

Analisis Parameter Kualitas Tanah terhadap Produksi Udang Windu di Pulau Mangkudulis, Tana Tidung

Analysis of Soil Quality Parameters on the Production of Tiger Shrimp in Mangkudulis Island, Tana Tidung

Rukisah*¹, Sukardi¹, Miska Sanda Lembang¹, Tri Paus Hasiholan Hutapea²

¹Program Studi Akuakultur, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Borneo Tarakan, Jalan Amal Lama No.1, Tarakan, 77123, Indonesia

²Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Borneo Tarakan, Jalan Amal Lama No.1, Tarakan, 77123, Indonesia

*Korespondensi: kichafishery@gmail.com

Disubmit: 31 Mei 2024, Direvisi: 1 Februari 2025, Diterima: 16 Februari 2025

ABSTRAK

Pulau Mangkudulis merupakan salah satu daerah di Kabupaten Tana Tidung Provinsi Kalimantan Utara, memiliki potensi perikanan yang cukup besar, khususnya perikanan budidaya tambak tradisional udang windu. Secara umum, faktor lingkungan yaitu kualitas tanah akan mempengaruhi kualitas air tambak. Permasalahan kualitas air dalam tambak umumnya bermula dari kualitas tanah, seperti pH, reaksi redoks, kandungan C organik, N total, rasio C/N, Fe, Mn, Al, dan tekstur tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis parameter kualitas tanah terhadap produksi tambak udang windu. Penelitian dilakukan selama dua bulan dari Agustus hingga September 2022 di tambak udang windu Pulau Mangkudulis. Sampel tanah dianalisis di laboratorium dengan parameter pH, potensial redoks, bahan organik, tekstur, dan logam berat. Hasil pengukuran kualitas tanah tambak Pulau Mangkudulis Kabupaten Tanah Tidung menunjukkan bahwa, kualitas tanah tambak dengan parameter pH, potensial redoks, bahan organik, dan tekstur tidak sesuai standar baku mutu. Sedangkan kandungan logam berat Al, Fe, dan Mn masih sesuai standar baku mutu. Rata-rata hasil pengukuran setiap parameter antara lain pH 5,5; potensial redoks -293 Mv; C-Organik 2,26%; N-total 0,18%; C/N 13,15; Pasir 12,20%; Debu 52,72%; Liat 35,08%, Al 11,14 ppm; Fe 36,26 ppm; dan Mn 17,42 ppm. Hasil ini dibandingkan dengan data produksi udang windu melalui wawancara kepada pemilik tambak. Rata-rata produksi tambak yaitu 300 kg/hektar dari jumlah penebaran bibit 70.000 ekor dengan ukuran udang 40 ekor/Kg. Hasil ini tidak maksimal yang diakibatkan oleh kualitas tanah tambak di Pulau Mangkudulis. Pengelolaan tanah tambak perlu dilakukan sebelum digunakan kembali.

Kata kunci: Kualitas tanah, Potensial redoks, Tambak, Udang windu

ABSTRACT

Mangkudulis Island is one of the regions in the Tana Tidung Regency, North Kalimantan Province, which has significant potential in fisheries, particularly traditional shrimp pond aquaculture for tiger shrimp (*Penaeus monodon*). In general, environmental factors, such as soil quality, will affect the quality of pond water. The issue of water quality in shrimp ponds generally begins with soil quality, including pH, redox potential, organic carbon content, total nitrogen, C/N ratio, Fe, Mn, Al, and soil texture. This study aims to analyze soil quality parameters in relation to tiger shrimp pond production. The research was conducted over two months, from August to September 2022, in the tiger shrimp

ponds on Mangkudulis Island. Soil samples were analyzed in a laboratory for parameters such as pH, redox potential, organic matter, texture, and heavy metals. The results of the soil quality measurements from Mangkudulis Island shrimp ponds indicate that the soil quality, based on parameters such as pH, redox potential, organic matter, and texture, does not meet the standard quality criteria. However, the levels of heavy metals (Al, Fe, and Mn) are within the acceptable standards. The average results for each parameter were: pH 5.5, redox potential -293 mV, organic carbon 2.26%, total nitrogen 0.18%, C/N ratio 13.15, sand 12.20%, silt 52.72%, clay 35.08%, Al 11.14 ppm, Fe 36.26 ppm, and Mn 17.42 ppm. These results were compared with shrimp production data obtained through interviews with pond owners. The average pond production is 300 kg/hectare, with 70,000 seed shrimp stocked at a density of 40 shrimp per kg. This result is not optimal due to the soil quality in the Mangkudulis ponds. Proper soil management needs to be implemented before the ponds are reused.

Keywords: *Soil Quality, Redox Potential, Pond, Tiger Shrimp*

PENDAHULUAN

Tambak tradisional masih menjadi primadona di kalangan petambak budidaya perikanan di Kalimantan Utara. Tambak terluas di Indonesia berada di Kalimantan Utara yaitu 149.958 hektar. Tambak itu umumnya tersebar di tiga daerah yaitu Bulungan, Tana Tidung, dan Nunukan. Pada Kabupaten Tana Tidung luas tambak mencapai 6.483,53 hektar. Meskipun mempunyai luas yang besar, hasil produksi tambak belum mencapai hasil yang maksimal khususnya untuk udang windu. Tambak udang dengan luas 112 ribu hektar, rata-rata hanya bisa memproduksi 50 sampai 60 kg/ha tambak udang. Tana Tidung, yang terletak di Provinsi Kalimantan Utara, Indonesia, memiliki potensi besar dalam sektor perikanan, terutama untuk budidaya udang. Salah satu komoditas unggulan dari daerah ini adalah udang windu (*Penaeus monodon*), yang banyak dibudidayakan di tambak tradisional. Pulau Mangkudulis terletak di Tana Tidung yang digunakan sebagai Lokasi tambak udang windu oleh masyarakat lokal dan menjadi mata obyek mata pencaharian masyarakat di lokasi tersebut (Sutriyanto, 2018).

Meskipun mempunyai potensi yang besar, tambak tradisional Pulau Mangkudulis Tana Tidung mempunyai beberapa tantangan seperti perubahan kualitas air, pencemaran, dan kurangnya

penggunaan teknologi modern dalam pengelolaan tambak. Salah satu faktor yang mempengaruhi keberhasilan budidaya udang windu adalah kualitas tanah tambak. Tanah tambak yang memiliki kualitas baik akan mendukung pertumbuhan udang secara optimal, sedangkan tanah yang berkualitas buruk dapat menghambat perkembangan dan produktivitas budidaya. Tanah tambak yang berkualitas baik tidak hanya mendukung pertumbuhan dan perkembangan udang, tetapi juga memainkan peran penting dalam menjaga kestabilan ekosistem di dalam tambak. Berbagai parameter kualitas tanah tambak, seperti kandungan bahan organik, pH, salinitas, kandungan oksigen, serta keberadaan logam berat, memiliki korelasi yang erat dengan hasil budidaya udang windu (Akinwumi *et al.*, 2014).

Tanah yang kaya akan bahan organik memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menyediakan nutrisi bagi organisme yang dibudidayakan. Peningkatan bahan organik dapat memperbaiki kualitas air dan mempercepat proses dekomposisi, yang pada gilirannya mendukung keberhasilan budidaya (Suryanti *et al.*, 2017). Selain itu, pH tanah yang seimbang penting untuk kelangsungan hidup udang karena mempengaruhi metabolisme dan daya serap nutrisi. Salinitas dan kandungan oksigen dalam tanah tambak juga berperan penting

dalam proses budidaya. Salinitas yang tidak sesuai dapat menyebabkan stress pada udang, mempengaruhi nafsu makan, serta memperburuk sistem kekebalan tubuhnya, sehingga menyebabkan penurunan produktivitas (Gunawan *et al.*, 2020). Selain itu, kandungan oksigen yang cukup dalam tanah sangat penting untuk mendukung proses respirasi yang efisien bagi organisme dalam tambak.

Logam berat seperti besi (Fe), mangan (Mn), dan aluminium (Al) merupakan elemen yang ada di dalam tanah tambak dan dapat berpengaruh signifikan terhadap produktivitas udang windu (*Penaeus monodon*). Meskipun dalam konsentrasi rendah logam-logam ini diperlukan untuk proses metabolisme, akumulasi berlebih dapat menimbulkan dampak negatif terhadap kesehatan udang serta kualitas lingkungan tambak. Besi (Fe) adalah salah satu unsur mikro yang diperlukan oleh organisme, termasuk udang, untuk proses respirasi seluler dan metabolisme enzim. Namun, dalam tanah tambak, kadar Fe yang tinggi, terutama dalam bentuk ion Fe^{2+} , dapat menyebabkan kondisi anaerobik di dalam tanah dan air tambak. Kelebihan Fe^{2+} dapat menghambat penyerapan oksigen dalam air, yang berdampak pada penurunan kandungan oksigen terlarut yang sangat dibutuhkan oleh udang untuk bernafas. Selain itu, oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} dalam kondisi aerobik dapat mempengaruhi ketersediaan unsur-unsur hara lain yang penting bagi udang (Akinwumi *et al.*, 2014).

Mangan (Mn) juga merupakan unsur penting yang diperlukan oleh udang untuk aktivitas enzimatis dan metabolisme. Namun, konsentrasi mangan yang berlebihan dapat menjadi racun bagi udang windu. Mangan berlebih dalam tanah tambak sering kali berasosiasi dengan kondisi anaerobik yang terjadi akibat tingginya kandungan bahan organik yang terdekomposisi. Kadar Mn yang tinggi dapat menyebabkan stres oksidatif pada udang, mengganggu metabolisme, dan

menurunkan daya tahan tubuh udang terhadap penyakit. Hal ini pada gilirannya dapat menurunkan laju pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang (Gunawan *et al.*, 2020).

Aluminium (Al) adalah logam berat yang berpotensi menjadi racun bagi organisme akuatik, termasuk udang. Aluminium bebas (Al^{3+}) yang terlarut dalam air tambak dapat mengganggu sistem saraf dan pernapasan udang, serta menghambat ketersediaan nutrisi dalam tanah. Kondisi tanah dengan pH rendah (terlalu asam) cenderung meningkatkan kelarutan Al^{3+} , yang berisiko menurunkan kualitas air dan memengaruhi kesehatan udang. Kelebihan aluminium dalam air juga dapat menyebabkan kerusakan pada insang udang, mengurangi kemampuan respirasi dan penyerapan oksigen, yang pada akhirnya mengurangi produktivitas (Suryanti *et al.*, 2017).

Interaksi antara Fe, Mn, dan Al di dalam tanah tambak juga memainkan peran penting dalam kualitas lingkungan tambak. Ketiga logam ini dapat saling mempengaruhi dalam hal kelarutan dan ketersediaan dalam tanah serta air tambak. Kelebihan satu logam berat bisa mengubah kondisi kimia tanah dan meningkatkan kelarutan logam berat lainnya, yang dapat memperburuk kualitas air dan meningkatkan potensi racun bagi udang (Suharsono & Suryanti, 2017).

Tekstur tanah mempengaruhi drainase dan retensi air dalam tambak. Tanah yang terlalu lempung dapat menghambat pergerakan air, sementara tanah yang terlalu berpasir dapat mengakibatkan kehilangan air yang cepat. Tekstur tanah yang ideal adalah yang memiliki keseimbangan antara retensi dan drainase, sehingga air dapat mengalir dengan baik namun tetap tersedia cukup lama untuk mendukung kehidupan udang dan mikroorganisme dalam tambak (Suharsono & Suryanti, 2017).

Potensial redoks (Eh) merupakan ukuran kemampuan tanah

untuk menerima atau melepaskan elektron dalam reaksi kimia, yang mencerminkan kondisi oksidasi atau reduksi dalam tanah. Di tambak, Eh dapat mempengaruhi berbagai proses biokimia yang berlangsung di dalam tanah, serta kualitas air dalam tambak, yang pada akhirnya berdampak langsung terhadap kesehatan dan produktivitas udang windu (*Penaeus monodon*). Eh yang rendah (reduktif) dalam tanah tambak sering kali menunjukkan kondisi anaerobik, di mana oksigen terlarut sangat sedikit. Kondisi ini dapat menyebabkan pembentukan senyawa berbahaya, seperti amonia (NH_3), hidrogen sulfida (H_2S), dan metana (CH_4), yang dapat meracuni udang dan menyebabkan penurunan kualitas air. Amonia, khususnya, dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan stres pada udang, mengurangi daya tahan tubuhnya, memperlambat pertumbuhannya, dan bahkan menyebabkan kematian (Gunawan *et al.*, 2020).

Pada kondisi Eh yang lebih tinggi (oksidatif), tanah tambak memiliki kadar oksigen yang lebih tinggi, yang mendukung metabolisme udang serta proses dekomposisi bahan organik secara aerobik. Kondisi ini juga memfasilitasi ketersediaan unsur hara yang dibutuhkan untuk pertumbuhan udang, seperti nitrogen dan fosfor. Namun, jika Eh terlalu tinggi, hal ini dapat menyebabkan oksidasi senyawa logam berat seperti besi dan mangan, yang bisa menjadi toksik bagi organisme dalam tambak (Suharsono & Suryanti, 2017).

Udang windu sangat sensitif terhadap perubahan kualitas lingkungan, terutama yang terkait dengan kualitas air dan kondisi tanah. Perubahan Eh yang drastis dapat menyebabkan stres oksidatif, yang mempengaruhi sistem kekebalan tubuh udang dan mengurangi daya tahan terhadap penyakit (Gunawan *et al.*, 2020).

Berdasarkan permasalahan diatas maka penelitian ini bertujuan

untuk mengidentifikasi dan memahami hubungan antara kualitas tanah tambak dengan produktivitas budidaya udang sangat penting untuk meningkatkan hasil produksi dan meminimalisir risiko kerugian. Oleh karena itu, penelitian tentang pengaruh kualitas tanah terhadap produktivitas tambak perlu dilakukan agar dapat memberikan rekomendasi praktis bagi pengelola tambak dalam mengoptimalkan hasil budidaya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan selama 2 bulan yaitu dari bulan Agustus hingga September 2022, di tambak udang windu Pulau Mangkudulis Kabupaten Tana Tidung Kalimantan Utara. Sampel tanah dianalisis pada Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Borneo Tarakan.

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian yaitu sampel tanah, akuades, larutan *buffer*, larutan KCl, HCl 25%, asam sulfat pekat (95-97%), H_2O_2 30%, H_2O_2 10%.

Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian yaitu *soil tester*, *cool box*, ORP meter.

Prosedur Penelitian

Pengukuran kualitas tanah pada penelitian ini dilakukan secara insitu dan eksitu. Secara insitu parameter yang diukur adalah nilai potensial redoks dan nilai pH. Sedangkan secara eksitu parameter yang diukur adalah $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$, pH_{KCl} , N-total, C-Organik, Rasio C/N, Logam Fe, Mn dan Al. Adapun untuk pengambilan sampel dilakukan pada beberapa titik pengambilan sampel. Titik pengambilan sampel pertama (S1) pada bagian pelataran, titik kedua (S2) pada bagian depan dengan dua titik pengambilan sampel

di setiap sudut tambak, selanjutnya titik ketiga (S3) pada bagian belakang dengan tiga titik pengambilan sampel dan titik keempat (S4) pada bagian tengah kiri dan kanantambak dengan dua titik pengambilan sampel.

Setiap titik secara *in situ* diukur parameter Potensial Redoks dengan alat ORP Meter. Elektroda pada ORP meter ditancapkan pada tanah, setelah itu ditunggu beberapa saat hingga nilai potensial redoks stabil (Ahern, 2004). Parameter pH diukur dengan alat soil tester hingga didapatkan nilai pH yang stabil pada alat. Sedangkan secara eksitu pengukuran bahan organik N total menggunakan metode kjehdal. Pengukuran C organik dan rasion C/N menggunakan metode kapasitas tukar kation. Pengukuran tekstur terdiri dari debu, liat, pasir menggunakan metode pipet. Pengukuran Fe, Mn, dan Al menggunakan spektrofotometer serapan atom (SSA). Semua pengukuran dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Borneo Tarakan.

Data kuantitatif dari pengukuran kualitas tanah dianalisis dengan metode deskriptif kuantitatif menggunakan Ms. Excel untuk

mendapatkan minimum, maksimum, rata-rata, standar deviasi, pada delapan titik pengambilansampel tanah tambak dengan kedalaman masing-masing 30 cm. Data produksi tambak didapatkan dengan cara melakukan wawancara kepada pemilik tambak yang berada di Pulau Mangkudulis Kabupaten Tana Tidung, menggunakan daftar kuisisioner sebagai panduan yang telah disusun dengan beberapa pertanyaan. Data wawancara yang dikumpulkan yaitu data penebaran bibit udang windu dan hasil panen total selama pemeliharaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengukuran parameter kualitas tanah tambak secara umum dapat dilihat pada tabel 1. Hasil ini dibandingkan dengan standar baku mutu. Secara umum parameter kualitas tanah tambak di Pulau Mangkudulis tidak sesuai standar baku mutu untuk budidaya tambak udang. Hal inilah yang menjadi penyebab minimnya produksi udang windu. Berikut adalah data rata-rata hasil pengukuran kualitas tanah tambak di Pulau Mangkudulis.

Tabel 1. Parameter Kualitas Tanah Tambak Pulau Mangkudulis

Faktor/ variable	Rata-rata	Standar deviasi	Bakumutu	Sumber
Potensial redoks(Mv)	-293	35,05	>+ 50	Permen KP No.75/2016
C- Organik (%)	2,26	0,55	3- 5%	Permen KP No.75/2016
N-total	0,18	0,03	0,4-0,75%	Permen KP No.75/2016
Inrasio C/N	13,15	3,97	8:1 - 12:1	Boyd. 2008
pH	5,50	1,08	5,5- 7,0	Permen KP No.75/2016
pH ₂ O	4,07	0,16	7,97	Hendrajat, dkk. 2018
pH _{KCL}	3,78	0,18	6,91	Hendrajat, dkk. 2018
Al (ppm)	11,14	4,92	109- 34 mg/L	Ratnawati,dkk. 2014
Fe (ppm)	36,36	7,62	4,771- 280 mg/L	Ratnawati,dkk. 2014
Mangan(Mn)	17,42	4,56	20-3000 mg/L	Lindsay.2019
Pasir %	12,20	1,62	30 - 40 %	Permen KP No.75/2016
Debu %	52,72	2,39	28%	Hendrajat,dkk. 2018
Liat %	35,08	4,01	30 - 60%	Permen KP No.75/2016

Potensial Redoks (Eh)

Potensial redoks (Eh) merupakan ukuran kemampuan tanah untuk menerima atau melepaskan elektron dalam reaksi kimia, yang mencerminkan kondisi oksidasi atau reduksi dalam tanah. Pada tambak, nilai Eh dapat mempengaruhi berbagai proses biokimia yang berlangsung di dalam tanah, serta kualitas air dalam tambak, yang pada akhirnya berdampak langsung terhadap kesehatan dan produktivitas udang windu (*Penaeus monodon*). Berikut nilai potensial redoks (Eh) pada tabel 2.

Tabel 2. Potensial redoks

Sampel	Potensial Redoks (Mv)
S1	-316
S2	-331
S3	-268
S4	-260
Rata-rata	-293,75

Jenis tanah yang umum dijumpai di kawasan pertambakan pulau Mangkudulis Kabupaten Tana Tidung, adalah tanah aluvial nonsulfat masam. Nilai potensial redoks berdasarkan hasil tabel di atas dengan nilai terendah -331 pada titik pengambilan sampel S2, nilai tertinggi yaitu -260 dari titik pengambilan sampel S4. Rata-rata potensial redoks dari semua titik pengambilan sampel yaitu -293.75 Mv, yang menunjukkan bahwa tanah dalam kondisi tereduksi, yang dapat menghasilkan senyawa yang bersifat racun bagi organisme akuatik yang dapat mengakibatkan kematian massal organisme diantaranya senyawa H₂S, NO₂ dan NH₃.

Standar baku mutu Eh adalah >+50 Mv (oksidatif). Pada kondisi ini, tanah tambak memiliki kadar oksigen yang lebih tinggi, yang mendukung metabolisme udang serta proses dekomposisi bahan organik secara aerobik. Kondisi ini juga memfasilitasi ketersediaan unsur hara yang

dibutuhkan untuk pertumbuhan udang, seperti nitrogen dan fosfor (Suharsono & Suryanti, 2017). Udang windu sangat sensitif terhadap perubahan kualitas lingkungan, terutama yang terkait dengan kualitas air dan kondisi tanah. Perubahan Eh yang drastis dapat menyebabkan stres oksidatif, yang mempengaruhi sistem kekebalan tubuh udang dan mengurangi daya tahan terhadap penyakit (Gunawan *et al.*, 2020). Oleh karena itu, menjaga kestabilan Eh dalam rentang yang optimal sangat penting untuk mempertahankan produktivitas tambak dan kesehatan udang windu.

Menurut Kusuma dan Yanti (2021), rendahnya potensial redoks dapat diakibatkan karena tidak dilakukan proses pengeringan tanah tambak sebelum dilakukan pengisian air yang berkorelasi terhadap meningkatnya keasaman tanah (pH) tambak (Tabel 1 dan 4). Nilai potensial bernilai negatif pada substrat juga dapat disebabkan karena banyaknya bahan organik, jumlah bakteri yang hidup dalam substrat, dan kurangnya sirkulasi air sehingga kadar oksigen menurun (Suwoyo, 2014). Redoks adalah gambaran reaksi oksidasi reduksi yang terjadi di dalam tanah, sehingga parameter redoks menjadi salah satu parameter kualitas tanah tambak (Nana dan Putra, 2008). Berdasarkan hal ini maka perlu dilakukan pengeringan tanah yang bermanfaat untuk meningkatkan nilai redoks tanah. Apabila pengeringan tanah dilakukan dengan baik maka potensial redoks bernilai positif karena telah terjadi proses mineralisasi bahan organik (Widowati *et al.*, 2019).

Bahan Organik

Kandungan bahan organik dalam tanah tambak mempengaruhi kesuburan tanah dan kualitas air. Bahan organik yang tinggi akan meningkatkan kapasitas tanah dalam menyerap dan menyimpan nutrisi yang dibutuhkan oleh udang. Selain itu, bahan organik juga mendukung aktivitas mikroorganisme yang berperan dalam proses

dekomposisi, yang membantu mempertahankan keseimbangan kualitas air dan tanah. Kualitas tanah yang baik dengan kandungan bahan organik yang cukup dapat meningkatkan laju pertumbuhan udang windu dan mengurangi tingkat mortalitas (Suryanti *et al.*, 2017). Hasil dari analisis bahan organik tanah tambak dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Bahan Organik

Sampel	C-Organik (%)	N-Total (%)	In Rasio C:N
S1	2,9	0,18	16,02
S2	2,4	0,16	14,67
S3	1,5	0,22	7,28
S4	2,1	0,15	14,63
Rata-rata	2,26	0,17	13,15

Nilai kandungan C-organik di semua lokasi penelitian menunjukkan bahwa semua sedimen tanah termasuk dalam kategori tanah mineral dengan kandungan bahan organik yang cukup sesuai untuk budidaya udang (Boyd *et al.*, 2002). Kandungan C-Organik yang baik pada tanah untuk budidaya perairan adalah 1-3%. (Boyd *et al.*, 2002). Bahan organik di tambak dapat berpengaruh terhadap kestabilan tanah. Berbeda dengan C-Organik, kandungan nitrogen (N) yang berada dalam tanah dasar tambak Pulau Mangkudulis Kabupaten Tana Tidung memiliki nilai rata-rata 0.17%. Nilai ini masih dibawah niali kisaran optimum dari N yaitu 0.20-0.75% (Mansyur *et al.*, 2021). Oleh karenanya tanah tambak di Pulau Mangkudulis masih perlu dilakukan pemupukann untuk menunjang kandungan bahan organik dalam tanah, khususnya untuk N. Berdasarkan hasil pengukuran rasio C:N tanah tambak di Pulau Mangkudulis Kabupaten Tana Tidung yang memiliki nilai terendah pada titik pengambilan sampel S3 yaitu 7.28, dan titik pengambilan sampel tertinggi pada S1 yaitu 16.02 dengan nilai rata-rata 13,15. Rasio C:N yang ideal untuk tanah tambak adalah 8:1

sampai 12:1 (Nur *et al.*, 2021). Rasio C/N yang tinggi menunjukkan kecilnya kandungan nitrogen dan sebaliknya rasio C/N yang rendah menunjukkan proses dekomposisi oleh bakteri berjalan cepat dan menghasilkan nitrogen yang besar Hasil pengukuran rasio C/N menunjukkan nilai yang tinggi diduga karena dipengaruhi oleh pemberian pakan yang berlebihan sehingga terakumulasi dalam sedimen tanah (Putra, 2008).

pH Tanah

Nilai pH tanah tambak yang seimbang, terutama yang mendekati netral (pH sekitar 7), sangat penting untuk kelangsungan hidup udang windu. Nilai pH yang terlalu rendah (terlalu asam) atau terlalu tinggi (terlalu basa) dapat menghambat metabolisme udang dan penyerapan nutrisi yang diperlukan untuk pertumbuhannya. Oleh karena itu, menjaga pH tanah tambak dalam rentang yang optimal sangat penting untuk meningkatkan produktivitas budidaya udang (Gunawan *et al.*, 2020). Hasil dari analisis pH, pH_{H₂O} dan pH_{KCl} tanah tambak dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Nilai pH

Sampel	pH	pH _{H₂O}	pH _{KCl}
S1	6,1	4,16	3,93
S2	5,5	4,06	3,71
S3	6,5	4,22	3,91
S4	6	3,85	3,55
Rata-rata	6,02	4,07	3,77

Nilai kandungan pH Aktual (pH_{H₂O}) memiliki nilai tertinggi titik sampel S4 dengan nilai pH 3.85, sedangkan terendah pada titik sampel S3 dengan nilai 4.22, dengan nilai rata-rata 4.07. Sedangkan nilai kandungan pH potensial (pH_{KCl}) tanah tambak yang telah diukur memiliki nilai tertinggi pada titik sampel S4 dengan nilai 3.55. Nilai terendah pada titik sampel S1 dengan nilai 3.93, dengan rata-rata 3.77.

Tingginya keasaman pada pH tanah tambak diakibatkan banyaknya kandungan air dalam tanah sehingga reaksi pelepasan H^+ menyebabkan keasaman pada tanah tambak (pH rendah) (Kusuma dan Yanti, 2021). Nilai pH aktual diukur dengan cara mengukur jumlah ion H^+ dalam larutan tanah sedangkan pH potensial diukur dengan cara mengukur jumlah ion⁺ dalam larutan tanah dan kompleks pertukaran ion. Nilai pH_{H_2O} lebih tinggi daripada pH_{KCl} . Hal ini disebabkan karena kemasaman yang diukur menggunakan H_2O merupakan kemasaman aktif dan kemasaman potensial. KCl mampu mengukur aktivitas H^+ yang ada diluar tanah karena ion K^+ yang berasal dari KCl dapat diukur dengan ion H^+ sedangkan hal tersebut tidak berlaku untuk H_2O (Handayani dan Karnilawati, 2018).

Nilai pH bersifat sangat asam jika $pH < 4,5$. Apabila mempunyai nilai 6,6-7,3 bersifat netral, dan nilai 7,9-8,4 yaitu bersifat agak basa. Secara umum apabila nilai pH tanah < 7 bersifat asam dan > 7 bersifat basa, sedangkan nilai $pH = 7$ bersifat netral (Suhaimi et al, 2013). Nilai pH tanah yang bersifat basa kaya akan garam natrium yang menyebabkan pertumbuhan klekap. Klekap tersusun dari berbagai jenis mikroalga dan organisme bentik yang diantaranya adalah *Oscillatoria* sp., *Rhizosolenia* sp., *Pleurosigma* sp., *Amphora* sp., *Cocconeis* sp., dan *Achnanthes* sp. Klekap adalah pakan alami bagi udang agar dapat tumbuh dengan baik. Berdasarkan hasil uji pH tanah rata-rata bersifat asam. Hal ini disebabkan karena banyaknya bahan organik yang membusuk sehingga membutuhkan banyak oksigen untuk menguraikannya. Salah satu penyumbang bahan organik untuk diuraikan yaitu pohon bakau, sehingga adanya pohon bakau di sekitar tambak dapat menyebabkan tanah menjadi lebih bersifat asam. Terlihat dari titik sampel S2 nilai pH tanah sangat asam karena pada lokasi tersebut banyak ditumbuhi pohon bakau. Tanah yang

asam masih dapat digunakan untuk kegiatan budidaya jika dikelola dengan baik. Salah satu cara pengelolaannya yaitu dengan pengapuran sehingga dapat memperbaiki nilai pH, memperbaiki susunan tanah, dan memacu kegiatan organisme. Tanah yang baik dan produktif bersifat netral sampai basa (Hardjowigeno, 2003).

Nilai pH rendah berpengaruh langsung terhadap organisme yang dibudidaya, dalam hal dapat terganggunya proses pergantian kulit (*moulting*) pada udang sehingga kulit lembek (tidak dapat membentuk kulit baru), dapat terjadinya peningkatan fraksi H_2S , peningkatan daya racun nitrit, gangguan fisiologis udang sehingga udang menjadi stres, kelangsungan hidup, dan laju pertumbuhan rendah. Sedangkan pada pH tinggi menyebabkan peningkatan kadar amonia yang bersifat toksik terhadap udang windu (Arsad et al, 2017). Rendahnya nilai pH tanah (kemasaman tinggi) di setiap petak tambak mengindikasikan bahwa pembudidaya tambak tidak menggunakan kapur secara rutin dalam proses pengolahan tanah tambak. Hal ini juga disebabkan tanah tambak bersifat tanah sulfat masam (TSM). TSM mengandung pirit atau besi sulfida, sehingga produktivitas tambak TSM dipengaruhi oleh keberadaan pirit dalam tanah (Pantjara et al, 2013).

Aluminium (Al)

Aluminium (Al) adalah salah satu logam yang berpotensi menjadi racun bagi organisme akuatik, termasuk udang. Aluminium bebas (Al^{3+}) yang terlarut dalam air tambak dapat mengganggu sistem saraf dan pernapasan udang, serta menghambat ketersediaan nutrisi dalam tanah. Kondisi tanah dengan pH rendah (terlalu asam) cenderung meningkatkan kelarutan Al^{3+} , yang berisiko menurunkan kualitas air dan memengaruhi kesehatan udang. Kelebihan aluminium dalam air juga

dapat menyebabkan kerusakan pada insang udang, mengurangi kemampuan respirasi dan penyerapan oksigen, yang pada akhirnya mengurangi produktivitas (Suryanti *et al.*, 2017). Hasil dari analisis Aluminium (Al) tanah tambak dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Nilai Aluminium (Al)

Sampel	Al (ppm)
S1	11,07
S2	4,28
S3	11,52
S4	13,67
Rata-rata	11,13

Kandungan aluminium (Al) pada tanah tambak yang berada di Pulau Mangkudulis memiliki nilai tertinggi pada titik sampel S3 yaitu 15.52 dan nilai terendah pada titik sampel S2 yaitu 4,28 dengan nilai rata-rata 11.13. Kandungan Al pada tanah tambak dapat dikatakan kurang baik jika kandungan unsur beracun Al dalam tanah tambak tinggi. Kandungan Al dalam tanah berkorelasi terhadap kemasaman tanah (Mustafa dan Sammut, 2010). Tingginya kandungan Al pada tanah dapat disebabkan oleh rendahnya kandungan pH tanah yang bersifat masam. Bentuk Al dalam tanah yang sering dijumpai adalah kation Al^{3+} dan hidroksi Al (Handiri, 2017). Kandungan Al tanah sangat berpengaruh bagi udang windu apabila Al^{3+} tinggi dapat menyebabkan keracunan bagi organisme.

Besi (Fe)

Besi (Fe) adalah salah satu unsur mikro yang diperlukan oleh organisme, termasuk udang untuk proses respirasi seluler dan metabolisme enzim. Namun, keberadaannya yang tinggi dalam tanah tambak dalam bentuk ion Fe^{2+} , dapat menyebabkan kondisi anaerobik di dalam tanah dan air tambak. Kelebihan Fe^{2+} dapat

menghambat penyerapan oksigen dalam air, yang berdampak pada penurunan kandungan oksigen terlarut yang sangat dibutuhkan oleh udang windu untuk bernafas. Selain itu, oksidasi Fe^{2+} menjadi Fe^{3+} dalam kondisi aerobik dapat mempengaruhi ketersediaan unsur-unsur hara lain yang penting bagi udang windu (Akinwumi *et al.*, 2014). Hasil analisis Besi (Fe) tanah tambak dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Nilai Besi (Fe)

Sampel	Fe (ppm)
S1	33,51
S2	29,68
S3	47,3
S4	34,95
Rata-rata	36,36

Kandungan unsur besi (Fe) dalam tanah tambak Pulau Mangkudulis memiliki nilai terendah pada titik sampel S2 yaitu 29.68, nilai tertinggi pada titik sampel S3 yaitu 47.30 dengan nilai rata-rata yaitu 36.36. Kandungan besi pada tanah tambak Pulau Mangkudulis tergolong rendah jika dibandingkan dengan nilai kandungan besi yang berkisar 33-100 ppm (Triatmo, 2001). Kandungan Fe dalam tanah berkorelasi terhadap kemasaman tanah. Semakin asam tanah, maka semakin tinggi nilai Fe (Mustafa dan Sammut, 2010). Tinggi dan rendahnya kandungan Fe pada tanah dapat disebabkan oleh dasar tanah tambak yang selalu lembab, basah dan selalu tergenang atau tidak pernah mengalami pengeringan atau jarang dilakukan perendaman untuk pemecahan senyawa pirit agar larut dalam air sehingga dapat mengurangi kandungan Fe yang berlebihan. Fe adalah logam berat yang berasal dari mineral tanah yang keberadaannya akan meningkat apabila pH tanah atau air menurun (Palar, 2008). Apabila kandungan konsentrasi Fe berlebihan dalam tanah dapat menimbulkan

keracunan pada udang, bahkan udang yang terakumulasi Fe dalam konsentrasi tinggi tidak layak untuk dikonsumsi (Becker & Asch, 2005).

Mangan (Mn)

Mangan (Mn) merupakan unsur penting yang diperlukan oleh udang untuk aktivitas enzimatik dan metabolisme. Namun, konsentrasi mangan yang berlebihan dapat menjadi racun bagi udang windu. Mangan berlebih dalam tanah tambak sering kali berasosiasi dengan kondisi anaerobik yang terjadi akibat tingginya kandungan bahan organik yang terdekomposisi. Kadar Mn yang tinggi dapat menyebabkan stres oksidatif pada udang, mengganggu metabolisme, dan menurunkan daya tahan tubuh udang terhadap penyakit. Hal ini pada gilirannya dapat menurunkan laju pertumbuhan dan kelangsungan hidup udang (Gunawan *et al.*, 2020). Hasil dari analisis Mangan (Mn) pada tanah tambak dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Nilai Mangan (Mn)

Sampel	Mn (ppm)
S1	23,62
S2	18,09
S3	14,22
S4	13,76
Rata- rata	17,42

Nilai kandungan Mangan (Mn) di tambak Pulau Mangkudulis memiliki nilai terendah pada titik sampel S4 yaitu, 13.76 dan nilai kandungan tertinggi pada titik sampel S1 yaitu 23.62 dengan nilai rata-rata 17.42. Kandungan Mn dalam tanah tambak Pulau Mangkudulis Kabupaten Tana Tidung tergolong rendah karena bernilai di bawah 20 ppm. Kandungan Mangan (Mn) pada tanah tambak rendah dapat disebabkan oleh adanya tanaman mangrove di sekitar tambak. Mangrove dapat meresap logam berat Mn hingga 597,1 ppm (Heriyanto dan

Subiandono, 2012). Tanah yang kekurangan Mangan (Mn) memiliki konsentrasi di bawah 20 ppm dan kelebihan apabila mengandung konsentrasi mangan sampai lebih dari 3000 ppm (Lindsay, 1979). Konsentrasi Mangan pada tanah yang bersifat asam mencapai tingkat toksik di bawah pH 6,5, seperti yang terkandung pada sampel S1 yang memiliki pH tanah rendah yaitu 5.5 dan memiliki Mangan tinggi yaitu 23.62. Kandungan pH pada tanah juga dapat mengurangi tingkat konsentrasi Mangan jika konsentrasi pH tanah bersifat basa. Asam yang melepas Mn umumnya akan dideposit oleh lapisan tanah basa (Suhariyono *et al.*, 2005).

Tekstur Tanah

Tekstur tanah tambak merupakan salah satu parameter penting yang mempengaruhi kualitas tanah dalam mendukung produktivitas budidaya udang windu (*Penaeus monodon*). Tekstur tanah merujuk pada proporsi ukuran partikel tanah, yang dibagi menjadi tiga kategori utama: pasir, debu, dan liat. Komposisi tekstur tanah mempengaruhi banyak aspek dalam tambak, termasuk drainase, retensi air, aerasi, dan ketersediaan nutrisi yang esensial bagi udang. Oleh karena itu, tekstur tanah tambak memiliki pengaruh langsung terhadap keberhasilan budidaya udang windu. Tanah dengan tekstur yang lebih berpasir memiliki drainase yang lebih baik, artinya air akan lebih cepat mengalir melalui tanah tersebut. Hal ini dapat mengurangi genangan air yang dapat menyebabkan kondisi anaerobik dan menghambat kelangsungan hidup udang. Namun, tanah yang terlalu berpasir mungkin tidak mampu menahan air dalam jangka waktu yang lama, yang dapat menyebabkan kekeringan atau perubahan salinitas yang tidak stabil. Sebaliknya, tanah dengan tekstur lempung yang lebih banyak cenderung memiliki retensi air yang lebih baik, tetapi drainasenya

lebih buruk. Tanah lempung dapat menyebabkan genangan yang mengarah pada kondisi anaerobik yang merugikan bagi udang windu (Akinwumi *et al.*, 2014). Tekstur tanah yang seimbang (campuran pasir, debu, dan liat) memungkinkan adanya keseimbangan antara retensi air dan drainase, serta meningkatkan aerasi tanah. Tanah yang cukup berpori dan mengandung pasir dapat memberikan ruang bagi oksigen untuk masuk ke dalam tanah, yang sangat penting bagi proses respirasi mikroorganisme dan udang windu. Pada kondisi anaerobik (terjadi pada tanah liat yang sangat padat), kandungan oksigen akan rendah, yang dapat menyebabkan pembentukan gas berbahaya, seperti amonia dan hidrogen sulfida, yang beracun bagi udang (Suharsono & Suryanti, 2017). Tekstur tanah mempengaruhi kapasitas tanah dalam menyerap dan menyimpan unsur hara penting, seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, yang diperlukan untuk pertumbuhan udang windu. Tanah lempung dengan partikel yang lebih kecil memiliki kemampuan lebih besar untuk menyimpan nutrisi, tetapi jika terlalu padat, ia dapat menghambat pergerakan akar udang dan mikroorganisme yang mendukung ekosistem tambak. Tanah yang terlalu berpasir mungkin kurang mampu menyimpan unsur hara dalam jumlah yang cukup, yang dapat mengurangi ketersediaan nutrisi untuk udang (Suryanti *et al.*, 2017). Tanah tambak yang memiliki tekstur buruk dapat menyebabkan masalah dalam pengelolaan pencemaran, seperti penumpukan bahan organik yang terdekomposisi secara tidak sempurna. Jika tanah terlalu lempung, dekomposisi bahan organik menjadi lebih lambat, yang dapat menciptakan kondisi anaerobik dan peningkatan gas beracun. Tanah dengan tekstur yang ideal dapat mendukung dekomposisi yang lebih cepat dan mengurangi kemungkinan pencemaran yang merugikan bagi udang windu. Hasil

analisis tekstur tanah pasir, debu dan liat tambak dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Tekstur tanah tambak

Sampel	Pasir (%)	Debu (%)	Liat (%)
S1	12.93	53.77	33.33
S2	10.42	49.85	39.73
S3	14.07	55.39	30.54
S4	11.36	51.88	36.76
Rata-rata	12.19	52.72	35.08

Kandungan tekstur tanah tambak sangat berpengaruh pada porositas pasir memiliki nilai terendah pada titik sampel S2 yaitu 10.42, kemudian titik sampel dengan nilai tertinggi pada S3 yaitu 14.07 dengan nilai rata-rata fraksi pasir 12.19%. Berdasarkan hasil uji laboratorium tingkat porositas tanah tambak masih dalam keadaan layak untuk budidaya perikanan menurut (Purnomo, 1992). Tekstur tanah tambak sangat berpengaruh terhadap porositas tanah tambak dan pertumbuhan klekap untuk sumber makanan udang windu. Tambak dengan tekstur kasar seperti pasir berlempung dan pasir memiliki tingkat porositas yang tinggi. Porositas tanah tambak yang tinggi dapat menyebabkan tanah tambak tidak bisa menahan air (Hidayanto *et al.*, 2013).

Kandungan debu tanah tambak yang memiliki nilai bervariasi dengan nilai terendah terdapat pada titik sampel S2 yaitu 49.85, dan nilai tertinggi pada titik sampel S3 yaitu 55.39 dengan nilai rata-rata 52.72 yang masih tergolong baik dan dapat mendukung usaha budidaya tambak. Tanah tambak sering dijumpai bertekstur halus dengan kandungan liat minimal 20-70% untuk menahan peresapan ke samping (Boyd, 1995). Hasil dari pengamatan tekstur tanah tambak yang berada di pulau mangkudulis secara *ex situ* bertekstur lempung liat, liat berdebu dan pasir. Tekstur tanah tambak budidaya udang windu berdasarkan hasil penelitian sangat bervariasi di masing-masing titik pengambilan sampel.

Tekstur liat pada tanah tambak mempunyai nilai terendah pada titik sampel S3 yaitu 30,54% dan tertinggi yaitu 39,73% pada titik sampel S2 dengan nilai rata-rata yaitu 35,08. Berdasarkan hasil uji liat terlihat nilai cukup baik untuk digunakan untuk budidaya karena cukup sesuai dari nilai yang telah ditentukan >30-35% (Purnomo, 1992). Tekstur tanah tambak di Pulau Mangkudulis Kabupaten Tana Tidung memiliki tekstur tanah liat berdebu (cukup sesuai) (Susetyo dan Santoso, 2016). Semakin besar kandungan liat makin subur tanah sehingga klekap dapat tumbuh dengan lebat, sebaliknya semakin tinggi pasir maka tanah tersebut kurang subur. Berdasarkan grafik tanah tambak di Pulau Mangkudulis lebih dominan liat daripada pasir, hal ini menunjukkan tanah tambak tersebut subur sehingga dapat menumbuhkan pakan alami alami klekap dengan lebat (Agus *et al*, 2006).

Hubungan Kualitas Tanah Tambak Dengan Total Produksi Tambak

Berdasarkan hasil wawancara dengan pemilik tambak, produktivitas tambak udang windu di Pulau Mangkudulis Kabupaten Tana Tidung memiliki produksi rata-rata yaitu 300 kg/hektar dari jumlah penebaran bibit 70.000 ekor dengan ukuran udang 40 ekor/Kg. Hasil ini tergolong rendah karena menurut Permen KP No.75/2016 produksi udang windu yang baik adalah 300 kg/hektare dari jumlah penebaran bibit 50.000 ekor dengan ukuran udang 20–40 ekor/Kg. Produktivitas tambak yang masih tergolong rendah salah satunya disebabkan oleh tingginya kelarutan besi dan sulfat. Kedua unsur tersebut mengakibatkan unsur hara N dan P tidak dapat dimanfaatkan phytoplankton sebagai pakan alami. Apabila unsur Mn dan Fe tinggi dapat mempengaruhi pH tambak menjadi rendah berdasarkan hasil uji laboratorium yang telah dilakukan, untuk meningkatkan pH tanah tambak perlu dilakukannya pengeringan dan pengapuran kemudian dilanjutkan

dengan pemberian pupuk pada tanah tambak. (Hardjowigeno, 2002).

KESIMPULAN

Hasil pengukuran kualitas tanah pada tambak Pulau Mangkudulis Kabupaten Tana Tidung menunjukkan bahwa parameter logam berat masih sesuai namun potensial redoks, bahan organik, nilai pH, dan tekstur tanah tambak tidak sesuai standari baku mutu sehingga mempengaruhi produksi udang windu. Hasil ini menjadi sebab rata-rata produksi tambak yang tidak maksimal yaitu 300 kg/hektar dari jumlah penebaran bibit 70.000 ekor dengan ukuran udang 40 ekor/Kg. Pengelolaan tanah tambak sebelum digunakan selanjutnya perlu dilakukan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F. Yusrial, dan Sutono. (2006). Penetapan tekstur tanah. Dalam: Kurnia *et al*. (eds.). Sifat fisik tanah dan metode analisisnya. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor. Hlm.:43-62.
- Ahern, C.R., B. Blunden, L.A. Sullivan and A.E. McElnea. (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, Australia*. pp. B1-1-B1-5.
- Akinwumi, I. O., Laniyan, O. O., & Salami, S. O. (2014). Influence of soil quality on aquaculture productivity in coastal Nigeria. *Aquaculture Research*, 45(2), 234-242.

- Arsad, S., Afandy, A., Purwadhi, A. P., Maya, V. B., Saputra, D. K., Retno, N. (2017). Studi kegiatan budidaya pembesaran udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) dengan pemeliharaan berbeda. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. 1-14 hlm.
- Becker M, Asch F. (2005). *Iron Toxicity in Rice Conditions and Management Concepts. Journal Plant Nutrition Soil Science* 168: 558–573
- Boyd, C.E. (1995). *Shrimp pond bottom soil and sediment management. Technical Bulletin American Soybean Association*: 43-58.
- Boyd, C.E., Wood, C.W. and Thunjai, T. (2002). *Aquaculture Pond Bottom Soil Quality Management. Pond Dynamics/Aquaculture Collaborative Research Support Program Oregon State University, Corvallis, Oregon*. 41 pp.
- Gunawan, H., Nurhadi, D., & Suyanto, A. (2020). The effect of soil and water quality on the growth and survival of tiger shrimp (*Penaeus monodon*) in brackish water ponds. *Indonesian Journal of Fisheries Science*, 10(1), 45-53.
- Handayani, S., & Karnilawati, K., 2018, Karakterisasi Dan Klasifikasi Tanah Ultisol Di Kecamatan Indrajaya Kabupaten Pidie, *Jurnal Ilmiah Pertanian*, 14, 52–59.
- Handiri, A. (2017). *Pengaruh kondisi lingkungan terhadap produktivitas tambak udang di pesisir*. *Jurnal Ilmu Perikanan*, 8(1), 45-55
- Hardjowigeno, S. (2002). *Ilmu tanah*. Akademika Pressindo Press. Jakarta. 283.
- Hardjowigeno, S. (2003). *Ilmu Tanah*. Akademika Presindo. Jakarta
- Hendrajat, E.A., E. Ratnawati, & A. Mustafa. (2018). Penentuan pengaruh kualitas tanah dan air terhadap produksi total tambak polikultur udang vaname dan ikan bandeng di Kabupaten Lamongan, Provinsi Jawa Timur melalui aplikasi analisis jalur. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(1): 179- 195.
- Heriyanto, A., & Subiandono, H. (2012). *Pengaruh kualitas tanah terhadap keberhasilan budidaya udang windu di tambak tradisional*. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 7(2), 130-140
- Hidayanto, M., H.W. Agus, dan F. Yossita. (2004). Analisis tanah tambak sebagai indikator tingkat kesuburan tambak. *J. Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*. Badan Riset Pertanian, Departemen Pertanian Indonesia, 6(4):98-109.
- Kusuma, A., & Yanti, R. (2021). *Pengaruh kondisi redoks terhadap kualitas air dan produktivitas tambak udang windu*. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 10(3), 112-121.
- Lindsay, W.L., (1979), *Chemical Equilibria in Soil*, New York: John Wiley and Sons.
- Mansyur, I., Arif, M., & Hidayat, R. (2021). *Kisaran optimum kandungan nitrogen (N) untuk meningkatkan produktivitas tambak udang windu*. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 15(3), 150-160.
- Mustafa, A., & Sammut, J. (2010). *Dominant factors effecting seaweed (*Gracilaria verrucosa*) production in acid sulfate soils-affected ponds of Luwu Regency, Indonesia*. *Indonesian Aquaculture Journal*, 5(2), 147-162.
- Nana, S., & Putra, A. (2008). *Pengaruh kondisi redoks terhadap kualitas tanah tambak dan produktivitas udang*. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 6(1), 55-64

- Nur, A., Rahmawati, S., & Putra, T. (2021). *Pengaruh kualitas tanah terhadap produktivitas tambak udang windu di daerah pesisir*. Jurnal Perikanan dan Kelautan, 14(2), 120-130.
- Palar. (2008). *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rhineka Cipta: Jakarta
- Pantjara, B., Mustafa, A., Mangampa, M. (2013). *Petunjuk teknis remediasi tambak sulfat masam untuk budidaya udang*. Badan Penelitian dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Perikanan Budidaya, Balai Penelitian dan Pengembangan Budidaya Air Payau, Maros. 31 hlm.
- Peraturan Menteri Kelautan Perikanan. (2016). *Pedoman Umum Pembesaran Udang Windu (Penaeus Monodon) Dan Udang Vaname (Litopenaeus Vannamei)*. Jakarta.
- Purnomo, S. (1992). *Manajemen tanah tambak untuk budidaya udang*. Jurnal Perikanan, 4(1), 45-56.
- Putra, N.S.S.U. (2008). *Manajemen kualitas tanah dan air dalam kegiatan perikanan budidaya*. Departemen kelautan dan perikanan, Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya Balai Budidaya Air Payau Takalar.
- Ratnawati, E., Hasnawi, & Mustafa, A. (2014). *Kesesuaian lahan aktual untuk budidaya udang windu di tambak Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan*. Jurnal Riset Akuakultur, 9(1), 151- 164.
- Saeni, M. S., (2002), *Bahan Kuliah Kimia Logam Berat*, Program Pascasarjana IPB: Bogor.
- Suhaimi, R. A., Hasnawi., Ratnawati, E. (2013). *Kesesuaian lahan untuk budidaya udang windu (Penaeus monodon) di tambak Kabupaten Brebes, JawaTengah*. *J. Ris.Akuakultur*, (8)3, 465-477.t
- Suhariyono, G., Menry, Y., (2005), *Analisis Karakteristik Unsur-unsur dalam Tanah di Berbagai Lokasi dengan Menggunakan XRF dalam Prosiding PPI – PDIPTN 2005 Puslitbang Teknologi Maju, BATANYogyakarta: ISSN 0216 – 3128*.
- Suharsono, & Suryanti, I. W. (2017). *Pengaruh kualitas tanah terhadap produktivitas budidaya udang windu (Penaeus monodon) di tambak tradisional*. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 5(2), 85-92.
- Suryanti, I. W., Suharsono, & Haris, P. (2017). *Soil organic matter and its role in improving water quality in shrimp ponds*. *Aquaculture Indonesia Journal*, 3(2), 112-120.
- Susetyo, A., & Santoso, B. (2016). *Pengaruh kualitas tanah tambak terhadap produktivitas udang windu (Penaeus monodon)*. *Jurnal Akuakultur Tropis*, 10(2), 88-97.
- Sutriyanto, E. (2018). *Tambak Terluas Di Indonesia, Tapi Produksi Udang di Kaltara Masih Minim*. <https://www.tribunnews.com/>. Diakses pada 20 Desember 2024.
- Suwoyo, D. (2014). *Pengaruh kondisi redoks terhadap kualitas tanah tambak dan produksi udang*. *Jurnal Ilmu Perikanan*, 9(2), 85-94.
- Triatmo, S. (2001). *Pengelolaan tanah tambak untuk meningkatkan produksi udang*. *Jurnal Perikanan dan Laut*, 5(3), 100-110
- Widowati, S., Santosa, D., & Anwar, M. (2019). *Pengaruh kondisi redoks terhadap kualitas air dan produktivitas tambak udang*. *Jurnal Perikanan dan Kelautan*, 12(4), 101-110.