

BAB 1

USULAN GAGASAN

Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2021 diperkirakan cadangan minyak mentah yang ada di Indonesia akan habis dalam kurun waktu 9,5 tahun. Kelangkaan energi tersebut menjadi tantangan untuk menemukan sumber energi baru [6]. Adapun sumber energi yang menjadi fokus penelitian saat ini yaitu energi dari biomassa. Selain ketersediaan bahan baku biomassa yang melimpah, energi biomassa juga ramah terhadap lingkungan. Akan tetapi, terdapat permasalahan dalam pembuatan energi biomassa yaitu biaya pembuatan yang sangat mahal dengan hasil yang kurang optimal. Penelitian yang sudah ada hanya melakukan metode *trial and error* dalam mendapatkan hasil bioethanol yang digunakan sebagai bioenergi. Hal tersebut menyebabkan membengkaknya biaya dalam pembuatan energi dari biomassa.

1.1 Latar Belakang Masalah

Bahan bakar fosil saat ini masih menjadi sumber energi utama khususnya di Indonesia, tercatat bahwa 90 % dari total konsumsi energi Indonesia masih bergantung pada energi fosil [6-7]. Setiap tahunnya terjadi peningkatan konsumsi energi dari 2011 sampai dengan 2021 dengan rata - rata 885,32 juta per tahunnya. Sedangkan cadangan energi fosil Indonesia diperkirakan akan habis dalam 9,5 tahun dengan acuan tidak ditemukannya sumber energi fosil yang baru [7]. Selain itu, penggunaan energi fosil seperti minyak bumi, bensin dan lain lain menghasilkan gas berbahaya yang mengandung karbondioksida dan timbal (Pb) yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan efek rumah kaca. Oleh karena itu, diperlukan sumber energi yang ramah lingkungan dan terbarukan. Adapun energi alternatif yang ramah lingkungan adalah energi dari biomassa [3].

Energi biomassa merupakan energi yang berasal dari berbagai jenis tumbuhan dengan karakteristik gas yang dihasilkan dapat mengurangi emisi sebesar 80 persen. Gas karbondioksida yang dihasilkan oleh energi biomassa akan mempercepat proses daur karbon oleh tumbuhan, sehingga tidak memiliki efek pada kesetimbangan karbondioksida di udara. Disamping itu, keberadaan biomassa juga sangat melimpah di berbagai sektor seperti pertanian, peternakan, perkebunan dan sektor sumber daya hayati lainnya. Umumnya biomassa yang dijadikan sebagai energi adalah biomassa yang memiliki nilai ekonomi rendah atau limbah sisa setelah produk primernya. Adapun pemanfaatan biomassa sebagai energi melalui tiga tahapan yaitu pretreatment, sakarifikasi enzimatis dan fermentasi. Proses pretreatment menjadi kunci dalam pembuatan bioenergi karena berhubungan langsung dengan struktur tumbuhan atau lignoselulosa yang tidak mudah terurai [3, 7].

Lignoselulosa merupakan senyawa yang terdiri atas selulosa, hemiselulosa dan lignin. Selulosa merupakan senyawa linear syndiotactic homopolymer dengan rumus molekul ($C_6H_{12}O_6$) dan tersusun atas unit D-anhydroglucopiranosose (AGU) yang sering disebut glukosa. Berbeda dengan selulosa, hemiselulosa adalah senyawa heteropolymer dari polisakarida, dimana monomernya dapat berupa glukosa, manosa, galaktosa, xylosa dan arabinosa. Sementara itu lignin merupakan senyawa pengikat selulosa dan hemiselulosa dalam tanaman. Lignin terakumulasi pada batang tumbuhan berbentuk pohon dan semak. Berbeda dengan selulosa yang terbentuk dari gugus karbohidrat, struktur kimia lignin sangat kompleks dan tidak berpola sama. Oleh karena itu, dalam pembuatan bioethanol dibutuhkan suatu pretreatment untuk memecah dinding sel, sehingga enzim dapat mengakses selulosa pada tahap sakarifikasi enzimatik. Produk dari proses sakarifikasi enzimatik adalah glukosa yang dapat difermentasi menggunakan mikroorganisme untuk mendapatkan bioethanol yang digunakan sebagai energi [3].

Saat ini, proses pretreatment yang sangat efektif dalam biorefinery adalah penggunaan *ionic liquid* (IL). IL dapat membelah dinding sel dengan baik serta ramah terhadap enzim yang digunakan pada proses selanjutnya. Namun, harga IL yang tinggi dan proses eksperimen yang sulit membuat proses tersebut menjadi tidak ekonomis. Oleh karena itu, *Capstone design* ini bertujuan untuk mengoptimalkan produksi bioethanol pada biorefinery dengan merancang suatu desain fabrikasi bioethanol menggunakan *software* SuperPro Designer (SPD) [3]. Proses biorefinery secara real dimodelkan dengan tiga tahap, seperti pretreatment, sakarifikasi enzimatik dan fermentasi. Perangkat lunak SPD memiliki struktur proses yang baik, terutama dalam proses biokimia, senyawa spesifik, dan unit yang lengkap. Hasil simulasi yang didapatkan menggunakan *software* akan menjadi acuan dalam fabrikasi bioethanol pada biorefinery secara langsung.

1.2 Informasi Pendukung Masalah

Menurut penelitian yang telah dilakukan M F Sulaeman dkk. Yang mensimulasikan hasil eksperimental yang dilakukan oleh Ninomiya dkk. menggunakan SPD *software* dengan biomassa ampas tebu dan IL *choline acetate* (ChOAc) menunjukkan dari 1 gr biomassa didapatkan bioethanol sebanyak 15 g/L pada 24 jam fermentasi yaitu 89% dari hasil etanol teoritis. Adapun nilai error yang didapatkan yaitu 1,59 %. Hasil error tersebut merupakan perbandingan dari penelitian eksperimental yang dilakukan oleh Ninomiya dkk. Sehingga error yang kecil menunjukkan bahwa metode simulasi menggunakan SPD *software* dapat menjadi acuan dalam pembuatan bioethanol pada biorefinery.

1.3 Analisis Umum

1.3.1 Aspek Ekonomi

Secara umum dalam produksi bioethanol pemilihan bahan baku harus memiliki beberapa aspek ekonomis seperti, komposisi kimia biomassa, proses budidaya, penggunaan sumber daya terutama penggunaan energi, biaya logistik dan penyimpanan biomassa. Selain itu, pembuatan bioethanol harus memperhitungkan biaya pada setiap tahap seperti pretreatment, sakarifikasi enzimatis dan fermentasi. Hal tersebut merupakan parameter penting yang digunakan dalam melakukan analisis biaya ekonomi pembuatan bioethanol. Adapun biaya pembuatan bioethanol yang telah dianalisis oleh peneliti pada Badan Riset Inovasi Nasional Serpong dihasilkan bahwa biaya pembuatan bioethanol masih tergolong mahal, dimana biaya pembuatan bioethanol menggunakan biomassa Tandan Kosong Sawit menggunakan NaOH sekitar Rp. 35.600/L. Hasil tersebut menunjukkan produksi bioethanol menggunakan TKS 5 kali lebih mahal dari produksi di Brazil dan 3,5 kali dari Amerika Serikat.

Pengembangan bioethanol yang paling efektif saat ini yaitu menggunakan IL. Produksi bioethanol dengan menggunakan bahan ini juga tergolong memerlukan biaya yang tinggi. Pengembangan pembuatan IL masih sangat sedikit dan hanya bisa dibeli dengan metode inden atau barang tidak tersedia secara langsung. Harga IL saat ini bisa mencapai jutaan rupiah untuk 50 gram IL saja seperti *choline acetate* dengan harga 8 juta rupiah untuk 50 gramnya. Tentunya dengan harga tersebut akan menambah biaya ekonomi jika sistem fabrikasi tidak dirancang dengan baik.

1.3.2 Aspek Manufakturabilitas

Pembuatan bioethanol mengarah kepada limbah habis pakai dari produk primer yang dihasilkan, ketersediaan bahan baku dalam pembuatan bioethanol di Indonesia sangat melimpah baik dari sektor pertanian, perkebunan dan limbah sisa perkotaan. Fokus penelitian yang banyak digunakan sebagai pembuatan bioethanol saat ini yaitu limbah dari famili atau ordo *Arecaceae* karena mengandung banyak lignoselulosa serta ketersediaan yang banyak di Indonesia. Hal tersebut menjadi peluang dalam produksi bioethanol selain dalam penerapan energi terbarukan juga dalam mengurangi limbah untuk kebersihan lingkungan. Ketersediaan limbah tersebut menjadikan desain sistem fabrikasi yang dirancang memiliki aspek manufakturabilitas yaitu kemudahan dalam memperoleh bahan baku.

Selain itu, perancangan sistem juga menggunakan SPD *Software* yang memiliki unit prosedur kimia yang sudah terverifikasi. SPD *software* merupakan *software* simulasi yang dapat digunakan dalam simulasi proses eksperimental secara langsung, sehingga memudahkan peneliti dalam melakukan percobaan di laboratorium. Selain itu, software ini memiliki analisis yang lengkap baik dari analisis ekonomi dari hasil

yang didapatkan serta analisis produk utama maupun produk samping yang dihasilkan dari simulasi. Hal tersebut dapat mempermudah dalam pembuatan sistem fabrikasi serta analisis produksi bioethanol.

1.3.3 Aspek Lingkungan

Perkembangan bioethanol sebagai energi terbarukan terus meningkat karena dapat mengurangi emisi karbondioksida. Walaupun seperti itu, dalam tahap pembuatan bioethanol terdapat limbah sisa yang dapat mencemari lingkungan seperti gas hasil pembakaran pada proses pirolisis, limbah asam dan basa yang dapat mencemari air dan berbagai macam limbah lainnya. Oleh karena itu, dengan adanya desain fabrikasi menggunakan *SPD software* dapat dianalisis konsentrasi limbah sisa yang dihasilkan dari proses pembuatan bioethanol sehingga dapat dilakukan kontrol terhadap limbah sisa yang dihasilkan.

1.4 Kebutuhan yang Harus Dipenuhi

Berdasarkan aspek yang telah dijelaskan pada analisis umum, kebutuhan yang harus dipenuhi pada *Project Capstone Design* yaitu design fabrikasi bioethanol yang dapat mensimulasikan pembuatan bioethanol pada biorefinery. Desain yang dibutuhkan merupakan desain yang dapat mempermudah dalam proses input, analisis proses dan output bioethanol yang didapatkan. Desain harus sesuai dengan kondisi eksperimental secara real sehingga dapat menjadi acuan dalam proses pembuatan bioethanol pada biorefinery.

1.5 Solusi Sistem yang Diusulkan

1.5.1 Karakteristik Produk

1.5.1.1 Desain Fabrikasi Bioethanol menggunakan metode *Ozonolisis*

Desain fabrikasi bioethanol menggunakan metode ozonolisis memiliki beberapa fitur utama yaitu proses pretreatment, sakarifikasi enzimatik dan fermentasi. Pada Fitur pretreatment terdapat beberapa inputan seperti ozon, air dan biomassa dengan konsentrasi tertentu. Proses pretreatment berlangsung pada tabung reaktor dengan pengaduk, pengaturan waktu dan suhu tertentu. Dalam tabung reaktor ozon dan biomassa akan mengalami proses delegnifikasi atau penghilangan lignin dari biomassa untuk masuk pada tahap sakarifikasi enzimatik. Selanjutnya pada fitur sakarifikasi enzimatik terdapat tabung reaktor sebagai tempat berlangsung proses sakarifikasi enzimatik serta tabung pengumpul enzim. Enzim akan dikumpulkan pada tabung serta dapat diatur konsentrasi enzim yang diperlukan dalam proses tersebut. Enzim akan dicampurkan dengan biomassa dari hasil pretreatment yang telah dilakukan. Terakhir terdapat fitur fermentasi yang terdiri dari tabung fermentor. Tabung fermentor memiliki input gula dari hasil

sakarifikasi enzimatis dan ragi dengan output dari tabung fermentor adalah ethanol yang dapat dijadikan sebagai bahan bakar. Baik pada proses sakarifikasi enzimatis dan fermentasi terdapat pengaturan suhu, konsentrasi dan waktu dilakukannya proses tersebut.

1.5.1.2 Desain Fabrikasi Bioethanol menggunakan metode *Pyrolysis*

Desain Fabrikasi bioethanol menggunakan metode *pyrolysis* memiliki beberapa fitur yaitu pretreatment, *pyrolysis* dan pemurnian. Bagian pretreatment berlangsung dengan beberapa komponen yaitu pengeringan dan penghancuran bahan baku, pengangkut, dan reaktor pemisah arang biomassa dengan gas. Selanjutnya hasil arang pada fitur pretreatment akan dipisahkan menjadi gas dengan pemanasan. Gas tersebut mengandung selulosa, hemiselulosa dan lignin yang akan ditampung pada tabung reaktor yang berbeda. Selanjutnya gas tersebut melalui proses kondensasi dalam mendapatkan hasil bioethanol.

1.5.1.3 Desain Fabrikasi Bioethanol menggunakan *Ionic Liquid*

Desain fabrikasi bioethanol menggunakan *Ionic liquid* (IL) memiliki fitur yaitu pretreatment, sakarifikasi enzimatis dan fermentasi. Desain fabrikasi ini hampir sama dengan desain fabrikasi ozonolisis akan tetapi reagen atau pereaksi yang digunakan dalam fitur pretreatment desain ini menggunakan IL. Selain itu, jika pada proses ozonolisis pretreatment berlangsung pada unit prosedur yang sederhana, pada pretreatment menggunakan IL dibutuhkan unit prosedur yang kompleks dan lebih kepada analisis komponen supaya komponen seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin dapat dihasilkan dengan konsentrasi sesuai kandungan biomassa

1.5.2 Skenario Penggunaan

Produk desain fabrikasi bioethanol dirancang dalam memudahkan proses produksi bioethanol pada biorefinery. Pada simulasi user melakukan registrasi komponen seperti biomassa dan bahan tambahan lainnya dengan konsentari, suhu dan berbagai kondisi tertentu. Proses akan tersambung satu sama lain dengan pengaturan waktu pada setiap proses yang dirancang. Masing masing output dapat dianalisis dengan perhitungan stoikiometri untuk mengetahui konsentrasi dari masing - masing output.

Dalam pembuatan produk desain fabrikasi bioethanol ini bekerjasama dengan tiga institusi yaitu Universitas Islam Internasional Malaysia sebagai penyedia SPD *software* untuk simulasi, Badan Riset Inovasi Nasional (BRIN) sebagai penyedia pembelajaran secara eksperimental yang dapat diterapkan pada skala pabrik pada desain simulasi, serta Telkom University sebagai eksekutor pembuatan desain fabrikasi. Oleh karena itu, dengan adanya sistem fabrikasi bioethanol menggunakan SPD *software* dapat

mempermudah dalam produksi bioethanol untuk mendapatkan hasil yang optimal dan meminimalisir biaya produksi bioethanol pada biorefinery.

1.6 Kesimpulan dan Ringkasan CD-1

Solusi desain yang telah dijelaskan pada projek *capstone design* ini dapat disimpulkan bahwa desain sistem fabrikasi bioethanol yang akan dirancang menggunakan SPD *software* merupakan desain yang dapat mempermudah serta menekan biaya ekonomi dalam pembuatan bioethanol. Selain itu, kemudahandalam memperoleh biomassa dan penggunaan *software* simulasi yang digunakan dapat menjadikan desaiin fabrikasi yang akan dibuat sebagai acuan dalam pembuatan bioethanol pada biorefinery supaya proses produksi bioethanol berlangsung efektif dan efisien.