

Kajian Teknoekonomi Bioetanol Berbahan Molasses Sebagai Alternatif Substitusi BBM

Awaludin Fitroh Rifa'i^a, Widya Anggraini Pamungkas^a, Rosana Budi Setyawati^a, Candra Pangesti Setiawan^a,
Joko Waluyo^b

^aProgram Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia 57126

^bChemical Engineering Department, Engineering Faculty, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia 57126

*Corresponding author: awaludin.rifai@student.uns.ac.id

DOI: <https://dx.doi.org/10.20961/equilibrium.v6i1.63158>

Article History

Received: 11-07-2022, Accepted: 29-08-2022, Published: 01-09-2022

Kata kunci:

bahan bakar,
bioetanol,
ekonomi,
transportasi

ABSTRAK. Konsumsi energi pada sektor transportasi di Indonesia sangat besar dikarenakan penggunaan BBM yang sangat besar. Besarnya proporsi penggunaan BBM untuk transportasi juga diikuti dengan besarnya subsidi pemerintah untuk BBM. Data sepanjang tahun 2010-2020 menunjukkan realisasi subsidi BBM selalu lebih besar dibandingkan dengan yang dianggarkan. Sehingga perlunya alternatif untuk mengurangi konsumsi BBM pada sektor transportasi. Dari sisi teknis peluang penggunaan bioetanol generasi 1 (G1) berbahan molasses mudah di aplikasikan karena proses yang sederhana. Dari analisis ekonomi terlihat bahwa proyek ini layak dilakukan ketika NPV dan DCFROR bernilai positif, sehingga saat harga molasses 1.500,00/ Kg dan harga bioetanol 15.000,00/ liter proyek ini layak dilakukan, begitu juga ketika harga molasses 2.061,00/ Kg dan harga bioetanol 16.000,00/ liter serta ketika harga molasses 2.061,00/ Kg dan harga bioetanol 15.000,00/ liter, namun ketika harga molasses 2.061,00/ Kg dan harga bioetanol 12.113,00/ liter proyek ini tidak layak dilakukan karena NPV dan DCFROR bernilai negatif. Dari hasil simulasi tersebut diketahui bahwa harga molasses dan bioetanol sangat berpengaruh terhadap realisasi substitusi BBM dengan bioetanol, selain itu ketersediaan bahan baku yaitu molasses juga perlu diperhatikan untuk menjaga kontinuitas proses.

Keywords:

fuel, bioethanol,
economy,
transportation

ABSTRACT. Energy consumption in the transportation sector in Indonesia is very large due to the very large use of fuel. A large proportion of the use of fuel for transportation is also followed by the number of government subsidies for fuel. Data throughout 2010-2020 show that the realization of fuel subsidies is always higher than the budgeted one. So the need for alternatives to reduce fuel consumption in the transportation sector. From a technical point of view, the opportunity to use bioethanol generation 1 (G1) which is made from molasses is easy to apply because of the simple process. From the economic analysis, it can be seen that this project is feasible when the NPV and DCFROR are positive, so when the molasses price is 1.500,00/Kg and the bioethanol price is 15.000.00/liter this project is feasible, as well as when the molasses price is 2.061,00/Kg and the price of molasses is 2.061,00/Kg, bioethanol 16.000,00/liter and when the price of molasses is 2.061,00/Kg and the price of bioethanol is 15.000,00/liter, but when the price of molasses is 2.061,00/Kg and the price of bioethanol is 12.113,00/liter this project is not feasible because of NPV and DCFROR have a negative value. From the simulation results, it is known that the price of molasses and bioethanol is very influential on the realization of the substitution of fuel with bioethanol, the availability of raw materials or molasses also needs to be considered to maintain the continuity of the process.

1. PENDAHULUAN

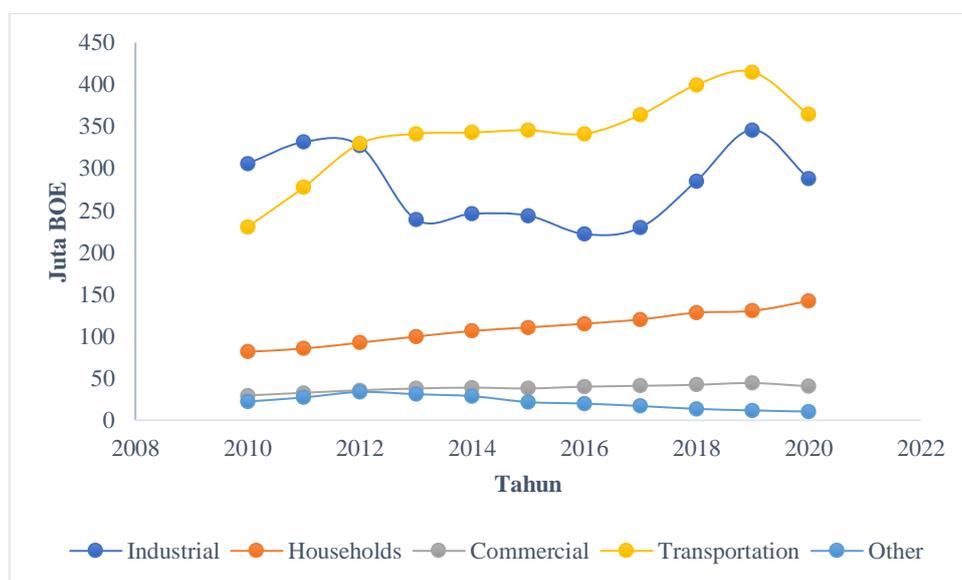
Sektor transportasi menyerap konsumsi energi yang cukup besar, di mana lebih dari 94% penggunaan energi pada sektor transportasi di Indonesia bersumber dari Bahan Bakar Minyak (BBM). Sementara itu, Indonesia telah menjadi net importir minyak sejak 2004. Ditambah dengan potensi defisitnya sumber energi fosil lainnya, seperti gas dan batu bara. Data konsumsi energi final menunjukkan bahwa pada tahun 2020 sebesar 43,11% konsumsi energi digunakan untuk sektor transportasi [1], di mana ini didominasi oleh kendaraan milik pribadi [2].

Sumber energi terbarukan diperlukan sebagai sumber bahan bakar pengganti dari sumber energi fosil yaitu minyak bumi yang semakin menipis jumlahnya jika tidak dibatasi penggunaannya. Indonesia juga perlu memperkuat sumber energi terbarukannya, agar bisa menghasilkan produk pengganti bahan bakar minyak (BBM), sehingga akan mengurangi impor minyak mentah (*crude*) untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri. Sebagian besar impor migas didominasi oleh impor BBM jenis gasolin dan minyak mentah. Impor migas pada April 2021

mencapai US\$2,0 miliar atau sekitar 12,5% dari total impor nasional (BPS, Mei 2021). Untuk itu diperlukan pengembangan bahan bakar dari sumber energi terbarukan supaya dapat mengurangi impor migas tersebut [3].

Beberapa langkah untuk mengurangi subsidi energi dan ketergantungan pada bahan bakar minyak antara lain ialah dengan mengurangi atau mencabut subsidi, mengganti BBM dengan energi alternatif, mengganti teknologi yang menggunakan BBM dengan teknologi dengan energi alternatif, memanfaatkan teknologi yang lebih efisien, dan mengubah pola penggunaan energi. Pemanfaatan biodiesel untuk mengganti sebagian penggunaannya minyak diesel seperti diamanatkan pada Permen ESDM Nomor 25 Tahun 2013 telah berjalan, tetapi pemanfaatan bioethanol belum berjalan seperti yang diharapkan. Penelitian ini membahas pengembangan dan pemanfaatan bioethanol untuk menggantikan atau mengurangi penggunaan BBM.

Meningkatnya pembangunan akan meningkatkan kebutuhan akan energi pula. Beberapa peranan strategis energi antara lain sebagai sumber penerimaan negara, bahan bakar dan bahan baku industri, penggerak kegiatan ekonomi, serta beberapa peranan penting lainnya. Kelangsungan berbagai sektor di suatu negara, seperti sektor industri, rumah tangga, transportasi, jasa, dan lain-lain tidak dapat dipisahkan dari penggunaan energi. Berikut pada **Gambar 1** terlihat konsumsi energi Indonesia dari beberapa sektor.



Gambar 1. Konsumsi energi final di Indonesia setiap sektor [1]

Konsumsi pada sektor transportasi di Indonesia sangat besar, hal ini dikarenakan penggunaan BBM yang sangat besar. Besarnya proporsi penggunaan BBM untuk transportasi juga diikuti dengan besarnya subsidi pemerintah untuk BBM. Data sepanjang tahun 2010-2020 menunjukkan realisasi subsidi BBM selalu lebih besar, dibandingkan dengan yang dianggarkan. Sehingga perlunya alternatif untuk mengurangi konsumsi BBM pada sektor transportasi.

Etanol merupakan jenis utama dari alkohol yang mempunyai struktur $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$, atau sering disingkat $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ atau $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$. Ada beberapa senyawa alam yang mampu diolah untuk menghasilkan etanol, dan salah satunya dari molasses (sisa pengolahan industri gula). Bahan bakar etanol dari sari tanaman tebu akan lebih mudah diproduksi dibanding dengan fermentasi karbohidrat dari jagung. Di pabrik, tebu digiling ditekan dengan silinder berputar untuk memperoleh cairan manis dan menyisakan residu berserat atau *bagas*. Cairan manis dapat langsung difermentasi oleh ragi yang akan memecah gula menjadi gas CO_2 dan etanol sampai konsentrasi 15%. Campuran air etanol didistilasi untuk memperoleh etanol atau alkohol 95%. Alkohol ini sudah dapat dijual untuk bahan bakar mobil. Namun jika dikehendaki sebagai aditif dengan menambahkan 10% kedalam bensin (gasohol), maka alkohol perlu dimurnikan hingga mendekati 100%. Pemurnian hingga 100% dapat dilakukan dengan absorpsi dengan bahan penghisap air seperti CaO [4].

Bioetanol, sebagai bahan bakar cair pengganti bahan bakar minyak (BBM) untuk transportasi, menjadi perhatian lebih dari 50 negara. Salah satu alasannya penggunaan bioetanol dapat mengurangi pencemaran udara karena sisa pembakaran bioetanol menghasilkan gas rumah kaca/GRK (*greenhouse gases/ GHG*) yang jauh lebih kecil daripada pembakaran BBM. Para peneliti menyatakan bahwa pemanfaatan bioetanol G2 dari limbah

pertanian jagung, *switchgrass*, dan *miscanthus* berhasil menurunkan *life cycle (field-to-wheels)* GRK masing-masing sebesar 90%, 77%, dan 101% dibandingkan GRK dari pembakaran BBM. Dengan demikian, penggunaan bioetanol sebagai substitusi BBM akan mendukung tercapainya sasaran ke-XIII dalam tujuan pembangunan berkelanjutan (*sustainable development goals/SDG*). Tantangan ini berkaitan dengan *climate action* atau mengurangi polusi udara untuk menghadapi perubahan iklim [5].

Alasan kedua, penggunaan bioetanol dapat menggerakkan ekonomi negara penghasil bioetanol tersebut. Bioetanol dapat dibuat dari berbagai jenis biomassa, baik yang berasal dari tanaman pangan (bioetanol G1) maupun dari biomassa lignoselulosa (bioetanol G2). Bioetanol G2 menggunakan bahan baku biomassa lignoselulosa, misalnya limbah pertanian, limbah perkebunan, sisa pengolahan hasil hutan, atau dari tumbuhan lain yang belum termanfaatkan optimal seperti berbagai jenis rumput-rumputan, sorgum dan sebagainya. Biomassa lignoselulosa dalam berbagai bentuk limbah terdapat di semua negara sehingga produksi bioetanol G2 dapat dilakukan dengan teknologi yang sesuai dengan jenis biomassa potensial yang tersedia di negara tersebut. Oleh karena itu, produksi bioetanol G2 dengan memanfaatkan limbah biomassa lignoselulosa dapat menggerakkan sektor pertanian dan perkebunan serta membuka lapangan kerja, dan akhirnya menggerakkan perekonomian di negara yang bersangkutan.

Ketiga, penggunaan bioetanol dapat mengurangi ketergantungan pada BBM. Etanol sudah lama digunakan sebagai campuran bahan bakar kendaraan, tetapi penggunaannya masih sangat terbatas karena energi hasil pembakaran etanol sebesar 21,1 MJ/L lebih rendah daripada energi pembakaran BBM yang sebesar 30–33 MJ/L [6]. Di samping itu, sifat etanol yang higroskopis dapat menimbulkan kerusakan pada bagian mesin, menyebabkan penggunaannya masih terbatas. Namun, etanol memberikan nilai oktan (*research octane number/ RON*) yang lebih tinggi (108) dibandingkan nilai oktan BBM, yakni 95 [7]. Tingginya nilai oktan ini mendukung penggunaan etanol sebagai bahan bakar kendaraan, lihat **Tabel 1**.

Tabel 1. Perbandingan sifat fisika antara ethanol dengan bensin [8]

<i>Property</i>	<i>Ethanol</i>	<i>Gasoline</i>
<i>Chemical formula</i>	C ₂ H ₅ OH	C ₄ sd C ₁₀
<i>Composition % weight</i>		
Carbon	52,2	85-88
Hydrogen	13,1	12-15
Oxygen	34,7	0
<i>Octane Number</i>		
<i>Research Octane</i>	108	90-100
<i>Motor Octane</i>	92	81-90
<i>Density (lb/gal)</i>	6,61	6,0-6,5
<i>Boiling Point (°F)</i>	172	80-437
<i>Freezing Point (°F)</i>	-173,22	-40
<i>Flash Point (°F)</i>	55	-45
<i>AutoIgnition Temp (°F)</i>	793	495
<i>Heating Value</i>		
<i>Higher (Btu/gal)</i>	84.100	124.800
<i>Lower (Btu/gal)</i>	76.000	115.000
<i>Specific heat (Btu/lb °F)</i>	0,57	0,48
<i>Stoichiometric air/ fuel, weight</i>	9	14,7

Kelemahan bahan bakar bioetanol adalah bereaksi terhadap logam sehingga menyebabkan korosi, penggunaan campuran bioethanol 20% pada premium menyebabkan korosi komponen otomotif, komponen yang paling beresiko mengalami korosi adalah komponen material tembaga dan baja karbon. Hal ini dikarenakan adanya air pada bioetanol yang membentuk titik - titik air pada tangki dan pipa-pipa saluran bahan bakar pada kendaraan. Uap dan titik air tersebut dapat menyebabkan korosi pada tangki dan saluran bahan bakar sehingga penggunaan etanol akan mempercepat terjadinya korosi pada tangki dan saluran bahan bakar. Sebagai langkah solusi, haruslah dilakukan kajian dan modifikasi terhadap material kendaraan khususnya saluran bahan bakar dan tangki bahan bakar dimana material yang digunakan sebelumnya digantikan dengan material yang lebih tahan terhadap korosi

[9].

2. METODE

Artikel ini ditulis berdasarkan hasil kajian dan studi literatur yang berkaitan dengan pemanfaatan bioetanol sebagai salah satu energi alternatif ramah lingkungan pengganti bahan bakar minyak yang bersumber dari energi fosil. Metode penelitian meliputi pengambilan dan kompilasi data sekunder berupa situs resmi yang diakses secara online, review jurnal yang terkait dengan bagaimana pengaruh penambahan bioetanol pada bensin terhadap unjuk kerja kendaraan bermotor serta potensi bioetanol sebagai pengganti bensin.

Selanjutnya dilakukan analisis serta pembahasan mengenai kelangsungan dan kelayakan bioetanol sebagai substitusi bahan bakar bensin pada kendaraan bermotor baik dalam aspek teknis dan non teknis (ekonomi) serta serta mengulas permasalahan dan perkembangan bioetanol sebagai substitusi BBM.

3. KAJIAN TEKNOLOGI

Bioetanol pada dasarnya adalah etanol atau senyawa alkohol yang diperoleh melalui proses fermentasi biomassa dengan bantuan mikroorganisme. Bioetanol yang diperoleh dari hasil fermentasi bisa memiliki berbagai macam kadar. Bioetanol dengan kadar 90-94% disebut bioetanol tingkat industri. Jika bioetanol yang diperoleh berkadar 94-99,5% maka disebut dengan bioetanol tingkat netral. Umumnya bioetanol jenis ini dipakai untuk campuran minuman keras, dan yang terakhir adalah bioetanol tingkat bahan bakar. Kadar bioetanol tingkat ini sangat tinggi, minimal 99,5%. Setiap bahan dalam pembuatan bioetanol memiliki proses yang berbeda seperti yang dijelaskan sebagai berikut:

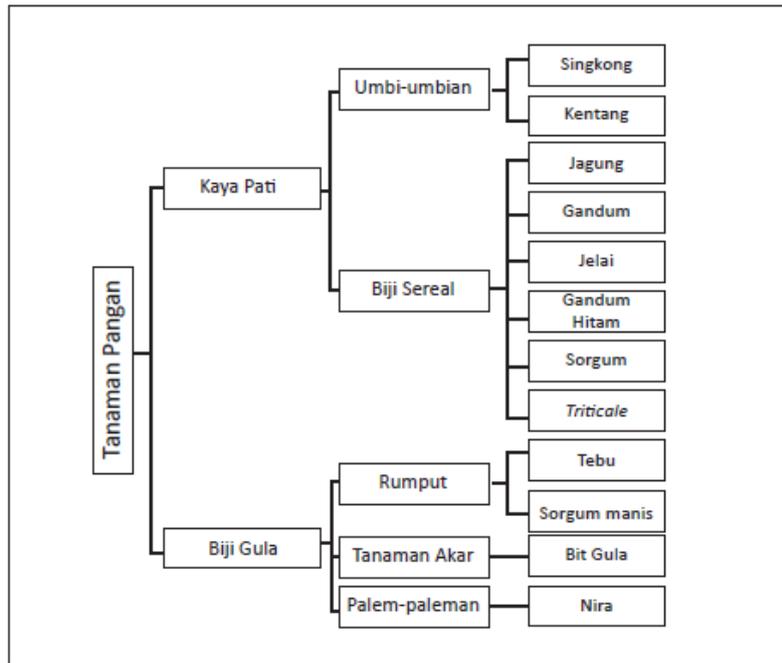
3.1 Bioetanol Berdasarkan Bahan Baku

Berdasarkan bahan bakunya, bioetanol dikelompokkan menjadi empat generasi. Bioetanol generasi satu (G1) menggunakan bahan baku yang mengandung pati atau bahan yang mengandung gula. Bioetanol generasi dua (G2) menggunakan bahan baku yang berasal dari biomassa lignoselulosa. Bioetanol generasi tiga (G3) menggunakan bahan baku yang berasal dari mikroalga maupun makroalga. Bioetanol generasi empat (G4), yang kadang-kadang disebut bioetanol lanjut (advanced bioethanol), dihasilkan dari biomassa atau oleh mikrob yang telah mengalami proses modifikasi genetika. Untuk penggunaan secara umum saat ini lebih banyak menggunakan Bioetanol generasi satu (G1) dan dua (G2). Di ASEAN tetes tebu (molasses) dan ubi kayu menjadi bahan baku utama pembuatan bioetanol. Dalam lingkup ASEAN Thailand merupakan produsen bioetanol terbesar, diikuti oleh Filipina [5].

3.1.1 Bioetanol Generasi Satu

Bioetanol G1 merujuk pada etanol yang terbuat dari gula atau pati. Bahan baku untuk produksi bioetanol G1 bisa didapatkan dari berbagai tanaman, baik yang secara langsung menghasilkan gula sederhana (tebu dan sorgum manis) maupun tanaman yang menghasilkan pati (jagung, ubi kayu, dan gandum). Jenis tanaman yang dapat digunakan sebagai sumber bahan baku bioetanol generasi satu dapat dilihat pada Gambar 2.

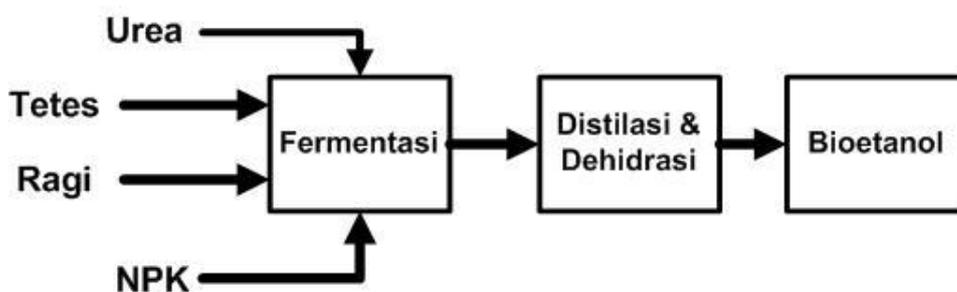
Alur proses produksi bioetanol G1 tergantung jenis bahan baku yang digunakan. Bahan baku kaya gula akan difermentasi secara langsung menjadi alkohol. Bahan baku kaya pati harus melalui serangkaian tahapan, yaitu persiapan bahan baku, pengolahan awal, hidrolisis pati menjadi gula, fermentasi gula menjadi etanol, dan pemurnian etanol.



Gambar 2. Pengelompokan tanaman sumber bahan baku bioetanol G1 [5]

Persiapan bahan baku dilakukan dalam rangka mempersiapkan bahan baku agar dapat diproses lebih lanjut. Jika bahan baku yang digunakan dari umbi-umbian, seperti ubi kayu, proses persiapannya adalah mengupas dan membersihkan ubi kayu. Bahan baku yang telah dipersiapkan ini lalu masuk ke proses perlakuan awal. Pada proses perlakuan awal, bahan baku yang telah bersih dipotongpotong, digiling, dan dilakukan pemisahan pati dari serat. Proses selanjutnya adalah hidrolisis pati menjadi gula dengan bantuan asam atau enzim. Proses pembuatan bioetanol G1 sudah tetap, tetapi teknologi enzim terus berkembang untuk menghidrolisis pati secara efisien.

Kemudian, larutan gula yang diperoleh dari proses hidrolisis difermentasi dengan bantuan ragi. Ragi yang digunakan biasanya *Saccharomyces cerevisiae*. Bakteri *Zymomonas mobilis* juga sering digunakan dalam proses fermentasi etanol ini. Konsentrasi etanol yang dicapai dari proses fermentasi adalah 10% [10]. Tahap terakhir adalah pemurnian alkohol hasil fermentasi melalui proses distilasi dan dehidrasi sehingga dicapai bioetanol kualitas bahan bakar (kadar > 99,5%). Proses penghilangan air melalui distilasi dan adsorpsi atau proses dehidrasi lainnya menjadi kunci penting dalam produksi bioetanol untuk keperluan bahan bakar. Hal ini karena proses tersebut harus mampu mengatasi sifat azeotropik campuran etanol dan air sehingga etanol untuk keperluan pencampuran dengan BBM dapat dihasilkan. Sifat azeotropik terjadi bila ada campuran dua atau lebih komponen yang saling terikat dengan sangat kuat dan sulit dipisahkan dengan distilasi biasa. Titik azeotrop alkohol adalah pada kondisi campuran 96% alkohol dan air 4% [5].



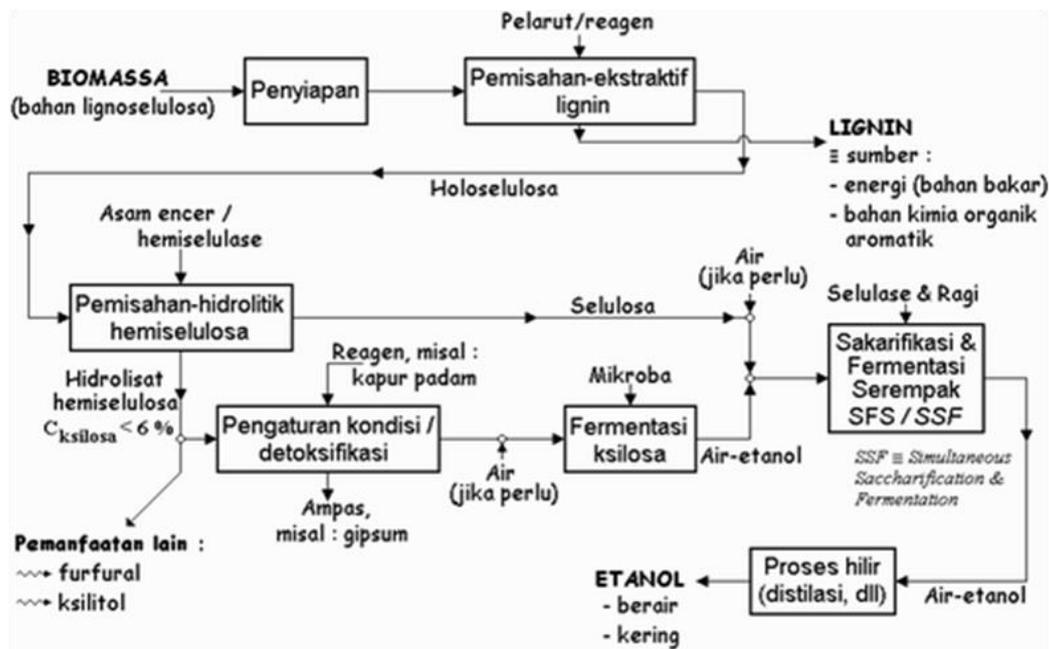
Gambar 3. Bagan proses pembuatan bioetanol generasi satu [5]

3.1.2 Bioetanol Generasi Dua

Bioetanol G2 adalah bioetanol yang berbahan baku biomassa lignoselulosa. Biomassa lignoselulosa untuk produksi bioetanol dapat diperoleh dari berbagai limbah, seperti limbah pertanian, Contoh biomassa *lignoselulosa* yang berpotensi sebagai bahan baku bioetanol adalah jerami padi, bagas tebu, bagas sorgum, tongkol jagung, tandan kosong kelapa sawit, limbah kayu, sampah organik padat, dan lain-lain.

Penggunaan bahan baku lignoselulosa untuk produksi bioetanol mendapat perhatian para ahli di bidang pengembangan energi baru terbarukan di berbagai negara. Hal ini karena jumlah bahan baku lignoselulosa berlimpah dan tersedia di hampir semua negara. Data terbaru menyebutkan bahwa bioetanol dari lignoselulosa (bioetanol G2) mengurangi emisi gas rumah kaca lebih besar dibandingkan bioetanol G1 dan bahan bakar fosil. Bioetanol dari lignoselulosa hanya menghasilkan emisi gas rumah kaca sebesar 11 kg CO₂-eq per MJ, sementara bioetanol G1 dan bensin melepaskan emisi berturut-turut sebesar 81 kg CO₂-eq per MJ dan 94 kg CO₂-eq per MJ [5].

Bahan lignoselulosa adalah kombinasi dari tiga polimer yang berikatan dalam matriks padat. Ketiga polimer tersebut adalah selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Kandungan selulosa dan hemiselulosa tersebut dapat dikonversi menjadi bioetanol. Kimiawan Prancis, Henri Braconnot, adalah orang pertama yang menemukan selulosa yang dapat dihidrolisis menjadi gula dengan menggunakan asam sulfat pada 1819. Gula kemudian diproses untuk membentuk etanol melalui fermentasi.



Gambar 4. Proses produksi ethanol generasi 2 [4]

Proses hidrolisis adalah proses konversi selulosa/hemiselulosa menjadi gula monomer (C6 atau C5) dengan menggunakan asam encer atau enzim. Proses fermentasi menggunakan ragi, umumnya ragi *Saccharomyces cerevisiae*, dilakukan untuk mengubah glukosa (C6) menjadi bioetanol. Ragi *Pichia stipitis* juga dapat digunakan untuk mengubah xilosa (C5) menjadi bioetanol. Rekombinan kedua ragi tersebut biasanya dipakai untuk konversi serentak dari gula C6 dan C5 menjadi bioetanol [11]. Tahapan selanjutnya adalah pemurnian untuk mendapatkan bioetanol kadar tinggi ($\geq 99,5\%$) dengan proses distilasi dan dehidrasi.

3.2 Teknologi Fermentasi

Seiring perkembangan teknologi, definisi fermentasi meluas menjadi semua proses yang melibatkan mikroorganisme untuk menghasilkan suatu produk (metabolit primer dan sekunder) dalam suatu lingkungan yang terkendali. Pada mulanya istilah fermentasi digunakan untuk menunjukkan proses perubahan glukosa menjadi etanol yang berlangsung secara anaerob. Kemudian, istilah fermentasi berkembang menjadi seluruh perombakan senyawa organik yang dilakukan mikroorganisme. Dalam praktiknya, proses fermentasi yang dipakai meliputi:

3.2.1 Hidrolisis dan Fermentasi Terpisah (*Separate Hydrolysis and Fermentation, SHF*)

Proses *Separate Hydrolysis and Fermentation (SHF)* adalah proses pembuatan etanol di mana biomassa lignoselulosa yang telah mengalami perlakuan awal dihidrolisis menjadi glukosa dan di lanjutkan dengan fermentasi menjadi etanol pada reaktor yang berbeda. Hal ini memudahkan pengontrolan terhadap tiap tahapan proses agar tercapai hasil yang diharapkan. Kelebihan metode ini adalah proses hidrolisis dan fermentasi dapat dilakukan pada kondisi optimum. Pada proses hidrolisis, selulase dapat bekerja optimum pada temperatur 45–50°C atau tergantung pada jenis mikroorganisme penghasil glukosa. Sementara itu, mikroorganisme untuk fermentasi bekerja optimum pada temperatur 30–37°C. Namun, proses SHF menghasilkan akumulasi glukosa dan selobiosa selama proses hidrolisis dapat menghambat kinerja selulase dan menurunkan efisiensi proses. Kelemahan proses tersebut mendorong pengembangan metode sakarifikasi dan fermentasi serentak (SSF) [5].

3.2.2 Sakarifikasi dan Fermentasi Serentak (*Simultaneous Saccharification and Fermentation/ SSF*)

Proses SSF secara umum lebih diminati untuk mengurangi biaya produksi etanol. SSF pertama kali dikenalkan oleh Takagi, Abe, Suzuki, Emert, dan Yata (1977), yaitu kombinasi hidrolisis enzimatis dan fermentasi gula menjadi etanol secara simultan dilakukan dalam satu reaktor dan waktu yang bersamaan. Dalam proses SSF polisakarida yang dihidrolisis menjadi monosakarida langsung difermentasi menjadi etanol. Etanol yang terakumulasi tidak menghambat enzim selulase sehingga SSF adalah strategi yang cocok untuk mempercepat laju konversi selulosa menjadi etanol. Sebagai perbandingan, metode SSF mampu menghasilkan etanol hingga 40% lebih banyak daripada metode SHF. Persoalannya walaupun lignoselulosa relatif murah tetapi memerlukan teknologi tinggi dalam produksi enzim yang dapat mengubah selulosa menjadi gula sehingga biaya produksi ethanol menjadi tidak murah [4].

4. PELUANG DAN TANTANGAN

Sampai dekade ini, peran bioetanol dalam total energi dunia masih sangat kecil. Di Amerika Serikat, negara produsen bioetanol bahan bakar terbesar di dunia, bioetanol pada 2017 1,63% dari total konsumsi energinya (US Energy Information Administration, 2017). Namun, karena potensi bahan baku yang besar dan beberapa manfaat lain, bioetanol menjadi fokus perhatian berbagai negara. Walaupun peran bioetanol dalam sistem energi dunia masih sangat kecil, potensinya sangat besar. Hingga awal 2018, puluhan pilot plant, demo plant dan, industri komersial bioetanol G2 terus dibangun dan beroperasi di berbagai negara, misalnya di Amerika Serikat, Brasil, China, India, dan negara-negara Eropa [5].

Prospek pemanfaatan bioetanol sebagai bahan bakar di Indonesia pernah dikaji dan dilakukan sebelum 2010, tetapi kemudian dihentikan karena rendahnya harga BBM dan meningkatnya harga bahan baku bioetanol G1. Berdasarkan peraturan Menteri ESDM No. 12 Tahun 2015, bioetanol digunakan sebagai substitusi BBM secara bertahap sampai menggunakan E20 pada 2025. Jika E20 dapat direalisasikan, jumlah kebutuhan bioetanol tahun 2025 diprediksi sebesar 7,9 juta kiloliter (kl) per tahun atau sekitar 19 kali kapasitas industri bioetanol dalam negeri saat ini. Untuk menghasilkan E20 tersebut, bahan baku biomassa lignoselulosa yang tersedia di dalam negeri sangat potensial untuk dimanfaatkan. Jika 30% dari jumlah limbah lignoselulosa dalam bentuk jerami padi, tongkol jagung, bagas tebu, dan tandan kosong sawit, atau sekitar 22,6 juta ton (data tahun 2014). Jenis tanaman yang dapat menghasilkan ethanol seperti terlihat pada **Tabel 2** [5].

Tabel 2. Sumber, hasil panen, dan rendemen alkohol berbagai tanaman [4]

Sumber Karbohidrat	Hasil Panen Ton/ha/th	Perolehan alkohol	
		Liter/ton	Liter/ha/th
Singkong	25 (23,6)	180 (155)	4500 (3658)
Tetes tebu	3,6	270	973
Sorgum biji	6	333,4	2000
Ubi jalar	62,5	125	7812
Sagu	6,8	608	4133
Tebu	75	67	5025
Nipah	27	93	2500
Sorgum manis	80	75	6000

Penggunaan campuran bioetanol sebesar lima persen ke dalam bahan bakar minyak (BBM) pada 2020 menjadi sulit jika tidak ada kebijakan atau upaya lain yang mendorong percepatan pelaksanaan itu terutama dalam memecahkan masalah harga. Sementara, rencana untuk mencampur bioetanol sebesar 2% ke dalam bahan bakar minyak pada 2016 saja tidak tercapai, bahkan sampai 2018 masih nol persen. Karena harganya yang masih tinggi, PT Pertamina belum sanggup untuk melakukan implementasi. Oleh karena itu implementasi ini, *roadmap*-nya harus benar-benar rinci tidak hanya menyebutkan patokan berapa persen campuran etanol terhadap BBM, tapi juga bagaimana langkah-langkah dalam mencapai target-target bauran etanol dalam BBM, karena PT Pertamina sendiri sudah punya kilang untuk pencampuran di beberapa kota [12].

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) sudah merilis Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 Tahun 2015 yang di dalamnya menyebutkan bahwa penggunaan bioetanol E5 diwajibkan pada 2020 dengan formulasi 5% etanol dan 95% bensin dan akan ditingkatkan ke E20 pada 2025. Namun dalam perjalanannya rencana tersebut menghadapi kendala seperti yang dialami oleh pemerintah Tiongkok. Pada akhirnya penerapan bioetanol tersebut direvisi oleh Pemerintah dengan menurunkan kandungan bioetanol menjadi 2% atau bioetanol E2. Setelah serangkaian uji coba yang dilakukan dengan PT Pertamina, penerapan E2 pun masih jauh dari harapan karena terkendala biaya produksi yang masih tinggi, sehingga kehadiran bioetanol kurang kompetitif sebagai bahan bakar alternatif untuk kendaraan. Dalam upaya mewujudkan cita-cita pemerintah tersebut, Dewan Energi Nasional (DEN) mengharapkan adanya kerja sama yang terintegrasi antar Kementerian terkait termasuk dengan industri otomotif [13].

5. KAJIAN EKONOMI

Dari sisi ekonomi dalam pembuatan bioetanol memerlukan biaya produksi dan bahan baku yang tentunya berbeda untuk tiap proses dan bahan bakunya. Semakin rumit prosesnya akan memerlukan biaya yang lebih besar yang secara kasar pembagiannya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3. Perbandingan komponen biaya produksi bioetanol G1 dan G2 [5]

Komponen biaya (%)	Etanol dari jagung (Bioetanol G1)	Etanol selulosa (Bioetanol G2)
Bahan baku	57	36
Enzim	2	15
Modal (kapital)	10	20
Lain-lain	31	29

Tabel 3 memperlihatkan bahwa komponen biaya bahan baku pembuatan bioetanol G2 lebih kecil daripada G1. Hal ini karena G1 menggunakan komoditas pangan, sedangkan G2 memanfaatkan bahan baku limbah pertanian. Namun, biaya proses dan belanja modal untuk pembuatan bioetanol G2 jauh lebih besar daripada bioetanol G1 karena bioetanol G2 memerlukan proses yang lebih rumit daripada bioetanol G1.

Tabel 4. Gambaran MESP untuk komponen produksi bioetanol G2 dari tiga buah industri di AS, Brasil, dan Uni Eropa [5]

Komponen Biaya	Perusahaan/Industri di		
	AS (Industri DP)	Eropa (Industri PD)	Brasilia (Industri RZ)
Bahan baku (%)	29,4	39,1	20,4
Biaya operasi (%)	42,3	20,7	25,5
Biaya tetap (%)	8,8	12,6	16,1
Total biaya produksi (%)	80,5	72,4	62
Biaya modal (<i>Capital cost</i>) (%)	15,3	21,8	29
ROI (%)	4,3	5,8	9
MESP (Rp/l)	11.610	11.890	7.635

MESP: harga jual bioetanol minimum (*minimum ethanol selling price*)

Konversi: Rp 13.300/US\$, 1 galon = 3,78 l.

Dari **Tabel 4**, dapat dilihat bahwa biaya produksi tertinggi adalah di AS, dan komponen biaya terbesar dalam produksi bioetanol G2 adalah biaya operasi. Sementara itu, di Eropa komponen biaya produksi terbesar adalah bahan baku (dalam hal ini biaya pengumpulan dan transportasi bahan baku). Jika ketiga industri tersebut dibandingkan maka Brasil memiliki biaya produksi terendah dengan biaya modal terbesar untuk membangun industri bioetanol G2.

Selain biaya proses pengolahan awal dalam pembuatan bioetanol G2, biaya enzim juga merupakan komponen biaya proses yang sangat signifikan. Oleh karena itu, masalah enzim menjadi salah satu topik bahasan di berbagai riset bioetanol G2. Beragam upaya dilakukan oleh berbagai industri untuk menurunkan biaya enzim, misalnya melalui penelitian untuk mencari enzim yang paling efektif, maupun kerja sama antara pemilik teknologi proses dan pemilik teknologi enzim [5].

Sebagai contoh perhitungan ekonomi dipilih menggunakan bioetanol G1 berbahan *molasses*, *molasses* dipilih karena bukan bahan pokok dan juga merupakan limbah yang masih bisa dimanfaatkan serta proses fermentasi yang sederhana. Jumlah *molasses* yang dibutuhkan sebesar 85.332 Kg/tahun dan menghasilkan bioetanol sebesar 28.444 liter/tahun [14]. Peralatan yang dibutuhkan untuk proses adalah:

Tabel 5. Peralatan proses pembuatan bioetanol

Alat yang diperlukan		Harga
Tangki Penampung Molases	IDR	6.000.000,00
Tangki Pengenceran molases	IDR	600.000,00
Tangki Fermentasi	IDR	7.500.000,00
Tangki penyimpanan	IDR	10.000.000,00
Kolom destilasi 40-70%	IDR	90.000.000,00
Kolom destilasi 90%	IDR	30.000.000,00
Pompa	IDR	700.000,00
Total	IDR	144.800.000,00

Biaya Investasi Total (*Total Capital Investment*)

Biaya investasi terdiri dari biaya investasi tetap (*fixed capital investment*) dan modal kerja (*Working Capital*). *Fixed capital investment* merupakan biaya yang dibutuhkan secara langsung dengan pendirian suatu pabrik dan fasilitas-fasilitas yang dibutuhkan sedangkan *working capital* adalah biaya yang diperlukan untuk memulai menjalankan dan mengoperasikan suatu pabrik hingga pabrik tersebut mendapatkan pendapatan. Biaya investasi dihitung berdasarkan *Purchased Equipment Cost* dengan menggunakan *plant cost factor* untuk menentukan komponen yang lainnya sebagai berikut [15]:

Total production cost ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$TCI = FCI_L + Land + Working Capital \quad (1)$$

Keterangan :

FCI_L = *Fixed capital investment without land*

Land = Tanah

Working capital = Modal Awal

Tabel 6. Biaya investasi total (*total capital investment*)

<i>Component</i>	<i>Plant Cost Factor</i>		<i>Plant Cost</i>
<i>Purchased equipment cost</i>	1	IDR	144.800.000,00
<i>Piping</i>	0,15	IDR	21.720.000,00
<i>Electrical</i>	0,1	IDR	14.480.000,00
<i>Instrumentation</i>	0,1	IDR	14.480.000,00
<i>Utilities</i>	0,3	IDR	43.440.000,00
<i>Foundations</i>	0,07	IDR	10.136.000,00
<i>Insulation</i>	0,02	IDR	2.896.000,00
<i>Painting, fireproofing</i>	0,02	IDR	2.896.000,00
<i>Yard improvements</i>	0,05	IDR	7.240.000,00
<i>Environmental</i>	0,1	IDR	14.480.000,00
<i>Buildings</i>	0,05	IDR	7.240.000,00
<i>Land</i>	0,1	IDR	14.480.000,00
Subtotal	2,06	IDR	298.288.000,00
<i>Construction, engineering</i>	0,2	IDR	28.960.000,00
<i>Contractors fee</i>	0,1	IDR	14.480.000,00
<i>Contingency</i>	0,15	IDR	21.720.000,00
Total	2,51	IDR	363.448.000,00
Fix Capital Invesment (FCI)		IDR	363.448.000,00
FCI_L		IDR	348.968.000,00
Working Capital (15% X FCI)		IDR	54.517.200,00
Total Capital Investment (WC + FCI)		IDR	417.965.200,00

Harga bahan baku (C_{RM}) = IDR 1.500,00/ Kg \times 85.332 Kg = IDR 127.998.000,00

Harga produk = IDR 15.000,00/ liter \times 28.444 liter = IDR 426.660.000,00

Biaya Manufaktur (*Manufacturing Cost*)

Perhitungan biaya manufaktur dapat ditentukan ketika biaya berikut diketahui atau dapat diperkirakan [15]:

$$COM_d = 0,180FCI + 2,73C_{OL} + 1,23 (C_{UT} + C_{WT} + C_{RM}) \quad (2)$$

Cost operating labor (C_{OL}), *Cost of utilities* (C_{UT}), *Cost of water treatment* (C_{WT}) tidak diperhitungkan dan dianggap sudah termasuk dalam 18% dari FCI, sehingga didapat biaya manufaktur:

$$COM_d = \text{IDR } 222.858.180,00$$

Umur proyek = 14 tahun

Pajak pendapatan = 10%

Interest rate = 10%

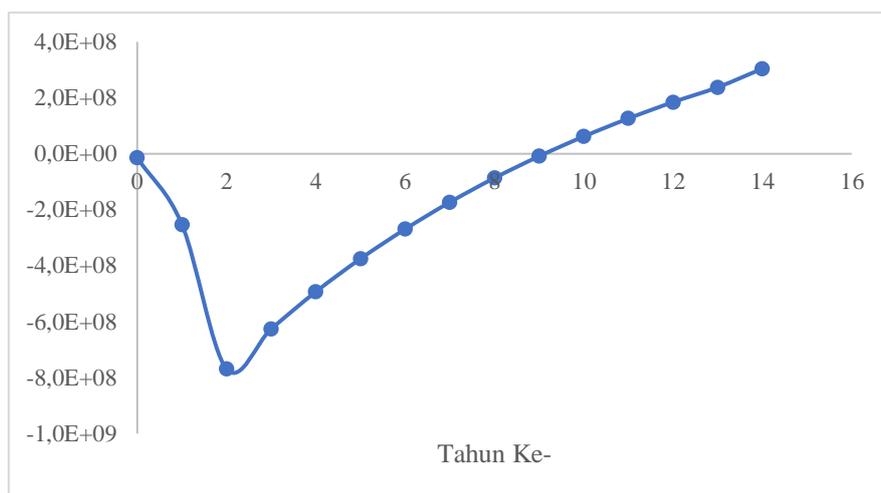
Dari perhitungan diperoleh:

Discounted payback period (DPBP) = 6,23 tahun

Net Present Value (NPV) = IDR 304.259.556,53

Discounted Cash Flow Rate of Return (DCFROR) = 17%

Gravik *cash flow* dari proyek ini dapat dilihat pada **Gambar 6** sebagai berikut:



Gambar 5. Discounted cash flow

Berikut simulasi perubahan harga bahan baku dan produk terhadap NPV dan DCFROR. Pada **Tabel 7** terlihat bahwa proyek ini layak dilakukan ketika NPV dan DCFROR bernilai positif, sehingga saat harga molasses 1.500,00/kg dan harga bioetanol 15.000,00/ liter proyek ini layak dilakukan, begitu juga saat harga molasses 2.061,00 dan harga bioetanol 16.000,00 dan saat harga molasses 2.061,00 dan harga bioetanol 15.000,00, namun saat harga molasses 2.061,00 dan harga bioetanol 12.113,00 proyek ini tidak layak dilakukan karena NPV bernilai -410.330.715,93 dan DCFROR bernilai -2%.

Tabel 7. Pengaruh harga molasses dan bioetanol terhadap NPV dan DCFROR

Harga Molasses (IDR/Kg)	Harga Bioetanol (IDR/liter)	NPV	DCFROR
1.500,00	15.000,00	304.259.556,53	17%
2.061,00	16.000,00	150.000.524,59	14%
2.061,00	15.000,00	5.845.330,22	10%
2.061,00	12.113,00	-410.330.715,93	-2%

6. KESIMPULAN

Dari kelebihan dan kekurangan dari penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar alternatif dimasa sekarang dan peluang menjadi bahan bakar utama dimasa depan dapat dilihat dari aspek teknis dan non teknis. Dari sisi teknis peluang penggunaan bioetanol sebagai substitusi bahan bakar bensin yang bersumber dari energi fosil dimasa depan cukup besar dikarenakan sifat fisika bioetanol yang mendekati sifat fisika bahan bakar bensin. Penggunaan teknologi bioetanol generasi 1 (G1) menggunakan bahan molasses terbukti cukup sederhana seperti yang dicontohkan diatas, molasses dapat langsung difermentasi dan selanjutnya proses distilasi sehingga diperoleh bioetanol. Namun tetap ada pekerjaan rumah bagi para pemangku kebijakan yaitu penyelesaian permasalahan non teknis seperti penyelesaian kontinuitas, ketersediaan bahan baku, sampai dengan usaha menekan harga jual bioetanol di pasaran karena sesuai simulasi yang telah dilakukan harga dari bioetanol dan molasses akan mempengaruhi layak atau tidaknya penerapan substitusi bensin dengan bioetanol.

PUSTAKA

- [1] A.C. Adi, F. Lasnawati, Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia, Ministry of Energy and Mineral Resources Republic of Indonesia, Jakarta, 2021.
- [2] A. Maghfiroh, "Efisiensi Energi di Sektor Transportasi, Studi Kasus di Indonesia dan Uni Eropa," Publish What You Pay Indonesia (2019). <https://pwpypindonesia.org/id/efisiensi-energi-di-sektor-transportasi-studi-kasus-di-indonesia-dan-uni-eropa/>.
- [3] "Pengembangan Energi Terbarukan untuk Substitusi BBM," Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian (2021). <https://www.ekon.go.id/publikasi/detail/3087/pengembangan-energi-terbarukan->

- untuk-substitusi-bbm.
- [4] M.S. Boedoyo, “Prospek Pemanfaatan Bioethanol Sebagai Pengganti BBM di Indonesia,” *Pros. Peluncuran Buku Outlook Energi Indones. 2014 Semin. Bersama BPPT Dan BKK-PII*. 55–63 (2015). https://www.researchgate.net/publication/276412634_Prospek_Pemanfaatan_Bioethanol_Sebagai_Penganti_BBM_di_Indonesia.
 - [5] A.A. Sari, D. Putri, Ary Mauliva Hada Dahnum, D. Burhani, D. Mansur, *Perkembangan Bioetanol G2: Teknologi dan Perspektif*, LIPI Press, Jakarta, 2019.
 - [6] P. Sementa, B.M. Vaglieco, F. Catapano, “Thermodynamic and optical characterizations of a high performance GDI engine operating in homogeneous and stratified charge mixture conditions fueled with gasoline and bio-ethanol,” *Fuel*. 96 204–219 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.12.068>.
 - [7] D. Turner, H. Xu, R.F. Cracknell, V. Natarajan, X. Chen, “Combustion performance of bio-ethanol at various blend ratios in a gasoline direct injection engine,” *Fuel*. 90 1999–2006 (2011). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.12.025>.
 - [8] I.G. Wiratmaja, E. Elisa, “Kajian Peluang Pemanfaatan Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Utama Kendaraan Masa Depan Di Indonesia,” *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*. 8 1–8 (2020). <https://doi.org/10.23887/jptm.v8i1.27298>.
 - [9] Cipto, F. Sariman, D. Parennden, “Korosi pada Tangki Bahan Bakar yang Disebabkan oleh Penggunaan Bahan Bakar Premium bercampur Bioethanol,” *J. MJEME*. 1 25–29 (2018).
 - [10] S.K. Wahono, V.T. Rosyida, C. Darsih, D. Pratiwi, A. Frediansyah, Hernawan, “Optimization of Simultaneous Saccharification and Fermentation Incubation Time Using Cellulose Enzyme for Sugarcane Bagasse on the Second-generation Bioethanol Production Technology,” *Energy Procedia*. 65 331–336 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.01.061>.
 - [11] W. Zhang, A. Geng, “Improved ethanol production by a xylosefermenting recombinant yeast strain constructed through a modified genome shuffling method,” *Biotechnol. Biofuels*. 5 1–11 (2012).
 - [12] G. Kunjana, “LIPI: Perlu Peta Jalan Konkret Capai Target E5,” *Investor.id* (2018). <https://investor.id/archive/lipi-perlu-peta-jalan-konkret-capai-target-e5>.
 - [13] H. Wulansari, “Ethanol Dilemma,” *Pertamina*. 1 (2019). <https://www.pertamina.com/id/news-room/market-insight/ethanol-dilemma>.
 - [14] R.N. Suryana, T. Sarianti, Feryanto, “KELAYAKAN INDUSTRI KECIL BIOETANOL BERBAHAN BAKU MOLASES DI JAWA TENGAH,” *J. Manaj. Agribisnis*. 9 127–136 (2012).
 - [15] R. Turton, R.C. Bailie, W.B. Whiting, J.A. Shaeiwitz, D. Bhattacharyya, *Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes*, 4th ed., Prentice Hall, New York, 2012. [https://doi.org/10.1002/1521-3773\(20010316\)40:6<9823::AID-ANIE9823>3.3.CO;2-C](https://doi.org/10.1002/1521-3773(20010316)40:6<9823::AID-ANIE9823>3.3.CO;2-C).