

Analisis *Risk Assessment* Ketersediaan Rumput Laut Sebagai Bahan Baku Biogas Menggunakan *Fuzzy Logic* (Studi Kasus Kabupaten Konawe Selatan, Kecamatan Tinanggea)

Tria Kusuma¹, Tachrir², St Nawal Jaya³, Luther Pagiling⁴, Abd Djohar⁵, Indrayati Galugu⁶, Gamal Abdel Nasser Masikki⁷

¹ Teknik Elektro, Universitas Halu Oleo, ² Dosen Teknik Elektro, Universitas Halu Oleo

^{2,3,4,5,6,7} Dosen Teknik Elektro, Universitas Halu Oleo

Email: ktria078@gmail.com

Abstract — Seaweed cultivation is an aquaculture activity that has the potential to be developed in Tinanggea District, South Konawe Regency. The utilization of seaweed has expanded in various fields, including the utilization of seaweed as an alternative material, namely biogas. *Euchema* sp is a type of seaweed that is widely cultivated in this area because it has great potential as a source of biogas. Biogas with high energy content is produced from the anaerobic fermentation process so that it can be a potential alternative energy source. *Euchema* sp. seaweed produces 0,4 – 1 ml of biogas/gram of seaweed with a methane content of up to 56%, so 1 m³ of biogas is equivalent to 0,5 – 0,6 litres of diesel fuel or about 6 kWh. The application of the Fuzzy Method in Measuring and Evaluating the Risk of Seaweed Availability as Biogas Raw Material is by determining the variables and universe of speech which includes the formation of fuzzy sets, the formation of fuzzy variables, and the preparation of Fuzzy Rules. In this seaweed availability case, there are 4 variables, namely the Input variable, the Last Harvest variable, the Selling Price and Total Sales and the output variable, namely the seaweed availability variable. So it can be seen that the availability of seaweed in the tinanggea sub-district of South Konawe district is 13.408 which is in the vulnerable score of 8 - 18, which is moderate.

Keyword — Seaweed, *fuzzy logic*, *risk assessment*, biogas, matlab.

Abstrak — Budidaya rumput laut merupakan suatu kegiatan akuakultur yang memiliki potensi untuk dikembangkan di Kecamatan Tinanggea Kabupaten Konawe Selatan. pemanfaatan rumput laut telah meluas di berbagai bidang, termasuk salah satunya Pemanfaatan rumput laut sebagai bahan alternatif yaitu biogas. *Euchema* sp merupakan jenis rumput laut yang banyak dibudidayakan di daerah ini karena memiliki potensi besar sebagai sumber biogas. Biogas dengan kandungan energi yang tinggi dihasilkan dari proses fermentasi anaerob sehingga dapat menjadi sumber energi alternatif yang potensial. Rumput laut *Euchema* sp. menghasilkan 0,4 – 1 ml biogas/gram rumput laut dengan kandungan metana hingga 56%, sehingga 1 m³ biogas setara dengan 0,5 – 0,6 liter bahan bakar diesel atau sekitar 6 kWh. Penerapan Metode Fuzzy dalam Mengukur dan Mengevaluasi Risiko Ketersediaan Rumput Laut Sebagai Bahan Baku Biogas yaitu dengan menentukan variabel dan semesta pembicaraan yang meliputi pembentukan himpunan fuzzy, pembentukan variabel fuzzy, dan penyusunan Aturan Fuzzy (Fuzzy Rules). Pada kasus ketersediaan rumput laut ini, terdapat 4 variabel, yaitu variabel Input, variabel Panen Terakhir, Harga Jual dan Total Penjualan dan variabel output, yaitu variabel ketersediaan rumput laut. Sehingga dapat diketahui bahwa ketersediaan rumput laut di kecamatan

tinanggea kabupaten konawe selatan adalah 13,408 yang berada pada rentan skor 8 – 18 yaitu sedang.

Kata kunci — Rumput Laut, *fuzzy logic*, *risk assessment*, biogas, matlab.

PENDAHULUAN

Di Indonesia, rumput laut tersebar hampir di seluruh pelosok negeri, salah satunya pada sektor perikanan dan kelautan Sulawesi Tenggara yang terdapat di wilayah pesisir Kabupaten Konawe Selatan khususnya di Kecamatan Tinanggea. Rumput laut telah muncul sebagai sumber daya potensial dalam pengembangan energi terbarukan.

Salah satunya adalah dengan menerapkan teknologi pemanfaatan biogas sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil. Ketersediaan dan keberlanjutan rumput laut sebagai bahan baku biogas menjadi perhatian utama, karena rumput laut berperan penting dan dianggap menjadi langkah strategis yang dapat menuju sumber energi ramah lingkungan. Namun, dalam pengembangan sumber daya ini, evaluasi ketersediaan rumput laut sangatlah penting karena terdapat risiko yang harus diidentifikasi dan dikelola.

Dengan memanfaatkan logika *fuzzy*, penelitian ini berupaya menyajikan kerangka kerja yang dapat memberikan hasil analisis *risk assessment* yang lebih adaptif dan dapat diandalkan. Metode *fuzzy logic* adalah metode yang digunakan untuk memetakan permasalahan dari input dan output yang diharapkan.¹ Metode *fuzzy* dipilih sebagai kerangka kerja analisis karena kemampuannya menangani ketidakpastian dan keambiguan dalam penilaian resiko. Fuzzy logic merupakan sebuah metode yang didasarkan pada logika Boolean yang umumnya digunakan pada komputasi (Ramadhan et al., 2022).

METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Tinanggea, Kabupaten Konawe Selatan, Provinsi Sulawesi Tenggara. Penelitian ini dilakukan setelah disetujuinya

¹ Putri, N. U., Sembiring, J. P., & Yuliandi, L. R. (2023). Rancang Bangun Alat Pengering Rumput Laut Bertenaga Surya Menggunakan Metode Fuzzy.

seminar proposal yang terhitung sejak bulan Mei 2024 dan akan berakhir hingga terselesainya penulisan tugas akhir ini. Lokasi yang dipilih telah dipertimbangkan sebelumnya, karena daerah tersebut merupakan penghasil rumput laut terbesar kedua di Sulawesi Tenggara.

3.2. Alat dan Bahan

1. Matlab
2. Kuesioner / angket
3. Laptop

3.3. Populasi dan Sampel

1. Populasi dalam penelitian ini adalah Masyarakat Kabupaten Konawe Selatan.
2. Dimana responden yang menjadi sampel adalah Petani Rumput Laut Kabupaten Konawe Selatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi perairan yang baik dapat menunjang keberhasilan budidaya rumput laut, sedangkan kondisi perairan yang tidak memenuhi syarat budidaya rumput laut dapat menyebabkan kerugian atau kendala dalam usaha dan mempengaruhi karaginoFit pada rumput laut.

1. Kondisi Lingkungan

a. Salinitas

Rumput laut umumnya tumbuh pada perairan dengan tingkat salinitas tertentu. Salinitas yang baik untuk menjaga ketersediaan rumput laut berkisar 15 sampai 35 ppt.

b. Kecepatan arus

Rumput laut mendapatkan nutrisi (makanan) melalui aliran air yang melewatinya. Kecepatan arus yang ideal berada pada kisaran 20 sampai 40 cm/det.

2. Pencemaran Lingkungan

Upaya pencegahan dan pengelolaan pencemaran lingkungan sangat penting untuk melindungi dan mempertahankan ekosistem rumput laut yang sehat. Pencemaran lingkungan yang dapat merusak pertumbuhan rumput laut yaitu pencemaran air.

3. Curah Hujan dan Perubahan Iklim.

Iklim yang berubah-ubah dapat mempengaruhi suhu air dan nutrisi yang tersedia bagi rumput laut. Curah hujan yang tinggi juga dapat mempengaruhi salinitas air laut di daerah tertentu. Kedua faktor ini secara langsung mempengaruhi ketersediaan habitat yang ideal untuk pertumbuhan rumput laut.

4. Penyakit atau Serangan Hama

Penyakit atau serangan hama yang sering muncul pada tanaman budidaya rumput laut yaitu Penyakit jamur seperti penyakit busuk akar (root rot) yang disebabkan oleh jamur seperti *Phytophthora* spp. Atau *Rhizoctonia* spp. Dan Hama serangga seperti kutu daun, kepiting, dan siput yang dapat merusak rumput laut.

4.1. Penerapan Metode Fuzzy dalam Mengukur dan Mengevaluasi Risiko Ketersediaan Rumput Laut Sebagai Bahan Baku Biogas

1. Penerapan Logika Fuzzy Pada Ketersediaan Rumput Laut

a. Penentuan Variabel Fuzzyfikasi Dan Fuzzy Set Tabel Penentuan Nilai Variabel

variabel		Himpunan fuzzy	Semesta pembicaraan	domain
input	Jumlah Produksi	Rendah	3,5 – 11,5	3,5 – 6,75
		Sedang		5 – 10
		Tinggi		8,25 – 11,5
	Harga Jual	Murah	10.000 – 40.000	10.000 – 22.500
		Sedang		15.000 – 35.000
		Mahal		27.500 – 40.000
	Total Penjualan	Sedikit	93 – 285	93 – 160
		Sedang		124 – 254
		Banyak		218 – 285
output	Ketersediaan rumput laut	Rendah	6 – 20	6 – 12
		Sedang		8 – 18
		Tinggi		14 – 20

b. Pembentukan Fuzzy Rules

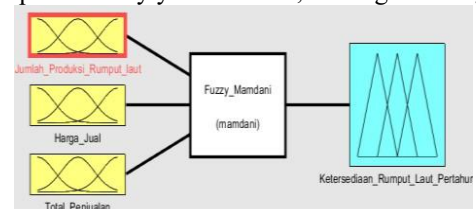
Pembentukan aturan fuzzy merupakan proses mendefinisikan hubungan antara variabel input dan output dalam suatu sistem fuzzy. Aturan-aturan ini biasanya dinyatakan dalam bentuk pernyataan *IF-THEN* (Jika-Maka) yang menghubungkan kondisi tertentu dengan hasil yang diharapkan.

c. Fuzzy Inference System (FIS)

1. Fuzzy Inference System (FIS)

Dalam kasus ini terdapat 4 variabel, antara lain:

- Variabel produksi rumput laut terdiri dari 3 himpunan fuzzy yaitu Rendah, Sedang dan Tinggi
- Variabel harga jual terdiri dari 3 himpunan fuzzy yaitu murah, sedang dan mahal
- Variabel total penjualan terdiri dari 3 himpunan fuzzy yaitu sedikit, sedang dan banyak
- Variabel ketersediaan rumput laut terdiri dari 3 himpunan fuzzy yaitu Rendah, Sedang dan Tinggi



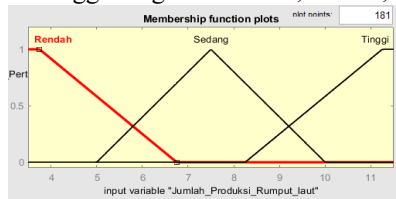
Gambar Fuzzy Inference System (FIS)

2. Pembentukan Membership

a. Variabel Produksi Rumput Laut

Variabel produksi rumput laut mempunyai semesta pembicaraan 3,5 – 11,5 yang terdiri dari 3 himpunan fuzzy yaitu Rendah dengan

domain 3,5 – 6,75 Sedang dengan domain 5 – 10 dan Tinggi dengan domain 8,25 – 11,5.



Gambar Membership Function Variabel Jumlah Produksi

Representasi rendah, sedang dan tinggi sebagai berikut:

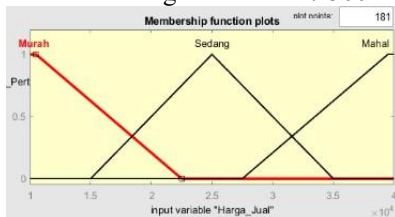
μ_{Rendah} ketika $x \leq 6,75$

μ_{Sedang} ketika $5 \leq x \leq 10$

μ_{Tinggi} ketika $x \geq 8,25$

b. Variabel Harga Jual

Variabel harga jual mempunyai semesta pembicaraan 10.000 – 40.000 yang terdiri dari 3 himpunan fuzzy yaitu murah dengan domain 10.000 – 22.500 Sedang dengan domain 15.000 – 35.000 dan mahal dengan domain 27.500 – 40.000.



Gambar Membership Function Variabel Harga Jual
Representasi murah, sedang dan mahal sebagai berikut:

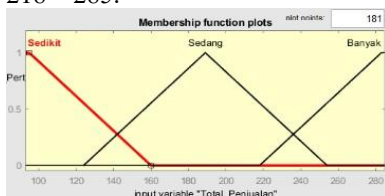
μ_{Murah} ketika $x \leq 22.500$

μ_{Sedang} ketika $15.000 \leq x \leq 35.000$

μ_{Mahal} ketika $x \geq 27.500$

c. Variabel Total Penjualan

Variabel total penjualan mempunyai semesta pembicaraan 93 – 285 yang terdiri dari 3 himpunan fuzzy yaitu sedikit dengan domain 93 – 160 Sedang dengan domain 124 – 254 dan Banyak dengan domain 218 – 285.



Gambar Membership Function Variabel Total Penjualan

Representasi sedikit, sedang dan banyak sebagai berikut:

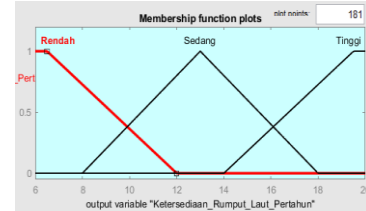
μ_{Sedikit} ketika $x \leq 160$

μ_{Sedang} ketika $124 \leq x \leq 254$

μ_{Banyak} ketika $x \geq 218$

d. Variabel Ketersediaan Rumput Laut

Variabel ketersediaan rumput laut mempunyai semesta pembicaraan 6 – 20 yang terdiri dari 3 himpunan fuzzy yaitu Rendah dengan domain 6 – 12 Sedang dengan domain 8 – 18 dan Tinggi dengan domain 14 – 20



Gambar Membership Function Variabel Ketersediaan Rumput Laut

representasi rendah, sedang dan tinggi sebagai berikut:

μ_{Rendah} ketika $x \leq 12$

μ_{Sedang} ketika $8 \leq x \leq 18$

μ_{Tinggi} ketika $x \geq 14$

3. Penerapan Fuzzy Rules

Berdasarkan penalaran logika fuzzy, diperoleh variabel linguistik pada Kasus ini sebanyak 27 aturan implikasi dengan contoh Jika produksi rumput laut rendah, harga jual murah, total penjualan sedikit maka ketersediaan rumput laut adalah rendah.

Tabel Penerapan Fuzzy Rules

Jumlah Produksi	Harga Jual	Total Penjualan	Fungsi Implikasi	Ketersediaan Rumput Laut
Rendah	Murah	Sedikit	Maka	Rendah
Rendah	Murah	Sedang	Maka	Rendah
Rendah	Murah	Banyak	Maka	Rendah
Rendah	Sedang	Sedikit	Maka	Rendah
Rendah	Sedang	Sedang	Maka	Rendah
Rendah	Sedang	Banyak	Maka	Rendah
Rendah	Mahal	Sedikit	Maka	Rendah
Rendah	Mahal	Sedang	Maka	Rendah
Rendah	Mahal	Banyak	Maka	Rendah
Sedang	Murah	Sedikit	Maka	Sedang
Sedang	Murah	Sedang	Maka	Sedang
Sedang	Murah	Banyak	Maka	Sedang
Sedang	Sedang	Sedikit	Maka	Sedang
Sedang	Sedang	Sedang	Maka	Sedang
Sedang	Sedang	Banyak	Maka	Sedang
Sedang	Mahal	Sedikit	Maka	Sedang
Sedang	Mahal	Sedang	Maka	Sedang
Sedang	Mahal	Banyak	Maka	Sedang
Tinggi	Murah	Sedikit	Maka	Tinggi
Tinggi	Murah	Sedang	Maka	Tinggi
Tinggi	Murah	Banyak	Maka	Tinggi
Tinggi	Sedang	Sedikit	Maka	Tinggi
Tinggi	Sedang	Sedang	Maka	Tinggi
Tinggi	Sedang	Banyak	Maka	Tinggi
Tinggi	Mahal	Sedikit	Maka	Tinggi
Tinggi	Mahal	Sedang	Maka	Tinggi
Tinggi	Mahal	Banyak	Maka	Tinggi

d. Defuzzyfikasi

Defuzzyfikasi adalah proses dalam sistem logika *fuzzy* yang mengubah output dari suatu fungsi keanggotaan *fuzzy* menjadi nilai crisp atau nilai tegas yang dapat digunakan dalam pengambilan keputusan atau kontrol sistem.

a. Menghitung Centroid Variabel Output

Dari penerapan fuzzy rules didapatkan hasil ketersediaan rumput laut sedang, himpunan fuzzy ini dapat dilihat untuk nilai pada titik puncak 13 dan menurun hingga 0 pada skala 8 dan 18 dengan nilai keanggotaan 0,5

$$c = \frac{\sum \mu(x_i) \cdot x_i}{\sum \mu(x_i)}$$

Dimana :

C = Nilai centroid atau nilai crisp yang dihasilkan dari proses *defuzzyfikasi*.

x_i = Nilai dalam domain himpunan *fuzzy*, yaitu nilai-nilai output yang mungkin

$\mu(x_i)$ = Derajat keanggotaan dari x_i dalam himpunan *fuzzy*

$$c = \frac{\sum \mu(x_i) \cdot x_i}{\sum \mu(x_i)}$$

$$c = \frac{((8 \cdot 0,6) + (30.000 \cdot 0,75) + (30.000 \cdot 0,2) + (200 \cdot 0,58))}{0,6 \cdot 0,75 \cdot 0,2 \cdot 0,58}$$

$$c = \frac{28.622}{2,134}$$

$$c = 13.408 \text{ Kg}$$

$$c = 13,408 \text{ Ton}$$

Dari variabel ketersediaan rumput laut dimana himpunan *fuzzy* rendah mempunyai domain skor 6 - 12, sedang mempunyai domain skor 8 - 18, tinggi mempunyai domain skor 14 - 20. Maka dari hasil diatas dapat diketahui bahwa ketersediaan rumput laut di kecamatan tinanggea kabupaten konawe selatan adalah 13,408 yang berada pada rentan skor 8 - 18 yaitu sedang.

2. Penerapan Fuzzy Logic Pada Kondisi Budidaya Rumput Laut

1. Variabel

a) Salinitas Air

Salinitas merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi pertumbuhan rumput laut. Kondisi salinitas yang baik untuk pertumbuhan rumput laut yaitu berkisar antara 15-35 ppt (Armita, 2011; Rosman N. & Kamaruddin, 2019).

b) Suhu Air

Suhu perairan mempengaruhi laju fotosintesis dan kadar oksigen terlarut. Suhu yang optimal untuk mendukung pertumbuhan dan perkembangan rumput laut adalah dengan kisaran 22 – 27 °C, sedangkan suhu maksimal yang dapat ditoleransi oleh rumput laut adalah 32°C.³

c) Polusi Air

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi pencemaran lingkungan perairan, yaitu dengan melakukan penyuluhan kepada Masyarakat untuk tidak membuang limbah, terutama limbah industri ke dalam perairan. Selain itu, untuk meminimalkan pencemaran logam berat dapat dilakukan dengan membangun instalasi pengolahan air limbah di Kawasan industri dan remediasi menggunakan biofilter seperti kerrang hijau.⁴ Pada budidaya rumput laut dapat mentoleransi polusi air di angka 0 - 5 µg/L pada lingkungan budidaya.

d) Jumlah Produksi Rumput Laut

Secara umum, dengan manajemen yang baik dan kondisi optimal, produksi rumput laut bisa mencapai antara 500 hingga 1000 kilogram per 100 m² per siklus panen. Faktor-faktor seperti kualitas air, intensitas cahaya, tingkat salinitas, dan pemeliharaan yang tepat memainkan peran penting dalam menentukan hasil produksi.

e) Kualitas Rumput Laut

Kualitas rumput laut sebagai bahan baku biogas sangat dipengaruhi oleh kandungan organik dan komposisi kimianya. Rumput laut memiliki potensi besar untuk digunakan dalam produksi biogas karena tingginya kadar karbohidrat, terutama polisakarida seperti alginat, agar, dan karagenan, yang mudah terurai menjadi metana melalui proses fermentasi anaerob.

f) Kemungkinan

Dalam variabel kemungkinan terdapat lima kategori yaitu sangat tidak mungkin terjadi, tidak mungkin terjadi, dapat terjadi, kemungkinan besar akan terjadi, dan hampir pasti terjadi.

g) Konsekuensi

Pada variabel konsekuensi ini terdapat lima kategori antara lain diabaikan/negligible, rendah/low, sedang/moderate, tinggi/major, danekstim/catastrophic.

² Damanik, Y. V., Fadillah, S., Simbolon, Y. I. R., & Andani, S. R. (2024). PENERAPAN FUZZY MAMDANI PADA SISTEM PENERIMAAN SISWA BARU SMA NEGERI DI PEMATANGSIANTAR. *Jurnal Penelitian Ilmu Komputer*, 2(2), 10-17.

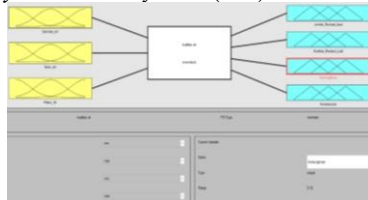
³ Susanto, A. B., Siregar, R., Hanisah, H., Faisal, T. M., & Harahap, A. (2021). Analisis Kesesuaian Kualitas Perairan Lahan Tambak Untuk Budidaya Rumput Laut (*Gracilaria* sp.) di Kecamatan Langsa Barat, Kota Langsa. *JFMR (Journal of Fisheries and Marine Research)*, 5(3), 655-667.

⁴ Farizky, C. K., Fitriani, M., Hidayati, N. V., Rahardja, B. S., & Andriyono, S. (2022). Studi Bioakumulasi Logam Berat (Pb, Cd, DAN As) Pada Rumput Laut (*Caulerpa racemose*) Dari Tambak Tradisional Di Brondong, Lamongan. *Junal Perikanan Unram*, 12(4), 722-733.

2. Nilai Variabel dan *Fuzzy Set*

Tabel Nilai Variabel

No	Variabel	Nilai	Keterangan
1	Salinitas Air	15 - 35	Tingkat kadar kegaraman air pada budidaya rumput laut (ppt)
2	Suhu Air	20 - 30	Tingkat suhu pada budidaya rumput laut ($^{\circ}\text{C}$)
3	Polusi Air	0 - 5	Tingkat pencemaran air pada budidaya rumput laut ($\mu\text{g/L}$)
4	Jumlah Rumput Laut	500 - 1000	Jumlah produksi rumput laut (kg/m^2)
5	Kualitas Rumput Laut	30 - 40	Tingkat kandungan kalor pada rumput laut (MJ/m^3)
6	Kemungkinan	1 - 5	Sangat tidak mungkin terjadi – pasti terjadi
7	Konsekuensi	1 - 5	Diabaikan/negligible – ekstrim/catastrophic

3. *Fuzzy Inference System (FIS)*Gambar Pembentukan *Fuzzy Inference System (FIS)*

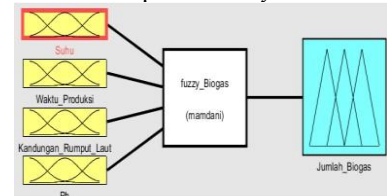
1. Salinitas air terdiri dari 3 himpunan *fuzzy* yaitu Rendah, Sedang, dan Tinggi
2. Suhu air terdiri dari 3 himpunan *fuzzy* yaitu Rendah, Sedang, dan Tinggi
3. Polusi air terdiri dari 3 himpunan *fuzzy* yaitu Rendah, Sedang, dan Tinggi
4. Jumlah rumput laut terdiri dari 3 himpunan *fuzzy* yaitu Sedikit, Sedang, dan Banyak
5. Kualitas rumput laut terdiri dari 3 himpunan *fuzzy* yaitu Jelek, Sedang, dan Bagus
6. Kemungkinan terdiri dari 5 himpunan *fuzzy* yaitu Sangat Tidak Mungkin Terjadi, Tidak Mungkin Terjadi, Dapat Terjadi, Kemungkinan Besar Terjadi, dan Hampir Pasti Terjadi
7. Konsekuensi terdiri dari 5 himpunan *fuzzy* yaitu Diabaikan/Negligible, Rendah/Low, Sedang/Moderate, Tinggi/Major, dan Ekstrim/Catastrophic

4. Penyusunan Aturan *Fuzzy (Fuzzy Rules)*

Himpunan *fuzzy* yang sudah dimodelkan akan dikombinasikan untuk menentukan nilai keanggotaan dari setiap variabel, setelah penentuan fungsi keanggotaan variabel, maka harus dilakukan pembentukan aturan logika *fuzzy (Fuzzy Rules)*. Berdasarkan penalaran logika *fuzzy*, diperoleh variabel linguistik pada penelitian ini sebanyak 27 aturan implikasi

Dari penerapan *Fuzzy* pada budidaya rumput laut di Kecamatan Tinanggea, menunjukkan hasil dari tingkat salinitas air yang sedang, suhu air

yang sedang dan polusi air yang rendah maka jumlah rumput laut yang banyak dengan kualitas yang bagus, kemungkinan sangat tidak mungkin terjadi dan konsekuensi dapat diabaikan/negligible.

3. Penerapan *Fuzzy Logic* Pada Pembuatan Biogas1. Pembentukan Himpunan *Fuzzy*

Gambar Penentuan variabel input dan output

1. Suhu terdiri dari 3 himpunan *fuzzy*, yaitu Rendah, Sedang dan Tinggi
2. Waktu Produksi terdiri dari 3 himpunan *fuzzy*, yaitu Cepat, Sedang dan Lama
3. Kandungan Rumput Laut terdiri dari 3 himpunan *fuzzy*, yaitu Rendah, Sedang, dan Tinggi
4. pH terdiri dari 3 himpunan *fuzzy*, yaitu Rendah, Sedang, dan Tinggi
5. Jumlah Biogas terdiri dari 3 himpunan *fuzzy*, yaitu Sedikit, Sedang dan Banyak

Tabel Himpunan *Fuzzy*

Fungsi	Variabel	Nama Himpunan Fuzzy	Semesta Pembicaraan	Domain
Input	Suhu	Rendah	25 – 40	25 – 30
		Sedang		27,5 – 37,5
		Tinggi		35 – 40
	Waktu Produksi	Cepat	10 – 60	10 – 27,5
		Sedang		17,5 – 52,5
		Lama		42,5 – 60
	Kandungan Rumput Laut	Rendah	50 – 100	50 – 67,5
		Sedang		57,5 – 92,5
		Tinggi		82,5 – 100
Output	pH	Rendah	5 – 8	5 – 6
		Sedang		5,5 – 7,5
		Tinggi		7 – 8
	Jumlah Biogas	Sedikit	1 – 50	1 – 18
		Sedang		8,5 – 42,5
		Banyak		33 – 50

2. Pembentukan Aturan *Fuzzy*

Berdasarkan penalaran logika *fuzzy*, diperoleh variabel linguistik pada penelitian ini sebanyak 81 aturan implikasi

4. Evaluasi Risiko Terkait Ketersediaan Rumput Laut sebagai Bahan Baku Biogas

1. Perubahan Iklim

Perubahan iklim juga mempengaruhi pola musim tanam rumput laut. Musim tanam yang produktif dilakukan ketika curah hujan rendah dan suhu udara juga rendah, yaitu $24^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}$. Ketika musim penghujan dan banjir, tanaman dipindahkan ke wilayah yang jauh dari muara sungai. Sedangkan pada musim kemarau, tanaman dipindahkan ke wilayah muara sungai.⁵

2. Polusi Laut

Pencemaran laut dari limbah industri, plastik, dan polutan lainnya dapat merusak habitat rumput laut, mengurangi kualitas air, dan mengganggu pertumbuhan rumput laut. Serta penggunaan pupuk cair yang berlebihan dapat merusak habitat dan tidak meningkatnya produktivitas rumput laut dalam jangka waktu yang lama.⁶

3. Over-Harvesting

Praktik budidaya rumput laut yang kurang baik seperti umur panen yang belum waktunya dapat berpengaruh pada kandungan keraginan. Strategi atau upaya yang dapat dilakukan untuk mencegah over-harvesting adalah dengan melakukan fokus pada teknologi budidaya, seperti bibit, metode budidaya, umur panen, dan penanganan pasca panen.⁷

4. Gangguan Ekosistem

Perubahan ekosistem laut, seperti introduksi spesies invasif, perubahan arus laut, atau aktivitas manusia lainnya yang dapat mempengaruhi habitat rumput laut dan menyebabkan ketidakseimbangan ekosistem.

Untuk mengatasi hal ini, dapat dilakukan upaya perbaikan sistem budidaya dan pengaturan tipe konstruksi budidaya agar lingkungan perairan suatu ekosistem tidak rusak.⁸

5. Regulasi Pemerintah

Upaya yang dapat dilakukan pemerintah, yaitu

dengan memberikan materi terkait tata cara penanganan rumput laut. Selain itu, pemerintah juga dapat memberikan inovasi untuk mendukung proses perkembangan petani rumput laut dengan menggunakan bibit unggul yang disediakan oleh pemerintah, penanaman rumput laut dengan cara pemilihan air yang sesuai, dan pelaksanaan panen yang sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.⁹

4.2. Strategi Manajemen Risiko yang Digunakan untuk Menjamin Ketersediaan Rumput Laut Yang Berkelanjutan

1. Management of Risk Assessment

a. Identifly Hazard

Identify hazard merupakan langkah penting dalam manajemen risiko yang dapat membantu mencegah kerugian finansial, kecelakaan kerja, serta memastikan kontinuitas operasional dan kepatuhan terhadap peraturan.

- Petani Rumput Laut
- Pengelola Rumput Laut
- Distributor dan Pedagang
- Konsumen
- Komunitas Lokal
- Pemerintah dan Pembuat Kebijakan
- Lingkungan dan Ekosistem

b. Tingkat Eskalasi

Tabel Tingkat Eskalasi

Risk Level	Risk Score	Escalation Level
Tinggi	16 – 25	Tingkat Nasional
Sedang	6 – 15	Tingkat Regional
Rendah	1 – 5	Tingkat Lokal

c. Risk Rating

Tabel Risk Rating

Skor	Rating	Deskripsi Risiko	Kontrol dan Tindakan
1 – 5	Rendah	Dapat Ditoleransi	Monitoring intensif terhadap kondisi budidaya.
6 – 15	Sedang	Harus diperhatikan	Pengendalian hama dan penyakit, Evaluasi dan perbaikan teknik budidaya, Pelatihan khusus bagi petani untuk menangani situasi. Optimisasi manajemen sumber daya.

⁵ Sifau, W. O., & Sulandjari, K. (2020). Perilaku Petani Rumput Laut dalam Menghadapi Perubahan Iklim (Kasus di Desa Laea Boasing Kabupaten Bombana, Provinsi Sulawesi Tenggara). *Jurnal Agrimanex: Agribusiness, Rural Management, and Development Extension*, 1(1), 39-47.

⁶ Qoriasmadillah, W., Ilhami, B. T. K., Haqiqi, N., Prasedya, E. S., & Widyastuti, S. (2024). EDUKASI RESIKO PENGGUNAAN PUPUK CAIR PADA EKOSISTEM BUDIDAYA RUMPUT LAUT DI DESA KOJA DOI, SIKKA, MAUMERE. *Jurnal Abdi Insani*, 11(2), 1616-1624.

⁷ Kusuma, N. P. D., Turnip, G., & Nomleni, A. (2021). Pengelolaan Budidaya Rumput Laut oleh Masyarakat Pesisir Saat Pandemi Covid-19 di Desa Tablobong. In *Seminar Ilmiah Nasional Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Universitas Muslim Indonesia* (Vol 1, pp. 89-99).

⁸ Cokrowati, N., Nura, D., Dinarti, N., & Mukhlis, A. (2020). Perbaikan, Sistem Budidaya Rumput Laut di Desa Seriweh Kabupaten Lombok Timur. *Jurnal Abdi Insani* 7(3), 336-345.

⁹ Wardhani, w., Hamrun, H., & Putra, M. A. (2021). Strategi Pemerintah Daerah dalam Pengembangan Sumber Daya Genetik Rumput Laut di Kabupaten Bantaeng. *iKybernology: Journal of Government Studies*, 1(1), 46-64.

16 – 25	Tinggi	Bahaya Tingkat Tinggi	Implementasi rencana darurat. Memberikan bantuan finansial dan teknis segera.
---------	--------	-----------------------	---

Ekstrim / Catastrophic (5)	Dampak yang sangat besar sehingga dapat menyebabkan kegagalan total dalam budidaya, bencana lingkungan, dan kerugian finansial yang sangat besar, seperti gagal panen total akibat bencana alam besar seperti tsunami dan badai yang merusak seluruh area budidaya.
----------------------------	---

d. Level of Risk

Tabel Level of Risk Pada Tingkat Bahaya

3	Tingkat jika bahaya yang timbul
1	Penurunan kualitas
2	Penurunan jumlah produksi
3	Gagal panen
4	Kematian pada rumput laut
5	Kerusakan ekosistem

Tabel Level of Risk Pada Tingkat Kemungkinan Terjadi

3	Kemungkinan terjadinya risiko
1	Sangat tidak mungkin – 2%
2	Kemungkinan – 5%
3	Mungkin – 10%
4	Hampir pasti – 25%
5	Pasti – 50%

Dilihat dari nilai jumlah rumput laut yang banyak dan kualitas rumput laut yang bagus pada Kecamatan Tinanggea, Kabupaten Konawe Selatan maka tingkat bahaya pada level of risk ini adalah kemungkinan terjadinya penurunan jumlah rumput laut yang kemungkinan terjadinya kurang dari – 5 %

e. Risk Score Matrix Definitions

Tabel Konsekuensi

Skor risiko = Nilai konsekuensinya × Skor kemungkinan	
Tingkat	Deskripsi Konsekuensi / Dampak
Diabaikan / Negligible (1)	Dampak kecil yang tidak berpengaruh signifikan, seperti fluktuasi kecil dalam salinitas air yang tidak berpengaruh secara keseluruhan terhadap pertumbuhan rumput laut.
Rendah / Low (2)	Dampak dengan efek kecil yang mungkin memerlukan perhatian tetapi tidak menimbulkan kerugian besar, seperti penyakit atau serangan hama yang tidak meluas dan masih dapat dikendalikan atau diatasi dengan tindakan sederhana.
Sedang / Moderate (3)	Dampak yang memiliki efek sedang, dapat berpengaruh terhadap hasil panen dan kualitas produk, serta membutuhkan intervensi yang lebih signifikan, seperti penurunan hasil panen karena perubahan cuaca ekstrem, gelombang panas dan curah hujan berlebih.
Tinggi / Major (4)	Dampak tinggi yang dapat mengganggu operasi budidaya, menyebabkan kerugian besar, dan memerlukan pertolongan segera, seperti penurunan kualitas air yang drastis dapat menghambat pertumbuhan rumput laut dan diperlukan upaya besar untuk pemulihan lingkungan.

Tabel Kemungkinan

Skor risiko = Nilai konsekuensinya × Skor kemungkinan	
Tingkat	Deskripsi Konsekuensi / Dampak
Diabaikan / Negligible	Dampak kecil yang tidak berpengaruh signifikan, seperti fluktuasi kecil dalam salinitas air yang tidak berpengaruh secara keseluruhan terhadap pertumbuhan rumput laut.
Rendah / Low	Dampak dengan efek kecil yang mungkin memerlukan perhatian tetapi tidak menimbulkan kerugian besar, seperti penyakit atau serangan hama yang tidak meluas dan masih dapat dikendalikan atau diatasi dengan tindakan sederhana.
Sedang / Moderate	Dampak yang memiliki efek sedang, dapat berpengaruh terhadap hasil panen dan kualitas produk, serta membutuhkan intervensi yang lebih signifikan, seperti penurunan hasil panen karena perubahan cuaca ekstrem, gelombang panas dan curah hujan berlebih.
Tinggi / Major	Dampak tinggi yang dapat mengganggu operasi budidaya, menyebabkan kerugian besar, dan memerlukan pertolongan segera, seperti penurunan kualitas air yang drastis dapat menghambat pertumbuhan rumput laut dan diperlukan upaya besar untuk pemulihan lingkungan.
Ekstrim / Catastrophic (5)	Dampak yang sangat besar sehingga dapat menyebabkan kegagalan total dalam budidaya, bencana lingkungan, dan kerugian finansial yang sangat besar, seperti gagal panen total akibat bencana alam besar seperti tsunami dan badai yang merusak seluruh area budidaya.

Tabel Kemungkinan

Skor	Deskripsi	Kemungkinan Pengulangan Deskripsi Kejadian
1	Sangat tidak mungkin terjadi	Hanya akan terjadi dalam keadaan luar biasa
2	Tidak mungkin terjadi	Kecil kemungkinannya untuk terjadi, namun potensinya ada
3	Dapat terjadi	Peluang yang masuk akal untuk terjadi – telah terjadi sebelumnya pada beberapa kesempatan
4	Kemungkinan besar akan terjadi	Kemungkinan besar akan terjadi – kemungkinan kuat
5	Hampir pasti terjadi	Peristiwa tersebut diperkirakan akan terjadi dalam sebagian besar keadaan

Dari data pengolahan *fuzzy* yang menggunakan nilai input salinitas air, suhu air, dan polusi air dengan nilai output kemungkinan dan konsekuensi didapatkan nilai kemungkinan yaitu sangat tidak

mungkin terjadi dan nilai konsekuensinya yaitu diabaikan/negligible

f. Tabel *Risk Score Matrix*

	Hampir pasti terjadi	5	5	10	15	20	25
	Kemungkinan besar akan terjadi	4	4	8	12	16	20
	Dapat terjadi	3	3	6	9	12	15
	Tidak mungkin terjadi	2	2	4	6	8	10
	Sangat tidak mungkin terjadi	1	1	2	3	4	5
Risk matrix		1	2	3	4	5	
		Negligible	Low	Moderate	Major	Catastrophic	
		Konsekuensi					

g. Escalation of Risk Determined by Risk Score
Tabel Escalation of Risk Determined

Risk Level	Risk Score	Escalation Level
Tinggi	16 – 25	Tingkat Nasional
Sedang	6 – 15	Tingkat Regional
Rendah	1 – 5	Tingkat Lokal

Tanggapan terhadap risiko 4 T

Tolerate (mentolerir) menerima risiko, yaitu tidak melakukan apa-apa

Treat (mengobati) melanjutkan kegiatan, tetapi secara aktif bekerja untuk memitigasi risiko

Transfer (transfer) memindahkan risiko, misalnya mengalihdayakan ke organisasi lain

Terminate (mengakhiri) hentikan aktivitas karena terlalu berisiko untuk hal ini

2. Strategy Management of Risk

a. cuaca dan lingkungan

Untuk mengantisipasi perubahan cuaca dan kondisi perairan dengan cepat, maka diperlukan teknologi seperti sensor cuaca dan kualitas air untuk pemantauan terus menerus dan mengintegrasikan data pemantauan dengan sistem manajemen budidaya untuk tindakan preventif.

b. Manajemen Kualitas Air

Untuk memastikan kualitas air tetap optimal bagi pertumbuhan rumput laut dengan menggunakan filter dan aerator untuk menjaga kebersihan dan kualitas air, serta melakukan uji kualitas air secara rutin untuk mengidentifikasi dan mengatasi masalah dengan segera

c. Pengendalian Hama

Untuk mengurangi populasi hama yang dapat merusak rumput laut. Salah satu cara untuk mengatasi hal tersebut dapat

menggunakan predator alami untuk mengendalikan hama ikan dan lumut, serta pemasangan jaring pelindung di sekitar area budidaya untuk mencegah masuknya hama.

d. Adaptasi Lokasi

Adaptasi lokasi dilakukan untuk mengurangi dampak negatif air payau, selain itu petani mensiasatinya dengan memiliki lebih dari satu lahan untuk mencegah terjadinya gagal panen. Oleh karena itu, dibutuhkan struktur budidaya yang dapat menyesuaikan dengan perubahan salinitas air dan juga menempatkan are budidaya di lokasi yang terlindung dari pengaruh air muara.

e. Pelatihan dan Penyuluhan Petani

Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kapasitas petani dalam mengelola dan mengatasi risiko dengan menyelenggarakan workshop dan sesi pelatihan secara berkala, serta mengembangkan dan mendistribusikan panduan praktis tentang manajemen risiko dalam budidaya rumput laut.

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Terdapat beberapa parameter yang menjadi faktor dalam mempengaruhi ketersediaan rumput laut sebagai bahan baku biogas antara lain kondisi lingkungan, pencemaran lingkungan, curah hujan dan perubahan iklim, serta penyakit atau serangan hama pada budidaya rumput laut.
2. Penerapan Metode *Fuzzy* dalam Mengukur dan Mengevaluasi Risiko Ketersediaan Rumput Laut Sebagai Bahan Baku Biogas yaitu dengan menentukan variabel dan semesta pembicaraan yang meliputi pembentukan himpunan *fuzzy*, pembentukan variabel *fuzzy*, dan penyusunan Aturan *Fuzzy* (*Fuzzy Rules*).
3. Strategi manajemen risiko yang digunakan untuk menjamin ketersediaan rumput laut yang berkelanjutan pada budidaya rumput laut di kecamatan tinanggea yaitu perlu dilakukannya pemantauan cuaca, manajemen kualitas air, pengendalian hama, melakukan pelatihan dan penyuluhan petani.

5.2. Saran

Dalam penelitian ini, penulis menyarankan untuk mengadakan program pendidikan dan pelatihan pada petani dalam hal teknik budidaya rumput laut yang berkelanjutan, manajemen limbah. Melakukan dorongan kolaborasi antara pemerintah, akademisi, dan sektor swasta untuk mengakselerasi pengembangan industri biogas dari rumput laut. Oleh sebab itu, diperlukan penelitian lebih lanjut yang mengkaji mengenai teknologi-teknologi inovatif untuk pengolahan biogas.

DAFTAR PUSTAKA

- Arshad, M., Bano, I., Khan, N., Shahzad, M. I., Younus, M., Abbas, M., & Iqbal, M. (2019). Electricity generation from biogas of poultry waste: An assessment of potential and feasibility in Pakistan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 1241-1246.
- Azizah, M., & Yustanti, W. (2019). PEMILIHAN METODE RISK ASSESSMENT PADA UPT-TIK DI PERGURUAN TINGGI MENGGUNAKAN METODE AHP (ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS). *Jurnal Manajemen Informatika*, 10(1), 10-18.
- Bakri, R., Rahma, A. N., Suryani, I., & Sari, Y. (2020). Penerapan Logika Fuzzy Dalam Menentukan Jumlah Peserta Bpjs Kesehatan Menggunakan Fuzzy Inference System Sugeno. *Jurnal Labesgua: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika, Matematika dan Statistika*, 1(3), 182-192.
- Bolong, N., Asri, H. A., Ismail, N. M., & Saad, I. (2019). Effect of Seaweed Physical Condition for Biogas Production in an Anaerobic Digester. *Anaerobic Digester Processes: Applications and Effluent Treatment*, 165-175.
- Burg, S. W. K. Van Den. (2022). Environmental Safety Hazards. 1–21.
- Cokrowati, N., Nura, D., Dinarti, N., & Mukhlis, A. (2020). Perbaikan, Sistem Budidaya Rumput Laut di Desa Seriwih Kabupaten Lombok Timur. *Jurnal Abdi Insani* 7(3), 336-345.
- Damanik, Y. V., Fadillah, S., Simbolon, Y. I. R., & Andani, S. R. (2024). PENERAPAN FUZZY MAMDANI PADA SISTEM PENERIMAAN SISWA BARU SMA NEGERI DI PEMATANGSIANTAR. *Jurnal Penelitian Ilmu Komputer*, 2(2), 10-17.
- Darmawi, H. (2022). Manajemen risiko. Bumi Aksara.
- Farizky, C. K., Fitriani, M., Hidayati, N. V., Rahardja, B. S., & Andriyono, S. (2022). Studi Bioakumulasi Logam Berat (Pb, Cd, DAN As) Pada Rumput Laut (*Caulerpa racemose*) Dari Tambak Tradisional Di Brondong, Lamongan. *Jurnal Perikanan Unram*, 12(4), 722-733.
- Gunasti, A., Sanosra, A., Umarie, I., Rizal, N. S., & Muhtar, M. (2022). Pendampingan Pengelolaan Kotoran Hewan Menjadi Pupuk Organik Dan Biogas Di Pimpinan Ranting Muhammadiyah Panti Kabupaten Jember. *SELAPARANG: Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 6(3), 1141-1148.
- Grace, J., Suvo, B., Le, V., Shaxson, L., Rovilla, M., Luhan, J., & Hurtado, Q. (2021). Navigating risks and uncertainties : Risk perceptions and risk management strategies in the Philippine seaweed industry. *Marine Policy*, 126, 104408. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104408>
- Hezam, I. M., Vedala, N. R. D., Kumar, B. R., Mishra, A. R., & Cavallaro, F. (2023). Assessment of Biofuel Industry Sustainability Factors Based on the Intuitionistic Fuzzy Symmetry Point of Criterion and Rank-Sum-Based MAIRCA Method. *Sustainability (Switzerland)*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/su15086749>
- Immo, S., Tumaliang, H., & Similang, S. (2021). PEMANFAATAN ECENG GONDOK SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF.
- Iskandar, J. (2006). Metodologi Memahami Petani dan Pertanian. *Jurnal Analisis Sosial*, 171-211.
- Kusuma, N. P. D., Turnip, G., & Nomleni, A. (2021). Pengelolaan Budidaya Rumput Laut oleh Masyarakat Pesisir Saat Pandemi Covid-19 di Desa Tablobong. In *Seminar Ilmiah Nasional Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan Universitas Muslim Indonesia (Vol 1, pp. 89-99)*.
- Lestari, D. F., Kawaroe, M., & Salundik, S. (2019). Produksi Biogas Dari Makroalga, erah (*Gracilaria verrucosa*) Pada Sistem Batch. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, 6(2), 179-186.
- Maidie, A. (2022). Evaluasi Tingkat Kesuburan Perairan Terkait Kandungan Karaginan Rumput Laut (*Kappaphycus alvarezii*) Di Pesisir Bontang dan Panajam Paser Utara. *AquaMarine (Jurnal FPIK UNIDAYAN)*, 9(2), 40-48.
- Maryam, S., Bu'Ulolo, E., & Hatmi, E. (2021). Penerapan Metode Fuzzy Mamdani dan Fuzzy Tsukamoto Dalam Menentukan Harga Mobil Bekas. *Journal of Informatics, Electrical and Electronics Engineering*, 1(1), 10-14.
- Murjani, J., Marwita, R., Putri, S., Oktavia, Y., Fadli Ilhamdy, A., Teknologi, J., Perikanan, H., Kelautan, I., Perikanan, D., Maritim, U., & Ali, R. (2020). Biogas Production from Seaweeds *Sargassum* sp. 03(01), 11–21.
- Natsir, A. (2023). Biogas untuk Menghasilkan Energi Listrik. *DIELEKTRIKA*, 10(2), 118-126.
- Nurdin, N., & Fatmawati, I. (2021). Robot Pembantu Pembibitan Rumput Laut Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Elektronik Sistem Informasi dan Komputer*, 4(2), 13-23.
- Oktiana, T. D. (2019). *Produksi Biogas Dari Rumput Laut Ulva Sp. Dan Gracilaria Verrucosa Secara Semikontinyu* (Doctoral dissertation, Bogor Agricultural University (IPB)).
- Perdana, F. (2022). ANALISIS RISIKO KECELAKAAN KERJA PADA STASIUN PENGISIAN LPG DENGAN MENGGUNAKAN METODE FUZZY. *industry Xplore*, 2022, 7(1), 132-135.
- Putri, N. U., Sembiring, J. P., & Yuliandi, L. R. Rancang Bangun Alat Pengereng Rumput Laut Bertenaga Surya Menggunakan Metode Fuzzy.
- Qoriasmadillah, W., Ilhami, B. T. K., Haqiqi, N., Prasedya, E. S., & Widyastuti, S. (2024). EDUKASI RESIKO PENGGUNAAN PUPUK CAIR PADA EKOSISTEM BUDIDAYA RUMPUT LAUT DI DESA KOJA DOI, SIKKA, MAUMERE. *Jurnal Abdi Insani*, 11(2), 1616-1624.

- Rahman, M. F., & Yanti, F. (2023). Aplikasi Logika Fuzzy Dalam Optimisasi Produksi Mebel Menggunakan Metode Mamdani. *Jurnal Informatika Multi*, 1(3), 172-181.
- Ramadhane, R. C., Murtono, A., & Achmadiah, M. N. (2024). KONTROL PH DAN LEVEL PADA PROSES PEMBENTUKAN BIOGAS DARI LIMBAH NANAS BERBASIS MIKROKONTROLER. *Kohesi:Jurnal Sains dan Teknologi*, 3(1), 81-90.
- Rosman N., A., & Kamaruddin, K. (2019). Rancang Bangun Sistem Monitoring Salinitas Air Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. *Jurnal Ilmu Fisika: Teori dan Aplikasinya*, 1(1). 11-14.
- Safia, W., Budiyanti, M., & Musrif, M. (2020). Kandungan nutrisi dan senyawa bioaktif rumput laut (*Euchema cottonii*) yang dibudidayakan dengan teknik rakit gantung pada kedalaman berbeda. *Kandungan Nutrisi Dan Senyawa Bioaktif Rumput Laut*, 23(2), 261-271.
- Salfina, S., Igo, A., & Ilham, M. (2023). ANALISIS SISTEM PENGELOLAAN USAHA RUMPUT LAUT TERHADAP JUMLAH PRODUKSI DAN TINGKAT PENDAPATAN DESA TOROKEKU. *Jurnal Online Program Studi Pendidikan Ekonomi*, 8(1), 217-225.
- Ramadhan, H. G. (2022). Analisis Aliran Daya Menggunakan Metode Fuzzy Logic pada Sistem Listrik Sulbagsel. 1(2), 1-6.
- Saputra, A. (2019). Pembuatan Biogas dari Rumput Laut Jenis *Sargassum duplicatum* dan *Caulerpa racemose* Sebagai Bahan Energi Alternatif (Skripsi). *Indralaya Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya*.
- Sifau, W. O., & Sulandjari, K. (2020). Perilaku Petani Rumput Laut dalam Menghadapi Perubahan Iklim (Kasus di Desa Laea Boasing Kabupaten Bombana, Provinsi Sulawesi Tenggara). *Jurnal Agrimanex: Agribusiness, Rural Management, an Development Extension*, 1(1), 39-47.
- Susanto, A. B., Siregar, R., Hanisah, H., Faisal, T. M., & Harahap, A. (2021). Analisis Kesesuaian Kualitas Perairan Lahan Tambak Untuk Budidaya Rumput Laut (*Gracilaria* sp.) di Kecamatan Langsa Barat, Kota Langsa. *JFMR (Journal of Fisheries and Marine Research)*, 5(3), 655-667.
- Sutresna, I., K., B. Nindhia, T., G., T. Surata, I., W. 2019. Biogas Dengan *Sargassum* sp, Variasi Kotoran Sapi dan Lumpur Mangrove dalam Digester, *Jurnal Ilmiah TEKNIK DESAIN MEKANIKA*. 8(10): 1-3.
- Teniwut, W. A., & Djatna, T. (2019). *Decision Science Letters*. 8, 137-150. <https://doi.org/10.5267/j.dsl.2018.8.001>
- Triswandana, E. (2020). Penilaian risiko K3 dengan metode HIRARC. *UKaRsT*, 4(1), 96-108.
- Urrohmah, D.S., & Riandadari, D. (2019). Identifikasi Bahaya Dengan Metode Hazard Identification, Risk Assessment and Risk Control (Hirarc) Dalam Upaya Memperkecil Risiko Kecelakaan Kerja Di Pt. Pal Indonesia. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 8(1), 34-40.
- Usman, U., Hasan, H., Kaharm, M. A., & Elihami, E. (2021). Pemanfaatan Kotoran Ternak Sebagai Bahan Pembuatan Biogas. *MASPUL JOURNAL OF COMMUNITY EMPOWERMENT*, 3(1), 13-20.
- Wahyudi, R. (2019). *Produktivitas makroalga euchema cottonii dalam memproduksi biogas dengan Metode Batch* (Doctoral dissertation, Bogor Agricultural University (IPB)).
- Wardhani, w., Hamrun, H., & Putra, M. A. (2021). Strategi Pemerintah Daerah dalam Pengembangan Sumber Daya Genetik Rumput Laut di Kabupaten Bantaeng. *iKybernology: Journal of Government Studies*, 1(1), 46-64.
- Ya'la, Z. R., Jumiyatun., Sulistia, D., Nasmia., Ismail. (2019). Inovasi Rumput Laut Non Ekonomis Sebagai Energi Alternatif. *Seminar Nasional Kelautan dan Perikanan: Jurnal STPL Palu*, 1(1).