



JURNAL SEGARA

<http://ejournal-balitbang.kkp.go.id/index.php/segara>

ISSN : 1907-0659

e-ISSN : 2461-1166

Nomor Akreditasi: 766/AU3/P2MI-LIPI/10/2016

SELEKSI PARAMETER PEMBENTUK INDEKS KUALITAS PERAIRAN UNTUK PENGEMBANGAN BUDI DAYA LAUT: STUDI KASUS PERAIRAN TELUK SINABANG, ACEH

PARAMETERS SELECTION FOR WATER QUALITY INDEX CONSTRUCTION FOR MARICULTURE DEVELOPMENT: A CASE STUDY IN SINABANG BAY, ACEH

Erlania¹⁾, I Nyoman Radiarta²⁾ & Joni Haryadi³⁾

¹⁾Pusat Riset Perikanan, BRSDMKP, Jakarta.

²⁾Balai Riset dan Observasi Laut, BRSDMKP, Parancak.

³⁾Balai Riset Pemulihan Sumber Daya Ikan, BRSDMKP, Jatiluhur.

Diterima : 17 May 2016; Diterima Setelah Perbaikan : 19 May 2016; Disetujui Terbit : 31 August 2017

ABSTRAK

Indeks Kualitas Perairan (*Water Quality Indices/WQI*) telah dikembangkan dan digunakan untuk menganalisis dan menginterpretasikan kondisi perairan, namun implementasi secara spesifik pada budi daya laut masih belum banyak dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis parameter penting pembentuk WQI dalam penentuan kesesuaian perairan untuk pengembangan budi daya laut di perairan Teluk Sinabang, Aceh. Nilai pengukuran parameter kualitas perairan yang terkumpul sebanyak 63 titik pengamatan untuk data *in situ*, dalam proses analisis statistik direduksi menjadi 20 titik pengamatan berdasarkan jumlah data *ex situ*. Parameter yang diukur meliputi suhu, pH, DO, TDS, konduktivitas, BOD, N total, nitrat, nitrit, amonium, P total, dan ortofosfat. Penghitungan nilai WQI dilakukan dengan tiga pendekatan, yaitu: (1) berdasarkan seluruh parameter (WQI_{obj}); (2) parameter hasil seleksi menggunakan *Principal Component Analysis/PCA* (WQI_{min-x}); dan (3) parameter kunci yang dipilih menurut kebutuhan aktivitas budi daya laut secara umum (WQI_{min-aq}). Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai WQI_{min} yang paling mendekati nilai WQI_{obj} (72,67) adalah WQI_{min-2} (69,75) dan diikuti oleh WQI_{min-aq} (60,19). Hal ini menunjukkan bahwa parameter yang membangun WQI_{min-2} dan WQI_{min-aq} sudah cukup mewakili untuk menggambarkan kondisi perairan Teluk Sinabang. Kedua nilai WQI_{min} yang diperoleh berdasarkan beberapa parameter terseleksi mengindikasikan bahwa nilai tersebut secara umum dapat digunakan untuk mengetahui kelayakan suatu perairan untuk pengembangan budi daya laut. Kondisi perairan Teluk Sinabang tergolong baik (level II) berdasarkan nilai WQI_{obj} dan sedang (level III) berdasarkan kedua WQI_{min} , yang mengindikasikan bahwa aktivitas budi daya masih dapat dilakukan pada perairan tersebut dengan memperhatikan aspek kelestarian lingkungan perairan.

Keywords: Seleksi parameter, indeks kualitas perairan, pengembangan budi daya laut, Teluk Sinabang.

ABSTRACT

*Water Quality Indices (WQI) have been widely developed and used for analysing and interpreting of water conditions. This study was aimed to analyse important parameters for WQI construction in order to examine water suitability for mariculture development in Sinabang Bay, Aceh. In situ data were collected from total 63 observation sites, and these data were then reduced to 20 data followed the number of ex situ observation site for statistical analysis process. The parameters were included temperature, pH, DO, TDS, conductivity, BOD, total N, nitrate, nitrite, ammonium, total P, and orthophosphate. WQI calculations were carried out with three approaches: (1) WQI_{obj} based on all parameters; (2) WQI_{min-x} based on parameters which were resulted from selection process using *Principal Component Analysis/PCA*; and (3) WQI_{min-aq} following to several key parameters chosen to fit with general requirement for mariculture activities. The results showed that WQI_{min} with the closest values to WQI_{obj} (72.67) were WQI_{min-2} (69.75) and WQI_{min-aq} (60.19). These values indicated that selected parameters of WQI_{min-2} and WQI_{min-aq} were sufficiently represented to describe water conditions in Sinabang Bay. Both indices of WQI_{min} values which calculated using selected parameters indicated that they could be used to examine the water suitability for mariculture*

Corresponding author:

Jl. Pasir Putih II Ancol Timur, Jakarta Utara 14430. Email: erlania_elleen@yahoo.com

development. Water conditions of Sinabang Bay were rated as good condition (level II) based on WQI_{obj} and medium condition (level III) based on both of WQI_{min} , which indicated that the aquaculture activities were still allowed with environmental aspects consideration.

Keywords: Selection parameters, Water Quality Index (WQI), mariculture development, Sinabang Bay.

PENDAHULUAN

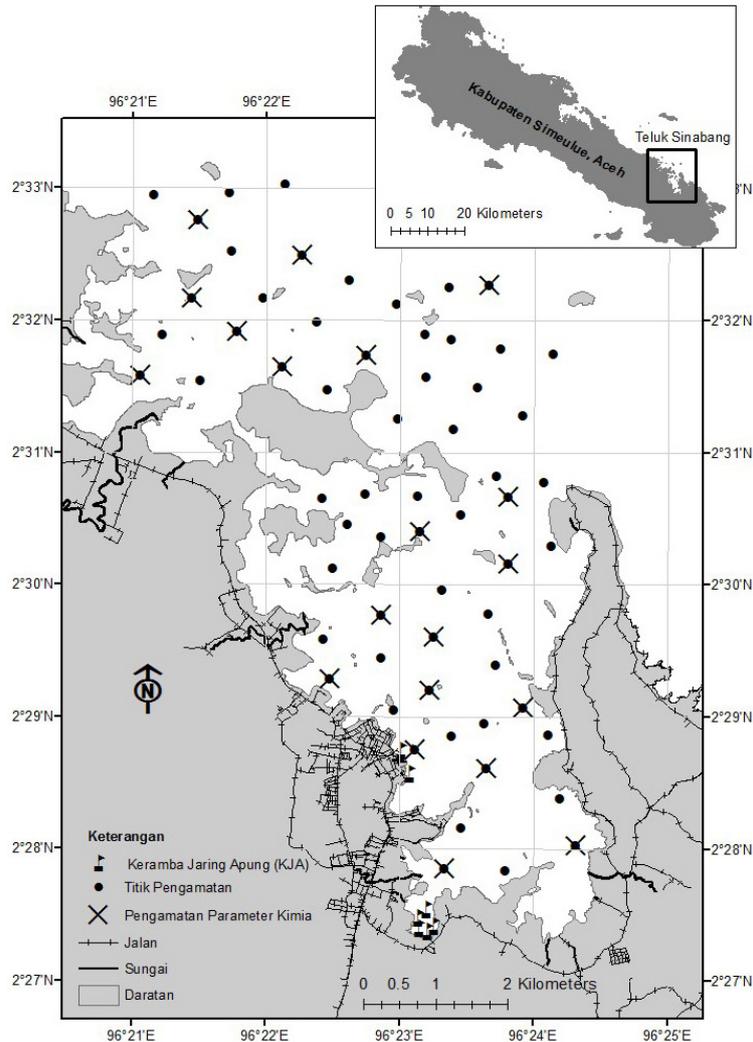
Kabupaten Simeulue memiliki potensi kelautan dan perikanan yang cukup besar dimana terdapat 6 teluk besar dengan luas total 1.575,6 ha yang sangat potensial bagi usaha budi daya laut, salah satunya yaitu Teluk Sinabang dengan luas 3.946 ha, yang merupakan satu dari tiga teluk besar (Teluk Sibigo, Teluk Dalam, dan Teluk Sinabang) yang telah ditetapkan sebagai lokasi pengembangan marikultur di Kabupaten Simeulue (Anonymous, 2015). Teluk Sinabang merupakan perairan yang terletak di Kota Sinabang, dimana terdapat berbagai aktivitas manusia di sekitar kawasan pesisir perairan tersebut yang menyebabkan kompleksnya kondisi perairan tersebut. Kawasan perairan ini berpotensi untuk pengembangan aktivitas budi daya laut, seperti budi daya ikan menggunakan Keramba Jaring Apung (KJA) dengan komoditas potensial seperti kerapu, lobster, dan teripang; budi daya rumput laut, tiram mutiara, dan jenis kekerangan lainnya, karena komoditas tersebut cukup banyak ditemukan di kawasan sekitar Pulau Simeulue. Pengembangan budi daya laut di kawasan Teluk Sinabang memerlukan berbagai pertimbangan, diantaranya pengaturan tata ruang pemanfaatan kawasan, sehingga tidak mengganggu aktivitas lain dan tidak menyebabkan dampak negatif terhadap kualitas perairan. Analisis sebaran kondisi kualitas perairan secara menyeluruh sangat diperlukan sebagai informasi awal dalam pengelolaan kawasan perairan, sehingga pemanfaatan kawasan dapat disesuaikan dengan kondisi karakteristik perairan tersebut.

Kualitas perairan sangat ditentukan oleh berbagai proses alami dan pengaruh antropogenik. Berbagai *input* yang masuk ke badan air akibat aktivitas manusia menimbulkan dampak pada ekosistem alami perairan dalam bentuk proses fisik, kimia, maupun biologi dan menyebabkan perubahan kondisi kualitas perairan (Lobato *et al.*, 2015). Kriteria standar kualitas perairan telah ditetapkan oleh berbagai institusi nasional maupun internasional. Penilaian parameter kualitas perairan secara konvensional yang membandingkan nilai hasil pengukuran dengan nilai standar atau baku mutu yang telah ditetapkan masih belum dapat memberikan informasi perkembangan keseluruhan dari kualitas perairan secara spasial maupun temporal (Nayak & Patil, 2015). Walaupun pemodelan secara matematis merupakan pendekatan terbaik untuk menentukan tren kondisi kualitas perairan, namun dalam hal ini dibutuhkan upaya yang lebih besar, biaya yang cukup tinggi, keahlian khusus, serta tidak mudah

untuk diaplikasikan (Koçer & Sevgili, 2014).

Indeks Kualitas Perairan (*Water Quality Index/ WQI*) merupakan sebuah nilai matematis tanpa satuan yang mengkombinasikan berbagai variabel/parameter kualitas air menjadi satu nilai melalui proses normalisasi dan pembobotan terhadap nilai-nilai parameter yang memiliki satuan yang berbeda-beda (Simões *et al.*, 2008; Jha *et al.*, 2015). Berbagai WQI telah dikembangkan dan digunakan untuk menganalisis berbagai fenomena perairan, antara lain *bio-assessment*, kondisi habitat perairan, dampak aktivitas pertanian terhadap perairan, kondisi ekologi perairan, serta seleksi variabel untuk memantau kondisi perairan (Effendi *et al.*, 2015; Whittaker *et al.*, 2014). WQI juga telah banyak digunakan untuk mengetahui dampak aktivitas akuakultur terhadap perairan (Simões *et al.*, 2008; Koçer & Sevgili, 2014). *U.S. National Sanitation Foundation* (NSF) telah mengembangkan NSF-WQI yang dijadikan dasar dalam pengembangan berbagai indeks kualitas perairan; selain itu berbagai institusi internasional juga telah mengeluarkan kriteria kualitas perairan yang dapat dipelajari untuk pengembangan WQI yang lebih umum dan dapat digunakan untuk mengindikasikan kondisi kualitas perairan secara keseluruhan (Said *et al.*, 2004). WQI dapat disederhanakan dengan mempertimbangkan hanya variabel-variabel lingkungan yang bersifat kritical yang mempengaruhi bagian tertentu dari kualitas perairan (Simões *et al.*, 2008). Analisis WQI dengan mempertimbangkan parameter-parameter kunci yang diseleksi untuk mengetahui kesesuaian perairan bagi aktivitas budi daya laut yang dihasilkan pada penelitian ini merupakan penelitian awal yang juga pertama kalinya dilakukan di perairan pesisir Indonesia, terutama untuk kawasan perairan di Kabupaten Simeulue, Aceh.

Berdasarkan hasil *interview* dengan pembudi daya setempat, aktivitas budi daya ikan di Teluk Sinabang telah dilakukan oleh masyarakat sejak tahun 1990-an, namun pada saat dilakukan observasi lapang hanya tersisa empat unit KJA yang masih beroperasi dan beberapa unit KJA *idle* (Gambar 1), yang disebabkan berbagai tantangan yang dihadapi oleh pembudidaya, salah satunya yaitu kompleksitas aktivitas di kawasan Teluk Sinabang yang berpengaruh terhadap kondisi perairan sendiri dan tingkat keberhasilan budi daya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis parameter penting pembentuk WQI dalam penentuan kesesuaian perairan untuk pengembangan budi daya laut di perairan Teluk



Gambar 1. Lokasi penelitian dengan sebaran titik pengamatan dan *existing* KJA di Teluk Sinabang Kabupten Simeulue Provinsi Aceh.

Sinabang, Provinsi Aceh. Pada penelitian ini analisis kondisi perairan menggunakan WQI baru dilakukan secara spasial, sehingga untuk penelitian lebih lanjut perlu dilakukan analisis secara temporal. Namun demikian hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi informasi awal dalam seleksi penentuan parameter penting pembentuk WQI untuk penentuan lokasi pengembangan budi daya laut.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan di Teluk Sinabang Kabupaten Simeulue Provinsi Aceh (Gambar 1). Teluk Sinabang terletak di kota Sinabang yang merupakan ibukota Kabupaten Simeulue, dimana perairan tersebut mendapat pengaruh dan *input* dari daratan yang berasal dari berbagai aktivitas masyarakat di kota Sinabang.

Pengumpulan data lapangan dilakukan pada Agustus 2015. Data lapangan dikumpulkan pada 63 titik pengamatan yang secara spasial disebar merata agar dapat mewakili dan mengetahui karakteristik kawasan perairan Teluk Sinabang secara keseluruhan, dimana belum tersedia data terkait karakteristik kawasan tersebut secara detail dan menyeluruh dari hasil penelitian sebelumnya. Lokasi titik pengamatan dirancang dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan mempertimbangkan keterwakilan kawasan perairan. Pengukuran parameter kualitas perairan secara *in situ* dilakukan pada seluruh titik pengamatan, yang mencakup parameter suhu, pH, oksigen terlarut (*Dissolved Oxygen/DO*), padatan terlarut total (*Total Dissolved Solids/TDS*), dan konduktivitas. Pengambilan contoh air juga dilakukan pada 20 titik pengamatan untuk pengukuran parameter kualitas perairan secara *ex situ* yang terdiri atas parameter *Biochemical Oxygen Demand/BOD*, N total, nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$), nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$), amonium (NH_4), P total, dan ortofosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$).

Preparasi, pengambilan sampel air, dan analisa parameter kualitas air dilakukan berdasarkan APHA (2012). Analisa sampel kualitas air dilakukan di Laboratorium Proling, Institut Pertanian Bogor.

Analisis Data

Nilai pengukuran parameter kualitas perairan yang terkumpul dari 63 titik pengamatan untuk data *in situ*, dalam analisis statistik direduksi menjadi 20 titik pengamatan mengikuti jumlah titik pengamatan *ex situ*. Dari 12 parameter yang terkumpul, dilakukan reduksi terhadap parameter nitrit (NO₂-N), karena nilai pengukuran pada seluruh titik pengamatan berada dibawah nilai limit deteksi dari metode analisa yang digunakan, yaitu <0,002 mg/L; sehingga data yang dianalisis menjadi 11 parameter. Data parameter kualitas perairan yang terkumpul, selanjutnya digunakan dalam penyusunan komponen WQI. Proses kalkulasi WQI dilakukan melalui dua tahapan, yaitu (1) seleksi parameter dan (2) penghitungan WQI dengan proses yang terdiri atas: normalisasi data, kalkulasi WQI_{obj} dan kalkulasi WQI_{min}. Dalam penelitian ini, seleksi parameter untuk WQI dilakukan dengan pendekatan PCA (*Principal Ccomponent Analysis*).

Seleksi Parameter melalui PCA

Standarisasi data terlebih dahulu dilakukan sebelum proses seleksi parameter menggunakan PCA, dengan cara mentransformasikan data ke dalam bentuk *Z-score* dengan tujuan untuk memperkecil variasi data yang disebabkan oleh satuan dan rentang data yang berbeda-beda. Kelayakan data hasil standarisasi untuk digunakan dalam PCA, selanjutnya diuji menggunakan uji *Kaiser-Meyer-Olkin measure of sampling adequacy* (KMO), dan uji *Anti-Image Correlation* melalui nilai MSA (*Measure of Sampling Adequacy*), untuk mengetahui apakah parameter-parameter yang digunakan secara parsial layak untuk

dianalisis atau perlu dikeluarkan dari pengujian.

Penggunaan PCA dalam seleksi parameter dilakukan untuk mengidentifikasi kekuatan dan arah dari variasi di antara seluruh parameter kualitas perairan yang terkumpul (Koçer & Sevgili, 2014). Parameter yang termasuk dalam gradien utama dari PCA dipilih untuk digunakan dalam kalkulasi WQI_{min-x'} dengan x adalah jumlah komponen utama pertama yang dihasilkan dari proses PCA. Dalam proses PCA dilakukan rotasi *Varimax*, yang merupakan rotasi orthogonal untuk membuat varian *loading factor* dalam masing-masing faktor atau komponen utama (*Principal Components/PC*) yang terbentuk menjadi maksimum, sehingga variabel asal hanya akan mempunyai korelasi yang tinggi (mendekati 1) dengan komponen tertentu saja dan memiliki korelasi yang rendah dengan komponen lainnya.

Kalkulasi WQI

Normalisasi Data dan Pembobotan

Proses normalisasi dilakukan terhadap set data yang memiliki satuan yang beragam menjadi nilai tanpa satuan yang berkisar dari 0 - 100 menggunakan faktor normalisasi (*normalization factors*) yang diadopsi dari Pesce & Wunderlin (2000) dan Kannel *et al.* (2007). Setiap parameter kualitas air yang dianalisis dilakukan pembobotan yang nilainya berkisar dari 1 sampai 4, dimana nilai 4 diberikan untuk parameter yang memiliki peranan paling penting, sedangkan nilai 1 diberikan untuk parameter yang memiliki pengaruh lebih kecil terhadap organisme akuatik (Kannel *et al.*, 2007).

Kalkulasi WQI_{obj}

Data hasil normalisasi dan pembobotan digunakan pada tahap selanjutnya, yaitu penghitungan WQI berdasarkan persamaan yang dikemukakan oleh

Tabel 1. Faktor Normalisasi

Variabel	Bobot relatif (PI)	Faktor Normalisasi (Ci)										
		100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Suhu	1	21/16	22/15	24/14	26/12	28/10	30/5	32/0	36/-2	40/-4	45/-6	45/<-6
pH	1	7	7-8	7-8.5	7-9	6.5-7	6-9.5	5-10	4-11	3-12	2-13	1-14
Konduktivitas	1	<750	<1.000	<1.250	<1.500	<2.000	<2.500	<3.000	<5.000	<8.000	≤12.000	>12.000
DO	4	≥7,5	>7	>6,5	>6	>5	>4	>3,5	>3	>2	≤1	<1
TDS	2	<100	<500	<750	<1.000	<1.500	<2.000	<3.000	<5.000	<10.000	≤20.000	>20.000
P total	1	<0,2	<1,6	<3,2	<6,4	<9,6	<16	<32	<64	<96	≤160	>160
PO ₄	1	<0,025	<0,05	<0,1	<0,2	<0,3	<0,5	<0,75	<1	<1,5	≤2	>2
NH ₄	3	<0,01	<0,05	<0,1	<0,2	<0,3	<0,4	<0,5	<0,75	<1	≤1,25	>1,25
NO ₂ -N	2	<0,005	<0,01	<0,03	<0,05	<0,1	<0,15	<0,2	<0,25	<0,5	≤1	>1
NO3	2	<0,5	<2	<4	<6	<8	<10	<15	<20	<50	≤100	>100
N total	2	<0,8	<3,8	<7,5	<13	<18	<27	<48	<85	<149	≤265	>265
BOD ₅	3	<0,5	<2	<3	<4	<5	<6	<8	<10	<12	≤15	>15

Rodriguez de Bassoon (Pesce & Wunderlin, 2000) yang dimodifikasi oleh Sanchez *et al.* (2007), yaitu:

$$WQI_{obj} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \dots\dots\dots 1)$$

di mana, n adalah jumlah total parameter kualitas perairan, Ci adalah nilai yang diberikan untuk tiap parameter setelah proses normalisasi (0 -100), dan Pi adalah bobot relatif yang diberikan untuk tiap parameter dengan nilai antara 1 - 4. Berdasarkan nilai kalkulasi WQI, selanjutnya kualitas perairan dapat diklasifikasikan menjadi lima kelas, yaitu: sangat baik (level I: 91 - 100), baik (level II: 71 - 90), sedang (level III: 51 - 70), buruk (level IV: 26 - 50), dan sangat buruk (level V: 0 - 25) (Pesce & Wunderlin, 2000; Kannel *et al.*, 2007; Sanchez *et al.*, 2007; Jha *et al.*, 2015).

Kalkulasi WQI-Minimum menggunakan Hasil Seleksi Parameter

Kalkulasi WQI untuk mengetahui kondisi kualitas perairan menggunakan jumlah parameter minimum juga telah dilakukan oleh Pesce & Wunderlin (2000), Simões *et al.* (2008), dan Kannel *et al.* (2007) yang dikenal dengan minimum WQI (WQI_{min}). Pesce & Wunderlin (2000) menggunakan tiga parameter kualitas perairan penting yaitu DO, turbiditas, dan konduktivitas; Simões *et al.* (2008) dan Radiarta & Erlania (2015) menggunakan tiga parameter yang berbeda, yaitu DO, turbiditas, dan total P; sedangkan Kannel *et al.* (2007) menggunakan lima parameter yaitu DO, suhu, pH, konduktivitas, dan TSS. Penghitungan WQI_{min} dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut yang telah dimodifikasi dari persamaan WQI, yaitu:

$$WQI_{min} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i P_i}{n} \dots\dots\dots 2)$$

Pada kalkulasi WQI_{min}, tiap parameter diberikan bobot (Pi) yang sama, sehingga penghitungan WQI_{min} dapat dimodifikasi tanpa menyertakan nilai Pi, dengan persamaannya sebagai berikut (Kannel *et al.*, 2007; Simões *et al.*, 2008):

$$WQI_{min} = \frac{C_1 + C_2 + \dots + C_n}{n} \dots\dots\dots 3)$$

Pada penelitian ini, penghitungan WQI_{min} dilakukan dengan dua cara, yaitu berdasarkan parameter minimum yang ditentukan sesuai dengan kebutuhan dasar untuk budi daya laut berdasarkan literatur dan parameter minimum yang diperoleh melalui proses seleksi parameter melalui analisis komponen utama (*Principal Component Analysis/PCA*). Beberapa parameter kunci telah ditentukan sesuai dengan kebutuhan dasar pada aktivitas budi daya laut, yaitu suhu, DO, pH, dan N total. Keempat

parameter ini merupakan parameter yang mencakup persyaratan umum untuk berbagai biota budi daya, baik untuk ikan, *krustase*, *moluska/kekerangan*, maupun tumbuhan akuatik seperti rumput laut (Poxton, 2003). Suhu merupakan parameter penting dari kualitas perairan yang dapat mempengaruhi fluktuasi nilai dari parameter lainnya dan berperan dalam proses fisiologis dari organisme akuatik (Effendi, 2003) yang akan mempengaruhi tingkat pertumbuhannya; serta pada level tertentu dapat memicu berkembangnya penyakit pada organisme akuatik. Oksigen terlarut terkait dengan proses penguraian bahan organik di perairan dan organisme akuatik tidak dapat hidup pada kondisi oksigen terlarut yang rendah (Simões *et al.*, 2008). Derajat keasaman (pH) juga sangat berpengaruh terhadap fluktuasi parameter lain dan proses fisiologis organisme akuatik, serta dapat mempengaruhi toksisitas beberapa jenis polutan pada umumnya, seperti amonia dan sianida (Poxton, 2003; Effendi, 2003). Sedangkan N total merupakan parameter yang mencakup keberadaan molekul N di perairan, baik organik maupun anorganik; yang bersifat toksik terhadap hewan akuatik (nitrit dan amonia) maupun yang berbentuk nutrien terlarut di perairan (nitrat dan amonium); dan keempat bentuk molekul N tersebut dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan akuatik seperti rumput laut untuk pertumbuhannya (Hanisak, 1983; Effendi, 2003).

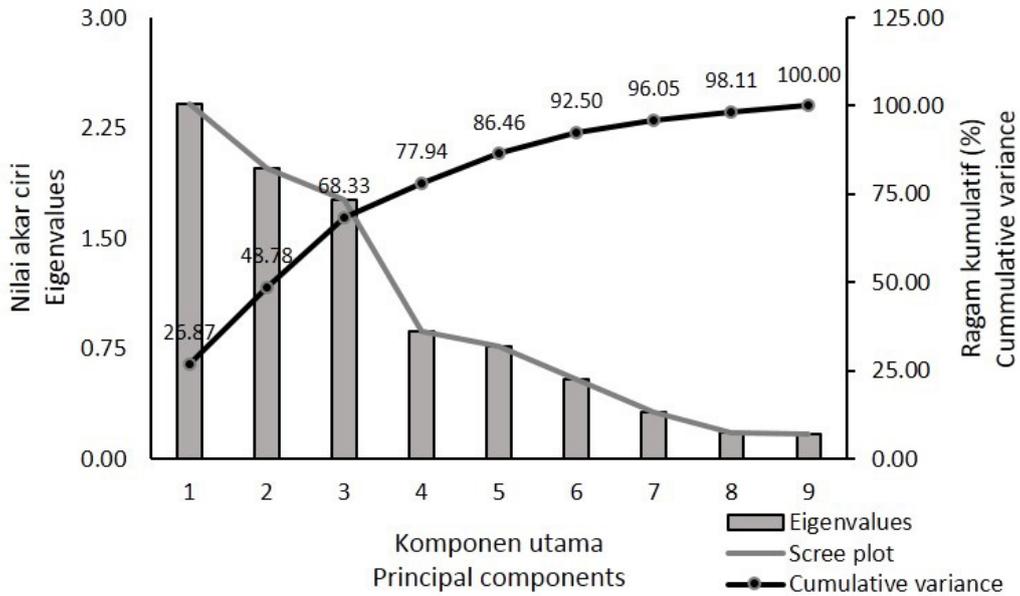
Uji Statistik Nilai WQI

Nilai dari masing-masing tipe WQI yang dihasilkan dibandingkan menggunakan analisis ragam (ANOVA); dan kemudian dilakukan uji lanjut Beda Nyata Terkecil/ BNT (*Least Significant Difference/LSD*). Analisis ragam ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan dari masing-masing nilai WQI yang dihasilkan berdasarkan beberapa pendekatan, sedangkan uji LSD dilakukan untuk mengetahui perbedaan antara masing-masing WQI_{min} yang dihasilkan terhadap WQI_{obj}, sehingga dapat diketahui grup parameter terbaik yang dapat menggambarkan kondisi perairan Teluk Sinabang secara keseluruhan. Analisis statistik dilakukan menggunakan *software* XLSTAT 2016 dan SPSS ver. 19.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Seleksi Parameter dengan PCA

Pada tahap awal proses seleksi parameter yang dilakukan, diperoleh hasil analisis awal menggunakan KMO terhadap set data yang digunakan, untuk mengetahui apakah data yang ada layak untuk kepentingan analisis faktor. Nilai KMO yang diperoleh adalah 0,381 (<0,5) yang artinya variabel-variabel yang ada tidak cukup layak untuk dianalisis lebih lanjut. Oleh karena itu, selanjutnya dilakukan pengecekan



Gambar 2. Scree plot, nilai akar ciri, dan ragam kumulatif komponen utama yang terbentuk dari hasil PCA.

menggunakan *Anti-Image Correlation* dan diperoleh dua parameter dengan nilai MSA (*Measure of Sampling Adequacy*) yang sangat rendah (<0,5), yaitu DO (0,150) dan P total (0,192), yang artinya kedua parameter tersebut tidak dapat dianalisis lebih lanjut. Tahap selanjutnya, dari 11 parameter yang dianalisis, dilakukan pengurangan dua variabel secara bertahap yaitu DO, kemudian P total, sehingga pada akhirnya diperoleh nilai MSA semua parameter yang tersisa >0,5; yang artinya dapat dilakukan analisis lebih lanjut terhadap data dari 9 parameter yang tersisa, dalam hal ini menggunakan analisis komponen utama (PCA).

Berdasarkan hasil PCA dari set data parameter kualitas perairan di Teluk Sinabang, diperoleh tiga komponen utama (*Principal Component/PC*) pertama yang dianggap dapat mewakili ragam seluruh data dari 9 parameter yang dianalisis. Penentuan PC yang dihasilkan dapat dilakukan berdasarkan salah satu atau tiga pendekatan, yaitu: 1) *eigenvalues* dari PC yang nilainya lebih dari 1; 2) titik dimana terjadi perubahan gradien dari kurva *scree plot*; dan 3) menggunakan pendekatan ragam kumulatif yang nilainya lebih besar dari 65% (Razmkhah *et al.*, 2010; Supranto, 2010; Shrestha & Kazama, 2007; Bengraïne & Marbaha, 2003; Petersen 2001). Berdasarkan ketiga pendekatan tersebut ditunjukkan bahwa dari seluruh PC yang terbentuk dapat diputuskan bahwa 3 PC pertama dapat digunakan untuk menggambarkan keterwakilan seluruh set data (Gambar 2).

Hasil analisis data menghasilkan *loading factor* yang merupakan nilai-nilai koefisien korelasi antara parameter dengan faktor/PC (Tabel 2). Distribusi *loading factor* dari seluruh parameter yang dianalisis

memperlihatkan kedekatan hubungan antara masing-masing parameter dengan ketiga PC yang terbentuk (Gambar 3). Metode *Varimax rotation* yang dilakukan menghasilkan korelasi yang dapat diinterpretasikan dengan jelas, karena setiap parameter awal hanya memperlihatkan korelasi yang tinggi (>0,5) dengan salah satu faktor saja. Dengan demikian dapat diidentifikasi bahwa PC1 dibangun oleh tiga parameter, antara lain suhu, pH, dan BOD₅; PC2 dibangun oleh tiga parameter berikutnya, yaitu konduktivitas, TDS, dan N total; serta PC3 dibangun oleh tiga parameter lainnya, yaitu amonium, nitrat, dan fosfat; sehingga menghasilkan tiga PC dengan karakteristik yang berbeda-beda (Tabel 2, Gambar 3).

Ketiga PC dengan dengan masing-masing parameter pembentuknya digunakan sebagai dasar seleksi parameter untuk menghitung WQI perairan

Tabel 2. Nilai korelasi antara Z-score dari masing-masing parameter terhadap tiga komponen utama pertama yang terbentuk dari PCA dengan metode rotasi *Varimax*

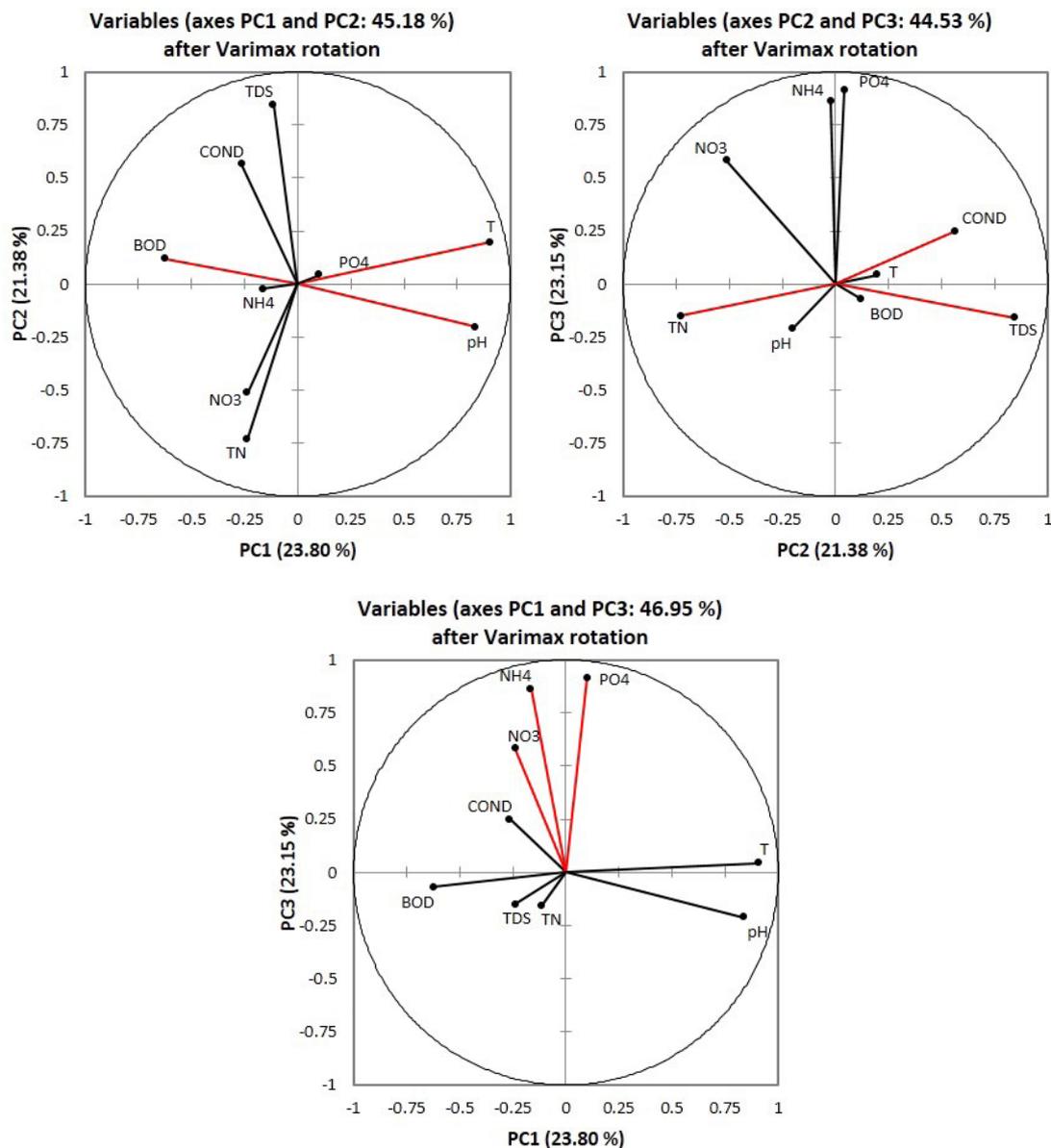
Parameter	Komponen utama		
	PC1	PC2	PC3
Suhu	0,899	0,233	-0,008
pH	0,835	-0,190	-0,226
Konduktivitas	-0,276	0,574	0,209
TDS	-0,155	0,825	-0,227
PO ₄	0,132	0,124	0,905
NH ₄	-0,133	0,047	0,867
NO ₃	-0,196	-0,468	0,631
N total	-0,213	-0,747	-0,078
BOD ₅	-0,629	0,090	-0,056

Teluk Sinabang, yang menghasilkan berturut-turut WQI_{min-1} , WQI_{min-2} , dan WQI_{min-3} berdasarkan parameter-parameter pembentuk PC1, PC2, dan PC3. Selain itu juga diperoleh WQI_{min-aq} yang merupakan hasil kalkulasi indeks kualitas perairan dari parameter-parameter kunci kebutuhan budi daya laut secara umum, serta nilai WQI_{obj} yang dihitung secara keseluruhan menggunakan semua parameter awal yang terkumpul selama penelitian (11 parameter).

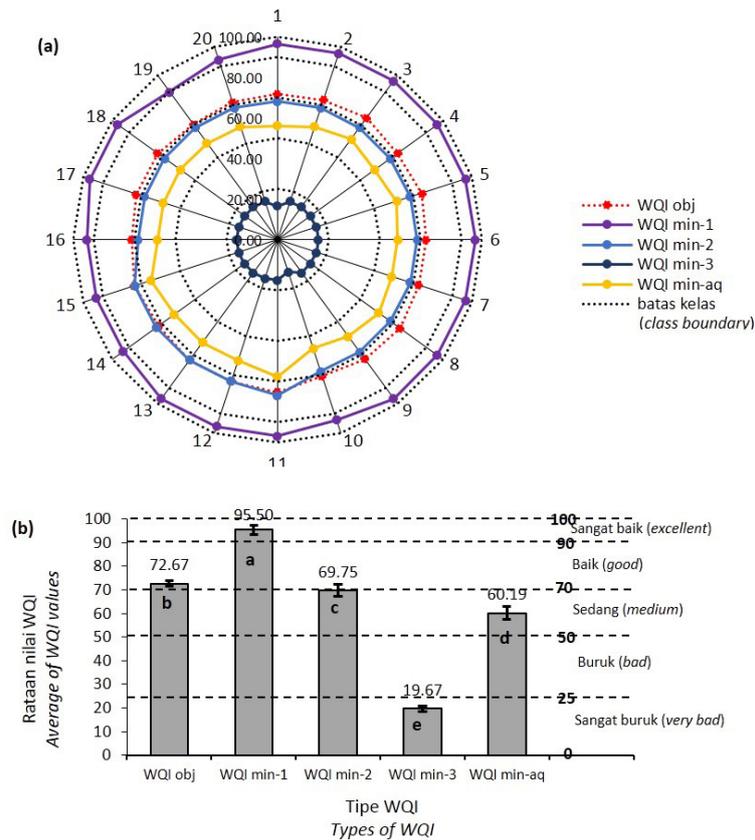
Nilai WQI

Hasil WQI yang dikalkulasi berdasarkan lima pendekatan kelompok parameter yang digunakan memperlihatkan nilai yang bervariasi (Gambar 4).

Sebaran nilai WQI antar titik pengamatan untuk masing-masing WQI relatif hampir sama, hanya ditemukan pada beberapa titik pengamatan yang memperlihatkan nilai WQI yang relatif berbeda dengan titik-titik pengamatan lain. Rataan masing-masing WQI dari seluruh titik pengamatan menunjukkan nilai yang berbeda satu sama lain (Gambar 4b). WQI_{obj} merupakan nilai yang menggambarkan kondisi perairan berdasarkan seluruh parameter dengan nilai 72,67 (>70) yang mengindikasikan kondisi perairan secara umum tergolong baik. Hasil kalkulasi WQI secara parsial berdasarkan hasil seleksi parameter memperlihatkan bahwa masing-masing pendekatan WQI_{min} menghasilkan nilai yang berbeda nyata dengan WQI_{obj} ($P < 0,05$) (Gambar 4b).



Gambar 3. *Plot* muatan dari tiga komponen utama pertama pada tiga kombinasi yang berbeda. Garis merah adalah *plot* dari parameter penyusun masing-masing komponen utama.



Gambar 4. Nilai WQI pada masing-masing titik pengamatan (a) dan rata-rata dari masing-masing tipe WQI (b) di perairan Teluk Sinabang, Provinsi Aceh. Huruf yang berbeda menunjukkan hasil yang berbeda nyata.

Berdasarkan hasil kalkulasi perbedaan rata-rata (*mean difference*) dari keempat WQI_{min} tersebut dengan WQI_{obj} ; diperlihatkan bahwa parameter yang digunakan pada WQI_{min-2} menghasilkan nilai yang paling mendekati nilai WQI_{obj} , yaitu 69,75 (Gambar 4b). WQI_{min-2} merupakan indeks kualitas perairan yang dibangun oleh parameter minimum hasil seleksi menggunakan PCA, yaitu parameter yang menjadi komponen dari PC2 yang terdiri atas N-total, TDS, dan konduktivitas (Tabel 2).

Nilai rata-rata WQI_{min} lainnya yang masih mendekati nilai WQI_{obj} adalah WQI_{min-aq} , yaitu 60,19 (Gambar 4b). WQI_{min-aq} merupakan nilai yang dihitung dengan pendekatan parameter yang dipilih berdasarkan parameter umum yang dibutuhkan dalam aktivitas budi daya (suhu, pH, DO, dan N-total) untuk berbagai komoditas. Secara fisiologis, suhu dan pH perairan merupakan parameter penting yang memberikan pengaruh yang relatif besar terhadap proses metabolisme pada organisme akuatik (Effendi, 2003). Sementara itu, DO (oksigen terlarut) dan N merupakan faktor yang umumnya dipertimbangkan untuk mengetahui daya dukung atau kemampuan perairan dalam menampung jumlah organisme yang dapat dibudi dayakan dalam satu wadah budi daya (kolam, tambak, dll.) maupun dalam satu kawasan perairan

(Beveridge, 2004). Sementara itu, WQI_{min-1} dan WQI_{min-3} nilainya sangat jauh dari nilai WQI_{obj} yaitu berturut-turut 95,50 dan 19,67 (Gambar 4b) dengan nilai *mean difference* -21,65 dan 54,19 (Tabel 3); dimana hal ini menunjukkan bahwa parameter-parameter hasil seleksi yang digunakan dalam kalkulasi kedua WQI_{min} tersebut kurang mewakili dalam menggambarkan kondisi perairan Teluk Sinabang secara keseluruhan.

Nilai WQI_{obj} memperlihatkan bahwa perairan Teluk Sinabang termasuk ke dalam level-2 dengan nilai rata-rata berada antara 70 - 90 (mendekati 70), yang artinya kondisi perairan tersebut tergolong baik (Gambar 4b). Begitu juga jika dilihat berdasarkan nilai WQI_{min-2} dan WQI_{min-aq} , walaupun berada di level-3 (kondisi perairan tergolong pada tingkat medium) dengan nilai rata-rata berada pada kisaran 50 - 60, namun nilai kedua WQI_{min} tersebut cenderung mendekati nilai 70. Secara umum, dengan menggunakan WQI_{obj} tidak dapat ditentukan perbedaan yang signifikan dari kondisi spesifik antar titik-titik pengamatan, karena perhitungan WQI_{obj} melibatkan banyak variabel untuk menilai kondisi suatu perairan (Koçer & Sevgili, 2014). Semua *indexing system* membutuhkan ukuran/kriteria tertentu untuk pemilihan faktor penentu dari kualitas perairan (Muthulakshmi *et al.*, 2013). Dalam hal ini, diperlukan seleksi parameter dan reduksi data yang tidak benar-

Tabel 3. Hasil Uji Lanjut menggunakan Beda Nyata Terkecil (BNT) antara WQI_{min} terhadap WQI_{obj}

Perbandingan WQI (A)	WQI (B)	Perbedaan rata-rata (A-B)	Sig.
WQI_{obj}	WQI_{min-1}	-21,6475	5,E-13
	WQI_{min-2}	4,1070	2,E-10
	WQI_{min-3}	54,1870	5,E-13
	WQI_{min-aq}	13,6665	5,E-13

benar dibutuhkan sebagai kriteria utama dalam menentukan kondisi perairan untuk aktivitas budi daya laut. Seleksi parameter dengan cara mereduksi variabel yang tidak diperlukan dapat menjadi opsi untuk lebih menyederhanakan WQI_{obj} (Koçer & Sevgili, 2014).

Aplikasi WQI untuk Kelayakan Kawasan Pengembangan Budi Daya Laut

Nilai WQI_{min} yang dihasilkan dari beberapa parameter terseleksi, secara lebih sederhana dapat mewakili kondisi perairan, dimana nilai yang dihasilkan relatif mendekati nilai WQI_{obj} yang merupakan gambaran kondisi perairan berdasarkan sejumlah parameter kualitas perairan yang relatif kompleks. Selain itu, nilai WQI_{min} berdasarkan parameter yang terseleksi menggunakan PCA menghasilkan nilai yang relatif mendekati nilai WQI_{min} yang diperoleh menggunakan parameter pilihan yang diasumsikan sebagai parameter kunci untuk aktivitas budi daya laut. Proses seleksi parameter ini bertujuan untuk menyederhanakan kompleksitas parameter yang digunakan dalam analisis WQI_{obj} dan menganalisis secara lebih spesifik kepada kelompok parameter penting yang umum dibutuhkan dalam penentuan lokasi budi daya (Koçer & Sevgili, 2014; Simões *et al.*, 2008). Radiarta & Erlania (2015) dan Simões *et al.* (2008) telah menggunakan pendekatan WQI_{min} dengan tiga parameter yaitu DO, kekeruhan dan P total untuk menganalisis kondisi lingkungan perairan di sekitar kawasan budi daya dan dampak dari aktivitas budi daya terhadap kualitas perairan.

Berdasarkan hasil penelitian ini, penentuan kondisi suatu perairan khususnya untuk pengembangan aktivitas budi daya laut diindikasikan dapat dilakukan dengan pendekatan nilai WQI menggunakan parameter penting hasil seleksi. Dalam hal ini, dapat diasumsikan bahwa parameter penentu dalam pemilihan lokasi yang sesuai untuk budi daya laut menggunakan analisis WQI dapat dikelompokkan menjadi dua grup parameter, yaitu: grup-1 terdiri atas tiga parameter kunci, yaitu TDS, konduktivitas, dan N total; dan grup-2 terdiri atas empat parameter kunci, yaitu suhu, DO, pH, dan N total. Berdasarkan rata-rata nilai WQI_{obj} yang diperoleh, kondisi perairan Teluk Sinabang dapat digolongkan pada level II (baik) dan berdasarkan kedua

WQI_{min} perairan ini termasuk pada level III (sedang). Hal ini mengindikasikan bahwa secara umum kondisi perairan Teluk Sinabang tergolong baik. Sementara itu, secara spesifik pengembangan aktivitas budi daya masih dapat dilakukan di perairan tersebut, namun pelaksanaannya harus memperhatikan aspek-aspek kelestarian lingkungan perairan sehingga kondisi perairan tersebut dapat dipertahankan agar tetap berada pada level yang diharapkan. Dalam hal ini, nilai WQI_{min} juga memperlihatkan bahwa aktivitas budi daya memiliki kebutuhan akan kondisi perairan yang lebih spesifik.

Pada penelitian ini, walaupun data yang digunakan hanya dari satu kali pengamatan, namun hasil yang diperoleh tergolong sudah cukup baik dalam menentukan parameter penting WQI. Untuk lebih memperkuat hasil tersebut, diperlukan analisis lebih komprehensif dengan mengumpulkan data multi-temporal (misal: bulanan, musiman) sehingga hasil yang diperoleh menjadi lebih baik.

KESIMPULAN

Beberapa parameter penting kualitas perairan terseleksi dapat digunakan untuk mewakili parameter kualitas perairan yang kompleks. Nilai WQI_{min} berdasarkan parameter penting hasil seleksi (N-total, TDS, dan konduktivitas) dan parameter penting budi daya laut (suhu, DO, pH, dan N total) menghasilkan nilai yang paling mendekati nilai WQI_{obj} dari 11 parameter yang digunakan secara bersamaan. Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa parameter yang membangun WQI_{min} sudah cukup mewakili untuk menggambarkan kondisi perairan Teluk Sinabang secara keseluruhan. Kedua nilai WQI_{min} tersebut, secara umum dapat digunakan dalam menganalisis kelayakan suatu perairan untuk pengembangan budi daya laut. Studi lebih lanjut dibutuhkan untuk validasi hasil penelitian ini dengan melakukan pengumpulan data lapangan secara multi-temporal, baik bulanan ataupun musiman.

PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Rasidi, M.Si dan tim lapangan, serta Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Simeulue, Aceh atas bantuannya selama pengumpulan data di lapangan.

Penelitian ini merupakan bagian dari Kegiatan Kajian Pengembangan Marikultur di Pulau-Pulau Terdepan Indonesia dan dibiayai oleh anggaran DIPA Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan Budi daya tahun 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonimous. (2015). Pengembangan Kawasan Kelautan dan Perikanan Terintegrasi di Kabupaten Simeuleu. Direktorat Jenderal Kelautan, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil, Kementerian Kelautan dan Perikanan. 152 hal.
- APHA (American Public Health Association). (2012). Rice, E.W., Baird, R.B., Eaton, A.D. & Clesceri, L.S. (eds). Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater, 22nd Edition. American Public Health Association, American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation. Washington D.C., USA, 1496 pp.
- Bengraïne, K. & Marbaha, T.F. (2003). Using principal component analysis to monitor spatial and temporal changes in water quality. *Journal of Hazardous Materials*, 100 (1-3): 179–195.
- Beveridge, M. (2004). Cage Aquaculture, 3rd Edition. Blackwell Publishing Ltd. India, 368 pp.
- Effendi, H. (2003). Telaah Kualitas Air bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Kanisius. Yogyakarta, 258 hal.
- Effendi, H., Romanto. & Wardianto, Y. (2015). Water quality status of Ciambulawung River, Banten Province, based on pollution index and NSF-WQI. *Procedia Environmental Sciences*, 24: 228-237.
- Hanisak, M.D. (1983). The nitrogen relationships of marine macroalgae. Carpenter, E.J. & Capone, D.G. (eds.). *Nitrogen in The Marine Environment*. Academic Press. New York, p. 699-730.
- Jha, D.K., Devi, M.P., Vidyalakshmi, R., Brindha, B., Vinithkumar, N.V. & Kirubakaran, R. (2015). Water quality assessment using water quality index and geographical information system methods in the coastal waters of Andaman Sea, India. *Marine Pollution Bulletin*, 100 (1): 555-561.
- Kannel, P.R., Lee, S., Lee, Y.-S., Kanel, S.R. & Khan, S.P. (2007). Application of Water Quality Indices and dissolved oxygen as indicators for river water classification and urban impact assessment. *Environ. Monit. Assess.*, 132: 93-110.
- Koçer, M.A. & Sevgili, H. (2014). Parameters selection for water quality index in the assessment of the environmental impacts of land-based trout farms. *Ecological Indicators*, 36: 672-681.
- Lobato, T.C., Hauser-Davis, R.A., Oliveira, T.F., Silveira, A.M., Silva, H.A.N., Tavares, M.R.M. & Saraiva, A.C.F. (2015). Construction of a novel water quality index and quality indicator for reservoir water quality evaluation: A case study in the Amazon region. *Journal of Hydrology*, 522: 674-683.
- Muthulakshmi, A.L., Natesan, U., Deepthi, K., Ferrer, V.A., Venugopalan, V.P. & Narasimhan, S.V. (2013). Assessment of water quality through indices around Kalpakkam, southeast coast of India. *Arch. Environ. Sci.*, 7: 23-32.
- Nayak, J.G. & Patil, L.G. (2015). A Comparative Study of Prevalent Water Quality Indices in Streams. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 4 (3): 208-212.
- Pesce, S.F. & Wunderlin, D.A. (2000). Use of water quality indices to verify the impact of Cordoba city (Argentina) on Suquía River. *Water Res.*, 34: 2915-2926.
- Petersen, W., Bertino, L., Callies, U. & Zorita, E. 2001. Process identification by principal component analysis of river water-quality data. *Ecological Modelling*, 138: 193-213.
- Poxton, M. (2003). Water Quality. Lucas, J.S., & Southgate, P.C. (eds). *Aquaculture Farming Aquatic Animals and Plants*. Blackwell Publishing. Great Britain, hal. 47-73.
- Radiarta, I.N. & Erlania. (2015). Indeks kualitas air dan sebaran nutrien sekitar budi daya laut terintegrasi di perairan Teluk Ekas, Nusa Tenggara Barat: aspek penting budi daya rumput laut. *Jurnal Riset Akuakultur*, 10 (1): 141-152.
- Razmkhah, H., Abrishamchi, A. & Torkian, A. (2010). Evaluation of spatial and temporal variation in water quality by pattern recognition techniques: A case study on Jajrood River (Tehran, Iran). *Journal of Environmental Management*, 91: 852-860.
- Said, A., Stevens, D.K. & Sehlke, G. (2004). Environmental Assessment An Innovative Index for Evaluating Water Quality in Streams. *Environmental Management*, 34 (3): 406-414.
- Sánchez, E., Colmenarejo, M.F., Vicente, J., Rubio, A., Garcá, M.G., Travieso. & Borja, R. (2007).

Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *Ecological Indicators*, 7: 315-328.

Shrestha, S. & Kazama, F. (2007). Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software*, 22: 464-475.

Simões, F.D.S., Moreira, A.B., Bisinoti, M.C., Gimenez, S.M.N. & Yabe, M.J.S. (2008). Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies. *Ecological Indicators*, 8: 476-484.

Supranto, J. (2010). *Analisis Multivariat: Arti dan Interpretasi*. Cet. 2. Rineka Cipta. Jakarta, 359 hal.

Whittaker, G., Barnhart, B., Färe, R. & Grosskopf, S. (2014). Application of index number theory to the construction of a water quality index: Aggregated nutrient loadings related to the areal extent of hypoxia in the northern Gulf of Mexico. *Ecological Indicators*, 49: 162-168.

