

# Studi Awal Pra Desain Pabrik Bioetanol dari Nira Siwalan (*Borassus flabellifer*)

Novarian Budisetyowati, Husna Amirah, dan Tri Widjaja  
Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia  
e-mail: papatri2003@yahoo.com

**Abstrak**— Bioetanol kini banyak dikembangkan sebagai bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil. Bioetanol untuk campuran bensin harus memiliki kemurnian sebesar 99,5-100%. Bioetanol dapat diperoleh dengan proses fermentasi yang melibatkan mikroorganisme. Pra desain pabrik bioetanol dari nira siwalan ini menggunakan proses fermentasi. Bahan baku berupa nira siwalan diasamkan dengan menggunakan  $H_2SO_4$ , kemudian disterilisasi sebelum difermentasi di fermentor selama 36 jam. Adapun mikroorganisme yang digunakan adalah *Saccharomyces cereviceae*. Bakteri ini mampu mengurai gula tanpa kehadiran oksigen dan menghasilkan etanol dan karbondioksida. Bioetanol dapat diperoleh dengan proses fermentasi yang melibatkan mikroorganisme. Pra desain pabrik bioetanol dari nira siwalan ini menggunakan proses fermentasi. Bahan baku berupa nira siwalan diasamkan dengan menggunakan  $H_2SO_4$ , kemudian disterilisasi sebelum difermentasi di fermentor selama 36 jam. Adapun mikroorganisme yang digunakan adalah *Saccharomyces cereviceae*. Setelah dari fermentor nira yang sudah difermentasi dinetralkan pH nya menggunakan  $NH_4OH$  di tangki netralisasi. Dari tangki netralisasi nira dipompakan melewati preheater sebelum masuk ke kolom distilasi. Pemurnian dilakukan dengan menggunakan kolom distilasi sebanyak 2 buah. Pada distilasi yang pertama diperoleh kadar etanol sebesar 60% dan pada distilasi yang kedua diperoleh kadar 96%. Dari kolom distilasi 2 larutan didinginkan menggunakan cooler untuk didapatkan suhu  $32^{\circ}C$  agar sesuai dengan suhu proses dehidrasi dengan menggunakan *Molecular Sieve* yang diinginkan. Proses dehidrasi dilakukan untuk mendapat kadar etanol 99,5%. Etanol 99,5% yang dihasilkan kemudian disimpan dalam tangki penampung. Kebutuhan bioetanol dalam negeri pada tahun 2018 diperkirakan 3.166.015,13 kL/tahun. Berdasarkan analisa ekonomi yang dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut *internal rate of return* 26,53 % per tahun, *pay out time* 4,73 tahun, dan *BEP* 34,62 % Ditinjau dari uraian di atas, maka secara teknis dan ekonomis, pabrik etanol dari nira siwalan layak untuk didirikan.

**Kata Kunci**—bioetanol, nira siwalan, fermentasi, *Saccharomyces cerevisiae*

## I. PENDAHULUAN

BIOETANOL diproyeksikan sebagai salah satu alternatif terbaik untuk menggantikan bahan bakar fosil karena etanol adalah sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Kini etanol diproduksi secara masif di dunia industri. [1] Studi mengenai fermentasi etanol terus berkembang karena peningkatan permintaan etanol sebagai bahan bakar suplemen bensin. Fermentasi yang cepat serta kadar etanol yang tinggi diinginkan untuk meminimalkan biaya produksi dan energi yang diperlukan untuk distilasi, sedangkan

yield yang tinggi diperlukan untuk proses yang ekonomis. Etanol hendaknya diproduksi dari substrat yang murah agar harga jual terjangkau dan dapat bersaing dengan bahan bakar konvensional. [2]

Meningkatnya kebutuhan bahan bakar minyak yang cukup tinggi tiap tahunnya merupakan suatu kekhawatiran besar bagi pemerintah dan para konsumennya karena energi dan sumber daya mineral Indonesia terus menurun sebesar 4,5% setiap tahunnya. Jika dilakukan perhitungan secara matematis, apabila tidak dilakukan eksplorasi sumber minyak baru, maka dalam kurun 10 tahun bahan baku pembuatan minyak akan habis.

Salah satu jenis bahan bakar nabati yang sudah lama dikembangkan untuk menggantikan BBM adalah bioetanol. Bioetanol merupakan salah satu jenis biofuel (bahan bakar cair dari pengolahan tumbuhan) di samping Biodiesel. Bioetanol adalah etanol yang dihasilkan dari fermentasi glukosa yang dilanjutkan dengan proses destilasi. Bioetanol dibuat dari biomassa melalui proses biologi enzimatik dan fermentasi.

Pertumbuhan industri etanol di Indonesia khususnya yang berasal dari bahan-bahan terbarukan diperkirakan akan mengalami pertumbuhan yang pesat seiring dengan pertumbuhan kebutuhan akan etanol sebagai bahan bakar alternatif. Etanol dimanfaatkan sebagai bahan campuran bensin dengan komposisi 10% etanol atau yang disebut dengan gasohol E-10. Hal ini juga didukung oleh ketersediaan, harga, dan dampak lingkungan pada penggunaan bahan bakar fosil. Karena pertumbuhan dan permintaan yang pesat ini, dihindari bahan baku bioetanol yang berasal dari tanaman pangan agar tidak mengganggu ketahanan pangan.

Nira siwalan dapat dipertimbangkan sebagai opsi yang menjanjikan. Nira siwalan disadap dari tanaman siwalan (*Borassus flabellifer*), salah satu famili palm yang banyak tumbuh di daerah Asia Tenggara dan Selatan, khususnya Indonesia. Nira siwalan banyak diolah menjadi minuman beralkohol yang dikenal dengan nama tuak oleh orang asli Indonesia. Selain itu, nira siwalan juga diolah menjadi gula merah dan gula pasir untuk dijual, namun nilai ekonominya rendah. Nira siwalan mengandung sekitar 10-20% gula. Pada dasarnya, gula aren adalah gula yang tersimpan pada tanaman untuk mempertahankan hidup, sehingga produksi gula aren dapat dijaga konstan secara alami. [2]

Persebaran tanaman siwalan di Indonesia cukup melimpah. Potensi tanaman siwalan di Indonesia disajikan dalam Tabel 1, dimana terlihat jumlah tanaman siwalan yang signifikan di

daerah pesisir. [2] Dengan ketersediaan bahan baku yang berkelanjutan, maka pendirian pabrik dapat terjadi.

Table 1.

Persebaran Tanaman Siwalan di Beberapa Daerah di Indonesia pada Tahun 2007

Daerah	Luas Area Tanaman (ha)	Produksi (ton)	Produktivitas (kg.ha)
Situbondo	16	48	3684
Bangkalan	669	214,98	48212
Tuban	1183	5447,06	6275

## II. URAIAN PROSES

### A. Tahap Penyimpanan dan Penanganan Bahan Baku

Tahapan pertama dalam proses pembuatan bioetanol dari nira siwalan ini bertujuan untuk mengolah bahan baku menjadi sedemikian rupa, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dalam proses fermentasi. Pabrik menerima bahan baku berupa nira siwalan dan disimpan pada tangki penampung nira

### B. Tahap Pra-Fermentasi

Tahap ini bertujuan untuk mendapatkan kondisi bahan baku yang sesuai untuk diumpankan ke fermentor. Nira yang keluar telah ditampung pada tangki penampung kemudian dipompa masuk pada tangki pencampur dan ditambahkan Asam Sulfat 98% untuk menurunkan pH menjadi 4-4,5.

Keluaran dari tangki pencampur berupa nira mentah yang selanjutnya dipompa menuju tangki sterilisasi. Tujuan dari proses sterilisasi yaitu agar di dalam proses tidak terjadi kontaminasi oleh bakteri lain. Sterilisasi dilakukan dengan menggunakan *steam* pada suhu 189°C. Kemudian dari tangki sterilisasi nira steril dipompa menuju tangki penampung nira steril yang dilengkapi koil pendingin agar suhunya turun mencapai 30°C.

Nira dari tangki penampung nira steril dibagi menjadi dua, 10% dipompa menuju tangki starter dan 90% menuju tangki fermentor. Proses dalam tangki starter berlangsung pada suhu 32°C selama 20 jam, pada tangki starter ditambahkan nutrient berupa ammonium fosfat dan urea yang merupakan sumber unsur N dan P untuk keperluan perkembangan ragi. Kemudian ditambahkan anti-foam.

### C. Tahap Pemurnian

Proses ini bertujuan untuk memperoleh etanol dengan kemurnian yang tinggi. *Feed* dari pemurnian ini adalah produk dari reaktor fermentasi dengan produk pemurnian yang diharapkan adalah etanol dengan kadar mendekati 100%.

Proses pertama adalah filtrasi yang bertujuan untuk menghilangkan padatan-padatan yang terkandung pada produk fermentasi. Proses ini menggunakan *rotary drum filter* menggunakan pompa. Keluaran dari filter berupa liquid yang dialirkan ke tangki penampung sementara dan solid dialirkan menggunakan *screw conveyor* untuk dibawa ke pengolahan limbah. Selanjutnya liquid dipompa ke tangki umpan purifikasi/ distilasi, penyimpanan ini ditujukan untuk menjaga berlangsungnya proses distilasi yang berlangsung secara

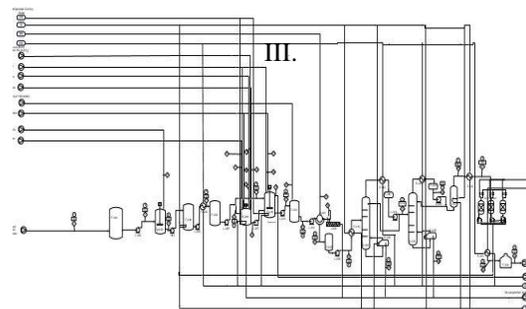
kontinu. Sebelum etanol dimurnikan terlebih dahulu dipanaskan dalam *heat exchanger* menggunakan *steam* sehingga suhu liquid akan naik dari semula 30,8°C menjadi sekitar 98,9°C.

Pada tahap distilasi dilakukan pemisahan air dan *impurities* pada etanol hasil fermentasi sehingga mencapai kadar dibawah komposisi azeotropnya. Pemurnian etanol menggunakan 2 buah kolom distilasi, pertama menggunakan *Beer Still Column* yang merupakan kolom distilasi pertama, di sini sebagian besar air dan komponen berat yang terkandung dalam *feed* akan terambil. *Feed* berupa produk dari unit fermentasi dipanaskan terlebih dahulu sampai mencapai kondisi jenuhnya. Kolom ini dioperasikan dengan memindahkan etanol (*light key component*) sebanyak mungkin pada bagian *overhead* kolom serta memindahkan sebanyak mungkin air (*heavy key component*) pada bagian bawah kolom. Etanol diambil pada produk atas kolom dan diumpankan secara langsung pada kolom distilasi kedua dengan pompa. [3]-[5]

Kolom pertama beroperasi pada tekanan atmosfer dan suhu 78°C dengan menggunakan *tipe tray column* serta dilengkapi parsial reboiler dan total kondensor. Total kondensor beroperasi pada tekanan atmosfer dan suhu 93,1°C sementara parsial *reboiler* beroperasi pada tekanan atmosfer dan suhu 100°C. Hasil keluaran kondensor akan ditampung pada tangki dan dipompa dengan pompa ke kolom distilasi kedua.

Kolom kedua berfungsi memekatkan etanol hingga mendekati komposisi azeotropnya yaitu 96,5% wt. Kolom ini juga berupa *tray column* yang bekerja pada tekanan atmosfer dan suhu 80°C dengan parsial reboiler dan total kondensor. Total kondensor beroperasi pada tekanan atmosfer dan suhu 80,21°C sementara parsial reboiler beroperasi pada tekanan atmosfer dan suhu 99°C. Hasil keluaran kondensor akan ditampung pada tangki.

Produk atas dari kolom ini yang berupa liquid dengan kadar 94% massa etanol akan diubah fasenya menjadi vapor dengan vaporizer. Vaporizer beroperasi pada kondisi tekanan atmosfer dan suhu 98,3°C. Fase produk distilasi ini harus diubah menjadi uap sebab akan di umpankan ke molecular sieve yang beroperasi dengan feed berupa uap. Hasil keluaran vaporizer ini dialirkan ke *superheater*. Fungsi *superheater* adalah untuk memanaskan uap dari suhu 98,3°C menjadi 120°C yang akan diumpankan ke *molecular sieve*. [6]-[7]



Gambar 1 Process Flow Diagram

### III. MATERIAL BALANCE

Dari perhitungan material balance untuk feed 720 kL nira siwalan per hari dapat dihasilkan produk bioetanol dengan kemurnian 99,5% sebesar 36,817 kL.[8]-[11]

### IV. ANALISA EKONOMI

Dari hasil perhitungan pada neraca ekonomi didapatkan Total Cost Investment pabrik ini sebesar Rp 295.613.963.145 dengan bunga 10% per tahun. Selain itu, diperoleh IRR sebesar 26,53 % dan Break Even Point sebesar 34,62 % dimana pengembalian modalnya selama 4,73 tahun. Umur dari pabrik ini diperkirakan selama 10 tahun dengan masa periode pembangunannya selama 2 tahun dengan operasi pabrik ini 330 hari/tahun.[12]

### V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan analisa ekonomi dengan metode *discounted cash flow* terhadap faktor ekonomi pra desain pabrik bioetanol dari nira siwalan ini, maka diperoleh hasil sebagai berikut :

- 1) Laju Pengembalian Modal (Rate Of Return) sebesar 26,53 % per tahun. Hal ini menunjukkan bahwa ROR yang diperoleh lebih besar dibandingkan dengan nilai  $i = 26,53\%$  untuk pinjaman modal pada bank dengan tingkat bunga 10 % per tahun sehingga pabrik layak didirikan.
- 2) Waktu pengembalian modal (Pay Out Time) pabrik ini adalah 4,73 tahun
- 3) Titik impas (Break Even Point) adalah 34,62 %

Dari hasil evaluasi secara teknis dan ekonomis, pabrik Bioetanol dari Nira Siwalan ini sudah memenuhi syarat untuk dilanjutkan ke tingkat perencanaan. Dari segi ekonomi, pra rencana ini telah layak didirikan dengan masa konstruksi 2 tahun dan umur pabrik 10 tahun..

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Tri Widjaja M.Eng selaku dosen pembimbing dan seluruh crew Laboratorium Teknologi Biokimia.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bai, J.W., Anderson, W.A., and Moo-Young, M., *Research review paper: Ethanol fermentation technologies from sugar and starch feedstocks*, Biotechnology Advances 26 (2008) 89–105.
- [2] Haisya, N.B.S, et.al., *The Potential of Developing Siwalan Palm Sugar (Borassus flabellifer Linn.) as One of the Bioethanol Sources to Overcome Energy Crisis Problem in Indonesia*, 2nd International Conference on Environmental Engineering and Applications IPCBEE vol.17 (2011)
- [3] Perry, Robert H. and Don Green. “Perry’s Chemical Engineer’s Handbook, 7th Edition”. Mc Graw Hill Book Company, New York.
- [4] Geankoplis, Christie John.” Transport Processes And separation process principles, 4th edition. Prentie Hall of India, New Delhi (2003).
- [5] Mc Cabe, Warren L., and Julia C. Smith.” Unit operation Of Chemical Engineering”. 4th Edition”. Mc Graw Hill Book Company, New York (1985).
- [6] Seader, J.D, Henley, Ernest J. “ Separation Process Principle 2th Edition”. John Willey & Son : New York (2006).

- [7] Smith, J.M., Van Ness, H.C., Abbott, M.M. “ Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics, 7th Edition”, Mc Grawhill Book Company. Singapore (2005)
- [8] Vilbrandt. D, “Chemical Engineering Plant Design”, 4 th edition McGraw Hill Book Company (1959)
- [9] Himmelblau. D, “Basic Principles and Calculations in Chemical Engineering”, International Edition (2003).
- [10] Ludwig. E, “Design for Chemical and Petrochemical Plants”, Gull Publishing Houston, Texas (1947).
- [11] Ulrich, Gael D.”A Guide to Chemichal Engineering Process Design and Economic”, John Willey & Son : Canada (1984)
- [12] Klaus. D. Timmerhaus and Ronald. E.W, “Plant Design and Economics for Chemical Engineering”, 5 th International Edition McGraw Hill Book