

Analisis Dan Desain Sistem Pengolahan Bioetanol Dari Sabut Kelapa Dengan Pendekatan Business Process Model And Notation (BPMN)

Yurandani Muharrama¹, Aditia Ginantaka²

¹Teknologi Industri Pertanian, Universitas Djuanda, b.2211102@unida.ac.id

²Teknologi Industri Pertanian, Universitas Djuanda, aditia.ginantaka@unida.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji proses produksi bioetanol berbasis bahan baku serabut kelapa serta memodelkan sistem produksinya secara sistematis menggunakan pendekatan Business Process Model and Notation (BPMN). Proses produksi bioetanol dilakukan melalui beberapa tahapan utama, yaitu persiapan bahan baku serabut kelapa, perlakuan awal (pretreatment), hidrolisis, fermentasi, dan distilasi. Setiap tahapan memiliki peran penting dalam mengoptimalkan konversi selulosa menjadi etanol. Setelah proses fermentasi, hasilnya disuling untuk memperoleh bioetanol dengan kemurnian tertentu. Pemodelan sistem menggunakan BPMN dilakukan untuk menggambarkan alur proses secara menyeluruh, mulai dari input bahan baku, peran masing-masing stakeholder, penggunaan sumber daya, pelaksanaan proses utama, hingga pengendalian kualitas dan hasil akhir. Hasil pemodelan ini dapat menjadi dasar pengembangan sistem produksi bioetanol yang lebih efisien, terstruktur, dan berkelanjutan, khususnya dalam pemanfaatan limbah lignoselulosa seperti serabut kelapa sebagai sumber energi terbarukan.

Kata Kunci: Desain Proses Produksi, Sistem Produksi Bioetanol, Sabut Kelapa

PENDAHULUAN

Bioetanol adalah bagian dari sumber energi terbarukan yang dapat digunakan secara berkelanjutan, karena bahan baku pembuatannya mudah ditemukan. Dengan demikian, menggunakannya sebagai bahan bakar tidak akan menyebabkan cadangan energi kehabisan. (Putu et al., 2020) Karena mampu mengurangi ketergantungan kita terhadap minyak mentah, bioetanol dianggap sebagai alternatif yang baik untuk bahan bakar fosil. Selain itu, karena emisi karbonnya netral dan tidak mengandung sulfur, pembakaran bioetanol lebih ramah lingkungan. Ini menghasilkan lingkungan yang lebih baik. (Nadliroh et al., 2023)

Dari sekian banyak bahan yang tersedia di alam selain bahan berpati, Lignoselulosa adalah jenis substrat yang paling banyak tersedia, tetapi masih kurang

dimanfaatkan di antara berbagai bahan alami yang tersedia, selain bahan berpati. Dengan kadar selulosa 43,44%, buah kelapa, terutama bagian sabut, adalah salah satu sumber lignoselulosa.(Putu et al., 2020) Bahan baku tersedia di Indonesia sangat mudah ditemukan. Sebagai limbah, sabut kelapa menjadi potensi besar untuk digunakan sebagai bahan dasar produksi bioetanol.

Tujuan penelitian ini adalah membuat model sistem sistem pengolahan bioetanol dari sabut kelapa menggunakan *Business Process Model and Notation* (BPMN) guna mengetahui proses produksi yang baik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode studi literatur. Data yang dikumpulkan dengan menganalisis kesamaan tema dari berbagai jurnal, situs web, dan sumber terbuka lainnya. Tujuan dari proses pengumpulan data adalah untuk membuat analisis yang diperlukan untuk mencapai tujuan penelitian lebih mudah. Peneliti ini menggunakan metode BPMN untuk memodelkan sistem proses pembuatan bioetanol dari sabut kelapa. Model BPMN dibangun dengan menganalisis setiap elemen dalam matriks kebutuhan sistem. Seperti *input, stakeholder, resources, threats, role, , mission, objective, proses, output* sampai kontrol sistem.(Tauhid & Shabrina, 2024)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dan Identifikasi Proses Produksi Bioetanol

Dalam tahapan menentukan proses produksi yang memenuhi standar kebutuhan di perlukan tahap perencanaan, maka proses pembuatan glukosa ($C_6H_{12}O_6$) dari sabut kelapa dengan menggunakan selulosa ($(C_6H_{10}O_5)_n$), air (H_2O) dan asam fosfat (H_3PO_4) sebagai bahan baku dan natrium hidroksida (NaOH), karbon aktif 2,2% (SiO_2), etanol (C_2H_6O), dan asam sulfat (H_2SO_4) sebagai bahan baku pendukung dapat di proses berdasarkan penilaian utamanya, yaitu spesifikasi produk dan pengendalian kualitas.(Alfi S, n.d.)

Pengendalian kualitas dilakukan Di pabrik glukosa, pengendalian kualitas dilakukan pada tiga aspek utama: kualitas bahan, kualitas selama proses produksi, dan kualitas produk akhir. Pengendalian ini dipakai untuk memastikan serta mempertahankan kualitas dari produk untuk memenuhi standar yang telah ditentukan.(Ergantara, 2017)

Sebagian besar kualitas produk akhir sangat dipengaruhi dari bahan baku yang digunakan, sehingga diperlukan pengendalian kualitas bahan baku agar produk akhir tetap berkualitas. Sebelum proses produksi dimulai, bahan baku harus diuji untuk memastikan bahwa mereka memenuhi spesifikasi proses produksi (Ergantara, 2017). Persyaratan bahan baku yang tepat adalah 1. Sabut kelapa yang digunakan harus bersih dan bebas dari kotoran. 2. Sabut kelapa harus terpisah dari kulit terluar dari kelapa. 3. Untuk masuk ke proses pelunakan bahan baku pada sabut kelapa yang digunakan harus dalam keadaan kering.

Bahan-bahan pendukung seperti natrium hidroksida (NaOH), karbon aktif 2,2% (SiO₂), etanol (C₂H₆O), dan asam sulfat (H₂SO₄) sebagai medium dalam proses pembuatan glukosa harus dianalisis untuk mengetahui sifat produknya, apakah sudah sesuai dengan standar mutu yang ada.(Putu et al., 2020)

Tujuan pengendalian kualitas selama proses produksi adalah untuk memastikan bahwa kualitas glukosa yang dihasilkan tetap sama. Pengendalian ini berlangsung dari saat bahan baku diterima hingga produk akhir dibuat. Peralatan pengontrol digunakan untuk melakukan proses pengendalian kualitas di laboratorium. Sistem kontrol otomatis digunakan untuk menjaga kelancaran operasi. Berbagai indikator dipantau di ruang kendali. Sistem akan memberikan peringatan melalui alarm, lampu indikator, atau sinyal lainnya jika terjadi penyimpangan dari standar yang telah ditetapkan pada bahan baku dan produk. Peringatan harus segera dikoreksi agar kembali ke kondisi normal.(Dwi Ana Anggorowati et al., 2015)

Agar memastikan bahwa glukosa yang dihasilkan memenuhi standar yang berlaku dan dapat diterima oleh pasar, kualitas produk harus dikendalikan. Ketika

menggunakan metode pemeriksaan produk akhir, pengendalian kualitas dilakukan melalui sistem kontrol, di mana setiap produk akhir diperiksa sebelum dikirim. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi produk yang memenuhi standar kualitas dan produk yang tidak memenuhi standar; yang pertama dapat dipasarkan, sedangkan yang kedua memerlukan perbaikan untuk meningkatkan kualitasnya.(Daya et al., 2014)

Desain Proses Produksi Bioetanol

Pembuatan glukosa pada pra rancangan ini menggunakan bahan baku sabut kelapa berupa kandungan selulosa dan air, dengan katalisator $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$. Proses pembuatan glukosa dibagi menjadi tiga proses, yaitu:

1. Proses Pretreatment Mekanik.
2. Proses Hidrolisis Enzim.
3. Proses Pemisahan dan Pemurnian Produk.

Sabut kelapa sebelum diproses harus bersih dari kotoran-kotoran yang menempel, terpisah dari kulit terluar kelapa. Sabut kelapa yang diperoleh dari supplier diangkut menggunakan alat transportasi berupa truk. Sabut kelapa kemudian di angkut menggunakan *conveyor* untuk dimasukkan ke dalam mesin pencuci. Di dalam mesin pencuci sabut kelapa dicuci menggunakan air bersih agar terhindar dari kotoran-kotoran yang masih menempel pada sabut kelapa. Air bersih tersebut diperoleh dari unit utilitas yang dialirkan melalui Pompa. Air yang digunakan di mesin pencuci pada proses pencucian sifatnya sekali cuci dibuang. Sabut kelapa kemudian diangkut menggunakan *conveyor* menuju ke mesin penggiling untuk dilakukan pencacahan sabut kelapa kering sampai 38 menjadi serbuk sabut kelapa dengan kondisi operasi yang digunakan di suhu $35\text{ }^\circ\text{C}$, waktu 15 menit dan tekanan 1 atm. Serbuk sabut kelapa kering kemudian diangkut menggunakan *conveyor* 01 menuju *steam explosion*.(Alfi S, n.d.)

Unit pemurnian merupakan unit yang bekerja dengan tujuan menghasilkan produk glukosa dengan konsentrasi yang lebih tinggi. Dalam hal ini produk glukosa yang dihasilkan memiliki kemurnian 99%. Keluaran dari Reaktor 01 berupa glukosa, H_3PO_4 , sisa H_2O , sisa selulosa dan HMF (HydroxyMethylFurfural) dialirkan menggunakan Pompa Slurry menuju ke dalam Reaktor. Penggunaan Reaktor bertujuan untuk menghabiskan sisa selulosa yang

masih ada di Reaktor. Pada Reaktor terjadi reaksi dengan konversi sebesar 97% dengan kondisi operasi yang digunakan yaitu pada suhu 135 °C, waktu 128 menit, dan tekanan 1 atm. Keluaran atas Reaktor 02 berupa glukosa, H₃PO₄, H₂O dan C₆H₆O₃ akan dialirkan menggunakan Pompa Slurry menuju ke Evaporator untuk diuapkan H₂O yang masih ada kandungan C₆H₁₂O₆, H₃PO₄, dan C₆H₆O₃.glukosa, H₃PO₄, sisa H₂O, sisa selulosa dan C₆H₆O₃. Kemudian keluaran Reaktor di dialirkan dengan Pompa menuju ke Reaktor.(Nadliroh & Fauzi, 2021)

Menentukan matrix kebutuhan diperlukan untuk proses pemodelan BPMN. Penentuan matrix ini nantinya digunakan untuk menentukan sistem produksi bioetanol dari sabut kelapa. Penentuan matrix sistem produksi bioetanol dapat dilihat pada Tabel 1.

No	Input		Stakeholder	Sumber Daya	Ancaman	Role, Missions and Object	Proses	Output		Kontrol
	Acceptable	Unacceptable						Acceptable	Unacceptable	
1	Serabut Kelapa kotor	Serabut kelapa busuk	Operator Pencucian	<ul style="list-style-type: none"> • Mesin pencuci • Conveyor • Air bersih 	<ul style="list-style-type: none"> • Mesin tidak bekerja secara optimal 	Menghilangkan kotoran pada serabut kelapa	Melakukan pencucian pada serabut kelapa	Serabut Kelapa bersih	Serabut kelapa yang masih kotor	Mengontrol agar proses pencucian berjalan sesuai dengan standard yang diinginkan
2	Serabut kelapa bersih	Serabut kelapa yang masih kotor	Operator penggiling	<ul style="list-style-type: none"> • Mesin Penggiling 	<ul style="list-style-type: none"> • Terdapat campuran kotoran pada hasil penggilingan • Mesin tidak bekerja optimal 	Mengolah serabut kelapa menjadi partikel yang lebih kecil	Melakukan penggilingan pada serabut kelapa	Serbuk serabut	Serabut kasar	Memastikan ukuran serbuk sesuai kriteria dan pemeliharaan mesin

3	Serabut halus	Serabut kasar	Teknisi steam explosion	<ul style="list-style-type: none"> • Reaktor pemanas uap • Air bersih 	Pemecahan struktur pada serabut tidak optimal	Membuka struktur lignoselulosa agar selulosa lebih mudah dihidrolisis	Melakukan Steam Explosion (ledakan uap)	Struktur serabut terbuka sempurna	Struktur serabut tidak terbuka sempurna	Mengontrol suhu dan tekanan, waktu tinggal uap, dan memastikan hasil sesuai standard
4	Struktur serabut terbuka sempurna	Struktur serabut tidak terbuka sempurna	Teknisi Hidrolisis	<ul style="list-style-type: none"> • Reaktor enzimatik • Enzim selulosa dan hemiselulosa 	Proses konversi kurang efisien	Mengubah selulosa menjadi larutan glukosa	Melakukan Hidrolisis	Larutan glukosa	Larutan selulosa yang belum terkonversi	Mengontrol suhu, pH, dan enzim
5	Larutan Glukosa	Larutan selulosa yang belum terkonversi	Operator Fermentasi	<ul style="list-style-type: none"> • Bioreaktor fermentasi • $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 	Terjadi Kontaminasi	Mengubah glukosa menjadi etanol	Melakukan Fermentasi	Etanol yang memiliki kadar 8-12%	Kadar etanol rendah atau terkontaminasi	Menjaga kesterilan media, mengontrol pH dan suhu

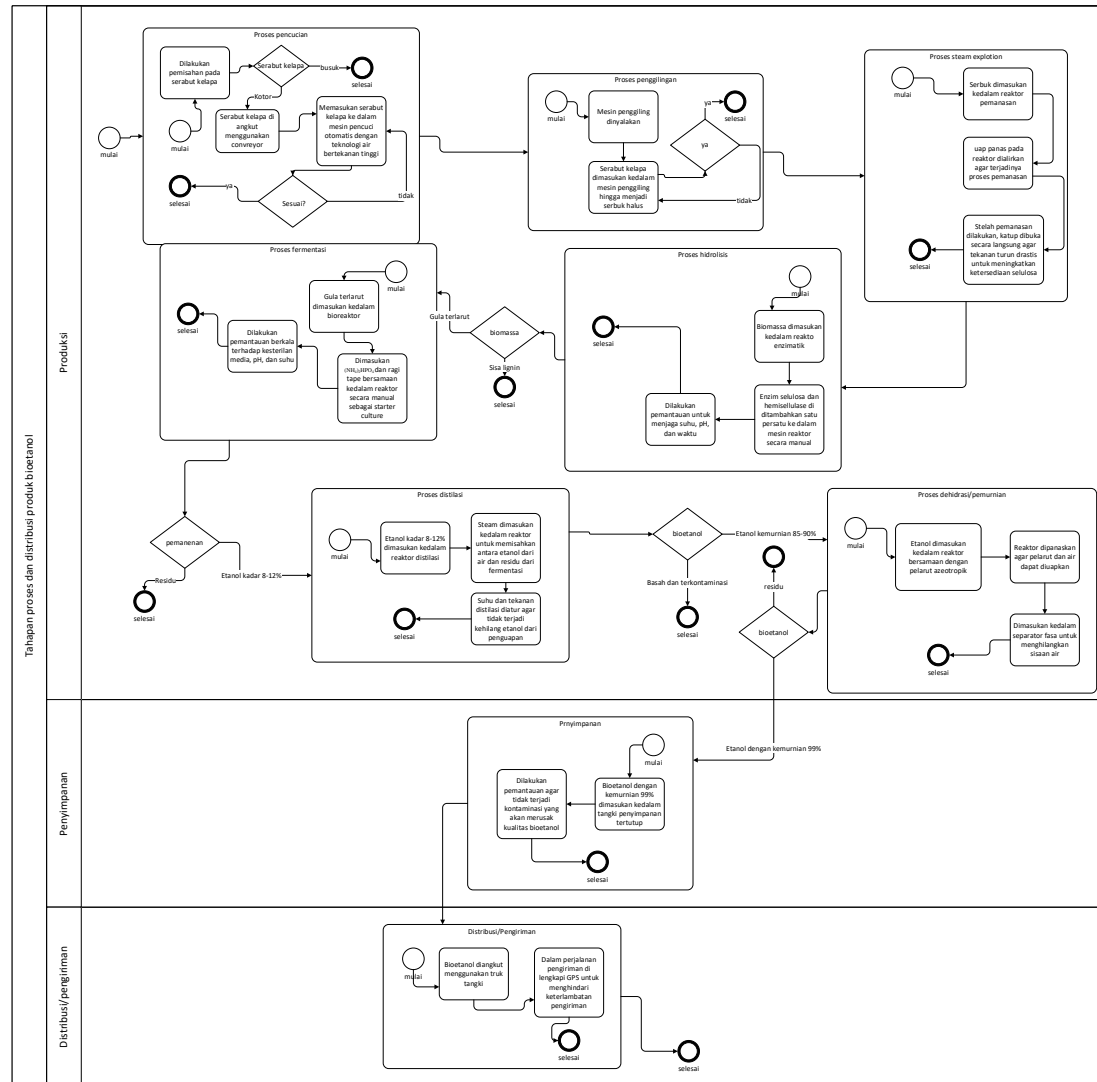
6	Etanol yang memiliki kadar 8-12%	Kadar etanol rendah atau terkontaminasi	Operator Distilasi	<ul style="list-style-type: none"> • Reaktor distilasi • Steam boiler 	Kehilangan etanol karena proses penguapan	Memisahkan etanol dari air dan residu fermentasi	Melakukan Distilasi	Etanol dengan kemurnian 85-90%	Etanol dengan kadar air tinggi	Mengatur suhu dan tekanan distilasi
7	Etanol dengan kemurnian 85-90%	Etanol dengan kadar air tinggi	Operator dehidrasi	<ul style="list-style-type: none"> • Reaktor distilasi azeotropik • Separator fasa • Larutan azeotropik 	<ul style="list-style-type: none"> • Bahan pemurnian menjadi residu • Kemampuan menyerap air kurang baik 	Menghilangkan sisa air dalam bioetanol	melakukan Dehidrasi/Pemurnian Etanol	Etanol dengan kemurnian 99%	Etanol basah dan terkontaminasi	Memantau dan mengganti rutin membran
8	Etanol dengan kemurnian 99%	Etanol basah dan terkontaminasi	Operator Penyimpanan	<ul style="list-style-type: none"> • Tangki penyimpanan tertutup 	<ul style="list-style-type: none"> • Terjadi penguapan • Kualitas menurun 	Menyimpan bioetanol dengan aman	Melakukan Penyimpanan	Etanol sesuai spesifikasi	Etanol rusak	Memantau kondisi penyimpanan
9	Etanol sesuai spesifikasi	Etanol rusak	Operator pengiriman	<ul style="list-style-type: none"> • Truk tangki • GPS pengiriman 	<ul style="list-style-type: none"> • Terjadi kebocoran tangki • Keterlambatan pengiriman 	Menyalurkan bioetanol dalam kondisi aman	Melakukan pengiriman	Bioetanol sampai di tujuan dalam kondisi	Bioetanol rusak/menguaap	Memastikan etanol sampai ke konsumen dengan kondisi baik dan

						sampai ke konsumen		baik dan sesuai standar		tepat waktu
--	--	--	--	--	--	-----------------------	--	-------------------------------	--	----------------

Tabel 1. Matriks kebutuhan desain sistem produksi bioetanol dari sabut kelapa

Dengan Fitur simulasi BPMN memungkinkan untuk penentuan pola dan kebutuhan waktu yang akurat untuk menjalankan setiap tahapan proses bisnis. Selain itu, BPMN membantu dalam menghitung jumlah tenaga kerja yang diperlukan untuk menjalankan masing-masing tahap proses tersebut. Dengan demikian, pelaksanaan aktivitas bisnis dapat berjalan sesuai dengan tujuan dan berlangsung secara cepat, tepat, efektif, dan efisien.(Tauhid & Shabrina, 2024)

Pemodelan dilakukan dengan mengambil beberapa karakteristik fisik dari objek yang diwakilinya, sehingga model tersebut mirip dengan sistem nyata meskipun dalam skala yang berbeda (replikasi). Selanjutnya, sistem digambarkan melalui hubungan kuantitatif dan logis yang dapat diubah, yang memungkinkan untuk melihat bagaimana sistem menanggapi berbagai asumsi yang diterapkan. (Tauhid & Shabrina, 2024) BPMN proses produksi bioetanol dari sabut kelapa dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. BPMN Proses Produksi Bioetanol dari Sabut Kelapa

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa serabut kelapa berpotensi sebagai bahan baku alternatif dalam produksi bioetanol melalui proses fermentasi dan distilasi. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa peningkatan konsentrasi ragi hingga titik tertentu (yaitu 3%) memberikan hasil optimal dengan kadar bioetanol tertinggi sebesar 13,1%. Hal ini disebabkan karena aktivitas fermentatif ragi yang mengonversi glukosa menjadi etanol berlangsung lebih efektif pada konsentrasi tersebut. Namun, penggunaan ragi dalam jumlah yang terlalu tinggi dapat menurunkan efisiensi fermentasi karena terjadi kompetisi nutrisi dan akumulasi senyawa samping.

Untuk mendukung pencapaian tujuan penelitian, yaitu menghasilkan sistem produksi bioetanol yang efisien dari serabut kelapa, dilakukan pemodelan proses menggunakan pendekatan Business Process Model and Notation (BPMN). Melalui metode ini, alur kerja sistem dirancang secara sistematis dengan menganalisis unsur-unsur penting seperti input, stakeholder, sumber daya, ancaman, peran, misi, tujuan, proses utama, output, hingga mekanisme kontrol sistem. Pemodelan BPMN ini berperan penting dalam menggambarkan hubungan antar komponen dalam sistem produksi dan membantu menyusun proses yang lebih terstruktur serta efisien.

Dengan demikian, penelitian ini berhasil mengidentifikasi konsentrasi ragi yang optimal dalam produksi bioetanol dari serabut kelapa dan memformulasikan model sistem produksi berbasis BPMN sebagai dasar pengembangan industri bioetanol yang lebih terintegrasi dan berkelanjutan.

REFERENSI

- Alfi S. (N.D.). *Pra Rancangan Pabrik Glukosa Dari Sabut Kelapa Dengan Metode Hidrolisis Asam*.
- Daya, M., Industri, S., Berkelanjutan, N., & Riset, B. (2014). *Pemodelan Batch Hidrolisa Enzimatis Sabut Kelapa Dengan Pengolahan Awal Larutan Basa*.
- Dwi Ana Anggorowati, Purwati, & Sulis Dwi D.P. (2015). *Pengaruh Suhu Dan Penambahan Nutrisi Pada Proses Fermentasi Untuk Pembuatan Bioethanol Dari Sabut Kelapa*.
- Ergantara, R. I. (2017). *Model Sistem Produksi Bioetanol Berkelanjutan* (Vol. 1, Issue 1).
- Nadliroh, K., & Fauzi, A. S. (2021). Optimasi Waktu Fermentasi Produksi Bioetanol Dari Sabut Kelapa Muda Melalui Distilator Refluks. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 9(2), 124–133. <https://doi.org/10.23887/jptm.v9i2.39002>
- Nadliroh, K., Fauzi, Ah. S., & Maulidina, M. (2023). Analisis Kalor Bioetanol Berbahan Dasar Sabut Kelapa. *Jurnal Mesin Nusantara*, 5(2), 182–188. <https://doi.org/10.29407/jmn.v5i2.19006>
- Putu, N., Ayuni, S., & Hastini, P. N. (2020). *Serat Sabut Kelapa Sebagai Bahan Kajian Pembuatan Bioetanol Dengan Proses Hidrolisis Asam*.
- Tauhid, K., & Shabrina, ; | Nur. (2024). *Perancangan Business Process Model And Notation (Bpmn) Sistem Layanan Informasi Angkot Berbasis Aplikasi Di Kota Bogor* (Vol. 3).