

KARAKTERISTIK DAN KESESUAIAN LAHAN AKTUAL PADA MUSIM KEMARAU UNTUK BUDIDAYA UDANG WINDU DI TAMBAK YANG ADA DI KABUPATEN MAMUJU PROVINSI SULAWESI BARAT

Akhmad Mustafa, Hasnawi, dan Tarunamulia

Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Air Payau
Jl. Makmur Dg. Sitakka No. 129, Maros 90512, Sulawesi Selatan
E-mail: akhmadmustafa@yahoo.com

(Naskah diterima: 11 Agustus 2014; Revisi final: 4 November 2014; Disetujui publikasi: 24 November 2014)

ABSTRAK

Kabupaten Mamuju Provinsi Sulawesi Barat memiliki lahan tambak yang produktivitas tambaknya masih tergolong relatif rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas lahan dalam upaya menentukan kesesuaian lahan untuk budidaya udang windu di tambak demi peningkatan produktivitas tambak di Kabupaten Mamuju. Faktor yang dipertimbangkan untuk mengetahui karakteristik lahan adalah: topografi, tanah, hidrologi, dan iklim. Analisis spasial dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan metode tumpang tindih dan interpolasi digunakan dalam penentuan kesesuaian lahan untuk budidaya udang windu di tambak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tanah tambak di Kabupaten Mamuju termasuk tanah sulfat masam dan tanah sulfat masam yang berasosiasi dengan tanah gambut yang dicirikan dengan pH rendah, potensi kemasaman, serta kandungan unsur toksin tergolong tinggi dan kandungan unsur hara makro tergolong rendah dengan tekstur tanah yang tergolong kasar. Kualitas air secara umum dapat mendukung budidaya udang windu di tambak, kecuali bentuk-bentuk nitrogen yang memiliki kandungan yang relatif tinggi. Curah hujan yang rendah pada bulan Juli sampai Oktober dan bulan-bulan lainnya tergolong bercurah hujan tinggi. Hasil analisis kesesuaian lahan aktual menunjukkan bahwa dari luas tambak yang ada di Kabupaten Mamuju, yaitu 7.639,8 ha; ternyata 27,0 ha tergolong sangat sesuai; 1.339,1 ha tergolong cukup sesuai; dan 6.273,7 ha tergolong kurang sesuai. Pada lokasi yang tergolong sangat sesuai disarankan untuk melakukan budidaya udang windu dengan teknologi intensif dan semi-intensif, pada lokasi yang tergolong cukup sesuai disarankan melakukan budidaya udang windu dengan teknologi tradisional dan tradisional plus dan pada lokasi tergolong kurang sesuai disarankan untuk melakukan polikultur udang windu, ikan bandeng, dan rumput laut.

KATA KUNCI: karakteristik, kesesuaian lahan, tambak, udang windu, Kabupaten Mamuju

ABSTRACT: *Characteristics and actual land suitability in dry season for tiger shrimp culture in existing brackishwater ponds of Mamuju Regency West Sulawesi Province. By: Akhmad Mustafa, Hasnawi, and Tarunamulia*

Mamuju Regency in West Sulawesi Province has existing and potential areas for brackishwater ponds, but their productivity is still relatively low. This objective of this study was to determine the land quality as one of the prerequisite criteria for the evaluation of land suitability for tiger shrimp culture in order to improve the productivity of the brackishwater ponds in Mamuju. The main factors considered for the land evaluation included: coastal topography, soil, hydrology, and climate. The spatial analysis modules in the Geographic Information Systems (GIS) including overlay and interpolation methods, was applied in determining the land suitability. The results showed in general that acid sulfate soils and acid sulfate soils associated with peat soils occupy most of the coastal areas used for the brackishwater ponds in Mamuju. These soil types are characterized by low pH, high potential acidity with relatively high content of toxic elements, and low macronutrients content with coarse soil texture. Generally, water quality are still within the acceptable range for tiger shrimp culture, and only the forms of nitrogen was observed higher than the standard. Low rainfall occurred from July to October, where as high rainfall occurred in the other months. This actual land suitability analysis results showed that of the total 7,639.8 ha brackishwater pond areas in Mamuju, there were approximately 27.0 ha classified as highly suitable, 1,339.1 ha as moderately suitable and 6,273.7 ha as marginally suitable. At the highly suitable location, it is suitable to conduct tiger shrimp applying intensive and semi-intensive technology, at the location with moderately suitable category it is recommended to culture tiger shrimp with traditional technology and traditional plus and at the location that was classified as marginally suitable it is advisable to conduct polyculture of tiger shrimp, milkfish, and seaweed.

KEYWORDS: characteristics, land suitability, brackishwater pond, tiger shrimp, Mamuju Regency

PENDAHULUAN

Perikanan budidaya atau akuakultur yang sekarang ini dilaksanakan di Indonesia meliputi: budidaya air payau (tambak), budidaya air tambak (kolam), budidaya air laut (marikultur), perairan umum, dan sawah. Di antara jenis akuakultur tersebut, budidaya tambak adalah industri akuakultur terbesar di Indonesia. Potensi lahan budidaya tambak di Indonesia mencapai 2.963.717 ha dengan tingkat pemanfaatannya hanya mencapai 682.857 ha (KKP, 2011). Berdasarkan Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia No. KEP.39/MEN/2011 tentang Penetapan Kawasan Minapolitan, maka Kabupaten Mamuju Provinsi Sulawesi Barat telah ditetapkan sebagai salah satu wilayah pengembangan Kawasan Minapolitan di Indonesia dengan komoditas air payau seperti udang, ikan bandeng, dan rumput laut sebagai komoditas andalan. Provinsi Sulawesi Barat adalah provinsi yang tergolong baru di Indonesia yang merupakan pecahan dari Provinsi Sulawesi Selatan yang tentunya membutuhkan data dasar tentang lahan budidaya tambak dan masih memiliki produktivitas lahan tambak yang rendah.

Komoditas air payau yang umum dibudidayakan di tambak, termasuk yang menjadi komoditas andalan di Kabupaten Mamuju adalah udang windu (*Penaeus monodon*), udang vaname (*Litopenaeus vannamei*), ikan bandeng (*Chanos chanos*), dan rumput laut (*Gracilaria verrucosa*). Komoditas tersebut termasuk komoditas perikanan yang berbasis lahan, maka untuk dapat tumbuh dan hidup memerlukan persyaratan-persyaratan lahan tertentu yang dapat berbeda satu sama lain. Dalam kaitannya dengan sumberdaya alam, dikenal istilah lahan yang merupakan suatu lingkungan fisik yang terdiri atas tanah, topografi, hidrologi, vegetasi, dan iklim di mana pada batas-batas tertentu memengaruhi kemampuan penggunaan lahan (FAO, 1998; Rajitha *et al.*, 2007). Oleh karena itu, perbedaan kombinasi penyusun lingkungan fisik lahan tersebut akan memberikan karakteristik lahan yang berbeda dan pada akhirnya kesesuaian lahan yang berbeda pula. Lahan memiliki karakteristik yaitu suatu sifat yang khas yang dapat dijadikan sebagai pembeda dengan tipe lahan lainnya (FAO, 1998). Karakteristik lahan mencakup faktor-faktor yang dapat diukur atau ditaksir besarnya. Dalam prosedur evaluasi kesesuaian lahan, kualitas lahan biasanya digambarkan melalui karakteristik lahan yang dipilih (Baja, 2012).

Lahan rawa adalah lahan yang dipengaruhi oleh kondisi pasang surut laut atau sungai sekitarnya dan secara umum digunakan untuk budidaya tambak di Indonesia. Secara umum, lahan rawa di Indonesia didominasi oleh tanah aluvial nonsulfat masam termasuk tanah salin, tanah sulfat masam, dan tanah gambut yang masing-masing dapat memiliki kualitas yang khas. Kualitas lahan yang dicirikan oleh topografi, tanah, hidrologi, dan iklim adalah faktor dari kualitas lahan yang umum dipertimbangkan dalam kesesuaian lahan untuk budidaya tambak (Poernomo, 1988; Boyd, 1995; Treece, 2000;

Salam *et al.*, 2003; Karthik *et al.*, 2005; Mustafa *et al.*, 2007; Hardjowigeno & Widiatmaka, 2011; Mustafa, 2012).

Kesesuaian lahan adalah tingkat kecocokan suatu bidang lahan untuk penggunaan tertentu (Halder, 2013), seperti untuk budidaya tambak. Kesesuaian lahan untuk budidaya tambak perlu dilakukan agar menjadi dasar pertimbangan dalam pengambilan keputusan penggunaan lahan yang cocok dengan kesesuaiannya. Menurut Rossiter (1996) dan Grant *et al.* (2008), evaluasi kesesuaian lahan sangat penting dilakukan karena lahan memiliki sifat fisik, sosial, ekonomi, dan geografi yang bervariasi atau lahan diciptakan tidak sama. Sifat yang bervariasi dari lahan tersebut dapat memengaruhi penggunaan lahan tersebut. Kesesuaian lahan merupakan suatu proses pendugaan keragaan lahan apabila lahan digunakan untuk tujuan tertentu (FAO, 1985) atau sebagai metode yang menjelaskan atau memprediksi kegunaan potensial dari lahan (van Dieven *et al.*, 1991), serta bertujuan untuk menyelamatkan sumberdaya yang ada secara berkelanjutan (Young, 1987; Boyd & Polioudakis, 2006). Apabila potensi lahan sudah dapat ditentukan, maka perencanaan penggunaan lahan dapat dilakukan berdasarkan pertimbangan yang rasional, paling tidak mengenai apa yang dapat ditawarkan oleh sumberdaya lahan tersebut (Dengüz *et al.*, 2003). Dengan demikian, kesesuaian lahan merupakan alat perencanaan penggunaan lahan yang strategis. Kesesuaian lahan memprediksi keragaan lahan mengenai keuntungan yang diharapkan dari penggunaan lahan dan kendala penggunaan lahan yang produktif, serta degradasi lingkungan yang diperkirakan akan terjadi karena penggunaan lahan. Kesesuaian lahan merupakan suatu kunci sukses dalam kegiatan akuakultur yang memengaruhi kesuksesan dan keberlanjutannya, serta dapat memecahkan konflik antara berbagai kegiatan dan membuat penggunaan lahan lebih rasional (Pérez *et al.*, 2003; Hossain & Das, 2010; Gong *et al.*, 2012; Rodriguez-Gallego *et al.*, 2012).

Saat ini dikenal istilah kesesuaian lahan aktual dan kesesuaian lahan potensial. Kesesuaian lahan aktual adalah kesesuaian lahan saat ini dalam keadaan alami atau tanpa ada perbaikan lahan, sedangkan kesesuaian lahan potensial adalah kesesuaian lahan setelah dilakukan perbaikan lahan (Hardjowigeno & Widiatmaka, 2011). Kesesuaian lahan aktual adalah kesesuaian lahan berdasarkan data sifat biofisik lahan sebelum lahan tersebut diberikan masukan-masukan yang diperlukan untuk mengatasi kendala (Ritung *et al.*, 2007; Mustafa *et al.*, 2011). Menurut Rayes *et al.* (2007), lahan yang dapat dievaluasi untuk kegiatan pertanian secara umum adalah hutan konversi, lahan telantar atau tidak produktif, lahan yang produktivitasnya kurang memuaskan tetapi masih memungkinkan untuk dapat ditingkatkan bila komoditasnya diganti dengan yang lebih sesuai, dan lahan yang ada (*existing*). KKP (2011) juga telah memperkenalkan istilah lahan potensi tambak, lahan potensial tambak, dan lahan tambak yang ada.

Penelitian bertujuan untuk mengetahui karakteristik lahan sebagai upaya untuk menentukan kesesuaian lahan untuk budidaya udang windu di tambak pada musim kemarau agar produktivitas tambak dapat meningkat dan berkelanjutan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan Pemerintah Kabupaten Mamuju secara khusus dan Pemerintah Provinsi Sulawesi Barat secara umum dalam penentuan Rencana Tata Ruang Wilayah.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juli dan Agustus 2010 yang mewakili musim kemarau di Kabupaten Mamuju Provinsi Sulawesi Barat. Lokasi penelitian adalah wilayah pesisir Kecamatan Mamuju, Simkep (Simbodo dan Kepulauan), Kalukku, Papalang, Sampaga, Budongbudong, Pangale, Topoyo, dan Karossa. Wilayah pesisir tersebut berada mulai dari garis pantai Kabupaten Mamuju di Selat Makassar sampai ke arah darat di mana masih ada tambak. Analisis kualitas tanah dan air masing-masing dilakukan di Laboratorium Tanah dan Laboratorium Air Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Air Payau di Maros, Provinsi Sulawesi Selatan.

Pengumpulan Data

Data Primer

Data primer yang dikumpulkan meliputi data kualitas fisik lahan yaitu: tanah, topografi, dan hidrologi. Pengukuran dan pengambilan contoh tanah dilakukan pada kedalaman 0-0,25 m dan 0,50-0,75 m. Kualitas tanah yang diukur di lapangan adalah pH_F (pH tanah yang diukur langsung di lapangan) dengan pH-meter (Ahern *et al.*, 2004), pH_{FOX} (pH tanah yang diukur di lapangan setelah dioksidasi dengan hidrogen peroksida 30%) dengan pH-meter (Ahern *et al.*, 2004), dan potensial redoks diukur dengan redox-meter. Untuk analisis peubah kualitas tanah lainnya, maka contoh tanah yang ada dalam kantong plastik dimasukkan dalam *cool box* yang berisi es sesuai petunjuk Ahern *et al.* (2004). Oleh karena seluruh contoh tanah adalah tanah sulfat masam, maka contoh tanah diovenkan pada suhu 80°C-85°C selama 48 jam (Ahern *et al.*, 2004). Setelah kering, contoh tanah dihaluskan dengan cara ditumbuk pada lumpang porselin dan diayak dengan ayakan ukuran lubang 2,0 mm dan 0,5 mm. Kualitas tanah yang dianalisis di laboratorium meliputi pH_{KCl} (pH dari ekstrak KCl) (McElnea & Ahern, 2004a), pH_{OX} (McElnea & Ahern, 2004b), S_p (sulfur peroksida) (Melville, 1993; McElnea & Ahern, 2004c), S_{KCl} (sulfur yang diekstrak dengan KCl) (Melville, 1993; McElnea & Ahern, 2004d), S_{POS} ($S_p - S_{KCl}$) (Ahern & McElnea, 2004), TPA (*Titrateable Peroxide Acidity*) (McElnea & Ahern, 2004b), TAA (*Titrateable Actual Acidity*) (McElnea & Ahern, 2004a), TSA (*Titrateable Sulfidic Acidity*) (TPA-TAA) (McElnea & Ahern, 2004b), pirit (Ahern *et al.*, 1998a; 1998b), karbon organik dengan metode Walkley & Black (Sulaeman *et al.*, 2005), N total dengan metode Kjeldhal (Sulaeman *et al.*, 2005), PO_4

dengan metode Bray 1 (Sulaeman *et al.*, 2005), Fe dengan spektrofotometer (Menon, 1973), Al dengan spektrofotometer (Menon, 1973), dan tekstur dengan metode hidrometer (Agus *et al.*, 2006).

Topografi diketahui melalui pengamatan di lapangan. Data hidrologi yang dikumpulkan meliputi pasang surut dan kualitas air. Data pasang surut diperoleh dari Jawatan Hidro-Oseanografi (2009) untuk lokasi Mamuju. Pengukuran dan pengambilan contoh air dilakukan di sungai, laut, saluran, dan tambak. Pengukuran dan pengambilan contoh air di tambak mengikuti titik pengambilan contoh tanah. Peubah kualitas air yang diukur langsung di lapangan yang dilakukan antara pukul 10.00 sampai dengan 15.00 adalah suhu, salinitas, oksigen terlarut, dan pH dengan menggunakan Hydrolab® Minisonde. Contoh air untuk analisis di laboratorium diambil dengan menggunakan Kmerer Water Sampler dan dipreservasi mengikuti petunjuk APHA (2005). Peubah kualitas air yang dianalisis di laboratorium meliputi: NH_4 , NO_3 , NO_2 , PO_4 , Fe, bahan organik total, dan klorofil-a. Amonium dianalisis dengan metode fenat, nitrat dengan metode reduksi kadmium, nitrit dengan spektrofotometri, fosfat dengan metode asam askorbik, besi dengan metode fenantrolin, bahan organik total dengan metode titrimetri, dan klorofil-a dengan metode flourometri (Menon, 1973; Parsons *et al.*, 1989; APHA, 2005).

Data Sekunder

Data sekunder dikumpulkan melalui penelusuran berbagai laporan, pustaka, hasil penelitian dari berbagai instansi terkait, dan peta. Peta yang dikumpulkan antara lain peta Rupabumi Indonesia skala 1:50.000 dengan nomor indeks 2014-22/21 (Karossa), 2013-53 (Budongbudong), 2013-51 (Papalan), 2013-23 (Balawa Kalumpang), 2013-14 (Mamuju), dan 2013-12 (Tapalang), peta Jenis Tanah skala 1:250.000 Provinsi Sulawesi Selatan (termasuk Sulawesi Barat), peta Geologi Provinsi Sulawesi Selatan (termasuk Sulawesi Barat), dan peta Administrasi Kabupaten Mamuju. Data curah hujan bulanan Kabupaten Mamuju selama 13-15 tahun terakhir diperoleh dari Stasiun Klimatologi Kelas I Panakkukang di Maros (Provinsi Sulawesi Selatan).

Analisis Data

Statistik deskriptif berupa nilai minimum, maksimum, kisaran, rata-rata, dan deviasi standar digunakan untuk analisis data setiap peubah kualitas tanah dan air. Peta awal berupa peta penutup/penggunaan lahan diperoleh dari hasil klasifikasi tidak terbimbing Citra ALOS (Advanced Land Observing Satellite) AVNIR-2 (The Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2) akuisisi 28 Juli 2009 dengan Program ER Mapper 7.1 yang diintegrasikan dengan peta dasar dari peta Rupabumi Indonesia. Data dan referensi yang diperoleh dari cek lapangan digunakan untuk melakukan reinterpretasi citra hasil klasifikasi dan peta awal. Data dari cek lapangan ini digunakan sebagai contoh atau *area of interest* untuk mengklasifikasi data

satelit. Proses reinterpretasi menghasilkan luasan tambak terkoreksi, selanjutnya dibuat peta akhir yang menggambarkan secara spasial sebaran tambak dan penggunaan/penutup lahan lainnya di Kabupaten Mamuju.

Informasi spasial lain yang diperoleh dari data primer dan sekunder juga diintegrasikan dengan peta penutup/penggunaan Lahan. Data primer, data sekunder, dan peta penutup/penggunaan lahan yang sudah ada, selanjutnya dilakukan pengolahan data secara spasial Sistem Informasi Geografis (SIG). Proses analisis spasial menggunakan program ArcView 3.3 dengan cara memasukkan setiap peubah data untuk menghasilkan peta tematik bagi setiap peubah data dengan mengaplikasikan metode kriging dalam interpolasi data. Selanjutnya dilakukan proses tumpang tindih pada semua peubah untuk penghitungan kembali bobot kumulatif untuk semua faktor. Kriteria yang digunakan dalam penentuan kesesuaian lahan untuk budidaya tambak mengacu pada kriteria yang ada (Poernomo, 1988; Boyd, 1995; Treece, 2000; Salam *et al.*, 2003; Karthik *et al.*, 2005; Mustafa *et al.*, 2007).

Asumsi yang diterapkan dalam evaluasi kesesuaian lahan tambak disesuaikan pada pengelolaan yang rendah atau sederhana. Infrastruktur dan sosial-ekonomi tidak dipertimbangkan dalam kesesuaian lahan ini. Hasil proses penilaian kesesuaian lahan ditampilkan dalam bentuk sistem klasifikasi kesesuaian lahan aktual. Sistem klasifikasi kesesuaian lahan ditentukan sampai tingkat kategori Kelas.

HASIL DAN BAHASAN

Karakteristik Lahan

Telah disebutkan sebelumnya bahwa lahan merupakan suatu lingkungan fisik yang terdiri atas topografi, tanah, hidrologi, vegetasi, dan iklim. Oleh karena itu, setiap bagian dari lahan tersebut (kecuali vegetasi) akan dibahas pada bagian berikut.

Topografi

Tambak di kawasan pesisir Kabupaten Mamuju umumnya dibangun pada areal yang sebelumnya adalah kawasan mangrove. Secara umum kawasan mangrove berada pada topografi yang relatif datar dan elevasi yang dapat dijangkau oleh pasang surut agar mangrove dapat hidup dan berkembang. Dengan demikian, topografi kawasan tambak di Kabupaten Mamuju tergolong rendah dan datar. Chanratchakool *et al.* (1995) menyarankan lahan yang baik untuk budidaya tambak adalah relatif datar.

Tanah

Tanah merupakan wadah untuk menampung air media budidaya tambak, sehingga tanah menjadi salah satu kunci sukses keberhasilan budidaya tambak terutama yang dikelola secara tradisional sampai semi-intensif. Sebab proses kimia, fisika, dan biologis yang terjadi pada

tanah tambak akan memengaruhi kualitas air yang ada di dalam wadah tersebut.

Jenis tanah yang dijumpai di kawasan pertambakan Kabupaten Mamuju didominasi oleh tanah sulfat masam dan sebagian kecil tanah sulfat masam yang berasosiasi dengan tanah gambut. Berdasarkan pada Taksonomi Tanah (Soil Survey Staff, 2001), tanah di kawasan pesisir Kabupaten Mamuju diklasifikasikan sebagai Sulfaquent, Hydraquent, dan Sulfishemits untuk kategori Kelompok Besar (*Great Groups*).

Kualitas tanah tambak di Kabupaten Mamuju terlihat pada Tabel 1 untuk kedalaman 0-0,25 m dan pada Tabel 2 untuk kedalaman 0,50-0,75 m. Perbedaan kondisi tanah sulfat masam (teroksidasi atau tereduksi) berdampak pada perubahan karakteristik tanah, sehingga peubah kualitas tanah yang dianalisis untuk tanah sulfat masam adalah juga peubah kualitas tanah yang khas atau menjadi ciri spesifik untuk tanah sulfat masam. pH_f tanah relatif sama pada kedalaman tanah yang berbeda, sedangkan pH_{FOX} lebih tinggi pada kedalaman 0-0,25 m daripada kedalaman 0,50-0,75 m. Sebagai akibat pH_f yang relatif sama dan pH_{FOX} yang lebih tinggi pada kedalaman 0-0,25 m, mengakibatkan $pH_f - pH_{FOX}$ lebih rendah pada kedalaman 0-0,25 m yang berarti potensi kemasaman pada kedalaman 0-0,25 m lebih rendah daripada kedalaman 0,50-0,75 m. Rendahnya potensi kemasaman pada kedalaman 0-0,25 m sebagai akibat proses remediasi yang berjalan secara alami untuk waktu yang cukup lama. Potensi kemasaman yang rendah pada kedalaman 0-0,25 m juga diduga sebagai akibat pemberian kapur oleh pembudidaya tambak pada setiap persiapan tambak.

Potensial redoks tanah menggambarkan kondisi tanah yang tereduksi atau teroksidasi. Dari Tabel 1 terlihat bahwa potensial redoks tanah di Kabupaten Mamuju bernilai negatif, baik pada kedalaman 0-0,25 m maupun 0,50-0,75 m yang berarti tanah dalam kondisi tereduksi. Hal ini sebagai akibat tanah yang telah lama tergenang pada saat pengambilan contoh tanah, sehingga terbentuk kondisi reduksi pada tanah dasar tambak. Ada daerah tertentu yang potensial redoksnya bernilai positif yaitu tanah yang diambil pada pematang yang telah lama dikeringkan.

Nilai S_{POS} tanah telah digunakan oleh Ahern *et al.* (1998b) untuk menentukan kebutuhan kapur bagi tanah sulfat masam. Data Tabel 1 dan 2 menunjukkan bahwa kandungan S_{POS} tanah cukup tinggi yang berarti membutuhkan kapur yang tinggi pula. Kebutuhan kapur yang tinggi ditandai kandungan unsur beracun seperti Fe (besi) dan Al (aluminium) yang tinggi juga. Kandungan Fe dan Al yang tinggi di Kabupaten Mamuju menyebabkan kandungan PO_4 (fosfat) tanah relatif lebih rendah. Hal ini sebagai akibat dari Fe dan Al tanah yang dapat menyebabkan PO_4 menjadi tidak tersedia.

Kandungan bahan organik tanah pada kedalaman 0-0,25 m relatif sama dengan kedalaman 0,50-0,75 m di Kabupaten Mamuju. Kandungan bahan organik tertinggi

dapat mencapai 34,12% pada kedalaman 0-0,25 m dan 35,26% pada kedalaman 0,50-0,75 m. Seperti telah dikatakan sebelumnya, bahwa tanah di Kabupaten Mamuju diklasifikasikan dalam Organosol atau tanah gambut. Tanah gambut adalah tanah yang dicirikan dengan kandungan C-organik (karbon-organik) yang tinggi yaitu melebihi 15% atau kandungan bahan organik melebihi 26% (Boyd *et al.*, 2002).

Kandungan pasir umumnya tinggi (lebih besar 80%) dan sebaliknya kandungan liat sangat rendah (kurang dari 7%) di Kabupaten Mamuju. Tekstur tanah yang

demikian tergolong tekstur yang kurang menguntungkan secara fisik untuk konstruksi pematang tambak. Secara kimia, tekstur tanah demikian juga tidak mampu menyimpan unsur hara dan memiliki daya sangga tanah yang rendah sehingga fluktuasi pH dapat lebih besar. Tanah tambak dengan kandungan pasir 5%-10% tergolong baik untuk budidaya tambak.

Hidrologi

Bagi organisme akuatik termasuk udang windu, air berperan sebagai media, baik media internal maupun

Tabel 1. Statistik deskriptif kualitas tanah pada kedalaman 0-0,25 m di kawasan pertambakan Kabupaten Mamuju Provinsi Sulawesi Barat (n = 83)

Table 1. Descriptive statistic of soil quality at depth of 0-0.25 m in brackishwater pond area of Mamuju Regency West Sulawesi Province (n = 83)

Peubah Variables	Minimum	Maksimum Maximum	Kisaran Range	Rata-rata Average	Deviasi standar Standard deviation
pH _F	3.96	7.45	3,49	6.037	0.4821
Potensial redoks Redox potential (mV)	-366	153	519	-191	115.35
pH _{FOX}	0.01	5.95	5,94	2.368	17.815
pH _F -pH _{FOX}	0.20	6.23	6,03	3.669	1.9400
pH _{KCl}	2.93	7.40	4,47	6.134	0.9401
pH _{OX}	0.73	6.40	5,67	2.244	12.827
S _{KCl} (%)	0.21	35.14	34,93	1.269	39.451
S _P (%)	0.42	22.07	21,65	8.067	62.787
S _{POS} (%)	1.94	18.08	32,02	6.799	62.295
TPA (mol H ⁺ /ton) (mole H ⁺ /ton)	7.0	2,356	2,349.0	543.01	554.250
TAA (mol H ⁺ /ton) (mole H ⁺ /ton)	0.0	106.0	106.0	3.70	15.150
TSA (mol H ⁺ /ton) (mole H ⁺ /ton)	7.0	2,353.0	2,346.0	539.28	551.298
Pirit (Pyrite) (%)	0.03	10.50	10,47	2.408	24.612
Fe (mg/L)	26.50	4,902.00	4,875.50	2,923.488	1,821.4112
Al (mg/L)	0.01	953.50	953.49	279.211	1.837.827
Bahan organik Organic matter (%)	1.09	34.12	33.03	11.939	9.9280
N total (Total N) (%)	0.01	1.11	1.10	0.359	0.2604
Rasio C:N (C:N ratio)	6.7	71.6	54.9	20.06	10.841
PO ₄ (mg/L)	0.01	385.95	385.94	45.253	556.221
Pasir (Sand) (%)	50.0	98.0	48.0	84.6	9.55
Debu (Silt) (%)	1.0	30.0	29.0	8.6	5.50
Liat (Clay) (%)	2.0	34.0	32.0	6.8	6.20
Tekstur (Texture)	Pasir berlempung (loamy sand), pasir (sand), lempung liat berpasir (sandy clay loam), lempung berpasir (sandy loam)				

Tabel 2. Statistik deskriptif kualitas tanah pada kedalaman 0,50-0,75 m di kawasan pertambakan Kabupaten Mamuju Provinsi Sulawesi Barat (n = 78)
 Table 2. Descriptive statistic of soil quality at depth of 0.50-0.75 m in brackishwater pond area of Mamuju Regency West Sulawesi Province (n = 78)

Peubah Variables	Minimum	Maksimum Maximum	Kisaran Range	Rata-rata Average	Deviasi standar Standard deviation
pH _F	4.250	7.080	2.830	6.095	0.4500
Potensial redoks Redox potential (mV)	-378.0	168.0	546.0	-212.7	112.27
pH _{FOX}	0.010	5.360	5.350	1.918	1.5304
pH _F -pH _{FOX}	0.590	6.020	5.430	4.177	1.6424
pH _{KCl}	2.720	7.270	4.550	5.993	1.0028
pH _{OX}	0.730	6.440	5.710	1.996	1.1560
S _{KCl} (%)	0.174	40.755	40.581	2.187	6.8627
S _p (%)	0.494	22.265	21.771	9.506	6.6048
S _{POS} (%)	2,915	20.917	44.832	7.319	8.0438
TPA (mol H ⁺ /ton) (mole H ⁺ /ton)	0.00	2,130.00	2,103.00	625.17	554.751
TAA (mol H ⁺ /ton) (mole H ⁺ /ton)	0.0	77.0	77.0	3.2	11.38
TSA (mol H ⁺ /ton) (mole H ⁺ /ton)	0.00	2,100.00	2,100.00	621.98	550.858
Pirit (Pyrite) (%)	0.001	9.375	9.374	2.777	2.4592
Fe (mg/L)	63.000	4,827.500	4,764.499	3,171.397	1,902.66
Al (mg/L)	0.001	911.000	911.499	292.795	182.4801
Bahan organik Organic matter (%)	0.27	35.26	34.99	12.664	10.0406
N total (Total N) (%)	0.01	0.97	0.96	0.308	0.2145
Rasio C:N (C:N ratio)	4.8	69.4	64.6	25.05	12.11
PO ₄ (mg/L)	0.01	512.50	512.49	44.501	66.4202
Pasir (Sand) (%)	54.0	98.0	44.0	84.8	9.32
Debu (Silt) (%)	1.0	28.0	27.0	8.6	6.25
Liat (Clay) (%)	2.0	24.0	22.0	6.6	4.61
Tekstur (Texture)	Pasir berlempung (loamy sand), pasir (sand), lempung liat berpasir (sandy clay loam), lempung berpasir (sandy loam)				

eksternal. Sebagai media internal, air berperan sebagai bahan baku reaksi di dalam tubuh, pengangkut bahan makanan ke seluruh tubuh, pengangkut sisa metabolisme untuk dikeluarkan dari dalam tubuh dan sebagai pengatur atau penyangga suhu tubuh. Sebagai media eksternal, air berperan sebagai habitat tumbuh dan hidupnya.

Suhu air di pertambakan Kabupaten Mamuju berkisar antara 26,67°C-39,56°C dengan rata-rata 33,532°C (Tabel 3). Suhu air yang tinggi terukur pada tambak yang airnya sangat dangkal (kurang dari 0,1 m), dengan demikian pada lokasi yang sama dengan ketinggian air yang lebih dalam

maka suhu air akan menurun. Suhu air yang layak untuk budidaya udang windu berkisar antara 26°C-32°C (Poernomo, 1988) serta antara 13°C-33°C (Poxton, 2003) dan optimumnya antara 29°C-30°C (Poernomo, 1988). Suhu air antara 25°C-30°C adalah suhu yang baik untuk budidaya udang windu (Blanco, 1972; Chen, 1972).

Sungai yang tergolong sungai hidup yang berarti memiliki sumber air tawar banyak dijumpai di Kabupaten Mamuju. Hal ini terlihat jelas pada Tabel 3, di mana salinitas berkisar dari 0,14-35,59 g/L dengan rata-rata 21,39 g/L. Hal ini merupakan suatu kondisi yang sangat

Tabel 3. Statistik deskriptif kualitas air di kawasan pertambakan Kabupaten Mamuju, Provinsi Sulawesi Barat

Table 3. Descriptive statistic of water quality in brackishwater pond area of Mamuju Regency West Sulawesi Province

Peubah Variables	Minimum	Maksimum Maximum	Kisaran Range	Rata-rata Average	Deviasi standar Standard deviation
Suhu Temperature (°C)	26.76	39.56	12.80	33.532	2.5142
Salinitas Salinity (ppt)	0.14	35.73	35.59	21.390	9.3349
pH	7.17	8.78	1.61	7.980	0.4368
Oksigen terlarut Dissolved oxygen (mg/L)	1.78	12.73	10.95	6.355	2.2824
NH ₃ (mg/L)	0.0285	1.8148	1.7863	1.2099	0.44157
NO ₂ (mg/L)	0.0004	0.9399	0.9395	0.6266	0.16004
NO ₃ (mg/L)	0.0006	0.6591	0.6585	0.4394	0.12698
PO ₄ (mg/L)	0.0026	1.7245	1.7219	1.1497	0.39091
Fe (mg/L)	0.0005	0.0039	0.0034	0.0026	0.00076
Bahan organik total Total organic matter (mg/L)	12.6400	50.5600	37.9200	33.7067	7.71189
Klorofil-a Chlorophylle-a (µg/L)	0.0460	31.5860	31.5400	21.0573	7.01120

menguntungkan, sebab salinitas air relatif mudah diatur sesuai dengan tuntutan komoditas yang dibudidayakan, terutama pada lokasi yang dekat dengan sumber air tawar dan air asin. Udang windu merupakan organisme eurihalin, namun karena dibudidayakan untuk tujuan komersial, kisaran salinitas yang optimum perlu dipertahankan. Udang windu mampu menyesuaikan diri terhadap salinitas 3-45 ppt (Tseng, 1987 dalam Poernomo, 1988), namun untuk pertumbuhan optimum diperlukan salinitas 15-25 g/L (Poernomo, 1988).

Kisaran pH yang baik untuk udang windu adalah 7,5-8,7 dengan optimum 8,0-8,5 (Poernomo, 1988). Dari Tabel 3 menunjukkan bahwa pH air tambak di Kabupaten Mamuju tergolong sesuai untuk budidaya perikanan air payau. Walaupun telah dilaporkan sebelumnya, bahwa tambak di Kabupaten Mamuju tergolong tanah sulfat masam, tetapi pada saat pengambilan contoh air, tambak lebih banyak terisi air dan kemungkinan tidak ada proses pembilasan dari pematang, sehingga menyebabkan pH air tambak masih tergolong netral.

Oksigen terlarut air tambak di Kabupaten Mamuju berkisar 1,78-12,73 mg/L dengan rata-rata 6,355 mg/L. Dalam hal ini, oksigen terlarut air tambak di Kabupaten Mamuju tergolong sesuai untuk budidaya tambak. Pada kandungan oksigen terlarut antara 1,5-3,5 mg/L dapat menyebabkan pertumbuhan, serta konsumsi pakan dan efisiensi pakan pada udang windu menjadi rendah (Tsai, 1989). Batas oksigen terlarut untuk udang windu adalah 3-10 mg/L dan optimum 4-7 mg/L (Poernomo, 1988).

Kandungan amonia air tambak Kabupaten Mamuju berkisar antara 0,0285 sampai 1,8148 mg/L dengan rata-rata 1,2099 mg/L. Kandungan NH₃ 0,05-0,20 mg/L sudah menghambat pertumbuhan organisme akuatik pada umumnya. Apabila kandungan NH₃ lebih dari 0,2 mg/L; perairan bersifat toksin bagi beberapa jenis ikan (Swayer & McCarty, 1978). Liu (1989) dan Chanratchakool *et al.* (1995) menyatakan bahwa kandungan amonia yang diperkenankan untuk budidaya udang windu adalah kurang dari 0,1 mg/L. Berdasarkan informasi yang ada menunjukkan bahwa kandungan amonia air tambak di Kabupaten Mamuju tergolong tinggi. Ikan tidak dapat bertoleransi terhadap kandungan NH₃ yang terlalu tinggi, karena dapat mengganggu proses pengikatan oksigen oleh darah dan pada akhirnya dapat mengakibatkan sufokasi.

Nitrit (NO₂) merupakan bentuk antara dalam oksidasi amonium menjadi nitrat, mengubah hemoglobin menjadi metemoglobin, tidak membawa oksigen, dan dapat menyebabkan anoksia pada ikan dan organisme akuatik lainnya. Kandungan nitrit air tambak Kabupaten Mamuju berkisar 0,0004-0,9399 mg/L dengan rata-rata 0,6266 mg/L yang juga tergolong cukup tinggi. Kandungan NO₂ pada perairan relatif kecil karena segera dioksidasi menjadi nitrat. Di perairan, kandungan NO₂ jarang melebihi 1 mg/L (Sawyer & McCarty, 1978). Kandungan NO₂ yang lebih dari 0,05 mg/L dapat bersifat toksin bagi organisme akuatik yang sangat sensitif (Moore, 1991).

Nitrat (NO₃) adalah bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrisi utama bagi pertumbuhan

tanaman dan alga. Nitrat tidak bersifat toksin terhadap organisme akuatik. Dari Tabel 3 terlihat bahwa kandungan nitrat air tambak di Kabupaten Mamuju berkisar antara 0,0006-0,6585 mg/L dengan rata-rata 0,4394 mg/L. Kandungan nitrat ini juga tergolong tinggi. Kandungan NO_3 pada perairan alami hampir tidak pernah lebih dari 0,1 mg/L. Kandungan NO_3 lebih dari 5 mg/L menggambarkan terjadinya pencemaran antropogenik yang berasal dari aktivitas manusia dan tinja hewan. Kandungan NO_3 yang lebih dari 0,2 mg/L dapat mengakibatkan terjadinya eutrofikasi perairan yang selanjutnya menstimulir pertumbuhan alga dan tumbuhan air secara pesat.

Unsur fosfor tidak ditemukan dalam bentuk bebas sebagai elemen, melainkan dalam bentuk senyawa anorganik yang terlarut (ortofosfat dan polifosfat) dan senyawa organik yang berupa partikulat dalam perairan. Kandungan PO_4 jarang melebihi 0,1 mg/L; meskipun pada perairan eutrof. Kandungan PO_4 pada perairan alami jarang melebihi 1 mg/L (Boyd, 1988). Berdasarkan kandungan fosfat, perairan diklasifikasikan menjadi tiga yaitu: perairan dengan kesuburan rendah, yang memiliki kandungan fosfat berkisar antara 0-0,02 mg/L; perairan dengan tingkat kesuburan sedang, yang memiliki kandungan fosfat 0,021-0,05 mg/L; dan perairan dengan tingkat kesuburan tinggi, yang memiliki kandungan fosfat 0,051-0,10 mg/L (Yoshimura, 1966 dalam Liaw, 1969). Berdasarkan kriteria tersebut menunjukkan bahwa kualitas air tambak di Kabupaten Mamuju tergolong tingkat kesuburan sedang dan tinggi.

Besi merupakan unsur toksin dalam tambak tanah sulfat masam (Golez, 1995). Kandungan besi tambak Kabupaten Mamuju berkisar 0,0005-0,0034 mg/L dengan rata-rata 0,0026 mg/L. Penurunan pH tanah sebagai hasil dari oksidasi pirit akan meningkatkan kandungan besi jika dibandingkan dengan kandungan besi dalam air alami yang umumnya berkisar antara 0,05-0,20 mg/L (Boyd, 1995). Secara umum kandungan besi air tambak di Kabupaten Mamuju masih tergolong rendah dan aman untuk budidaya tambak. Kandungan besi air yang direkomendasikan oleh ANZECC (2000) lebih rendah 1,0 mg/L. Dikatakan oleh Peuranen *et al.* (1994) dalam Ritvo *et al.* (2004) bahwa kandungan besi 0,8-1,7 mg/L dapat merusak insang pada ikan brown trout (*Salmo trutta*). Kandungan besi air yang lebih tinggi dari 1,0 mg/L dianggap membahayakan kehidupan organisme akuatik (Moore, 1991).

Penggunaan pigmen fotosintesis sebagai prediktor biomassa alga telah umum diketahui dan terutama karena pigmen adalah spesifik pada tanaman dan penentuannya adalah relatif mudah dan langsung (Ekpenyong, 2000). Dari semua pigmen, klorofil-a adalah lebih banyak digunakan untuk mengukur biomassa fitoplankton, karena mengandung sekitar 1%-2% dari bobot kering alga fitoplankton dan lebih berperan sebagai indikator untuk menduga biomassa alga (APHA, 2005). Klorofil-a telah digunakan oleh Muchlisin & Lestari (2006) sebagai peubah

dalam analisis kesesuaian perairan tambak di Kabupaten Demak, Jawa Tengah.

Kisaran pasang surut di kawasan pesisir Kabupaten Mamuju sebesar 1,9 m. Kisaran pasang surut yang ideal untuk tambak budidaya udang adalah antara 1,5-2,5 m. Dengan kisaran pasang surut yang demikian itu di Kabupaten Mamuju menunjukkan bahwa dengan elevasi tambak yang tepat maka tambak dapat dikeringkan dan diisi air secara gravitasi, tanpa pematang utama dibuat lebih lebar dan tinggi untuk menahan tekanan air waktu pasang tinggi dan surut rendah.

Iklm

Salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap budidaya tambak termasuk kualitas air tambak adalah iklim, terutama curah hujan. Curah hujan bulanan di Kabupaten Mamuju menunjukkan bahwa setiap bulan terjadi hujan dengan curah hujan melebihi 100 mm/bulan. Curah hujan bulanan yang rendah dijumpai pada Juli sampai Oktober dan Februari, curah hujan yang lebih tinggi dijumpai pada bulan lainnya yaitu dari November sampai Januari dan Maret sampai Juni.

Curah hujan di Pulopongale, Binanga, Tasiu, dan Paniki berturut-turut 2.799, 3.482, 2.734, dan 2.833 mm/tahun. Curah hujan antara 2.000-3.000 mm/tahun dengan bulan kering 2-3 bulan cukup baik digunakan untuk tambak. Jika akan mengembangkan budidaya udang windu di tambak dengan tanah berpotensi masam atau telah masam maka curah hujan antara 2.000-2.500 mm/tahun dapat memberikan berbagai keuntungan (FAO, 1988). Dengan demikian curah hujan di Pulopongale, Tasiu, dan Paniki tergolong baik untuk budidaya tambak dan di Binanga tergolong kurang mendukung untuk usaha budidaya tambak. Persiapan tambak adalah salah satu kegiatan yang harus dilakukan sebelum dilakukan penebaran. Pada saat persiapan tambak dilakukan pengeringan tambak dengan tujuan untuk memperbaiki sifat fisik tanah, meningkatkan mineralisasi bahan organik, dan menghilangkan bahan-bahan beracun berupa hidrogen sulfida, amonia, dan metan. Karena itu, diperlukan adanya bulan-bulan kering tertentu pada setiap tahun. Bulan Juni sampai Oktober, serta Februari adalah saat yang tepat dalam melaksanakan persiapan tambak di Kabupaten Mamuju.

Kesesuaian Lahan

Daerah penyangga perlu disediakan dalam kawasan pertambakan. Daerah penyangga berupa lahan yang berbatasan dengan laut atau sungai yang tidak digunakan untuk budidaya tambak, melainkan untuk tempat tumbuhnya vegetasi mangrove yang merupakan tanaman asli di daerah tersebut. Fungsi dan manfaat vegetasi mangrove telah banyak diketahui, baik sebagai tempat pemijahan ikan di perairan, pelindung daratan dari abrasi oleh ombak, pelindung daratan dari tiupan angin, penyaring intrusi air laut ke daratan dan kandungan logam berat yang berbahaya bagi kehidupan, tempat singgah migrasi burung, dan sebagai habitat satwa liar,

kesesuaian lahan potensial (Ritung *et al.*, 2007; Mustafa *et al.*, 2011). Sebagai faktor pembatas utama kesesuaian lahan tambak di Kabupaten Mamuju adalah potensi kemasaman tanah yang tinggi dan tekstur tanah yang tergolong kasar.

Pada lokasi yang tergolong sangat sesuai disarankan untuk melakukan budidaya udang windu dengan teknologi intensif dan semi-intensif, pada lokasi yang tergolong cukup sesuai disarankan melakukan budidaya udang windu dengan teknologi tradisional dan tradisional plus dan pada lokasi yang kurang sesuai melakukan polikultur udang windu, ikan bandeng, dan rumput laut. Tidak disarankan untuk melakukan polikultur dengan rumput laut pada daerah yang bersalinitas kurang dari 15 g/L.

Udang windu dan ikan bandeng adalah komoditas yang dapat dipolikulturkan di tambak (Eldani & Primavera, 1981). Kedua komoditas tersebut secara umum menuntut kondisi lingkungan yang relatif sama, tetapi menempati relung ekologi yang berbeda dalam tambak. Perbedaan habitat makanan dari kedua komoditas tersebut yang menyebabkan tidak terjadi kompetisi di antaranya. Polikultur ikan bandeng dengan rumput laut juga telah dilakukan pada tambak yang tergolong tanah sulfat masam (Sammut *et al.*, 2003; Mustafa & Ratnawati, 2005; Mustafa & Sammut, 2010).

KESIMPULAN DAN SARAN

Tanah di tambak Kabupaten Mamuju (Provinsi Sulawesi Barat) termasuk tanah sulfat masam dan tanah sulfat masam yang berasosiasi dengan tanah gambut yang dicirikan dengan pH rendah, potensi kemasaman, serta kandungan unsur toksin tergolong tinggi, dan kandungan unsur hara makro tergolong rendah. Tekstur tanah tergolong pasir berlempung, pasir, lempung liat berpasir, dan lempung berpasir. Kualitas air secara umum dapat mendukung budidaya udang di tambak, kecuali bentuk-bentuk nitrogen yang memiliki kandungan yang relatif tinggi. Curah hujan yang rendah pada bulan Juli sampai Oktober dan bulan-bulan lainnya tergolong bercurah hujan tinggi.

Hasil analisis kesesuaian lahan actual menunjukkan bahwa dari luas tambak yang ada di Kabupaten Mamuju, yaitu 7.639,8 ha; ternyata 27,0 ha tergolong sangat sesuai; 1.339,1 ha tergolong cukup sesuai; dan 6.273,7 ha tergolong kurang sesuai. Pada lokasi yang tergolong sangat sesuai disarankan untuk melakukan budidaya udang windu dengan teknologi intensif dan semi-intensif, pada lokasi yang tergolong cukup sesuai disarankan melakukan budidaya udang windu dengan teknologi tradisional dan tradisional plus, dan pada lokasi tergolong kurang sesuai disarankan untuk melakukan polikultur udang windu, ikan bandeng, dan atau rumput laut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Muhammad Arnol dan Darsono atas bantuannya dalam pengambilan contoh

tanah dan air di lapangan dan Rosiana Sabang, Kamariah, dan Rahmiah atas bantuannya dalam analisis kualitas tanah di laboratorium, serta Sutrisyani, Andi Sahrijanna, dan Sitti Rohani atas bantuannya dalam analisis air di laboratorium.

DAFTAR ACUAN

- Agus, F., Yusrial, & Sutono. (2006). Penetapan tekstur tanah. Dalam Kurnia, U., Agus, F., Adimihardja, A., & Dariah, A. (Eds.), *Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor, hlm. 43-62.
- Ahern, C.R., Blunden, B., Sullivan, L.A., & McElnea, A.E. (2004). Soil sampling, handling, preparation and storage for analysis of dried samples. In *Acid Sulfate Soils Laboratory Methods Guidelines*. Queensland Department of Natural Resources, Mines and Energy, Indooroopilly, Queensland, p. B1-1-B1-5.
- Ahern, C.R., McElnea, A., & Baker, D.E. (1998a). Peroxide oxidation combined acidity and sulfate. In Ahern, C.R., Blunden, B., & Stone, Y. (Eds.), *Acid Sulfate Soils Laboratory Methods Guidelines*. Acid Sulfate Soil Management Advisory Committee, Wollongbar, NSW, p. 4.1-4.17.
- Ahern, C.R., McElnea, A., & Baker, D.E. (1998b). Total oxidisable sulfur. In Ahern, C.R., Blunden, B., & Stone, Y. (Eds.), *Acid Sulfate Soils Laboratory Methods Guidelines*. Acid Sulfate Soil Management Advisory Committee, Wollongbar, NSW, p. 5.1-5.7.
- Ahern, C.R., & Rayment, G.E. (1998). Codes for acid sulfate soils analytical methods. In Ahern, C.R., Blunden, B., & Stone, Y. (Eds.), *Acid Sulfate Soils Laboratory Methods Guidelines*. Acid Sulfate Soil Management Advisory Committee, Wollongbar, NSW, p. 3.1-3.5.
- Australian and New Zealand Environment and Conservation Council (ANZECC). 2000. Aquatic ecosystem. In An introduction to Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality. National Water Quality Management Strategy Paper 4A. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand. Canberra, p. 3.1-1-3.5-10.
- American Public Health Association (APHA). 2005. Standard methods for examination of water and wastewater. APHA-AWWA-WEF. Washington D.C., 1,185 pp.
- Blanco, G.J. (1972). Fish seed production for intensive coastal aquaculture in the Indo-Pacific Region. In Pillay, T.V.R. (Ed.), *Coastal Aquaculture in the Indo-Pacific Region*. Fishing News (Books) Ltd. London, p. 195-207.
- Baja, S. (2012). Metode analitik evaluasi sumber daya lahan: Aplikasi GIS, Fuzzy Set, dan MCDM. Identitas Universitas Hasanuddin. Makassar, 242 hlm.
- Boyd, C.E. (1995). Bottom soils, sediment, and pond aquaculture. Chapman and Hall. New York, 348 pp.
- Boyd, C.E., & Polioudakis, M. (2006). Land use for aquaculture production. *Global Aquaculture Advocate*, 9(2), 64-65.

- Boyd, C.E., Wood, C.W., & Thunjai, T. (2002). Aquaculture pond bottom soil quality management. Pond Dynamics/Aquaculture Collaborative Research Support Program Oregon State University, Corvallis. Oregon, 41 pp.
- Chanratchakool, P., Turnbull, J.F., Funge-Smith, S., & Limsuwan, C. 1995. Health management in shrimp ponds. Second edition. Aquatic Animal Health Research Institute, Department of Fisheries, Kasetsart University Campus. Bangkok, 111 pp.
- Chen, T.P. (1972). Fertilization and feeding in coastal fish farms in Taiwan. In Pillay, T.V.R. (Ed.), *Coastal aquaculture in the indo-pacific Region*. Fishing News (Books) Ltd. London, p. 410-437.
- van Dieven, C.A., van Keulen, H., Wolf, J., & Berkhout, J.A.A. (1991). Land evaluation: from intuition to quantification. In Stewart, B.A. (Ed.), *Advances in soil science*. Springer. New York, p. 139-204.
- Dengüz, O., Bayramün, Ü., & Ksel, M.Y. (2003). Geographic information system and remote sensing based land evaluation of Beypazarı area soils by ILSEN Model. *Turk. J. Agric. For.*, 27, 145-153.
- Ekpenyong, E. (2000). Algal biomass and pigment diversity in typical tropical fish ponds. *Tropical Ecology*, 41(1), 89-94.
- Eldani, A., & Primavera, J.H. (1981). Effect of different stocking combination of growth, production and survival rate of milkfish (*Chanos chanos* Forskal) and prawn (*Penaeus monodon* Fabricius) in polyculture in brackishwater ponds. *Aquaculture*, 23, 59-72.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1985. Guidelines: land evaluation for irrigated agriculture. In *FAO Soil Bulletin 55*. Soil Resources Management and Conservation Service and Water Development Division, FAO. Rome, 231 pp.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1988. A geographical information system for aquaculture development in Johor State. FAO Corporate Document Repository. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 77 pp.
- Food and Agriculture Organization (FAO). 1998. Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development. In *FAO Land and Water Bulletin 5*. FAO, UNDP, UNEP and World Bank. Rome, 208 pp.
- Golez, N.V. 1995. Formation of acid sulfate soil and its implications to brackish water ponds. *Aquacultural Engineering*, 14, 297-316.
- Gong, J., Liu, Y., & Chen, W. (2012). Land suitability evaluation for development using a matter-element model: a case study in Zengcheng, Guangzhou, China. *Land Use Policy*, 29, 464-472.
- Grant, J., Bacher, C., Cranford, P.J., Guyondet, T., & Carreau, M. (2008). A spatially explicit ecosystem model of seston depletion in dense mussel culture. *Journal of Marine Systems*, 73, 155-168.
- Halder, J.C. (2013). Land suitability assessment for crop cultivation by using remote sensing and GIS. *Journal of Geography and Geology*, 5(3), 65-74.
- Hardjowigeno, S., & Widiatmaka. (2011). Evaluasi kesesuaian lahan dan perencanaan tataguna lahan. Cetakan kedua. Gajah Mada University Press. Yogyakarta, 352 hlm.
- Hossain, M.S., & Das, N.G. (2010). GIS-based multi-criteria evaluation to land suitability modelling for giant prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) farming in Companigonj Upazila of Noakhali, Bangladesh. *Computers and Electronics in Agriculture*, 70(1), 172-186.
- Jawatan Hidro-Oseanografi. (2009). Daftar pasang surut Kepulauan Indonesia Tahun 2009. Jawatan Hidro-Oseanografi TNI AL. Jakarta, 679 hlm.
- Karthik, M., Suri, J., Saharan, N., & Biradar, R.S. (2005). Brackish water aquaculture site selection in Palghar Taluk, Thane district of Maharashtra, India, using the techniques of remote sensing and geographical information system. *Aquacultural Engineering*, 32, 285-302.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP). 2011. Kelautan dan Perikanan dalam Angka 2011. Kementerian Kelautan dan Perikanan. Jakarta, 120 hlm.
- Liaw, W.K. (1969). Chemical and biological studies of fish-ponds and reservoirs in Taiwan. *Rep. Fish Culture Res., Fish. Series, Chin. Am. Joint Commission on Rural Reconstruction*, 7, 1-43.
- Liu, C.-I. (1989). Shrimp disease, prevention and treatment. In Akiyama, D.M. (Ed.), *Proceedings of the Southeast Asia Shrimp Farm Management Workshop*. American Soybean Association. Singapore, p. 64-74.
- McElnea, A.E., & Ahern, C.R. (2004a). KCl extractable pH (pH_{KCl}) and titratable actual acidity (TAA). In *Acid Sulfate Soils Laboratory Methods Guidelines*. Queensland Department of Natural Resources, Mines and Energy, Indooroopilly. Queensland, p. B2-1-B2-3.
- McElnea, A.E., & Ahern, C.R. (2004b). Peroxide pH (pH_{Ox}), titratable peroxide acidity (TPA) and excess acid neutralising capacity (ANC_E). In *Acid sulfate soils laboratory methods guidelines*. Queensland Department of Natural Resources, Mines and Energy, Indooroopilly. Queensland, p. B3-1-B3-7.
- McElnea, A.E., & Ahern, C.R. (2004c). Sulfur-peroxide oxidation method. In *Acid sulfate soils laboratory methods guidelines*. Queensland Department of Natural Resources, Mines and Energy, Indooroopilly. Queensland, p. B7-1-B7-2.
- McElnea, A.E., & Ahern, C.R. (2004d). Sulfur 1M KCl extraction (S_{KCl}). In *Acid sulfate soils laboratory methods guidelines*. Queensland Department of Natural Resources, Mines and Energy, Indooroopilly. Queensland, p. B8-1-B8-2.
- Melville, M.D. (1993). Soil laboratory manual. School of Geography, The University of New South Wales. Sydney, 74 pp.

- Menon, R.G. (1973). Soil and water analysis: a laboratory manual for the analysis of soil and water. Proyek Survey O.K.T. Sumatera Selatan, Palembang, 190 pp.
- Moore, J.W. (1991). Inorganic contaminants of surface water. Springer-Verlag. New York, 334 pp.
- Muchlisin, A., & Lestari, L.W. (2006). Analisis kesesuaian perairan tambak di Kabupaten Demak ditinjau dari nilai klorofil-a, suhu permukaan perairan, dan muatan padatan tersuspensi menggunakan data Citra Satelit Landsat ETM 7+. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 3(1), 108-118.
- Mustafa, A. (2012). Kriteria kesesuaian lahan untuk berbagai komoditas di tambak. *Media Akuakultur*, 7(2), 108-118.
- Mustafa, A., Rachmansyah, & Hanafi, A. (2007). Kelayakan lahan untuk budi daya perikanan pesisir. *Dalam* Susilo, D.S.I., Wiadnyana, N.N., Wijayanti, E., Basmal, J., Asnawi, Supangat, A., Hanggono, A., & Insan, I. (Eds.), *Prosiding Simposium Nasional Hasil Riset Kelautan dan Perikanan Tahun 2007*. Badan Riset Perikanan Budidaya. Jakarta, hlm. 141-157.
- Mustafa, A., Radiarta, I N., & Rachmansyah. (2011). Profil dan kesesuaian lahan akuakultur mendukung minapolitan. *Diedit* Sudradjat, A. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan Budidaya. Jakarta, 91 hlm.
- Mustafa, A. & Ratnawati, E. (2005). Faktor pengelolaan yang berpengaruh terhadap produksi rumput laut (*Gracilaria verrucosa*) di tambak tanah sulfat masam (studi kasus di Kabupaten Luwu Provinsi Sulawesi Selatan). *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, 11(7), 67-77.
- Mustafa, A., & Sammut, J. 2010. Dominant factors affecting seaweed (*Gracilaria verrucosa*) production in acid sulfate soils-affected ponds of Luwu Regency, Indonesia. *Indonesian Aquaculture Journal*, 5(2), 147-162.
- Parsons, T.R., Maita, Y., & Lalli, C.M. (1989). A manual of chemical and biological methods for seawater analysis. Pergamon Press. Oxford, 173 pp.
- Pérez, O.M., Ross, L.G., Telfer, T.C., & del Campo Barquin, L.M. (2003). Water quality requirements for marine fish cage site selection in Tenerife (Canary Islands): predictive modelling and analysis using GIS. *Aquaculture*, 224, 51-68.
- Ritvo, G., Shitumbanuma, V., & Dixon, J.B. (2004). Soil solution sulfide control by two iron-oxide minerals in a submerged microcosm. *Aquaculture*, 239, 217-235.
- Poernomo, A. (1988). Pembuatan tambak udang di Indonesia. Seri Pengembangan No. 7. Balai Penelitian Perikanan Budidaya Pantai. Maros, 30 hlm.
- Poxton, M. (2003). Water quality. In Lucas, J.S., & Southgate, P.C. (Eds.), *Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants*. Blackwell Publishing Ltd. Oxford, p. 47-73.
- Rajitha, K., Mukherjee, C.K., & Chandran, R.V. (2007). Applications of remote sensing and GIS for sustainable management of shrimp culture in India. *Aquacultural Engineering*, 36, 1-17.
- Rayes, M.L. (2007). Metode inventarisasi sumber daya lahan. Penerbit Andi. Yogyakarta, 298 hlm.
- Ritung, S., Wahyunto, Agus, F., & Hidayat, H. 2007. Panduan evaluasi kesesuaian lahan dengan contoh peta arahan penggunaan lahan Kabupaten Aceh Barat. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF). Bogor, 39 hlm.
- Rodriguez-Gallego, L., Achkar, M., & Conde, D. (2012). Land suitability assessment in the catchment area of four Southwestern Atlantic Coastal Lagoons: Multicriteria and optimization modeling. *Environmental Management*, 50, 140-152.
- Rossiter, D.G. (1996). A theoretical framework for land evaluation. *Geoderma*, 72, 165-202.
- Salam, M.A., Ross, L.G., & Beveridge, C.M.M. (2003). A comparison of development opportunities for crab and shrimp aquaculture in southwestern Bangladesh, using GIS modeling. *Aquaculture*, 220, 477-494.
- Sammut, J., Mustafa, A., Hanafi, A., Tarunamulia, & Tahe, S. (2003). Polyculture: extends production life for ponds with acid sulfate soil. *Global Aquaculture Advocate*, 6(3), 72-73.
- Sawyer, C.N., & McCarty, P.L. (1978). Chemistry for environmental engineering. Third edition. McGraw-Hill Book Company. Tokyo, 532 pp.
- Soil Survey Staff. (2001). Soil taxonomy, a basic system of soil classification for making and interpreting soil survey. United State Department of Agriculture. Washington D.C., 734 pp.
- Sulaeman, Suparto, & Eviati. (2005). Petunjuk teknis analisis kimia tanah, tanaman, air, dan pupuk. Diedit oleh: Prasetyo, B.H., Santoso, D., & Widowati, L.R. Balai Penelitian Tanah. Bogor, 136 hlm.
- Treece, G.D. (2000). Site selection. In Stickney, R.R. (Ed.), *Encyclopedia of aquaculture*. John Wiley & Sons, Inc. New York, p. 869-879.
- Tsai, C.-K. (1989). Water quality management. In Akiyama, D.M. (Ed.), *Proceedings of the Southeast Asia Shrimp Farm Management Workshop*. American Soybean Association. Singapore, p. 56-63.
- Young, A. (1987). Distinctive features of land use planning for agroforestry. *Soil Survey and Land Evaluation*, 7, 133-140.