

dengan kandungan karaginan, sementara pada *K. alvarezii* dan *E. spinosum*, terdapat hubungan positif antara laju pertumbuhan dan kandungan karaginan.

Agar-agar adalah polisakarida gelatinous yang diekstraksi dari spesies rumput laut merah seperti *Gracilaria* dan *Gelidium*, digunakan sebagai bahan makanan dan agen pembentuk gel. Karaginan adalah kelompok polisakarida sulfat yang diekstraksi dari spesies rumput laut merah seperti *K. alvarezii* dan *E. spinosum*, digunakan sebagai agen pengental, penstabil, dan pembentuk gel dalam industri makanan, farmasi, dan kosmetik (Chen et al., 2021; Rhein & Meyer, 2021).

Penelitian pada *G. verrucosa* menunjukkan kandungan agar sebesar 20,51%, sejalan dengan penelitian yang menunjukkan kandungan agar berbeda-beda berdasarkan lokasi budidaya berkisar 5,75 - 28,74 % (Syam et al., 2020) ; 24,3 – 34,8 % (Andarias, 1991). Faktor lingkungan seperti suhu, salinitas, dan kualitas air mempengaruhi produksi agar pada *Gracilaria* sp., yang bervariasi tergantung kondisi budidaya dan lingkungannya.

Pada *K. alvarezii* dan *E. spinosum*, kandungan karaginan berbanding lurus dengan laju pertumbuhannya. Kandungan karaginan pada *K. alvarezii* mencapai $46,77\% \pm 6,16$ dengan pertumbuhan mutlak 157 gram, sedangkan pada *E. spinosum* mencapai $29,69\% \pm 0,75$ dengan pertumbuhan mutlak 252 gram. Perbedaan kandungan karaginan antara kedua spesies ini dipengaruhi oleh faktor genetik.

Kombinasi efisiensi pemanfaatan unsur hara, ketahanan terhadap kondisi lingkungan kurang ideal, mekanisme adaptasi yang efisien, kemampuan fotosintesis yang lebih baik, dan peran sebagai biofilter efektif menjelaskan mengapa *G. verrucosa* menunjukkan pertumbuhan mutlak lebih tinggi dibandingkan *E. spinosum* dan *K. alvarezii* dalam kondisi budidaya yang memanfaatkan limbah tambak udang intensif (Nasrulloh et al., 2021).

5.5. Simpulan

1. *G. verrucosa* memiliki pertumbuhan bobot mutlak yang paling tinggi dibandingkan dengan *K. alvarezii* dan *E. spinosum*. Dengan nilai rata-rata pertumbuhan 435 gram $\pm 47,17$, *G. verrucosa* menunjukkan efisiensi dan konsistensi yang lebih baik dalam peningkatan biomassa.
2. Analisis kandungan karagenan menunjukkan bahwa *K. alvarezii* $46,77 \pm 6,16$ % memiliki kandungan karagenan lebih tinggi dibandingkan dengan *E. spinosum*, $29,69 \pm 0,75$ %, hasil ini tidak berbeda dengan hasil penelitian terdahulu. Kandungan agar *G. verrucosa* $20,51 \pm 0,76$ %, masih berada dalam kisaran hasil penelitian terdahulu.

Referensi

- Andarias, I, 1991. Pengaruh Pupuk Urea dan TSP Terhadap Produksi Klekap. Desrtasi Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Aslan, L. M. 1998. Rumput Laut. Kanisus. Jakarta, hal 13.

- Bixler, H.J., Porse, H. Satu dekade perubahan dalam industri hidrokoloid rumput laut. *J Appl Phycol* 23, 321–335 (2011). <https://doi.org/10.1007/s10811-010-9529-3>
- Briggs, C. J., Adam, T. C., Holbrook, S. J., & Schmitt, R. J. (2018). Macroalgae size refuge from herbivory promotes alternative stable states on coral reefs. *PLoS ONE*, 13(9), e0202273. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202273>
- Capuzzo, E., Stephens, D., Silva, T., Barry, J., & Forster, R. (2015). Decrease in water clarity of the southern and central North Sea during the 20th century. *Global Change Biology*, 21. <https://doi.org/10.1111/gcb.12854>.
- Çetin, Z., Cirik, S., & Göksan, T. (2010). Greenhouse Cultivation of *G. verrucosa* (Hudson) Papenfuss and Determination of Chemical Composition. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10, 559-564.
- Chen, X., Fu, X., Huang, L., Xu, J., & Gao, X. (2021). Agar oligosaccharides: A review of preparation, structures, bioactivities and application.. *Carbohydrate polymers*, 265, 118076 . <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118076>.
- Datta, S., Mody, K., Gopalsamy, G., & Jha, B. (2011). Novel application of κ-carrageenan: As a gelling agent in microbiological media to study biodiversity of extreme alkaliphiles. *Carbohydrate Polymers*, 85, 465-468. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2011.02.036>.
- Da-yong, S. (2011). Analysis of compositions of *E. spinosum* and studies on the technological parameters in ι-carrageenan extraction from this alga. *Marine Sciences*.
- Duarte, C. M. (1992). Nutrient concentration of aquatic plants: Patterns across species. *Limnology and Oceanography*, 37(4), 882–889. doi: <https://doi.org/10.4319/lo.1992.37.4.0882>
- Gómez-Ordóñez, E., & Rupérez, P. (2011). FTIR-ATR spectroscopy as a tool for polysaccharide identification in edible brown and red seaweeds. *Food Hydrocolloids*, 25, 1514-1520. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2011.02.009>.
- Hanisak, M.D. (1979). Nitrogen limitation of *Codium fragile* ssp. *tomentosoides* as determined by tissue analysis. *Mar. Biol.* 50, 333–337. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00387010>
- Harrison, Paul & Hurd, Catriona. (2001). Nutrient physiology of seaweeds: Application of concepts to aquaculture. *Cahiers De Biologie Marine*. 42. 71-82.
- Hurd, C.L., Harrison, P.J., Bischof, K., Lobban, C.S. (2014). "Seaweed Ecology and Physiology." 2nd edition. Cambridge University Press. Online ISBN: 9781139192637. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781139192637>
- Kasim, M., & R. (2021). Growth rate of *Eucheuma denticulatum* cultivated in horizontal net and vertical net. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 925. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/925/1/012018>.
- Kumar, S., Gupta, R., Kumar, G., Sahoo, D., & Kuhad, R. (2013). Bioethanol production from *G. verrucosa*, a red alga, in a biorefinery approach.. *Bioresource technology*, 135, 150-6 . <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.120>.

Kumar, Y., Poong, S., Gachon, C., Brodie, J., Sade, A., & Lim, P. (2020). Impact of elevated temperature on the physiological and biochemical responses of *K. alvarezii* (Rhodophyta). PLoS ONE, 15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239097>

BAB VI PEMBAHASAN UMUM

Sistem budidaya udang vaname saat ini yang banyak dikembangkan skala ekonomi adalah sistem budidaya Intensif, termasuk tambak teaching factory Politeknik Kelautan dan Perikanan Bone. Ukuran dari system budidaya intensif bervariasi, tetapi lebih banyak kepada ukuran lahan sekitar 1.500 m² -2.500 m², konstruksi menggunakan terpal sebagai alas tambak, padat penebaran antara 200 – 500 ekor/m³. Dengan padat penebaran yang tinggi dibutuhkan pakan yang tinggi pula sampai panen. Cara pemberian pakan sampai saat ini masih lebih banyak dengan system manual yaitu menebarkan pakan pada petakan pembesaran, akibatnya banyak pakan tidak termanfaatkan dan menjadi sumber limbah bagi lingkungan perairan.

Limbah organik yang berasal dari tambak intensif dibuang ke perairan umum di muara sungai Waetuwo memberikan dampak perubahan kualitas air. Terdapat sebelas parameter kualitas air yang dianalisis yaitu total nitrogen, amonia, nitrit, nitrat, fosfat, ortofosfat, TSS, BOT, salinitas, pH, CO₂, dan DO. Dari sebelas parameter kualitas air di atas terdapat tujuh di atas ambang batas aman untuk budidaya udang yaitu total nitrogen, amonia, nitrat, fosfat, ortofosfat, CO₂, dan TSS. Sedangkan DO dan pH walaupun rendah masih masuk ambang batas untuk keperluan budidaya udang vaname.

Limbah ini akan menjadi sumber unsur hara bagi pertumbuhan rumput laut. Dalam penelitian digunakan tiga jenis rumput laut sebagai tanaman uji yaitu *K. alvarezii*, *G. verrucosa* dan *E. spinosum*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan tiga jenis rumput laut yang umum dibudidayakan di Indonesia yaitu *K. alvarezii*, *G. verrucosa*, dan *E. spinosum* dalam menggunakan limbah budidaya udang sebagai media tumbuh dan menilai efektivitas sebagai agen bioremediasi. Selain itu, kebaruan penelitian ini terletak pada jenis rumput laut yang paling efektif menjadi bioremediasi limbah tambak udang intensif.

Analisis yang dilakukan tentang unsur-unsur hara dalam limbah yang dihasilkan oleh tambak udang intensif dan dampaknya terhadap lingkungan. Kadar nitrogen dan fosfor yang sangat tinggi, yang bersumber dari sisa pakan dan ekskreta udang, ditemukan dan ini berpotensi menyebabkan eutrofikasi, suatu kondisi di mana pertumbuhan alga berlebihan mengancam keseimbangan ekosistem air.

Total Nitrogen (Total N) dalam limbah tambak udang intensif tercatat sebesar 16.974 ppm, yang jauh melampaui baku mutu yang ditetapkan sebesar 4.0 ppm. Sumber nitrogen ini meliputi sisa protein pakan yang tidak dikonsumsi oleh udang, pakan yang tidak dicerna, serta dari udang yang mati dan dekomposisi bahan organik lainnya. Konsentrasi tinggi Total N menunjukkan adanya potensi eutrofikasi yang kuat, karena nitrogen adalah salah satu unsur hara utama yang mempromosikan pertumbuhan alga berlebihan di perairan. Amoniak (NH₃) dengan kadar 0.2660 ppm, melebihi ambang batas <0.1 ppm. Meskipun tidak sebesar Total N, amoniak pada level ini masih dapat membahayakan kehidupan perairan, terutama larva dan ikan muda, karena sifat toksiknya meskipun pada konsentrasi rendah.

Ortofosfat (PO_4) dan Fosfor Total (Total P) terukur masing-masing sebesar 2.259 ppm dan 2.196 ppm, keduanya melebihi baku mutu yang sangat ketat (<0.1 ppm dan 0.2 ppm). Fosfor adalah unsur hara yang memicu eutrofikasi, menunjukkan bahwa limbah tambak juga sangat berpotensi kepada pertumbuhan berlebih alga dan gangguan pada kualitas air.

TSS (Total Padatan Tersuspensi), pH, Salinitas, Intensitas Cahaya, dan Konsentrasi CO_2 berada dalam berbagai rentang yang menunjukkan kondisi operasional tambak dan karakteristik limbahnya. TSS (Total Padatan Tersuspensi) terukur pada 156 ppm, masih dalam batas baku mutu ≤ 200 ppm. BOT (Bahan Organik Terlarut) terukur pada 60 ppm, melebihi baku mutu 20 ppm. pH terukur pada 6.55, berada di bawah rentang baku mutu 7.5-8.5. Salinitas terukur pada 28 – 30 ppt, di luar batas baku mutu 15 – 25 ppt. Konsentrasi CO_2 terukur pada 18.80 ppm, melebihi baku mutu 1 – 10 ppm.

Meskipun beberapa parameter ini tidak langsung berkaitan dengan unsur hara, parameter kualitas air ini memberikan peranan penting tentang kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi proses biologis dan kimia di dalam tambak. Dari data ini, jelas bahwa ada ketidaksesuaian terhadap baku mutu yang menunjukkan resiko eutrofikasi dan potensi bahaya terhadap kehidupan perairan. Penting untuk mengembangkan dan menerapkan strategi pengelolaan limbah yang efektif untuk mengurangi konsentrasi unsur hara ini di dalam efluen tambak udang.

Pentingnya analisis ini terletak pada penyediaan data yang dapat diandalkan untuk mendukung pengambilan keputusan dan pengembangan strategi pengelolaan limbah yang efisien. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah teknologi pengolahan limbah yang mengubah limbah menjadi produk berguna atau energi terbarukan, mendukung upaya untuk menjaga keberlanjutan dan ramah lingkungan dalam industri perikanan hal ini menggarisbawahi pentingnya pengelolaan limbah tambak udang intensif yang efektif untuk melindungi kesehatan ekosistem laut dan mendukung keberlanjutan industri perikanan.

Bioremediasi limbah tambak udang menggunakan rumput laut merupakan pendekatan efektif dan berkelanjutan untuk mengurangi dampak lingkungan dari industri akuakultur yang berkembang pesat. Memanfaatkan kemampuan bioremediasi dari rumput laut dalam meminimalisir dampak negatif limbah tambak terhadap ekosistem perairan. Rumput laut, dengan kapasitas alami rumput laut untuk menyerap nutrisi dan meningkatkan kualitas air, menawarkan solusi yang tidak hanya berkelanjutan tetapi juga ekonomis. Eksplorasi mencakup tiga spesies rumput laut yang umum dibudidayakan di Indonesia: *Kappaphycus alvarezii*, *Gracilaria verrucosa*, dan *Eucheuma spinosum*. Penelitian ini mengkaji bagaimana masing-masing spesies merespons keberadaan nitrogen dan fosfor yang tinggi dalam media budidaya rumput laut, serta menilai sejauh mana rumput laut dapat memanfaatkan unsur-unsur hara tersebut untuk pertumbuhan. Evaluasi ini penting untuk menentukan spesies rumput laut yang paling efektif dalam proses bioremediasi, yang nantinya dapat diaplikasikan dalam skema budidaya terintegrasi yang lebih luas.

Hasil pengamatan terhadap kualitas air selama 42 hari pemeliharaan untuk tiga jenis rumput laut, yaitu *K. alvarezii*, *G. verrucosa*, dan *E. spinosum*. Untuk

parameter oksigen terlarut, *K. alvarezii* memiliki kisaran 3.66–8.00 ppm, *G. verrucosa* memiliki kisaran 3.56–8.03 ppm, dan *E. spinosum* memiliki kisaran 3.53–7.63 ppm. Untuk parameter salinitas, ketiga jenis rumput laut memiliki kisaran yang sama, yaitu 28–30 ppt. Hal ini menunjukkan bahwa lingkungan dengan salinitas seperti ini cukup cocok bagi ketiga jenis rumput laut. Untuk parameter suhu, *K. alvarezii* memiliki kisaran 27.3–28.7°C, *G. verrucosa* memiliki kisaran 27.4–28.7°C, dan *E. spinosum* memiliki kisaran 27.4–28.6°C. Ketiga jenis rumput laut ini juga menunjukkan toleransi suhu yang hampir serupa, menunjukkan bahwa suhu dalam kisaran cocok untuk budidaya ketiga jenis rumput laut. Untuk parameter pH, *K. alvarezii* memiliki kisaran 6.58–8.08, *G. verrucosa* memiliki kisaran 6.51–7.15, dan *E. spinosum* memiliki kisaran 6.56–7.87. Kisaran pH ini menunjukkan bahwa ketiga jenis rumput laut dapat tumbuh dengan baik dalam kondisi pH yang agak bervariasi, namun umumnya dalam rentang netral hingga sedikit basa. Intensitas cahaya diukur dalam rentang dari 3150 lux hingga 4430 lux. Untuk mencapai tingkat pencahayaan ini, digunakan lampu LED (Light Emitting Diode) dengan daya 20 watt. Secara keseluruhan, ketiga jenis rumput laut tampak memiliki toleransi yang baik terhadap variasi parameter kualitas air. Hasil ini dapat membantu dalam menentukan jenis rumput laut yang paling cocok digunakan dalam bioremediasi limbah tambak udang insentif, dengan pertimbangan bahwa ketiga jenis memiliki kemampuan yang serupa dalam menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan air yang diberikan.

Dalam penelitian selanjutnya, dilakukan perbandingan kualitas air limbah tambak udang sebelum dan sesudah proses bioremediasi dengan menggunakan tiga jenis rumput laut berbeda, yaitu *K. alvarezii*, *G. verrucosa*, dan *E. spinosum*. Pengukuran dilakukan pada hari ke-42 setelah proses bioremediasi.

Kadar total nitrogen dalam air limbah tercatat sebesar 16.974 ppm. Setelah dilakukan bioremediasi, kadar total nitrogen berkurang menjadi 2.937 ppm dengan menggunakan *K. alvarezii* (efisiensi pengurangan 82.6971%), 2.356 ppm dengan *G. verrucosa* (efisiensi pengurangan 86.1199%), dan 3.67 ppm dengan *E. spinosum* (efisiensi pengurangan 78.3787%). Baku mutu air tambak udang untuk total nitrogen ditetapkan ≤ 4 ppm. Kadar amonia (NH_3) awalnya tercatat sebesar 0.266 ppm.

Setelah proses bioremediasi, kadar amonia berkurang menjadi 0.008 ppm dengan *K. alvarezii* (efisiensi pengurangan 96.9925%), 0.001 ppm dengan *G. verrucosa* (efisiensi pengurangan 99.6241%), dan 0.004 ppm dengan *E. spinosum* (efisiensi pengurangan 98.4962%). Baku mutu yang diharapkan adalah ≤ 0.1 ppm. Nitrit (NO_2) yang pada awalnya sebesar 1.146 ppm, setelah bioremediasi menurun menjadi 0.004 ppm dengan *K. alvarezii* (efisiensi pengurangan 99.6510%), 0.002 ppm dengan *G. verrucosa* (efisiensi pengurangan 99.9825%), dan 0.005 ppm dengan *E. spinosum* (efisiensi pengurangan 99.5637%). Standar baku mutu nitrit adalah ≤ 2.5 ppm. Kadar nitrat (NO_3) awalnya sebesar 7.67 ppm. Setelah bioremediasi, kadar nitrat menurun menjadi 0.004 ppm dengan *K. alvarezii* (efisiensi pengurangan 99.9478%), 0.001 ppm dengan *G. verrucosa* (efisiensi pengurangan 99.9987%), dan 0.003 ppm dengan *E. spinosum* (efisiensi pengurangan 99.9609%). Baku mutu nitrat ditetapkan ≤ 75 ppm.

Ortofosfat awalnya sebesar 2.258 ppm, setelah proses bioremediasi berkurang menjadi 0.002 ppm dengan *K. alvarezii* (efisiensi pengurangan 99.9114%), 0.001 ppm dengan *G. verrucosa* (efisiensi pengurangan 99.9911%), dan 0.002 ppm dengan *E. spinosum* (efisiensi pengurangan 99.9114%). Baku mutu Ortofosfat adalah ≤ 0.1 ppm. Fosfor total yang awalnya tercatat sebesar 2.195 ppm, setelah bioremediasi menurun menjadi 0.01 ppm dengan ketiga jenis rumput laut tersebut, menunjukkan efisiensi pengurangan yang sama sebesar 99.5444%. Standar baku mutu fosfor total adalah ≤ 0.2 ppm.

Total Suspended Solids (TSS) awalnya sebesar 156 ppm, setelah bioremediasi menurun menjadi 6 ppm dengan *K. alvarezii* (efisiensi pengurangan 96.1538%), 8 ppm dengan *G. verrucosa* (efisiensi pengurangan 98.7179%), dan 9 ppm dengan *E. spinosum* (efisiensi pengurangan 97.4359%). Baku mutu TSS adalah ≤ 200 ppm. Biochemical Oxygen Demand (BOT) yang pada awalnya sebesar 60 ppm, setelah bioremediasi berkurang menjadi 17 ppm dengan *K. alvarezii* (efisiensi pengurangan 71.6667%), 11 ppm dengan *G. verrucosa* (efisiensi pengurangan 81.6667%), dan 16 ppm dengan *E. spinosum* (efisiensi pengurangan 73.3333%). Baku mutu BOT adalah ≤ 20 ppm. Kadar CO₂ awalnya sebesar 18.8 ppm, setelah bioremediasi berkurang menjadi 7.2 ppm dengan *K. alvarezii* (efisiensi pengurangan 61.7021%), 8.5 ppm dengan *G. verrucosa* (efisiensi pengurangan 54.7872%), dan 8.9 ppm dengan *E. spinosum* (efisiensi pengurangan 52.6596%). Baku mutu CO₂ adalah ≤ 10 ppm.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bioremediasi menggunakan rumput laut secara signifikan mengurangi konsentrasi berbagai parameter kualitas air limbah tambak udang. Namun, tingkat efektivitas berbeda-beda tergantung pada jenis rumput laut dan parameter yang diukur. *G. verrucosa* cenderung menunjukkan efisiensi tertinggi dalam banyak parameter.

Analisis lebih dalam diarahkan pada dampak bioremediasi rumput laut terhadap kualitas air dan kondisi lingkungan sekitarnya. Setelah mengidentifikasi spesies rumput laut yang paling efektif dalam menyerap nutrisi berlebih, fokus penelitian beralih pada analisis kandungan klorofil a dan karotenoid pada tiga spesies rumput laut yang digunakan dalam bioremediasi limbah tambak udang. Pengukuran kandungan klorofil a dan karotenoid penting untuk menentukan kesehatan dan efisiensi fotosintesis pada rumput laut yang tumbuh dalam kondisi limbah yang kaya nutrisi. Hal ini memberikan indikasi lebih lanjut tentang potensi produktivitas fotosintetik rumput laut serta kemampuan adaptasi dalam berbagai kondisi lingkungan, yang vital untuk pengembangan metode bioremediasi yang efektif dan berkelanjutan.

Pada kandungan klorofil a, *G. verrucosa* menunjukkan kandungan klorofil a tertinggi, yaitu 46 μg dengan standar deviasi 0,003. Hal ini menunjukkan bahwa *G. verrucosa* memiliki kemampuan fotosintesis yang lebih baik dibandingkan dengan *K. alvarezii* dan *E. spinosum*, yang masing-masing memiliki kandungan klorofil a sebesar 14 μg dan 30 μg dengan standar deviasi masing-masing 0,001 dan 0,003. Uji Duncan menunjukkan bahwa *G. verrucosa* berbeda secara statistik dari dua

spesies lainnya dalam hal kandungan klorofil a, mengelompokkan *G. verrucosa* dalam kategori yang berbeda dibandingkan dengan *K. alvarezii* dan *E. spinosum*.

Dalam analisis kandungan karotenoid, *G. verrucosa* juga menunjukkan hasil tertinggi, yaitu 258 µg dengan standar deviasi 0,061. Kandungan karotenoid yang tinggi menunjukkan bahwa *G. verrucosa* memiliki potensi antioksidan yang lebih baik, yang penting dalam proses perlindungan terhadap stres oksidatif. Sebaliknya, *K. alvarezii* dan *E. spinosum* masing-masing memiliki kandungan karotenoid sebesar 32 µg dan 27 µg dengan standar deviasi masing-masing 0,005 dan 0,006. Uji Duncan lebih lanjut mengelompokkan *G. verrucosa* dalam kategori yang berbeda secara statistik dari *K. alvarezii* dan *E. spinosum* berada dalam kelompok yang sama. Dari hasil penelitian bahwa *G. verrucosa* menunjukkan kandungan klorofil a dan karotenoid tertinggi dibandingkan dengan *K. alvarezii* dan *E. spinosum*.

Penelitian selanjutnya mengeksplorasi hasil pertumbuhan dan kandungan metabolit sekunder yang penting berupa karagenan dari *Kappaphycus alvarezii* dan *Euclima spinosum*, serta agar dari *Gracilaria verrucosa*. Fokus penelitian ini terletak pada evaluasi bagaimana kondisi lingkungan yang telah dimodifikasi melalui bioremediasi mempengaruhi kualitas dan kuantitas karagenan dan agar, yang merupakan produk komersial penting dari spesies rumput laut ini. Penelitian ini penting untuk mengidentifikasi apakah bioremediasi limbah tambak udang dapat secara simultan mendukung produksi biomassa rumput laut yang berkualitas tinggi, sambil menjaga keberlanjutan lingkungan.

Analisis terhadap data pertumbuhan bobot mutlak dan kandungan karagenan dari tiga spesies rumput laut menunjukkan perbedaan yang signifikan. Dalam hal pertumbuhan bobot mutlak, *G. verrucosa* memiliki nilai rata-rata tertinggi, yaitu 435 gram dengan standar deviasi 47,17. Hasil ini mengindikasikan bahwa *G. verrucosa* memiliki pertumbuhan yang lebih konsisten dibandingkan dengan *K. alvarezii* yang memiliki rata-rata pertumbuhan 157 gram dan standar deviasi 45,90, serta *E. spinosum* dengan rata-rata 252 gram dan standar deviasi 19,14. Uji Duncan lebih lanjut mengelompokkan *G. verrucosa* dalam kategori yang berbeda secara statistik dari dua spesies lainnya, menunjukkan bahwa *G. verrucosa* memiliki pertumbuhan yang lebih unggul.

Dalam analisis kandungan karagenan dan agar, *K. alvarezii* menunjukkan hasil paling tinggi dengan rata-rata 46,77% dan standar deviasi 6,16. Kandungan karagenan *G. verrucosa* dan *E. spinosum* masing-masing adalah 20,51% dan 29,69% dengan standar deviasi yang lebih kecil, yaitu 0,76 dan 0,75. Hasil Uji Duncan menunjukkan bahwa *K. alvarezii* berada dalam kelompok yang berbeda secara statistik dibandingkan dengan *G. verrucosa* dan *E. spinosum*, menegaskan bahwa *K. alvarezii* memiliki kandungan karagenan yang lebih tinggi. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa *G. verrucosa* lebih unggul dalam hal pertumbuhan bobot mutlak, sedangkan *K. alvarezii* lebih unggul dalam kandungan karagenan.

Dengan berhasilnya eksperimen ini dalam menunjukkan kemampuan *G. verrucosa* dan dua spesies rumput laut lainnya dalam mengelola unsur hara berlebih, penelitian ini juga memperlihatkan potensi besar bioremediasi rumput laut dalam meningkatkan kualitas air limbah tambak udang. Hasil pengukuran menunjukkan

penurunan signifikan dalam konsentrasi nitrat, nitrogen total, Ortofosfat, fosfor total, amonia, dan nitrit setelah proses bioremediasi, memenuhi standar kualitas air yang ditetapkan.

Ini menandakan bahwa rumput laut tidak hanya membantu dalam mengurangi bahan pencemar tetapi juga dalam mendukung produksi air yang memenuhi standar kualitas untuk berbagai kegunaan, termasuk pengembalian ke perairan alami atau untuk keperluan budidaya tambahan. Efektivitas bioremediasi ini juga membuka peluang ekonomi melalui produksi biomassa rumput laut, yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi industri, dari pangan hingga bioenergi. Integrasi rumput laut dalam sistem polikultur tidak hanya menghasilkan sinergi yang menguntungkan, tetapi juga meningkatkan stabilitas ekosistem dan efisiensi penggunaan sumber daya.

Mempromosikan penelitian lebih lanjut dan penerapan praktis dari bioremediasi berbasis rumput laut menjadi penting dalam upaya mengatasi tantangan lingkungan dalam sektor akuakultur. Dengan fokus pada pengurangan unsur hara anorganik dari limbah kolam udang intensif, penelitian ini menegaskan peran signifikan rumput laut dalam mendukung keberlanjutan dan efektivitas sistem akuakultur.

Selanjutnya, integrasi pengetahuan dan praktik dalam bidang bioremediasi rumput laut dalam akuakultur menawarkan jalan menuju keberlanjutan yang menguntungkan baik bagi lingkungan maupun bagi pemangku kepentingan dalam industri akuakultur. Dengan menerapkan pendekatan yang berbasis pada bukti ilmiah dan praktik terbaik, sektor akuakultur dapat mengurangi dampak negatifnya terhadap lingkungan, mendukung keberlangsungan ekosistem perairan, dan memastikan produksi pangan yang berkelanjutan bagi generasi mendatang.

BAB VII KESIMPULAN UMUM DAN REKOMENDASI

7.1. Kesimpulan

Dalam penelitian ini, yang mencakup lima bab yang berfokus pada bioremediasi limbah tambak udang dengan penggunaan rumput laut, berbagai temuan signifikan telah diungkapkan mengenai pengelolaan lingkungan dan pemanfaatan sumber daya akuakultur yang berkelanjutan.

1. Limbah tambak udang intensif mengandung konsentrasi tinggi unsur hara makro, terutama nitrogen dan fosfor, yang berasal dari sisa pakan dan ekskreta udang. Nitrogen hadir dalam berbagai bentuk seperti amonia, nitrat, dan nitrit, sedangkan fosfor terdeteksi sebagai fosfor total dan Ortofosfat. Kedua jenis unsur hara ini, dalam konsentrasi yang tinggi, tidak hanya menyediakan unsur hara yang krusial untuk pertumbuhan alga dan rumput laut dalam aplikasi bioremediasi, tetapi juga menyajikan risiko signifikan terhadap eutrofikasi jika limbah tersebut tidak dikelola dengan benar. Pengelolaan efektif limbah ini penting untuk mencegah dampak negatif terhadap ekosistem akuatik dan untuk memanfaatkan potensi limbah sebagai sumber unsur hara dalam budidaya rumput laut.
2. Secara keseluruhan, ketiga jenis rumput laut yang digunakan dalam bioremediasi menunjukkan efektivitas yang tinggi dalam mengurangi berbagai parameter unsur hara dalam limbah tambak udang intensif. Hasil uji menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan dalam penurunan kadar Amonia (NH_3), Nitrit (NO_2), Nitrat (NO_3), dan Ortofosfat (PO_4) diantara ketiga jenis rumput laut, yaitu *E. spinosum*, *G. verrucosa*, dan *K. alvarezii*.
3. Ketiga jenis rumput laut tersebut, yaitu *K. alvarezii*, *G. verrucosa*, dan *E. spinosum*, dapat tumbuh dengan baik dalam kondisi limbah buangan tambak udang intensif. Pertumbuhan ini menunjukkan bahwa limbah tambak, yang kaya akan unsur hara seperti nitrogen dan fosfor, mendukung pertumbuhan ketiga spesies rumput laut tersebut. Proses bioremediasi yang dihasilkan tidak hanya membantu membersihkan limbah dari unsur hara berlebih yang berpotensi mencemari lingkungan, tetapi juga menyediakan biomassa yang bernilai ekonomi tinggi dari rumput laut yang tumbuh dalam sistem tersebut.
4. Air limbah dari tambak udang intensif yang telah menjalani proses bioremediasi dengan menggunakan rumput laut menunjukkan perbaikan kualitas yang signifikan, memenuhi standar kelayakan untuk budidaya udang dan pembuangan ke perairan. Rumput laut berhasil menurunkan konsentrasi nitrogen dan fosfor ke level yang sangat rendah, mendekati atau bahkan memenuhi Baku Mutu Effluen yang ditetapkan. Hal ini menandakan bahwa air limbah, setelah bioremediasi, tidak hanya aman untuk dibuang ke perairan umum tanpa menjadi pencemar, tetapi juga potensial untuk digunakan kembali dalam budidaya udang. Proses bioremediasi ini memanfaatkan sifat alami rumput laut dalam menyerap unsur hara berlebih, menjadikannya solusi efektif dan berkelanjutan untuk mengatasi masalah limbah tambak udang intensif.

7.2. Rekomendasi

Berdasarkan temuan, beberapa rekomendasi dapat diberikan untuk meningkatkan keberlanjutan dan efektivitas bioremediasi limbah tambak udang dengan rumput laut:

1. Pengembangan Protokol Pengelolaan: Lembaga pengelola lingkungan dan akuakultur haru
2. s mengembangkan dan menstandarisasi protokol pengelolaan limbah yang mengintegrasikan rumput laut sebagai agen bioremediasi. Ini akan membantu memastikan bahwa semua tambak udang mengimplementasikan praktik yang paling efektif untuk mengurangi dampak lingkungan.
3. Diversifikasi Spesies Rumput Laut: Dianjurkan untuk diversifikasi spesies rumput laut dalam program bioremediasi, memanfaatkan spesies seperti *G. verrucosa* yang menunjukkan efisiensi tinggi dalam pengurangan unsur hara dan pertumbuhan yang baik. Ini akan mengekspresikan pemanfaatan optimal dari berbagai kondisi limbah dan situasi ekologis.
4. Monitoring dan Evaluasi Berkala: Perlu adanya sistem monitoring dan evaluasi yang teratur untuk mengukur efektivitas bioremediasi dan kualitas air secara berkala. Hal ini akan membantu dalam mengoptimalkan kondisi operasional dan membuat penyesuaian yang diperlukan berdasarkan data yang aktual dan tepat waktu.
5. Edukasi dan Pelatihan: Program edukasi dan pelatihan untuk pembudidaya udang dan petani rumput laut harus ditingkatkan. Petani perlu memahami pentingnya bioremediasi dan cara efektif untuk mengimplementasikannya dalam operasi sehari-hari.
6. Kerjasama Antar Sektor: Mendorong kerjasama antar sektor antara pemerintah, industri akuakultur, peneliti, dan komunitas lokal untuk mendukung inisiatif bioremediasi. Kerjasama ini bisa mencakup pendanaan bersama untuk riset, pembagian pengetahuan dan teknologi, serta implementasi pilot proyek yang lebih besar.

Melalui implementasi rekomendasi ini, diharapkan dapat tercipta sistem budidaya udang yang lebih berkelanjutan yang tidak hanya menguntungkan secara ekonomi tetapi juga minim dampak negatif terhadap lingkungan.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



A. Data Pribadi

1. Nama : Muhammad Syahrir
2. Tempat, tgl lahir : Gowa, 15 Juli 1969
3. Alamat : Jalan Sungai Musi Kel. Ta Kec. Tanete Riattang
Kabupaten Bone
4. Kewarganegaraan : Warga Negara Indonesia

B. Riwayat Pendidikan

1. Tamat SLTA tahun 1987 di SUPM Negeri Bogor Jawa Barat.
2. Sarjana (S1) tahun 1994 di Universitas Muhammadiyah Sidoarjo Jatim
3. Magister (S2) tahun 2009 di Universitas Hasanuddin Makassar

C. Pekerjaan dan Riwayat Pekerjaan Data Pribadi

1. Jenis Pekerjaan : PNS/Dosen
2. NIP : 19690715 199003 1 004
3. Pangkat/Jabatan : Pembina/Lektor

D. Karya ilmiah yang telah dipublikasikan

1. Bioremediation of organic waste matter in white legs shrimp ponds using blood shells (*Anadara granosa*). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 860(1), Article 012097, <https://doi.org/10.1088/1755-1315/860/1/012097>
2. Pembesaran Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) dengan Sistem Bioflok. Jurnal Vokasi Ilmu-Ilmu Perikanan, 3(2), 90-95. E-ISSN: 2745-4363.
3. The Most Efficient Seaweed Species as a Bioremediator of Intensive Pond Waste. Journal of Ecological Engineering, <http://dx.doi.org/10.12911/22998993/174179>
4. Penentuan padat penebaran optimal pendederan bandeng (*Chanos chanos*) dalam hapa di tambak tanah gambut. Jurnal Salamata, 2(1), 1-5.
5. Minimaliser limbah N dan P tambak udang vaname dengan memanfaatkan biofilter kerang darah (*Anadara granosa*). Jurnal Sains Akuakultur Tropis, 1(139-145). Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan – Universitas Diponegoro. eISSN: 2621-0525

6. Peningkatan kapasitas masyarakat dalam budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) dan kepiting bakau (*Scylla spp.*) di Desa Panyiw, Kecamatan Cenrana, Kabupaten Bone. *Jurnal Abdi Insani*, 9(3), 839-851.
7. Monitoring pemeliharaan udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) super intensif di PT Makmur Persada, Bulukumba. *Jurnal Perikanan Unram*, 12(3), 292-302
8. Pembesaran Ikan Nila (*Oreochromis niloticus*) dengan Sistem Bioflok. *Jurnal Vokasi Ilmu-Ilmu Perikanan (Jvip)*, 3(2), 90-95.
9. Peningkatan kapasitas masyarakat dalam budidaya udang vaname (*Litopenaeus vannamei*) dan kepiting bakau (*Scylla spp.*) di Desa Panyiw, Kecamatan Cenrana, Kabupaten Bone. *Jurnal Abdi Insani*, 9(3), 839-851.

E. Makalah pada Seminar/Konferensi Ilmiah Nasional dan Internasional

1. Analisis strategi pemasaran rumput laut *Gracilaria sp* di Kabupaten Bone (Studi kasus di Kecamatan Sibulue). *Prosiding Seminar Nasional Kemaritiman dan Sumber Daya Pulau-Pulau Kecil*, 2(1).
2. Bioremediation of organic waste matter in white legs shrimp ponds using blood shells (*Anadara granosa*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 860(1), Article 012097. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/860/1/012097>
3. Growth and Quality of Seaweed Cultured in Wastewater of Intensive Shrimp Ponds. 10th National and 6th International SYMPOSIUM on Marine and Fisheries "Strengthening the SDGs through Marine and Fisheries Innovations"

F. HAKI

1. Teknik dan Analisis Usaha Pembenihan Udang Air Payau, nomor dan tanggal EC0020248554 tanggal 1 April 2024, Kementerian Hukum dan Hak Asasi Manusia.
2. Salep Kulit dari Lendir Ikan Lele, nomor dan tanggal EC00202427590, 27 Maret 2024, KemenkumHam

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Analisis One-Way Repeated Measures ANOVA NH₃

```

UNIANOVA NRE BY Species
  /METHOD=SSTYPE(3)
  /INTERCEPT=INCLUDE
  /POSTHOC=Species(TUKEY)
  /CRITERIA=ALPHA(0.05)
  /DESIGN=Species.
  
```

Univariate Analysis of Variance

Between-Subjects Factors

		N
Species	Espinorum	12
	Gambusia	12
	Kalvarini	12

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: NRE

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model ^a	.000	2	.000	2.850	.086
Intercept	35.638	1	35.638	486586.464	.000
Species	.000	2	.000	2.850	.086
Error	.002	33	7.294E-5		
Total	35.641	36			
Corrected Total	.003	35			

a. R Squared = .138 (Adjusted R Squared = .086)

Post Hoc Tests

Species

Multiple Comparisons

Dependent Variable: NRE

Tukey HSD

(i) Species	(j) Species	Mean Difference (i-j)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
E.spiniosum	G.verrucosa	-.0041892	.00348669	.461	-.0127443	.0043664
	K.alvarezzi	.0038358	.00348669	.521	-.0047198	.0123914
G.verrucosa	E.spiniosum	.0041892	.00348669	.461	-.0043664	.0127443
	K.alvarezzi	.0080250	.00348669	.070	-.0005306	.0165806
K.alvarezzi	E.spiniosum	-.0038358	.00348669	.521	-.0123914	.0047198
	G.verrucosa	-.0080250	.00348669	.070	-.0165806	.0005306

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 7.294E-5.

Homogeneous Subsets

NRE

Tukey HSD^{a,b}

Species	N	Subset
		1
K.alvarezzi	12	.9910117
E.spiniosum	12	.9946475
G.verrucosa	12	.9990387
Sig.		.070

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 7.294E-5.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 12.000.

b. Alpha = 0.05.