sedangkan suhu air pada ekosistem mangrove di Kampung Tobati dan Kampung Nafiri Jayapura berkisar 26,33 °C – 32,17 °C (Arizona dan Sunarto, 2009). Suhu yang baik untuk mangrove tidak kurang dari 20°C (Kolehmainen *et al*, 1974). Suhu merupakan salah satu faktor eksternal yang paling mudah untuk diteliti dan ditentukan. Aktivitas metabolisme serta penyebaran organisme air banyak dipengaruhi oleh suhu air. Pada umumnya suhu permukaan perairan adalah berkisar antara 28°C-31°C (Nontji, 2005). Mangrove dapat tumbuh dengan baik pada daerah tropis dengan temperatur di atas 20°C (Aksornkoae, 1993). Suhu merupakan salah satu faktor yang sangat menentukan dalam proses metabolisme organisme di perairan. Suhu yang mendadak berubah atau terjadinya perubahan suhu yang ekstrim akan mengganggu kehidupan organisme atau dapat menyebabkan kematian. Suhu perairan dapat mengalami perubahan sesuai dengan musim, letak lintang suatu wilayah, letak tempat terhadap garis edar matahari, sirkulasi udara, penutupan awan, aliran air, waktu pengukuran dan kedalaman air.

Kekeruhan

Nilai rata-rata kekeruhan pada keempat pulau ini cenderung diatas nilai baku mutu (<5NTU), akan tetapi dua lokasi nilai ini berada dibawah baku mutu yaitu pada bagian depan Pulau Mantehage (4,45 NTU) dan depan Pulau Bunaken (3,70 NTU). Tingginya nilai kekeruhan ini tentu saja berkaitan dengan substrat dari ekosistem mangrove yang didominasi lumpur dan masukkan material dari daratan. Nilai rata-rata kekeruhan ini berkisar antara 5,41-5,94 NTU (Tabel 1). Walaupun nilai

Tabel 1. Nilai rata-rata parameter kualitas air

	Satuan	C	NTU	mg/L		PSU	mg/L	mg/L	mg/L
Pulau	Biota	28-32	< 5	80	7-8.5 ^(d)	<34	>5	0.008	0.015
	Pariwisata	alami	< 5	20	7-8.5 ^(d)	alami ^{3(e)}	>5	0.008	0.015
	Parameter	Suhu	Kekeruhan	TSS	pH	Salinitas	DO	NO3-N	PO4-P
Mantehage	Belakang	28,25	6,41	47,50	7,96	28,25	5,08	0,07	0,37
	Tengah	28,75	5,93	37,75	8,19	29,00	5,59	0,06	0,18
	Depan	29,88	4,45	28,50	8,26	30,00	6,40	0,03	0,17
	Rata-rata	28,96	5,60	37,92	8,14	29,08	5,69	0,05	0,24
Bunaken	Belakang	28,50	6,33	49,00	7,84	28,50	4,92	0,04	0,05
	Tengah	29,00	6,20	36,00	8,16	29,50	5,99	0,06	0,06
	Depan	29,50	3,70	26,00	8,21	30,00	6,40	0,02	0,03
	Rata-rata	29,00	5,41	37,00	8,07	29,33	5,77	0,04	0,05
Manado Tua	Belakang	29,00	6,23	38,00	8,13	30,00	4,73	0,03	0,04
	Tengah	30,00	6,18	25,00	8,21	30,00	5,62	0,02	0,04
	Depan	30,00	5,29	18,00	8,26	30,00	5,86	0,01	0,02
	Rata-rata	29,67	5,90	27,00	8,20	30,00	5,40	0,02	0,03
Nain	Belakang	29,00	6,28	30,00	8,10	29,00	5,27	0,02	0,03
	Tengah	30,00	6,39	28,00	8,14	29,00	5,36	0,03	0,03
	Depan	30,00	5,14	2,00	8,18	30,00	6,13	0,01	0,02
	Rata-rata	29,67	5,94	26,67	8,14	29,33	5,59	0,02	0,03

kekeruhan pada setiap pulau melebihi baku mutu akan tetapi tidak melebihi dari 6 NTU, dan hal ini masih bisa ditolerir oleh mangrove dan biota yang berasosiasi didalamnya. Nilai kekeruhan pada ekosistem mangrove sangat berfluktuasi mengikuti musim, pasang surut, dan curah hujan.

Total Suspended Solid

Kisaran nilai rata-rata TSS pada keempat pulau ini 26,67mg/l (P.Nain) - 37,92mg/l (P.Mantehage), nilai ini dibawah baku mutu yang ditetapkan yaitu 80 mg/l (Tabel 1). Sama halnya dengan suhu dan kekeruhan, bagian belakang dari ekosistem mangrove memiliki nilai TSS rata-rata yang tinggi, masukkan dari daratan memberikan kontribusi yang besar akan nilai ini. Pulau Manado Tua dan Nain memiliki nilai yang rendah untuk TSS, hal ini dipengaruhi oleh jumlah penduduk yang ada di pulau ini cenderung lebih sedikit dibandingkan pulau lainnya. Kondisi TSS ini masih dibawah baku mutu air laut untuk biota, akan tetapi sudah melebihi baku mutu air laut untuk kegiatan pariwisata. Nilai TSS ini lebih besar dibandingkan TSS yang ada pada Desa Basaan I sebesar 44 mg/l (Wantasen, 2013). Kisaran TSS yang ada pada perairan mangrove Tanjung Api-api Sumatera Selatan berkisar 27,67 mg/l – 259,33 mg/l, tingginya TSS dan TOM karena pada daerah mulut

muara sungai sering terjadi akumulasi sedimen dan bahan organik baik dari daratan maupun dari lautan, kondisi ini dapat mengganggu proses bioekologis ekosistem ini (Ulqodry *et al*, 2010).

pH

Kondisi pH pada perairan ekosistem mangrove pada lokasi penelitian berkisar antara 8,07 – 8,20, kondisi ini masih dalam kisaran baku mutu air laut untuk biota dan kegiatan pariwisata. Nilai pH berbanding terbalik dengan parameter lainnya, bagian depan lebih tinggi dibandingkan bagian belakang, hal ini diakibatkan pengenceran pada bagian depan lebih tinggi dibandingkan bagian tengah dan belakang (Tabel 1). Nilai pH rata-rata tertinggi pada Pulau Manado Tua (8,20) dan terendah pada Pulau Bunaken (8,07). Nilai ini tidak jauh berbeda dengan kisaran pH pada Distrik Liquisa Timor Leste dari 8-8,5 (Jesus, 2012). Kisaran nilai pH pada ekosistem mangrove di Kabupaten Barru antara 7,3-7,5 (Malik, 2013), Desa Basaan I kisaran pH 7 -7,3 (Wantasen, 2013) dan nilai rata-rata pH pada ekosistem mangrove di Tuban Denpasar sebesar 7,56. Kajian Ulqodry *et al*, (2010) pada ekosistem mangrove Tanjung Api-api Sumsel pH air disana berkisar 6,60 – 8,22, sedangkan Kajian Arizona dan Sunarto, (2009), pada ekosistem mangrove di Jayapura kisaran nilai pH

dari 7,00 – 7,67. Perbedaan nilai pH pada masing-masing daerah perairan sangat dipengaruhi oleh karakteristik oseanografi dan geomorfologi daerah tersebut. Perairan terbuka cenderung memiliki nilai pH yang lebih tinggi dibandingkan dengan perairan tertutup, pulau kecil memiliki nilai pH yang cenderung basa dan pulau besar dengan banyak aliran sungai cenderung menurunkan nilai pH menjadi asam. Mangrove akan tumbuh dan berkembang dengan baik pada kisaran pH 6,2 – 8 (Arksornkoae, 1993).

Salinitas

Salinitas perairan ekosistem mangrove rata-rata berkisar antara 29,08 PSU – 30,00 PSU, Pulau dengan nilai rata-rata salinitas terendah adalah Pulau Mantehage (29,08 PSU) dan tertinggi adalah Pulau Manado Tua dan Pulau Bunaken (30,00 PSU). Bagian belakang dari ekosistem mangrove yang mendekati daratan memiliki nilai salinitas yang lebih rendah (Tabel 1). Kondisi ini agak berbeda dengan salinitas yang ada pada ekosistem mangrove di Kabupaten Barru yang hanya 26 PSU (Malik, 2013). Salinitas ekosistem mangrove di di sub district Liquisa Timor-Leste berkisar 30-32 PSU (Jesus, 2012), hal ini sama dengan kondisi yang ada pada ekosistem mangrove di Desa Basaan I (Wantasen, 2013), sedangkan salinitas mangrove di Tanjung Api-api berkisar antara 28-31 PSU (Ulqodry *et al*, 2010). Kajian Arizona dan Sunarto, (2009), pada ekosistem mangrove di Kampung Tobati dan Nafiri Jayapura mendapatkan hasil pengukuran salinitas yang sangat tinggi, dengan kisaran 33,18 – 45,28 PSU. Salinitas yang tinggi (> 35 ‰) dapat berpengaruh buruk bagi vegetasi mangrove, karena dampak dari tekanan osmotik yang negatif (Bengen, 2000). Perubahan salinitas secara spasial tidak berpengaruh langsung terhadap vegetasi tetapi dapat membahayakan biota lain yang berasosiasi dengan vegetasi (Poedjirahajoe, 2007). Peningkatan salinitas dapat menyebabkan kematian bagi biota termasuk fitoplankton sebagai penghasil oksigen, akibatnya kandungan oksigen terlarut di perairan dapat mengalami penurunan. Peningkatan ketebalan lumpur dapat menyebabkan penurunan oksigen terlarut. Hal ini dapat terjadi karena penambahan substrat berasal dari arus pasang yang membawa substrat lumpur sehingga seringkali menyebabkan peningkatan kekeruhan air. Air yang keruh akan menyulitkan penetrasi cahaya masuk ke permukaan air sehingga mengakibatkan fitoplankton tidak dapat berfotosintesis secara optimal, akibatnya jumlah oksigen terlarut yang dihasilkan menjadi lebih rendah (Poedjirahajoe, 2017).

Oksigen terlarut

Sumber oksigen terlarut dalam air berasal dari difusi oksigen dari udara, arus atau aliran air melalui air hujan serta aktivitas fotosintesis oleh tumbuhan air dan fitoplankton (Novonty & Olem,

1994). Oksigen diperlukan oleh semua makhluk yang hidup di air seperti ikan, udang, kerang dan hewan lainnya termasuk mikroorganisme seperti bakteri. Oksigen terlarut sebagai pengatur metabolisme tubuh organisme untuk tumbuh dan berkembang biak. Kisaran nilai rata-rata DO pada ekosistem mangrove lokasi penelitian dari 4,73-5,70 mg/l (Tabel 1). Sama halnya dengan salinitas, nilai DO rendah terdapat pada bagian belakang mangrove, dan tinggi pada bagian depan, hal ini dipengaruhi oleh pencampuran massa air yang lebih baik pada bagian depan, dan masukkan dari daratan yang dapat menurunkan nilai DO. Nilai DO perairan ekosistem ini cukup baik karena masih dalam kisaran baku mutu. Berbeda dengan kondisi DO pada perairan ekosistem mangrove di Kabupaten Barru yang mencapai 7,0 – 8,0 mg/l (Malik, 2013), di Desa Basaan I nilai DO berkisar 8,95 – 10,10 mg/l (Wantasen, 2013), sedangkan pada perairan mangrove Tanjung Api-api kisaran DO dari 4,89 – 5,35 mg/l. Kadar oksigen terlarut berfluktuasi secara harian dan musiman tergantung pada pencampuran (*mixing*) dan pergerakan (*turbulence*) massa air, aktivitas fotosintesis, respirasi, dan limbah yang masuk ke badan air (Effendi 2003).

Nitrat

Kandungan nitrat rata-rata dalam perairan ekosistem mangrove keempat pulau ini berkisar antara 0,02 - 0,05 mg/l (Tabel 1), bagian yang berdekatan dengan daratan memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan yang didepan, hal ini masuk dalam kategori baik karena masih sesuai dengan baku mutu lingkungan. Nilai nitrat ini sangat berbeda dengan kondisi nitrat pada ekosistem mangrove yang ada di Tanjung Api-api Sumatera Selatan yang mencapai 1,00 mg/l (Ulqodry *et al*, 2010). Di Sungai Buaya Pulau Bunyu Kalimantan Utara nilai nitrat (NO₃-N) 0,005 - 0,861 mg/l saat pasang dan 0,004-0,564 mg/l saat surut (Kurniadi *et al*, 2015), sedangkan kondisi nitrat pada ekosistem mangrove di Tuban Denpasar sebesar 13,5ppm (Suriani, 2006). Kandungan nitrat pada sub district Liquisa Timor-Leste berkisar antara 0,08-0,21 mg/l (Jesus, 2012), dan kandungan nitrat di Kabupaten Barru berkisar 0,005-0,025 mg/l (Malik, 2013). Tinggi rendahnya kandungan nitrat suatu perairan ekosistem mangrove dipengaruhi oleh karakteristik lingkungan tersebut. Nitrat (NO₃) adalah bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan unsur hara utama bagi pertumbuhan tanaman dan alga. Nitrat nitrogen sangat mudah terlarut dalam air dan bersifat stabil. Senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan. Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat dengan bantuan mikro-organisme adalah proses yang penting dalam siklus nitrogen (Effendi, 2003). Nitrat (NO₃) di perairan laut adalah senyawa mikronutrien pengontrol produktivitas primer di lapisan permukaan

daerah eufotik. Kadar nitrat di daerah eufotik sangat dipengaruhi oleh transportasi nitrat, oksidasi amoniak oleh mikroorganisme dan pengambilan nitrat untuk proses produktivitas primer. Nitrat adalah bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrisi utama bagi pertumbuhan tanaman dan alga. Nitrat nitrogen sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan. Nitrifikasi yang merupakan proses oksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat adalah proses yang penting dalam siklus nitrogen dan berlangsung pada kondisi aerob. Oksidasi amonia menjadi nitrit dilakukan oleh bakteri *Nitrosomonas*, sedangkan oksidasi nitrit menjadi nitrat dilakukan oleh bakteri *Nitrobacter* (Schaduw *et al.*, 2013).

Fosfor

Kandungan fosfor pada perairan keempat pulau memiliki nilai rata-rata dengan kisaran 0,05-0,24 mg/l, hal ini tergolong baik karena sesuai dengan daya dukung lingkungan perairan untuk kelangsungan hidup biota akuatik dan sesuai dengan baku mutu yang ada (Tabel 1). Pulau Mantehage memiliki nilai yang tertinggi, sedangkan Pulau Manado Tua dan Pulau Nain dengan nilai yang terendah. Perbedaan nilai ini sangat dipengaruhi oleh kondisi ekologis pulau terutama masukan dari daratan dan arus. Kondisi PO₄-P di perairan ekosistem mangrove Kabupaten Barru lebih kecil dibandingkan Pulau Kecil di Bunaken, dengan nilai rata-rata 0,014 mg/l (Malik, 2013), berbeda halnya dengan kondisi PO₄-P yang ada di Desa Basaan I, dimana nilainya berkisar 0,013-0,122 mg/l (Wantasen, 2013), sedangkan nilai PO₄-P perairan yang cukup tinggi berada di perairan mangrove Tanjung api-api Sumatera selatan dengan kisaran 0,12 – 0,40 mg/l (Ulqodry *et al.*, 2010). Fosfat merupakan bentuk fosfor yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan dan merupakan unsur yang esensial bagi tumbuhan tingkat tinggi dan alga, sehingga unsur ini menjadi faktor pembatas bagi tumbuhan dan alga akuatik serta sangat mempengaruhi produktivitas perairan. Berdasarkan kadar fosfor total, perairan diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu: perairan dengan tingkat kesuburan rendah, yang memiliki kadar fosfat total berkisar antara 0 – 0,02 mg/liter; perairan dengan tingkat kesuburan sedang memiliki kadar fosfat total 0,021 – 0,05 mg/liter; dan perairan dengan tingkat kesuburan tinggi, yang memiliki kadar fosfat total 0,051 – 0,1 mg/liter (Effendi, 2003).

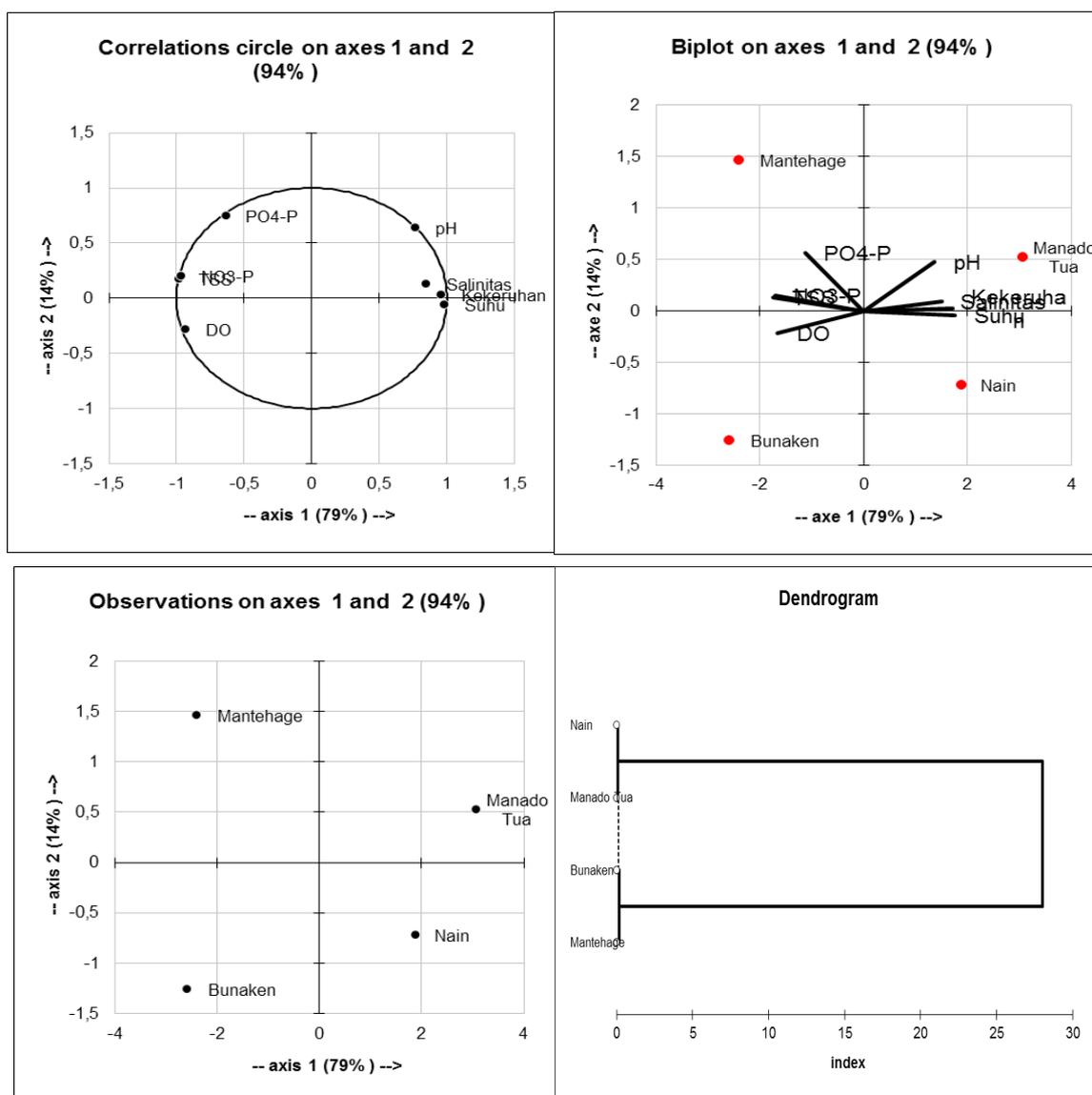
Distribusi karakteristik kualitas air ekosistem mangrove

Hasil analisis PCA yang ada pada Tabel 2 mengindikasikan pengelompokan delapan karakteristik kualitas air cukup dilakukan dengan menggunakan faktor 1 dan 2. Kedua faktor ini sudah dapat menjelaskan 94% (F1=79,33% ; F2=14,22%) dari

total karakteristik yang ada (Tabel 2 dan Gambar 2). Faktor lainnya tidak lagi digunakan karena tidak memiliki kemampuan yang tinggi dalam menerangkan variasi total atau yang lebih rendah dari kontribusi rata-rata setiap karakter. Delapan karakteristik yang ada memiliki variabel yang berpengaruh nyata terhadap variabel baru. Pada tabel *eigenvalues* dan tabel *factor loadings* menunjukkan bahwa faktor utama 1 (F1) merepresentasikan sekitar 79,33% dari keragaman data dengan variabel penciri utamanya yaitu suhu (nilai *factor loadings* sebesar 0,3912) dan TSS (nilai *factor loadings* sebesar -0,3878). Namun variabel TSS berkorelasi negatif, dimana dengan meningkatnya TSS di sisi lain justru dapat menurunkan suhu perairan. Faktor utama 2 (F2) merepresentasikan 14,22% dari keragaman data, dengan variabel pencirinya PO₄-P dengan nilai *factor loadings* 70,16%, sedangkan faktor utama 3 (F3) merepresentasikan 6% dari keragaman data, dengan variabel pencirinya salinitas dengan *factor loading* 71%, karena direpresentasikan dengan karakteristik faktor *loadings* yang berbeda, maka tidak terdapat kaitan satu sama lain, hal ini artinya karakteristik bersifat independen. Berbeda halnya dengan kajian Ulqodry *et al.* (2010) terhadap karakteristik perairan mangrove Tanjung Api-api, untuk Stasiun I (daerah laut) dicirikan oleh suhu, salinitas, DO dan pH yang tinggi, Stasiun II (daerah muara) lebih dicirikan oleh nilai TOM dan TSS yang tinggi sedangkan Stasiun III (daerah belakang muara/sungai) sedikit dicirikan oleh parameter fisika-kimia air dibandingkan dengan stasiun-stasiun yang berada di daerah laut dan muara. Kajian Poedjirahajoe (2017) yang menggunakan PCA dalam menganalisa distribusi spasial vegetasi di Pemalang menggunakan variabel jenis mangrove dan kualitas air sebagai parameter penelitian, hasilnya adalah sebaran spasial karakteristik faktor habitat mangrove pada setiap stasiun pengamatan di Pantai Utara Pemalang membentuk tiga *cluster* dengan karakteristik habitat yang berbeda. *Cluster* 1 terdiri dari *R. mucronata* dan *S. alba* dengan karakteristik habitat berupa pH, salinitas, dan tebal lumpur yang rendah, suhu yang sedang, dan oksigen terlarut yang tinggi. *Cluster* 2 tersusun oleh *Acanthus ilicifolius*, *Avicennia alba*, dan *R. apiculata* dengan karakteristik habitat berupa suhu yang rendah serta tebal lumpur, pH, oksigen terlarut, dan salinitas yang sedang. *Cluster* 3 berupa *Avicennia marina* dengan karakteristik habitat berupa pH, salinitas, suhu, dan tebal lumpur yang tinggi serta oksigen terlarut yang rendah.

Tabel 2. *Eigenvalue* dan *Eigenvectors* faktor hasil PCA terhadap variabel karakteristik

Eigenvalues	1	2	3	4	5	6	7	8
Value	6,3464	1,1378	0,5158	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
% of variability	0,7933	0,1422	0,0645	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Cumulative %	0,7933	0,9355	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
Vectors :	1	2	3	4	5	6	7	8
Suhu	0,3912	-0,0538	-0,2212	-0,2453	-0,3482	0,7682	0,0673	-0,1376
Kekeruhan	0,3817	0,0268	-0,3797	0,1400	0,5739	0,0985	-0,5230	0,2777
TSS	-0,3878	0,1580	0,1819	0,3072	-0,2923	0,3636	-0,2303	0,6530
pH	0,3045	0,5982	-0,0906	0,6170	-0,0381	-0,0118	0,3848	-0,1037
Salinitas	0,3370	0,1188	0,7146	-0,2591	0,3761	0,1557	0,2452	0,2624
DO	-0,3692	-0,2663	-0,3236	0,0739	0,4542	0,2814	0,6090	0,1619
NO3-P	-0,3812	0,1904	0,2659	0,1562	0,3317	0,4028	-0,2991	-0,6013
PO4-P	-0,2507	0,7016	-0,2821	-0,5900	0,0685	-0,0456	0,0197	0,1005



Gambar. Sebaran dan Pengelompokan Karakteristik Kualitas Air

Pulau Mantehage dicirikan oleh tingginya nilai TSS, NO₃-N dan PO₄-P, sedangkan Pulau Bunaken dicirikan oleh DO yang cukup tinggi (Gambar 2), akan tetapi Pulau Mantehage dan Pulau Bunaken kesamaannya dicirikan nilai suhu yang rendah (Cluster 1). Pulau Manado Tua dicirikan dengan tingginya nilai PH, salinitas, dan kekeruhan sedangkan Pulau Nain dicirikan oleh tingginya nilai suhu, kesamaannya Pulau Manado Tua dan Pulau Nain dicirikan dengan nilai kekeruhan yang rendah (Cluster 2). Dendogram memperlihatkan hasil analisis cluster pada dua tingkatan tersebut (Gambar 2)

KESIMPULAN

Kondisi perairan ekosistem mangrove pada keempat pulau lokasi penelitian dalam kondisi baik dan masih sesuai dengan baku mutu lingkungan yang ada, hal ini mengindikasikan bahwa proses bioekologis pada daerah ini dapat berjalan dengan baik, dan belum mengalami perubahan yang signifikan. Hasil PCA menggambarkan korelasi karakteristik kualitas air sebesar 94% yang terdiri dari faktor utama 1 (F1) 79,33% dan faktor utama 2 (F2) 14,22% dengan penciri utama suhu, PO₄-P, dan salinitas, sedangkan hasil *Cluster analisis* mengelompokkan empat pulau kecil ini dalam 2 cluster, *Cluster* 1 Pulau Mantehage dan Pulau Bunaken yang dicirikan oleh suhu, DO, TSS, NO₃-N dan PO₄-P, sedangkan *Cluster* 2 Pulau Manado Tua dan Pulau Nain dicirikan oleh nilai PH, salinitas, dan kekeruhan. Kondisi kualitas air ini harus terus dipertahankan dan dimonitoring untuk memastikan tidak adanya perubahan yang dapat mengganggu ekosistem mangrove pulau kecil yang ada di Taman Nasional Bunaken.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Balai Taman Nasional Bunaken (BTNB); Dewan Pengelola Taman Nasional Bunaken (DPTNB); Pemerintah Kota Manado; Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Sulut; dan Laboratorium Teknologi Akuakultur FPIK UNSRAT, atas semua bantuan material dan imaterial serta kerjasamanya selama kajian ini dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

Aksornkoe S. (1993). Ecology and Management of Mangrove. IUCN. Bangkok. Thailand.

Alimuna W, Sunarto, Sigit H. (2009). Pengaruh Aktivitas Masyarakat Terhadap Kerusakan Hutan Mangrove Di Rarowatu Utara, Bombana Sulawesi Tenggara. *Majalah Geografi Indonesia*. 23 (2)

Arizona M dan Sunarto. (2009). Kerusakan Ekosistem Mangrove Akibat Konversi Lahan Di Kampung Tobati Dan Kampung Nafri, Jayapura. *Majalah Geografi Indonesia*. 23 (3) : 18 – 39

Bakus GJ. (2007). Quantitatif Analysis of Marine Biological Communities Field Biology and Environmental. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.

Bengen DG. (2002). Pedoman Teknis Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan. IPB. Bogor.

Bengen DG. (2000). Pengenalan dan Pengelolaan Ekosistem Mangrove. Pusat Kajian Sumberdaya Pesisir dan Lautan. IPB. Bogor.

Effendi H. (2003). Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Kanisius, Yogyakarta.

Hilmi E, AA Siregar, L Febryanni, R Novaliani, S Amir dan AD Syakti. (2015). Struktur Komunitas, Zonasi Dan Keanekaragaman Hayati Vegetasi Mangrove Di Segara Anakan Cilacap. *Omni-akuatika*, 11 (2): 20–32

Jesus A. (2012). Kondisi Ekosistem Mangrove Di Sub District Liquisa Timor-Leste. *Depik* 1(3): 136-143

Kurniadi B, Sigid H, Enan M, Adiwilaga. (2015). Kualitas Perairan Sungai Buaya di Pulau Bunyu Kalimantan Utara pada Kondisi Pasang Surut. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)* 20 (1): 53-58

Kolehmainen S, T Morgan and R Castro. (1974). Mangrove Root Communities in A Thermally altered area in Guayanilla Bay. In Gibbons, J.W., and R.R. Sharitz (Eds) *Thermal Ecology*. U.S. atomic energy Commission.

Legendre P and L Legendre. (2014). *Numerical Ecology, Developments In Enviromental Modelling*. Elsevier.

Ludwig JA and JF Reynolds. (1988). *Statistical Ecology: A Primer on Methods and Computing*. John Willey & Sons. Singapore.

Malik A. (2013). Analisis Kualitas Air Pada Kerapatan Mangrove Yang Berbeda Di Kabupaten Barru. *Octopus*. 2 (2) : 159-193

Matan Opm, Djoko M, Ritohardoyo (2010). Keanekaragaman Dan Pola Komunitas Hutan Mangrove di Andai Kabupaten Manokwari. *Majalah Geografi Indonesia*. 24 (1) 36-53

Nonji A. (2005). *Laut Nusantara*. Penerbit Djambatan. Jakarta.

Novonty V and Olem H. (1994) *Water Quality, Prevention, Identification And Management Of Diffuse Pollution*. Van Nostrans Reinhold. New York

Poedjirahajoe E. (2007). Dendogram Zonasi Pertumbuhan Mangrove Berdasarkan Habitatnya di kawasan rehabilitasi pantai utara jawa tengah bagian barat. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 1 (2) : 10-21

- Poedjirahajoe E, Ragil W, Ni Putu Diana M. (2011). Kajian Ekosistem Mangrove Hasil Rehabilitasi Pada Berbagai Tahun Tanam Untuk Estimasi Kandungan Ekstrak Tanin Di Pantai Utara Jawa Tengah. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. 5 (2) : 99-107
- Poedjirahajoe E, Djoko M, F Kusuma (2017). Penggunaan *Principal Component Analysis* Dalam Distribusi Spasial Vegetasi Mangrove Di Pantai Utara Pematang. *Jurnal Ilmu Kehutanan* 11 : 29-42
- Schaduw JNW.(2012). Pengelolaan Ekosistem Mangrove Pulau Kecil Berbasis Mitigasi (Kasus Pulau Kecil Taman Nasional Bunaken). Disertasi (Tidak dipublikasikan). IPB.
- Schaduw JNW, Edwin N, Joppy M. (2013). Land Suitability Of Seaweed Farming In Minahasa Regency, North Sulawesi Province. *Aquatic Science & Management*. 1 (1) : 72-81
- Schaduw JNW. (2016). Kondisi Ekologi Mangrove Pulau Bunaken Kota Manado Provinsi Sulawesi Utara. *Jurnal Sains Lppm Unsrat*. 3 (2) : 64-74
- Suriani LH. (2006). Kualitas Air Mangrove Ditinjau Dari Sifat Fisik-Kimia Di Hutan Mangrove Patung Ngurah Rai Tuban Denpasar Selatan Bali. *Ecotrophic* 3 (1) : 7 – 9
- Ulqodry TZ, Dietriech GB, Richardus FK. (2010). Karakteristik Perairan Mangrove Tanjung Api-Api Sumatera Selatan Berdasarkan Sebaran Parameter Lingkungan Perairan Dengan Menggunakan Analisis Komponen Utama (PCA). *Maspari Journal* 1 : 16- 21
- Wantasen AS. (2013). Kondisi Kualitas Perairan Dan Substrat Dasar Sebagai Faktor Pendukung Aktivitas Pertumbuhan Mangrove Di Pantai Pesisir Desa Basaan I, Kabupaten Minahasa Tenggara. *Jurnal Ilmiah Platax*. 1 (4): 204-209