



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 5 Nomor 2 Tahun 2024 Page 3591-3608

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

Evaluasi Kesesuaian Lahan Tambak Budidaya Udang Windu Di Pulau Tarakan

Muhammad Amien^{1✉}, Zainuddin²

Program Studi Akuakultur, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,

Universitas Borneo Tarakan

Email: amin.fpikubt@gmail.com^{1✉}

Abstrak

Evaluasi lahan pada dasarnya adalah membandingkan persyaratan yang diminta oleh suatu penggunaan lahan yang akan diterapkan. Evaluasi kesesuaian lahan sangat penting dilakukan karena lahan memiliki sifat fisik, sosial, ekonomi, dan geografi yang bervariasi atau lahan diciptakan tidak sama. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian lahan tambak budidaya udang windu di Pulau Tarakan. Penentuan kelas kesesuaian lahan tambak yaitu pengambilan sampel air, tanah tambak, faktor topografi, dan infrastruktur. Data yang dikumpulkan berupa data primer dan sekunder. Metode pengambilan sampel menggunakan *purposive sampling method*. Penyusunan matriks kesesuaian lahan budidaya udang windu dilakukan dengan menggunakan kriteria kesesuaian lahan disusun berdasarkan parameter kualitas lingkungan yang relevan atau sesuai dengan kegiatan budidaya udang windu. Setiap variabel kualitas air, tanah tambak, topografi dan infrastruktur dibagi dalam tiga kelas yaitu sangat sesuai (S1) nilai 3, sesuai (S2) nilai 2, sesuai marjinal (S3) nilai 1. Tingkat kepentingan masing-masing variabel ditentukan dalam bentuk pembobotan (*pairwise comparison*, bagian dari AHP). Penentuan bobot kesesuaian lahan tambak budidaya udang windu ditentukan berdasarkan pendapat pakar dengan menggunakan metode perbandingan berpasangan. Analisis perbandingan berpasangan akan menghasilkan bobot tiap kriteria, disertai dengan nilai rasio konsistensi (CR) < 10 %. Berdasarkan hasil perhitungan kesesuaian lahan tambak budidaya udang windu di Pulau Tarakan termasuk kategori S1 dan S2. Hal ini menunjukkan bahwa lokasi tambak udang windu dilihat dari parameter tanah, air, topografi dan infrastruktur masih layak digunakan untuk budidaya udang windu. Namun salah satu parameter kualitas tanah tambak yang harus diperhatikan adalah pH tanah. Oleh karena perlunya dilakukan pengapuran tanah tambak, agar pH tanah memenuhi Baku Mutu berdasarkan Kepmen KP No. 75 Tahun 2016 yaitu > 5,5.

Kata Kunci: *kesesuaian lahan, Tambak, udang windu, skoring*

Abstract

Evaluation of land compares requirements requested by a use land that will be applied. Evaluation conformity land is significantly done Because land own characteristic physical, social, economic, and geographical variations or land created No same. Research This aims To evaluate conformity land pond cultivation shrimp windu on Tarakan Island. Determination class conformity land pond that is taking water, soil samples pond, factor topography, and infrastructure. The data was collected in the form of primary and secondary data. Data collection methods sample use purposive sampling method. Compilation matrix conformity land cultivation shrimp windu is done using criteria conformity land arranged based on quality parameters relevant to the environment or by activity cultivation shrimp windu. Every variable water quality, soil ponds, topography, and infrastructure is shared in three classes namely very suitable (S1) value 3, suitable (S2) value 2, and suitable marginal (S3) value 1. The level of importance of each variable is determined in form weighting (pairwise comparison, part from AHP). Determination weight conformity land pond cultivation shrimp windu determined based on opinion expert with use method comparison in pairs. Analysis comparison in pairs will produce weight for each criterion, accompanied by with mark ratio Consistency (CR)<10%. Based on the results calculation of suitability land pond cultivation shrimp windu on Tarakan Island including categories S1 and S2. This shows that the location of pond shrimp windu seen from soil, water, topography, and infrastructure parameters is Still worthy of use for the cultivation of shrimp windu. However, one of the quality parameters of land ponds that must be noticed is the pH of the soil. Therefore the need done calcify land ponds, so that the soil pH meets the Quality Standards based on the Minister of Maritime Affairs and Fisheries Decree No. 75 of 2016, namely >5.5.

Keywords: *land suitability, ponds, Tiger shrimp, scoring*

PENDAHULUAN

Wilayah pesisir dan pantai merupakan area yang rentan mengalami perubahan, baik akibat faktor alamiah maupun aktivitas manusia (Sugito & Sugandi, 2008). Pemanfaatan dan pengelolaan lahan di kawasan pesisir dipengaruhi oleh meningkatnya jumlah penduduk. Meski demikian, pemanfaatan wilayah ini harus tetap memperhatikan keterbatasan daya dukung lingkungan, prinsip pembangunan berkelanjutan, kelestarian ekosistem, keanekaragaman hayati, dan fungsi lingkungan. Widiatmaka et al. (2015) menyebutkan bahwa salah satu pemanfaatan lahan pesisir yang memiliki potensi adalah budidaya air payau melalui tambak. Salah satu aktivitas perikanan budidaya yang banyak dilakukan masyarakat pesisir Pulau Tarakan adalah tambak udang dan ikan.

Penurunan produktivitas tambak udang windu di Pulau Tarakan disebabkan oleh berbagai faktor yang melibatkan kondisi lingkungan dan teknik budidaya. Wilayah pesisir tempat budidaya tambak berlangsung sangat rentan terhadap perubahan alamiah, seperti abrasi pantai, fluktuasi salinitas air, serta suhu dan curah hujan yang tidak stabil. Perubahan

ini mempengaruhi keseimbangan ekosistem tambak dan berdampak langsung pada kesehatan serta produktivitas udang windu yang sangat sensitif terhadap fluktuasi tersebut. Selain itu, pencemaran yang diakibatkan oleh aktivitas manusia, seperti pengelolaan limbah industri dan pertanian, semakin memperburuk kualitas air dan tanah di sekitar tambak, mengurangi kemampuan lingkungan untuk mendukung budidaya secara berkelanjutan.

Dari sisi teknik budidaya, pengelolaan tambak yang tidak optimal juga berperan besar dalam penurunan hasil produksi. Pemilihan lokasi tambak yang tidak sesuai dengan karakteristik fisik tanah dan air, penggunaan bahan kimia yang berlebihan, serta pemilihan pakan yang tidak tepat menjadi faktor utama yang menghambat pencapaian produktivitas maksimal. Meskipun beberapa petambak mencoba untuk meningkatkan produksi dengan pemberian probiotik, hasil yang dicapai masih belum optimal karena keterbatasan teknologi dan modal. Banyak petambak yang masih mengandalkan metode tradisional dalam budidaya, yang sering kali tidak efisien dan berisiko menurunkan kualitas udang. Kurangnya pelatihan dan pengetahuan teknis tentang praktik budidaya yang ramah lingkungan juga memperburuk kondisi tambak.

Kebijakan pemerintah, meskipun telah ada regulasi yang menetapkan standar produktivitas, seperti yang tercantum dalam Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 76 tahun 2016, belum sepenuhnya efektif dalam implementasinya. Masalah administratif, kurangnya pengawasan, dan keterbatasan sumber daya manusia yang terlatih sering kali menghambat penerapan kebijakan yang dapat meningkatkan produktivitas tambak. Oleh karena itu, untuk meningkatkan produktivitas tambak, diperlukan upaya yang lebih terintegrasi dan berkelanjutan yang melibatkan pengelolaan lingkungan yang baik, peningkatan teknik budidaya, dan kebijakan pemerintah yang mendukung.

Fluktuasi produktivitas tambak udang windu di Pulau Tarakan antara 2003 hingga 2023 dipengaruhi oleh berbagai faktor. Sebelum 2003, produktivitas tambak di Kalimantan Utara, termasuk Pulau Tarakan, berkisar 300–400 kg per hektar per siklus. Namun, sejak 2003 hingga 2009, produktivitas turun drastis menjadi 5–20 kg per hektar per siklus. Penurunan ini dipengaruhi oleh kerusakan ekosistem pesisir akibat pencemaran, peningkatan sedimentasi, dan perubahan salinitas yang tidak menguntungkan bagi udang windu. Aktivitas manusia, seperti pengelolaan limbah dan pembangunan yang tidak memperhatikan keberlanjutan lingkungan, memperburuk kualitas air yang mendukung budidaya.

Di sisi lain, teknik budidaya yang diterapkan belum sepenuhnya efisien dan berkelanjutan. Banyak petambak menggunakan metode tradisional yang kurang memperhatikan kesesuaian lahan, pengelolaan limbah, dan penggunaan input yang

optimal. Ketidaksesuaian lahan, seperti pH tanah dan air yang tidak sesuai, serta tekstur tanah yang kurang mendukung, menjadi hambatan utama dalam pencapaian hasil maksimal. Faktor geografis dan aksesibilitas tambak juga memengaruhi kemampuan petambak untuk mengelola sumber daya secara efisien. Pada 2009 hingga 2019, meskipun ada upaya untuk meningkatkan manajemen dan penggunaan teknologi, data menunjukkan bahwa produktivitas tambak tetap berada pada kisaran 6–40 kg per hektar per siklus.

Pada 2023, produktivitas tambak udang windu tercatat antara 50–85 kg per hektar per siklus, dengan rata-rata $71,8 \pm 15,9$ kg per hektar per siklus. Capaian ini masih jauh di bawah standar yang ditetapkan oleh pemerintah. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun ada peningkatan dalam teknik budidaya dan pengelolaan tambak, faktor lingkungan, kesesuaian lahan, dan keterbatasan modal masih menjadi hambatan dalam mencapai produktivitas optimal.

Probiotik yang digunakan dalam budidaya tambak udang windu bertujuan untuk meningkatkan kesehatan udang dan kualitas air. Probiotik, seperti *Bacillus subtilis*, dapat meningkatkan kualitas air dengan mengurangi kandungan amonia dan nitrat serta mengurangi kejadian penyakit pada udang. Probiotik juga membantu dalam proses pencernaan pakan pada udang, meningkatkan efisiensi konversi pakan, dan mendorong pertumbuhan yang lebih cepat. Namun, meskipun penggunaannya telah dilakukan, hasil yang dicapai masih belum optimal karena faktor dosis, cara pemberian, dan kesesuaian jenis probiotik dengan kondisi tambak.

Dalam evaluasi kesesuaian lahan untuk budidaya udang windu, beberapa teknologi digunakan untuk memastikan lahan yang dipilih mendukung keberhasilan budidaya. Penilaian kesesuaian lahan melibatkan analisis parameter lingkungan fisik dan geografis, seperti kemiringan lahan, tekstur tanah, pH tanah dan air, salinitas, curah hujan, serta jarak tambak terhadap garis pantai. Teknologi Geographic Information System (GIS) digunakan untuk memetakan dan menganalisis data kesesuaian lahan, memungkinkan peneliti dan petambak untuk memilih lokasi tambak yang optimal berdasarkan berbagai faktor.

Remote sensing juga digunakan untuk memantau kondisi lingkungan dan perubahan yang terjadi di lahan pesisir melalui citra satelit. Teknologi ini memberikan informasi tentang perubahan tutupan lahan, kualitas air, dan potensi erosi atau sedimentasi, yang dapat mempengaruhi keberlanjutan budidaya. Evaluasi ini bertujuan untuk meminimalkan penggunaan input yang tidak efisien dan mengurangi kerusakan lingkungan, sekaligus meningkatkan produktivitas tambak secara berkelanjutan.

Keberhasilan budidaya udang windu di Pulau Tarakan sangat bergantung pada peran aktif masyarakat dalam mengelola tambak, kemudahan akses pasar, serta kebijakan

pemerintah yang mendukung pengelolaan sumber daya alam secara berkelanjutan. Dengan memperkuat ketiga faktor ini, diharapkan produktivitas tambak dapat meningkat secara signifikan dan mencapai standar produktivitas yang lebih tinggi sesuai dengan kebijakan yang ditetapkan pemerintah.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi kesesuaian lahan bagi kegiatan budidaya udang windu di wilayah Pulau Tarakan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni sampai dengan Agustus 2023 di tambak budidaya udang windu Pulau Tarakan. Pengambilan sampel air dan tanah tambak pada 9 petak tambak (stasiun) yang dilengkapi titik koordinat. Stasiun 1 ($3^{\circ}19'46.6''\text{N}$, $117^{\circ}32'48.3''\text{E}$), stasiun 2 ($3^{\circ}19'30.0''\text{N}$, $117^{\circ}32'54.1''\text{E}$), stasiun 3 ($3^{\circ}19'41.8''\text{N}$, $117^{\circ}33'05.4''\text{E}$), stasiun 4 ($3^{\circ}15'51.5''\text{N}$, $117^{\circ}37'44.2''\text{E}$), stasiun 5 ($3^{\circ}15'41.9''\text{N}$, $117^{\circ}37'33.6''\text{E}$), stasiun 6 ($3^{\circ}15'32.0''\text{N}$, $117^{\circ}37'58.7''\text{E}$), stasiun 7 ($3^{\circ}24'45.0''\text{N}$, $117^{\circ}39'52.8''\text{E}$), stasiun 8 ($3^{\circ}20'45.7''\text{N}$, $117^{\circ}32'39.5''\text{E}$), dan stasiun 9 ($3^{\circ}20'31.2''\text{N}$, $117^{\circ}32'37.9''\text{E}$).

Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini mencakup data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh secara langsung dari lapangan, yang meliputi parameter kualitas air, kondisi tanah tambak udang, jarak tambak dari sungai dan pantai, serta hasil wawancara dengan para pemilik tambak (responden). Parameter kualitas air yang diukur meliputi suhu, salinitas, kadar oksigen terlarut, dan pH air. Sementara itu, parameter kualitas tanah mencakup pH tanah, tekstur tanah (pasir, debu, liat), kedalaman lapisan pirit, serta kandungan karbon (C) organik.

Selain itu, wawancara dilakukan dengan enam orang responden, yang terdiri atas dua orang pengambil kebijakan dari Dinas Kelautan dan Perikanan di tingkat provinsi dan kota, dua orang pembudidaya tambak, satu perwakilan dari WWF, serta satu akademisi dari perguruan tinggi.

Analisis data

Analisis kesesuaian lahan untuk tambak budidaya udang windu dilakukan melalui tiga tahapan utama, yaitu: (1) penyusunan matriks kesesuaian lahan, dan (2) pemberian bobot serta penilaian nilai kesesuaian. Penyusunan matriks ini dilakukan berdasarkan kriteria-kriteria yang telah ditetapkan sebelumnya, disesuaikan dengan parameter kualitas

lingkungan yang relevan dengan kegiatan budidaya udang windu, mengingat setiap lokasi memiliki karakteristik lahan yang berbeda-beda. Matriks kriteria kesesuaian lahan tambak untuk budidaya udang windu disajikan pada Tabel 1.1.

Setiap parameter, meliputi kualitas air, tanah tambak, dan topografi, dikelompokkan ke dalam tiga kategori, yaitu sangat sesuai (S1) dengan nilai 3, sesuai (S2) dengan nilai 2, dan sesuai marjinal (S3) dengan nilai 1. Selanjutnya, tingkat kepentingan masing-masing parameter ditentukan melalui sistem pembobotan. Metode pembobotan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode perbandingan berpasangan atau pairwise comparison, yang merupakan bagian dari metode Analytical Hierarchy Process (AHP) sebagaimana dikembangkan oleh Saaty (1977). Prosedur *pairwise comparison* digunakan untuk menentukan bobot setiap kriteria (Widiatmaka *et al.* 2015) melalui perbandingan antarparameter dalam konteks pengambilan keputusan multi-kriteria. Kriteria penilaian perbandingan berpasangan antara lain: nilai 1 (A sama penting dengan B), 3 (A sedikit lebih penting dari B), 5 (A jelas lebih penting dari B), 7 (A sangat jelas lebih penting dari B), 9 (A mutlak lebih penting dari B), dan 2, 4, 6, 8 (Apabila ragu-ragu antara dua nilai yang berdekatan) (Saaty 1983); Marimin & Maghfiroh (2010).

Penentuan bobot kesesuaian lahan tambak budidaya udang windu ditentukan berdasarkan pendapat pakar dengan menggunakan metode perbandingan berpasangan dengan skala 1 sampai 9. Analisis perbandingan berpasangan akan menghasilkan bobot tiap kriteria, disertai dengan nilai rasio konsistensi (CR) < 10 %. Nilai pengukuran konsistensi diperlukan untuk mengetahui kekonsistenan pendapat dari responden yang akan berpengaruh terhadap keabsahan hasil sehingga nilai bobot yang dihasilkan dapat digunakan.

Parameter yang memiliki pengaruh dominan serta bersifat relatif tetap atau sulit diubah akan diberikan bobot paling tinggi, sedangkan parameter yang tingkat pengaruhnya lebih rendah akan mendapatkan bobot yang lebih kecil (Prihadi *et al.* 2006). Selang tiap-tiap kelas diperoleh dari jumlah perkalian nilai maksimum tiap bobot dan skor dikurangi jumlah perkalian nilai minimumnya yang kemudian dibagi menjadi tiga, yang dituliskan dengan rumus sebagai berikut:

$$\frac{\sum (B_i \times S_i \text{ max}) - \sum (B_i \times S_i \text{ min})}{3}$$

Hasil pengukuran parameter di lapangan dan laboratorium ditabulasi dalam matriks yang selanjutnya dianalisa dengan data berdasarkan tingkat kesesuaian. Kriteria lokasi penilaian lahan tambak budidaya udang windu di Pulau Tarakan yaitu 2,333-3,000 (sangat sesuai); 1,667-2,333 (sesuai); dan 1,000-1,667 (kurang sesuai marginal).

Tabel 1.1 Matriks kriteria kesesuaian lahan tambak budidaya udang windu

No.	Parameter	Faktor bobot	Kriteria kesesuaian (skor)		
			S1 (3)	S2 (2)	S3 (1)
1	Suhu air (°C) ^a	4	28-30	20-28; 30-35	<20;>35
2	pH air ^a	4	7,5-8,5	6,0-7,5 ;8,5-9,5	<6;>9,5
2	Kedalam Pirit (m) ^a	4	>2	1-2	<1
4	Elevasi (m) ^b	4	0-10	10-30	>30
5	Curah Hujan (mm/thn) ^a	4	2,500-3,000	2,000-2,500	<2,000;>3,000
6	Pasang Surut (m) ^a	4	1,5-2,5	1,0-1,5; 2,5-3,0	<1,0; >3,0
7	Jarak dari sungai (m) ^c	3	0-500	500-1,000	>1,000
8	Jarak dari Pantai (m) ^c	3	350-1,000	1,000-2,000	<350; >2,000
9	DO (mg/L) ^d	2	4-8	3-4	<3; >8
10	Salinitas (ppt) ^a	2	15-25	10-15; 25-32	<10; >32
11	C-organik (%) ^a	2	1,5-2,5	0,5-1,5	<2,5; >2,5-8,0
12	Slope (%) ^a	2	<1	1,0-2,0	>2,0
13	Tekstur Tanah ^e	1	Lempung Liat Berdebu	Lempung berdebu	Liat Berdebu

Sumber: ^a Mustafa (2012); ^b Widiatmaka, et al., (2014); ^c Pantjara et al., (2008); ^d Ramadhani et al., (2016); ^e Poernomo (1988); Ramadhani et al., (2016); Susetyo dan Santoso (2016)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kesesuaian lahan

Penggunaan lahan aktual di wilayah pesisir dan pantai Pulau Tarakan sebagian diperuntukkan tambak udang windu dengan luas dan $\pm 1.624,57$ ha (DKP Provinsi Kalimantan Utara 2016). Untuk mengetahui Klasifikasi kesesuaian lahan budidaya udang windu di wilayah Pulau Tarakan telah dilakukan pengukuran parameter kualitas air, tanah, dan infrastruktur. Hasil pengukuran kualitas air dan tanah tambak budidaya udang windu di Pulau Tarakan disajikan pada tabel 1.2.

Tabel 1.2 Rekapitulasi hasil pengukuran parameter kualitas air dan tanah tambak, serta infrastruktur pada tambak udang windu di Pulau Tarakan

Parameter	Stasiun pengambilan sampel								
	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	T.7	T.8	T.9
Kualitas Air									
Suhu (°C)	27	33	30,1	32,6	32,5	32	31,5	32,5	32,5
pH	6,9	7,1	7	7,3	7,8	7,5	7,5	6,8	6,8

Parameter	Stasiun pengambilan sampel								
	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	T.7	T.8	T.9
DO (mg/l)	6,5	7,2	7,2	6,9	7,6	5,6	7,5	6,4	7
Salinitas (ppt)	22	15	16	20	10	10	10	10	10
Pasang Surut (m)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Kualitas Tanah									
pH	3,62	3,38	3,8	4,16	4,7	3,4	4,9	3,12	4,0
C-Organik (%)	2,01	1,27	1,01	2,24	3,51	2,15	3,74	1,07	2,13
Kedalaman pirit (cm)	<50	<50	<50; 50-70	<50	<50;50- 70	<50	<50	<50	<50
Tekstur Tanah (%)	LLB	LLB	LLB	LLB	LLB	LLB	LLB	LLB	LLB
Topografi									
Elevasi (m)	0	8	10	9	10	10	8	9	9
Kemiringan (%)	1-3	1-3	1-3	<1	<1	<1	<1	1-3	1-3
Infrastruktur									
Jarak dari Sungai (m)	30	50	35	50	65	50	100	50	45
Jarak dari pantai (m)	100	1320	1785	3500	3000	2500	100	50	45
Curah Hujan (mm)	2778	2778	2778	2778	2778	2778	2778	2778	2778

Keterangan: LLB=lempung liat berdebu; LB= lempung berdebu

Parameter kualitas air Tambak

1. Pasang surut

Pasang surut di wilayah perairan Pulau Tarakan pada bulan Desember 2022 berkisar antara 0,3-3,5 m dengan rata-rata 1,8 m. Data pasang surut bersumber dari data prediksi pasang-surut air laut yang diterbitkan oleh Dinas Hidro-Oseanografi (Dishidros) TNI-AL. Kelas kesesuaian pasang surut yang direkomendasikan oleh DKP (2002), yaitu 1,5-2,5 m S1, 2,5-3 m S2 dan <0,5 atau >3 m S3. Wilayah yang fluktuasi pasang surut antara 2-3 m adalah tempat yang paling sesuai untuk lokasi tambak, sedangkan daerah yang fluktuasi pasang surut lebih 3-4 m tidak sesuai untuk lokasi tambak (Permen-PRT 2015).

Hasil analisis penilaian variabel pasang surut, maka lahan tambak udang windu di Pulau Tarakan termasuk kategori tidak sesuai. Sehingga pasang surut menjadi faktor pembatas dalam pengelolaan tambak udang. Tetapi untuk mengantisipasi tingginya pasang air laut tersebut, pembudidaya tambak melakukan pelebaran dan penambahan

pematang (tanggul tambak) terutama pematang keliling (inti) dengan menggunakan alat berat (*excavator*). Dengan pertimbangan bahwa pasang tertinggi harus lebih rendah dibandingkan pematang inti/keliling. Oleh karena itu, pematang inti harus diberi jagaan agar apabila terjadi pasang tertinggi, air laut tidak lewat di atas pematang.

2. suhu air

Suhu air merupakan salah satu faktor fisika yang dapat mempengaruhi proses kelangsungan hidup dan penyebaran organisme di suatu perairan. Menurut Amien *et al.* (2020) bahwa suhu air memainkan peran penting dalam kecepatan laju metabolisme dan respirasi biota akuatik serta proses metabolisme dalam ekosistem akuatik. Pada suatu badan air suhu dipengaruhi oleh musim, ketinggian dari permukaan laut, waktu, hari, sirkulasi udara, penutupan awan, dan aliran serta kedalaman badan air (Makmur *et al.* 2011). Pada musim hujan suhu dapat turun sangat drastis karena pengaruh dari hujan yang berkepanjangan dan pencahayaan matahari sangat minim (Fahrur *et al.* 2012). Nilai suhu air pada setiap petakan tambak udang berkisar antara 29,9-33 °C. Kelas kesesuaian suhu air yaitu 25-32 °C S1, 12-25 °C S2 dan <12 atau >32 °C S3. Berdasarkan kelas kesesuaian suhu air tersebut, maka suhu air tambak di Pulau Tarakan termasuk kategori S1, S2, dan S3.

3. *Dissolved oxygen* (DO)

Kadar DO sering digunakan sebagai indikator utama kesehatan sungai dan kemampuan badan air untuk mendukung kehidupan air. Sumber utama oksigen terlarut adalah difusi oksigen dari udara dan aktivitas fotosintesis. DO di perairan sangat dipengaruhi oleh suhu, salinitas, turbulensi air dan tekanan atmosfer. Penyebab utama berkurangnya kadar oksigen terlarut dalam air disebabkan karena adanya zat pencemar yang dapat mengkonsumsi oksigen (Pribadi *et al.* 2022). Hasil pengukuran kadar DO pada setiap petak tambak di Pulau Tarakan berkisar antara 3-6,4 mg/l. Kelas kesesuaian DO air yaitu 6-8 mg/L S1, 3-6 mg/L S2 dan <3 mg/L S3. Berdasarkan kelas kesesuaian suhu air tersebut, maka suhu air tambak di Pulau Tarakan termasuk S1 dan S2.

4. pH air

Hasil pengukuran nilai pH air pada setiap petak tambak udang windu berkisar antara 7,54-8. Kelas kesesuaian nilai pH air tambak yaitu 6-8 mg/L sangat sesuai, 4-6;8-9 mg/L sesuai dan <4;>9 mg/L tidak sesuai. Berdasarkan kelas kesesuaian suhu air tersebut, maka suhu air tambak di Pulau Tarakan termasuk sangat sesuai. Pengaruh langsung nilai pH air yang rendah pada budidaya udang di tambak yaitu udang tidak dapat membentuk kulit baru karena udang menjadi kropos dan selalu lembek, sebaliknya pH yang tinggi menyebabkan peningkatan konsentrasi amonia yang secara tidak

langsung membahayakan udang (Utojo *et al.* 2009). Nilai pH air tambak dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya adalah nilai pH sumber air, tanah dasar bersifat asam, dan aktivitas biologis (Soundarapandian *et al.* 2010). Selanjutnya nilai pH air rendah umumnya disebabkan tanah dasar tambak bersifat asam. Untuk mengurangi keasaman tanah tambak maka dilakukan pengapuran.

5. salinitas

Salinitas air laut disebabkan oleh tujuh ion utama, yaitu Natrium (Na^+), Kalium (K^+), Kalsium (Ca^{2+}), Klorida (Cl^-), Sulfat (SO_4^{2-}), dan Bikarbonat (HCO_3^-) (Kusuma *et al.* 2017). Salinitas pada perairan payau biasanya berkadar antara 0,5-30 ppt. Salinitas air tawar kurang dari 0,5 ppt, sedangkan salinitas rata-rata di laut terbuka sekitar 35 ppt dan berkisar antara 33-37 ppt (Pamungkas 2012). Hasil pengukuran rata-rata kadar kadar salinitas pada setiap petakan tambak udang windu berkisar 10-22 ppt. Kelas S1, 20-35 ppt S2 dan $<10;$ >35 S1. Berdasarkan kelas kesesuaian suhu air tersebut, maka nilai salinitas air tambak di Pulau Tarakan termasuk S1 dan S2.

6. Curah hujan

Pada budidaya udang di tambak yang menerapkan teknologi sederhana sangat dipengaruhi oleh iklim terutama curah hujan. Jika curah hujan terlalu tinggi akan menyebabkan penurunan kadar salinitas dan suhu air tambak. Jumlah curah hujan Pulau Tarakan pada tahun 2022 adalah berkisar 128,5-402,7 mm dengan rata 2.778 mm. Nilai kesesuaian lahan untuk curah hujan yang termasuk S1 2.500-3.000 mm, S2 1.000-2.000 mm atau 3.000-3.500 mm, dan S3 <1.000 mm atau >3.500 mm. Jadi bila dibandingkan dengan nilai kesesuaian lahan, maka curah hujan di wilayah pertambakan udang windu Pulau Tarakan termasuk kategori S1.

Parameter Kualitas Tanah

1. pH tanah

Hasil pengukuran nilai pH tanah pada setiap petak tambak udang windu berkisar antara 3,12-4,84. Nilai pH tanah tambak tersebut tidak jauh berbeda hasil penelitian Amien *et al.* (2022) di tambak udang windu di Kabupaten Bulungan, yaitu 3,1-4,8 dengan rata-rata $3,81 \pm 0,36$. Hal ini menunjukkan bahwa nilai pH tanah pada setiap petak tambak udang windu yang terukur bervariasi antar stasiun. Secara keseluruhan nilai pH tanah tambak tersebut lebih rendah dibandingkan dengan nilai BM atau tidak memenuhi BM yang dipersyaratkan berdasarkan Peraturan Menteri KP No. 76 tahun 2016, yaitu 5.5-7. Hal ini menggambarkan bahwa pH tanah pada tambak udang windu

di Pulau Tarakan bersifat asam/masam. Nilai kesesuaian lahan untuk pH tanah yang termasuk S1 7,5-8,5; S2 6-7,5; dan S3 <6 atau >8,5 mm. Jadi bila dibandingkan dengan nilai kesesuaian lahan, maka pH tanah di wilayah pertambakan udang windu di Pulau Tarakan termasuk kategori S3.

2. Kedalaman pirit

Hasil analisis kedalaman pirit pada tambak udang windu di Pulau Tarakan ditemukan keberadaan pirit pada kedalaman < 50 cm dan 50-70 cm. Selanjutnya keberadaan pirit pada kedalaman <50 yang dominan terdeteksi di semua lokasi pengambilan sampel, sedangkan kedalaman 50-70 cm hanya sebagian stasiun yang terdeteksi dan kedalaman >100 cm tidak terdeteksi pirit. Bila dibandingkan dengan Kelas kesesuaian lahan, maka tambak udang windu termasuk kategori S2 dan S3. Kedalaman pirit <50 cm termasuk S3, 50-70 (S2), dan >100 cm (S1). Pirit merupakan ciri utama dari tanah sulfat masam yang mengakibatkan nilai pH tanah rendah. Jika tanah yang mengandung pirit mengalami oksidasi akan menghasilkan asam sulfat yang menyebabkan pH tanah turun secara drastis.

3. Karbon Organik

Kadar karbon organik yang terukur berkisar antara 1,01-3,74%. Secara keseluruhan kadar karbon organik yang terukur pada setiap petak tambak udang windu termasuk kategori rendah. Kandungan karbon organik tanah tambak dapat digunakan untuk menduga kandungan bahan organik secara keseluruhan (Supono 2015; Nugra *et al.* 2019). Banerjee 1967 dalam Kumar *et al.* (2012), mengatakan bahwa konsentrasi karbon organik < 0,5 % tergolong produktif rendah, 0,5-1,2 % produktif, 1,5-2,5 % produktif tinggi dan > 2,5 % kurang produktif. Kandungan bahan organik yang tinggi dapat menyebabkan peningkatan populasi bakteri, karbon dioksida (CO₂), hidrogen sulfida (H₂S), dan metan (CH₄) dapat membahayakan kehidupan dan menghambat pertumbuhan organisme akuatik (Mustafa *et al.* 2014). Sebaliknya, bahan organik yang terlalu rendah dapat menyebabkan tingginya nilai pH sedimen dan air (Supono 2015).

4. Tekstur Tanah

Tekstur mengacu pada komposisi ukuran partikel di tanah yang dinyatakan sebagai perbandingan proporsi relatif antara fraksi pasir (sand), debu (silt), dan liat (clay) (Ratnawati *et al.* 2014). Hasil analisis tekstur tanah tambak udang windu diperoleh empat jenis tanah, yaitu liat (*clay*), lempung liat berdebu (*silty clay loam*), lempung berdebu (*silty loam*), dan liat berdebu (*silty clay*). Tekstur tanah yang dominan di kawasan pertambakan Pulau Tarakan adalah lempung liat berdebu. Tekstur tanah tambak tersebut sama dengan hasil perhitungan yang dikemukakan oleh Sudarmo dan

Ranoemihardjo (1992), bahwa tekstur tanah yang cocok untuk tambak adalah *clay, clay loam, silty clay loam, silty loam, loam, dan sandy clay loam*. Tekstur tanah pada wilayah pertambakan yang terukur tersebut termasuk dalam Kelas sangat sesuai dan sesuai.

Topografi

1. Elevasi

Elevasi lokasi tambak udang windu di Pulau Tarakan berkisar antara 0-10 m. Bila dibandingkan dengan standar nilai kesesuaian lahan tambak, maka lokasi tambak udang termasuk kategori S1 dan S2. Standar nilai kesesuaian lahan tambak yang termasuk kategori S1 yaitu 0-10 m, S2 10-30 m, dan S3 >30 m (Yustiningsih 1997; Wiradisastro *et al.* 2004). Menurut Utojo dan Ratnawati (2013), bahwa lokasi yang memiliki elevasi 0-2 m baik untuk lokasi tambak, karena secara gravitasi dapat dikeringkan pada saat pembangunan tambak, proses persiapan tambak, panen dan memudahkan dalam pergantian air.

2. Slope

Kemiringan lereng di wilayah pesisir dan pantai Pulau Tarakan yang dimanfaatkan untuk tambak udang berkisar antara <1-3 %. Nilai kesesuaian lahan tambak udang untuk kemiringan lahan yang direkomendasikan oleh Wiradisastro *et al.* 2004 dalam Widiatmaka *et al.* (2014) yaitu 0-2 % sangat sesuai, 2-3 % sesuai dan >3 % tidak sesuai. Van Zuidam (1985) dalam Setyawan *et al.* (2017) membagi tujuh Klasifikasi kemiringan lereng, yaitu nilai 0-2 % kategori datar sampai hampir datar, 2-7 % agak landai, 7-15 % miring dengan bergelombang, 15-30 % agak curam, 30-70 % curam, dan 70-140 % sangat curam, dan >140 % curam sekali. Bila dibandingkan dengan nilai kesesuaian lahan atau Klasifikasi kelerengan lahan tersebut, maka lokasi tambak udang termasuk kategori S1 dan S2 atau kemiringan lahannya datar sampai hampir landai. Lokasi yang datar dapat mempermudah dalam proses pengelolaan tambak dibanding lokasi yang curam.

Infrastruktur

1. Jarak dari Sungai

Berdasarkan hasil pengamatan langsung di lokasi tambak udang windu di Pulau Tarakan, bahwa jarak tambak dari sungai pada setiap lokasi berbeda-beda yang tergantung lebar sungai di dekat atau depan tambak. Jarak tambak udang (tanggul) dari sungai berkisar antara 30-100 m. Perbedaan jarak tambak dari sungai tersebut karena

adanya perbedaan lebar dan kedalaman sungai. Sungai yang lebar (sungai besar) biasanya memiliki jarak dari tanggul tambak >50 m dan sebaliknya sungai kecil (anak sungai) <50 m. Nilai kesesuaian lahan untuk jarak tambak dari sungai untuk kategori sangat sesuai <500 m, sesuai 500-2.000 m, dan tidak sesuai >2.000 m. Bila dibandingkan dengan hasil pengukuran di lapangan, maka jarak tambak dari sungai termasuk kategori S1.

2. Jarak dari Pantai

Hasil pengukuran jarak dari pantai ke tambak udang windu di Pulau Tarakan berkisar antara 100-3.500 m. Sedangkan nilai kesesuaian lahan jarak dari pantai ke tambak berkisar antara <2.000->4.000 m yang dibagi kedalam tiga kelas kesesuaian, yaitu <2.000 m sangat sesuai, 2.000-4.000 m sesuai, dan >4.000 m tidak sesuai. Dengan demikian, jarak dari pantai ke tambak udang terbagi tiga kelas kesesuaian lahan.

Pembobotan dan penilaian

Untuk menentukan bobot, maka dianalisa dengan bobot berpasangan terhadap pengaruh dalam satu parameter kualitas tanah tambak untuk kegiatan budidaya udang windu. Hasil analisis perbandingan berpasangan menghasilkan bobot tiap kriteria kualitas tanah dengan nilai rasio konsistensi (CR)<10 % yaitu 0,007. Sedangkan hasil penilaian parameter kualitas tanah tambak udang windu memiliki kisaran nilai total 1,24-1,52. Berdasarkan interval kelas kesesuaian lahan tambak udang windu di Pulau Tarakan dilihat bahwa parameter kualitas tanah diperoleh nilai kesesuaian lahan termasuk kurang sesuai (S3). Hal ini berdasarkan nilai kesesuaian lahan yaitu 2,333-3,000 (S1); 1,667-2,333 (S2); dan 1,000-1,667 (S3).

Hasil analisis perbandingan berpasangan menghasilkan bobot tiap kriteria kualitas air dengan nilai rasio konsistensi (CR)<10 % yaitu 0,0065. Sedangkan hasil perhitungan parameter kualitas air tambak udang windu memiliki kisaran nilai total 2,41-2,97. Berdasarkan interval kelas kesesuaian lahan tambak udang windu di Pulau Tarakan dilihat bahwa parameter kualitas air diperoleh nilai kesesuaian lahan termasuk sangat sesuai (S1). Hal ini berdasarkan nilai kesesuaian lahan yaitu 2,333-3,000 (S1); 1,667-2,333 (S2); dan 1,000-1,667 (S3).

Hasil analisis perbandingan berpasangan menghasilkan bobot tiap kriteria topografi dengan nilai rasio konsistensi (CR)<10 % yaitu 0. Sedangkan hasil perhitungan parameter topografi tambak udang windu memiliki kisaran nilai total 2-2,48. Berdasarkan interval kelas kesesuaian lahan tambak udang windu bahwa parameter topografi diperoleh nilai

kesesuaian lahan termasuk S1 dan S2. Hal ini berdasarkan nilai kesesuaian lahan yaitu 2,333-3,000 (S1); 1,667-2,333 (S2); dan 1,000-1,667 (S3).

Hasil analisis perbandingan berpasangan menghasilkan bobot tiap kriteria infrastruktur dengan nilai rasio konsistensi (CR) < 10 % yaitu 0,05. Sedangkan hasil perhitungan parameter infrastruktur tambak udang windu memiliki kisaran nilai total 2,34-3. Berdasarkan interval kelas kesesuaian lahan tambak udang windu di Pulau Tarakan dilihat bahwa parameter infrastruktur diperoleh nilai kesesuaian lahan termasuk S1. Hal ini berdasarkan nilai kesesuaian lahan yaitu 2,333-3,000 (S1); 1,667-2,333 (S2); dan 1,000-1,667 (S3).

Perbandingan berpasangan dengan kualitas tanah, topografi, kualitas air, dan infrastruktur

Untuk menentukan perbandingan berpasangan kesesuaian lahan untuk budidaya udang windu pada tambak maka dilakukan penilaian kualitas tanah, air, topografi, dan infrastruktur, serta penilaian para pakar. Hasil perhitungan bobot kualitas tanah, air, topografi dan infrastruktur tambak berkisar antara 0,23-0,27 dengan nilai rasio konsistensi (CR) < 10 % yaitu 0,06. Sedangkan kisaran total penilaian kualitas tanah, topografi, kualitas air, dan infrastruktur yaitu 2,1-2,4. Berdasarkan interval kelas kesesuaian lahan tambak udang windu di Pulau Tarakan dilihat bahwa perbandingan berpasangan dengan kualitas tanah, topografi, kualitas air, dan infrastruktur diperoleh nilai kesesuaian lahan termasuk S1 dan S2. Hal ini berdasarkan nilai kesesuaian lahan yaitu 2,333-3,000 (S1); 1,667-2,333 (S2); dan 1,000-1,667 (S3). Hal ini menunjukkan bahwa lahan tambak udang windu di Pulau Tarakan masih layak digunakan untuk budidaya udang windu. Tetapi salah satu parameter kualitas tanah tambak yang harus diperhatikan adalah pH tanah. Oleh karena perlunya dilakukan pengapuran tanah tambak, agar pH tanah memenuhi Baku Mutu berdasarkan Kepmen KP No. 75 Tahun 2016 yaitu > 5,5.

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan kondisi parameter kualitas tanah dan air yang termasuk kategori tidak sesuai yaitu pasang surut dan pH tanah tambak, sedangkan penilaian gabungan parameter kualitas tanah, topografi, kualitas air, dan infrastruktur lahan tambak udang windu termasuk kategori kelas sangat sesuai dan sesuai.

DAFTAR PUSTAKA

- Amien M, Widiatmaka, Nirmala K, dan Pertiwi S. 2020. Analysis of Water Quality in the River Estuary Assource Water for Tiger Shrimp Farming in Ponds in Bulungan Regency, Province of North Kalimantan. *AACL Bioflux*,13(2):618- 626. <http://www.bioflux.com.ro/aacl>.
- Amien M, Widiatmaka, Nirmala K, dan Pertiwi S. 2022. Analisis Kualitas Lingkungan dan Produktivitas Tambak Budidaya Udang Windu Sistem Teknologi Tradisional di Kabupaten Bulungan. *Saintek Perikanan: Indonesian Journal of Fisheries Science and Technology*, 18(2) 93-104. <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/saintek>.
- [DKP] Departemen Kelautan dan Perikanan. 2002. Kriteria Kesesuaian Lahan. Direktur Jenderal Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil. Departemen Kelautan dan Perikanan. Jakarta.
- [DKP] Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Kalimantan Utara. 2016. Potensi dan Ancaman Budidaya Udang Windu di Kalimantan Utara
- Fahrur M, Makmur, Rachmansyah. 2012. Dinamika Kualitas Air Dan Hubungan Kelimpahan Plankton Dengan Kualitas Air di Tambak Kecamatan Bontoa, Kabupaten Maros. *Prosiding Indoaqua - Forum Inovasi Teknologi Akuakultur*. 881-894.
- Hardjowigeni S, Widiatmaka. 2007. *Evaluasi Kesesuaian Lahan dan Perencanaan Tata Guna Lahan*. Gadjah Madah University Press. Yogyakarta. 351 hlm
- Ilman M, Wiharyanto D, Desyana C. 2009. Kajian Dasar budidaya udang di pesisir Utara Kalimantan Timur bagian Utara. *WWF-Indonesia*. 35 hlm.
- Karthik M, Suri J, Saharan N and Biradar RS. 2005. Brackish water aquaculture site selection in Palghar Taluk, Thane distric of Maharashtra, India, using the techniques of remote sensing and geographical information system. *Aquacultural Engineering*. 32:285-302.
- Kumar P, Jetani KL, Yusuzai SI, Sayani AN, Dar SA, Rather MA. 2012. Effect of Sediment and Water Quality Parameters on The Productivity of Coastal Shrimp Farm. *Advances in Applied Science Research*. 3 (4):2033-2041.
- Kusuma WA, Prayitno SB, Ariyati RW. 2017. Kajian kesesuaian lahan tambak udang vaname (*Litopenaeus vannamei*)di Kecamatan Cijulang Dan Parigi, Pangandaran, Jawa Barat dengan penerapan aplikasi Sistem Informasi Geografis. *Journal of Aquaculture Management and Technology*. 6 (4):255-263.
- Makmur, Rachmansyah, Fahrur M. 2011. Hubungan Antara Kualitas Air dan Plankton di Tambak Kabupaten Tanjung Jabung Barat Provinsi Jambi. *Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur*. Hal 961-968.
- Marimin, Maghfiroh N. 2011. *Aplikasi Teknik Pengambilan Keputusan Dalam Manajemen Rantai Pasok*. Bogor (ID): IPB Press. 280.

- Mustafa A, Hasnawi, Admi A, Abbas S, Syamsu AA. 2014. Karakteristik, Kesesuaian, dan Pengelolaan Lahan Untuk Budidaya di Tambak Kabupaten Pahuwato Provinsi Gorontalo. *Jurnal Riset Akuakultur*. Penerbit Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan Budidaya, Jakarta.
- Mustafa A. 2008. Disain, tata letak, dan konstruksi tambak. *Media Akuakultur*. 3(2):166-174.
- Mustafa A, Hasnawi, Admi A, Abbas S, Syamsu AA. 2014. Karakteristik, Kesesuaian, dan Pengelolaan Lahan Untuk Budidaya di Tambak Kabupaten Pahuwato Provinsi Gorontalo. *Jurnal Riset Akuakultur*. Penerbit Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan Budidaya, Jakarta.
- Mustafa A. 2012. Kriteria kesesuaian lahan untuk berbagai komoditas di tambak. *Media Akuakultur*. 7(2):108-118.
- Nugra B, Wardiyanto, Supono. 2019. Evaluation of the Pond Sediment Quality of Black Tiger Shrimp (*Penaeus monodon*) Cultivation in Margasari Village Labuhan Maringgai District Lampung Timur Regency. *E-Jurnal Rekayasa dan Teknologi Budidaya Perairan*. 8 (2): 859-868.
- Pantjara B, Utojo, Aliman, Mangampa M. 2008. *Kesesuaian lahan budidaya tambak di Kecamatan Watubangga Kabupaten Kolaka, Sulawesi Tenggara*. *Jurnal Riset Akuakultur*. 3(1): 123-135. doi.org/10.15578/jra.3.1.2008.123-135.
- Poernomo A. 1988. Paket teknologi tanah masam di tambak. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*. 4(4):100-103.
- Pribadi1 AS, Syahrir MR, Ghitarina. 2022. Produksi Dan Konsumsi Oksigen Zona Atas Dan Bawah Secchi Disk Di Waduk Benanga Samarinda. *Tropical Aquatic Sciences*. 1(2):7-15
- Prihadi TH, Johan O, Saputra A, Radiarta IN. 2006. Pemetaan Kelayakan Lahan Budi Daya Ikan Laut di Kecamatan Moro, Kepulauan Riau: Dengan Pendekatan Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Riset Akuakultur*. 1(2): 291-301.
- Ramadhani F, Purnawan S, Khairuman T. 2016. Analisis kesesuaian parameter perairan terhadap Komoditas tambak menggunakan System Informasi Geografis (SIG) di Kabupaten Pidie Jaya. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Kelautan dan Perikanan Unsyiah*. 1 (1):160-168
- Ratnawati E, Hasnawi, Akhmad M. 2014. Kesesuaian lahan aktual untuk budidaya udang windu di tambak Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Riset Akuakultur*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan Budidaya. 9(1):151-168.
- Ristiyani D. 2012. Evaluasi Kesesuaian Lahan Untuk Budidaya Perikanan Tambak di Pesisir Kendal. *Journal Universitas Semarang*. 1(1):12-18.

- Saaty TL. 1977. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology*. 15: 234-281.
- Setyawan R, Setiyono H, Rochaddi B. 2017. Studi rip current di Pantai Taman Kabupaten Pacitan. *J. Oseanografi*. 6(4):639-649.
- Soundarapandian P, Ramanan V, Dinakaran GK. 2010. Effect of probiotics on the growth and survival of *Penaeus monodon* (Fabricius). *Journal of Social Sciences*. 2(2): 51-57.
- Sriyanto, Sanjoto B, Tjaturahono. 2018. Arahan komoditas unggulan perikanan tambak di Pesisir Kabupaten Kendal (evaluasi kesesuaian lahan budidaya perikanan tambak). *J. Geografi*. 14(2): 66-74.
- Sudarmo BM, dan Ranoemihardjo BS. 1992. *Rekayasa tambak*. Penebar Swadaya. 115 hal.
- Sugito NT, Sugandi D. 2008. Urgensi penentuan dan penegakan hukum kawasan sempadan pantai. *J. Geografi*. 8(2):1-12. doi: <https://doi.org/10.17509/gea.v8i2.1703.g1154>.
- Supono. 2015. Evaluasi kualitas sedimen beberapa tambak udang di Kabupaten Tulang Bawang Provinsi Lampung. *Aqua Sains (J. Ilmu Perikanan dan Sumberdaya Perairan)*. (3)2:247-252.
- Susetyo AD, Santoso EB. 2016. Kesesuaian lahan perikanan tambak berdasarkan faktor-faktor daya dukung fisik di Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Teknik*. 5(1):18-22.
- Utojo, Mustafa A, Rachmansyah, Hasnawi. 2009. Penentuan lokasi pengembangan budidaya tambak berkelanjutan dengan aplikasi Sistem Informasi Geografis di Kabupaten Lampung Selatan. *J. Ris. Akuakultur*. 4(3):407-423.
- Utojo, Ratnawati E. 2013. Kajian kesesuaian lahan budidaya tambak di wilayah pesisir Kabupaten Pangkep, Sulawesi Selatan dengan aplikasi sistem informasi geografis. *J. Ris. Akuakultur*. 8 (3):479-491.
- Widiatmaka, Ambarwulan W, Riadi B, Nahib I, Budhiman S, Halim A. 2014. spatial multi criteria land evaluation and remote sensing for area delineation of shrimp pond culture revitalization in Mahakam Delta, Indonesia. 12th Biennial Conference of Pan Ocean Remote Sensing Conference (PORSEC 2014) 04-07 November 2014, Bali-Indonesia. 839-847.
- Widiatmaka, Ambarwulan W, Setiawan Y, Purwanto MYJ, Taryono, Effendi H. 2015. Land use planning for brackish water shrimp ponds in the North Coast of Tuban, Indonesia. *Indonesian Journal of Geography*. Faculty of Geography UGM and The Indonesian Geographers Association. 47(2): 194-211.
- Wiradisstra US, Widiatmaka, M Ardiansah, Nirmala K. 2004. Suitability of marine culture, Jakarta: Center For Survey Marine Resources. Geospasial Information Agency.

- [WWF] World Wide Fund for Nature. 2019. Studi kelangsungan hidup (SR) udang windu (*Penaeus monodon*) pada tambak ekstensif (tradisional) di Kabupaten Bulungan Provinsi Kalimantan Utara. 71 hal. (Tidak dipublikasikan).
- Yustiningsih N. 1997. Aplikasi informasi geografis dalam evaluasi kesesuaian lahan untuk perikanan tambak dan potensi pengembangannya di Teluk Banten. Dalam: Karsidi, (ed.), *Remote Sensing and Geographic Information System, Year Book 96/97*. BPPT, Jakarta. 256-270.