

ANALISIS KUALITAS LINGKUNGAN DAN PRODUKTIVITAS TAMBAK BUDIDAYA UDANG WINDU SISTEM TEKNOLOGI TRADISIONAL DI KABUPATEN BULUNGAN

Analysis of Environmental Quality and Productivity of Shrimp Cultivation Windu Traditional Technology System in Bulungan District

Muhammad Amien H^{1*}, Widiatmaka², Kukuh Nirmala³, Setyo Pertiwi⁴, Wiwin Ambarwulan⁵

¹Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor

²Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor

³Departemen Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor

⁴Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

⁵Badan Informasi Geospasial, Bogor 16911

Email: amien.fpkubt@gmail.com

Diserahkan tanggal 23 Juli 2021, Diterima tanggal 17 November 2021

ABSTRAK

Tambak sebagai media terkontrol yang digunakan untuk memelihara atau membesarkan udang harus memenuhi persyaratan kelangsungan hidup dan pertumbuhan udang. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor kualitas lingkungan tambak yang berpengaruh terhadap produktivitas tambak budidaya udang windu sistem teknologi tradisional di Kabupaten Bulungan. Pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada bulan Februari-April 2019. Penelitian ini menggunakan metode regresi linier berganda dan pengambilan sampel dilakukan dengan metode *purposive sampling*. Berdasarkan hasil uji simultan bahwa variabel suhu, salinitas, pH air, alkalinitas, kesadahan, oksigen terlarut, fosfat air, besi air, pH tanah, bahan organik tanah, karbon organik tanah, fosfat tanah, amonia tanah, nitrit tanah, nitrat tanah, kalium tanah, dan besi tanah berpengaruh terhadap produktivitas tambak sebesar 128,347 kg/ha/siklus. Sedangkan uji parsial diperoleh 8 variabel yang berpengaruh langsung terhadap produktivitas tambak udang yaitu pH air, alkalinitas, kesadahan, besi air, pH tanah, bahan organik tanah (BO), karbon organik tanah, dan amonia tanah.

Kata kunci: kualitas lingkungan; produktivitas; tambak; tradisional; udang windu

ABSTRACT

Pond as a controlled medium used to raise or raise shrimp must meet requirements for survival and growth of shrimp. This study aims to analyze the quality factor pond environment that affects the productivity of tiger shrimp ponds in the Bulungan Regency. The implementation of this research was carried out in February-April 2019. This study used the regression method multiple linear and sampling is done by purposive sampling method. Based on the results of the simultaneous test that the variables of temperature, salinity, water pH, alkalinity, hardness, dissolved oxygen, water phosphate, water iron, soil pH, material soil organics, soil organic carbon, soil phosphate, soil ammonia, soil nitrate, soil nitrate, soil potassium, and soil iron have a major effect on the productivity of ponds by 128,347 kg/ha/cycle. While the partial test obtained 8 variables that directly affect the productivity of shrimp ponds, namely water pH, alkalinity, hardness, water iron, soil pH, soil organic matter (BO), soil organic carbon, and soil ammonia.

Keywords: environmental quality; productivity ponds; traditional; tiger prawns

PENDAHULUAN

Tambak sebagai media yang sengaja dibuat untuk memelihara atau pembesaran ikan atau udang yang terletak di wilayah pesisir dalam rangka untuk meningkatkan kesejahteraan dan pemenuhan kebutuhan protein masyarakat, serta meningkatkan produksi perikanan budidaya sebagai sumber devisa negara. Pemenuhan kebutuhan produk perikanan lebih dari 50% berasal dari perikanan budidaya karena status stok ikan di perairan dalam status *fully exploited* (Seixas *et al.*, 2012).

Udang merupakan salah satu komoditas perikanan budidaya air payau (tambak) utama di Indonesia dengan produksi 21 % pada tahun 2012, 18 % tahun 2013, 15,8 % tahun 2014, 15 % tahun 2015, 12,8 % tahun 2016 dan 25,9 % tahun 2017 atau rata-rata produksi dari tahun 2012-2017 sekitar 18 % (KKP, 2018). Rata-rata produksi udang tersebut lebih rendah dibandingkan rata-rata produksi rumput laut dan ikan bandeng yaitu masing-masing 42,3% dan 23,8 %. Selanjutnya rata-rata produksi tambak budidaya udang windu pada tahun 2012-2017 sekitar 5,4 % lebih rendah dibandingkan dengan produksi udang vaname sekitar 12,8 %. Hal tersebut terjadi karena sebagian besar tambak di Indonesia

yang awalnya dibudidayakan udang windu beralih ke udang vaname.

Kabupaten Bulungan merupakan salah satu penghasil udang windu di Indonesia dan memiliki lahan tambak terluas di Provinsi Kalimantan Utara. Luas tambak udang windu di Provinsi Kalimantan Utara sekitar 149.958 ha, sekitar 94.030,64 ha (62 %) lahan tambak berada di Kabupaten Bulungan (DKP Provinsi Kalimantan Utara, 2016). Budidaya udang windu yang terletak di wilayah pesisir Kabupaten Bulungan dilakukan pada tahun 1980-an dan masih berkembang hingga sekarang dengan menerapkan teknologi sistem tradisional (tanpa pemberian pakan dan aerasi) dengan masa pemeliharaan sekitar 3-4 bulan.

Produksi tambak udang windu di Kalimantan Utara termasuk Kabupaten Bulungan sebelum tahun 2003 yaitu 300-400 kg/ha/siklus dan mengalami penurunan pada periode tahun 2003-2009 menjadi 5-20 kg/ha/siklus (Ilman *et al.*, 2009). Sementara rata-rata produksi tambak udang windu di Kabupaten Bulungan hingga tahun 2016 sekitar 50-60 kg/ha (DKP Provinsi Kalimantan Utara, 2016). Penurunan produksi tambak udang windu tersebut sampai saat ini masih terjadi dan penyebabnya belum diketahui secara pasti. Berdasarkan informasi dari pembudidaya tambak udang windu di Kabupaten Bulungan pada tahun 2019, bahwa terjadinya penurunan produksi tersebut diduga berkaitan dengan menurunnya kualitas tanah dan air tambak, serangan penyakit, dan kualitas benur. Serangan penyakit dan menurunnya kualitas air tambak sebagai penyebab terjadinya penurunan produksi udang (Tompo., *et al.* 2015; Arief *et al.*, 2015). Faktor yang mempengaruhi produksi tambak adalah kualitas lingkungan tambak (Mustafa dan Sammut, 2007). Nirmala *et al.*, (2005) mengatakan bahwa kualitas air dan penyakit memberikan pertimbangan yang rasional sebagai faktor penyebab rendahnya produksi tambak, selain itu lingkungan dasar tambak merupakan salah satu permasalahan mendasar dalam budidaya udang.

Keberhasilan usaha tambak udang windu dapat diukur dari produksi tambak dan penerimaan petani yang tinggi dengan pemanfaatan sumberdaya dan lingkungan secara optimal dan berkesinambungan. Lingkungan tambak sebagai suatu ekosistem mempunyai peran yang sangat penting dalam memelihara kelangsungan hidup organisme yang dibudidayakan (Bahri *et al.*, 2014). Lingkungan tambak dipengaruhi oleh faktor kualitas air dan tanah (Hendrajat *et al.*, 2018).

Menurut Saraswathy *et al.*, (2019); Mustafa dan Sammut, (2007), bahwa pemeliharaan kualitas tanah dan air di lingkungan tambak akan menentukan kesehatan dan faktor yang mempengaruhi produksi tambak. Oleh karena itu, air yang digunakan (air sumber dan pemeliharaan) harus memenuhi persyaratan budidaya udang windu, baik secara fisik, kimia, cemaran logam berat, maupun biologi air (Permen KP No. 75 Tahun 2016). Kondisi kualitas air tambak yang baik menentukan keberhasilan budidaya udang karena dapat tumbuh secara optimal, sebaliknya kualitas air yang buruk sebagai akibat meningkatnya senyawa-senyawa beracun seperti amoniak (NH_3), nitrit (NO_2) dan hidrogen sulfida (H_2S) mempengaruhi tingkat kesehatan udang yang pada akhirnya dapat mengakibatkan kematian (Putra, 2008; Hukom *et al.*, 2013; Supono, 2015).

Kualitas tanah tambak dan proses yang terjadi didalamnya serta hubungan tanah dan air tambak menjadi sangat penting bagi pertumbuhan udang di tambak, selain itu

tanah tambak berfungsi sebagai media, mampu menahan air dan menyediakan unsur hara untuk pertumbuhan pakan alami (Avnimelech dan Ritvo, 2003; Hidayanto *et al.*, 2004); Suhaimi *et al.*, 2013). Kualitas tanah tambak berperan atau berpengaruh terhadap produktivitas, kualitas air di atasnya, dan sesuai untuk konstruksi tanggul (Imamah I *et al.*, 2013; Pillay dan Kutty, 2005; Supono, 2015). Sehingga secara keseluruhan kualitas tanah dan air tambak sebagai faktor penentu dominan dalam budidaya udang.

Menurut Mustafa *et al.*, (2014), bahwa permasalahan kualitas air dalam tambak seringkali bermula dari kualitas tanah, seperti rendahnya pH dan alkalinitas air pada tanah masam, rendahnya kandungan oksigen terlarut (proses dekomposisi bahan organik dalam tanah) dan adanya senyawa NO_2 , H_2S , besi (Fe) dan mangan (Mn) yang diproduksi oleh mikroorganisme pada tanah yang anaerob. Nirmala *et al.*, (2005) mengemukakan bahwa variabel kualitas kimia tanah tambak udang yang berpengaruh terhadap produktivitas yaitu sulfur, C-organik, fosfor, N. total, dan Fe. Menurut Asaf *et al.*, (2015), bahwa variabel-variabel kualitas tanah dan air yang berpengaruh terhadap produktivitas tambak yaitu bahan organik total (BOT), aluminium tanah, dan nitrat, sedangkan Imamah I *et al.*, 2013; Indra *et al.*, 2019) mengatakan bahwa pakan, luas tambak, tenaga kerja, kualitas benih, pupuk, dan pestisida sebagai variabel yang berpengaruh terhadap produktivitas tambak.

Mengingat besarnya peranan dan pengaruh kualitas air dan tanah tambak terhadap keberhasilan proses pemeliharaan atau pembesaran udang windu, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis faktor kualitas lingkungan tambak yang berpengaruh terhadap produktivitas tambak udang windu sistem teknologi tradisional di Kabupaten Bulungan.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

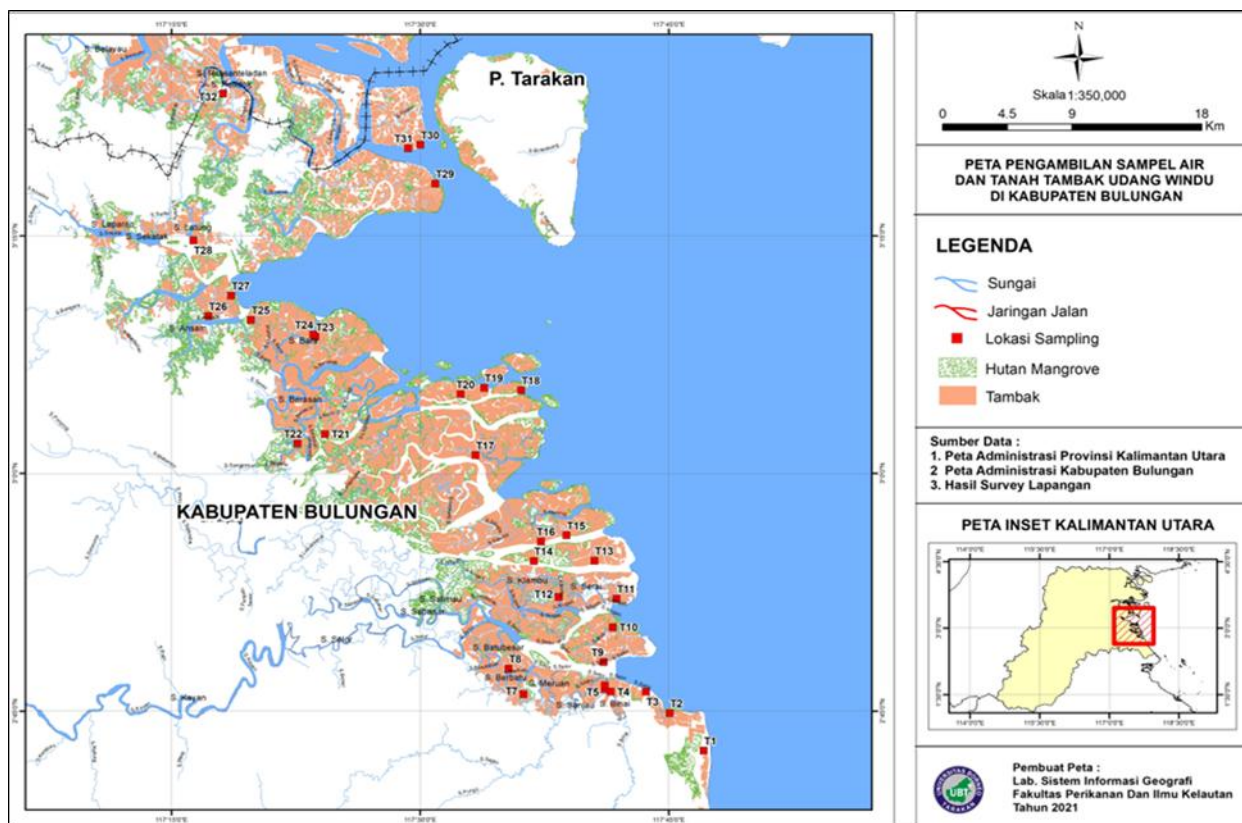
Penelitian ini dilakukan pada pada bulan Februari-April 2019 pada tambak udang windu di Kabupaten Bulungan (Gambar 1). Pengambilan sampel air dan tanah tambak sebanyak 32 stasiun dan setiap stasiun dilengkapi dengan titik koordinat dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS).

Metode Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel air dan tanah dilakukan secara langsung pada setiap petak tambak. Bahan dan peralatan yang digunakan yaitu air, tanah, botol sampel (jerigen), plastik, *ekman grab*, *ice box*, pH meter, DO meter, *spectrofotometer*, dan GPS (KLHK, 2016; Kurniawan, 2019). Pengambilan sampel air tambak dilakukan dengan menggunakan botol sampel sebanyak ± 1000 ml/stasiun, sedangkan tanah tambak sebanyak 500 gram/stasiun dengan menggunakan *ekman grab* dan dimasukkan kedalam plastik. Botol dan plastik sampel dimasukkan ke dalam *ice box* yang telah diisi es batu. Variabel kualitas air yang diukur langsung di lapangan yaitu: pH air, suhu air, salinitas, kecerahan dan oksigen terlarut (DO). Selanjutnya variabel kualitas air seperti amonia, nitrit, nitrat fosfat, kalium, alkalinitas, besi (Fe), dan tanah tambak seperti pH tanah, BO, karbon organik, fosfat, nitrat, kalium, Fe, pirit diukur di laboratorium Kualitas Air Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan (FPIK) dan Kualitas Tanah

Fakultas Pertanian Universitas Borneo Tarakan (UBT). Penentuan stasiun pengambilan sampel menggunakan metode *purposive sampling*. Secara keseluruhan parameter kualitas

air, tanah, dan alat yang digunakan pada penelitian ini disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel Air dan Tanah Tambak

Tabel 1. Parameter Kualitas Air dan Tanah Tambak, Serta Metode atau Alat yang Digunakan

| No. | Variabel | Satuan | Baku Mutu | Metode / Alat Uji |
|-----------|---------------------------|-----------|-------------|-------------------------|
| A. | Fisik Air | | | |
| 1 | Suhu | °C | 28 -32* | Thermometer |
| B. | Kimia Air | | | |
| 1 | pH | - | 7,5-8,5* | pH meter |
| 2 | Salinitas | ppt | 5 - 40* | Hand refraktometer |
| 3 | Dissolved oxygen (DO) | mg/l | >3* | DO-meter |
| 4 | Alkalinitas | mg/l | 100-250* | Titrimetric |
| 5 | Kesadahan | mg/l | - | Titrimetric |
| 6 | Besi (Fe) | ppm | 0.02* | SNI 6989.4:2009 |
| C | Kimia Tanah | | | |
| 1 | pH | - | 5,5-7,0* | pH meter |
| 2 | Bahan organik (BO) | % | < 5* | Titrisasi |
| 3 | Karbon organik | % | 3-5** | Titrisasi |
| 4 | Fosfat (PO ₄) | ppm | 30 - 60** | Spectrofotometer UV-VIS |
| 5 | Amonia (NH ₃) | mg/l | - | Soil Testkit |
| 6 | Nitrit (NO ₂) | mg/l | - | Soil Testkit |
| 7 | Nitrat (NO ₃) | mg/l | - | Soil Testkit |
| 8 | Kalium (K) | me/100 gr | 0.5 - 1.0** | Spectrofotometer UV-VIS |
| 9 | Besi (Fe) | ppm | - | Spectrofotometer UV-VIS |

Keterangan: *Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 75 Tahun 2016; ** Pusat Pelatihan dan Pengembangan Perikanan dan Direktorat Jenderal Perikanan, Departemen Pertanian tahun 1991 dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 21 Tahun 2015.

Analisis Data

Analisis kondisi kualitas air dan tanah tambak udang windu di Kabupaten Bulungan Sungai berdasarkan sifat fisik-kimia dibandingkan dengan baku mutu (BM) Permen KP No.

75 Tahun 2016 tentang Pedoman Umum Pembesaran Udang Windu dan Vaname, dan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No. 21 Tahun 2015 tentang Eksploitasi dan Pemeliharaan Jaringan Irigasi Tambak.

Selanjutnya untuk mengetahui variabel kualitas air dan tanah yang mempengaruhi produktivitas tambak udang windu digunakan metode regresi linier berganda. Analisis data variabel kualitas air dan tanah yang diukur baik secara langsung di lapangan maupun di laboratorium dilakukan secara deskriptif.

Menurut Anderson *et al.*, (2017), bahwa analisis regresi berganda adalah suatu metode analisis yang digunakan untuk menganalisis pengaruh dari variabel bebas (*independent variable*) terhadap variabel tak bebas (*dependent variable*). Selanjutnya secara umum persamaan matematik untuk analisis regresi berganda dalam menganalisis faktor-faktor kualitas lingkungan yang mempengaruhi produktivitas tambak udang sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan: Y = Variabel tak bebas (produksi tambak udang windu (kg/ha/siklus)); X = Variabel bebas (X₁:suhu air, X₂: pH air, X₃: salinitas, X₄: DO, X₅: alkalinitas, X₆: kesadahan, X₇: fospat air, X₈: Fe air, X₉: pH tanah, X₁₀: BO tanah, X₁₁: karbon organik tanah, X₁₂: fosfat tanah, X₁₃: amonia tanah, X₁₄: nitrit tanah, X₁₅: nitrat tanah, X₁₆: kalium tanah, dan X₁₇: Fe tanah); β = Koefisien regresi.

Sebelum penggunaan analisis regresi linier berganda, maka perlunya dilakukan pengujian data yaitu uji asumsi klasik atau uji persyaratan analisis regresi ganda sehingga persamaan garis regresi yang diperoleh benar-benar dapat digunakan untuk memprediksi variabel dependen.

Uji persyaratan regresi linier ganda tersebut yaitu uji normalitas, multikolinieritas, heteroskedastisitas, dan autokorelasi. Model regresi linier berganda dikatakan baik atau cocok, jika dipenuhi asumsi-asumsi ideal (klasik), yakni uji normalitas, tidak adanya gejala autokorelasi, heteroskedastisitas dan multikolinieritas (Pujilestari *et al.*, 2017). Oleh karena itu, proses kontrol terhadap model perlu dilakukan untuk menelaah dipenuhi tidaknya asumsi tersebut.

Uji normalitas bertujuan untuk menguji apakah dalam model regresi, variabel pengganggu atau residual memiliki distribusi normal (Ghozali, 2005). Uji normalitas menggunakan uji non-parametrik *One-Sample kolmogorov-smirnov* (K-S) dengan kaidah jika nilai probabilitas lebih besar dari 0,05 maka data berdistribusi normal, sebaliknya jika nilai probabilitas <0,05 maka data berdistribusi tidak normal. Uji multikolinieritas bertujuan untuk menguji apakah di dalam model regresi ditemukan adanya korelasi antar variabel bebas. Multikolinieritas terjadi jika nilai VIF (*Varian inflation factor*) >10; dan jika tolerance <0,1. Suliyanto (2005) mengatakan jika VIF>10 maka model dugaan terjadi multikolinieritas dan sebaliknya, jika VIF<10 maka model dugaan tidak terdapat multikolinieritas.

Uji *Heteroskedastisitas* bertujuan menguji apakah dalam model regresi terjadi ketidaksamaan *variance* dari residual satu pengamatan ke pengamatan yang lain. Cara yang digunakan untuk mendeteksi ada atau tidaknya gejala heteroskedastisitas yaitu dengan menggunakan uji *Glejser* dengan kaidah probabilitas signifikannya >5%, maka model regresi tidak mengandung heteroskedastisitas. Uji *Glejser* dilakukan dengan meregresikan variabel-variabel bebas terhadap nilai absolut residualnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara statistik deskriptif nilai variabel dependen berupa data produksi udang windu dan variabel independen di tambak udang windu di Kabupaten Bulungan disajikan pada Tabel 2. Statistik deskriptif tersebut digunakan untuk mengetahui nilai minimum, maksimum, rata-rata, dan simpangan baku dari setiap variabel yang dianalisis.

Tabel 2. Statistik Deskriptif Produksi, Kualitas Tanah, dan Kualitas Air Pada Tambak Udang Windu di Kabupaten Bulungan

| Faktor/Peubah | Min. | Max. | Rata-rata | Stdv. |
|-----------------------|------|-------|-----------|-------|
| Produksi Udang | | | | |
| Panen (kg/ha/siklus) | 25 | 70 | 40 | 12.1 |
| Kualitas Air | | | | |
| Suhu | 27 | 35 | 32,5 | 1,63 |
| Salinitas | 5 | 23 | 13,4 | 5,85 |
| pH air | 5,2 | 8,4 | 7,2 | 0,60 |
| Alkalinitas | 2,4 | 233 | 34,1 | 46,97 |
| Kesadahan | 10,1 | 9610 | 2250 | 3623 |
| DO | 4,8 | 9,4 | 6,54 | 0,86 |
| Fospat | 0 | 1,02 | 0,15 | 0,18 |
| Besi (Fe) | 0,0 | 1,3 | 0,27 | 0,30 |
| Kualitas Tanah | | | | |
| pH Tanah | 3,1 | 4,8 | 3,81 | 0,36 |
| Bahan Organik | 1,2 | 6,7 | 3,09 | 1,82 |
| C-Organik | 0,6 | 3,7 | 1,47 | 0,79 |
| Fospat | 49 | 794 | 161 | 153,7 |
| Amonia | 2,4 | 18,6 | 10 | 3,53 |
| Nitrit | 15,7 | 217,3 | 87,4 | 53,34 |
| Nitrat | 19,4 | 299,0 | 114,4 | 68, |
| Kalium | 5,7 | 76,3 | 22,2 | 17,35 |
| Besi (Fe) | 49,1 | 683 | 265,3 | 164,1 |

Regresi Linier Berganda

Analisis variabel kualitas air-tanah tambak dan produktivitas menggunakan model regresi linier berganda dengan bantuan *software* SPSS versi 24. Regresi linier berganda merupakan suatu teknik analisis ketergantungan antara variabel tak bebas (Y) dengan variabel bebas (X). Selanjutnya sebelum dilakukan uji hipotesis, terlebih dahulu dilakukan uji asumsi klasik. Secara statistik, model regresi linier berganda dikatakan baik jika terpenuhi asumsi-asumsi klasik yaitu:

- Uji normalitas
 Hasil uji *One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test* diperoleh nilai signifikansi atau probabilitas >0,05 yaitu 0,200 yang dapat dinyatakan bahwa seluruh data terdistribusi normal.
- Uji Heteroskedastisitas dan multikolinieritas

Hasil uji heteroskedastisitas dan multikolinieritas disajikan pada Tabel 3. Selanjutnya menunjukkan bahwa semua variabel tidak terjadi gejala heteroskedastisitas (p>0,05) dan nilai VIF<10 (tidak terjadi multikolinieritas). Oleh karena itu, uji regresi linier berganda dapat dilanjutkan karena semua nilai asumsi uji klasik terpenuhi.

Tabel 3. Hasil Uji Heteroskedastisitas dan Multikolinieritas

| Variabel | Uji heteroskedastisitas | | Uji multikolinieritas | | |
|-----------------------|-------------------------|------------|-----------------------|-------|----------|
| | Sig. | Kriteria a | Toleransi | VIF | Kriteria |
| Kualitas Air | | | | | |
| Suhu | 0,955 | | 0,402 | 2,490 | |
| Salinitas | 0,452 | | 0,372 | 2,691 | |
| pH_Air | 0,088 | | 0,525 | 1,903 | |
| Alkalinitas | 0,380 | p>0,0 | 0,399 | 2,508 | VIF<10 |
| Kesadahan | 0,198 | 5 | 0,340 | 2,943 | |
| DO | 0,997 | | 0,382 | 2,617 | |
| Fospat | 0,220 | | 0,401 | 2,497 | |
| Besi (Fe) | 0,554 | | 0,309 | 3,237 | |
| Kualitas Tanah | | | | | |
| pH Tanah | 0,248 | | 0,356 | 2,807 | |
| BO | 0,337 | p>0,0 | 0,287 | 3,482 | |
| C-Organik | 0,669 | 5 | 0,277 | 3,614 | VIF<10 |
| Fospat | 0,835 | | 0,280 | 3,572 | |
| Amonia | 0,457 | | 0,554 | 1,803 | |
| Nitrit | 0,116 | | 0,483 | 2,070 | |
| Nitrat | 0,923 | | 0,532 | 1,879 | |
| Kalium | 0,843 | | 0,512 | 1,952 | |

Uji hipotesis atau signifikansi hubungan variabel Y dan X dilakukan uji secara simultan (uji F) dan parsial (uji T). Hasil uji secara simultan (uji F) dan uji parsial untuk koefisien regresi pada setiap variabel dapat dilihat pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Hasil Uji F Pada Model Produksi Udang Windu di Tambak Kabupaten Bulungan.

| Model | Jumlah Kuadrat | Derajat bebas | Kuadrat Tengah | F-hitung | Peluang |
|---------|----------------|---------------|----------------|----------|---------|
| Regresi | 3978,948 | 17 | 234,056 | 5,738 | 0,001 |
| Galat | 571,052 | 14 | 40,789 | | |
| Total | 4550,000 | 31 | | | |

Berdasarkan Tabel 4 di atas, bahwa nilai F-hitung sebesar 5,738 dengan tingkat kepercayaan 95 persen ($\alpha=0,05$). Hasil uji signifikansi tersebut menunjukkan nyata secara statistik, yaitu dengan melihat nilai F-hitung (5,738) lebih besar dibanding F-tabel (2,46) dan nilai P (0,001) lebih kecil 0,05. Selanjutnya, uji signifikansi juga dapat dilihat pada nilai koefisien determinasi atau R-square dan R-square (*adjusted*). Nilai R square dan R-square (*adjusted*) yang diperoleh masing-masing 0,874 (87,4 %) dan 0,722 (72,2 %). Hal ini berarti bahwa 87,4 % jumlah variasi produktivitas tambak udang windu dapat dipengaruhi oleh variasi variabel suhu air, pH air, salinitas, DO, alkalinitas, kesadahan, fospat air, Fe air, pH tanah, BO tanah, C-organik tanah, fosfat tanah, amonia tanah, nitrit tanah, nitrat tanah, kalium tanah, dan Fe tanah. Sedangkan sisanya 12,6 % dijelaskan oleh faktor-faktor lain diluar model.

Tabel 5 di atas memperlihatkan nilai T-hitung dan P-value pada masing-masing faktor produksi udang windu. Berdasarkan hipotesis yang diajukan pada penelitian ini ($H_0 :$

$\beta_i = 0$ dan $H_1 : \beta_i \neq 0$) pada uji parsial terhadap masing-masing faktor produksi, maka diperoleh 8 variabel yang berpengaruh langsung yaitu pH air, alkalinitas, kesadahan, Fe air, pH tanah, BO tanah, karbon organik tanah, dan amonia tanah, sedangkan variabel lainya seperti suhu, salinitas, DO, fospat air dan tanah, nitrit tanah, nitrat tanah, kalium tanah, dan besi tanah tidak berpengaruh terhadap hasil produksi udang windu di tambak Kabupaten Bulungan.

Tabel 5. Hasil Uji T (Parsial) Pada Setiap Variabel Penduga Fungsi Produktivitas Tambak Udang Windu di Kabupaten Bulungan

| Variabel | Koefisien Regresi | T-hitung | P-value | VIF |
|--------------------------|-------------------|----------|---------|--------|
| Kostanta | 128,347 | 3,362 | 0,005 | |
| X ₁ | -1,877 | -1,686 | 0,114 | 2,490 |
| X ₂ | 0,032 | 0,099 | 0,923 | 2,691 |
| X ₃ | -6,942 | -2,596 | 0,021 | 1,903 |
| X ₄ | -0,135 | -3,502 | 0,004 | 2,508 |
| X ₅ | -0,002 | -3,820 | 0,002 | 2,943 |
| X ₆ | -3,726 | -1,720 | 0,107 | 2,617 |
| X ₇ | 11,128 | 1,130 | 0,278 | 2,497 |
| X ₈ | 26,599 | 3,824 | 0,002 | 3,237 |
| X ₉ | 18,438 | 3,423 | 0,004 | 2,807 |
| X ₁₀ | 4,349 | 3,690 | 0,002 | 3,482 |
| X ₁₁ | -14,474 | -5,236 | 0,000 | 3,614 |
| X ₁₂ | -0,026 | -1,856 | 0,085 | 3,572 |
| X ₁₃ | -1,059 | -2,428 | 0,029 | 1,803 |
| X ₁₄ | -0,044 | -1,427 | 0,176 | 2,070 |
| X ₁₅ | 0,038 | 1,656 | 0,120 | 1,879 |
| X ₁₆ | 0,176 | 1,904 | 0,078 | 1,952 |
| X ₁₇ | -0,019 | -1,631 | 0,125 | 2,708 |
| R-square | | | | 87,4 % |
| R-square (<i>adj.</i>) | | | | 72,2 % |

Analisis Faktor Kualitas Lingkungan Yang Mempengaruhi Produktivitas Tambak Udang Windu

Faktor atau variabel kualitas lingkungan yang berperan dalam menentukan produktivitas tambak di Kabupaten Bulungan digambarkan dalam persamaan regresi sebagai berikut.

$$Y = 128,347 - 1,877 X_1 + 0,032 X_2 - 6,942 X_3 - 0,135 X_4 - 0,002 X_5 - 3,726 X_6 + 11,128 X_7 + 26,599 X_8 + 18,438 X_9 + 4,349 X_{10} - 14,474 X_{11} - 0,026 X_{12} - 1,059 X_{13} - 0,044 X_{14} + 0,038 X_{15} + 0,176 X_{16} - 0,019 X_{17} \dots\dots\dots (2)$$

Berdasarkan persamaan tersebut, maka koefisien regresi meliputi dua hal yaitu, tanda dan besaran. Tanda bernilai positif yang menunjukkan pengaruh yang searah antara variabel bebas terhadap variabel terikat, sedangkan negatif menunjukkan pengaruh yang berlawanan arah. Selanjutnya besaran menjelaskan nominal *slope* persamaan regresi pada setiap variabel. Persamaan 2 terlihat bahwa koefisien konstanta sebesar 128,347 yang berarti produktivitas tambak dapat diprediksi mencapai 128,347 kg/ha/siklus kalau tidak ada kontribusi dari setiap variabel (faktor lingkungan tambak). Hal ini menunjukkan bahwa variabel lingkungan tambak seperti: suhu (X₁), salinitas (X₂), pH air (X₃), alkalinitas (X₄), kesadahan (X₅), DO (X₆), fospat air (X₇), besi air (X₈), pH tanah (X₉), Bahan organik Tanah (X₁₀), C-Organik tanah

(X_{11}), fosfat Tanah (X_{12}), amonia tanah (X_{13}), nitrit Tanah (X_{14}), nitrat tanah (X_{15}), kalium Tanah (X_{16}), dan besi tanah (X_{17}) berpengaruh besar terhadap produktivitas tambak udang windu di Kabupaten Bulungan.

Produktivitas udang windu di Kabupaten Bulungan berkisar antara 25-70 kg/ha/siklus dengan rata-rata $40 \pm 12,1$ kg/ha/siklus). Produktivitas tambak udang windu tersebut lebih rendah dibanding persyaratan pedoman pembesaran udang windu di tambak menurut Kepmen KP No. 76 Tahun 2016 yaitu 100-300 kg/hektar. Selanjutnya rata-rata produktivitas tambak udang windu tersebut lebih rendah dari tambak udang di Kabupaten Berau sebesar 213 kg/ha/musim (Ratnawati dan Mustafa, 2011). Asaf *et al.*, (2013) mengatakan bahwa rendahnya produktivitas tambak tersebut disebabkan karena rendahnya keberhasilan atau kelangsungan hidup (*survival rate*) dan pertumbuhan (*growth rate*) udang serta ketidakstabilan produksi. Hal ini diduga karena terjadinya penurunan kondisi kualitas lingkungan, sehingga berpotensi munculnya penyakit, kesalahan atau rendahnya tingkat pengelolaan lingkungan perairan dan penerapan teknologi budidaya.

Salah satu variabel kualitas air sebagai faktor pembatas pada pembesaran udang adalah suhu air. Suhu air media berkaitan dengan nafsu makan, membantu mempercepat proses metabolisme udang dan dapat memengaruhi aktivitas fotosintesis alga serta kelarutan gas-gas yang berada di dalamnya (Nurhidayah *et al.*, 2012; Suhaimi *et al.*, 2013; Mangampa dan Burhanuddin, 2014). Hasil pengukuran variabel suhu air secara langsung di setiap petak tambak udang windu berkisar antara 27-35 °C dengan rata-rata $32 \pm 1,6$ °C. Hal ini menunjukkan bahwa kisaran nilai suhu air tersebut telah melewati BM berdasarkan Kepmen KP No. 75 Tahun 2016 yaitu 28-32 °C. Sebagai perbandingan bahwa nilai suhu air yang terukur di setiap petak tambak Kabupaten Bulungan lebih rendah dibanding hasil penelitian (Utojo *et al.*, 2016) di tambak tradisional Kabupaten Probolinggo yaitu 28,5-37,2 °C.

Hasil analisis regresi linier berganda diperoleh nilai koefisien variabel suhu air adalah -1,877, yang berarti bahwa penambahan konsentrasi suhu air tambak 1 persen dapat menurunkan produktivitas tambak udang windu di Kabupaten Bulungan sebesar 1,877 kg/ha/siklus. Sementara hasil pendugaan persamaan fungsi produktivitas (uji t) mempunyai taraf nyata di atas 11 persen (P-value > 0,05 persen). Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi suhu air tidak berpengaruh signifikan terhadap tingkat produktivitas tambak udang windu. Nilai suhu air yang terukur antar petak tambak udang berfluktuasi, hal ini berkaitan dengan kondisi cuaca pada waktu pengukuran berbeda-beda. Nilai suhu yang tinggi tersebut dilakukan pengukuran pada kondisi cuaca yang sangat cerah. Menurut Boyd (1990) dalam Amin dan Hendrajat (2012), bahwa suhu air mengalami perubahan secara harian maupun musiman. Selanjutnya dikatakan bahwa hewan *crustacea* seperti udang termasuk hewan bersifat *poikilothermal* (berdarah dingin) yang suhu tubuhnya selalu mengikuti lingkungan sekitarnya.

Suhu air yang optimum untuk budidaya ikan dan udang di tambak adalah 28-32 °C (Effendi, 2003). Kisaran optimum suhu air untuk budidaya udang windu antara 29°C dan 30°C, sedangkan udang windu tumbuh relatif cepat dan kelangsungan hidup relatif tinggi pada kisaran suhu 26-30 °C (Rachmansyah *et al.*, 2010). Tricahyo (1994) dalam Djunaedi *et al.*, (2016) mengatakan bahwa kisaran suhu air yang terbaik

untuk pertumbuhan dan kehidupan udang windu adalah 28-32°C.

Konsentrasi salinitas air tambak yang terukur di setiap petak tambak berkisar antara 5-23 ppt dengan rata-rata $13,4 \pm 5,85$ ppt. Konsentrasi salinitas tersebut berada pada kisaran 5-40 ppt yang berarti sesuai persyaratan yang ditetapkan dalam pedoman umum pembesaran udang windu di tambak berdasarkan Kepmen KP No. 75 Tahun 2016. Konsentrasi salinitas yang rendah ditemukan pada petak tambak yang terletak jauh dari muara sungai/laut, sedangkan salinitas air tambak yang tinggi terletak disekitar muara sungai. Hasil analisis regresi diperoleh nilai koefisien variabel salinitas adalah 0,032, yang berarti bahwa penambahan konsentrasi salinitas air tambak 1 persen dapat menaikkan produktivitas tambak udang windu di Kabupaten Bulungan sebesar 0,032 kg/ha/siklus. Sementara hasil pendugaan variabel salinitas air pada persamaan fungsi produktivitas (uji t) mempunyai taraf nyata di atas 92 persen (P-value > 0,05 persen). Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi salinitas air tambak tidak berpengaruh signifikan terhadap tingkat produktivitas tambak udang windu. Udang windu termasuk organisme perairan yang mampu beradaptasi pada kisaran salinitas yang luas (bersifat *euryhaline*), sehingga mampu hidup pada salinitas yang rendah dan tinggi. Menurut Suwoyo dan Sahabuddin, (2017); Arsad *et al.*, (2017), bahwa salinitas sangat berhubungan dengan proses osmoregulasi atau pengaturan ion-ion udang terhadap cairan lingkungannya dan proses pergantian kulit (*moulting*). Suwoyo dan Sahabuddin, (2017) mengatakan bahwa rata-rata konsentrasi salinitas 37 ppt berpengaruh terhadap pertumbuhan dan sintasan udang windu. Kisaran salinitas optimal untuk pertumbuhan udang windu adalah 10-35 ppt (Arifin *et al.*, 2007).

Nilai pH menunjukkan tingkat kebasahan dan keasaman air dan tanah tambak yang berpengaruh langsung terhadap produksi udang (Ikbal *et al.*, 2019). Nilai pH tanah < 7 bersifat asam dan pH > 7 bersifat basa, sedangkan nilai pH = 7 bersifat netral (Suhaimi *et al.*, 2013). Nilai pH air dan tanah tambak udang windu yang terukur di setiap petak tambak masing-masing berkisar antara 5,2-8,4 dengan rata-rata $7,2 \pm 0,60$ dan 3,1-4,8 dengan rata-rata $3,81 \pm 0,36$. Persyaratan nilai pH air dan tanah tambak udang windu berdasarkan Kepmen KP No. 75 Tahun 2016 yaitu 7,5-8,5 dan 5,5-7,0. Petak tambak yang memiliki nilai pH air < 7,5 sebesar 68,8 persen (22 stasiun) dan 31,3 persen (10 stasiun) berada pada kisaran 7,5-8,5. pH tanah pada setiap petak tambak memiliki nilai lebih rendah dari 5,5. Nilai pH 4 merupakan titik asam kematian udang dan pH 11 titik basa kematian udang, sedangkan nilai pH antara 4-6 dan 9-11 pertumbuhan udang sangat lambat (Arsad *et al.*, 2017). Isdarmawan, (2005); Utojo, (2015); Arsad *et al.*, (2017) mengatakan bahwa nilai pH rendah berpengaruh langsung terhadap organisme budidaya, dalam hal terganggunya proses pergantian kulit (*moulting*) sehingga kulit lembek (tidak dapat membentuk kulit baru), terjadi peningkatan fraksi H_2S , peningkatan daya racun nitrit, gangguan fisiologis udang sehingga udang menjadi stress, rendahnya kelangsungan hidup dan laju pertumbuhan, sedangkan pada pH tinggi menyebabkan kadar amonia bersifat toksik terhadap organisme tersebut.

Hasil analisis regresi diperoleh nilai koefisien variabel pH air tambak adalah -6,942, yang berarti bahwa peningkatan nilai pH air tambak 1 persen dapat menurunkan produktivitas tambak udang windu sebesar 6,942 kg/ha/siklus.

Selanjutnya nilai pH tanah tambak adalah 18,438, yang berarti bahwa peningkatan nilai pH air tambak 1 persen dapat menaikkan produktivitas tambak udang windu sebesar 18,438 kg/ha/siklus. Hal ini menunjukkan bahwa nilai pH air dan tanah tambak berpengaruh signifikan ($p\text{-value} < 0,05\%$) terhadap tingkat produktivitas tambak udang windu di Kabupaten Bulungan.

Rendahnya nilai pH tanah (kemasaman tinggi) di setiap petak tambak tersebut mengindikasikan bahwa pembudidaya tambak tidak menggunakan kapur secara rutin dalam proses pengolahan tanah tambak dan termasuk tambak tanah sulfat masam (TSM). TSM mengandung pirit atau besi sulfida, sehingga produktivitas tambak TSM dipengaruhi oleh keberadaan pirit dalam tanah (Pantjara *et al.*, 2013). Selanjutnya dikemukakan bahwa tambak TSM dicirikan dengan terdapatnya lapisan pirit (bercak kuning), jenis vegetasi mangrove seperti *Rhizophora* sp, *Avicenia* sp, *Nypa fruticans*, dan munculnya gundukan tanah pada permukaan tanah dan di pematang/tanggul tambak. Tabel 6 menunjukkan produktivitas tambak TSM berdasarkan nilai pH tanah.

Tabel 6. Produktivitas Tambak TSM Berdasarkan Nilai pH Tanah

| Nilai pH | Kedalaman pirit (cm) | Jenis Tanah |
|----------|----------------------|---------------------------------|
| 3,5-4 | <50 | Aluvial bersulfida dangkal |
| 4,0 | 50-100 | Aluvial bersulfida dalam |
| 4-4,5 | >100 | Aluvial bersulfida sangat dalam |
| >3,5 | <100 | Aluvial bersulfat 1 |
| <3,5 | <100 | Aluvial bersulfat 2 |
| <3,5 | >100 | Aluvial bersulfat 3 |

Sumber: Pantjara *et al.*, (2013)

Berdasarkan pengelompokan nilai pH pada Tabel 6 di atas, maka nilai pH tanah tambak udang windu di Kabupaten Bulungan diperoleh 78,1 persen (25 stasiun) berada pada kisaran 3,5-4 dengan jenis tanah aluvial bersulfida dangkal dan 21,9 % (7 stasiun) >4. Oleh karena itu, lahan tambak di Kabupaten Bulungan termasuk tanah TSM. Tanah tambak dalam kondisi asam akan mengakibatkan terjadinya perubahan nilai pH air di atasnya, sehingga perlu upaya untuk menetralsasi. Salah satu upaya yang digunakan untuk menaikkan atau menetralkan nilai pH tambak adalah pemberian kapur. Berdasarkan wawancara langsung dengan pembudidaya tambak udang windu di Kabupaten Bulungan, bahwa penggunaan kapur hanya dilakukan 1 kali pertahun dan dosis kapur yang diaplikasikan tidak sesuai dengan nilai pH tanah, sehingga pemberian kapur tidak mampu menaikkan nilai pH tanah tambak. Bahri *et al.*, (2013) mengemukakan bahwa upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi kondisi asam di dalam tanah tambak yaitu dengan cara melakukan pengapuran pada dasar tanah. Nilai pH <5 dibutuhkan penambahan kapur sebanyak 3.000,00 kg/ha (Boyd *et al.*, 2002). Hasil penelitian Tarunamulia *et al.*, (2019) merekomendasikan jenis kapur dolomit dan kapur pertanian (kaptan) diaplikasikan pada tambak TSM, karena memiliki nilai tingkat efisiensi atau efficiency rating (ER) yang lebih baik, yaitu 63 % dan 97 %.

Tambak sebagai media budidaya udang khususnya udang windu, nilai pH dijaga agar tetap stabil, karena nafsu makan udang tetap tinggi pada pH stabil (Matias *et al.*, 2002)

dan penurunan kualitas air terjadi karena nilai pH tidak stabil (Budiardi *et al.*, 2008). Hal ini akan berdampak pada penurunan pertumbuhan dan terganggunya metabolisme udang (Ernawati dan Rochmady, 2017). Nilai pH tanah tambak yang terukur disetiap petak tambak lebih rendah dibanding hasil penelitian yang dilakukan oleh Suparjo, (2008) yaitu 6,6-6,8.

Alkalinitas dan kesadahan (*Hardness*) air tambak dinyatakan dalam mg/l CaCO_3 . Konsentrasi alkalinitas dan kesadahan pada setiap petak tambak udang windu masing-masing berkisar antara 2,4-233 mg/l dengan rata-rata 34,1 $\pm 46,97$ mg/l dan 10,1-9610 mg/l dengan rata-rata 2249,7 $\pm 3622,6$ mg/l. Kisaran konsentrasi alkalinitas berdasarkan Kepmen KP No. 75 Tahun 2016 yaitu antara 100-250 mg/l. Hal ini menunjukkan bahwa 96,9 persen (31 stasiun) petak tambak udang memiliki konsentrasi alkalinitas kurang dari 100 mg/l dan 3,1 persen (1 stasiun) berada pada kisaran 100-250 mg/l. Konsentrasi alkalinitas rendah (<100 mg/l) dapat dilakukan pemberian kapur. Davis *et al.*, (2004) mengemukakan bahwa penambahan kapur dapat meningkatkan konsentrasi alkalinitas air tambak yang kurang dari 75 mg/l. Alkalinitas berperan penting untuk menekan terjadinya fluktuasi pH pada pagi dan siang hari serta penentu kesuburan alami perairan (Supono, 2018). Air tambak yang memiliki konsentrasi alkalinitas yang tinggi akan mengalami fluktuasi pH harian yang lebih rendah dibandingkan tambak dengan konsentrasi alkalinitas yang rendah (Boyd *et al.*, 2002). Perairan dengan nilai alkalinitas yang terlalu tinggi tidak terlalu disukai oleh organisme akuatik karena biasanya diikuti dengan nilai kesadahan yang tinggi atau kadar garam natrium yang tinggi (Effendi, 2003).

Konsentrasi kesadahan (*hardness*) dalam air didominasi oleh kation kalsium (Ca^{2+}) dan magnesium (Mg^{2+}) (Wurts dan Masser, 2013). Selanjutnya dikemukakan walaupun udang mempunyai toleransi yang tinggi terhadap kalsium, namun kisaran kalsium bebas yang direkomendasikan untuk budidaya adalah 75-250 mg/l. Kalsium dan magnesium sangat penting dalam proses biologi udang (pembentukan tulang, pembekuan darah, dan reaksi metabolisme lainnya) dan mengabsorpsi secara langsung dari air atau makanan (Supono, 2018). Hasil analisis regresi variabel alkalinitas dan kesadahan air tambak diperoleh nilai koefisien -0,135 dan -0,002. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi alkalinitas dan kesadahan 1 persen dapat menurunkan produktivitas tambak udang windu sebesar 0,135 kg/ha/siklus dan 0,002 kg/ha/siklus. Selanjutnya, konsentrasi alkalinitas dan kesadahan tambak berpengaruh signifikan ($p\text{-value} < 0,05$) terhadap tingkat produktivitas tambak udang windu di Kabupaten Bulungan. Kandungan alkalinitas ≥ 20 mg/l menunjukkan bahwa perairan tersebut relatif stabil terhadap perubahan asam/basa (Hamzah *et al.*, 2020).

Konsentrasi DO atau kandungan oksigen terlarut yang terukur di setiap petak tambak udang windu berkisar antara 4,8-9,4 mg/l dengan rata-rata 6,54 \pm 0,86 mg/l. Konsentrasi kandungan oksigen terlarut tersebut lebih besar dari 3 mg/l, yang berarti sesuai persyaratan Kepmen KP No. 75 Tahun 2016. Hasil analisis regresi konsentrasi DO air tambak diperoleh nilai koefisien regresi sebesar -3,726, yang berarti bahwa peningkatan nilai DO air tambak 1 persen dapat menurunkan produktivitas tambak udang windu sebesar 3,726

kg/ha/siklus. Sementara hasil analisis pendugaan persamaan fungsi produktivitas (uji t), bahwa konsentrasi DO air tidak berpengaruh signifikan (p -value<0,05) terhadap tingkat produktivitas tambak udang windu di Kabupaten Bulungan. DO dibutuhkan oleh semua jasad hidup untuk pernapasan, proses metabolisme atau pertukaran zat yang kemudian menghasilkan energi untuk pertumbuhan dan pembiakan (Sahrijanna dan Septiningsih, 2017). Tambak udang yang menerapkan teknologi semi intensif, intensif dan super intensif dengan kepadatan udang yang banyak membutuhkan DO yang tinggi dibandingkan sistem tradisional. Berdasarkan hasil wawancara dengan pembudidaya tambak bahwa kepadatan benur udang windu yang ditebar di tambak Kabupaten Bulungan yaitu 1-2 ekor m^2 . Tangguda *et al.*, (2018) mengatakan bahwa padat penebaran yang tinggi mengakibatkan terjadi peningkatan kebutuhan oksigen udang, sehingga suplai oksigen di perairan perlu ditingkatkan. Menurut Madenjian (1990), bahwa penggunaan total oksigen dalam tambak udang windu didominasi oleh mikroorganisme yang berada di sedimen, air tambak dan udang masing-masing 51%, 45%, dan 4%. Pantjara *et al.*, (2010) mengemukakan bahwa oksigen terlarut di tambak digunakan untuk respirasi bagi organisme dan proses degradasi bahan organik oleh mikroorganisme (bakteri). Hal tersebut dapat mengakibatkan rendahnya kandungan oksigen. Rata-rata konsentrasi oksigen terlarut yang terukur lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian Erawan *et al.*, (2021) pada tambak udang windu sistem tradisional di Kabupaten Muna Sulawesi Tenggara yaitu $6,17 \pm 0,208$. Menurut Boyd (1998); Pantjara *et al.*, (2010), bahwa rendahnya kandungan DO dapat mempengaruhi rendahnya pertumbuhan udang, organisme budidaya rentan terserang penyakit, dan bahkan mengakibatkan kematian udang di tambak.

Fosfat merupakan unsur hara esensial yang umumnya dalam bentuk anorganik dan di tambak dimanfaatkan untuk pertumbuhan tanaman air, klekap, plankton, dan lumut (Utojo *et al.*, 2013). Konsentrasi fosfat air dan tanah di setiap petak tambak udang windu masing-masing berkisar antara 0-1,02 mg/l dengan rata-rata $0,15 \pm 0,18$ dan 49-794 dengan rata-rata $161 \pm 153,7$ mg/l. Persyaratan konsentrasi fosfat air dan tanah tambak untuk pembesaran udang windu di tambak yaitu minimal 0,1 mg/l dan 30-60 mg/l. Hal ini menunjukkan bahwa 43,8 persen (14 stasiun) konsentrasi fosfat air <0,1 mg/l dan 56,3 persen (18 stasiun) >0,1 mg/l. Selanjutnya 6,3 persen (2 stasiun) konsentrasi fosfat tanah tambak berada pada kisaran antara 30-60 ppm dan 93,8 persen (30 stasiun) >60 ppm. Hasil analisis regresi untuk variabel fosfat air dan tanah tambak diperoleh nilai koefisien sebesar 11,128 dan -0,026. Hal ini berarti bahwa penambahan konsentrasi fosfat air tambak 1 persen dapat menaikkan produktivitas tambak udang windu sebesar 11,128 kg/ha/siklus dan sebaliknya penurunan konsentrasi fosfat tanah tambak 1 persen dapat menurunkan produktivitas tambak udang windu sebesar 0,026 kg/ha/siklus. Selanjutnya konsentrasi fosfat air dan tanah tambak tidak berpengaruh signifikan terhadap tingkat produktivitas tambak udang windu di Kabupaten Bulungan.

Secara keseluruhan konsentrasi fosfat di tanah tambak lebih tinggi dibandingkan di air tambak. Tinggi rendahnya konsentrasi fosfat tergantung pemberian pupuk dan sumber air tambak. Petak tambak yang memiliki konsentrasi fosfat air yang rendah (<0,1 ppm) dapat dilakukan penambahan pupuk fosfor. Menurut Chrisyariati *et al.*, (2014), bahwa proses ekskresi udang/ikan (*feces*), limbah

yang masuk ke dalam tambak dan bercampur dengan penambahan pupuk yang mengandung unsur fosfor akan meningkatkan konsentrasi fosfat di tambak. Di samping itu, air sumber tambak udang yang berasal dari sungai/muara sungai diduga sebagai sumber keberadaan fosfat dalam konsentrasi yang tinggi di tambak. Keberadaan fosfat yang tinggi tersebut disebabkan oleh masuknya limbah dari aktifitas domestik, pertanian, dan industri yang mengandung fosfat. Sebagian besar fosfat tanah terikat secara kuat dan hanya dalam jumlah kecil yang terlarut dalam air (Hastuti, 2011). Hal tersebut berkaitan dengan jenis atau tekstur tanah tambak. Tanah tambak dengan tekstur liat secara kuat akan menyerap fosfat dan kapasitas tambak untuk menyerap fosfat meningkat.

Konsentrasi Fe air dan tanah pada setiap petak tambak masing-masing berkisar antara 0,0-1,3 mg/l dengan rata-rata $0,27 \pm 0,30$ dan 49,1-683 mg/l dengan rata-rata $265,3 \pm 164,1$ mg/l. Menurut Permen KP No. 76 Tahun 2016, bahwa konsentrasi zat besi (Fe) pada lahan tambak yang >0,02 mg/l maka dilakukan perlakuan tanah dasar tambak. Hal ini menunjukkan bahwa presentase konsentrasi Fe >0,02 mg/l sebanyak 82,25 persen atau (26 stasiun) dan <0,02 mg/l sebanyak 18,75 persen (6 stasiun). Berdasarkan hasil analisis regresi diperoleh nilai koefisien variabel Fe air dan tanah tambak yaitu 26,599 dan -0,019. Hal ini berarti bahwa penambahan konsentrasi Fe air tambak 1 persen dapat menaikkan produktivitas tambak udang windu sebesar 26,599 kg/ha/siklus dan dapat menurunkan produktivitas tambak udang windu sebesar 0,019 kg/ha/siklus. Selanjutnya bahwa konsentrasi Fe air tambak berpengaruh secara signifikan terhadap tingkat produktivitas tambak udang windu di Kabupaten Bulungan. Sementara Fe tanah tambak tidak berpengaruh secara nyata. Tingginya konsentrasi Fe di tambak udang windu di Kabupaten Bulungan ditandai dengan air tambak berwarna kuning. Warna air tambak tersebut berubah setelah terjadi hujan. Hal ini kemungkinan bersumber dari pematang/tanggul tambak yang memiliki kandungan Fe tinggi yang ditandai bercak-bercak (flok) kuning di sekitar pematang. Selanjutnya pada saat hujan, terjadi pengikisan tanah tanggul yang mengandung zat besi dan pada akhirnya mengalir kedalam air tambak.

Pantjara *et al.*, (2010) mengatakan bahwa kelarutan Fe^{2+} dalam air disebabkan oleh proses oksidasi-reduksi dalam tanah dan larut dalam air. Besi yang larut di air dan terakumulasi pada insang dapat mempengaruhi proses respirasi udang, sehingga udang stress yang akhirnya menyebabkan kematian (Pantjara *et al.*, 2007). Menurut Hasnawi dan Mustafa (2010), Fe yang melimpah pada tanah sulfat masam sebagai hasil oksidasi pirit dan pada musim hujan menjadi larut ke dalam tambak sehingga kandungan Fe air pada musim hujan dapat 20 kali lipat dibandingkan musim kemarau. Nilai Fe air dan tanah tambak udang di Kabupaten Bulungan lebih rendah dibandingkan hasil penelitian Utojo (2015); Pantjara *et al.*, (2010) di tambak tradisional Probolinggo Jawa Timur dan Kota Tarakan Kalimantan Utara yaitu masing-masing 45,33-67,17 mg/l dan 5265-5670 ppm.

Konsentrasi BO dan C-organik tanah pada setiap petak tambak masing-masing berkisar antara 1,2-6,7 % dengan rata-rata $3,09 \pm 1,82$ % dan 0,6-3,7 dengan rata-rata $1,47 \pm 0,79$ %. Persyaratan konsentrasi BO dan karbon organik berdasarkan Kepmen KP No. 76 Tahun 2016 yaitu < 5 % dan 3-5 %. Hal ini menunjukkan bahwa presentase konsentrasi BO <5% sebesar 78,1 % (25 stasiun) dan 21,9 % (7 stasiun) >5 %.

Sedangkan konsentrasi karbon organik <3 % sebesar 93,8 % (30 stasiun) yang tergolong rendah dan 6,3 % (2 stasiun) tergolong sesuai karena berada pada kisaran 3-5 %. Kandungan karbon organik tanah tambak dapat digunakan untuk menduga kandungan bahan organik secara keseluruhan (Supono, 2014; Nugra *et al.*, 2019).

Berdasarkan klasifikasi kandungan karbon organik tanah untuk budidaya tambak yang dikemukakan oleh Boyd *et al.*, (2002) dibandingkan hasil penelitian, yaitu bahwa presentase kandungan karbon organik 3,1-15 % sebesar 6,25 % atau 2 stasiun (bahan organik tinggi), 1,0-3,0 % sebesar 62,5 % atau 20 stasiun (bahan organik sedang), dan < 1,0 % sebesar 31,25 % atau 10 stasiun (bahan organik rendah). Banerjea, (1967) dalam Kumar *et al.*, (2012) mengemukakan 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 BO yang tinggi dapat menyebabkan peningkatan populasi bakteri, karbon dioksida (CO₂), H₂S, dan metan (CH₄) dapat membahayakan kehidupan dan menghambat pertumbuhan organisme akuatik (Mustafa *et al.*, 2014). Sebaliknya BO yang terlalu rendah dapat menyebabkan tingginya nilai pH sedimen dan air (Supono, 2014).

Tinggi rendahnya konsentrasi BO dan karbon organik di tambak udang windu di Kabupaten Bulungan berpengaruh signifikan terhadap produktivitas (uji t) pada taraf nyata p-value <0,05 persen dan p-value <0,05 persen (0,2 % dan 0,0 %). Selanjutnya hasil analisis regresi variabel BO dan karbon organik tanah tambak diperoleh nilai koefisien 4,349 dan -14.474. Hal ini berarti bahwa penambahan konsentrasi BO tanah tambak 1 persen dapat menaikkan produktivitas tambak udang windu sebesar 4,349 kg/ha/siklus dan penurunan konsentrasi karbon organik tanah tambak 1 persen dapat menurunkan produktivitas sebesar 14,474 kg/ha/siklus. BO yang mengendap di dasar tambak berasal dari sisa pakan, feses udang, plankton atau organisme lain yang mati serta partikel lumpur yang terbawa oleh aliran pasokan air dari laut (Suwoyo *et al.*, 2015). Selanjutnya kisaran konsentrasi BO yang ideal untuk budidaya udang di tambak yaitu 6-8 %. Mintardjo *et al.*, (1984) dalam Nugra *et al.*, (2019) mengatakan bahwa kandungan BO >3,6 % memiliki tingkat kesuburan yang tinggi sehingga baik untuk kegiatan budidaya tambak. Menurut Nirmala *et al.*, (2005), bahwa akumulasi bahan organik yang tinggi akan meningkatkan laju dekomposisi BO secara anaerob yang menghasilkan senyawa-senyawa toksik seperti amonia dan H₂S.

Kualitas dasar tambak mempunyai keterkaitan dengan kondisi udang dan kualitas air tambak. Dasar tambak sebagai tempat akumulasi berbagai bahan yang berasal dari perlakuan budidaya, sumber air dan proses metabolisme udang akan mempengaruhi kualitas tanah tambak. Hal ini berdampak pada udang windu yang hidup di dasar tambak (bersifat bentik). Wiyoto *et al.*, (2016) mengatakan bahwa udang sebagai organisme bentik menghabiskan sebagian besar waktunya di permukaan atau didalam sedimen tambak. Variabel kualitas tanah tambak yang dapat mempengaruhi kelangsungan hidup dan pertumbuhan udang adalah amonia, nitrit dan nitrat.

Hasil pengukuran amonia, nitrit dan nitrat tanah tambak pada setiap petak tambak masing-masing memiliki konsentrasi berkisar antara 2,4-18,6 mg/l dengan rata-rata 10

±3,53 mg/l, 15,7-217,3 mg/l dengan rata-rata 87,4 ±53,34 mg/l, dan 19,4-299 mg/l dengan rata-rata 114,4 ±68 mg/l. Hal ini menunjukkan bahwa tambak udang windu di Kabupaten Bulungan terjadi akumulasi senyawa beracun seperti amonia dan nitrit dalam tanah (sedimen). Hasil analisis regresi berganda diperoleh nilai koefisien amonia, nitrit dan nitrat tanah tambak masing-masing adalah -1,059, -0,044 dan 0,038. Hal ini berarti bahwa penurunan konsentrasi amonia dan nitrit 1 persen dapat menurunkan produktivitas tambak udang windu sebesar 1,059 kg/ha/siklus dan 0,044 kg/ha/siklus, serta penambahan konsentrasi nitrat tanah tambak 1 persen dapat menaikkan produktivitas tambak udang windu sebesar 0,038 kg/ha/siklus. Selanjutnya variabel amonia tanah berpengaruh signifikan terhadap produktivitas tambak udang windu dengan taraf p-value <0,05 persen (2,9%), sedangkan variabel nitrit dan nitrat tidak berpengaruh signifikan dengan taraf nyata p-value >0,05 persen (17,6% dan 12%). Hal ini dapat dipahami karena amonia sebagai faktor pembatas yang dapat menyebabkan penurunan produktivitas tambak, kerugian ekonomi dan kematian udang. Akumulasi amonia dalam sedimen terjadi dalam kondisi anoksik dan apabila terdapat oksigen maka terjadi proses oksidasi menjadi nitrat oleh bakteri nitrifikasi (Wahyuningsih dan Gitarama, 2020). Konsentrasi amonia pada sedimen yang masih dapat ditoleransi oleh udang windu adalah 2,088 mg/l (Sarjito, 2009). Zhou, (2015) memperkirakan bahwa sekitar 25-33% amonia dalam air berasal dari sedimen. Susianingsih *et al.*, (2017) mengatakan bahwa tidak seperti nitrit dan amonia, nitrat kurang toksik bagi udang budidaya, karena nitrat dapat digunakan langsung oleh produsen primer di tambak/kolam pemeliharaan.

Konsentrasi kalium tanah pada setiap petak tambak berkisar antara 5,7-76,3 me/100 gr dengan rata-rata 22,2 ±17,35 me/100 gram. Sementara persyaratan kriteria konsentrasi kalium tanah tambak yaitu 0,5-1,0 me/100 gr. Hal ini menunjukkan bahwa kisaran konsentrasi kalium tanah tambak yang terukur (5,7-76,3 me/100 gr) lebih tinggi dibanding 0,5-1,0 me/100 gr. Hasil analisis regresi berganda diperoleh nilai koefisien variabel kalium tanah tambak adalah 0,176. Hal ini berarti bahwa penambahan konsentrasi kalium 1 unit dapat menaikkan produktivitas tambak udang windu sebesar 0,176 kg/ha/siklus. Hasil analisis pendugaan pada persamaan fungsi produktivitas (uji t) untuk variabel kalium tanah mempunyai taraf nyata >0,05 persen (7,8). Hal ini menunjukkan bahwa variabel kalium tanah tidak berpengaruh signifikan terhadap tingkat produktivitas tambak udang windu di Kabupaten Bulungan.

KESIMPULAN

Faktor-faktor atau variabel kualitas lingkungan tambak (air dan tanah) yang berpengaruh secara langsung terhadap produktivitas tambak udang windu di Kabupaten Bulungan yaitu pH air, alkalinitas, kesadahan, Fe air, pH tanah, bahan organik tanah, karbon organik tanah, dan amonia tanah. Sedangkan produktivitas tambak budidaya udang windu berkisar antara 25-70 kg/ha/siklus dengan rata-rata 40±12,1 kg/ha/siklus.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) Kementerian Keuangan RI yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, M., Hendrajat, E. H. (2012). Penggunaan pupuk organik kotoran sapi pada budidaya udang windu (*Penaeus monodon*) dengan dosis pupuk berbeda. Seminar nasional tahunan IX hasil penelitian perikanan dan kelautan. 1-6 hlm.
- Anderson, DR., Williams, TA., Camm, JD., Sweeney, JD., Cochran, JJ. 2017. Statistics for Business and Economics ^{13e}. 1090 p.
- Arief, M., Mahasri, G., Mukti, A. T. (2005). Peningkatan hasil panen udang pada budidaya udang tradisional di Desa Permisian Kecamatan Jabon Kabupaten Sidoarjo untuk mengurangi waktu panen menggunakan Metode Best Management Practice (BMP). *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*, 7(1),17-23.
- Arifin, Z., Adiwidjaya, D., Komarudin, U., Nur, A., Susanto, A., Taslihan, K A., Mardjono, M., Sutikno, E., Supito, Latief, M. S. 2007. Penerapan Best Management Practices (BMP) pada budidaya udang windu (*penaeus monodon* Fabricius) intensif. Departemen Kelautan Dan Perikanan, Direktorat Jenderal Perikanan Budidaya Balai Besar Pengembangan Budidaya Air Payau Jepara. 77 hlm.
- Arsad, S., Afandy, A., Purwadhi, A. P., Maya, V. B., Saputra, D. K., Retno, N. (2017). Studi kegiatan budidaya pembesaran udang vaname vannamei (*Litopenaeus vannamei*) dengan pemeliharaan berbeda. *Jurnal Ilmiah Perikanan dan Kelautan*. 1-14 hlm.
- Asaf, R., Ratnawati, E., Mustafa, A. (2015). Analisis pengaruh faktor lingkungan budidaya tambak terhadap produktivitas tambak di Kecamatan Tayu Kabupaten Pati Provinsi Jawa Tengah. Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur. hlm 789- 800.
- Avnimelech, Y., Ritvo, G. (2003). Shrimp and fish pond soils: processes and management. *Aquaculture*, (220),549-567. doi:10.1016/S0044-8486(02)00641-5.
- Bahri, S., Indra., Muyassir. (2014). Kualitas lahan tambak dan sosial ekonomi pada budidaya udang dan ikan di Kecamatan Seunuddon Kabupaten Aceh Utara. *Jurnal Manajemen Sumberdaya Lahan*, 3(1),412-420.
- Boyd, C.E. (1998). Pond water aeration systems. *Aquacultural Engineering*. (18): 9-40.
- 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. 45 p.
- Budiardi, T., Muluk, C., Widigdo, W., Praptokardiyo, K., Soedharma, D. (2008). Tingkat pemanfaatan pakan dan kelayakan kualitas air serta estimasi pertumbuhan dan produksi udang vaname (*Litopenaeus vannamei*, boone 1931) pada sistem intensif. *Jurnal Ilmu-ilmu Perairan dan Perikanan Indonesia*. (15)2,109-116.
- Chrisyariati, I., Hendrarto, B., Suryanti. (2014). Kandungan nitrogen total dan fosfat sedimen mangrove pada umur yang berbeda di lingkungan pertambakan Mangunharjo, Semarang. *Diponegoro Journal of Maquares*, 3(3),65-72.
- Davis, D. A., Samocha, T. M., Boyd, C. E. (2004). Acclimating pacific white shrimp, *litopenaeus vannamei*, to inland, low-salinity waters. Southern Regional Aquaculture Center (SRAC), SRAC Publication No. 2601.
- Djunaedi, A., Susilo, H., Sunaryo. (2016). Kualitas air media pemeliharaan benih udang windu (*Penaeus monodon* Fabricius) dengan sistem budidaya yang berbeda. *Jurnal Kelautan Tropis November*, 19(2),171-178.
- DKP [Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Kalimantan Utara. (2016). Potensi dan ancaman budidaya udang windi di Kalimantan Utara. 27 hlm. (Tidak dipublikasikan).
- Effendi, H. (2003). Telaah kualitas air bagi pengelolaan sumber daya dan lingkungan perairan. Kanisius. 255 hlm.
- Erawan, M. T. F., Mustafa, A., Oetama, D., Purnama, M. F., Pratikino, A. G., Wahidin, L. O. (2021). Studi kesesuaian tambak udang windu (*Penaeus monodon*) di Desa Oensuli Kabupaten Muna Sulawesi Tenggara. *J. Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 13(1),141-150.
- Ernawati, Rochmady. (2017). Pengaruh pemupukan dan padat penebaran terhadap tingkat kelangsungan hidup dan pertumbuhan post larva udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). *Akuatikisle: Jurnal Akuakultur, Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil*, 1(1),1-10. doi.org/10.29239/j.akuatikisle.1.1.1-10.
- Ghozali, I. (2016). Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program IBM SPSS 23. Edisi 8. Semarang: Badan Penerbit Universitas Diponegoro.
- Hamzah., Jumriadi., Asa'at., Fauzia. (2020). Kasus nekrosis kaki renang udang pada tambak tradisional yang mengaplikasikan probiotik. *Journal of Aquatropica Asia*, 5(1),9-15.
- Hasnawi., Mustafa, A. (2010). Karakteristik, Kesesuaian, Dan Pengelolaan Lahan Untuk Tambak Budidaya di Kabupaten Luwu Utara Provinsi Sulawesi Selatan. *J. Ris. Akuakultur*, 5(3);449-463.
- Hastuti, Y.P. (2011). Nitrifikasi dan denitrifikasi di tambak. *J. Akuakultur Indonesia*, 10(1),89-98.
- Hendrajat, E. A., Ratnawati, E., Mustafa, A. (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. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(1),179-195.
- Hidayanto, M., Heru W, A., Yossita, F. (2004). Analisis tanah tambak sebagai indikator tingkat kesuburan tambak. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 7(2),180-186.
- Hukom, V., Kusumastanto, T., Djokosetyanto, D. (2013). Efisiensi Ekonomi dan Kelayakan Bisnis pada Sistem Budidaya di Pesisir Kabupaten Sidoarjo, Jawa Timur. *Jurnal Aplikasi Manajemen*, 11(4),585-594.
- Ikbāl, M., Agussalim, A., Fauziyah. (2019). Evaluasi status kesesuaian lahan tambak udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) menggunakan sistem informasi geografis (sig) di tambak bumi pratama mandira Kabupaten Ogan Komering Ilir, Sumatera Selatan. *Maspri journal*, 11(2),69-78.

- Ilman, M., Wiharyanto, D., Desyana, C. (2009). Kajian dasar budidaya udang di Pesisir Kalimantan Timur Bagian Utara. [WWF-Indonesia]. 35 hlm.
- Indra, Safrida, Marsudi, E., Zikri, I. (2019). Analysis of production and input efficiency of tiger shrimp pond in Aceh Jaya district, Indonesia. *Earth and Environmental Science*, (425), 012059. doi:10.1088/17551315/425/1/012059.
- Imamah, L. I., Hartoyo, S. Y., Syaikat., Utami, S. K. (2013). Total faktor produktivitas usahatambak terkait dengan polutan tambak di Kabupaten Karawang. *J. Agribisnis*, 7(1), 35-58.
- Isdarmawan, N. (2005). Kajian tentang pengaturan luas dan waktu bagi degradasi limbah tambak dalam upaya pengembangan tambak berwawasan lingkungan di Kecamatan Wonokerto Kabupaten Pekalongan. Tesis Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro. 111 hlm.
- KLHK [Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan]. (2016). Petunjuk teknis pemantauan kualitas air laut. 196 hal.
- Kumar, P., Jetani, K. L., Yusuzai, S. I., Sayani, A. N., Dar, S. A., Rather, M. A. (2012). Effect of sediment and water quality parameters on the productivity of coastal shrimp farm. *Advances in applied science research*, 3 (4),2033-2041
- Kurniawan, A. 2019. Dasar-Dasar analisis kualitas lingkungan. Wineka Media. 262 hal.
- Madenjian, C.P. (1990). Patterns of oxygen production and consumption in intensively managed marine shrimp ponds. *Aquaculture and Fisheries Management*, 21,407-417.
- Mangampa, M., Burhanuddin. (2014). Uji Lapang Teknologi Polikultur Udang Windu (*Penaeus Monodon* Fabr.), Ikan Bandeng (*Chanos Chanos* Forskal) Dan Rumput Laut (*Gracilaria Verrucosa*) Di Tambak Desa Borimasunggu Kabupaten Maros. *Jurnal Saintek Perikanan*, 10(1), 30-36.
- Matias, H. B., Yusoff, F. M., Shariff, M., Azhari, O. (2002). effects of commercial microbial products on water quality in tropical shrimp culture ponds. *Asian Fisheries Science*, (15), 239-248.
- Mustafa, A., Sammut, J. (2007). Effect of different remediation techniques and dosages of phosphorus fertilizer on soil quality and klekap production in acid sulfate soil affected aquaculture ponds. *Indonesian Aquaculture Journal*, 2(2), 141-157.
- Mustafa, A., Hasnawi., Athirah, A., Sommeng, A., Ali, S. A. (2014). Karakteristik, kesesuaian, dan pengelolaan lahan untuk budidaya di tambak Kabupaten Pohuwato Provinsi Gorontalo. *J. Ris. Akuakultur*, 9(1), 135-149.
- Nirmala K, Yuniar E, Budiardi T. (2005). Produktivitas dan parameter kimia dasar tambak budidaya udang windu *Penaeus monodon* Fab. berumur 1 dan 3 tahun. *J. Akuakultur Indonesia*, 4(1), 5-11.
- 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*, 7(2), 859-868.
- Nurhidayah, Tompo, A., Susianingsih, E. (2012). Pengelolaan Parameter kualitas air di tambak budidaya udang windu dengan aplikasi probiotik, bakteri dan herbal. Seminar Nasional. Vol. 9,1-7
- Pantjara B, Mangampa M, Syah R. (2010). Budidaya udang windu, *Penaeus monodon* pada tambak tanah sulfat masam di Tarakan, Kalimantan Timur (sekarang Utara). *J. Fish. Sci*, 12(1), 1-10.
- Pantjara, B., Nessa, M. N., Monoarfa, W., Djawad, I. (2007). Upaya peningkatan produktivitas tambak di tanah sulfat masam dengan mengurangi unsur toksik dari pematang. *J. Ris. Akuakultur*, 2 (2), 257- 269.
- 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.
- Permen-KP [Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan]. (2016). Pedoman umum pembesaran udang windu (*Penaeus monodon*) dan udang vaname (*Litopenaeus vannamei*). 43 hlm.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Tahun 2015 tentang eksploitasi dan pemeliharaan jaringan irigasi tambak. 77 hal.
- Pillay T. V. R, Kutty M. N. (2005). *Aquaculture Principles And Practices Second Edition*. Blackwell Publishing. 640 pp.
- Pujilestari, S., Dwidayati, N., Sugiman. (2017). Pemilihan model regresi linier berganda terbaik pada kasus multikolinieritas berdasarkan metode principal component analysis (pca) dan metode stepwise. *Journal of Mathematics*, 6(1), 70-81.
- 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., Mustafa, A. (2011). Faktor dominan pengelolaan tambak yang mempengaruhi produktivitas tambak Kabupaten Berau Provinsi Kalimantan Timur. Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur. 475-486 hlm.
- Rachmansyah, Mustafa, A., Paena, M. (2010). Karakteristik, kesesuaian, dan pengelolaan lahan tambak di Kota Pekalongan Provinsi Jawa Tengah. *J. Ris. Akuakultur*, 5(3), 505-521.
- Sahrijanna, A., Septiningsih, E. (2017). Variasi waktu kualitas air pada tambak budidaya udang dengan Teknologi Integrated Multitrophic Aquaculture (IMTA) di Mamuju Sulawesi Barat. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 8 (16), 52-57.
- Saraswathy, R., Muralidhar, M., Sanjoy, D., Kumararaja, P., Suvana, S., Lalitha, N., Katneni, V. K., Nagavel, A., Vijayan, K. K. (2019). Changes in soil and water quality at sediment–water interface of *Penaeus vannamei* culture pond at varying salinities. *Aquaculture Research*, 1097-1106 hlm. doi: 10.1111/are.13984
- Sarjito. (2009). Application of bioaugmentation to solve ammonia in the sediment of the culture medium of tiger

- shrimp (*Penaeus monodon* F.) In different salinities. *Journal of coastal Development*, 13(1), 59 - 64.
- Seixas, S., Eleftheriou, M., Bostock, J. (2012). Promoting Sustainable Aquaculture, Building the Capacity of Local Institutions and Online Teaching (elearning). *Management of Environmental Quality an International Journal*. doi: 10.1108/14777831211232245.
- Suhaimi, R. A., Hasnawi., Ratnawati, E. (2013). Kesesuaian lahan untuk budidaya udang windu (*Penaeus monodon*) di tambak Kabupaten Brebes, Jawa Tengah. *J. Ris. Akuakultur*, (8)3, 465-477.
- Suliyanto. (2005). Analisis Data Dalam Aplikasi Pemasaran. Galia Indonesia. Bogor
- Suparjo. (2008). Daya dukung lingkungan perairan tambak Desa Mororejo Kabupaten Kendal. *J. Saintek Perikanan*, 4(1), 50-55.
- Supono. (2014). Evaluasi kualitas sedimen beberapa tambak udang di Kabupaten Tulang Bawang Provinsi Lampung. *Aquasains*, 3(2), 248-252.
- Supono. (2015). Manajemen lingkungan untuk akuakultur. Plantaxia. 124 hlm.
- Susianingsih, E., Kurniawan, K., Atmomarsono, A. (2017). Performance of cultured white-leg shrimp in rica probiotic application method in ponds aerated with supercharge blower. *Indonesian Aquaculture Journal*, 12 (1), 29-36.
- Suwoyo, H. S., Tahe, S., Suwardi., Fahrur, M. (2015). Karakterisasi limbah sedimen tambak udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) super intensif dengan kepadatan berbeda. Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur, 902- 913.
- Suwoyo, H. S., Sahabuddin. (2017). Performa pertumbuhan calon induk udang windu *Penaeus monodon* transfeksi pada generasi yang berbeda. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 9(1), 185-199.
- Tangguda, S., Fadjar, M., Sanoesi, E. (2018). Pengaruh teknologi budidaya yang berbeda terhadap kualitas air pada tambak udang intensif. *Jurnal Akuakultur Rawa Indonesia*, 6(1), 12-27.
- Tarunamulia., Hasnawi., Athirah, A. (2019). Estimasi kebutuhan kapur untuk tambak tanah sulfat masam (tsm) di Pulau Laut Kabupaten Kota Baru Provinsi Kalimantan Selatan. *J. Riset Akuakultur*, 14(2), 109-117.
- Tompo, A., Susianingsih, E., Kurniawan, K. (2015). Aplikasi bakterin pada budidaya udang windu di tambak Dengan pola tradisional plus. *Media Akuakultur*, 10(2), 85-89.
- Utojo. (2015). Keragaman plankton dan kondisi perairan tambak intensif dan tradisional di Probolinggo Jawa Timur. *Biosfera*, 32(2), 83-97.
- Utojo., Mustafa, A., Tarunamulia. (2016). Kelimpahan plankton di tambak udang intensif dan tradisional Kabupaten Probolinggo Provinsi Jawa Timur. Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur. hlm 193- 206.
- 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.
- Wahyuningsih, S., Gitarama, A. M. (2020). Amonia pada sistem budidaya ikan. *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 5(2), 112-125.
- Wiyoto., Sukenda., Harris, E., Nirmala, K., Djokosetiyanto, D. (2016). Water Quality and Sediment Profile in Shrimp Culture with Different Sediment Redox Potential and Stocking Densities Under Laboratory Condition. *Ilmu kelautan*, 21(2), 65-76.
- Wurts, W. A., Masser, M. P. (2013). Liming ponds for aquaculture. Southern Regional Aquaculture Centerrelates (SRAC), SRAC Publication No. 4100.
- Zhou, L. (2015). Investigation of Ammonia Nitrogen in Aquaculture : the Methodology, Concentrations, Removal, and Pond Fertilization. Dissertation Graduate Faculty of Auburn University. 116 pp.