

Analisis Pemanfaatan Bonggol Jagung Menjadi Bioetanol untuk Energi Alternatif

Satria Sandoris^{1*}, Novi Gusnita¹

¹Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau,
Jl. HR. Soebrantas No. KM. 15, Kota Pekanbaru, 28293.

Penulis untuk Korespondensi/E-mail: satriasandoris99@gmail.com

Abstract – Corn production produces waste in the form of corn cobs that have not been optimally utilized, even though they contain complex carbohydrates that can be converted into Bioethanol. The problem faced is the cessation of the use of agricultural waste as an alternative energy source, especially in the context of direct conversion into electrical energy. This study aims to analyze the potential for converting corn cob waste into Bioethanol and then calculate the potential electrical energy that can be generated from a mixture of Bioethanol and gasoline (E0, E10, E15, E20) through simulation using Aspen Plus V10 software. The results show that from 825 kg of corn cob waste per ton of plant, 58.5684 L/hour of Bioethanol can be produced, with the highest electrical energy potential of 542.42 kWh in the E20 mixture. Utilization of corn cob waste as Bioethanol offers an environmentally friendly and sustainable renewable energy solution.

Abstrak – Produksi jagung menghasilkan limbah berupa bonggol yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal, padahal mengandung karbohidrat kompleks yang dapat dikonversi menjadi bioetanol. Permasalahan yang dihadapi adalah kurangnya pemanfaatan limbah pertanian sebagai sumber energi alternatif, terutama dalam konteks konversi langsung menjadi energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi konversi limbah bonggol jagung menjadi bioetanol dan selanjutnya menghitung potensi energi listrik yang dapat dihasilkan dari campuran bioetanol dan bensin (E0, E10, E15, E20) melalui simulasi menggunakan perangkat lunak Aspen Plus V10. Hasil menunjukkan bahwa dari 825 kg limbah bonggol jagung per ton tanaman, dapat dihasilkan 58,5684 L/jam bioetanol, dengan potensi energi listrik tertinggi sebesar 542,42 kWh pada campuran E20. Pemanfaatan limbah bonggol jagung sebagai bioetanol menawarkan solusi energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Keywords – Bioethanol, Corn Humps, Energy, Fermentation.

PENDAHULUAN

Jagung adalah makanan pokok ketiga di Asia dan kedua di Indonesia setelah padi, dengan peran penting dalam pemenuhan kebutuhan pangan dan gizi masyarakat [1]. Kandungan karbohidrat yang tinggi serta manfaat nutrisinya menjadikan jagung sebagai komoditas strategis di sektor pertanian. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) [2], produksi jagung di Provinsi Sumatera Barat menunjukkan peningkatan signifikan dari tahun 2019 hingga 2022, dengan hasil produksi masing-masing sebesar 28.651 ton/ha pada 2019, 30.870

ton/ha pada 2020, 32.850 ton/ha pada 2021, hingga mencapai 35.723 ton/ha pada 2022.

Tanaman jagung menghasilkan biji jagung bernilai ekonomi tinggi, juga menyisakan limbah berupa bonggol jagung (tongkol jagung) yang sering kali tidak dimanfaatkan secara optimal dan hanya menjadi residu yang menumpuk. Padahal, bonggol jagung memiliki kandungan selulosa dan hemiselulosa yang tinggi, sehingga berpotensi diolah menjadi bioetanol sebagai sumber energi [3].

Prastika & A'yun [4] dalam penelitiannya menemukan bahwa limbah tongkol jagung di

Kecamatan Wuluhan, Kabupaten Jember, memiliki potensi besar untuk diolah menjadi bioetanol. Studi ini menekankan pentingnya pengolahan limbah menjadi energi terbarukan untuk mendukung ketahanan energi ramah lingkungan. Ruhibnur et al. [5], menunjukkan bahwa formulasi konsentrasi ragi 10% dan periode fermentasi selama 5 hari dapat menghasilkan kadar bioetanol hingga 34,57%, yang memenuhi standar mutu bioetanol. Meskipun demikian, studi ini terbatas pada laboratorium tanpa kajian lebih dalam mengenai implementasi di skala yang lebih besar. Proses fermentasi bioetanol dengan *Saccharomyces cerevisiae* menghasilkan kadar bioetanol yang belum memenuhi standar energi terbarukan. Hal ini menunjukkan perlunya optimasi lebih lanjut pada variabel fermentasi ditemukan oleh Kalsum [6], penelitian berhasil menemukan bahwa semakin tinggi konsentrasi asam (H_2SO_4) dan jumlah ragi yang digunakan, semakin tinggi kadar bioetanol yang dihasilkan. Studi ini berkontribusi pada pemahaman mekanisme hidrolisis dan fermentasi. Kiswanto & Rubianto [7] menemukan bahwa konsentrasi asam sulfat 1 N dan waktu fermentasi 3 hari menghasilkan kadar glukosa dan etanol optimal.

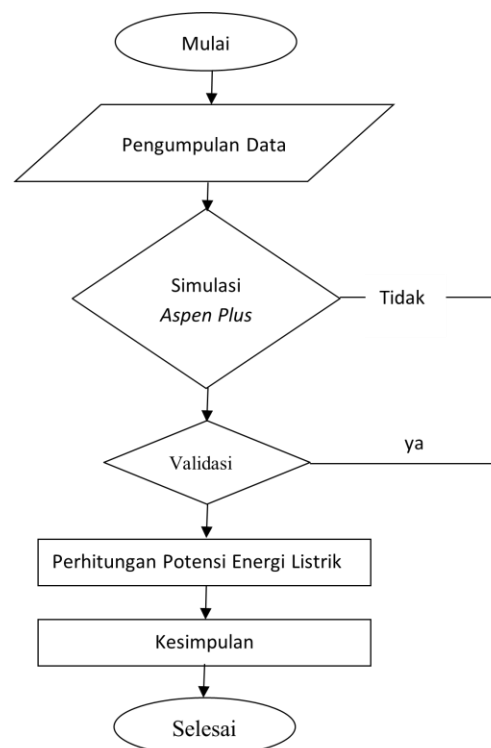
Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengubah limbah bonggol jagung menjadi bioetanol, serta potensi bioetanol yang dihasilkan tetapi kajian potensi bioetanol dari limbah bonggol jagung menjadi listrik masih terbatas dilakukan. Potensi bioetanol dan energi listrik dari limbah bonggol jagung akan dilakukan pada kajian ini. Potensi Bioetanol dikaji menggunakan metode fermentasi karena metode ini memberikan pendekatan yang ramah lingkungan, ekonomis dan efisien dalam mengolah limbah bonggol jagung, sehingga metode ini menjadi metode yang sangat efektif dalam mengubah limbah bonggol jagung menjadi Bioetanol dan dilakukan dengan menggunakan *software* Aspen Plus. Aspen Plus V10 adalah perangkat lunak simulasi proses yang unggul dalam menghitung potensi bioetanol secara akurat melalui pemodelan alur proses lengkap, mulai dari *pretreatment* hingga distilasi [8]. Perangkat lunak simulasi yang efektif untuk menghitung potensi bioetanol dengan memodelkan proses secara detail, mulai dari tahap awal hingga akhir produksi. Pemanfaatan limbah bonggol jagung menjadi bioetanol dan potensi energi listrik yang dihasilkan merupakan kajian yang akan dilakukan pada penelitian ini.

Permasalahan utama yang dihadapi adalah belum termanfaatkannya limbah bonggol jagung yang

melimpah sebagai bahan baku energi terbarukan, khususnya bioetanol, serta belum adanya kajian menyeluruh terkait konversinya menjadi energi listrik dalam satu alur sistematis. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis potensi produksi bioetanol dari limbah bonggol jagung melalui proses fermentasi, menghitung dan mengevaluasi potensi energi listrik yang dihasilkan dari bioetanol menggunakan campuran E0–E20 serta menyimulasikan proses konversi tersebut menggunakan perangkat lunak Aspen Plus V10 sebagai pendekatan numerik.

Hubungan antara bonggol jagung dan energi listrik dijumpai oleh tahap produksi bioetanol dari kandungan karbohidrat, yang kemudian digunakan sebagai bahan bakar alternatif yang dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui pembakaran atau teknologi pembangkit energi lainnya.

METODE



Gambar 1. Alur Penelitian

Objek riset dari penelitian ini adalah limbah bonggol jagung sebagai bahan baku sumber energi alternatif yang dapat digunakan secara efektif dan berkelanjutan sebagai solusi atau pelengkap sumber daya konvensional.

Jenis data yang digunakan pada penelitian ini menggunakan jenis data sekunder yang diperoleh

dari dokumen atau data yang berkaitan dengan penelitian yang meliputi data limbah tongkol jagung, luas panen dan data komposisi pada tongkol jagung.

Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data merupakan cara yang digunakan untuk mengumpulkan informasi dari berbagai sumber yang sesuai dengan tujuan penelitian atau analisis. 1 ton tanaman jagung akan dianalisis pada penelitian ini yang tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Potensi Bonggol Jagung [7]

Tanaman Jagung (Ton)	Limbah Tongko Jagung (kg)
1	825

Tabel 2. Kandungan Bonggol Jagung [7]

Kandungan	Jumlah
Air	13,5%
Protein	10,0%
Minyak/lemak	4,0%
Karbohidrat	72,5%
Abu	0,4%

Tabel 1 menunjukan potensi limbah tongkol jagung sebanyak 825 kg dari 1 ton tanaman jagung. Data kandungan bonggol jagung dapat dilihat pada tabel 2. Data tabel 1 dan 2 digunakan untuk menghitung potensi bioetanol dari bonggol jagung.

Tabel 3. Data Perbandingan Nilai Low Heating Value [9]

Bahan Bakar	Kadar (BTU/gal)
Gasoline (E0)	115.400
Gasoline (E10)	114.300
Gasoline (E15)	118.200
Gasoline (E20)	119.700
Diesel	128.700
Biodiesel (B100)	117.100
Ethanol (E100)	75.700

Tabel 3 menyajikan informasi tentang kadar kalori (dalam BTU per galon) dari berbagai jenis bahan bakar yang umum digunakan. BTU (*British Thermal Unit*) adalah satuan yang digunakan untuk mengukur jumlah energi yang terkandung dalam bahan bakar. Secara keseluruhan, bahan bakar diesel memiliki kadar kalori tertinggi, sementara etanol murni (E100) memiliki kadar kalori terendah. Campuran etanol dalam bensin (seperti E10, E15, dan E20) menunjukkan variasi kadar kalori yang bergantung pada persentase etanol yang dicampurkan. Pemilihan bahan bakar yang tepat

tergantung pada efisiensi energi yang diinginkan dan pertimbangan lingkungan [9].

Tabel 4. Nilai Karakteristik Bahan Bakar Campuran [9]

Fuel % Composition By Volume	LHV (KJ/Kg)	Densitas (g/cm ³)
0% ethanol + 100% gasoline	43.340,00	0,8320
15% ethanol + 85% gasoline	8.063,38	0,7354
20% ethanol + 80% gasoline	5.118,38	0,7384
10% ethanol + 90% gasoline	41.381,95	0,7154
100% ethanol + 0 % gasoline	26.950,00	0,7190

Tabel 4 menunjukkan informasi tentang *Lower Heating Value* (LHV) dan densitas dari berbagai campuran bahan bakar etanol dan bensin. LHV (dalam KJ/kg) mengukur jumlah energi yang dapat diperoleh dari bahan bakar per satuan massa, sementara densitas (dalam g/cm³) menggambarkan kerapatan bahan bakar yang mempengaruhi volume untuk menghasilkan jumlah energi tertentu. Secara keseluruhan, bensin murni memiliki nilai LHV tertinggi dan densitas terbesar, yang menjadikannya bahan bakar yang efisien dalam hal energi per kilogram [9]. Sementara itu, campuran etanol dan bensin menunjukkan penurunan LHV seiring dengan peningkatan kadar etanol, meskipun densitasnya juga cenderung menurun, yang berarti lebih banyak volume bahan bakar diperlukan untuk jarak tempuh yang sama. Etanol murni memiliki LHV dan densitas yang lebih rendah, sehingga meskipun lebih ramah lingkungan, efisiensinya dalam hal energi per massa lebih rendah dibandingkan dengan bensin [9].

Energi listrik juga akan dikaji pada penelitian ini dari potensi bioetanol yang dihasilkan. Energi listrik yang dikaji akan membandingkan E0, E10, E15 dan E20. E0 sendiri adalah bahan bakar yang terdiri sepenuhnya dari *gasoline* murni tanpa campuran *ethanol*, E10 adalah campuran yang terdiri dari 10% *ethanol* dan 90% *gasoline*, E15 adalah campuran yang terdiri dari 15% *ethanol* dan 85% *gasoline*, dan E20 adalah campuran yang terdiri dari 20% *ethanol* dan 80% *gasoline*.

Alur Pembuatan Bioetanol Bonggol Jagung dengan Aplikasi Aspen Plus V10

Dalam studi ini, potensi produksi bioetanol dihitung melalui proses fermentasi dan destilasi, yang kemudian disimulasikan menggunakan perangkat lunak Aspen Plus V10. Berikut komponen yang digunakan untuk menghasilkan simulasi.

Penghancuran Starch (Amilum)

Bonggol jagung terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin, serta sedikit amilum (karbohidrat)[10]. Langkah pertama adalah mengubah karbohidrat yang ada menjadi gula yang lebih sederhana yang dapat difermentasi oleh mikroorganisme. Proses ini memerlukan langkah hidrolisis yang biasanya dilakukan dengan menggunakan enzim amilase.

Reaksi: $\text{Amilum } n\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Glukosa } (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$.

Hidrolisis Selulosa

Selulosa yang ada pada bonggol jagung harus diubah menjadi gula yang dapat digunakan dalam fermentasi. Hal ini dilakukan dengan menggunakan enzim selulase, yang memecah selulosa menjadi glukosa dan oligosakarida.

Reaksi: $n\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5 + n\text{H}_2\text{O} \rightarrow n\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$

Fermentasi Anaerob

Setelah gula, baik dari amilum maupun selulosa, terlepas, tahap selanjutnya adalah fermentasi anaerob, yang dilakukan oleh mikroorganisme seperti *Saccharomyces cerevisiae* (ragi). Dalam kondisi anaerob, ragi mengubah glukosa menjadi etanol dan karbon dioksida.

Reaksi kimia fermentasi: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (etanol) + 2CO_2 (karbon dioksida)

Faktor Penghambat atau Kendala Fermentasi

Faktor-faktor penghambat dalam proses fermentasi bioetanol dari bonggol jagung meliputi. (1) kandungan lignin yang tinggi. Lignin menghambat akses enzim terhadap selulosa dan hemiselulosa, sehingga mengurangi efisiensi hidrolisis dan fermentasi. Proses delignifikasi menjadi tahap krusial untuk meningkatkan hasil fermentasi [11]. (2) Efisiensi enzim yang belum optimal, Penggunaan enzim seperti amilase dan selulase bisa terhambat oleh kondisi suhu, pH dan waktu reaksi yang tidak sesuai [6].

Pemisahan dan Pemurnian Bioetanol

Setelah fermentasi selesai, campuran hasil fermentasi terdiri dari bioetanol dan air, serta beberapa senyawa lainnya, untuk memperoleh bioetanol yang murni, dilakukan proses distilasi untuk memisahkan etanol dari campuran tersebut.

ASPEN PLUS V10

Aspen Plus adalah perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk simulasi dan analisis proses rekayasa kimia dan proses industri [12]. Aplikasi ini dibuat oleh *Aspen Technology*, perusahaan terkemuka yang menyediakan perangkat lunak untuk industri energi, kimia dan teknik. Aspen Plus digunakan untuk merancang, mengoptimalkan dan menganalisis berbagai jenis proses kimia, termasuk pemisahan, reaksi, distilasi dan proses-proses lainnya.

Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk mensimulasikan aliran material dan energi, menghitung parameter proses serta mengevaluasi efisiensi dan kinerja suatu proses. Aspen Plus dipilih dalam penelitian ini karena kemampuannya yang unggul dalam memodelkan proses kimia secara menyeluruh, mulai dari reaksi, pemisahan, hingga evaluasi energi. Dibandingkan perangkat lunak lain seperti SuperPro Designer atau HYSYS, Aspen Plus menawarkan fleksibilitas tinggi untuk simulasi proses fermentasi dan distilasi dengan akurasi prediksi termodinamika yang baik dan dukungan terhadap sistem non-ideal [12]. Meskipun antarmukanya kurang intuitif dan memerlukan keahlian teknis, fitur *library* komponen biomassa yang lengkap dan visualisasi aliran energi yang detail menjadikan Aspen Plus sangat sesuai untuk studi konversi biomassa menjadi bioetanol.

Tabel 5. Komponen Simulasi *Software* Aspen Plus V10 [8]

Komponen	Keterangan
RStoic	Tempat terjadinya proses pembentukan bioetanol
Pump	Berfungsi sebagai menyalurkan bioetanol ke proses selanjutnya
Destilasi	Berfungsi untuk memurnikan kadar <i>ethanol</i>

Tahapan perhitungan potensi bioetanol dari limbah bonggol jagung dengan menggunakan perangkat lunak aspen plus V10 adalah sebagai berikut:

Definisikan Komponen dan Properti

Dalam proses produksi bioetanol dari bonggol jagung, bahan baku yang digunakan terdiri atas komponen-komponen utama seperti air, protein, minyak atau lemak, karbohidrat, dan abu, dengan nilai komposisinya dapat dilihat pada Tabel 2. Produk utama yang dihasilkan dari proses ini meliputi etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O). Proses hidrolisis menggunakan enzim seperti selulase dan amilase, terutama apabila tahap

tersebut dimasukkan dalam model simulasi. Selain itu, pemilihan model properti termodinamika juga menjadi aspek penting dalam simulasi proses, di mana model seperti NRTL (*Non-Random Two-Liquid*) atau UNIQUAC (*Universal Quasichemical*) umumnya digunakan untuk sistem air-etanol [13].

Desain Aliran Proses (Flowsheet)

Proses awal dalam produksi bioetanol dari bonggol jagung dimulai dengan tahap penghancuran dan penggilingan, dimana bonggol jagung dipecah menjadi partikel-partikel kecil guna memperluas permukaan kontak dengan enzim pada tahap berikutnya. Proses ini dapat dimodelkan menggunakan unit operasi seperti crusher atau milling. Setelah itu, karbohidrat kompleks yang terkandung dalam bonggol jagung, seperti amilum dan selulosa, perlu dipecah menjadi gula sederhana seperti glukosa. Proses ini dilakukan melalui reaksi hidrolisis menggunakan enzim, dan dalam simulasi dapat direpresentasikan menggunakan unit operasi *reactor* atau *enzyme hydrolysis*. Tahap selanjutnya adalah fermentasi anaerob, yang dilakukan dalam bioreaktor menggunakan mikroorganisme seperti *Saccharomyces cerevisiae*. Pada tahap ini, glukosa akan diubah menjadi etanol dan karbon dioksida melalui reaksi.



Setelah proses fermentasi selesai, etanol yang terbentuk dipisahkan dari campuran menggunakan metode distilasi. Unit operasi *distillation column* digunakan untuk memisahkan etanol dari air dan produk samping lainnya seperti karbon dioksida, sehingga diperoleh bioetanol dengan kemurnian yang lebih tinggi.

Menentukan Input Aliran Material dan Kondisi Operasi

Dalam simulasi proses produksi bioetanol dari bonggol jagung, langkah awal yang perlu dilakukan adalah menentukan aliran material yang masuk. Hal ini mencakup penetapan laju massa dan komposisi bahan baku, termasuk kandungan karbohidrat, kadar air, serta unsur kimia lainnya yang terkandung dalam bonggol jagung. Jumlah bahan baku yang digunakan per satuan waktu harus disesuaikan dengan kapasitas proses yang diinginkan. Selanjutnya, perlu ditetapkan kondisi operasi untuk setiap unit proses yang terlibat, seperti suhu, tekanan, laju aliran dan waktu tinggal dalam reaktor. Sebagai contoh, proses fermentasi umumnya dilakukan pada suhu 30–35°C dengan tekanan atmosferik.

Penentuan Parameter Reaksi

Reaksi Hidrolisis (Pengolahan Karbohidrat), tentukan parameter kinetika reaksi untuk proses hidrolisis karbohidrat (amilum dan selulosa) yang dikatalisis oleh enzim. Hal ini termasuk laju reaksi dan efisiensi konversi.

Reaksi Fermentasi, tentukan parameter kinetika untuk fermentasi anaerob, misalnya laju pertumbuhan mikroorganisme (ragi), laju produksi etanol dan laju konsumsi glukosa.

Validasi Simulasi Software

Penelitian ini divalidasi dengan membandingkan penelitian simulasi dalam kajian ini dengan simulasi penggunaan *superpro designer* yang juga membahas penggunaan limbah bonggol jagung untuk menghitung jumlah bioetanol yang dapat dihasilkan dengan nilai inputan yang sama.

Tabel 6. Validasi Simulasi Limbah Tongkol Jagung [11]

Parameter	Penelitian (kmol/hr)	Validasi (kmol/hr)
Bahan Dasar	Bonggol Jagung	Bonggol Jagung
Nilai Input	Glucose 85.000 Water 255.000	Glucose 85.000 Water 255.000
Nilai Output	510	496,5

Dari hasil validasi simulasi yang merujuk pada penelitian [1], [3], [4], [5], [6], [11], [14], [15], [16], [17] dengan bahan utama berupa bonggol jagung dan memiliki nilai inputan yang sama. Simulasi dalam kajian ini menghasilkan bioetanol sebesar 496,5 L/ton, yang sedikit lebih rendah dibandingkan nilai 510 L/ton yang dilaporkan dalam penelitian [9]. Simulasi tersebut dapat diartikan bahwa kandungan *ethanol* memiliki nilai *error* 2,71%, sehingga penelitian ini dinyatakan valid dikarenakan nilai *error* pada penelitian ini tidak melebihi dari 10% [15]. Selain validasi berdasarkan literatur lama, hasil ini juga sejalan dengan kajian lebih mutakhir oleh Zabed et al. [11] yang menekankan potensi bioetanol dari limbah pertanian sebagai solusi energi berkelanjutan, khususnya di negara berkembang. Teknologi fermentasi dan distilasi kini semakin dioptimalkan dengan bantuan kecerdasan buatan dan enzim rekayasa.

Perhitungan Potensi Energi Listrik

Energi listrik yang dihasilkan oleh bonggol jagung dianalisis berdasarkan gas metana yang dihasilkan dari *software* Aspen Plus V10 menggunakan persamaan (1). Persamaan Energi Listrik

menyatakan bahwa energi listrik yang dihasilkan atau digunakan sebanding langsung dengan volume bahan bakar atau sumber energi yang digunakan dan nilai kalor (LHV) dari bahan bakar tersebut. Dengan kata lain, semakin besar volume bahan bakar yang digunakan dan semakin tinggi nilai LHV dari bahan bakar tersebut, maka semakin banyak energi listrik yang dapat dihasilkan. Potensi energi listrik yang dihasilkan dari bioetanol dari limbah bonggol jagung, dalam penelitian ini akan membandingkan E0, E5, E10 dan E20. Perhitungan potensi energi listrik menggunakan persamaan (1) [9].

$$\text{Energi listrik} = \text{volumetric flow} \times \text{LHV} \quad (1)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi dari Bioetanol Bonggol Jagung

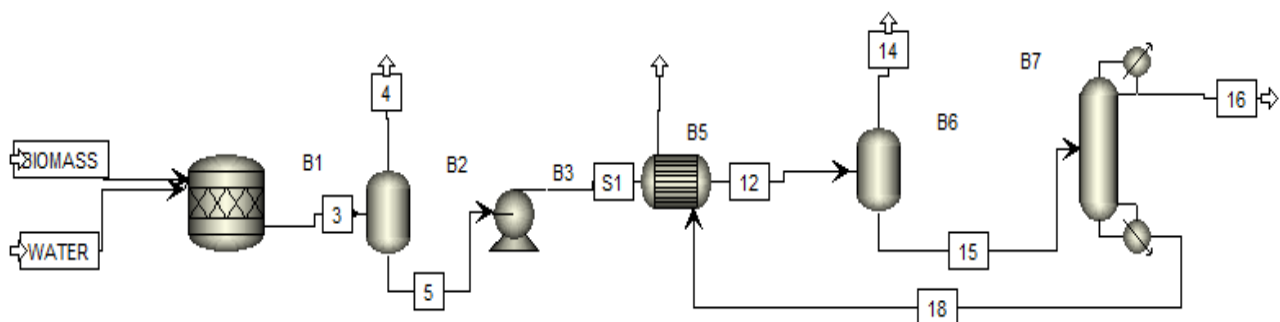
Limbah bonggol jagung yang selama ini sering dianggap sebagai sampah pertanian memiliki potensi besar sebagai bahan baku dalam produksi bioetanol melalui proses fermentasi [17]. Hasil yang diperoleh memberikan gambaran tentang efisiensi konversi, parameter yang memengaruhi proses serta potensi bioetanol dari pemanfaatan bonggol jagung.

Hasil dan pembahasan memaparkan hasil penelitian ataupun analisis yang diperoleh. Pada tahap RStoic bahan utama berupa bonggol jagung dicampur dengan air. Pada RStoic ini terdapat proses Delignifikasi, hidrolisis dan fermentasi. Proses Delignifikasi yang berfungsi untuk memutuskan ikatan lignin dan proses hidrolisis terjadi terbentuk glukosa atau dextrose [18]. Kemudian proses fermentasi yang merupakan proses yang bertujuan mengubah bahan dasar menjadi suatu produk oleh masa sel mikroba [19]. Pada proses ini *ethanol* yang diperoleh melalui perubahan dari bentuk glukosa menjadi alkohol dengan bantuan mikroba. Hasil produk disimpan pada storage yang kemudian akan

dialirkan ke *heat exchange*. Produk hasil dari RStoic yang kemudian akan disuling pada komponen destilasi yang berfungsi untuk memisahkan kandungan serat dan air menjadi *ethanol*. Setiap tahapan proses dalam konversi bonggol jagung menjadi bioetanol melalui simulasi Aspen Plus memberikan gambaran yang sistematis mengenai transformasi biomassa menjadi energi.

Efisiensi proses fermentasi dalam penelitian ini dihitung melalui simulasi menggunakan Aspen Plus V10, yang memodelkan seluruh tahapan dari pretreatment, hidrolisis, hingga fermentasi dan distilasi. Berdasarkan simulasi tersebut, diperoleh efisiensi konversi sebesar 68,9%, yang menunjukkan tingkat efisiensi yang cukup baik. Penggunaan Aspen Plus memudahkan dalam analisis variabel seperti suhu, waktu reaksi serta laju aliran, sehingga memungkinkan optimasi proses secara virtual sebelum implementasi nyata. Hal ini juga menunjukkan bahwa perangkat lunak dapat memperkirakan dan meningkatkan efisiensi fermentasi melalui simulasi yang detail dan terkalibrasi [11], [12].

Efisiensi proses fermentasi dapat dihitung sebagai rasio antara total glukosa yang tersedia dari hasil hidrolisis terhadap jumlah etanol yang dihasilkan pada akhir proses fermentasi [20]. Berdasarkan simulasi menggunakan Aspen Plus V10, efisiensi konversi bioetanol mencapai sekitar 68,9%. Dari hasil simulasi 825 kg limbah bonggol jagung, diperoleh 58,5 liter bioetanol, nilai ini sesuai dengan rata-rata efisiensi konversi biomassa lignoselulosa yang dilaporkan dalam literatur internasional [24]. Nilai ini menunjukkan bahwa proses fermentasi yang disimulasikan cukup optimal, meskipun masih terdapat potensi peningkatan efisiensi melalui optimasi enzim, pH dan waktu fermentasi.



Gambar 2. Rangkaian Simulasi Aspen Plus [8]

Pada tahap pertama, hidrolisis dilakukan terhadap karbohidrat kompleks dalam bonggol jagung, seperti selulosa dan hemiselulosa, lalu dipecah menjadi glukosa dengan bantuan enzim amilase dan selulase. Proses ini bertujuan menghasilkan substrat yang lebih sederhana untuk fermentasi. Tahap selanjutnya adalah fermentasi anaerob, di mana glukosa difermentasi oleh mikroorganisme *Saccharomyces cerevisiae* menjadi etanol dan karbon dioksida. Fermentasi ini disimulasikan pada suhu optimal 30–35°C dan tekanan atmosferik untuk menjaga efisiensi mikroba. Setelah fermentasi, campuran etanol dan air yang dihasilkan diproses melalui distilasi menggunakan kolom pemisah untuk memperoleh bioetanol dengan tingkat kemurnian tinggi. Berdasarkan hasil simulasi, *output* bioetanol yang diperoleh mencapai 58,5684 liter. Bioetanol ini kemudian dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui nilai kalor rendahnya (LHV) dan dikonversi menjadi energi listrik. Hasil analisis menunjukkan bahwa campuran E20 (20% etanol dalam bensin) menghasilkan energi tertinggi, yakni sebesar 542,42 kWh, dibandingkan campuran lainnya seperti E0, E10 dan E15.

Berdasarkan hasil simulasi, potensi bioetanol yang dapat dihasilkan dari bonggol jagung mencapai sebesar 58,5684 kg/jam untuk komponen ETOH-01 (etanol). Selain itu, terdapat pula fraksi karbohidrat (CARBO-01) sebesar 4.587,8 kg/jam yang berperan sebagai sumber bahan baku dalam proses produksi bioetanol. Nilai-nilai ini mencerminkan kapasitas produksi dalam skala waktu per jam dan menunjukkan bahwa bonggol jagung memiliki potensi yang signifikan sebagai bahan baku bioetanol.

Dari 1 ton tanaman jagung yang menghasilkan 825 kg bonggol jagung, dapat diperoleh 58.5684 liter bioetanol melalui proses konversi karbohidrat yang terdapat pada bonggol tersebut. Bonggol jagung mengandung selulosa dan hemiselulosa yang dapat diubah menjadi glukosa melalui hidrolisis enzimatis, yang kemudian difermentasi oleh mikroorganisme seperti *Saccharomyces cerevisiae* menjadi etanol [21]. Meskipun demikian, efisiensi konversi bahan baku menjadi etanol masih cukup rendah, mengingat hanya sebagian kecil dari karbohidrat yang terkonversi menjadi etanol. Faktor-faktor seperti kualitas bahan baku, efisiensi enzim, dan kondisi fermentasi mempengaruhi hasil akhir, namun pemanfaatan bonggol jagung sebagai sumber bioetanol memiliki potensi besar, baik untuk mengurangi limbah pertanian maupun untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil,

meskipun efisiensi dan biaya operasional masih perlu ditingkatkan.

Tabel 7. Potensi Energi Listrik Yang Dihasilkan dari Bioetanol Bonggol Jagung

Parameter	Energi Listrik
Etanol 0	522,93 kWh
Etanol 10	517,95 kWh
Etanol 15	535,62 kWh
Etanol 20	542,42 kWh

Tabel diatas menyajikan potensi energi listrik yang dihasilkan dari bioetanol bonggol jagung pada berbagai variasi campuran etanol. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa energi listrik terendah diperoleh pada campuran Etanol 10 sebesar 517,95 kWh, sedangkan energi listrik tertinggi dihasilkan pada campuran Etanol 20 sebesar 542,42 kWh. Etanol 0 menghasilkan energi listrik sebesar 522,93 kWh dan Etanol 15 sebesar 535,62 kWh. Meskipun energi listrik tertinggi dicapai oleh E20 (542,42 kWh), perlu dicatat bahwa nilai LHV dari E20 lebih rendah dibandingkan dengan gasoline murni, sehingga volume bahan bakar yang dibutuhkan lebih besar. Namun demikian, etanol memiliki keunggulan berupa pembakaran yang lebih bersih dan berkontribusi dalam mengurangi emisi karbon. Hal ini konsisten dengan hasil [22] yang menyatakan bahwa efisiensi termal meningkat pada campuran E15–E20 pada mesin modern serta mampu menurunkan emisi CO dan HC.

Jika dilihat dari potensi energi listrik, pada kadar etanol 0% energi listrik yang dihasilkan sebesar 522,93 kWh. Saat kadar etanol meningkat menjadi 10%, energi sedikit menurun menjadi 517,95 kWh. Namun, pada kadar etanol 15%, energi kembali meningkat menjadi 535,62 kWh dan mencapai nilai tertinggi pada kadar etanol 20% dengan energi sebesar 542,42 kWh. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat fluktuasi pada kadar etanol rendah, peningkatan kadar etanol secara umum cenderung meningkatkan potensi energi listrik, meskipun perbedaannya relatif kecil. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa produksi bioetanol dengan kandungan etanol yang lebih tinggi berpotensi lebih efisien dalam menghasilkan energi listrik.

KESIMPULAN

Dari hasil yang ditemukan tersebut, disimpulkan bahwa dengan menggunakan metode fermentasi dan destilasi serta simulasi Aspen Plus, dari 1 ton

tanaman jagung yang menghasilkan 825 Kg limbah bonggol jagung, dapat diperoleh 58.5684 liter bioetanol melalui proses konversi karbohidrat yang terdapat pada bonggol tersebut. Hasil ini menunjukkan efisiensi konversi yang cukup baik, meskipun masih rendah bila dibandingkan dengan potensi maksimum karbohidrat yang ada. Efisiensi dipengaruhi oleh kondisi fermentasi, jenis enzim, dan keefektifan delignifikasi. Menurut Zabed et al. [11], efisiensi proses konversi lignoselulosa dapat meningkat jika dilakukan *pre-treatment* termokimia dan penggunaan enzim *mix*. Selain itu, kondisi optimal suhu (30–35 °C) dan pH (4,5–5,5) terbukti signifikan dalam memaksimalkan etanol. Potensi energi listrik dari E0, E10, E15, E20 berturut-turut adalah 522,93 kWh, 517,95 kWh, 535,62 kWh, dan 542,42 kWh. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kadar *ethanol* berhubungan dengan peningkatan potensi energi listrik yang dihasilkan. Potensi energi listrik yang tertinggi adalah E20 yaitu 542,42 kWh.

REFERENSI

- [1] D. A. Trifatmawati and T. Sopandi, "Pertumbuhan Dan Hasil Panen Tanaman Jagung (*Zea Mays*) Varietas Lokal Dan Hibrida Yang Di Infeksi Cendawan *Fusarium Sp.*," *Stigma*, vol. 11, no. 1, pp. 1–10, 2018. <https://doi.org/10.36456/stigma.vol11.no01.a1502>.
- [2] Badan Pusat Statistik, *hasil-pencacahan-lengkap-sensus-pertanian-2023---tahap-i-provinsi-sumatera-barat*, 1st ed. 2023.
- [3] M. Blandino, A. Reyneri, G. Colombari, and A. Pietri, "The use of cobs, a by-product of maize grain, for energy: An opportunity to reduce greenhouse gas emissions," *Italian Journal of Agronomy*, vol. 11, no. 4, pp. 277–283, 2016.
- [4] A. Prastika and Q. A'yun, "Rancangan Pengolahan Limbah Tongkol Jagung Menjadi Bioetanol di Kecamatan Wuluhan Kabupaten Jember," *Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, vol. 1, no. 2, pp. 81–91, 2022. <https://doi.org/10.31605/jipm.v1i2.1999>.
- [5] R. Ruhibnur, N. Aida, A. Susanto, T. Kurniawan, and R. Rosmalinda, "Optimalisasi Limbah Tongkol Jagung pada Pembuatan Bioetanol dan Karakteristiknya dengan Perlakuan Periode Fermentasi dan Konsentrasi Ragi," *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, vol. 6, no. 2, pp. 81–91, 2019. <https://doi.org/10.34128/jtai.v6i2.94>.
- [6] U. Kalsum, "Pemanfaatan Limbah Tongkol Jagung sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol," *Jurnal Distilasi*, vol. 2, no. 1, pp. 46–54, 2017. <https://doi.org/10.32502/jd.v2i1.1144>.
- [7] C. M. J. Kiswanto and L. Rubianto, "Pengaruh Waktu Fermentasi Dan Konsentrasi H₂SO₄ Terhadap Kadar Glukosa Pada Pembuatan Bioetanol Dari Tongkol Jagung," *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 8, no. 4, pp. 765–770, 2023.
- [8] J. Haydary, *Chemical Process Design and Aspen Plus and Aspen HYSYS Applications*. 2019.
- [9] N. M. Mugandi and M. Jelita, "Utilisation Of Cassava Peel Waste Into Bioethanol Fuel (Case Study: Pika Cassava Chips Business in Pekanbaru City)," *Indonesian Journal Of Electrical Engineering and Renewable Energy*, vol. 3, no. 1, pp. 58–69, 2023. <https://doi.org/10.57152/ijeere.v3i1.693>.
- [10] R. M. A. Dwipa, R. A. Permana, A. N. Ramadhan, and T. K. Arifin, Analisis Campuran Bahan Bakar Dan Bioetanol Tongkol Jagung Terhadap Performa Kerja Mesin. 2023. doi: 10.31219/osf.io/skryx.
- [11] H. Zabed, J. N. Sahu, A. Suely, A. N. Boyce, and G. Faruq, "Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 71, pp. 475–501, May. 2017. DOI: 10.1016/j.rser.2016.12.076.
- [12] E. Sarath Yadav, T. Indiran, D. Nayak, C. Aditya Kumar, and M. Selvakumar, "Simulation study of distillation column using Aspen plus," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, pp. 330–337, 2019.
- [13] D. Hartanto and D. B. Triwibowo, "Review Model dan Parameter Interaksi pada Korelasi Kesetimbangan Uap-Cair dan Cair-Cair Sistem Etanol (1) + Air (2) + Ionic Liquids (3) dalam Pemurnian Bioetanol," *Jurnal Rekayasa Proses*, vol. 8, no. 1, pp. 1–11, 2014. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.5017>.
- [14] C. S. Praharsiwi, "Pengolahan Limbah Jagung sebagai Bahan Bakar Alternatif," *Jurnal Atma Inovasia*, vol. 2, no. 2, pp. 177–181, 2022. <https://doi.org/10.24002/jai.v2i2.4492>.
- [15] S. Haluti, "Pemanfaatan Potensi Limbah Tongkol Jagung Sebagai Bioetanol Melalui Proses Fermentasi Di Wilayah Provinsi Gorontalo," *Jurnal Technopreneur*, vol. 4, no. 1, pp. 28–31, Mei. 2016. <https://doi.org/10.30869/jtech.v4i1.44>.

- [16] A. Bin Arif, A. Budiyo, W. Diyono, M. Hayuningtyas, N. Richana, and T. Marwati, "Pengaruh Konsentrasi Naoh Dan Enzim Selulase: Xilanase Terhadap Produksi Bioetanol Dari Tongkol Jagung," *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*, vol. 13, no. 3, p. 107, 2018.
<https://repository.pertanian.go.id/items/19a7d51a-3cb0-41b5-b5ec-754f30ca288a>.
- [17] Supriadi, L. Izhar, and O. I. Safitri, "Potensi Ketersediaan Hijauan Pakan Limbah Tanaman Jagung Manis Di Provinsi Kepulauan Riau," *Prosiding Seminar Nasional Membangun Pertanian Modern dan Inovatif Berkelanjutan dalam Rangka Mendukung MEA*, pp. 710–716, 2016.
<https://repository.pertanian.go.id/items/ff2e179d-198e-45e7-8bf3-1eb71f102625>.
- [18] A. Wahyudi and M. Jelita, "Analisis Potensi Energi Listrik dan Biaya Limbah Rumen Sapi Rumah Potong Hewan Kota Pekanbaru," *JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional)*, vol. 8, no. 2, p. 263, 2022.
<https://doi.org/10.24036/jtev.v8i2.117622>.
- [19] N. Hayati and I. Ibrahim, "Pembuatan Glukosa Dengan Memanfaatkan Limbah Bonggol Jagung," *Chemical Engineering Journal Storage (CEJS)*, vol. 2, no. 1, pp. 1–11, Mei. 2022. <https://doi.org/10.29103/cejs.v2i1.6009>.
- [20] M. A. Hasani and A. P. Siswanto, "Effect of Delignification Process on Cellulose, Hemicellulose, and Lignin Content on Liquid Glucose Production from a Mixture of Corn Cobs (*Zea mays*) and Sugar Cane Bagasse (*Saccharum officinarum*)," *Equilibrium Journal of Chemical Engineering*, vol. 7, no. 1, p. 23, Mar. 2023.
<https://doi.org/10.20961/equilibrium.v7i1.64558>.
- [21] R. Sharma, P. Garg, P. Kumar, S. K. Bhatia, and S. Kulshrestha, "Microbial fermentation and its role in quality improvement of fermented foods," *MDPI AG*, Dec. 2020.
<https://doi.org/10.3390/fermentation6040106>.
- [22] S. M. Rezk Khattab and T. Watanabe, "Efficient conversion of glycerol to ethanol by an engineered *Saccharomyces cerevisiae* strain," *Appl Environ Microbiol*, vol. 87, no. 23, Nov. 2021. <https://doi.org/10.1128/AEM.00268-21>.
- [23] M. G. Ntunka, S. M. Khumalo, T. P. Makhathini, S. Mtsweni, M. M. Tshibangu, and J. K. Bwapwa, "Valorization of Lignocellulosic Biomass to Biofuel: A Systematic Review," *ChemEngineering*, vol. 9, no. 3, p. 58, May. 2025.
<https://doi.org/10.3390/chemengineering9030058>.
- [24] A. Topaloğlu, Ö. Esen, B. Turanlı-Yıldız, M. Arslan, and Z. P. Çakar, "From *Saccharomyces cerevisiae* to Ethanol: Unlocking the Power of Evolutionary Engineering in Metabolic Engineering Applications," *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*, Oct. 2023.
<https://doi.org/10.3390/jof9100984>.