
AGRITEKNO: Jurnal Teknologi Pertanian

Laman Jurnal: <https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/agritekno>

Masa Depan dan Pengembangan Bioetanol di Indonesia

The Future and Development of Bioethanol in Indonesia

Moh J. M. Khabibulloh, Nanik Suhartatik, Akhmad Mustofa*

Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi dan Industri Pertanian, Universitas Slamet Riyadi, Jl. Sumpah Pemuda 18 Joglo, Surakarta, Jawa Tengah, 5713 Indonesia

*Penulis korespondensi: Akhmad Mustofa, e-mail: garadaiva@gmail.com

ABSTRACT

Bioethanol plays a crucial role in Indonesia's development, given its wide application across various industries, such as food, chemicals, pharmaceuticals, cosmetics, and alternative fuels. The diversity of feedstocks available for bioethanol production, ranging from food crops, lignocellulose, and food waste to microalgae, reflects positive advancements in production technologies. This study examines several aspects of bioethanol, including its historical development, the specifications applied in Indonesia, feedstock types, and the current demand for bioethanol in the country. The primary aim of this research is to identify the most promising feedstocks for large-scale bioethanol production in Indonesia. The methodology employed is a narrative literature review, drawing from 33 journal articles, ten thesis documents, ten web articles, and four publications from the National Standardization Agency of Indonesia and Statistics Indonesia. The analysis identifies the best feedstocks for bioethanol production in Indonesia, highlighting macroalgae, microalgae, and food waste as having significant potential to support the sustainable growth of the bioethanol industry in the future.

Keywords: Bioethanol; food waste; industry; microalgae

ABSTRAK

Bioetanol memiliki peran yang sangat penting dalam konteks pembangunan Indonesia, mengingat penggunaannya yang luas di berbagai sektor industri, seperti industri pangan, kimia, farmasi, kosmetik, serta sebagai bahan bakar alternatif. Keberagaman bahan baku yang dapat digunakan untuk produksi bioetanol, mulai dari tanaman pangan, lignoselulosa, limbah makanan, hingga mikroalga, mencerminkan kemajuan teknologi dalam proses produksinya. Penelitian ini mengkaji berbagai aspek terkait bioetanol, termasuk sejarah perkembangannya, spesifikasi yang berlaku di Indonesia, jenis-jenis bahan baku yang digunakan, serta kebutuhan bioetanol di tanah air. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi bahan baku yang paling potensial untuk produksi bioetanol dalam skala besar di Indonesia. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *narrative literature review*, yang mengacu pada 33 artikel jurnal, 10 publikasi skripsi, 10 artikel dari situs web, dan empat artikel dari Badan Standarisasi Nasional dan Badan Pusat Statistik. Berdasarkan hasil analisis, bahan baku terbaik untuk produksi bioetanol di Indonesia saat ini meliputi makroalga, mikroalga, dan limbah makanan, yang menunjukkan potensi besar dalam mendukung keberlanjutan industri bioetanol di masa depan.

Kata kunci: Bioetanol; industri; limbah makanan; mikroalga

PENDAHULUAN

Saat ini ilmu pengetahuan semakin berkembang pesat. Penelitian-penelitian banyak dilakukan untuk mencari solusi yang paling efektif untuk banyak permasalahan. Permasalahan yang saat ini banyak terjadi adalah menipisnya sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui, contohnya minyak mentah. Minyak mentah menjadi salah satu sumber daya alam yang dibutuhkan di seluruh dunia. Namun seiring berjalannya waktu ketersediaan minyak mentah semakin menipis karena diambil secara terus menerus. Hal tersebut tentunya menjadi kekhawatiran akan pasokan minyak mentah di masa depan.

Kabar baiknya, saat ini telah banyak dikembangkan alternatif pengganti dari minyak mentah, yaitu bioetanol. Bioetanol merupakan alternatif bahan pengganti minyak mentah yang berkelanjutan, karena terbuat dari bahan alam yang melimpah dan dapat dibudidayakan. Sebelumnya minyak mentah menjadi salah satu bahan baku untuk etanol, yaitu etilen yang diekstraksi dari minyak mentah. Bioetanol merupakan bentuk etanol yang diperoleh dari proses fermentasi. Etanol atau etil alkohol adalah senyawa organik yang memiliki rumus kimia C_2H_5OH dan rumus empiris C_2H_6O (Wusnah *et al.*, 2019).

Bioetanol adalah salah satu bahan yang penting khususnya di bidang industri. Karena banyak sektor industri yang membutuhkan bioetanol sebagai bahan baku maupun bahan bakar. Di antaranya industri makanan dan minuman, bahan kimia, industri farmasi, serta industri kosmetik perawatan tubuh dan juga sebagai bahan bakar alternatif terbarukan.

Produksi bioetanol di Indonesia hampir semuanya bersumber dari tetes tebu atau molasses, dikarenakan bahan bakunya yang cukup banyak di Indonesia. Namun ketersediaan bioetanol untuk kebutuhan dalam negeri masih kurang. Saat ini, bioetanol berbasis tebu untuk fuel grade ethanol (FGE) di tingkat nasional hanya sekitar 40.000 kiloliter (kL) per tahun. Padahal berdasarkan roadmap di Indonesia bioetanol berbahan dasar tebu, diperkirakan pada tahun 2026 akan bertambah menjadi 623.000 kiloliter (Rahayu, 2024). Maka dari itu, perlu adanya tindak lanjut agar kebutuhan bioetanol untuk industri dalam negeri dapat terpenuhi dan tidak hanya terbatas dari satu sumber bahan baku. Kurangnya ketersediaan bioetanol untuk industri di Indonesia menjadikan kajian literatur tentang bioetanol penting untuk ditelaah lebih mendalam.

Penelitian ini memaparkan tentang sejarah bioetanol, spesifikasi bioetanol yang berlaku di Indonesia, bahan baku pembuatan bioetanol, dan kebutuhan bioetanol di Indonesia. Dibandingkan dengan berbagai artikel yang sudah ada, penelitian ini menawarkan bahan baku non-konvensional seperti makroalga, mikroalga, dan limbah makanan sebagai alternatif yang sangat potensial untuk produksi bioetanol dalam skala besar. Mikroalga dan makroalga sebagai bahan baku pembuatan bioethanol memanfaatkan potensi geografis dan ekologi Indonesia sebagai negara kepulauan, menawarkan solusi inovatif untuk mengurangi ketergantungan pada bahan baku tradisional seperti tebu dan jagung. Penelitian ini sekaligus menawarkan strategi bagaimana bioetanol dapat menjadi solusi untuk mengatasi limbah makanan di Indonesia. Pendekatan ini menggabungkan produksi energi berkelanjutan dengan pengelolaan limbah, yang relevan dengan tantangan global tentang ekonomi sirkular.

METODOLOGI

Kajian literatur bioetanol ini tergolong dalam penelitian narrative literature review (NRL) yang merupakan metode kualitatif. Teori-teori yang diperoleh dikaji dan ditulis ulang menjadi sebuah naskah baru. Penulisan kajian literatur ini dibatasi hal-hal berikut: 1) Sumber dari penelitian ini diperoleh dari artikel-artikel jurnal dan sumber lain dengan rentang waktu 10 tahun terakhir (2014-2024) yang sesuai dengan judul sebagai sumber utama dan rentang waktu lebih dari 10 tahun sebagai sumber pendukung; 2) Kata kunci pencarian penelitian berdasarkan kata bioethanol; dan 3) Jumlah artikel yang digunakan dalam penelitian ini adalah 33 artikel jurnal, 10 publikasi skripsi, 10 artikel dari situs web, dan 4 artikel dari Badan Standarisasi Nasional dan Badan Pusat Statistik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sejarah Bioetanol

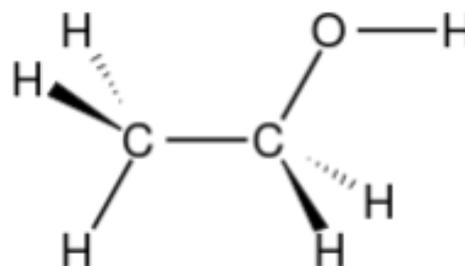
Jejak alkohol yang ditemukan di lesung batu menunjukkan bahwa masyarakat Natufian, pemburu-pengumpul semi nomaden kuno (13.000 tahun), telah memproduksi roti dan alkohol tertentu. Alkohol yang dihasilkan dari roti

merupakan hasil fermentasi alami yang terjadi ketika roti rusak atau tidak dikonsumsi dan ragi yang ada di dalamnya berinteraksi dengan gula yang terkandung dalam roti (Liu *et al.*, 2018; Liu *et al.*, 2019a).

Hal ini berbeda dengan bukti sebelumnya bahwa orang-orang mengonsumsi minuman beralkohol 9.000 tahun yang lalu di Tiongkok. Namun, menurut catatan sejarah, orang-orang di Tiongkok, India, Timur Tengah, dan Eropa semuanya mengembangkan penyulingan anggur dan menyebarkan teknologinya ke seluruh dunia (Liu *et al.*, 2019b). Dari minuman menjadi sanitiser, dari bahan kimia hingga bahan bakar, bioetanol mengalami pergeseran peran sejalan dengan kemajuan IPTEK (Liu *et al.*, 2019b).

Saat ini bioetanol dikenal sebagai senyawa alkohol yang dihasilkan melalui proses fermentasi biomassa tumbuhan dengan peran mikroorganisme (Yuniarti *et al.*, 2018). Bioetanol adalah bentuk etanol yang dihasilkan dari proses fermentasi dari tanaman. Etanol atau etil alkohol merupakan senyawa organik dengan rumus kimia C_2H_5OH dan rumus empiris C_2H_6O . Etil alkohol adalah isomer konstitusional dari dimetil eter (Madhu, 2019; Wusnah *et al.*, 2019). Ada dua jenis etanol yang diproduksi di seluruh dunia, yaitu etanol

fermentasi yang disebut bioetanol dan etanol sintetik (Alzeer & Hadeed, 2016).



Gambar 1. Struktur molekul dari etanol dan bioetanol (Wusnah *et al.*, 2019)

Etanol bisa diproduksi secara sintesis dari etilen, dengan bahan baku yang diekstraksi dari minyak mentah gas alam, dan melalui fermentasi (Bioetanol) dari gula yang berasal dari tanaman atau produk pertanian atau non-pertanian lainnya. Etanol sintesis dari etilen secara kimiawi identik dengan Bioetanol yang berasal dari proses fermentasi. Kedua proses tersebut menghasilkan produk berbasis etanol-air. Namun, bioetanol yang dihasilkan melalui proses fermentasi mengandung berbagai pengotor yang harus dihilangkan untuk mencapai kadar dan kemurnian yang sama seperti etanol sintesis (Sasma, n.d.).

Tabel 1.

Bioetanol terdenaturasi

No	Parameter	Satuan, min/maks	Persyaratan ^{a)}
1	Kadar etanol ^{b)}	%-v, min.	99,5 (setelah didenaturasi dengan denatonium benzoat) 94,0 (setelah didenaturasi dengan hidrokarbon)
2	Kadar metanol	%-v, maks.	0,5
3	Kadar air	%-v, maks.	0,7
4	Kadar denaturan Hidrokarbon atau Denatonium Benzoat	%-v mg/l	2-5 4-10
5	Kadar tembaga (Cu)	mg/kg, maks.	0,1
6	Keasaman sebagai asam asetat	mg/l, maks.	30
7	Tampakan	-	jernih jernih dan terang, terang, tidak ada tidak ada endapan dan kotoran
8	Kadar ion klorida (Cl ⁻)	mg/l, maks.	20
9	Kandungan belerang (S)	mg/l, maks.	50
10	Kadar getah purwa dicuci (washed gum)	mg/100ml, maks	5,0

a) Jika tidak diberikan catatan khusus, nilai batasan (spesifikasi) yang tertera adalah nilai untuk bioetanol yang sudah didenaturasi dan akan dicampurkan ke dalam bensin pada kadar sampai dengan 10%-v.

b) FGE umumnya memiliki berat jenis dalam rentang 0,7936 - 0,7961 pada kondisi 15,56/15,56 °C, atau dalam rentang 0,7871 - 0,7896 pada kondisi 25/25 °C, diukur dengan cara piknometri atau hidrometri yang sudah sangat lazim diterapkan di dalam industri alkohol.

Sumber: SNI 7390:2012, Badan Standarisasi Nasional (2012)

Sifat dan Klasifikasi Bioetanol

Kadar bioetanol dapat bervariasi. Bioetanol yang memiliki konsentrasi 90-94% dikategorikan sebagai bioetanol tingkat industri, sementara bioetanol dengan konsentrasi 94-99,5% dikategorikan bioetanol tingkat netral yang biasanya digunakan untuk campuran minuman beralkohol. Kemudian, untuk bioetanol tingkat bahan bakar memiliki konsentrasi minimal 99,5% (Rifa'i *et al.*, 2022). Di Indonesia, terdapat dua standar resmi bioetanol yang diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI), yakni SNI 7390:2012 untuk bioetanol yang telah didenaturasi dan SNI 3565-2009 untuk etanol nabati. Etanol nabati memiliki tiga jenis pengelompokan, yaitu bioetanol mutu 1, mutu 2, dan mutu 3. Semua jenis SNI bioetanol tersebut diukur pada suhu 15°C (Badan Standardisasi Nasional, 2012; Badan Standarisasi Nasional, 2009). Syarat bioetanol terdenaturasi, setelah didenaturasi dengan denatonium benzoat minimum memiliki kadar etanol 99,5%, apabila didenaturasi dengan hidrokarbon maka minimal kadar etanolnya 94%.

Bioetanol terdenaturasi dibuat untuk tidak dapat dikonsumsi oleh manusia dengan menambahkan satu atau lebih bahan kimia. Bioetanol yang didenaturasi (baik 95% maupun absolut) mengandung bahan kimia seperti denatonium benzoat dan hidrokarbon sehingga tidak aman untuk diminum. Biasanya lebih murah dibandingkan bioetanol murni, karena tidak dikenakan pajak minuman dan sering digunakan sebagai bahan pembersih dan disinfektan. Bioetanol merupakan desinfektan yang efektif pada

konsentrasi antara 70-90%, bioetanol berair merupakan denaturan protein yang lebih efektif dibandingkan etanol absolut. Bioetanol terdenaturasi umumnya digunakan dalam industri parfum (Alzeer & Hadeed, 2016).

Bioetanol terdenaturasi biasanya digunakan untuk kebutuhan industri, berbagai kegunaannya seperti berikut: di sektor konstruksi, bioetanol biasanya digunakan sebagai pelarut cat atau aerosol. Produk kebersihan, seperti cairan pencuci, kosmetik, dan produk pembersih. Selain itu, sektor farmasi menggunakan bioetanol sebagai bahan dasar yang ramah lingkungan juga aman untuk disinfektan dan *surgical spirit* (Nedstar, n.d.). Bioetanol mutu 1 minimal memiliki kadar etanol 96,3%, mutu 2 minimal memiliki kadar etanol 96,1%, dan mutu 3 minimal memiliki kadar etanol 95%.

Sumber-Sumber Pembuatan Bioetanol

Sumber bioetanol bisa didapatkan dari tumbuhan yang kaya akan pati, glukosa, dan serat selulosa. Contoh tumbuhan yang memiliki kandungan pati antara lain rambutan, tengkawang, kelapa, jarak pagar, kelapa sawit, sirsak, kapuk, malapari, dan nyamplung, singkong (Wusnah *et al.*, 2019). Sementara itu, sumber glukosa dapat berasal dari nira tebu, nira aren, tetes tebu atau *molasses*, dan nira sorgum manis. Adapun tanaman yang menghasilkan serat selulosa meliputi bagas(ampas tebu), batang sorgum, jerami, kayu, dan batang pisang (Wusnah *et al.*, 2019).

Tabel 2.
Syarat mutu untuk etanol nabati

No	Uraian	Persyaratan mutu			
		Satuan	Mutu 1	Mutu 2	Mutu 3
1	Kadar etanol pada 15 °C	% v/v	Min. 96,3	Min. 96,1	Min. 95,0
		% b/b	Min. 94,4	Min. 94,1	Min. 92,5
2	Bahan yang dapat dioksidasikan, pada 15°C (waktu uji permanganat)	Menit	Min. 30	Min. 15	-
3	Minyak fusel	mg/L	Maks. 4	Maks. 15	-
4	Aldehid (sebagai asetaldehid)	mg/L	Maks. 4	Maks. 10	-
5	Keasaman (sebagai asam asetat)	mg/L	Maks. 20	Maks. 30	Maks. 60
6	Sisa Penguapan Maksimum	mg/L	Maks. 25	Maks. 25	Maks. 50
7	Metanol	mg/L	Maks. 10	Maks. 30	Maks. 100

Sumber: SNI SNI 3565-2009, Badan Standarisasi Nasional (2009)

Tabel 3.

Bahan baku bioetanol yang telah dikembangkan

No	Sumber	Bahan Baku
1	Limbah pangan	Kulit durian (Irhamni <i>et al.</i> , 2019)
2	Limbah pangan	Kulit pisang, ampas tebu, tetes tebu (Wusnah <i>et al.</i> , 2019)
3	Limbah pangan	Kulit rambutan (Hutagalung <i>et al.</i> , 2023)
4	Limbah pangan	Kulit kentang (Fatimah <i>et al.</i> , 2021)
5	Limbah pangan	Kulit singkong (Guntama <i>et al.</i> , 2019)
6	Limbah pangan	Sabut kelapa (Darojati <i>et al.</i> , 2019)
7	Bahan Pangan	Tebu, singkong, rambutan, sirsak, kelapa, tengkawang (Wusnah <i>et al.</i> , 2019)
8	Bahan Pangan	Jagung, gandum, kentang (Yuniarti <i>et al.</i> , 2018)
9	Bahan Pangan	Mangga, papaya, anggur, apel, beri, plum, persik (Dahiya & Nigam, 2018)
10	Bahan Pangan	Nira aren (Ngapa & Gago, 2020)
11	Alga	Makroalga dan Mikroalga (Jannah <i>et al.</i> , 2023)
12	Tumbuhan biomasa	Kelapa sawit, kapuk, jarak pagar, batang sorgum, batang pisang, jerami, kayu, nyamplung, dan malapari (Wusnah <i>et al.</i> , 2019)
13	Tumbuhan biomasa	<i>Eucalyptus</i> dan <i>Larch Dahurian</i> (Niphadkar <i>et al.</i> , 2017)

Bioetanol juga dapat diproduksi dengan memanfaatkan kandungan karbohidrat yang berasal dari bahan pangan. Seiring dengan adanya kemajuan teknologi, sekarang bioetanol dapat diproduksi tidak hanya dari sumber gula dan pati, tetapi juga dari limbah lignoselulosa seperti ampas tebu, jerami padi, dan jerami gandum. Selain itu, bahan baku lainnya yang kaya karbohidrat seperti makroalga dan mikroalga juga dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan bioethanol (Jannah *et al.*, 2023). Bahan baku bioetanol yang telah dikembangkan oleh para peneliti begitu banyak, rangkuman bahan baku bioetanol yang pernah diteliti disajikan dalam Tabel 3.

Hingga saat ini, penelitian tentang bahan baku bioetanol yang sesuai telah mendorong perkembangan tiga generasi bioetanol. Bioetanol generasi pertama bersumber dari tanaman pangan seperti jagung dan tebu, yang banyak digunakan di Amerika Serikat dan Brasil, serta gandum dan bit gula yang umumnya digunakan di Eropa. Namun, etanol generasi pertama memiliki beberapa kelemahan, seperti penggunaan sumber pangan sebagai bahan bakar yang dapat mengancam pasokan pangan dan meningkatkan harga pangan (Liu *et al.*, 2019).

Kemudian, muncul generasi kedua bioetanol yang dihasilkan dari biomassa lignoselulosa seperti sisa hutan, sisa pertanian, dan limbah perkotaan sebagai solusi untuk mengatasi kelemahan bahan baku pada generasi pertama. Namun, pengembangan industri bioetanol generasi kedua menghadapi tantangan dalam beberapa masalah teknologi, termasuk biaya tinggi dalam proses perlakuan pendahuluan dan rendahnya hasil

bioetanol yang dihasilkan (Liu *et al.*, 2019). Oleh karena itu, diperlukan teknologi dan fasilitas yang lebih maju untuk meningkatkan efisiensi konversi. Masalah lain adalah pengumpulan bahan baku, di mana penebangan kayu mungkin diperlukan dan dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Sebagai solusi, pengembangan bioetanol dari tumbuhan laut (alga) memiliki potensi untuk menghasilkan biomassa dalam jumlah besar, dan ini dikenal sebagai bioetanol generasi ketiga (Liu *et al.*, 2019).

Bioetanol generasi ketiga, seperti makroalga dan mikroalga, adalah sumber terbarukan yang menarik untuk produksi bioetanol. Makroalga dan mikroalga memiliki keunggulan dibandingkan biomassa dari bahan makanan atau selulosa. Alga mencakup berbagai organisme fotosintetik yang hidup di berbagai lingkungan dan terdapat di semua ekosistem bumi. Alga autotrofik menyerap sinar matahari dan mengikat karbon anorganik untuk menghasilkan karbohidrat yang dapat digunakan dalam produksi bioetanol. Keberlanjutan dan efisiensi produksi masih menjadi tantangan, namun dengan penelitian dan pengembangan yang terus-menerus, potensi alga sebagai sumber bahan baku bioetanol dapat dimanfaatkan lebih baik di masa depan (Liu *et al.*, 2019).

Bioetanol berbahan dasar makroalga dan mikroalga ini sangat berpotensi besar di Indonesia, karena Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia yang terletak di Asia Tenggara, di antara benua Asia dan Australia serta di antara Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Terdapat 17.001 pulau di Indonesia (Kementerian Dalam Negeri,

2022), dengan luas lautan NKRI mencapai 6,4 juta km², jauh lebih luas daripada luas daratannya. Lautan Indonesia merupakan bagian terbesar dari Segitiga Terumbu Karang, sehingga keanekaragaman biota laut di wilayah ini sangat tinggi. Mikroalga sebagai bahan baku fermentasi untuk produksi bioetanol dapat berkembang biak dengan pesat di perairan dan lautan. Mereka tidak memerlukan lahan pertanian, sehingga tidak bersaing dengan produksi pangan. Selain itu, mikroalga memiliki siklus panen yang sangat pendek (1–2 minggu) jika dibandingkan dengan bahan baku bioetanol lainnya, serta dapat menghasilkan bioetanol dengan produktivitas yang tinggi, seperti *Arthrospira platensis*, *Botryococcus braunii*, *Chlorella vulgaris*, dan *Nannochloropsis* (Mussatto *et al.*, 2010; Ma'mun *et al.*, 2022).

Niphadkar *et al.* (2017) menyoroti evolusi pengembangan bioetanol hingga produksi bioetanol generasi keempat yang futuristik. Di antaranya, mengimpor gen tertentu ke dalam *E. coli* untuk memecah biomassa selulosa, sehingga menciptakan pasokan gula yang berlimpah dan murah. Hal tersebut menjadi peluang yang cukup bagus, karena mikroorganisme ini telah diteliti mampu menerima perubahan genetik dengan baik. Selain itu, *E. coli* tumbuh tiga kali lebih cepat dibandingkan ragi dan 100 kali lebih cepat dibandingkan kebanyakan mikroba pertanian (Niphadkar *et al.*, 2017).

Produksi bioetanol generasi keempat juga didukung oleh penemuan tanaman biomassa yang dapat dimodifikasi agar berfungsi sebagai alat "penangkap karbon" yang efisien dalam menyerap CO₂ dari atmosfer dan menyimpannya di dahan, batang, dan daunnya untuk produksi bioetanol selulosa. Tanaman yang dimaksud adalah *Eucalyptus* dan *Larch Dahurian* yang dapat dirancang rendah lignin untuk menyimpan lebih banyak karbon dioksida daripada pohon biasa. Tanaman-tanaman tersebut banyak ditemukan di Asia Timur Laut dan Siberia (Niphadkar *et al.*, 2017).

Selulosa, hemiselulosa, dan lignin pada pohon semuanya tercipta dari unsur karbon. Namun, hanya selulosa yang dapat digunakan dalam proses komersial pembuatan pulp dan ekstraksi bioetanol. Lignin adalah 'lem' yang merekatkan selulosa. Lignin merupakan hambatan utama dalam produksi bioetanol selulosa. Maka dari itu, inovasi pohon *Eucalyptus* dan *Larch Dahurian* yang rendah lignin menjadi kabar baik dalam perkembangan produksi bioetanol di masa depan (Iram *et al.*, 2021).

Di Indonesia pada tahun 2023 bioetanol fuel grade baru mencapai 40.000 kiloliter per tahun. Produksi ini masih jauh dari kebutuhan Indonesia yaitu sebesar 696.000 kiloliter (Portal Informasi Indonesia, 2023). Di tahun 2024 produksi bioetanol secara total telah mencapai 365.000 kiloliter yang diproduksi oleh 13 pabrik yang ada di Indonesia. Namun demikian hanya 4 pabrik saja yang mampu memproduksi bioetanol dengan kualitas fuel grade (Waluyo, 2024). Mayoritas produksi bioetanol di Indonesia berbahan baku tetes tebu. Tetes tebu sebagai bahan baku pembuatan bioetanol diperoleh dari pabrik gula yang masih banyak beroperasi di Indonesia, terutama di Jawa Timur yang mempunyai paling banyak pabrik gula beroperasi di Indonesia.

Selain tetes tebu potensi industri bioetanol di Indonesia juga kaya limbah makanan, menurut Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) mencatat sampah sisa makanan Indonesia mencapai 15,76 juta ton (39,67%) dalam skala nasional pertahun (SIPSN, 2024). Banyaknya limbah makanan yang ada sangat memungkinkan untuk menjadikannya bahan baku produksi bioetanol skala besar dengan memilah limbah makanan yang mengandung pati, glukosa dan serat selulosa. Hal ini juga bisa menjadi solusi penanganan limbah makanan yang sampai sekarang masih menjadi permasalahan di Indonesia. Tentu saja peran pemerintah sangat diperlukan dalam pengelolaan limbah makanan menjadi bioetanol.

Penggunaan Bioetanol Dalam Dunia Industri

Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Alternatif

Bioetanol adalah alternatif untuk bahan bakar yang berkelanjutan, karena terbuat dari bahan alam yang melimpah dan dapat dibudidayakan. Sejak tahun 1980-an, penggunaan campuran bioetanol dan bahan bakar minyak telah menjadi praktik umum untuk menggantikan penggunaan bahan bakar minyak murni. Negara-negara seperti Amerika Serikat, Kanada, dan Brasil sangat bergantung pada bioetanol sebagai komponen penting dalam sistem energi mereka, baik sebagai penambah pada bahan bakar maupun sebagai bahan bakar utama untuk transportasi (Liu *et al.*, 2019). Sesuai dengan standar kualitas UE EN 228, bioetanol dapat dicampur dengan bahan bakar minyak hingga 5% tanpa memerlukan modifikasi mesin. Namun, dengan melakukan modifikasi pada mesin, campuran bioetanol dapat digunakan dalam persentase yang lebih tinggi (Liu

et al., 2019). Misalnya, di sejumlah negara bagian di Amerika Serikat, campuran bioetanol dalam bahan bakar minyak sedikit lebih tinggi, mencapai 10% volume, yang dikenal sebagai E10. Di Brasil, bioetanol dapat digunakan secara murni atau dicampur dengan bahan bakar minyak dalam komposisi yang dikenal sebagai gasohol, dengan komposisi 24% bioetanol dan 76% bahan bakar. Salah satu campuran bahan bakar kendaraan yang paling umum digunakan adalah E85, yang terdiri dari 85% bioetanol dan 15% bahan bakar minyak (Liu *et al.*, 2019).

Di Indonesia juga telah menerapkan etanol atau bioetanol sebagai energi terbarukan untuk substitusi BBM (Wiratmaja & Elisa, 2020). Namun saat ini, ketersediaan *fuel grade ethanol* (FGE) secara nasional, hanya sekitar 40.000 kiloliter (kL) per tahun. Kuantitas ini masih jauh untuk mencukupi kebutuhan nasional. Sesuai dengan perencanaan pengembangan bioetanol berbasis dasar tebu, diperkirakan kebutuhan bioetanol akan naik menjadi 623.000 kL pada tahun 2026. Oleh karena itu, Pemerintah sudah berupaya untuk meningkatkan pasokan bioetanol melalui Peraturan Presiden No. 40 Tahun 2023 tentang Percepatan Swasembada Gula Nasional dan Penyediaan Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Nabati (*biofuel*), yang menargetkan ketersediaan FGE mencapai 1,2 juta kL pada tahun 2030 (Rahayu, 2024).

Ketersediaan bioetanol yang masih belum memadai di Indonesia, membuat pemerintah mengambil langkah bekerja sama dengan Brasil untuk meningkatkan produksi bioetanol berbasis tebu. Kerjasama tersebut diharapkan mampu memenuhi kebutuhan bioetanol di Indonesia di masa mendatang (Afrizal, 2014).

Bioetanol dalam Industri Makanan dan Minuman

Bioetanol adalah senyawa volatil paling umum dalam makanan yang dihasilkan melalui fermentasi gula (Alzeer & Hadeed, 2016). Bioetanol banyak digunakan sebagai pelarut organik, perasa, pewarna, dan pengawet dalam makanan olahan (Oh & Kim, 2021).

Pelarut makanan

Bioetanol juga dimanfaatkan sebagai pelarut bahan pangan seperti mikroalga untuk membuat roti. Warna roti berbahan dasar mikroalga berwarna hijau pekat, rasa dan aromanya cenderung amis. Proses pelarutan mikroalga dengan mengekstrasinya terbukti dapat menghilangkan warna, rasa dan aroma roti yang

kurang disukai oleh konsumen. Selain itu ekstraksi mikroalga yang dilakukan dapat meningkatkan kandungan protein dan serat pangan (Sousa, 2021).

Perasa makanan

Bioetanol juga merupakan bahan baku untuk pembuatan cuka. Cuka yang berasal dari bioetanol memiliki umur simpan yang lebih panjang, dihasilkan dari bioetanol murni yang dilarutkan (Irharni *et al.*, 2019). Asam cuka adalah senyawa kimia asam organik yang berfungsi sebagai penambah rasa dan aroma dalam bahan pangan. Asam cuka adalah hasil dari proses pengolahan pangan melalui fermentasi. Proses fermentasi glukosa secara anaerob menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* akan menghasilkan etanol. Selanjutnya, fermentasi etanol secara aerob dengan bakteri *Acetobacter aceti* akan menghasilkan asam cuka. Asam cuka bisa diproduksi dari berbagai bahan dasar yang memiliki kandungan gula atau pati, melalui proses fermentasi glukosa yang kemudian diikuti oleh fermentasi bioetanol (Irharni *et al.*, 2019). Bahan baku pembuatan bioetanol dari cuka sangat beragam, di antaranya yang umum kita kenal adalah cuka apel. Selain itu juga dari tetes tebu, limbah jus nanas, kulit durian dan ekstrak kurma (Irharni *et al.*, 2019).

Pewarna makanan

Penggunaan bioetanol sebagai pewarna makanan alami merupakan bagian dari tren penggunaan *biocolorant* dalam industri makanan saat ini (Thakur & Modi, 2022). Menggantikan pewarna sintetis yang memiliki efek samping pada kesehatan jika dikonsumsi dalam jangka waktu yang lama. Pewarna alami yang berasal dari tumbuhan, mikroorganisme, dan hewan ini semakin disukai karena manfaat keamanan dan kesehatannya (Bora *et al.*, 2019). Bioetanol digunakan sebagai pelarut warna atau pigmen dari tumbuhan maupun mikroorganisme. Ekstraksi karotenoid dari kulit wortel dengan karbondioksida superkritis (S-CO₂) bersama dengan etanol sebagai pelarut, mendapatkan hasil ekstraksi yang cukup optimal dengan yield sebesar 80% mengandung 4.9 mg/100 g DW (de Andrade Lima *et al.*, 2018).

Pengawet makanan

Bioetanol juga bermanfaat sebagai pengawet untuk makanan. Di Korea bioetanol banyak digunakan sebagai pengawet kue beras komersial (teok) (Oh & Kim, 2021). Ogidi *et al.* (2020) juga

melakukan penelitian bioetanol dari limbah pertanian sebagai bahan pengawet buah dan sayuran yang ramah lingkungan. Bioetanol dihasilkan dari limbah pertanian dengan menggunakan *S. carlsbergensis* dalam fermentasinya dapat digunakan untuk menjaga kesegaran buah dan sayuran. Bioetanol dari limbah pertanian ini mampu mengurangi limbah di lingkungan, selain itu juga menjaga buah dan sayuran dari pembusukan pasca panen (Ogidi *et al.*, 2020).

Bioetanol juga dikembangkan sebagai *ethanol emitters* untuk pengawetan makanan. *Ethanol emitters* merupakan kemasan aktif yang memanfaatkan etanol sebagai bahan aktif. Etanol dalam kemasan aktif ini berfungsi untuk menghambat pertumbuhan mikroba dan memperlambat proses staling pada roti (Shalita, 2024). *Ethanol emitters* memberikan banyak harapan dalam hal memperpanjang umur simpan produk tanpa memerlukan peralatan atau bahan pemrosesan atau pengemasan yang lebih canggih (Mugasundari & Anandakumar, 2022).

Minuman

Bioetanol merupakan komponen utama dari minuman beralkohol yang telah digunakan selama berabad-abad lalu (Liu *et al.*, 2019). Bahan baku bioetanol yang akan digunakan sebagai minuman beralkohol dapat bersumber dari tetes tebu atau buah-buahan yang mengandung gula. Bioetanol yang bersumber dari buah-buahan manis tergolong kelas mahal, seperti anggur, beri, plum, manga, pepaya dan persik (Dahiya & Nigam, 2018).

Minuman beralkohol banyak jenisnya, diantaranya bir, *wine* (anggur), *spirits* (minuman keras), sake (arak jepang), soju (arak korea), tuak (arak Indonesia). Setiap jenis minuman beralkohol memiliki kadar alkohol yang berbeda beda. Bir memiliki kadar alkohol antara 2% hingga 8%. *Wine* memiliki kadar alkohol berkisar antara 10% hingga 20%. *Spirit* atau minuman keras memiliki kadar yang cukup tinggi antara 35% hingga 50%. Soju dan sake memiliki kadar alkohol 20% hingga 40% (Gunardi, 2023). Sedangkan untuk tuak umumnya memiliki kadar alkohol 5% hingga 20%, namun untuk tuak bali memiliki kadar alkohol yang lebih tinggi yaitu 20% hingga 50% (PIB College, 2022).

Di Indonesia banyak dikembangkan minuman beralkohol dari berbagai tanaman dan buah buahan lokal, seperti *wine* yang berbahan dasar dari singkong. Hasil penelitian yang telah dilakukan dengan konsentrasi pasta singkong 15% (b/v) dan lama fermentasi 3 minggu menghasilkan

kadar alkohol 11,47% dan nilai total khamir $3,10 \times 10^4$ koloni/mL dengan yield alkohol sebesar 83,11% (Hawusiwa *et al.*, 2015).

Bioetanol dalam Industri Kimia

Etil akrilat

Etil akrilat merupakan senyawa kimia yang memiliki ikatan rangkap. Umumnya digunakan sebagai komonomer, bersama dengan *acrylonitrile*, dalam proses pembuatan *acrylic* dan *modacrylic fibers*. Selain itu, etil akrilat banyak digunakan di dalam negeri untuk berbagai keperluan, seperti sebagai pelapis pada logam, bahan baku pembuatan serat, semir, kertas, dan buku. Etil akrilat juga sering dimanfaatkan dalam industri tekstil untuk bahan pelapis (Reldian & Setyati, 2020).

Polimerisasi etil akrilat dapat menghasilkan sifat fisik yang beragam. Hal ini dapat dicapai dengan mengatur proporsi monomer yang digunakan. Umumnya, polimer etil akrilat memiliki ketahanan yang tinggi terhadap bahan-bahan kimia dan pengaruh lingkungan. Selain itu, polimer etil akrilat juga memiliki tampilan yang sangat jernih dan kuat (Reldian & Setyati, 2020). Etil akrilat adalah senyawa organik yang memiliki formula kimia $C_5H_8O_2$, yang memiliki gugus ester reaktif serta gugus vinil. Senyawa ini digunakan sebagai bahan baku intermediat dalam produksi berbagai produk, seperti cat, kulit, *thickener*, *coating*, dan *adhesive* (Setiawan *et al.*, 2022).

Tahapan untuk memproduksi etil akrilat, yaitu reaksi, pemurnian, dan daur ulang. Pertama, dilakukan reaksi esterifikasi antara bioetanol dan asam akrilat pada suhu 100°C. Reaksi ini menggunakan katalis asam sulfat. Proses esterifikasi bersifat endotermis, sehingga dilakukan pada rentang suhu 100°-111°C, dan dibantu dengan pemanasan menggunakan *heating jacket* pada suhu 170°C untuk mencapai konversi 54%. Setelah itu, hasil dari reaksi esterifikasi dimasukkan ke dalam menara destilasi untuk memisahkan fraksi berat dan fraksi ringan. Selanjutnya, hasil dari proses distilat diekstraksi untuk memisahkan produk etil akrilat dari etanol, menggunakan pelarut toluen pada *settling tank*. Produk etil akrilat yang telah dimurnikan di menara distilasi mencapai kemurnian 99%. Sebelum disimpan di tangki, produk didinginkan menggunakan *heat exchanger* hingga suhu 30 °C dan diturunkan tekanan hingga 1 atm dengan menggunakan *expansion valve* (Setiawan *et al.*, 2022).

Kebutuhan etil akrilat terbesar berasal dari wilayah Asia Pasifik, yaitu mencapai 48% dari total kebutuhan global. Kebutuhan ini diprediksi akan mengalami pertumbuhan ke depannya. Maka dari itu, pendirian pabrik etil akrilat di Indonesia merupakan langkah awal yang baik untuk memenuhi permintaan di Indonesia dan wilayah Asia Pasifik (Setiawan *et al.*, 2022).

Tabel 4.

Data impor etil akrilat 2017-2021 (Purnama, 2023)

Tahun	Jumlah (ton/tahun)
2017	26.323
2018	26.362
2019	29.741
2020	31.181
2021	36.002

Sumber: BPS, 2017-2021.

Etil asetat

Etil asetat memiliki rumus kimia ($\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$) adalah sebuah cairan yang tidak berwarna, mudah larut dalam air atau pelarut organik. Etil asetat banyak digunakan sebagai bahan untuk pelarut organik yang banyak dimanfaatkan dalam industri tinta, resin, farmasi, atau kosmetik (Rachmawan, 2014). Di Indonesia kebutuhan etil asetat setiap tahunnya mengalami peningkatan hampir 16,7% (Badan Pusat Statistik, 2014). Akan tetapi, pabrik etil asetat dalam negeri belum mampu memenuhi permintaan tersebut. Oleh karena itu, pemerintah masih harus mengimpor etil asetat dari luar negeri. (Rachmawan, 2014). Data impor, produksi, dan ekspor etil asetat di *Indonesia* tahun 2014-2021 dapat dilihat pada Tabel 4 (BPS, 2021; Rasyid, 2022).

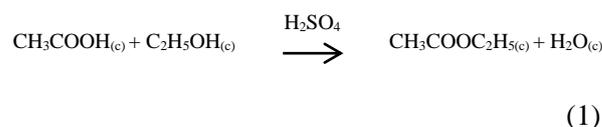
Tabel 5.

Data impor, produksi dan ekspor etil asetat di Indonesia tahun 2014-2021

Tahun	Impor (ton/tahun)	Produksi (ton/tahun)	Ekspor (ton/tahun)
2014	28.500	7.500	216.001,00
2015	71.649	7.500	-
2016	80.433	7.500	16.011,00
2017	87.390	7.500	-
2018	93.819	7.500	-
2019	84.157	7.500	-
2020	91.651	7.500	-
2021	91.858	7.500	0,03

Sumber: BPS, 2014-2021

Tahap produksi etil asetat dilakukan melalui reaksi esterifikasi antara asam asetat dan bioetanol dengan katalis asam sulfat. Reaksi ini berlangsung di dalam Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB), berikut reaksi yang terjadi (Rachmawan, 2014).



Proses Tischenco adalah metode pembuatan etil asetat secara komersial. Pada proses ini, bioetanol diubah menjadi asetaldehid dengan menggunakan katalis aluminium. Yield yang dihasilkan pada proses ini mencapai 61%. Berikut reaksinya: (Rachmawan, 2014)



Dietil eter

Dietil eter dengan rumus molekul $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, memiliki sebutan lain yaitu etil eter. Dietil eter adalah salah satu eter komersial dengan berat molekul 74,12 g/mol dan titik didih $34,6^\circ\text{C}$. Dietil eter merupakan senyawa yang mudah terbakar, yang ditandai dengan simbol api dalam notasi kimianya. Selain itu, senyawa ini juga dikenal dengan nama etoksieta atau hanya eter, dengan rumus $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{-O-CH}_2\text{CH}_3$. Dietil eter merupakan salah satu eter yang paling penting (Hakim, 2023). Dietil eter adalah cairan transparan dengan aroma yang khas, yaitu manis namun sedikit menyengat (Hakim, 2023). Senyawa dietil eter merupakan hasil dari reaksi dehidrasi etanol, selain itu juga terbentuk senyawa etilen, berikut reaksi kimianya: (Wardiyah, 2016).



Dietil eter memiliki berbagai fungsi, di antaranya sebagai pelarut dalam reaksi-reaksi kimia organik dan untuk memisahkan senyawa organik dari sumber alami. Dietil eter juga digunakan sebagai pelarut untuk minyak, lemak, getah, resin, mikroselulosa, parfum, alkaloid, serta dalam industri pembuatan butadiena. Selain itu juga, sebagai bahan anestesi di bidang kedokteran (Wardiyah, 2016).

Hingga sekarang, Indonesia belum memiliki industri pembuatan dietil eter, untuk memenuhi kebutuhan. Indonesia masih mengimpor dietil eter dari luar negeri. Padahal, kebutuhan dietil eter di Indonesia makin meningkat, terutama untuk kebutuhan di bidang industri dan farmasi. Fakta ini didukung dengan data impor dietil eter yang secara konsisten mengalami kenaikan rata-rata 10-15% per tahunnya (Christian & Putra, 2018).

Tabel 6.

Sifat fisik dietil eter (Christian & Putra, 2018)

Sifat Fisik	Keterangan
Rumus molekul	C ₂ H ₅ OH
Berat molekul (gram/mol)	46,07
Bentuk	Cair
Warna	Jernih
Titik lebur pada 1 atm (°C)	-114 °C
Titik didih pada 1 atm (°C)	78,5 °C
Densitas pada 25 °C (gram/mL)	0,7893
Temperatur kritis (°C)	243,25
Tekanan kritis (atm)	63,84
Volume kritis (cm ³ /mol)	166,9

Tahun 2011 hingga 2018 tercatat kenaikan kebutuhan impor dietil eter di Indonesia sebesar 8,4234%. Guna memenuhi kebutuhan dalam negeri, Indonesia terpaksa mengimpor dietil eter dari negara lain. Amerika Serikat, India, dan Tiongkok menjadi penyuplai utama impor dietil eter bagi Indonesia (Hakim, 2023). Produksi dietil eter untuk memenuhi kebutuhan di Indonesia sangat diperlukan agar proses pembangunan dan kemajuan negara terus dapat berkembang. Oleh karena itu, pendirian pabrik produksi dietil eter memiliki peluang yang cukup besar saat ini di Indonesia (Christian & Putra, 2018).

Bioetanol dalam Industri Farmasi

Dalam industri farmasi, bioetanol digunakan dalam proses pelapisan film untuk produksi tablet dan sebagai pelarut untuk melarutkan bahan pengawet seperti injeksi (Hans *et al.*, 2023; Sen *et al.*, 2021). Pelarut organik yang berbeda seperti bioetanol, aseton dan isopropanol telah digunakan dalam formulasi tablet dan kapsul selama proses granulasi basah dan proses pelapisan film (Hans *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2019). Bioetanol (95%, v/v) banyak digunakan sebagai pembawa spektrum obat yang luas seperti larutan yodium dan dekongestan batuk (Alzeer & Hadeed, 2016; Hans *et al.*, 2023). Saat ini, penggunaan bioetanol yang paling

terkenal dalam terapi tentunya adalah penggunaan luarnya sebagai antiseptik desinfektan. Memang benar, bioetanol (bersama dengan isopropanol dan n-propanol) adalah alkohol yang paling banyak digunakan sebagai disinfektan antimikroba dan antiseptik. Bioetanol memiliki spektrum aksi yang luas terhadap bakteri vegetatif, termasuk mikobakteri (tetapi bukan bakteri yang bersporulasi), virus, dan jamur (Le Daré & Gicquel, 2019). Alkohol melakukan aktivitasnya dengan mendenaturasi protein membran dan sitoplasma, mengganggu metabolisme sel, dan dengan demikian menghasilkan lisis sel. Tidak seperti antiseptik lainnya, efektivitas bioetanol tidak berkorelasi linier dengan konsentrasinya. Aktivitas antimikroba optimal pada kisaran 60% hingga 90% namun turun drastis di bawah 50% (Le Daré & Gicquel, 2019).

Penawar racun

Bioetanol mengalami metabolisme oksidatif fase I yang intens oleh alkohol dehidrogenase (ADH) dan sitokrom P450 2E1, yang menghasilkan asetaldehida. Asetaldehida adalah racun yang kuat dan memiliki banyak efek berbahaya. Pada akhirnya, asetaldehida dimetabolisme menjadi asetat dan kemudian dihilangkan oleh asetaldehida dehidrogenase (Le Daré & Gicquel, 2019). Dalam kasus keracunan bioetanol atau etilen glikol, bioetanol dapat digunakan sebagai substrat ADH kompetitif untuk secara signifikan mengurangi produksi metabolit toksik bioetanol (yaitu formaldehida) dan etilen glikol (yaitu asam glikolat dan asam oksalat). Tujuan pengobatan adalah mempertahankan kadar bioetanol antara 1 dan 1,5 g/L hingga konsentrasi serum bioetanol atau etilen glikol turun hingga di bawah 0,20 g/L. (Le Daré & Gicquel, 2019).

Embolisasi

Bioetanol absolut telah digunakan sebagai agen kemoembolisasi selama bertahun-tahun karena efek trombotiknya. Selain itu, kemajuan teknis dalam radiologi intervensi telah memungkinkan akses yang sangat selektif ke banyak bidang anatomi (Le Daré & Gicquel, 2019). Bioetanol menginduksi trombosis dengan mendenaturasi protein darah, menghilangkan dinding pembuluh darah sel endotel, memicu protoplasma sel endotel, dan secara segmental mematahkan dinding pembuluh darah pada lamina elastis internal (Le Daré & Gicquel, 2019). Berdasarkan pengamatan ini, suntikan alkohol perkutan memiliki dua indikasi terapeutik utama:

pengobatan malformasi arteriovenosa, dan embolisasi tumor.

Bioetanol dalam Industri Kosmetik dan Perawatan Tubuh

Bioetanol banyak digunakan sebagai pelarut pada semua jenis produk seperti produk perawatan pribadi, farmasi, dan termasuk produk parfum. Parfum tersebut mengandung bahan utama seperti air dan wewangian, dengan kadar bioetanol 50% hingga 80% (Baharum *et al.*, 2020; Syariena & Puziah, 2014). Bioetanol digunakan dalam parfum karena merupakan pelarut yang sangat baik, membantu menambahkan setiap bahan pada konsentrasi yang diinginkan dan membantu mencapai larutan transparan (Baharum *et al.*, 2020). Bioetanol adalah unsur molekuler yang terdapat dalam berbagai senyawa yang dicampur untuk komposisi produk kosmetik. Bioetanol hadir dalam pengawet, zat pengencer, pengemulsi, pelarut, dan surfaktan. Semua senyawa ini dapat ditambahkan untuk membuat sabun dengan kualitas tertentu. Bioetanol mempunyai fungsi sebagai surfaktan yang mempunyai manfaat paling besar dalam kegunaannya bagi pembuatan kosmetik. Surfaktan adalah senyawa yang mengikat permukaan dua molekul yang jika tidak, tidak akan terikat bersama (Nell, 2022).

Potensi bahan baku untuk produksi bioetanol skala besar di Indonesia

Kebutuhan bioetanol di Indonesia sangat variatif seperti bahan bakar, bahan makanan minuman, industri, farmasi dan kosmetik. Kebutuhan bahan bakar bioetanol untuk bahan bakar saja pada tahun 2026 diperkirakan mencapai sebanyak 623.000 kL.

Bahan baku dalam pembuatan bioetanol yang telah diteliti juga sangat banyak, namun tidak semua bahan baku bisa digunakan untuk produksi bioetanol skala besar untuk memenuhi kebutuhan bioetanol di Indonesia. Dari sekian banyak bahan baku bioetanol yang berpotensi untuk produksi skala besar adalah mikroalga, makroalga karena Indonesia merupakan Negara kepulauan dengan luas laut 6,4 juta km² lahan yang sangat luas untuk memperoleh dan budidaya makroalga dan mikroalga. Budidaya mikroalga dapat dilakukan di berbagai media kultur tanpa harus menggunakan air bersih, namun bisa menggunakan air limbah, air laut), atau air payau. Produksi mikroalga tidak bersaing dengan kebutuhan air yang digunakan

untuk irigasi tanaman atau untuk konsumsi manusia dan hewan. Selain itu, budidaya mikroalga dapat dilakukan di area yang kecil dan di lahan yang tidak dapat digarap, seperti lahan semi-gersang atau gurun, karena faktor utama yang mempengaruhi perkembangan mikroalga adalah ketersediaan sinar matahari dan air untuk budidaya. Selain itu potensi lain untuk produksi bioetanol skala besar adalah sampah sisa makanan di Indonesia yang mencapai 46,35 juta ton dalam skala nasional pertahun.

Banyaknya manfaat bioetanol untuk berbagai industri menjadikannya sebagai peluang bisnis yang cukup menjanjikan di masa depan, khususnya di Indonesia. Selain itu kebutuhan etanol industri 60-70% berasal dari bioetanol dan sisanya dipenuhi oleh etanol sintetik (Sasma, n.d.). Tentu saja menjadi peluang yang sangat baik untuk pengembangan produksi bioetanol skala besar di Indonesia.

KESIMPULAN

Bioetanol banyak dimanfaatkan di Indonesia dalam berbagai industri, seperti industri makanan dan minuman, bahan kimia, industri farmasi, industri kosmetik perawatan tubuh dan sebagai bahan bakar alternatif terbarukan. Kebutuhan bioetanol yang besar di Indonesia ini menjadi peluang bisnis yang cukup menjanjikan didukung dengan potensi bahan baku yang tersedia. Potensi bahan baku pembuatan bioetanol yang belum banyak dimanfaatkan di Indonesia adalah limbah sampah makanan dan budidaya makroalga maupun mikroalga.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrizal, D.R. (2014). Motivasi Brazil melakukan kerjasama pengembangan bioetanol dengan Indonesia tahun 2007-2012. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Ilmu Sosial Dan Ilmu Politik Universitas Riau*, 1, 1169–1180.
- Alzeer, J., & Hadeed, K.A. (2016). Ethanol and its Halal status in food industries Jawad. *Trends in Food Science & Technology*, 58, 14-20. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.018>
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Bioetanol Terdenaturasi untuk Gasohol*. SNI 7390:2012.
- Badan Standardisasi Nasional. (2009). *Etanol nabati*. 1–11.

- Badan Pusat Statistik (2014). *Statistik Indonesia*. Jakarta: BPS
- BPS (2021). *Statistik Indonesia*. Jakarta: BPS
- Baharum, N.B., Daud Awang, M., Arshad, S., & Abd Gani, S.S. (2020). A Study of literatures: status of alcohol in cosmetics products from shariah views in Malaysia. *KnE Social Sciences*, (October). <https://doi.org/10.18502/kss.v4i9.7338>
- Bora, P., Das, P., Bhattacharyya, R., Barooah, M. S., & Saikia Barooah, M. (2019). Biocolour: The natural way of colouring food. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(3), 3663–3668.
- Christian, M., & Putra, N.P. (2018). *Perencanaan pabrik tugas akhir prarencana pabrik etil eter dari etanol*. Universitas Katolik Widya Mandala.
- Dahiya, D., & Nigam, P.S. (2018). Bioethanol synthesis for fuel or beverages from the processing of agri-food by-products and natural biomass using economical and purposely modified biocatalytic systems. *AIMS Energy*, 6(6), 979–992. <https://doi.org/10.3934/ENERGY.2018.6.979>
- Darojati, H.A., Putra, S., & Zulprasetya, F.P. (2019). Pengaruh iradiasi gamma pada konversi biomassa lignoselulosa sabut kelapa menjadi bioetanol. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 3(2), 87–94. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v3i2.121>
- de Andrade Lima, M., Charalampopoulos, D., & Chatzifragkou, A. (2018). Optimisation and modelling of supercritical CO₂ extraction process of carotenoids from carrot peels. *Journal of Supercritical Fluids*, 133, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.09.028>
- Fatimah, S., Arifan, F., Wisnu, B., & Noviana, S.N. (2021). Pemanfaatan kulit kentang dalam pembuatan bioetanol dengan metode hidrolisa asam di Desa Sikunang. *Jurnal Penelitian Terapan Kimia*, 2(1), 12–20. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/pentana/article/view/15075>
- Gunardi, A.J. (2023). Ketahui kadar alkohol di dalam berbagai jenis minuman keras. Retrieved June 11, 2024, from Klikdokter website: <https://www.klikdokter.com/info-sehat/gigi-mulut/ketahui-kadar-alkohol-di-dalam-berbagai-jenis-minuman-keras>
- Guntama, D., Herdiana, Y., Sujiana, U.A., Endes, R.L., & Sunandar, E. (2019). Bioethanol dari limbah kulit singkong (*Manihot esculenta* Crantz) melalui metode hidrolisa dan fermentasi dengan bantuan *Saccharomyces cerevisiae*. *Jurnal Teknologi*, 7(1), 86–96. <https://doi.org/10.31479/jtek.v7i1.135>
- Hakim, A.N. (2023). *Pra rencana pabrik dietil eter dari etanol dan asam sulfat dengan proses dehidrasi etanol kapasitas produksi 50.000 ton/tahun*. Institut Teknologi Nasional Malang.
- Hans, M., Lugani, Y., Chandel, A.K., Rai, R., & Kumar, S. (2023). Production of first- and second-generation ethanol for use in alcohol-based hand sanitizers and disinfectants in India. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(9), 7423–7440. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01553-3>
- Hawusiwa, E.S., Wardani, A.K., & Ningtyas, D.W. (2015). Pembuatan minuman wine singkong. *Jurnal Pangan Dan Agroindustri*, 3(1), 147–155.
- Hutagalung, J.M., Murdikaningrum, G., Yulianti, M., & Nurcahyani, S. (2023). Potensi limbah kulit dan biji rambutan (*Nephelium lappaceum* L) sebagai bioetanol. *Composite: Jurnal Ilmu Pertanian*, 5(2), 76–85. <https://doi.org/10.37577/composite.v5i2.578>
- Iram, A., Berenjjan, A., & Demirci, A. (2021). A review on the utilization of lignin as a fermentation substrate to produce lignin-modifying enzymes and other value-added products. *Molecules*, 26(10). <https://doi.org/10.3390/molecules26102960>
- Irharni, I., Diana, D., Saudah, S., Ernilasari, E., Suzanni, M.A., Mulyati, D., & Hakim, L. (2019). Fermentasi limbah kulit durian menjadi cuka organik dengan menggunakan *Acetobacter aceti*. *Elkawanie*, 5(1), 16–20. <https://doi.org/10.22373/ekw.v5i1.3902>
- Jannah, A.M., Yerizam, M., Pratama, M.Y., & Amin, A.R.A. (2023). Pembuatan bioetanol berbahan baku *Chlorella pyrenoidosa* dengan metode hidrolisis asam dan fermentasi. *Journal of Chemical Process Engineering*, 8(1), 17–23. <https://doi.org/10.33536/jcpe.v8i1.1256>
- Le Daré, B., & Gicquel, T. (2019). Therapeutic applications of ethanol: A review. *Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 22, 525–535. <https://doi.org/10.18433/JPPS30572>
- Liu, C., Li, K., Wen, Y., Geng, B., & Liu, Q. (2019). Bioethanol : New opportunities for an ancient product. In *Advances in Bioenergy* (1st ed.). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.aibe.2018.12.002>

- Liu, L., Wang, J., Rosenberg, D., Zhao, H., Lengyel, G., & Nadel, D. (2018). Fermented beverage and food storage in 13,000 y-old stone mortars at Raqefet Cave, Israel: Investigating Natufian ritual feasting. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *21*, 783–793.
<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.08.008>
- Liu, Y., Fang, J., Tong, X., Huan, C.C., Ji, G., Zeng, Y., Xu, L. & Yan, Z. (2019). Change to biogas production in solid-state anaerobic digestion using rice straw as substrates at different temperatures. *Bioresource Technology*, *293*, 122066.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122066>
- Madhu. (2019). Difference Between Ethanol and Bioethanol. Retrieved May 20, 2024, from <https://www.differencebetween.com/difference-between-ethanol-and-bioethanol/>
- Ma'mun, S., Prasetyo, M.W., Anugrah, A.R., Ruliandi, A.P., & Pramuwardani, D. (2024). Bioethanol from *Arthrospira platensis* biomass using a combined pretreatment. *Chemical Engineering Journal Advances*, *19*, 100616.
- Mugasundari, A.V., & Anandakumar, S. (2022). Shelf life extension of bread using ethanol emitters with different packaging materials. *Journal of Food Processing and Preservation*, *46*(12).
<https://doi.org/10.1111/jfpp.17143>
- Mussatto, S.I., Dragone, G., Guimarães, P.M.R., Silva, J.P.A., Carneiro, L.M., Roberto, I.C., Vicente, A., Domingues, L., & Teixeira, J.A. (2010). Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production. *Biotechnology Advances*, *28*, 817 – 830.
- Nedstar. (n.d.). Industrial alcohol by Nedstar. Retrieved from <https://www.nedstar.com/industries/main-industries/industrial-ethanol>
- Nell, C.D. (2022). Cosmetic advancement at the make-up of ethanol. Retrieved May 19, 2024, from <https://isolvents.co.za/blogs/ethanol-articles/cosmetic-advancement-at-the-make-up-of-ethanol>
- Ngapa, Y.D., & Gago, J. (2020). Efektivitas zeolit alam Ende-NTT sebagai adsorben dalam pemurnian bioetanol berbahan baku moke: Minuman tradisional Flores. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, *4*(2), 121–127.
<https://doi.org/10.33795/jtkl.v4i2.137>
- Niphadkar, S., Bagade, P., & Ahmed, S. (2017). Bioethanol production: insight into past, present and future perspectives. *Biofuels*, *9*(2), 229–238.
<https://doi.org/10.1080/17597269.2017.1334338>
- Ogidi, C.O., George, O.H., Aladejana, O.M., Malomo, O., & Famurewa, O. (2020). Fruit preservation with bioethanol obtained from the fermentation of brewer's spent grain with *saccharomyces carlsbergensis*. *Revista Facultad Nacional de Agronomia Medellin*, *73*(3), 9321–9331.
<https://doi.org/10.15446/rfnam.v73n3.85316>
- Oh, J., & Kim, M.K. (2021). Effect of alternative preservatives on the quality of rice cakes as halal food. *Foods*, *10*(10), 1–9.
<https://doi.org/10.3390/foods10102291>
- PIB College. (2022). Dukung perkembangan industri food & beverage, PIB College gelar kelas arak dan tuak khas Bali. Retrieved June 11, 2024, from PIB College website: <https://pib.ac.id/id/dukung-perkembangan-industri-food-beverage-pib-college-gelar-kelas-arak-dan-tuak-khas-bali/#:~:text=Tuak merupakan Tipe B dengan,Gin%2C Vodka%2C dan Tequila.>
- Portal Informasi Indonesia (2023). *Menguji konsumsi bioetanol di tanah air*. <https://indonesia.go.id/kategori/editorial/7268/menguji-konsumsi-bioetanol-di-tanah-air?lang=1>. [Diakses 01 Desember 2024]
- Purnama, A.H. (2023). *Prarancangan pabrik etil akrilat dari asam akrilat dan etanol dengan kapasitas 35.000*. Universitas Lampung.
- Rachmawan, V.J. (2014). *Prarancangan pabrik etil asetat dari asam asetat dan etanol dengan katalis asam sulfat kapasitas 45.000 ton per tahun*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Rahayu, A.C. (2024). Kebutuhan bioetanol akan melonjak, kerja sama Indonesia-Brasil diperkuat. Retrieved May 29, 2024, from [Kontan.co.id website: https://industri.kontan.co.id/news/kebutuhan-bioethanol-akan-melonjak-kerja-sama-indonesia-brasil-diperkuat](https://industri.kontan.co.id/news/kebutuhan-bioethanol-akan-melonjak-kerja-sama-indonesia-brasil-diperkuat)
- Rasyid, Z.W. (2022). *Prarancangan pabrik etil asetat dari asam asetat dan etanol dengan reactive tiding wall column kapasitas 16.000 Ton*. (Universitas Diponegoro). Universitas Diponegoro. Retrieved from https://eprints2.undip.ac.id/id/eprint/12943/1/S_MuhammadAqilHasani.pdf
- Reldian, R.R., & Setyati, W. (2020).

- Prarancangan pabrik etil akrilat dari asam akrilat dan etanol kapasitas produksi 4.000 ton/tahun*. Universitas Islam Indonesia.
- Rifa'i, A.F., Pamungkas, W.A., Setyawati, R.B., Setiawan, C.P., & Waluyo, J. (2022). Kajian teknoekonomi bioetanol berbahan molasses sebagai alternatif substitusi BBM. *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, 6(1), 61. <https://doi.org/10.20961/equilibrium.v6i1.63158>
- Sasma. (n.d.). *Synthetic anhydrous 99%*. Retrieved May 20, 2024, from Sasma website: <https://sasmabv.com/products/synthetic-anhydrous-99/>
- Sen, K., Mukherjee, R., Sansare, S., Halder, A., Kashi, H., Ma, A.W.K., & Chaudhuri, B. (2021). Impact of powder-binder interactions on 3D printability of pharmaceutical tablets using drop test methodology. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 160, 105755. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2021.105755>
- Setiawan, L., Azzahra, N.A., & Budhijanto. (2022). *Prarancangan pabrik etil akrilat dari etanol dan asam akrilat kapasitas 50.000 ton/tahun*. Yogyakarta.
- Shalita, A. (2024). *Aplikasi controlled-release ethanol emitter dan cinnamon oil sebagai kemasan aktif antimikroba produk roti*. Institut Pertanian Bogor. Retrieved from [https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/150466#:~:text=Ethanol emitter \(EE\) merupakan kemasan,memperpanjang umur simpan roti manis.](https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/150466#:~:text=Ethanol emitter (EE) merupakan kemasan,memperpanjang umur simpan roti manis.)
- SIPSN (2024). *Komposisi sampah*. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/public/data/komposisi>. [Diakses 01 Desember 2024]
- Sousa, I.G. de. (2021). *Impact of ethanol treatment on the technological characteristics, nutritional composition, and bioactivity of gluten-free breads produced with different microalgae*. Universidade de Lisboa.
- Syariena, A., & Puziah, H. (2014). Rapid determination of residual ethanol in perfumery products using headspace gas chromatography-mass spectrometry. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 22(3), 432–437. <https://doi.org/10.5829/idosi.mejsr.2014.22.03.21906>
- Thakur, M., & Modi, V.K. (2022). Biocolorants in food: Sources, extraction, applications and future prospects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(14), 4674–4713. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2144997>
- Waluyo, D. (2024). *Menilik potensi bioetanol Indonesia, ada 13 produsen di 11 wilayah*. <https://katadata.co.id/ekonomi-hijau/energi-baru/6678ed2c25dd1/menilik-potensi-bioetanol-indonesia-ada-13-produsen-di-11-wilayah>. [Diakses 01 Desember 2024]
- Wardiyah. (2016). *Kimia organik* (1st ed.). Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Retrieved from <https://elearning.itkesmusidrap.ac.id/mod/resource/view.php?id=4098>
- Wiratmaja, I.G., & Elisa, E. (2020). Kajian peluang pemanfaatan bioetanol sebagai bahan bakar utama kendaraan masa depan di Indonesia. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.23887/jptm.v8i1.27298>
- Wusnah, B. S., & Hartono, D. (2019). Proses pembuatan bioetanol dari kulit pisang kepok (*Musa acuminata* B.C.) secara fermentasi. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 1, 48–56.
- Yuniarti, D.P., Hatina, S., & Efrinalia, W. (2018). Pengaruh jumlah ragi dan waktu fermentasi pada pembuatan bioetanol dengan bahan baku ampas tebu. *Jurnal Redoks*, 3(2), 1–12. <https://doi.org/10.31851/redoks.v3i2.2391>

Copyright © The Author(s)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)