

Potensi Biomassa Laut Asal Pulau Timor Sebagai Bahan Baku Produksi Bioetanol Untuk Mengatasi Masalah Krisis Energi Dalam Mewujudkan *Substainble Development Goals 7*

Mikson Nahak¹⁾, Sefrinus Maria Dolfi Kolo¹⁾, Patrisius Maryanto Bria^{1*)}

¹⁾Program Studi, Kimia Fakultas Pertanian, Universitas Timor
*coressponding email: patrisbria11@gmail.com

Abstrak

Pantai Atapupu dan Pantai Bolok yang berada di pulau Timor NTT sangat melimpah akan biomassa lautnya. Namun kelimpahan biomassa laut yang ada di pulau Timor NTT tidak dimanfaatkan oleh masyarakat setempat sebagai bahan pangan dan masyarakat setempat hanya menganggap sebagai limbah yang merusak estetika pantai. Namun jika ditelusuri kandungan karbohidrat dari biomassa-bimassa tersebut sangat tinggi yakni mencapai 77%. Kandungan yang tinggi ini sangat berpotensi untuk dikonversi menjadi bioetanol melalui proses hidrolisis menggunakan katalis asam, fermentasi dan pemurnian (distilasi) untuk mengatasi masalah krisis energi dalam mewujudkan *substainble development goals 7*. Metode yang tepat untuk konversi biomassa laut yang berada di pulau Timor NTT yakni hidrolisis menggunakan katalis asam sulfat 3%, waktu pemanasan 50 menit, suhu pemanasan 150⁰C untuk menghasilkan kadar gula berkisar hingga 97,1 g/L. Sedangkan fermentasi terbaik dilakukan selama 7 hari menggunakan konsentrasi inokulum ragi 12% pada pH 4,5 untuk memperoleh bioetanol dengan konsentrasi berkisar hingga 43,40%.

Kata Kunci: Bioetanol, Biomassa Laut, Krisis Energi, *substainble development goals 7*

PENDAHULUAN

Seiring kemajuan ekonomi dan pertumbuhan populasi, kebutuhan energi manusia bagaikan api yang terus berkobar, tak henti-hentinya membesar dari tahun ke tahun. Hal ini tercermin dari geliat aktivitas ekonomi dan *output* yang terus bertumbuh, memicu peningkatan kebutuhan energi yang tak terhindarkan (Rachmayanti et al., 2019). Akan tetapi kebutuhan energi ini berbanding terbalik dengan Cadangan minyak bumi di Indonesia yang sangat terbatas. Dimana pada tahun 2022 cadangan minyak bumi hanya sebesar 4,2 miliar barel namun yang merupakan cadangan terbukti hanya sekitar 2,3 miliar barel dan sisanya merupakan cadangan potensial. Peningkatan kebutuhan energi yang tinggi ini menyumbangkan emisi CO₂ pada tahun 2022 sekitar 696,7 juta ton CO₂ atau meningkat rata-rata 4,1% per tahun (Sekretaris Jenderal Energi Nasional, 2023). Untuk mengatasi permasalahan ini perlu Upaya dalam mengembangkan energi alternatif terbarukan yang memiliki sifat ramah lingkungan seperti bioetanol (Bria & Kolo, 2024).

Bioetanol merupakan salah satu sumber bahan bakar alternatif yang dapat menyelesaikan permasalahan krisis energi yang masih tergantung pada bahan bakar fosil. Penggunaan bioetanol juga mampu meningkatkan angka oktan dan mengurangi penggunaan aditif bertimbal yang berbahaya terhadap lingkungan yang akan memicu pemanasan global (Jati & Widayatno, 2022). Akan tetapi kendala yang dihadapi dalam mengembangkan produksi bioetanol di Indonesia yaitu bahan baku yang terbatas, persoalan ketersediaan lahan, dan efisiensi biaya produksi (Kolo et al., 2021). Biomassa laut termasuk alga, saat ini menjadi salah satu pertimbangan dalam mengatasi isu pemanasan global serta sebagai alternatif bahan bakar nabati, karena memiliki produktivitas yang tinggi (Kolo et al., 2023). Salah satu biomassa laut yang sangat ideal dan potensial untuk dijadikan bahan baku dalam produksi

bioetanol yakni makroalga. Dibandingkan dengan biomassa lain seperti jagung dan tebu, makroalga memiliki produktivitas 5 kali lipat lebih tinggi dibandingkan biomassa lainnya. Untuk memproduksi sekitar 60 miliar gallon bahan bakar fosil, hanya dibutuhkan makroalga sekitar kurang dari 3% perairan pesisir dunia (Kolo et al., 2021).

Rumput laut atau *seaweed* merupakan salah satu tumbuhan yang hidup subur di laut yang tergolong makroalga benthic yang umumnya hidup melekat di dasar perairan (Sa'diyah & Anugerah, 2020). Komposisi kimia dari rumput laut secara umum mengandung polisakarida seperti selulosa, alginat dan monosakarida seperti glukosa, fruktosa dan xilosa. Komposisi tersebut menunjukkan bahwa rumput laut memiliki potensi untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol (Rachmayanti et al., 2019). Di Nusa Tenggara Timur khususnya di perairan Pantai Bolok Kupang rumput laut sangat melimpah baik jenis rumput laut coklat (*Phaeophyta*) seperti *Padina minor*, *Calpomenia sinuosa*, *Dictyota dichotoma*, rumput laut hijau (*Chlorophyta*) seperti *Ulva lactuca*, *Ulva reticulata*, *Chaetomorpha crassa*, *Enteromorpha clathrata*, dan rumput laut merah (*Rhodophyta*) seperti *Galaxaura oblongata*, *Amansia glomerata*, *Gracilaria salicornia*, *Amphyroa rigida* (Supit et al., 2021). Sedangkan di perairan Pantai Pasir Putih Atapupu Belu didominasi oleh rumput laut coklat (*Phaeophyta*) seperti *Sargassum sp*, *Sargassum Turbinaria oranata*, *Sargassum polycystum*, *Sargassum muticum*. Kelimpahan jenis rumput laut yang berada di Nusa Tenggara Timur khususnya di pesisir Pantai Atapupu Belu dan Pantai Bolok Kupang belum banyak diolah oleh Masyarakat setempat sebagai bahan pangan yang dikonsumsi sehari-hari. Masyarakat setempat hanya menganggap bahwa rumput laut yang ada di Pantai Atapupu Belu dan Pantai Bolok Kupang hanya sebagai limbah yang dapat merusak estetika Pantai. Oleh karena itu pada jurnal ini penulis untuk mengulas mengenai pemanfaatan biomassa laut (rumput laut) untuk dikembangkan menjadi bioetanol melalui metode yang tepat.

TEORI-TEORI PENDUKUNG HIDROLISIS

Hidrolisis merupakan proses pemecahan suatu molekul menjadi dua bagian melalui reaksi kimia dengan penambahan molekul air (H_2O) yang bertujuan untuk mengubah polisakarida menjadi monomer sederhana (Wardani, 2018). Secara kimiawi metode hidrolisis dapat terjadi dengan menambahkan katalis asam (hidrolisis asam). Proses hidrolisis asam adalah proses menggunakan asam kuat untuk memutuskan ikatan glikosidik untuk menghasilkan produk yang lebih sederhana (Kolo and Edi, 2018). Asam yang umum digunakan untuk hidrolisis kimia seperti asam perklorat ($HClO_4$), asam sulfat (H_2SO_4), asam nitrat (HNO_3) dan asam klorida (HCl). Laju proses hidrolisis meningkat karena pengaruh konsentrasi asam yang tinggi. Laju reaksi hidrolisis dipengaruhi oleh adanya ion H^+ dalam larutan, sehingga semakin banyak jumlah ion H^+ maka semakin cepat laju reaksi dan semakin banyak produk hidrolisis yang diperoleh. Selain berpotensi peningkatan laju hidrolisis, konsentrasi asam yang tinggi juga menyebabkan pengikatan ion pengatur seperti SiO_2 dan fosfat dalam pati dan garam seperti Mg, Ca, K dan Na (Mardina et al., 2014).

Menurut Jati and Widayatno, (2022) ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses hidrolisis antara lain sebagai berikut :

1. Waktu Hidrolisis
Semakin lama waktu hidrolisis maka semakin besar konsentrasi glukosa yang terbentuk, karena dipengaruhi waktu hidrolisis. Biasanya, waktu penggunaan untuk hidrolisis adalah sekitar 1-3 jam.
2. Suhu
Semakin tinggi suhu, semakin besar konstanta laju reaksi. Hal ini mengikuti hukum Arrhenius, yaitu semakin tinggi suhu yang digunakan maka gula yang dihasilkan semakin banyak banyak, jika suhu terlalu tinggi akan menyebabkan penurunan glukosa yang dihasilkan karena glukosa akan mengalami karamelisasi.
3. Konsentrasi Asam
Semakin tinggi konsentrasi asam, semakin tinggi laju produksi glukosa ke konsentrasi optimal.

4. Kandungan selulosa
Kandungan selulosa sangat berpengaruh terhadap rendemen glukosa yang dihasilkan. Semakin tinggi kandungan selulosa maka semakin banyak glukosa yang dihasilkan, semakin rendah kandungan selulosa maka semakin rendah glukosa yang dihasilkan dari hidrolisis.
5. pH Hidrolisis
Jika konsentrasi asam tinggi maka kondisi pH juga akan lebih tinggi. pH sangat tergantung pada konsentrasi asam yang digunakan. Biasanya, pH optimal yang digunakan adalah antara 3 dan 4,5.
6. Tekanan
Tekanan sangat mempengaruhi proses hidrolisis. Tekanan yang digunakan pada tahap hidrolisis adalah 1 atm.
Untuk memperoleh kandungan glukosa yang tinggi dari proses hidrolisis biomassa maka perlu melakukan optimasi pada ke enam (6) faktor hidrolisis. Glukosa yang dihasilkan pada proses hidrolisis dilanjutkan dengan proses fermentasi.

FERMENTASI

Fermentasi merupakan salah satu bentuk respirasi *anaerob*. Fermentasi adalah proses pemecahan karbohidrat dan asam amino menjadi etanol dan CO₂ dengan bantuan mikroorganisme yang berlangsung secara *anaerob* yang tidak memerlukan oksigen (Batutah, 2017). Jenis mikroorganisme yang umum digunakan dalam produksi bioetanol yaitu *Saccharomyces cerevisiae*. Hal ini dikarenakan *Saccharomyces cerevisiae* mudah diperoleh dan banyak ditemukan di alam dan mempunyai tingkat ketahanan hidup yang tinggi serta sanggup memproduksi alkohol dalam jumlah yang relatif tinggi (Erna *et al.*, 2017). Tujuan dari proses fermentasi yaitu untuk mengkonversi glukosa (gula) menjadi bioetanol (alkohol) dengan menggunakan *yeast* (Batutah, 2017).

Menurut Jhonprimen *et al.*, (2012), pada proses fermentasi memiliki enam komponen utama, yaitu:

1. Urutan medium yang dipakai selama pengembangan inokulum terdapat dalam fermentor.
 2. Sterilisasi medium, fermentor dan peralatan lain.
 3. Aktivitas produksi, jumlah inokulum dalam produksi dan pemanfaatan kultur murni.
 4. Pertumbuhan mikroba pada fermentor produksi dalam keadaan optimum untuk pembentukan hasil.
 5. Ekstrak produk dan pemurnian.
 6. Penanganan limbah yang didapatkan selama proses.
- Faktor-faktor yang mempengaruhi proses fermentasi (Wardani, 2018).
1. Jenis Mikroorganisme
Mikroorganisme yang umum dimanfaatkan dalam proses fermentasi etanol terdapat beberapa jenis diantaranya adalah bakteri, kapang dan khamir. Dari semua mikroorganisme tersebut tidak semuanya dapat dimanfaatkan secara langsung, sehingga perlu dilakukan pemilihan yang tepat untuk menjamin berlangsungnya proses fermentasi. Pemilihan mikroorganisme umumnya didasarkan pada jenis bahan (substrat) yang dimanfaatkan sebagai medium, misalnya untuk menghasilkan etanol dipakai khamir *Saccharomyces cerevisiae*.
 2. Suhu
Suhu pada proses fermentasi sangat mempengaruhi pertumbuhan jenis mikroorganisme yang digunakan. Umumnya dibutuhkan suhu antara 20-30 °C buat pertumbuhan mikroorganisme. Jika suhu kurang dari yang dibutuhkan maka pertumbuhan mikroorganisme produsen asam akan lambat sehingga dapat mengakibatkan terjadinya pertumbuhan produk samping.
 3. pH
Mikroorganisme pada umumnya dapat tumbuh pada pH 4-8. Khamir umumnya tumbuh pada pH 3-6, kapang pada pH 3-7 dan sel-sel kariotik yang lebih tinggi pada pH 6,5-7,5.
 4. Oksigen
Selama proses fermentasi berlangsung ketersediaan oksigen wajib diatur. Hal ini berkaitan dengan sifat mikroorganisme yang dipakai. Contoh khamir pada pembuatan roti dan anggur umumnya memerlukan oksigen selama proses fermentasi berlangsung, namun untuk bakteri-bakteri produsen asam tidak memerlukan oksigen selama proses fermentasi terjadi. Reaksi yang terjadi pada proses fermentasi dengan bantuan ragi *Saccharomyces cerevisiae* yaitu sebagai berikut (Hasana *et al.*, 2013).

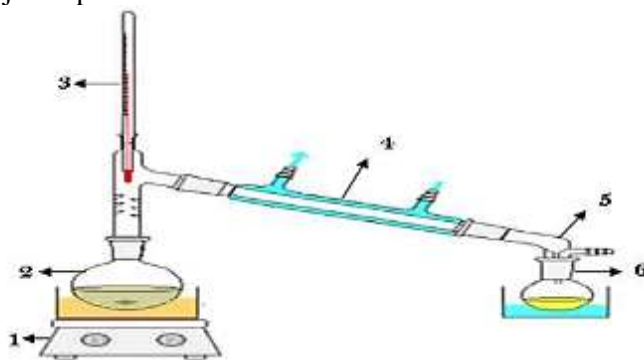
Untuk menghasilkan bioetanol dengan konsentrasi yang tinggi pada proses fermentasi glukosa yang dihasilkan dari proses hidrolisis maka faktor-faktor yang dapat menghambat proses fermentasi perlu di perhatikan dengan baik agar menghasilkan bioetanol dengan konsentrasi yang tinggi.

PEMURNIAN (DISTILASI)

Pemurnian (Destilasi) merupakan proses pemisahan zat cair dari campurannya berdasarkan pada titik didih atau kemampuan zat untuk menguap. Proses ini dilakukan dengan cara memanaskan zat cair hingga titik didihnya kemudian mengalirkan uap ke kondesor (alat pendingin) dan mengumpulkan hasil pengembunan sebagai zat cair pada kondensor dialiri air yang mengalir sebagai pendingin (Setiawan, 2018).

Menurut Delly et al., (2016) destilasi terbagi menjadi beberapa bagian yaitu :

1. Distilasi Sederhana (Konvensional)
Distilasi sederhana merupakan proses yang terjadi ketika campuran beberapa zat atau beberapa komponen yang mudah menguap diuapkan dan didinginkan hingga mengembun di dinding kondensor.
2. Distilasi Bertingkat (Fraksionasi)
Distilasi bertingkat (distilasi fraksionasi) adalah suatu proses dimana senyawa yang bersifat volatil akan diuapkan dan diembunkan secara bertingkat melalui kolom disfraksi. Perbedaan antara distilasi fraksionasi dan distilasi konvensional terdapat pada kolom disfraksinya.
3. Distilasi vakum
Distilasi vakum adalah distilasi yang dilakukan dengan menguapkan cairan pada tekanan rendah. Tujuan utamanya adalah untuk menurunkan titik didih cairan dan volatilitas relatif meningkat seiring dengan penurunan tekanan.
4. Distilasi uap
Distilasi uap merupakan alat yang digunakan untuk memisahkan komponen-komponen suatu campuran pada suhu dibawah titik didih normal. Dengan cara ini pemisahan dapat berlangsung tanpa merusak komponen yang akan dipisahkan.
5. Distilasi Azeotrop
Distilasi Azeotrop adalah distilasi dengan cara menguapkan cairan tanpa mengubah komposisinya, sehingga terdapat perbedaan antara fase cair dan fase uap, hal ini merupakan syarat dasar pemisahan dengan distilasi dapat berjalan dengan baik.
6. Distilasi Ekstraktif
Distilasi ini mirip dengan distilasi azeotropik dimana ditambahkan senyawa lain untuk memudahkan proses pemisahan. Dalam hal ini ekstraksi dilakukan dengan bantuan pelarut, karena senyawa target dapat larut dengan sempurna dalam pelarut yang digunakan.
7. Untuk mendapatkan bioetanol dengan kemurnian yang tinggi maka dilakukan proses pemurnian (distilasi) secara berulang untuk memisahkan bioetanol murni dari molekul air. Distilasi yang tepat untuk digunakan dalam proses pemurnian bioetanol yaitu distilasi bertingkat (Fraksionasi) yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Keterangan :

1. Pemanas (*Hot Plate*)
2. Labu Distilasi
3. Termometer
4. Kondensor
5. Konektor
6. Penampung Destilat

Gambar 9. Rangkaian Alat Distilasi Bertingkat (Batutah, 2017).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan cara studi literatur melalui penelusuran pustaka penelitian terdahulu tentang biomassa laut dan bioetanol untuk mengkaji metode proses hidrolisis dan fermentasi terhadap jumlah kadar bioetanol yang dihasilkan, sehingga dapat digunakan kondisi optimal proses hidrolisis dan fermentasi untuk pembuatan bioetanol dari biomassa laut yang berada di Pantai Atapupu Belu dan Pantai Bolok Kupang untuk mengatasi masalah krisis energi dalam mewujudkan *substainble development goals* 7.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tinjauan Hasil Penelitian

Berbagai jenis rumput laut banyak ditemukan di Pantai Atapupu Belu dan Pantai Bolok Kupang baik yang tergolong dalam rumput laut coklat, hijau maupun merah. Berikut komposisi kimia dari beberapa jenis rumput laut yang teridentifikasi di Pantai Atapupu Belu dan Pantai Bolok Kupang.

Tabel 1. Jenis Rumput Laut dan Kandungan Karbohidrat yang ada di Pantai Atapupu Belu dan Pantai Bolok Kupang

No	Jenis Rumput Laut	Kandungan Karbohidrat	Refrensi
<i>Chlorophyta (Green Algae)</i>			
1	<i>Ulva Lactuca</i>	23,2%	(Yu-Qing et al., 2016)
2	<i>Ulva reticulata</i>	55,77%	(Xu et al., 2023)
3	<i>Chaetomorpha crassa</i>	20,86%	(Santi et al., 2012)
<i>Phaeophyta (Brown Algae)</i>			
4	<i>Padina minor</i>	41,88	(Manteu et al., 2018)
5	<i>Sargassum sp</i>	53,28%	(Wardani, 2018)
6	<i>Sargassum Turbinaria oranata</i>	57,43%	(Herliany et al., 2023)
7	<i>Sargassum polycystum</i>	54,3-73,8%	(Manteu et al., 2018)
8	<i>Sargassum muticum</i>	17,06%	(Pandey et al., 2020)
<i>Rhodophyta (Red Algae)</i>			
9	<i>Chondrus crispus</i>	37%	(Freitas et al., 2022)
10	<i>Sphaerococcus coronopifolius</i>	40%	(Freitas et al., 2022)
11	<i>Gracilaria sp</i>	65,46%	(Kawaroe et al., 2016)
12	<i>Amphyroa rigida</i>	8%	(Freitas et al., 2022)

Berdasarkan data yang disajikan pada **Tabel 1** terlihat bahwa kandungan karbohidrat dari berbagai jenis rumput laut baik jenis rumput laut coklat, hijau dan merah yang berada di Pantai Atapupu Belu dan Pantai Bolok Kupang berkisar antara 8% - 77%. Hal ini menandakan bahwa semua jenis rumput laut yang terdapat di Pantai Atapupu Belu dan Pantai Bolok Kupang sangat berpotensi untuk dikembangkan menjadi bioetanol. Untuk mengubah kandungan karbohidrat yang ada pada jenis rumput laut yang disajikan pada **Tabel 1** diperlukan metode yang tepat. Menurut Bria & Kolo, (2023) metode yang umum digunakan dalam produksi bioetanol adalah hidrolisis dan fermentasi dan Pemurnian (distilasi).

Berdasarkan pada studi literatur yang dilakukan bahwa beberapa jenis biomassa laut yang ada di Pantai Atapupu Belu dan Pantai Bolok Kupang sudah pernah dimanfaatkan dan diteliti untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol seperti pada penelitian yang dilakukan oleh (Kolo et al., 2021), (Kolo et al., 2022), (Kolo et al., 2023), (Kolo, Obenu, Bria, Abi, et al., 2024) dan (Kolo, Obenu, Bria, Klau, et al., 2024) yang menggunakan biomassa laut *Ulva reticulata* sebagai substrat dalam produksi bioetanol. Dari optimasi yang dilakukan selama 4 tahun dari tahun 2021-2024 oleh Kolo *et al* diperoleh perlakuan hidrolisis optimum dan fermentasi optimum seperti pada data yang disajikan **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Hidrolisis dan Fermentasi Optimum Biomassa *Ulva reticulata* yang dilakukan oleh Kolo *et al* 2021-2024)

Hidrolisis Optimum					Fermentasi Optimum				
Waktu (menit)	Suhu (°C)	Jenis Asam dan Konsentrasi			Kadar Gula	Waktu (Hari)	Inokulum (%)	pH	Kadar Bioetanol
		HCl	H ₂ SO ₄	HNO ₃					
50	150	7%	3%	7%	97,1 g/L	7	12	4,5	43,40%

Selain pemanfaatan biomassa *Ulva reticulata*, biomassa lain seperti *Sargassum sp* asal pulau Timor sudah pernah diteliti, seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Bria & Kolo, (2023) menggunakan metode hidrolisis asam, fermentasi dan pemurnian (distilasi). Asam yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah asam sulfat (H₂SO₄). Menurut Bria dan Kolo 2023, penggunaan asam sulfat lebih efisien dari asam lain seperti asam klorida dan asam nitrat. Hal ini dikarenakan asam sulfat memiliki lebih banyak ion H⁺ dibandingkan jenis asam lainnya. Semakin banyak jumlah ion H⁺ maka laju reaksi akan semakin cepat dan semakin banyak produk hidrolisis (glukosa) yang diperoleh. Kadar gula pereduksi yang dihasilkan dari penelitian tersebut sebesar 6296,67 ppm. Sedangkan konsentrasi yang diperoleh sebesar 34% (V/V).

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan yang menggunakan beberapa jenis biomassa laut yang ada di pulau Timor dan dilihat dari kandungan karbohidrat yang tinggi dari jenis biomassa laut lainnya yang ada di pulau Timor. Maka biomassa-biomassa yang ada di pulau Timor memiliki potensi sangat sangat besar untuk dikonversi menjadi bioetanol untuk mengatasi masalah krisis energi dalam mewujudkan *substainble development goals* 7.

KESIMPULAN

Dari uraian dan hasil yang diperoleh dari studi literatur mengenai potensi biomassa laut asal pulau Timor yang dilakukan maka disimpulkan bahwa biomassa laut yang ada di Pantai Atapupu Belu dan Pantai Bolok Kupang memiliki potensi untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol karena memiliki kandungan karbohidrat berkisar antara 8-77% yang dapat digunakan sebagai substrat dalam pembuatan bioetanol. Metode yang dinilai tepat dan idela untuk proses produksi bioetanol dari biomassa laut yang ada di pantai Atapupu Belu dan Pantai Bolok Kupang adalah hidrolisis secara asam menggunakan asam sulfat, karena dengan konsentrasi asam yang rendah menghasilkan kadar gula yang tinggi serta memiliki ion H⁺ lebih banyak dibandingkan katalis asam lainnya sehingga proses penguraian karbohidrat menjadi bioetanol lebih cepat. Suhu, waktu dan konsentrasi asam sulfat yang tepat untuk proses hidrolisis adalah 50 menit, 150°C dan 3% yang dapat menghasilkan dara gula pereduksi mencapai 97,1%. Sedangkan fermentasi terbaik dilakukan pada waktu inkubasi 7 hari dengan konsentrasi inokulum 12% pada pH 4,5 maka konsentrasi bioetanol yang akan didapat mencapai 43,40%.

DAFTAR PUSTAKA

- Batutah, M. A. (2017a). Distilasi Bertingkat Bioetanol Dari Buah Maja (*A egle Marmelos L.*). *IPTEK*, 21(2), 9–18.
- Bria, P. M., & Kolo, S. M. D. (2023). Synthesis from Brown Seaweed (*Sargassum sp*) from Timor Island as Renewable Energy. *Eksergi. Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 20(3), 162–167.
- Bria, P. M., & Kolo, S. M. D. (2024). Bioetanol Dari Campuran Limbah Kulit Pisang Dan Sabut Pinang Sebagai Energi Terbarukan. *Jurnal Redoks*, 9(1), 55–61.
- Delly, J., Hasbi, M., & Zenius, A. (2016). Destilasi Fraksinasi Ganda Sebagai Bahan Bakar. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Tekhnik Mesin*, 2(2), 1–7.

- Freitas, M. V., Inácio, L. G., Martins, M., Afonso, C., Pereira, L., & Mouga, T. (2022). Primary Composition and Pigments of 11 Red Seaweed Species from the Center of Portugal. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(9), 1–23. <https://doi.org/10.3390/jmse10091168>
- Hasanah, H., Jannah, A., & Fasya, A. G. (2013). Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap Kadar Alkohol Tape Singkong (Manihot utilissima Pohl). *Alchemy*, 2(1), 68–79. <https://doi.org/10.18860/al.v0i0.2294>
- Herliany, N. E., Angraini, M., Utami, F., Wilopo, M. D., & Purnama, D. (2023). *Komposisi Nutrisi Rumput Laut Coklat (Phaeophyta) dan Merah (Rhodophyta) Asal Perairan Teluk Sepang Kota Bengkulu*. 8(2), 147–153.
- Jati, S. S., & Widayatno, T. (2022). Pengaruh Konsentrasi Kapang dan Lama Waktu Fermentasi terhadap Kadar Bioetanol dari Limbah Kulit Singkong (Manihot esculenta). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 11(2), 102-.
- Jayus, J., Suwasono, S., & Wijayanti, I. (2017). Produksi Bioetanol Secara SHF Dan SSF Menggunakan Aspergillus niger, Trichoderma viride Dan New Aule Instant Dry Yeast Pada Media Kulit Ubi Kayu. *Jurnal Agroteknologi*, 11(1), 61. <https://doi.org/10.19184/j-agt.v11i1.5448>
- Jhonprimen, Dahlan, M. H., & Turnip, A. (2012). Pengaruh Massa Ragi, Jenis Ragi dan Waktu Fermentasi pada Bioetanol dari Biji Durian. *Jurnal Teknik Kimia*, 18(2), 43–51.
- Kawaroe, M., Hasanudin, U., & Krisye, K. (2016). Pencernaan Anaerobik Makroalga Gracilaria sp. Pada Sistem Batch Untuk Memproduksi Bio-Metana. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 8(2), 595–604.
- Kolo, S. M. D., Obenu, N. M., Bria, P. M., Abi, H., Seran, B. B., & Wahyuningrum, D. (2024). The Optimization of Initial Treatment of Seaweed Ulva reticulata Using CEM Synthesizer Method for Bioethanol Production. *Journal of the Turkish Chemical Society (JOTCS)*, 11(1), 387–396.
- Kolo, S. M. D., Obenu, N. M., Bria, P. M., Klau, W. H., Abi, M. O., Tae, J. S., & Wahyuningrum, D. (2024). The Effect of Fermentation Time, pH and Saccharomyces Cerevisiae Concentration for Bioethanol Production from Ulva Reticulata Macroalgae. *Trends in Sciences*, 21(5), 7484. <https://doi.org/10.48048/tis.2024.7484>
- Kolo, S. M. D., Obenu, N. M., Kefi, L., & Fuel, F. F. (2023). Optimasi Proses Hidrolisis Rumput Laut Ulva Reticulata dengan Katalis HNO₃ untuk Produksi Bioetanol. *Jurnal Riset Kimia*, 14(1), 12–23.
- Kolo, S. M. D., Obenu, N. M., & Tuas, M. Y. C. (2022). Pengaruh Pretreatment Makroalga Ulva Reticulata Menggunakan Microwave Irradiation Untuk Produksi Bioetanol. *Jurnal Kimia (Journal Of Chemistry)*, 16(2), 212–219.
- Kolo, S. M. D., Presson, J., & Amfotis, P. (2021). Produksi Bioetanol sebagai Energi Terbarukan dari Rumput Laut Ulva reticulata Asal Pulau Timor. *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 17(2), 159–167. <https://doi.org/10.20961/alchemy.17.2.45476.159-167>
- Manteu, S. H., Nurjanah, N., & Nurhayati, T. (2018). Karakteristik Rumput Laut Cokelat (Sargassum polycystum dan Padina minor) Dari Perairan Pohuwato Provinsi Gorontalo. *JPHPI*, 21(3), 396–405.
- Mardina, P., Prathama, H. A., & Hayati, D. M. (2014). Pengaruh Waktu Hidrolisis Dan Konsentrasi Katalisator Asam Sulfat Terhadap Sintesis Furfural Dari Jerami Padi. *Konversi*, 3(2), 1–8. <https://doi.org/10.20527/k.v3i2.158>
- Nasional, S. J. D. E. (2023). Outlook Energi Indonesia 2023. In *Outlook Energi Indonesia 2023 akarta* (pp. 1–85). <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-outlook-energi-indonesia-2019-bahasa-indonesia.pdf>

- Pandey, A. K., Chauhan, O. P., & Semwal, A. D. (2020). Seaweeds – A Potential Source for Functional Foods. *Prosiding Konferensi Nasional “Inovasi Dalam Desain Dan Teknologi”-IDeaTech*, 5(4), 349–356.
- Rachmayanti, A., Sari, R. M., & Ilhamdy, F. A. (2019). Proses Sakarifikasi Dan Fermentasi Terpisah Pada Produksi Bioetanol dari Bahan Baku Rumput Laut *Sargassum* sp. *Jurnal Marinade*, 02(01), 19–28.
- Sa'diyah, A., & Anugerah, D. (2020). Potensi rumput laut *gracilaria* sp. sebagai alternatif biomassa studi kasus di kawasan tambak tanjungsari, kecamatan jabon, sidoarjo. *Seminar Nasional Inovasi Dan Aplikasi Teknologi Di Industri 2018*, 279–284.
- Santi, R. A., Sunarti, T. C., Santoso, D., & Triwisari, D. A. (2012). Komposisi Kimia Dan Profil Polisakarida Rumput Laut Hijau. *Jurnal Akuatika*, 66(2), 37–39.
- Setiawan, T. (2018). Rancang bangun alat destilasi uap bioetanol dengan bahan baku batang pisang. *Jurnal Media Teknologi*, 04(02), 119–128.
- Supit, R. R. L., Laa, I. Y. M., & Sunbanu, J. N. (2021). Analisis Kepadatan Makroalga Di Perairan Pantai Desa Bolok. *Jurnal Bahari Papadak*, 2(2), 105–112. <https://ejurnal.undana.ac.id/index.php/JBP/article/view/5514><https://ejurnal.undana.ac.id/index.php/JBP/article/download/5514/3037>
- Wardani, A. K. (2018). Pengaruh Lama Waktu Fermentasi pada Pembuatan Bioetanol dari *Sargassum* sp Menggunakan Metode Hidrolisis Asam dan Fermentasi Menggunakan Mikroba Asosiasi (*Zymomonas mobilis*, *Saccharomyces cerevisiae* dalam Ragi Tape dan Ragi Roti). In *Skripsi, Jurusan Pendidikan Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Fakultas Keguruan Dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta*.
- Xu, J., Liao, W., Liu, Y., Guo, Y., Jiang, S., & Zhao, C. (2023). An overview on the nutritional and bioactive components of green seaweeds. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5(1), 1–21. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00132-5>
- Yu-Qing, T., Mahmood, K., Shehzadi, R., & Ashraf, M. F. (2016). *Ulva Lactuca* and Its Polysaccharides: Food and Biomedical Aspects. *Journal of Biology*, 6(1), 140–151.