
**KANDUNGAN LIMBAH PENGOLAHAN RUMPUT LAUT DAN POTENSI
PEMANFAATANNYA (REVIEW)
SEAWEED PROCESSING WASTE CONTENT AND ITS POTENTIAL UTILIZATION (REVIEW)**

**Wahyu Tri Handoyo^{1*}, Bakti Berlyanto Sedayu², Sang Kompiang Wirawan³,
Arif Rahman Hakim²**

¹Magister Teknik Sistem, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Sleman, DI Yogyakarta

²Pusat Riset Teknologi dan Proses Pangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Gunungkidul, DI Yogyakarta

³Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Sleman, DI Yogyakarta

*Corresponding author email: wahzu.th@gmail.com

Submitted: 28 February 2023 / Revised: 31 May 2024 / Accepted: 31 May 2024

<http://doi.org/10.21107/juvenil.v5i2.25036>

ABSTRAK

Pada pengolahan rumput laut menyisakan limbah padat dan cair yang belum ditangani secara optimal. Padahal penanganan tersebut sangat penting untuk menjaga keberlanjutan dan menjauhkan dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu strategi penanganan yang perlu dikembangkan adalah pemanfaatan limbah rumput laut yang dapat mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan. Tujuan tulisan ini adalah untuk mengumpulkan informasi dari berbagai sumber penelitian mengenai kandungan limbah rumput laut dan potensi pemanfaatannya sehingga dapat mendukung pengembangan pengelolaan limbah rumput laut yang bernilai tambah. Sebagian besar penelitian yang telah dilakukan mengamati kandungan serat pada limbah rumput laut. Selain itu juga diamati komponen mineral dominan diantaranya mineral N, P, K, Ca, Mg. Hasil studi menunjukkan bahwa limbah tersebut memiliki kandungan serat yang cukup tinggi, namun hasilnya bervariasi. Hal yang sama juga terjadi pada kandungan mineral dominan. Kondisi ini diduga disebabkan oleh berbagai faktor baik internal maupun eksternal. Potensi pemanfaatan yang banyak dikaji adalah sebagai bahan baku bioetanol, biokomposit dan pupuk. Hasil penelitian menunjukkan tren yang positif karena didukung oleh teori yang kuat. Namun untuk saat ini sebagian besar penelitian masih dalam tahap pengembangan awal dan masih terbatas pada penelitian skala laboratorium walaupun ada beberapa penelitian yang sudah sampai pada tahap ujicoba lapang.

Kata kunci: bioetanol, biokomposit, limbah rumput laut, pemanfaatan, pupuk

ABSTRACT

Seaweed processing leaves solid and liquid waste that has not been handled optimally. In fact, such handling is very important to maintain sustainability and avoid negative impacts on the environment. One handling strategy that needs to be developed is the utilization of seaweed waste that can support sustainable development goals. The purpose of this paper is to collect information from various research sources and literature regarding the content of seaweed waste and its potential utilization so that it can support the development of value-added seaweed waste management. Most of the research that has been done looks at the fiber content of seaweed waste. In addition, the dominant mineral components including minerals N, P, K, Ca, Mg were also observed. The results of the study showed that the waste has a fairly high fiber content, but the results varied. The same thing also happened to the dominant mineral content. This condition is thought to be caused by various factors both internal and external. The potential utilization that has been studied is as raw material for bioethanol, biocomposites and fertilizers. Research results show a positive trend because they are supported by strong theory. However, for now most of the research is still in the early development stage and is still limited to laboratory-scale research although there are some studies that have reached the field trial stage.

Keywords: biocomposites, bioethanol, fertilizer, seaweed waste, utilization

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki garis pantai yang panjang sehingga mampu menghasilkan potensi rumput laut yang besar. Potensi tersebut dapat menciptakan peluang besar untuk pemanfaatan rumput laut dalam berbagai sektor. Secara ekonomi, rumput laut telah menjadi komoditas penting di sektor perikanan dan pangan, menyediakan bahan baku untuk industri makanan, industri farmasi dan kosmetik. Tetapi faktanya hasil produksi rumput laut di Indonesia masih didominasi oleh produk rumput laut kering atau *raw material* sebesar 80%, dan hanya 20% diolah menjadi produk rumput laut olahan berupa agar-agar dan karaginan (KKP, 2013 dalam Khaldun, 2017).

Walaupun hanya sekitar 20% pengolahan yang dilakukan, tetapi telah menghasilkan limbah pengolahan yang cukup banyak. Pengolahan rumput laut *Gracilaria sp.* dan *E. Cottonii* menghasilkan limbah cair sebanyak 8.174.150 m³ dan limbah padat 62.506 ton per tahun (KKP, 2021). Limbah cair tersebut berupa cairan yang digunakan pada proses ekstraksi yang telah ditambahkan bahan kimia berupa KOH yang bersifat basa dan KCL yang keduanya tidak bisa dibuang langsung ke lingkungan karena akan memberikan dampak negatif. Sedangkan limbah padat tersebut berupa sisa padatan dari ekstraksi dan juga rumput laut sortiran yang tidak termanfaatkan. Limbah padat yang dihasilkan dari proses pengolahan rumput laut *Sargassum sp.* estimasinya dapat mencapai 80% dari berat awal rumput laut yang diproses (Basmal *et al.*, 2014). Persentase yang hampir sama juga terjadi pada proses ekstraksi karaginan dari rumput laut *E. cottonii* yang hanya menghasilkan sekitar 30% produk dan sisanya menjadi limbah.

Penanganan limbah rumput laut cair umumnya dilakukan pengelolaan melalui proses netralisasi sebelum dibuang ke lingkungan dan belum dimanfaatkan lebih lanjut. Sedangkan untuk limbah padat sebagian perusahaan hanya meletakkan di area lahan yang luas (Sedayu *et al.*, 2008). Penanganan limbah pada industri rumput laut sangat penting untuk menjaga keberlanjutan dan menjauhkan dampak negatif terhadap lingkungan. Strategi penanganan limbah rumput laut secara umum dapat dilakukan melalui proses pemilahan limbah, minimalisasi limbah, proses daur ulang, pemanfaatan limbah, dan pembuangan akhir yang aman. Pentingnya mengelola limbah dengan bijak dalam industri rumput laut tidak hanya mendukung keberlanjutan, tetapi juga dapat menciptakan nilai tambah dalam siklus

ekonomi dan lingkungan. Praktik yang berkelanjutan dan ramah lingkungan dalam penanganan limbah dapat membantu menjaga kelestarian sumber daya laut dan ekosistem sekitarnya (Nakhate & Meer, 2021; Zero Waste sg, 2023).

Strategi yang dibahas dalam tulisan ini adalah pemanfaatan limbah rumput laut. Strategi tersebut dipilih karena mendukung *Sustainable Development Goals* (SDGs) atau tujuan pembangunan berkelanjutan khususnya pada poin 12 yaitu konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab (*responsible consumption and production*) (United Nations, 2023). Selain itu juga telah banyak dilakukan kajian dan penelitian terkait dengan pemanfaatan limbah rumput laut. Sebagian besar kajian dan penelitian tersebut telah memberikan hasil yang positif terhadap pengembangan pemanfaatan limbah rumput laut. Oleh karena itu diperlukan tulisan yang memberikan informasi dan gambaran dari kajian dan penelitian tersebut.

Berdasarkan uraian diatas maka tujuan dari tulisan ini adalah untuk menyusun informasi terkait dengan kandungan limbah rumput laut dan potensi-potensi pemanfaatannya dari berbagai sumber kajian dan literatur sehingga diharapkan dapat mendukung pengembangan pengelolaan limbah rumput laut yang memiliki nilai tambah dan mendukung berkelanjutan.

MATERI DAN METODE

Metode yang digunakan adalah mengumpulkan literatur yang membahas tentang limbah rumput laut yang meliputi jumlah limbah yang dihasilkan, dampaknya terhadap lingkungan, penanganan yang telah dilakukan dan potensi pemanfaatan yang dapat dilakukan. Dalam penelusuran literatur kata kunci yang digunakan adalah 'rumput laut', 'limbah rumput laut', 'limbah padat rumput laut', 'limbah cair rumput laut', 'dampak limbah rumput laut', 'kandungan limbah rumput laut', 'penanganan limbah rumput laut', 'pemanfaatan limbah rumput laut'.

Setelah pencarian literatur yang sesuai dengan tema kemudian dilanjutkan dengan melakukan evaluasi dan seleksi literatur yang meliputi tingkat relevansi terhadap tema dan kualitas jurnal. Tahapan selanjutnya adalah menyusun informasi dari sumber-sumber yang telah ditentukan ke dalam kelompok-kelompok tematik dan kronologis. Kemudian mengidentifikasi tren, kontroversi, dan perbedaan pandangan di antara sumber-sumber tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN**Limbah Padat Pengolahan Rumput Laut**

Limbah dari industri pengolahan rumput laut dapat dibedakan menjadi limbah padat dan limbah cair. Limbah padat mencakup tallus yang rusak dari sisa sortiran bahan baku rumput laut dan padatan yang dihasilkan dari ekstraksi rumput laut. Sementara itu, limbah cair terdiri dari sisa air pencucian, air pemasakan, dan larutan sisa hasil proses alkalisasi rumput laut (Yumas *et al.*, 2019). Proses pengolahan ini melibatkan penambahan bahan kimia dan bahan tambahan lainnya, sehingga kandungan limbah tidak hanya mencakup unsur rumput laut sendiri tetapi juga bahan tambahan yang digunakan selama proses pengolahan. Oleh karena itu, komposisi limbah rumput laut menjadi kompleks karena mencakup unsur rumput laut dan bahan tambahan yang terikut selama proses pengolahan (Nakhate & Meer, 2021).

Kandungan limbah padat sisa pengolahan rumput laut yang dirangkum dari berbagai

literatur seperti disajikan pada tabel 1. Dalam tabel tersebut disajikan kandungan limbah padat yang diklasifikasikan berdasarkan jenis olahan dan jenis rumput laut sebagai bahan baku olahan. Klasifikasi tersebut digunakan untuk melihat karakteristik limbah dari proses dan jenis rumput yang berbeda. Sebagian besar penelitian yang telah dilakukan mengamati kandungan proksimat limbah padat yang meliputi kadar air, lemak, abu, protein, dan karbohidrat yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, holoselulosa dan lignin. Selain itu juga diamati komponen mineral yang terkandung di dalam limbah tersebut diantaranya mineral N, P, K, Ca, Mg dan beberapa unsur lainnya. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai proksimat dan unsur dalam limbah padat memiliki nilai bervariasi bahkan pada sisa olahan produk dan bahan baku rumput laut yang sama. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya yaitu faktor bahan baku yaitu asal dan umur rumput laut (Sidongpong *et al.*, 2022), proses pengolahan yang dilakukan, dan parameter pada proses pengolahan yang dilakukan (Triwisari, 2010).

Tabel 1. Kandungan Limbah Pengolahan Rumput Laut

Jenis Limbah	Produk/Jenis Rumput Laut	Kandungan Limbah	Pustaka
Limbah Padat	Karaginan – <i>E. cottonii</i>	Air 3.66%; Abu 36.84%; Protein 1.78%; Karbohidrat 11.36%; Selulosa 0%; Hemiselulosa 12.86%; Lignin 0%	Haslianti, 2013
	Karaginan – <i>E. cottonii</i>	Air 72.39%; Karbohidrat 5.01%; Selulosa 0.96%; Hemiselulosa 7.12%; Lignin 8.26%	Yuliani <i>et al.</i> , 2020
	Karaginan – <i>E. cottonii</i>	Air 0.75%; Abu 34.49%; Selulosa 6.95%; Hemiselulosa 0.39%; Lignin 6.73%	Jumaidin <i>et al.</i> , 2017
	Karaginan – <i>E. spinosum</i>	<i>Perlite</i> 50%; Selulosa 5%; Alkali 5%; Residu <i>E. spinosum</i> 40%	Vargas <i>et al.</i> , 2023
	Karaginan	Selulosa 33.6%; Hemiselulosa 3.5%; Lignin 4.5%	Uju <i>et al.</i> , 2015
	Alginat – <i>Sargassum sp.</i>	N 0.48%, P 0.03 mg/100g; K 0.18 mg/100g; Ca 2.73 mg/100g; Mg 0.34 mg/100g; Cu 2.07 ppm; Fe 455.49 ppm;	Basmal <i>et al.</i> , 2014

Jenis Limbah	Produk/Jenis Rumput Laut	Kandungan Limbah	Pustaka
	Agar – <i>Gracilaria sp.</i> , <i>Gelidium sp.</i>	Mn 16.9 ppm; Zn 16.72 ppm; B <2 ppm;	Hakim <i>et al.</i> , 2017
	-	Selulosa 26.92%; Hemiselulosa 16.11%; Lignin 15.38%; Abu 16.72%; Air 12.94%; NaCl 3.77%	Wage, 2011
	Agar – <i>Gracilaria sp.</i>	N 5.56%, P 14.45%; K 10,00%; Mn 0.87%; Cu <0.006%; Fe 1.7%; Mn 12 ppm; Zn 100 ppm; B 80 ppm;	I Winarni <i>et al.</i> , 2022
	Agar – <i>Gracilaria sp.</i>	Air 4.65%; Abu 47.44%; Selulosa 14.79%	Nurhayati & Kusumawati, 2014
	Agar – <i>Gracilaria sp.</i>	Air 12.61%; Abu 8.76%; Selulosa 77.34%	Zaqyyah <i>et al.</i> , 2020
	Agar – <i>Gracilaria sp.</i> , Agar – <i>Gelidium sp.</i>	Air 5.24%; Abu 59.49%; Serat 8.18%	Faujjah, 2012
	Agar – <i>Gracilaria sp.</i>	Air 16.22%; Abu 42.15%; Protein 1.70%; Serat kasar 38.05%	Munifah & Irianto, 2018
		Air 11.23%; Abu 8.27%; Lignin 2.08%; Holoselulosa 38.83%; Selulosa 28.19%; Hemicellulose 10.63%; <i>Celite</i> 8.60%	
Limbah Cair	<i>Semi Refined Carrageenan (SRC) – E. cottonii</i>	P ₂ O ₅ 677.75 ppm; N 430.10 ppm; K ₂ O 727 ppm; K 0.03%; Cl- 12.9%	Pasae <i>et al.</i> , 2020
	Karaginan/ <i>Carrageenan – E. cottonii</i>	K 1468 mg/L; Na 2144 mg/L; Cl ₂ 0.63 mg/L; NH ₃ 1.12 mg/L	Ariani <i>et al.</i> , 2015
	Karaginan/ <i>Carrageenan – E. cottonii, E. spinosum</i>	K 0.87 – 2.88%; Cl- 1.37 – 2.41%; N 0,02 – 0,03%; P 0,003 – 0,207%	Yustin <i>et al.</i> , 2005
	-	Ca 1.51%; P 0.11%; Mg 0.92%; K 2.37%; Na 2.94%; Cl- 1.66%; S 2.57%	Yun <i>et al.</i> , 2022

Kandungan Air

Kandungan air dalam limbah padat memiliki nilai yang bervariasi (tabel 1). Hal ini diduga disebabkan karena perlakuan yang dilakukan sebelum pengujian. Limbah padat tanpa perlakuan pengeringan akan memiliki kandungan air yang tinggi karena pada proses

ekstraksi dilakukan pemasakan menggunakan air. Selain itu juga karena sifat dari rumput laut yang menyerap air, bahkan untuk rumput laut segar memiliki kandungan air 76.15 % (Maharani *et al.*, 2017). Hal ini terlihat pada penelitian Yuliani *et al.* (2020), sedangkan pada penelitian lainnya memiliki nilai kadar air yang relatif rendah. Jika limbah tersebut akan

dimanfaatkan untuk tujuan tertentu seperti untuk pembuatan material komposit polimer, kandungan air yang tinggi tidak diharapkan karena akan mengganggu stabilitas komposit (Razali et al., 2015). Selain itu, tingginya kadar air dapat menyulitkan proses pembuatan komposit karena penepungan dan pencampuran dengan bahan lainnya tidak dapat dilakukan secara optimal.

Kandungan Karbohidrat

Kandungan karbohidrat yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan seperti disajikan pada tabel 1, kandungan selulosa, hemiselulosa dan lignin pada limbah padat pengolahan rumput laut bervariasi. Hal ini terjadi bahkan pada jenis bahan baku rumput laut yang sama. Kandungan selulosa pada limbah industri pengolahan agar dengan bahan baku rumput laut *Gracilaria sp.* secara keseluruhan cukup tinggi tetapi nilainya sangat bervariasi yaitu 14.79%, 26.92%, 28.19%, dan 77.34%. Sedangkan pada limbah industri karaginan kandungannya lebih rendah dan juga bervariasi yaitu 0.96%, 5%, 6.95%, 33.6%.

Kondisi tersebut karena dipengaruhi oleh beberapa faktor yang melibatkan spesies rumput laut, kondisi lingkungan tempat tumbuhnya, umur, musim, metode penanganan dan pemrosesan pasca panen serta metode pengolahan yang dilakukan. Faktor yang pertama yaitu jenis rumput laut. Berbagai jenis rumput laut memiliki komposisi kimia yang berbeda. Spesies satu dengan yang lain mungkin memiliki kadar selulosa, hemiselulosa dan lignin yang berbeda. Selanjutnya adalah faktor musim dan kondisi lingkungan tempat rumput laut tumbuh, seperti suhu air, tingkat salinitas, dan nutrisi tanah, dapat mempengaruhi komposisi kimianya. Faktor penanganan dan pengolahan rumput laut juga sangat memungkinkan memberikan pengaruh terhadap komposisi kimia rumput laut. Komposisi kimia rumput laut yang bervariasi tersebut juga akan menyisakan limbah padat dengan komposisi yang bervariasi (Triwisari, 2010; Winarni et al., 2022)

Selain beberapa faktor tersebut diatas, faktor lain yang dapat mempengaruhi adalah faktor analisis kandungan kimia yang dilakukan pada masing-masing penelitian. Analisis selulosa, hemiselulosa dan lignin yang umum digunakan adalah metode asam yang menggunakan larutan asam kuat H_2SO_4 sebagai pelarut. Selain itu juga bisa dilakukan dengan metode basa yang menggunakan larutan NaOH dan

Na_2SO_3 sebagai pelarutnya (Munifah & Irianto, 2018).

Kandungan Abu

Abu yang terkandung di dalam limbah rumput laut berasal dari bahan baku rumput laut sendiri dan juga dari material tambahan yang diberikan pada saat proses ekstraksi. Berdasarkan literatur diperoleh bahwa kadar abu pada rumput laut relatif lebih tinggi dibandingkan pada tumbuhan darat dan produk hewani (Macartain et al., 2007). Hal ini disebabkan karena habitatnya yang banyak mengandung garam dan berbagai mineral (Morais et al., 2020). Menurut Herliany et al. (2022) kandungan abu pada tanaman dapat mencerminkan mineral-mineral tersebut.

Berdasarkan beberapa penelitian seperti disajikan pada tabel 1 terlihat bahwa limbah padat pengolahan rumput laut memiliki kadar yang tinggi. Sama halnya dengan kandungan karbohidrat, kandungan abu limbah rumput laut juga bervariasi tergantung pada berbagai faktor baik internal maupun eksternal. Faktor internal yang bersumber dari bahan baku rumput laut diantaranya yaitu jenis rumput laut, kondisi pertumbuhan, dan lingkungan tempat tumbuh. Sedangkan faktor eksternal yang berasal dari proses pengolahan rumput laut. Kadar abu yang berasal dari proses ekstraksi disebabkan karena penggunaan mineral *perlite* atau *celite* dari pada proses filtrasi. Limbah padat sisa hasil pengolahan yang dibuang tercampur dengan bahan mineral *celite* sehingga ketika dianalisis kadar abu menggunakan metode gravimetri terdeteksi sebagai abu. Menurut Vargas et al. (2023) limbah padat rumput laut terdapat kandungan bahan mineral *perlite* dengan jumlah yang tinggi. Munifah & Irianto, 2018 juga menyampaikan bahwa dalam limbah padat rumput laut pengolahan agar terdapat kandungan mineral *celite* yang digunakan untuk media filtrasi.

Kandungan Lainnya

Selain kandungan yang dominan seperti air, karbohidrat dan abu, pada beberapa penelitian menyampaikan bahwa dalam limbah padat tersebut terdapat kandungan protein dengan persentase yang kecil yaitu pada kisaran 1.7% (Faujiah, 2012; Haslianti 2013). Selain itu juga terdapat kandungan bahan mineral berupa *perlite* dengan kadar yang tinggi yaitu 50% (Vargas et al., 2023) dan *celite* dengan kadar 8.60% (Munifah & Irianto, 2018). *Perlite* sendiri adalah mineral alam berupa batuan vulkanik yang memiliki tingkat kandungan silika (SiO_2) tinggi 73.1% (Papadopoulos et al., 2008).

Sedangkan *celite* yang sering disebut sebagai tanah diatomic terdiri dari silika dan alumina, dan memiliki sifat polaritas rendah dan daya rekat luas (Ahmed & Husain, 2011). *Perlite* dan *celite* terdapat pada limbah padat karena digunakan sebagai media filtrasi pada proses ekstraksi sehingga terikut pada ampas atau sisa penyaringan. Kedua material tersebut sudah cukup banyak digunakan sebagai media filtrasi karena mempunyai porositas yang tinggi dengan banyak lubang-lubang kecil.

Sifat dan karakteristik *perlite* dan *celite* memiliki ketahanan terhadap panas dan juga tidak larut dalam air, larutan asam maupun basa lemah. Kedua bahan tersebut akan larut pada larutan basa kuat yang panas (*hot concentrated alkali*) dan larutan *hydrogen fluoride* (HF) (*Perlite Institute*, 2011; Cas, 2021). Berdasarkan sifat dan karakteristik tersebut perlu menjadi perhatian karena jika tidak dipisahkan akan terikut pada analisa kimia menggunakan metode gravimetri seperti selulosa dan abu, sehingga akan terdeteksi sebagai senyawa atau molekul yang dianalisa.

Kandungan Limbah Cair Pengolahan Rumput Laut

Cairan limbah sisa pengolahan rumput laut merupakan cairan yang berasal dari proses ekstraksi yang telah ditambahkan bahan kimia berupa KOH dan KCl yang tidak dapat dibuang secara langsung ke lingkungan karena dapat menimbulkan dampak negatif. KOH yang bersifat basa jika masuk ke dalam sumber air dapat meningkatkan pH air, yang dapat berdampak negatif dan dapat mengganggu ekosistem air. KOH juga dapat bersifat korosif dan berbahaya bagi organisme yang hidup di air. Selain itu jika KOH yang masuk kedalam tanah dapat mengubah pH tanah sehingga akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman dan organisme tanah. Sedangkan KCl berupa garam yang terbentuk dari unsur kalium (K⁺) dan ion klorida (Cl⁻).

Secara umum, KCl dianggap sebagai senyawa yang relatif aman untuk lingkungan. Namun demikian efek dari pelepasan KCl ke lingkungan sangat tergantung pada jumlah dan konsentrasinya. Pelepasan jumlah besar KCl ke dalam air dapat meningkatkan kadar ion klorida dan kalium dalam air, yang mungkin akan mempengaruhi organisme hidup dalam ekosistem air. Selain itu pelepasan KCl ke tanah dalam jumlah besar juga dapat

mempengaruhi kesuburan tanah dan tanaman walaupun pada umumnya KCl dapat digunakan sebagai pupuk kalium jika takarannya sesuai (Albarkah *et al.*, 2023).

Berdasarkan dari beberapa literatur seperti disajikan pada tabel 1, analisis kandungan limbah cair sisa pengolahan rumput laut yang banyak dilakukan adalah analisis kandungan mineral. Kandungan mineral dominan yang terkandung dalam limbah cair yaitu K, Cl⁻, N, Ca, P dan Na. Seperti telah dijelaskan diatas unsur-unsur tersebut berasal dari bahan kimia yang ditambahkan pada proses ekstraksi dan juga dari bahan baku rumput laut sendiri.

Kandungan mineral K pada limbah cair berasal dari proses pengolahan rumput laut yang menggunakan larutan KOH dan KCl untuk ekstraksi. Selain itu mineral K juga berasal dari bahan baku rumput laut itu sendiri karena mineral K merupakan komponen mayoritas yang terdapat pada rumput laut merah (Hidayah *et al.*, 2022; Rasyid *et al.*, 2019; Krishnaiah, *et al.*, 2008), rumput laut hijau dan coklat (Krishnaiah *et al.*, 2008). Sedangkan mineral Cl⁻ yang terdapat pada limbah cair berasal dari larutan KCl dan bahan baku rumput laut, karena komponen Cl⁻ juga merupakan komponen mayoritas dalam rumput laut merah. Selain K dan Cl⁻ komponen makro yang terdapat pada rumput laut adalah mineral Ca dan Na, sedangkan mineral P dan N merupakan komponen mikro (Diharmi *et al.*, 2019; Kustantinah *et al.*, 2022).

Potensi Pemanfaatan Limbah Rumput Laut

Berdasarkan beberapa literatur seperti disajikan pada tabel 2, cukup banyak penelitian yang telah dilakukan terkait dengan pemanfaatan limbah rumput laut. Hal ini tidak terlepas dari kandungan limbah yang potensial seperti yang telah diuraikan diatas. Pada pemanfaatan limbah padat sebagian besar penelitian menganalisis kandungan lignoselulosa. Kemudian dimanfaatkan untuk bahan baku bioetanol, biokomposit dan papan partikel. Sedangkan pada limbah cair memanfaatkan kandungan mineral seperti K, Cl⁻, Ca dan beberapa mineral lainnya yang bersumber dari bahan kimia untuk proses pengolahan dan juga dari bahan baku rumput laut tersebut. Kandungan mineral tersebut selanjutnya dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk.

Tabel 2. Potensi Pemanfaatan Limbah Rumput Laut

Potensi	Pustaka
Pemanfaatan limbah biomassa rumput laut dari residu industri karaginan untuk produksi bioetanol. Kandungan selulosa yang tinggi dan lignin yang rendah sebanding dengan produk pertanian atau hutan lainnya.	Uju et al (2015).
Pemanfaatan limbah padat dari pengolahan rumput laut untuk pembuatan biokomposit yang dipadukan dengan PLA (<i>poly lactic acid</i>). Kandungan selulosa yang tinggi pada limbah padat merupakan potensi untuk dijadikan serat biokomposit.	Santana et al (2015).
Limbah rumput laut mengandung mineral Strontium (Sr), Iron (Fe), Nickel (Ni), Zinc (Zn) memiliki potensi dijadikan material biomedical yang dipadukan dengan HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>).	Albano et al (2005).
Limbah cair dari proses produksi karaginan mengandung kalium (KOH), dan limbah cair dari proses pickling industri pelapisan mengandung kadar besi (FeCl ₃). Kedua limbah tersebut berpotensi dijadikan pupuk KCl apabila kedua jenis limbah tersebut dicampur.	Ariani et al (2014).
Kandungan mineral potassium pada limbah rumput laut memungkinkan untuk dijadikan sumber potasium pada pupuk. Selain itu masih terdapat sejumlah kecil kandungan Nitrogen, forfor dan Klorida.	Loppies & Yumas (2017).
Pemanfaatan limbah padat dari pengolahan rumput laut <i>Gracilaria sp.</i> untuk bahan baku pembuatan papan partikel. Kandungan selulosa yang tinggi pada limbah padat merupakan potensi untuk dijadikan bahan baku papan partikel.	Sedayu et al (2008).
Pemanfaatan limbah industri karaginan untuk menghasilkan gula yang dapat difermentasi yang kemudian dapat digunakan untuk produksi bioproduk bernilai tinggi dengan pendekatan biorefinery. Polisakarida yang terkandung di dalam limbah melalui proses sakarifikasi dengan menerapkan pretreatment fisikokimia diikuti dengan hidrolisis enzimatik menggunakan campuran enzim yang kompleks.	Vargas et al (2023).
Pemanfaatan limbah karaginan yang mengandung karbohidrat 11.36% dan serat kasar 11.64%. Serat kasar memiliki kandungan hemiselulosa sebesar 12.86% sedangkan selulosa dan lignin tidak terdeteksi. Komponen tersebut dapat dihidrolisis dan difermentasi menjadi bioethanol.	Haslianti (2013).
Pemanfaatan limbah dari sisa pengolahan agar yang mengandung selulosa yang cukup tinggi. Kandungan tersebut memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif.	Faujiah (2012).
Kandungan lignoselulosa pada limbah rumput laut <i>Gracilaria sp.</i> dan <i>Eucheuma cottonii</i> berpotensi untuk digunakan sebagai bahan polybag berbasis <i>medium density fiberboard</i> (MDF) untuk menggantikan material serbuk kayu yang umum digunakan.	Kurnia et al (2019).
Limbah padat sisa pengolahan rumput laut mengandung selulosa, hemiselulosa, lignin, pectin dan material organik lainnya. Kandungan tersebut memiliki potensi cukup besar untuk dikembangkan menjadi bioethanol.	. Winarni et al (2022).
Limbah padat pengolahan rumput laut diyakini mengandung zat-zat yang diperlukan bagi pertumbuhan mikroalga. Analisis nutrisi menunjukkan tingginya kandungan unsur hara mikro seperti tembaga (Cu), molibdat (Mo), seng (Zn), kobalt (Co), mangan (Mn), dan boron (B). Sedangkan nitrogen (N) dan fosfor (P) tersedia dalam jumlah yang relatif rendah, tetapi kandungan tersebut masih mencukupi sebagai media kultur untuk mikroalga.	Wage (2011).
Limbah sisa pengolahan rumput laut mengandung selulosa yang cukup tinggi sehingga menjadi salah satu bahan baku yang potensial dalam pembuatan bioethanol.	Hakim et al (2017).

Potensi	Pustaka
Kandungan lignoselulosa yang merupakan biomassa yang berasal dari tanaman dengan komponen utama lignin, selulosa, dan hemiselulosa terdapat dalam limbah sisa pengolahan rumput laut. Hal ini menjadi dasar pemanfaatan limbah tersebut untuk dijadikan bahan pembuatan bioethanol.	Wiratmaja (2011).
Rumput laut jenis <i>Gracilaria sp.</i> dan limbah sisa pengolahannya dapat digunakan sebagai substrat untuk bahan bioetanol, karena memiliki kandungan polisakarida jenis selulosa dan galaktan yang tinggi.	Adini <i>et al</i> (2015).
Limbah hasil ekstraksi <i>Halymenia sp.</i> dan <i>Gracilaria sp</i> dimanfaatkan sebagai serat penguat pada <i>high-density polyethylene</i> (HDPE). Untuk memperkuat ikatan antara HDPE dan serbuk limbah rumput laut tersebut digunakan serbuk sabut kelapa sebagai biokompatibiliser.	Burhani <i>et al</i> (2023).
Kandungan mineral potassium (K) yang terdapat pada limbah rumput laut memungkinkan untuk dijadikan sumber potasium pada pupuk karena nilainya sudah memenuhi standar SNI. Limbah tersebut kemudian dicampur dengan limbah industri galvanis yang mengandung banyak klorida (Cl-).	Pasae <i>et al</i> (2020).

Pemanfaatan Limbah untuk Pembuatan Bioetanol

Bioetanol dewasa ini sudah banyak dikembangkan sebagai salah satu energi terbarukan yang dihasilkan dari bahan organik seperti tanaman biomassa atau limbah organik. Pembuatan bioetanol dihasilkan melalui proses fermentasi gula atau pati oleh mikroorganisme pengurai seperti ragi untuk mengubah gula menjadi etanol. Salah satu keunggulan bioetanol adalah sifatnya yang dapat diperbaharui, karena berasal dari bahan organik tanaman yang dapat ditanam lagi. Tanaman yang banyak digunakan sebagai bahan baku bioetanol diantaranya adalah jagung, sorgum, tebu dan gandum. Sumber bahan baku tersebut merupakan tanaman pangan. Penggunaan tanaman pangan untuk produksi bioetanol dapat menimbulkan masalah persaingan dengan kebutuhan pangan. Oleh karena itu perlu mengembangkan sumber bahan baku non-pangan seperti pemanfaatan limbah biomassa (Uju *et al.*, 2015).

Dalam perkembangan pembuatan biofuel, etanol berbahan baku gula dan pati disebut sebagai biofuel generasi pertama dan etanol dari selulosa biomassa disebut sebagai etanol generasi kedua. Selulosa yang berasal dari biomassa, seperti limbah pertanian dan limbah kehutanan memiliki keuntungan berupa biaya rendah, ketersediaan melimpah, dan yang paling penting merupakan sumber nonpangan untuk produksi biofuel. Bahan baku lainnya yang berpotensi sebagai biofuel adalah alga, yang kemudian disebut sebagai biofuel generasi ketiga. Penggunaan alga sebagai bahan baku memberikan beberapa keuntungan seperti mengatasi masalah ketersediaan lahan,

kebutuhan air bersih dan pemasukan bidang pertanian (Kumar & Singh, 2019). Tetapi di sisi lain alga juga potensial untuk industri lainnya seperti industri pangan, kosmetik dan farmasi. Oleh karena itu beberapa penelitian mengarah kepada pemanfaatan limbahnya yang memiliki potensi besar karena pada industri agar hanya memanfaatkan sekitar 30% dan sisanya 60% sampai 70% dalam bentuk limbah.

Berdasarkan pada tabel 1 telah banyak dilakukan penelitian terkait dengan kandungan limbah rumput laut dan kemudian pada tabel 2 juga telah banyak penelitian yang mengembangkan bioetanol dari limbah rumput laut. Berdasarkan dari beberapa penelitian tersebut, yang menjadi dasar pemanfaatan limbah rumput laut sebagai bahan bioetanol adalah kandungan lignoselulosa yang merupakan komponen utama dalam dinding sel tanaman, yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin.

Uju *et al.* (2015) menyatakan bahwa limbah rumput laut dari industri karaginan memiliki potensi bahan baku biofuel dan biokimia karena memiliki kandungan selulosa yang tinggi dan lignin yang rendah. Bahkan proses sakarifikasi enzimatik yang tidak diberi perlakuan dapat menghasilkan konversi selulosa tertinggi yaitu mencapai 77%. Kandungan selulosa yang tinggi tersebut diperlukan untuk menghasilkan lebih banyak volatile, yang kemudian volatile tersebut digunakan untuk menyalakan dan oksidasi dalam pembakaran. Pernyataan yang sejalan juga disampaikan oleh Hakim *et al.* (2017), menyampaikan bahwa limbah sisa pengolahan industri agar merupakan salah satu bahan baku bioetanol yang potensial karena memiliki kandungan selulosa yang tinggi.

Pada proses pembuatan bioetanol berbahan limbah rumput laut dilakukan beberapa tahapan yaitu pre-treatment, hidrolisis, fermentasi dan pemisahan. Selulosa dan hemiselulosa merupakan bagian yang dibutuhkan untuk proses pembuatan bioetanol karena bagian tersebut yang akan diproses sakarifikasi. Sedangkan biomassa lignoselulosa memiliki struktur kompleks yang perlu dipecah untuk mempermudah akses enzim ke selulosa dan hemiselulosa di dalamnya. Oleh karena itu diperlukan proses pretreatment menggunakan perlakuan fisik, kimia, atau termal pada biomassa untuk mengurangi ketahanan dan memecahkan ikatan lignin yang menutupinya.

Telah banyak dilakukan penelitian terkait dengan optimalisasi pembuatan bioetanol dari limbah rumput laut. Haslianti (2013) melakukan optimalisasi pada proses hidrolisis dan fermentasi. Pada proses hidrolisis konsentrasi H_2SO_4 yang optimum untuk limbah karagenan *K. alvarezii* Doty adalah 1% selama 15 menit dan kadar gula pereduksi sebesar 17.90% (b/v). Pada proses fermentasi hasil optimum diperoleh pada fermentasi selama empat hari. Sementara itu Alfonsín et al. (2019) melakukan optimalisasi proses hidrolisis limbah karaginan *E. spinosum* menggunakan H_2SO_4 dengan konsentrasi 9% dengan rasio asam/rumput laut kering 7/1 dilanjutkan dengan proses fermentasi dilakukan selama 34 jam pada suhu 30 °C. Studi lain yang dilakukan oleh Yuliani et al. (2020) melakukan proses hidrolisis limbah karaginan *E. cottonii* menggunakan konsentrasi H_2SO_4 3% selama 30 menit pada suhu 70 – 80 °C yang dilanjutkan dengan proses fermentasi selama enam hari. Penelitian lain yang dilakukan oleh Hakim et al. (2017) lebih fokus pada optimalisasi proses fermentasi dengan metode *simultaneous saccharification and fermentation* (SSF) yaitu dengan melakukan variasi konsentrasi ragi *T. reesei* dan *S. cerevisiae*. Hasilnya menunjukkan bahwa perlakuan dengan konsentrasi *T. reesei* dan *S. cerevisiae* 10% pada limbah pengolahan rumput laut yang diolah menggunakan air panas merupakan perlakuan yang optimum untuk memperoleh rendemen produksi etanol tertinggi.

Pemanfaatan Limbah untuk Biokomposit

Biokomposit merupakan pengembangan perpaduan material yang memanfaatkan polimer sebagai matriks dan serat alami sebagai penguat. Penggunaan serat alami tersebut salah satunya bertujuan untuk menciptakan material yang mudah terdegradasi (Laftah & Majid, 2019). Saat ini sudah banyak pengembangan pemanfaatan

polimer alami sebagai bahan paduan biokomposit. Bahan alami yang digunakan adalah bahan yang memiliki kandungan lignoselulosa (Azzouz, 2020; Kazemi et al., 2022). Berdasarkan uraian tersebut limbah rumput laut juga berpotensi dijadikan serat biokomposit. Hal ini karena berdasarkan literatur seperti disajikan pada tabel 1, disampaikan bahwa limbah padat rumput laut memiliki kandungan selulosa dan hemiselulosa yang cukup untuk dijadikan serat alami biokomposit.

Melihat potensi tersebut telah dilakukan beberapa kajian dan penelitian. Santana et al. (2015) melakukan penelitian pemanfaatan limbah padat dari pengolahan rumput laut *Gelidium* dan *Gracilaria* sp. sebagai biokomposit yang dipadukan dengan plastic *polylactic acid* (PLA). Dasar penelitian tersebut adalah pemanfaatan limbah padat yang memiliki kandungan selulosa dan hemiselulosa yang cukup tinggi, selain itu juga mengandung berbagai polisakarida yang memiliki potensi untuk dijadikan serat biokomposit. Hasil penelitian secara keseluruhan menunjukkan bahwa biokomposit ini memiliki sifat termal dan mekanik yang baik. Selain itu, penggunaan limbah rumput laut sebagai serat komposit merupakan alternatif yang murah dan ramah lingkungan.

Penelitian yang sejalan juga dilakukan oleh Burhani et al. (2023) yang melakukan penelitian tentang pemanfaatan ekstrak *Halymenia* sp. dan Limbah ekstraksi *Gracilaria* sp sebagai serat penguat pada *high-density polyethylene* (HDPE). Untuk memperkuat ikatan antara HDPE yang bersifat hidrofobik dengan ekstrak dan limbah rumput laut yang bersifat hidrofilik ditambahkan serbuk sabut kelapa sebagai biokompatibiliser. Pemanfaatan ekstrak dan limbah rumput laut sebagai matriks dilatarbelakangi oleh sifat rumput laut yang memiliki kandungan serat tinggi dan keberadaannya yang belum terekplorasi. Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa dengan menambahkan ekstrak HDPE - *Halymenia* dan HDPE - limbah *Gracilaria* serta penambahan serbuk sabut kelapa sebanyak 1% dapat meningkatkan modulus elastisitas berturut-turut sebesar 21,43% dan 55,71% dibandingkan dengan HDPE murni.

Sementara itu Albano et al. (2005) melakukan pengamatan sifat termal, mekanikal, morfologi biokomposit berbahan dasar HDPE dengan residu rumput laut. Residu rumput laut yang digunakan adalah rumput laut sisa sortiran yang tidak dioalah menjadi produk, bukan limbah ekstraksi rumput laut. Latar belakang

penelitian adalah bahwa residu rumput laut memiliki kandungan mineral Strontium (Sr), Iron (Fe), Nickel (Ni), Zinc (Zn) memiliki potensi dijadikan material biomedical yang dipadukan dengan HDPE. Hasilnya adalah komposit HDPE dan residu rumput laut menunjukkan sifat mekanik, termal, termodegradatif yang cocok untuk aplikasi sebagai bahan biomaterial.

Penelitian lain dilakukan oleh Sedayu *et al.* (2008) yang melakukan studi pemanfaatan limbah pada dari pengolahan rumput laut *Gracilaria sp.* untuk bahan baku pembuatan papan partikel. Dasar pemikirannya adalah memanfaatkan kandungan selulosa yang tinggi pada limbah padat. Produk yang dibuat adalah papan partikel dengan serat alami dari limbah padat olahan rumput laut *Gracilaria sp.* Hasil yang diperoleh menunjukkan sifat mekanik untuk nilai uji patah dan lentur masih berada di bawah standar JIS A 5908, namun nilai uji kerekatan memenuhi standar JIS A 5908. Sifat fisik kerapatan, kadar air, dan pengembangan tebal secara keseluruhan telah memenuhi standar JIS A 5908.

Pemanfaatan Limbah untuk Pupuk

Unsur hara utama yang dibutuhkan oleh tanaman terdiri dari nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), sedangkan unsur hara sekunder meliputi kalsium (Ca), magnesium (Mg), dan sulfur (S). Selain itu, terdapat unsur hara mikro yang diperlukan dalam jumlah yang lebih sedikit, seperti besi (Fe), mangan (Mn), tembaga (Cu), seng (Zn), dan boron (B). Kekurangan atau kelebihan unsur hara tersebut dapat mengakibatkan gangguan pertumbuhan tanaman dan mengurangi produktivitasnya (Kathpalia & Bhatla, 2023). Oleh karena itu, penting untuk menyediakan tanaman dengan unsur hara yang seimbang sesuai dengan kebutuhannya.

Untuk memenuhi kebutuhan unsur hara diperlukan pupuk yang mengandung unsur-unsur tersebut. Berdasarkan pada tabel 1 kandungan limbah rumput laut terdapat beberapa unsur yang dibutuhkan oleh tanaman. Kandungan yang dominan dalam limbah cair yaitu K, Cl⁻, N, Ca, P dan Na yang berasal dari bahan baku rumput laut sendiri dan bahan kimia yang ditambahkan pada proses ekstraksi. Berdasarkan latar belakang tersebut sudah banyak dilakukan penelitian dan kajian terkait dengan pemanfaatan limbah cair rumput laut untuk pembuatan pupuk.

Beberapa penelitian menggunakan limbah cair sebagai bahan tambahan dan juga mencampur

dengan jenis limbah lain pada formula pupuk supaya unsur hara yang diperlukan tanaman terpenuhi. Loppies & Yumas (2017) melakukan penelitian dengan mengambil limbah cair dari industri pengolahan rumput laut. Limbah cair tersebut diproses dengan memberikan bahan tambahan sebagai sumber hara dan zat pertumbuhan. Proporsi limbah cair yang digunakan antara 60 – 80%. Bahan tambahan yang digunakan adalah bahan organik termasuk limbah padat rumput laut. Formula tersebut kemudian difermentasi secara anaerob selama 15 hari untuk menghasilkan pupuk cair. Pupuk cair yang dihasilkan dapat memberikan efek pertumbuhan lebih baik untuk tanaman pertanian.

Ariani *et al.* (2015) dan Pasae *et al.* (2020) melakukan penelitian yang hampir sama dengan memanfaatkan limbah alkali industri rumput laut dan limbah pickling industri pelapisan logam sebagai pupuk anorganik. Potensi yang dilihat adalah pembuatan pupuk KCl yang diperoleh dengan mengambil kadar potassium yang terdapat pada limbah alkali industri rumput laut dan dari proses pickling industri pelapisan logam. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kadar potassium dan klorida dari hasil pengolahan limbah cair industri rumput laut memenuhi standar SNI 02-2805:2005 dengan nilai berturut turut yaitu 727 – 16443 ppm (standar SNI 600 ppm), 700 – 120900 ppm (standar SNI 475.5 ppm).

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian tentang kandungan limbah rumput laut dan potensi pemanfaatannya sudah banyak dilakukan. Sebagian besar penelitian mengamati kandungan serat yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignoselulosa. Hasil penelitian menunjukkan kandungan yang cukup tinggi. Namun dari beberapa penelitian nilainya sangat bervariasi yang diduga disebabkan oleh berbagai faktor baik internal maupun eksternal. Penelitian lain yang banyak dilakukan adalah mengamati tentang kandungan mineralnya. Mineral tersebut berasal dari bahan baku rumput laut dan juga bahan tambahan yang diberikan dalam proses pengolahan. Berdasarkan kandungan limbah rumput laut tersebut, penelitian lanjut yang dilakukan mengarah pada potensi pemanfaatan selulosa dan mineral dominan. Potensi pemanfaatan yang banyak dikaji adalah sebagai bahan baku bioetanol, biokomposit dan pupuk. Hasil penelitian sebagai bahan baku bioetanol dan biokomposit menunjukkan tren yang positif karena didukung oleh teori yang kuat. Namun untuk saat ini sebagian besar penelitian masih dalam tahap

pengembangan awal dan masih terbatas pada penelitian skala laboratorium. Kondisi yang hampir sama juga terjadi pada penelitian pemanfaatan limbah untuk bahan baku pupuk. Sebagian besar penelitian juga masih terbatas pada skala laboratorium. Namun perkembangannya lebih maju karena sebagian sudah sampai pada tahap pengujian lapang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada dosen pembimbing utama, dosen pembimbing pendamping, seluruh civitas akademi Magister Teknik Sistem Universitas Gadjah Mada, dan Badan Riset dan Inovasi Nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Adini, S., Kusdiyantini, E., Biologi, M., & Sains, F. (2015). Produksi Bioetanol dari Rumput Laut dan Limbah Agar *Gracilaria* sp. dengan Metode Sakarifikasi yang Berbeda. *BIOMA*, 16(2), 67-75.
- Ahmed, S., & Husain, Q. (2011). Food and Bioproducts Processing Lactose Hydrolysis from Milk/Whey in Batch and Continuous Processes by Concanavalin A-Celite 545 Immobilized *Aspergillus oryzae* β galactosidase. *Food and Bioproducts Processing*, 90(2), 351–359. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.07.003>
- Albano, C., Karam, A., Domínguez, N., Sánchez, Y., González, J., Aguirre, O., & Cataño, L. (2005). Thermal, Mechanical, Morphological, Thermogravimetric, Rheological and Toxicological Behavior of HDPE/Seaweed Residues Composites. *Composite Structures*, 71(3–4), 282–288. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2005.09.036>.
- Albarkah, A.M., Ramadhani, M.A., Zahra, S.S., Noviantika, S., Oktaviani, V. D. (2023). Optimalisasi Penggunaan Pupuk Organik KCl untuk Pertumbuhan Tanaman dan Pelestarian Lingkungan. *Digitani IPB*, 1–5.
- Alfonsín, V., Maceiras, R., & Gutiérrez, C. (2019). Bioethanol Production from Industrial Algae Waste. *Waste Management*, 87, 791–797. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.03.019>.
- Ariani, N. M., Cahyono, H. B., Surabaya, B. I., & Perindustrian, K. (2015). Pemanfaatan Limbah Alkali Industri Rumput Laut dan Limbah *Pickling* Industri Pelapisan Logam sebagai Pupuk Anorganik. *Jurnal Riset Industri (Journal of Industrial Research)*, 9(1), 39–48.
- Azzouz, L. (2020). Development and Characterisation of Novel Biocomposites Fabricated Using Natural Fibres and Rapid Prototyping Technology. [Dissertation]. University of Hertfordshire.
- Basmal, J., Widanarto, A., Kusumawati, R., & Bandol, S. (2014). Utilization of Alginate Extraction Waste and Fish Silage as Raw Materials for Organic Fertilizer. *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*, 9(2), 109–120.
- Burhani, D., Wijayanto, A., Andreansyah, I., & Widyawati, Y. (2023). Utilization of Indonesian Seaweed in Polyethylene-based Composite with Coconut Husk Powder as Bio-compatible. *Materials Today: Proceedings*, (xxxx), 765. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.765>.
- Cas, P. (2021). Acute Hazards Prevention Fire & Inhalation Skin Eyes Ingestion Symptoms Storage Environment, 1141(November 2016), 1–2.
- Diharmi, A., Fardiaz, D., & Andarwulan, N. (2019). Chemical and Minerals Composition of Dried Seaweed *Eucheuma spinosum* Collected from Indonesia Coastal Sea Regions. *International Journal of Oceans and Oceanography*, 13(1), 65–71.
- Faujiah, F. (2012). Pemanfaatan Karbon Aktif dari Limbah Padat Industri Agar-Agar sebagai Adsorben Logam Berat dan Bahan Organik dari Limbah Industri Tekstil. [Tesis]. Institut Pertanian Bogor.
- Hakim, A., Chasanah, E., & Santoso, J. (2017). Bioethanol Production from Seaweed Processing Waste by Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF). *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 12(2), 41–47.
- Haslianti. (2013). Pemanfaatan Limbah Karaginan *Kappaphycus alvarezii* Doty dalam Proses Pembuatan Bioetanol. [Tesis]. Institut Pertanian Bogor.
- Herliany, N.E., Utami, M.A.F., Wilopo, M.D., Permatasari, N., Muda, D.I., Mutiara, S.D., Dewi, W. L. (2022). Potensi *Sargassum crassifolium* dan *Boergessenia forbesii* Asal Pantai Teluk Sepang sebagai Pangan Fungsional. *Seminar Nasional Hasil Penelitian Kelautan dan Perikanan Tahun, UNIB*, 5587, 21–29.
- Jumaidin, R., Sapuan, S. M., Jawaid, M., Ishak, M. R., & Sahari, J. (2017). Characteristics of *Eucheuma cottonii*

- Waste from East Malaysia: Physical, Thermal and Chemical Composition. *European Journal of Phycology*, 52(2), 200–207. <https://doi.org/10.1080/09670262.2016.1248498>.
- Kathpalia, R., & Bhatla, S. C. (2023). Plant Mineral Nutrition. Springer Nature Singapore Pte Ltd.
- Kazemi, H., Mighri, F., & Rodrigue, D. (2022). A Review of Rubber Biocomposites Reinforced with Lignocellulosic Fillers. *Journal of Composite Science*, 183(6), 1–32. <https://doi.org/10.3390/jcs6070183h>.
- Khaldun, R.I. (2017). Strategi Kebijakan Peningkatan Daya Saing Rumput Laut Indonesia di Pasar Global. *Jurnal Sospol*, 3(1), 99-125.
- Kompas. (2021, 24 Juli). Dukung Ekonomi Biru, Kementerian KP Dorong Riset Olahan Rumput Laut Nirlimbah. Diakses pada 20 Januari 2024, dari https://nasional.kompas.com/read/2021/07/24/13120371/dukung-ekonomi-biru-kementerian-kp-dorong-riset-olahan-rumput-laut-nirlimbah?page=all#google_vignette.
- Krishnaiah, D., Sarbatly, R., & Bono, A. (2008). Mineral Content of Some Seaweeds from Sabah's South China Sea. *Asian Journal of Scientific Research*, 1(2), 166-170. <https://doi.org/10.3923/ajsr.2008.166.170>
- Kumar, D., & Singh, V. (2019). Bioethanol Production From Corn. Corn (3rd ed.). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00022-X>
- Kustantinah, Hidayah, N. U. R., Noviandi, C. U. K. T. R. I., & Astuti, A. (2022). Nutrients Content of Four Tropical Seaweed Species from Kelapa Beach, Tuban, Indonesia and Their Potential as Ruminant Feed. *BIODIVERSITAS*, 23(12), 6191–6197. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d231213>.
- Laftah, W. A., & Majid, R. A. (2019). Development of Bio-composite Film Based on High Density Polyethylene and Oil Palm Mesocarp Fibre. *SN Applied Sciences*, 1(11), 1–7. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1402-7>.
- Macartain, P., Gill, C. I. R., Brooks, M., Campbell, R., & Rowland, I. R. (2007). Nutritional Value of Edible Seaweeds. *Nutrition Reviews*, 65(12), 535–543. <https://doi.org/10.1301/nr.2007.dec.535>.
- Madera-Santana, T. J., Freile-Pelegrín, Y., Encinas, J. C., Ríos-Soberanis, C. R., & Quintana-Owen, P. (2015). Biocomposites based on poly(lactic acid) and seaweed wastes from agar extraction: Evaluation of physicochemical properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 132(31), 1–8. <https://doi.org/10.1002/app.42320>
- Maharani, A.A., Husni, A., E. N. (2017). Karakteristik Natrium Alginat Rumput Laut Cokelat Sargassum Fluitans dengan Metode Ekstraksi yang Berbeda. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(3), 478-487.
- Morais, T., In, A., Coutinho, T., & Ministro, M. (2020). Seaweed Potential in the Animal Feed: A Review. *Journal of Marine Science and Engineering Review*, 559 (8), 1–24.
- Munifah, I., & Irianto, H. E. (2018). Characteristics of Solid Waste Agar Industries. *Squalen Bulletin of Marine and Fisheries Postharvest and Biotechnology*, 13(3), 125–132.
- Nakhate, P., & Meer, Y. Van Der. (2021). A Systematic Review on Seaweed Functionality: A Sustainable Bio-Based Material. *Sustainability*, 6174 (13), 2-26. <https://doi.org/10.3390/su13116174htt>.
- Nurhayati, Kusumawati, R. (2014). Sintesis Selulosa Asetat dari Limbah Pengolahan Agar. *JPB Perikanan*, 9 (2), 97–107.
- Papadopoulos, A. P., Bar-tal, A., & Raviv, M. (2008). Inorganic and Synthetic Organic Components of Soilless Culture and Potting Mixes. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-044452975-6.50014-9>.
- Pasae, R., Maming, Soekendarsi, E. (2020). Making of KCl Liquid Fertilizer from Liquid Waste Manufacture of Seaweed and Galvanized Industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 473. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/473/1/012076>
- Perlite Institute, I. (2011). Physical Characteristics Perlite. Diakses pada 13 Agustus 2023, dari <https://www.perlite.org/wp-content/uploads/2018/03/physical-characteristics-perlite.pdf>.
- Rasyid, A., Ardiansyah, A., & Pangestuti, R. (2019). Nutrient Composition of Dried Seaweed *Gracilaria gracilis*. *Indonesian Journal of Marine Sciences*, 24(1), 1–6. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.24.1.1-6>
- Razali, N., Sapuan, S. M., & Jawaid, M. (2015). A Study on Chemical Composition, Physical, Tensile, Morphological, and Thermal Properties of Roselle Fibre:

- Effect of Fibre Maturity. *BioResources*, 10(1), 1803-1824. <https://doi.org/10.15376/biores.10.1.1803-1824>.
- Sedayu, B. B., Widiyanto, T. N., Basmal, J., & Bandol Utomo, B. S. (2008). Pemanfaatan Limbah Padat Pengolahan Rumput Laut *Gracilaria sp.* untuk Pembuatan Papan Partikel. *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*, 3(1), 1-9. <https://doi.org/10.15578/jpbkp.v3i1.5>.
- Sidongpong, L.E., Oedjoe, M.D.T., Djonu, A. (2022). Kualitas Sifat Fisik Karaginan, Proksimat, dan Organoleptik *Kappaphycus alvarezii* pada Umur Panen Berbeda di Perairan Pasir Panjang Kota Kupang. *Jurnal Aquatik*, 5(1), 98–109.
- Triwisari, D. A. (2010). Fraksinasi Polisakarida Beberapa Jenis Rumput Laut. [Thesis]. Institut Pertanian Bogor.
- Uju, Wijayanto, A. T., Goto, M., & Kamiya, N. (2015). Great potency of seaweed waste biomass from the carrageenan industry for bioethanol production by peracetic acid e ionic liquid pretreatment. *Biomass and Bioenergy*, 81, 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.05.023>.
- Vargas, A. R.-, Gallé, A., Blandino, A., & García, L. I. R.-. (2023). Use of Macroalgal Waste from the Carrageenan Industry as Feedstock for the Production of Polyhydroxybutyrate. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 17, 1290–1302. <https://doi.org/10.1002/bbb.2508>.
- Wage, K. (2011). Kajian Pemanfaatan Limbah Padat Industri Pengolahan Rumput Laut Sebagai Media Kultur Mikroalga *Chlorella sp.* *Jurnal Teknologi Lingkungan. BPPT*, 12(3), 241–250.
- Winarni, I., Uju, Santoso, J. Wibowo, T. (2022). Bioethanol Production from Seaweed Solid Waste Biomass of Agar Processing. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 1024. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1027/1/012029>.
- Wiratmaja, I. G., Bagus, I. G., Kusuma, W., & Winaya, I. N. S. (2011). Pembuatan Etanol Generasi Kedua dengan Memanfaatkan Limbah Rumput Laut *Eucheuma Cottonii* Sebagai Bahan Baku. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 5(1), 75-84.
- Yuliani, N., & Prihantara, A. (2020). Utilization of Residual Carrageenan Extract from *Eucheuma Cottonii* Seaweed Into Bioethanol. *Indonesian Journal of Applied Research*, 1(1), 25–31.
- Yumas, M., Loppies, J. E., Ristanti, E. Y., & Asriati, W. (2019). Utilization of Semi-Refined Carrageenan Processing Industry Waste from *Eucheuma sp.* as Liquid Fertilizer in Horticultural Crops. *Jurnal Industri Hasil Perkebunan*, 12(2), 66–75.
- Yun, J., Archer, S. D., & Price, N. N. (2023). Valorization of Waste Materials from Seaweed Industry: An Industry Survey Based Biorefinery Approach. *Reviews in Aquaculture*, 15, 1020–1027. <https://doi.org/10.1111/raq.12748>.
- Yustin, D., Angelia, D.R., Hala, Y., Taba, P. (2005). Analisis Potensi Limbah Cair Hasil Pengolahan Rumput Laut sebagai Pupuk Buatan. *Marina Chimica Acta*, 6(1), 2–8.
- Zaqyyah, K., Subekti, R., Lamid, M. (2020). Characterization of Activated Carbon from Industrial Solid Waste Agar with a Different Activator Concentrations. *Omni-Akuatika, Journal of Fisheries and Marine Research*, 16(1), 77–82.
- Zero Waste sg. (2014). The Zero Waste Hierarchy. Diakses pada 20 Februari 2024, dari <http://www.zerowastesg.com/zero-waste/>.