

INOVASI TEBU MENJADI BAHAN BAKAR ENERGI BIOETANOL: KAJIAN KETAHANAN ENERGI DAN KETAHANAN PANGAN DI INDONESIA

Yolanda Sapitri^{1*}, Taufik Arief¹, Muhammad Febrian Haidari¹, M. Farhan Cakrawangsa¹, & Muhammad Kaezha Aurellio Laffly¹

¹Teknik Pertambangan, Universitas Sriwijaya, Palembang

*Corresponding author e-mail: yolandaSAPITRI01@gmail.com

ABSTRAK: Indonesia berkomitmen menurunkan emisi gas rumah kaca dan menargetkan bauran energi terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025, salah satunya melalui pemanfaatan bioetanol berbasis tebu sebagai substitusi bahan bakar fosil. Konversi nira tebu menjadi bioetanol dilakukan melalui hidrolisis sukrosa dan fermentasi menggunakan *Saccharomyces cerevisiae*, kemudian dimurnikan hingga fuel-grade. Makalah ini bertujuan menjelaskan potensi tebu sebagai bahan bakar bioetanol serta kaitannya dengan ketahanan energi dan pangan di Indonesia. Metode yang digunakan adalah *systematic literature review* terhadap jurnal ilmiah, laporan industri, dan kebijakan terkait. Meskipun memiliki potensi besar, Indonesia masih menghadapi tantangan berupa defisit gula sehingga keseimbangan kebutuhan pangan dan energi menjadi penting. Dukungan kebijakan seperti Peraturan Presiden No. 40 Tahun 2023 membuka peluang pengembangan bioetanol, pemberdayaan petani tebu, dan percepatan transisi energi bersih.

Kata Kunci: Bioetanol, Tebu, Fermentasi, Ketahanan Pangan, Molase.

ABSTRACT: *Indonesia is committed to reducing greenhouse gas emissions and has targeted a 23% renewable energy mix by 2025, with sugarcane-based bioethanol positioned as a key substitute for fossil fuels. The conversion of sugarcane juice to bioethanol involves sucrose hydrolysis followed by fermentation using *Saccharomyces cerevisiae*, and the product is purified to fuel-grade quality. This paper aims to explain the potential of sugarcane as a source of bioethanol and its relationship to Indonesia's energy and food security. The method used is a systematic literature review of scientific publications, industrial reports, and relevant policies. Despite its potential, Indonesia still faces sugar supply constraints, making the balance between food and energy demand essential. Regulatory support, including Presidential Regulation No. 40 of 2023, provides opportunities to scale bioethanol production, strengthen farmer livelihoods, and accelerate the national clean energy transition.*

Keywords: Bioethanol, Sugarcane, Fermentation, Food Security, Molasses.

1 Pendahuluan

Energi adalah kapasitas untuk melakukan kerja. Setiap objek, baik hidup maupun mati, memiliki kapasitas untuk melakukan kerja, atau dapat dibuat untuk memiliki kapasitas tersebut. Masyarakat modern muncul dan berkembang karena masyarakat memiliki kemampuan untuk mengubah energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya dan menggunakannya untuk melakukan kerja. Bahan bakar adalah setiap material yang dapat menyimpan energi. Dari sekian banyak bentuk energi komersial final, listrik, dan bahan bakar cair bermutu tinggi adalah dua sumber energi yang paling memengaruhi peradaban masyarakat modern saat ini. [1]

Kebutuhan bahan bakar minyak Indonesia didominasi oleh kebutuhan bahan bakar non-subsidi, yaitu bahan bakar bensin RON 92 dan 98. Impor minyak mentah dan bahan bakar minyak Indonesia selalu bertambah dari tahun ke tahun, kecuali ketika pada saat pandemi Covid-19 pada tahun 2019 hingga tahun 2020. Pada tahun 2021 impor minyak mentah dan bahan bakar minyak Indonesia kembali naik dengan pulihnya situasi perekonomian nasional pascapandemi Covid-19.

Sementara itu, pada *Climate Change Conference of the Parties* (COP21) tahun 2021 Indonesia berkomitmen untuk melakukan penurunan emisi. Indonesia dinilai dapat berkontribusi pada *Net-Zero Emission* Dunia dengan melakukan diversifikasi energi fosil dengan energi terbarukan sesuai dengan yang sudah ditetapkan, yakni 23% pada tahun 2025 mendatang. Sampai dengan tahun 2022 bauran energi primer Energi Baru Terbarukan (EBT) baru mencapai 11,2%. Indonesia harus melakukan usaha yang konkret dan progresif untuk mencapai target bauran 23% di tahun 2025 dan 31% di tahun 2050. [2]

Salah satu usaha untuk itu adalah mengusahakan substitusi sebagian dari bahan bakar cair fosil dengan bahan bakar cair terbarukan. Dari sekian banyak sumber energi baru dan terbarukan (matahari, angin, hydro power, geothermal, *oceanthermal*, biomassa, nuklir, dll.). Biomassa adalah satu satunya sumber energi terbarukan yang dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair bermutu tinggi. Maka pengolahan tebu, yang menjadi bioetanol (C_2H_5OH) sebagai bahan bakar alternatif sangat berguna dan membantu untuk merealisasikan *Net-Zero Emission* Dunia, ditambah kebutuhan akan bahan bakar semakin

meningkat dikarenakan jumlah transportasi yang terus meningkat baik dari transportasi umum maupun pribadi sehingga perlu diteliti bahan bakar yang dapat diperbaharui untuk menggantikan bahan bakar dari minyak bumi [3].

Bagian tebu yang dijadikan bioetanol ialah nira tebu, adalah cairan yang dihasilkan dari penggilingan atau pemecahan batang tebu yang memiliki kadar gula relatif tinggi. Nira tebu segar biasanya berwarna cokelat kehijauan dengan pH antara 5,0 – 6,0. Nira tebu mengandung sukrosa tinggi yang dapat digunakan sebagai substrat untuk produksi bioetanol. sukrosa, nira tebu juga mengandung zat non-gula lainnya. Secara umum, nira tebu terdiri dari 73 – 76% air, 11 – 16% serat, dan 11 – 16% padatan terlarut atau tersuspensi. Produksi ethanol dari tanaman tebu menyumbang sekitar 40% dari total bioetanol yang diproduksi (Li et al., 2012) [4].

Dalam produksi bioetanol dari sari tebu menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* sebagai raginya. *Saccharomyces cerevisiae* mempunyai keunggulan antara lain mempunyai daya fermentasi yang tinggi terhadap glukosa, fruktosa, maltosa, dan galaktosa, tahan terhadap mikroorganisme lain, tahan terhadap kadar etanol yang tinggi, serta tahan terhadap asam lemak jenuh. Sifat stabil dan cepat untuk adaptasi. Melalui fermentasi ini, substrat yang mengandung glukosa, sukrosa, dan fruktosa akan digunakan oleh khamir dalam proses fermentasi awal. Sukrosa dihidrolisis oleh enzim invertase hingga berada di luar membran sel. Sementara itu, fruktosa dan glukosa akan masuk ke dalam sel. Suhu optimum untuk pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* adalah 25 – 30 °C dan pH optimumnya antara 4,5 – 5,5 [5].

Pada penelitian sebelumnya, [6] menyatakan bahwa penambahan Vitamin B Kompleks sebagai nutrisi dapat meningkatkan konsentrasi etanol pada bioetanol fermentasi.

Tahap fermentasi menggunakan nira tebu sebanyak 200 ml; variasi penambahan Vitamin B Kompleks 0, 0,1, 0,2, dan 0,3% (B/V) nira tebu fermentasi; dan variasi waktu 6, 7, dan 8 hari. Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh bahwa pada kondisi fermentasi yaitu penambahan Vitamin B Kompleks 0,1% dengan waktu fermentasi 7 hari menghasilkan bioetanol dengan konsentrasi etanol tertinggi, yaitu 30,177%. Dari hasil tersebut, dapat diketahui bahwa penambahan vitamin B kompleks sebagai nutrisi fermentasi dapat meningkatkan konsentrasi etanol, tetapi peningkatan konsentrasi etanol berbanding terbalik dengan peningkatan gram vitamin B kompleks yang dapat mempengaruhi kondisi pH media

fermentasi sehingga terjadi penurunan kinerja mikroba untuk menghasilkan etanol.

Nafi'ah (2019) [7] menggunakan hidrolisis dengan memanaskan nira tebu pada suhu 80°C selama ±1 jam, kemudian diaduk hingga mendidih. Tahap fermentasi menggunakan volume nira tebu hingga 5 liter; penambahan ragi 1 gr, 2 gr, 3 gr, 4 gr, 5 gr; dan variasi waktu 3, 5, dan 7 hari. Dari penelitian tersebut dapat diperoleh bahwa kadar etanol tertinggi adalah dengan pemberian 5 gram ragi selama 7 hari fermentasi yaitu 5000 ppm. Dapat diketahui juga bahwa penambahan ragi dan semakin lama waktu fermentasi mempengaruhi seberapa tinggi kadar etanol yang dihasilkan. Semakin banyak ragi yang diberikan dapat menyebabkan konsentrasi sel *Saccharomyces cerevisiae* semakin banyak bergerak. Dan waktu yang lebih lama berarti dapat memberikan enzim lebih banyak kesempatan untuk merombak gula menjadi etanol.

Pemanfaatan bioetanol sebagai bahan bakar memiliki potensi mengurangi ketergantungan pada impor minyak asing dan juga berpotensi mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Cahyaningtiyas, 2021) [8]. Penggunaan bioetanol di Indonesia sendiri masih didalam tahap uji coba, belum diterapkan secara komersial, maka dari itu dilakukannya penelitian dari tebu hingga menjadi bahan bakar bioetanol (C_2H_5OH). Adapun tujuan dari makalah ini adalah untuk mengkaji dan memahami berbagai aspek terkait pengembangan bioetanol berbasis nira tebu di Indonesia. Kajian ini mencakup pemaparan metode konversi nira tebu menjadi bioetanol, analisis keseimbangan penggunaan tebu untuk kebutuhan gula sebagai komoditas pangan dan bioetanol sebagai energi alternatif, serta telaah terhadap kebijakan dan regulasi pemerintah yang mendukung pengembangan inovasi tersebut. Selain itu, makalah ini juga bertujuan untuk meninjau aspek keberlanjutan dan peran pengembangan bioetanol dalam meningkatkan kesejahteraan ekonomi petani tebu lokal.

Penelitian konversi tebu menjadi bioetanol adalah kunci strategis Indonesia untuk menjawab tantangan krisis energi global sekaligus memperkuat ketahanan pangan nasional. Alih-alih mengorbankan tebu untuk gula atau untuk bahan bakar, inovasi ini menciptakan model sinergi yang berkelanjutan. Di satu sisi, bioetanol dari tebu berfungsi sebagai "perisai energi" dengan mengurangi ketergantungan

pada BBM fosil dan impor minyak, serta mempercepat transisi ke energi terbarukan yang ramah lingkungan (*green energy*). Di sisi lain, proyek ini menjadi "penjaga pangan" dengan mendorong peningkatan produktivitas lahan tebu secara keseluruhan dan memanfaatkan limbah pengolahan gula (molase) menjadi sumber energi. Dampaknya berlipat ganda: petani tebu mendapatkan pasar ganda yang stabil dan pendapatan yang lebih baik, sementara negara meraih kemandirian ganda yaitu pasokan gula yang cukup, dan kemandirian energi dengan memanfaatkan potensi agroindustri secara maksimal.

2 Metode Penelitian

Makalah ini disusun berdasarkan hasil studi Pustaka terkait konversi tebu menjadi bioetanol. Metode penelitian meliputi pengambilan data sekunder dari situs resmi pemerintah, seperti Badan Pusat Statistik (BPS) terkait jumlah lahan pertanian tebu di Indonesia, jurnal terkait konversi tebu menjadi bioetanol, dan buku elektronik terkait keberlanjutan dan dampak bagi sosial ekonomi terkait proyek tebu menjadi bioetanol.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Konversi nira Tebu Menjadi Bioetanol

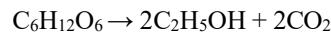
Pembuatan bioetanol dari bahan baku sari tebu memiliki potensi yang sangat tinggi, terutama karena ketersediaan bahan baku yang melimpah. Produksi bioetanol dari sari tebu dapat menjadi sumber pendapatan tambahan bagi petani tebu dan masyarakat pedesaan di sekitar area pertanian tebu. Dengan demikian, pemanfaatan sari tebu sebagai bahan baku untuk produksi bioetanol tidak hanya menguntungkan dari segi ekonomi, tetapi juga memberikan dampak sosial yang positif bagi masyarakat pedesaan. Menurut Jingbo Li, dkk. (2012) [9], bioetanol dari tebu menguntungkan karena memiliki potensi untuk mengurangi emisi karbon jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil.

Proses pembuatan bioetanol terdiri dari dua tahap utama yaitu hidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fermentasi glukosa menjadi etanol. Dalam pembuatan bioetanol karbohidrat berfungsi sebagai bahan baku untuk pembuatan bioetanol karena mereka membantu proses fermentasi, yang didasarkan pada pemisahan bahan pati oleh enzim [10]. Sukrosa adalah gula yang kita kenal sehari-hari dari tebu dan tanaman lainnya. Dengan proses hidrolisis, sukrosa terurai dan menghasilkan glukosa dan fruktosa. Reaksi hidrolisis dari golongan karbohidrat, yaitu dari golongan disakarida dan polisakarida, dapat menghasilkan monosakarida. Sukrosa adalah suatu disakarida yang dapat dihidrolisis menjadi satu satuan

glukosa dan satu satuan fruktosa [11]. Reaksi hidrolisis sukrosa menurut persamaan reaksi akan berlangsung sebagai berikut:



Reaksi antara sukrosa dan air sangat lambat. Penambahan katalis diperlukan untuk meningkatkan laju reaksi. Penambahan katalis ini meningkatkan aktivitas air, sehingga reaksi hidrolisis terjadi lebih cepat. Katalisator yang sering digunakan adalah asam sulfat, asam nitrat, dan asam klorida. Jumlah glukosa yang dihasilkan selama proses hidrolisis menentukan jumlah hasil dari etanol yang didapatkan setelah proses fermentasi [12]. Glukosa yang dihasilkan dalam proses hidrolisis kemudian difermentasi oleh ragi *Saccharomyces cerevisiae* untuk menghasilkan etanol dan CO₂ [13]. Berkat kandungan glukosanya, dapat digunakan sebagai bahan baku produksi bioetanol melalui proses fermentasi. Fermentasi karbohidrat oleh ragi merupakan proses anaerob yang menghasilkan etanol dan karbon dioksida [14]. Perubahan yang terjadi selama proses fermentasi adalah



Proses fermentasi anaerobik pada pH 4 – 5 menggunakan ragi *Saccharomyces cerevisiae* sebagai mikroorganisme yang memecah glukosa menjadi etanol. Untuk memaksimalkan pertumbuhan dan reproduksi ragi, ditambahkan urea 0,5% ke dalam media sebagai nutrisi. Proses fermentasi dengan bantuan ragi (*Saccharomyces cerevisiae*) bertujuan untuk mengubah gula tereduksi yang terbentuk pada proses hidrolisis menjadi etanol dengan waktu fermentasi beberapa hari [15]

3.2 Jenis Tebu yang Digunakan

Bioetanol dari tebu menggunakan produk samping dari pembuatan tebu menjadi gula yaitu molase tebu.

Dalam rangka mendukung target swasembada gula nasional, PT. Perkebunan Nusantara Group (PTPN) bersama P3GI telah melepas empat varietas tebu unggul yang diberi nama PS Nusantara 081, PS Nusantara 082, PS Nusantara 083 dan PS Nusantara 084. Varietas-varietas ini dirancang dengan keunggulan berupa kemasakan yang optimal untuk industri pengolahan, peningkatan potensi produktivitas dan rendemen gula, serta adaptasi terhadap berbagai tipologi lahan, termasuk pengembangan ke wilayah baru seperti Papua. PS Nusantara 081 memiliki potensi produksi gula sebesar

12 +/- 6 ton/ha, PS Nusantara 082 sebesar 10 +/- 4 ton/ha, PS Nusantara 083 sebesar 10 +/- 3 ton/ha, dan PS Nusantara 084 sebesar 11 +/- 4 ton/ha. Dengan demikian, varietas-baru ini diharapkan memberikan hasil gula yang lebih optimal per satuan lahan dan membantu memperkuat ketahanan pangan nasional.

3.3 Kompatibilitas Penggunaan Bahan Bakar Energi Bioetanol

Kompatibilitas penggunaan etanol pada *Light Duty Vehicles* (LDV) di Indonesia sendiri memiliki probabilitas tinggi untuk kompatibel dengan E10. Menurut Riley C. Abel, et al (2021) dalam laporan hasil pengujian dengan judul *Global Ethanol-Blended-Fuel Vehicle Compatibility Study* [16] juga menyimpulkan bahwa kendaraan di Indonesia kompatibel dengan E10. Kendaraan tahun 2005 dan setelahnya dengan tingkat teknologi emisi Tier 1 seharusnya kompatibel dengan campuran hingga E15, menurut hasil analisis tersebut.

Indonesia menerapkan persyaratan emisi Euro 2 untuk sepeda motor pada tahun 2005 dan Euro 3 pada tahun 2015. Di bagian lain dunia, sepeda motor dengan tingkat teknologi ini kompatibel dengan E10. Meskipun beberapa model mungkin kompatibel dengan campuran etanol tingkat lebih tinggi.

3.4 Keseimbangan Tebu (Gula/Pangan) dan Bioetanol (Energi)

Penggunaan etanol dalam bahan bakar minyak (BBM) kini menjadi sorotan tajam di Indonesia. Ini bukan sekadar urusan teknis menaikkan angka oktan, melainkan inti dari pergeseran paradigma yang menghubungkan sektor pertanian, energi, dan kebijakan iklim nasional. Pemerintah didorong untuk lebih serius dalam mengembangkan bioetanol sebagai bahan bakar nabati (BBN) setelah ditetapkan sebagai Proyek Strategis Nasional (PSN). Pasalnya, ada tiga tantangan utama yang harus diatasi dalam pengembangan bioetanol sebagai sumber energi terbarukan di Indonesia.

1. Keterbatasan Bahan Baku

Salah satu tantangan terbesar dalam pengembangan bioetanol adalah ketersediaan bahan baku. Jika dibandingkan dengan kelapa sawit yang menjadi sumber utama biodiesel, tanaman penghasil bioetanol masih sangat terbatas. Tanaman penghasil bioetanol antara lain seperti tebu, jagung, sorghum, dan singkong. Sementara itu, produksi gula nasional juga masih mengandalkan impor, sehingga pasokan

molase, produk sampingan dari gula yang digunakan sebagai bahan baku etanol, tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan produksi bioetanol dalam skala besar. Dibandingkan biodiesel B40 yang lebih mudah dikembangkan karena pasokan minyak sawit yang melimpah, produksi bioetanol memerlukan strategi yang lebih matang dalam pengelolaan bahan baku.

2. Produksi Etanol dengan Standar *Fuel-Grade*

Tantangan berikutnya adalah memastikan bahwa bioetanol yang dihasilkan memenuhi standar kualitas bahan bakar atau fuel-grade ethanol. Untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar, etanol harus memiliki kemurnian minimal 99 persen. Proses pemurnian ini tidak sederhana dan membutuhkan dukungan teknologi serta investasi yang besar. Oleh karena itu, intervensi dari pemerintah sangat dibutuhkan dalam mendukung riset, pengembangan, serta peningkatan kapasitas produksi bioetanol berkualitas tinggi.

3. Harga dan Skema Subsidi

Dari segi ekonomi, harga bioetanol di pasar internasional cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan harga minyak bumi. Selain itu, bioetanol juga memiliki nilai ekonomi tinggi karena digunakan dalam industri dan sektor pangan. Berbeda dengan biodiesel yang mendapat dukungan subsidi melalui Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPDPKS), bioetanol belum memiliki skema pembiayaan yang serupa. Tanpa mekanisme subsidi yang jelas, harga bioetanol berpotensi tidak kompetitif dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Jika pemerintah ingin memastikan harga bioetanol tetap terjangkau, diperlukan kesiapan untuk menyediakan subsidi dari Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN).

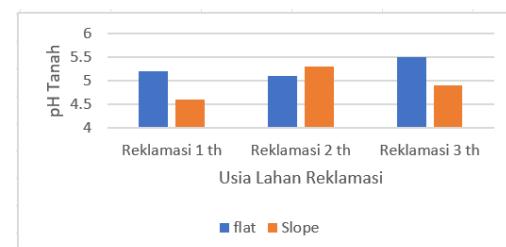
Pengembangan bioetanol berbasis tebu menawarkan manfaat ganda bagi negara. Di satu sisi, ia berperan penting dalam transisi energi ramah lingkungan dengan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Di sisi lain, sektor pertanian mendapatkan keuntungan langsung. Dengan menjadikan tebu sebagai komoditas strategis energi, tercipta peluang lapangan kerja baru dan peningkatan

pendapatan bagi petani. Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) [17] total luas lahan tebu di Indonesia pada tahun 2023 adalah seluas 489.338 hektare. Sementara itu peranan tebu sebagai bahan baku pembuatan gula dan juga bioetanol sangat amat krusial karena kebutuhan penyediaan gula konsumsi tahun 2021 sebesar 3.127.036 ton GKP (Gula Kristal Putih) sedangkan gula industri sebesar 3.116.100 ton GKR (Gula Kristal Refansi). Gula konsumsi yang mampu diproduksi tahun 2021 sebesar 2.282.320 ton (Kemenko Perekonomian, 2021a). Hal ini berarti bahwa masih ada selisih real kemampuan produksi dan kebutuhan gula konsumsi sebesar 844.716 ton. Gula industri masih sepenuhnya dipenuhi dari impor gula kristal mentah (GKM) yang diproses menjadi GKR [18].

Berdasarkan hal tersebut maka diperlukannya langkah untuk tetap menjaga keseimbangan gula sebagai ketahanan pangan dan juga sebagai ketahanan energi bioetanol. Karena, meskipun potensinya sangat besar sebagai tulang punggung energi alternatif, pengembangannya harus dilakukan secara hati-hati. Keseimbangan antara kebutuhan energi dan ketahanan pangan menjadi perhatian utama.

Pengelolaan lahan yang berkelanjutan serta penerapan teknologi pertanian modern merupakan kunci agar produksi bioetanol tidak menimbulkan dampak negatif terhadap pasokan pangan dan kelestarian lingkungan. Dengan potensi ini, tebu diyakini akan terus mendukung upaya global dalam menghadapi krisis energi dan perubahan iklim.

Pengembangan bioetanol berbasis tebu memerlukan pemilihan lahan yang baik dan tepat agar tidak mengganggu lahan perkebunan yang lainnya. Pemanfaatan lahan pasca tambang sebagai lokasi perkebunan tebu memiliki potensi yang cukup kuat untuk menjaga ketahanan pangan dan energi agar tetap seimbang. Kondisi pH di lahan pasca tambang batubara berkisar 4.5 – 5.5 (Pramaditya dan Nilawati, 2022).



Gambar 3.4.1. Nilaikeasaman (pH) tanah pada lahan reklamasi [1]

Kondisi ini memiliki kecocokan dengan kondisi lahan dimana tebu dapat tumbuh karena tebu termasuk

tanaman yang semi toleran terhadap kemasaman. Tebu dapat tumbuh di lahan dengan ph 4.0 – 8.2 dan optimal di ph 5.5 – 7 [2].

3.5 Regulasi, dan Kebijakan, dari Proyek Inovasi Tebu Menjadi Bioetanol

Dalam rangka mewujudkan swasembada gula nasional guna menjamin ketahanan pangan nasional, menjamin ketersediaan bahan baku dan bahan penolong industri, mendorong perbaikan kesejahteraan petani tebu, serta mewujudkan ketahanan energi dan pelaksanaan energi bersih melalui penggunaan bahan bakar nabati (*biofuel*), telah ditetapkan Peraturan Presiden Nomor 40 Tahun 2023 tentang Percepatan Swasembada Gula Nasional dan Penyediaan Bioetanol sebagai Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*).

Percepatan swasembada gula nasional dan penyediaan bioetanol sebagai bahan bakar nabati (*Biofuel*) mencakup pemenuhan kebutuhan gula konsumsi dan industri, serta peningkatan produksi bioetanol yang berasal dari tebu sebagai bahan bakar nabati (*biofuel*).

Sebagaimana pada Pasal 3, dalam rangka percepatan swasembada gula nasional dan penyediaan bioetanol sebagai bahan bakar nabati (*biofuel*), disusun peta jalan (*road map*), meliputi:

1. Peningkatan produktivitas tebu sebesar 93 (sembilan puluh tiga) ton per hektar melalui perbaikan praktik agrikultur berupa pembibitan, penanaman, pemeliharaan tanaman, dan tebang muat angkut;
2. Penambahan areal lahan baru perkebunan tebu seluas 700.000 (tujuh ratus ribu) hektar yang bersumber dari lahan perkebunan, lahan tebu rakyat, dan lahan kawasan hutan;
3. Peningkatan efisiensi, utilisasi, dan kapasitas pabrik gula untuk mencapai rendemen sebesar 11,2% (sebelas koma dua persen);
4. Peningkatan kesejahteraan petani tebu; dan
5. Peningkatan produksi bioetanol yang berasal dari tanaman tebu paling sedikit sebesar 1.200.000 kL (satu juta dua ratus ribu kilo liter).

Memenuhi permintaan energi yang terus meningkat secara terbarukan dengan emisi karbon yang lebih rendah, serta dengan cara yang layak secara ekonomi, merupakan tantangan global yang besar. Selain tantangan perdebatan makanan versus bahan bakar, kebutuhan akan lahan yang sangat produktif dan input pertanian intensif, penggunaan tanaman pangan konvensional ini untuk produksi

biofuel memberikan tantangan keterbatasan kapasitas dalam hal ketersediaan dan pasokan bahan baku total. Fluktuasi harga tanaman pangan yang tidak menentu merupakan tantangan lain dalam produksi *biofuel* yang tangguh. Harga bahan baku secara langsung memengaruhi biaya produksi *biofuel*, yang menentukan daya saing pemasarannya.

Selain itu, pemerintah juga perlu memperkuat program edukasi dan pelatihan bagi petani tebu. Pelatihan yang baik dapat meningkatkan keterampilan petani dalam menanam dan memanen tebu dengan cara yang lebih efisien, serta memperkenalkan mereka pada teknik produksi bioetanol. Dukungan ini penting untuk memastikan bahwa petani memiliki akses terhadap informasi dan teknologi yang diperlukan untuk memaksimalkan produktivitas dan kualitas hasil panen mereka, serta untuk memastikan keberlanjutan praktik produksi dalam jangka panjang.

Transisi menuju energi terbarukan, terutama bioetanol, merupakan langkah penting dalam visi Indonesia untuk mencapai target pengurangan emisi gas rumah kaca. Penggunaan bioetanol sebagai campuran dalam bahan bakar transportasi memiliki potensi besar untuk mengurangi emisi karbon, khususnya di sektor transportasi, yang saat ini menjadi salah satu kontributor utama emisi gas rumah kaca di Indonesia. Bioetanol, yang diproduksi dari bahan baku seperti tebu dan jagung, menghasilkan emisi karbon yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar fosil, karena selama proses pertumbuhannya tanaman menyerap CO₂ dari atmosfer.

3.6 Keberlanjutan dan Pemberdayaan Ekonomi Para Petani Tebu Lokal

Tanaman tebu, khususnya, menjadi komoditas andalan untuk produksi bioetanol, yang merupakan bahan bakar yang lebih bersih dan ramah lingkungan daripada bensin. Bioetanol dari tebu dapat membantu mengurangi polusi udara dan berkontribusi pada diversifikasi energi nasional. Melalui pemanfaatan optimal komoditas perkebunan, Indonesia tidak hanya dapat memperkuat sektor energi terbarukan tetapi juga meningkatkan nilai tambah produk perkebunan dan membuka lebih banyak lapangan pekerjaan, menciptakan sinergi antara pertumbuhan ekonomi dan kelestarian lingkungan.

Produksi bioetanol dari tebu telah diakui secara global sebagai solusi yang lebih bersih dibandingkan

dengan bahan bakar fosil, seperti bensin. Penggunaan bioetanol tidak hanya mengurangi emisi gas rumah kaca, tetapi juga menghasilkan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan dengan pembakaran yang lebih bersih.

Dengan semakin menipisnya cadangan bahan bakar fosil dan meningkatnya perhatian terhadap dampak lingkungan dari penggunaan energi fosil, bioetanol menjadi pilihan strategis bagi Indonesia untuk mengurangi ketergantungan pada impor bahan bakar fosil. Bioetanol yang diproduksi dari tebu dapat dicampurkan ke dalam bahan bakar konvensional untuk menciptakan bahan bakar yang lebih berkelanjutan. Langkah ini sejalan dengan komitmen Indonesia dalam mendukung upaya global untuk mengurangi emisi karbon dan memerangi perubahan iklim.

Selain manfaat lingkungan, pengembangan industri bioetanol dari tebu juga memberikan dampak positif bagi perekonomian, khususnya di sektor agribisnis. Bioetanol dapat dihasilkan dari tetes tebu atau molase, yang merupakan produk sampingan, sehingga tidak mengganggu produksi gula untuk ketahanan pangan. Diversifikasi ini penting dalam menghadapi fluktuasi harga gula di pasar global, memberikan peluang tambahan bagi petani untuk mendapatkan penghasilan yang lebih stabil.

Produksi bioetanol juga memicu pertumbuhan industri pengolahan dan distribusi baru, terutama di wilayah – wilayah yang menjadi sentra produksi tebu. Hal ini membuka peluang lapangan kerja baru, mulai dari tenaga kerja di perkebunan, hingga pekerja di pabrik pengolahan bioetanol dan distribusi energi. Dengan terciptanya lapangan kerja baru, perekonomian pedesaan pun akan semakin kuat, mengurangi ketimpangan ekonomi antara daerah perkotaan dan pedesaan.

4 Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan, berikut adalah kesimpulan utama yang dapat ditarik.

1. Metode konversi nira tebu menjadi bioetanol di Indonesia secara umum melibatkan dua tahap utama: hidrolisis sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa, diikuti dengan fermentasi glukosa oleh ragi *Saccharomyces cerevisiae* menjadi etanol

(C₂H₅OH) dan karbon dioksida (CO₂). Proses ini dapat dioptimalkan dengan penambahan nutrisi seperti Vitamin B Kompleks dan pengaturan variabel seperti konsentrasi ragi dan waktu fermentasi. Bioetanol yang dihasilkan perlu dimurnikan hingga mencapai standar fuel-grade (kemurnian minimal 99%) agar kompatibel sebagai campuran bahan bakar, seperti E10, di Indonesia.

2. Tebu memiliki peran krusial ganda sebagai sumber ketahanan pangan (gula) dan ketahanan energi (bioetanol). Indonesia masih menghadapi defisit produksi gula konsumsi, yang menuntut pengembangan bioetanol dilakukan secara hati-hati agar tidak mengorbankan pasokan gula. Keseimbangan ini dapat dicapai melalui strategi pengelolaan lahan berkelanjutan, peningkatan produktivitas tebu (target 93 ton/hektar), dan pemanfaatan optimal produk sampingan (molase) untuk bioetanol, memastikan kebutuhan pangan dan energi dapat terpenuhi secara sinergis.
3. Proyek inovasi tebu menjadi bioetanol telah didukung oleh regulasi tingkat tinggi, yaitu Peraturan Presiden Nomor 40 Tahun 2023 tentang Percepatan Swasembada Gula Nasional dan Penyediaan Bioetanol sebagai Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*). Regulasi ini menetapkan *road map* ambisius, termasuk penambahan area lahan tebu seluas 700.000 hektar dan peningkatan produksi bioetanol minimal 1.200.000 kL, menegaskan komitmen pemerintah untuk mencapai target *Net-Zero Emission* dan mengurangi ketergantungan impor BBM fosil.
4. Pengembangan industri bioetanol dari tebu memberikan dampak positif ganda. Secara lingkungan, ia mendukung transisi energi bersih dengan emisi karbon yang lebih rendah. Secara ekonomi, ia menciptakan pasar ganda yang stabil bagi petani tebu (gula dan bioetanol dari molase), meningkatkan pendapatan, dan membuka lapangan kerja baru di sektor agribisnis dan pengolahan, sehingga memperkuat perekonomian pedesaan dan mendukung pemberdayaan petani lokal.

4.2 Saran

Pemerintah dan pemangku kepentingan harus memprioritaskan penggunaan molase sebagai bahan baku utama untuk bioetanol guna menjaga pasokan gula nasional, sambil menerapkan teknologi pertanian modern pada penambahan areal tebu baru untuk mencapai target produktivitas tinggi. Selain itu, investasi besar dan skema subsidi yang jelas (serupa dengan BPDPKS) wajib segera diwujudkan untuk mendukung teknologi pemurnian *fuel-grade* agar bioetanol dapat bersaing di pasar. Penting pula

untuk memperkuat program edukasi dan kemitraan yang transparan guna meningkatkan keterampilan dan pendapatan petani, serta mengakseserasi uji coba komersial dan menyusun regulasi teknis penggunaan campuran bioetanol (E10/E15) di sektor transportasi sebagai langkah konkret menuju transisi energi bersih yang berkelanjutan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. Taufiek Arief, M.Sc., IPM. selaku pembimbing yang telah memberikan arahan dan masukan selama penyusunan paper ini. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada para peneliti terdahulu yang karyanya menjadi rujukan penting dalam penyusunan paper ini.

Daftar Pustaka

- [1] I. G. B. N. Mahakertihartha, Bahan Bakar Nabati Untuk Kedaulatan Energi Nasional, Bandung: ITB Press, 2023.
- [2] A. P. Tampubolon, National Energy General Plan (RUEN): Existing Plan, Current Policies Implication, and Energy Transition Scenario, Jakarta: Institute for ESENTIAL Services Reform (IESR), 2020.
- [3] J. F. H. Saragi and J. S. Purba, "PEMBUATAN BIOETANOL DARI TEBU," *Jurnal SIMETRIS*, vol. 11, no. 2, pp. 410-416, 2020.
- [4] J. L. L. Li, J. Cheng, Y. Huang, M. Zhu and S. Liang, "Extraction of pigment from sugarcane juice alcohol wastewater and evaluation of its antioxidant and free radical scavenging activities," *Food Science and Biotechnology*.
- [5] A. S. Umayyah, S. Reni and Chairul, "Fermentasi Nira Nipah Skala 50 Liter Menjadi Bioetanol Menggunakan," pp. 1-11.
- [6] A. Cahyaningtiyas and c. Sindhuwati, "Pengaruh Tambahan Konsentrasi *Saccharomyces Cerevisiae* Pada Pembuatan Etanol dari Air Tebu dengan Proses Fermentasi," *Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 7, no. 2, p. 89, 2021.
- [7] J. Li, L. Liang, J. Cheng, Y. Huang, M. Zhu and S. Liang, "Extraction of pigment from sugarcane juice alcohol wastewater and evaluation of its antioxidant and free radical scavenging activities," *Food Sci Biotechnol*, vol. 21, pp. 1489 - 1496, 2012.
- [8] M. Dimyati and E. Naryono, "Pembuatan Bioetanol dari Sari Tebu (*Saccharum Officinarum*) dengan Proses Fermentasi," *DISTILAT Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 11, no. 3, pp. 579-587, 2025.
- [9] G. Andaka, "Kinetika Reaksi Hidrolisis Gula dari Tetes Tebu menjadi Asam Oksalat," *Teknologi Technoscientia*, vol. 2, no. 2, p. 1, 2010.
- [10] P. F. Wulandari, Z. D. Ma and D. H. Astuti, "Pembuatan Bioetanol dari Limbah Batang Tembakau Menggunakan Proses Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF)," *Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, vol. 07, no. 2, pp. 1-7, 2023.
- [11] D. T. Retno and W. Nuri, "Pembuatan Bioetanol dari Kulit Pisang," *Pengembangan Teknologi Kimia Untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, pp. 1693-4393, 2011.
- [12] F. H. Mohede, S. T. Gonggo and Ratman, "Pengaruh Lama Waktu Fermentasi Terhadap Kadar Bioetanol dari Pati Ubi Jalar Kuning,"

Jurnal Akademika Kimia, vol. 6, no. 2, pp. 86-91, 2017.

[13] S. Soeprijanto, A. P. Mellina and R. Fauzia, "Pemanfaatan Sari Tebu (*Saccharum officinarum*) dalam Menghasilkan Bioetanol Melalui Proses Fermentasi Utilization Of Sugarcane Juice (*Saccharum officinarum*) In Producing Bioethanol Through Fermentation," *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 16, no. 2, pp. 67-72, 2022.

[14] R. C. Abel, K. Coney, C. Johnson, M. J. Thornton, B. T. Zigler and R. L. McCormick, Global Ethanol-Blended-Fuel Vehicle Compatibility Study, Golde, CO: National Renewable Energy Laboratory, 2021.

[15] B. P. S. (. Indonesia, STATISTIK TEBU INDONESIA Indonesian Sugar Cane Statistics 2023, Jakarta: Badan Pusat Statistik/BPS– Statistics Indonesia, 2024.

[16] K. Perekonomian, Neraca Gula Konsumsi 2021/2022, Jakarta: Deputi Bidang Koordinasi Pangan dan Agribisnis, 2021a.

[17] R. Nafi'ah and S. Primadevi, "Optimasi Waktu Fermentasi dan Konsentrasi Yeast Pda Proses Pembuatan Etanol dari Nira Tebu Sebagai Bahan Baku Obat Kimia," *Cendekia Journal of Pharmacy STIKES Cendekia Utama Kudus*, vol. 3, no. 2, pp. 59-65, 2019.

[18] W. B. Utama, "Pembuatan Bioetanol Melalui Fermentasi Nira Tebu (*Saccharum Officinarum*) Menggunakan *Sascharromyces Cerevisiae* Dengan Penambahan Vitamin B Kompleks Sebgai Nutrisi Fermentasi," *Jurnal Kimia Mulawarman* , vol. 13, no. 2, pp. 73-77, 2016.

[19] D. A. Pramaditya and R. I. N. Nilawati.NPS, "Karakterisasi Sifat Fisik Dan Kimia Tanah Pada Lahan Bekas Tambang Batubara Yang Telah Direklamasi," *J. Miner. Energi dan Lingkung.*, vol. 6, no. 2, pp. 28–37, 2022.

[20] M. and K. A. Mualif sujai, "JPP (Jurnal Pengelolaan Perkebunan)," *J. Pengelolaan Perkeb.*, vol. 2, no. 2, pp. 66–72, 2021.