

RANCANG BANGUN ALAT DISTILASI PEMURNIAN BIOETANOL GRADE TEKNIS  
BERSKALA UKM : KAJIAN KINERJA ALAT TENTANG DERAJAD PEMURNIANNYA

Hargono \*), Nugraha Bayu Samodra, Nadia Zahrotul Firdausi,  
Agnes Kinanthi Nugraheni, Lazuardy R. Zakaria \*\*)

*Abstract*

*The technical grade bioethanol can be manufactured by using distillation process at small and medium enterprises. In this research, bioethanol was made from fermentation of rubber cassava starch (Manihot glaziovii) and gadung starch (Dioscorea hispida). From this fermentation process, 3-8% crude ethanol was produced. To achieve the objective 2-stage distillation units were designed to purify the crude ethanol product. Bioethanol produced from 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> distillation units were of 35 and 94% purity respectively corresponding to the technical specifications desired. The design of 2-stage distillation units has been completed, included the shape and dimensions of the units, i.e. the main condenser, cylindrical in shape, dimensions of diameter was 32cm and height was 45cm, cylindrical in shape feeder tank/boiler, small scale volume of 5L, which can be scaled up to 65L. At 2<sup>nd</sup> distillation column, the diameter was 9cm and length was 121cm. The column was isolated using ori type bamboo filled with glasswool as isolator. The columns were filled with ceramic or glass type packing inside. The columns were equipped with thermometer to measure the temperature of ethanol-water vapor.*

*Key words: crude bioethanol, design of 2-stage distillation, technical grade bioethanol*

**Pendahuluan**

Bioetanol adalah nama lain dari etanol yang dibuat dari bahan baku yang berasal dari makhluk hidup atau biomassa. Rumus molekul etanol adalah C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH. Bioetanol teknis dengan kadar 70-94% dapat dibuat melalui operasi distilasi (Henley dkk., 1981). Etanol jenis ini biasanya digunakan untuk pelarut, disinfektan dan bahan bakar keperluan rumah tangga.

Pembuatan bioetanol selain dilakukan dengan skala industri dan laboratorium (Maiorella, 1983) dapat juga dilakukan dengan skala UKM (Usaha Kecil dan Menengah). Biaya pembuatan peralatan pembuatan bioetanol berskala industri dan laboratorium cukup besar dibandingkan dengan skala UKM. Hal ini disebabkan karena dalam pembuatannya memerlukan ketelitian dan presisi yang tinggi sehingga sangat mempengaruhi biayanya.

Rancang bangun alat pemurnian bioetanol dengan skala UKM ini dilakukan sebagai alternatif atau pilihan untuk para pengrajin bioetanol dalam berpartisipasi ikut mewujudkan kebijakan pemerintah menciptakan bahan bakar alternatif. Produk bioetanol yang dihasilkan dari rancang bangun alat distilasi ini telah memenuhi spesifikasi produk etanol teknis dengan kadar maksimum 94%. Pengukuran kadar etanol dilakukan dengan alkoholmeter (metode pengukuran kadar etanol secara cepat), dan selanjutnya divalidasi menggunakan *Gas Chromatographi* (GC). Hasil pengukuran kedua metode ini menunjukkan kadar etanol yang tidak jauh berbeda.

**Pembuatan Crude Etanol**

Empat tahapan proses utama dalam memproduksi bioetanol adalah *pretreatment*, hidrolisis, fermentasi : dihasilkan *crude* etanol dan tahap terakhir adalah pemurnian (Sukumaran, 2008). Bahan baku yang digunakan untuk pembuatan Bioetanol dapat berbasis karbohidrat, glukose maupun selulose.

*Pretreatment* adalah proses persiapan bahan baku sesuai spesifikasi yang diinginkan. Sebagai contoh untuk mempersiapkan bahan baku jenis ubi-ubian (karbohidrat) dilakukan proses pemotongan dan penghancuran ubi bahkan dapat pula bahan baku tersebut berbentuk tepung atau pati. Analisis karbohidrat diperlukan untuk mengetahui konversi karbohidrat menjadi glukose (Prihandana dan Rama, 2008).

Hidrolisis pati merupakan proses pemecahan molekul pati menjadi bagian-bagian penyusunnya yang lebih sederhana seperti dekstrin, isomaltosa, maltosa dan glukosa (Purba, 2009). Proses hidrolisis pati dapat menggunakan katalis enzim atau asam. Hidrolisis secara enzimatik lebih menguntungkan, karena prosesnya lebih selektif, kondisi prosesnya dapat dikontrol, glukosa yang dihasilkan relatif lebih banyak, tidak beracun, dan biaya pemurnian lebih murah (Suyandra dan Isradharma., 2007).

Secara garis besar, tahap hidrolisis pati meliputi: gelatinisasi, liquifikasi dan sakarifikasi. Salah satu faktor yang mempengaruhi proses hidrolisis yaitu perbandingan jumlah enzim terhadap bahan baku. Enzim yang biasa digunakan untuk proses glukosa adalah enzim  $\alpha$ -amylase dan enzim gluko-amilase. Gelatinisasi, yaitu pemecahan pati yang berbentuk granular menjadi suspensi yang kental melalui pemanasan pada suhu 90 °C. Liquifikasi merupakan proses hidrolisis pati menjadi dekstrin oleh enzim  $\alpha$ -amylase pada suhu 60 °C (Trifosa, 2007). Enzim  $\alpha$ -amylase akan memotong ikatan amilosa dengan cepat pada pati kental yang telah mengalami

\*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Kimia FT Undip

\*\*) Alumni Jurusan Teknik Kimia FT Undip

gelatinisasi. Proses liquifikasi berakhir ditandai apabila larutan menjadi lebih encer. Tahap sakarifikasi adalah tahap pemecahan gula kompleks menjadi gula sederhana dengan penambahan enzim *glukoamilase*. Pada tahap ini dekstrin diubah menjadi glukosa.

suatu senyawa menjadi senyawa lain yang mempunyai nilai ekonomis lebih tinggi ( Umbreit dan Wayne, 1959). Keuntungan pemanfaatan mikroba adalah sangat selektif serta reaksinya berjalan pada temperatur yang relatif rendah bila dibandingkan dengan transformasi secara kimia (Umbreit dan Wayne, 1959).

Fermentasi alkohol merupakan proses pembuatan alkohol dengan memanfaatkan aktivitas *ragi*. Alkohol pada intinya dapat dibuat dari bahan-bahan yang mengandung gula atau dari bahan-bahan yang dapat dijadikan gula. Untuk bahan-bahan yang dapat dijadikan gula, diperlukan proses pendahuluan yang dikenal dengan proses sakarifikasi. Reaksi yang terjadi dalam fermentasi alkohol adalah sebagai berikut (Dias dan Clark, 2009)



Untuk pertumbuhannya, *ragi* memerlukan energi yang berasal dari karbon. Gula adalah substrat yang lebih disukai. Oleh karena itu konsentrasi gula sangat mempengaruhi jumlah etanol yang dihasilkan.

### Pemurnian Bioetanol

Untuk mencapai spesifikasi produk bioetanol teknis sesuai kadar yang diinginkan dilakukan pemurnian *crude* etanol menggunakan operasi distilasi. Distilasi adalah metode pemisahan campuran cairan yang saling melarut berdasarkan perbedaan tekanan uap murni atau perbedaan titik didih masing-masing komponen yang terdapat dalam campuran. Distilasi dioperasikan dengan menggunakan tenaga pemisah berupa panas (Henley dkk., 1981). Pemisahan etanol-air hanya dapat dilakukan dengan kadar maksimum dibawah komposisi azeotropnya, yaitu 95,63% (w/w) (Kiss dan Ignat, 2012).

*Crude* etanol dengan kadar tidak lebih dari 10% (v/v) dimurnikan dari campuran etanol-air melalui proses distilasi dengan memanaskan campuran tersebut pada suhu 78°C. Distilasi 2 tahap secara batch mampu menghasilkan etanol teknis berkadar 70-94%.

Distilasi untuk memisahkan etanol dari air hanya dapat mencapai komposisi kurang dari komposisi azeotropnya, yaitu 95,63% (w/w) (Maiorella, 1983) . Pada campuran azeotrop, komposisi cairan sama dengan komposisi uapnya yang berbeda dalam keadaan seimbang, sehingga titik didih mendekati sama, oleh karena itu campuran azeotrop tidak dapat dipisahkan secara efisien dengan cara distilasi biasa melainkan dengan cara dehidrasi menggunakan adsorben yang bersifat hidrofil atau dengan teknologi membran.

Fermentasi secara mikrobiologi industri fermentasi diartikan lebih luas yaitu sebagai suatu proses untuk mengubah bahan baku menjadi suatu produk oleh aktivitas massa sel mikroba (Umbreit dan Wayne, 1959). Tujuan proses fermentasi adalah memodifikasi bahan atau proses transformasi untuk mengubah

### Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh massa ragi *Saccharomyces cerevisiae* terhadap konversi glukosa menjadi etanol dan merancang bangun serta mengkaji kinerja alat distilasi 2 tahap hasil rancangan sendiri untuk memurnikan *crude* etanol sampai dicapai kadar etanol teknis. Rancang bangun alat meliputi bentuk dan dimensi alat (Seider dan Lewin 1999). Kajian alat yang dilakukan meliputi derajat pemurnian *crude* etanol sampai dicapai spesifikasi produk etanol teknis.

### Material dan Metode

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah : 1.Pembuatan *crude* etanol meliputi proses pengolahan bahan baku singkong karet hingga didapat pati singkong karet, tahap hidrolisis meliputi proses gelatinasi, liquifikasi dan sakarifikasi, selanjutnya diakhiri tahap fermentasi, seperti terlihat pada gambar-1.



Gambar 1. Proses pembuatan *crude* etanol

Bahan baku dalam penelitian ini pati singkong karet, aquadest, enzim *α-amylase* dan *glukoamilase*, ragi *Saccaromyces cereviae*, nutrient NPK sebagai sumber kalium dan phosphor sedangkan urea sebagai sumber nitrogen.

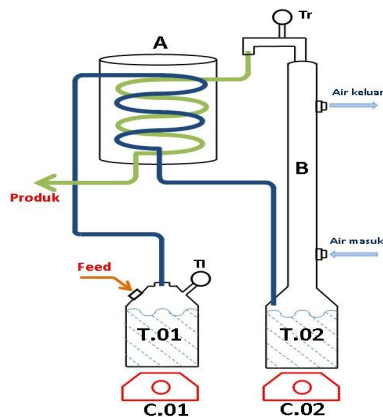
Variabel penelitian, meliputi variable bebas: volume enzim glukoamilase yaitu 0,05% (v/v); 0,10% (v/v); 0,15% (v/v); dan 0,20% (v/v) terhadap volume hidrolisis dan massa ragi yaitu 0,5% (w/v); 1,0% (w/v); dan 1,5% (w/v) terhadap volume fermentasi. Sedangkan variabel terikat : volume air 4L, massa pati 800 gr. Proses Likuifaksi pada ,suhu 95°C dan pH 5, sedangkan proses sakarifikasi, suhu operasi: 30°C, pH 4. Respon yang diamati adalah kadar etanol. Pengukuran kadar etanol dilakukan dengan alkoholmeter yang divalidasi dengan GC.

### Distilasi

Larutan *crude* etanol-air didistilasi dengan menggunakan operasi distilasi batch dua tahap. Larutan sebanyak 4000 mL dimasukkan kedalam boiler 1, volume 5L, selanjutnya larutan dipanaskan hingga suhu 80°C. Distilat ditampung hingga diperoleh volume 1000 mL.Kadar etanol diukur dengan menggunakan alkoholmeter. Distilat yang diperoleh dari distilasi tahap pertama dimasukkan ke boiler 2, volume 5 L .Panasakan larutan hingga suhu 80 °C. Distilat ditampung hingga diperoleh volume 250

mL. Kadar etanol diukur dengan menggunakan alkoholmeter.

2 Rancang bangun alat serta mengkaji kinerja alat distilasi 2 tahap hasil rancangan sendiri untuk memurnikan *crude* etanol sampai dicapai kadar etanol teknis. Rancang bangun meliputi bentuk dan dimensi alat. Kajian yang dilakukan meliputi pemurnian dengan alat distilasi 2 tahap. Tahap 1 mengkaji alat kondensor yang dilengkapi spiral pendingin dan tahap 2 mengkaji alat kolom distilasi yang berisi bahan isian. Pengkajian kinerja alat yaitu tentang kemampuan atau derajat kemurnian capaian kadar etanol dalam memurnikan *crude* etanol. Satu set perangkat alat distilasi yang dikaji kinerjanya, seperti terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Satu set perangkat alat distilasi yang akan dikaji kinerjanya,

Keterangan :

- A. Kondenser utama, bahan stainless steel
- B. Kondenser kolom, bahan stainless steel
- C.01. Pemanas 1
- C.02. Pemanas 2
- T.01. Boiler 1
- T.02. Boiler 2
- Tr . Termometer

Aliran

1. Uap hasil pemanasan feed 1
2. Hasil distilasi 1/feed distilasi 2
3. Uap bioetanol hasil distilasi 2
4. Produk bioetanol

### Hasil dan Pembahasan

Pengaruh Massa Ragi terhadap Kadar *Crude* Etanol. Massa ragi yang semakin besar tidak selalu berpengaruh pada kenaikan kadar *crude* etanol. Seperti ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2 bahwa pemberian ragi yang diijinkan berkisar pada massa ragi antara 12 sampai 36 g. Jumlah ragi semakin besar sedangkan jumlah pati, glukose dan nutrient tetap akan mengakibatkan terjadinya kompetisi antar ragi untuk hidup dan berkembang biak serta menghasilkan etanol. Jadi

jumlah ragi yang berlebihan justru mengakibatkan jumlah etanol berkurang. Hal ini disebabkan karena kinerja ragi *Saccharomyces cerevisiae* terbatas pada porsi massa yang terbatas. Pemberian ragi yang semakin besar tidak sepadan dengan sistem dalam fermentasi sehingga akan menurunkan kadar *crude* etanol.

### Kinerja Distilasi 2 Tahap

*Crude* etanol hasil fermentasi dimurnikan dengan alat distilasi 2 tahap. Pemurnian tahap 1 dilakukan dengan kolom kondensor yang dilengkapi pendingin pipa spiral, sedangkan pemurnian tahap 2 dilakukan dengan kolom Kondensor yang berisi bahan isian berupa packing. Hasil pemurnian *crude* etanol ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2. Kemampuan kolom distilasi 1 tanpa bahan isian hanya mampu memurnikan *crude* etanol pada kisaran kadar 30%. Hal ini disebabkan kolom distilasi tersebut identik dengan sistem distilasi 1 stage, sehingga derajat pemurniannya terbatas sedangkan pemurnian hasil distilasi tahap 1 ke tahap 2 menggunakan kolom berisi bahan isian dapat dicapai sampai kadar 94%. Hal ini disebabkan kolom distilasi yang berisi bahan isian identik dengan sistem distilasi 2 stage atau lebih sehingga derajat pemurniannya lebih tinggi.

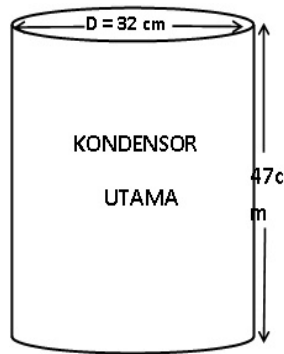
Tabel 1. Pemurnian *crude* etanol pati ubi gadung

Massa Ragi (gram)	Kadar <i>crude</i> etanol, %	Kadar Bioetanol, %	
		Distilasi 1	Distilasi 2
12	8	29	92
36	5	30	93,5
60	4	30	92

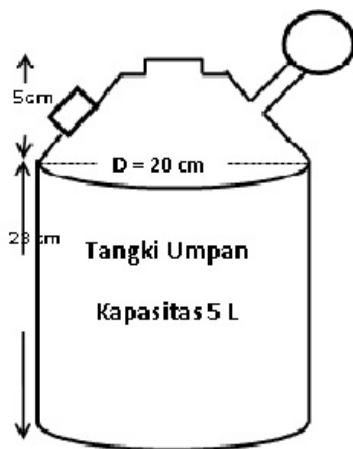
Tabel 2. Pemurnian *crude* etanol pati singkong karet

Massa Ragi (gram)	Kadar <i>crude</i> etanol, %	Kadar Bioetanol, %	
		Distilasi 1	Distilasi 2
12	5	30	93
36	6	35	94
60	3	15	91

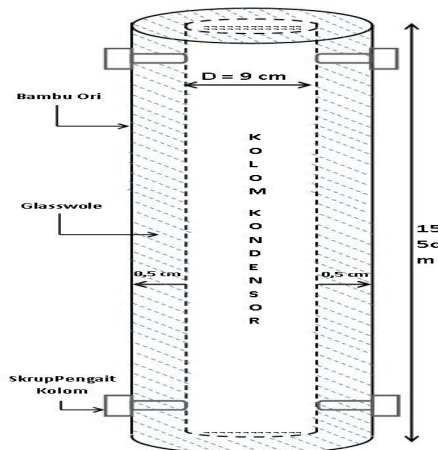
**Rancang Bangun Alat Distilasi meliputi Bentuk dan Dimensi Alat.**



Gambar 3 Kondensator Utama Distilasi 1



Gambar 4. Tangki Umpan/Boiler1 dan 2 skala kecil volume 5L, sedangkan untuk skala UKM volume tangki 65L



Gambar 5. Kolom Kondensator Distilasi 2 berisi Packing, diisolasi dengan Bambu

**Rancang Bangun meliputi :**

Gambar 3 : Kondensator utama disebut distilasi 1, bahan plat stainless steel *food grade*, dimensi diameter 32 cm, tinggi 47 cm, di dalam kondensator utama ini berisi coil pendingin pipa spiral tembaga dengan diameter 0,5 cm. Pada prakteknya kondensator ini diisi media pendingin air yang berfungsi untuk mengembunkan uap *crude* eanol-air menjadi cairan etanol air dengan kadar etanol 30-35%.

Gambar 4 : Tangki umpan/Boiler, jumlah 2 buah, bahan plat stainless steel, volume skala kecil 5L, dapat *discale up* menjadi 65 L, berfungsi untuk menguapkan cairan *crude* etanol, dilengkapi thermometer untuk mengukur suhu cairan *crude* etanol dan cairan hasil destilasi 1.

Gambar 5 : Kolom Kondensator Distilasi 2, bahan pipa stainless steel, diameter 9 cm, panjang 155 cm, bagian luar pipa diisolasi menggunakan bambu jenis Ori yang diisi *glasswool* sebagai penahan panas/ isolator agar suhu di dalam kolom terjaga. Kolom ini diisi bahan isian jenis keramik atau kaca, dilengkapi thermometer untuk mengukur suhu uap etanol-air.

**Kesimpulan**

1. Penambahan massa ragi pada proses fermentasi terbatas terhadap pembentukan *crude* etanol. Pemberian ragi sebanyak 1,0% (w/v) berpengaruh terhadap pencapaian kadar *crude* etanol sebesar 30-35%
2. Kajian kinerja rancangan alat memenuhi kelayakan sebagai alat distilasi. Kajian secara teknis membuktikan bahwa alat ini layak untuk memproduksi alkohol teknis dengan kadar 70-94%.
3. Rancang Bangun Alat Distilasi meliputi Bentuk dan Dimensi Alat telah selesai dibuat dan layak difungsikan sebagai alat pemurnian *crude* etanol dengan skala UKM.

**Daftar Pustaka**

1. Dias, M. O. S. dan Clark, 2009. "Production of Bioethanol and Other Bio-Based Materials from Sugarcane Bagasse: Integration to Conventional Bioethanol Production Process". Chemical Engineering Research and Design 87 Journal, 2009, 1206-1216.
2. Henley, E. J. dan Seader J. D. 1981. "Equilibrium-Stage Separation Operation in Chemical Engineering". John Wiley & Sons, Inc. Kanada.
3. Kiss, A. A. dan R. M. Ignat. 2012. "Innovative Single Step Bioethanol Dehydration in An Extractive Dividing-Wall Column". Separation and Purification Technology 98 Journal, 2012, 290-297.
4. Maiorella, B.I., 1983. *Ethanol industrial chemicals*. Biochem. Fuels, 861-914.
5. Prihandana dan Rama, 2008. "Bioetanol Ubi Kayu Bahan Bakar Masa Depan". Agromedia Pustaka. Jakarta.

6. Purba, E. 2009. "*Hidrolisis Pati Ubi Kayu (Manihot Esculenta) dan Pati Ubi Jalar (Ipomoea batatas) menjadi Glukosa secara Cold Process dengan Acid Fungal Amilase dan Glukoamilase*". Universitas Lampung, Lampung.
7. Seider, W.D., Lewin, D.R., 1999, "Process design Principles", John Wiley & Sons, New York.
8. Sukumaran, R.K. 2008. "*Cellulase Production Using Biomassa Feed Stock and Its Application in Lignocellulosa Saccharification for Bioethanol Production*". Renewable Energy, Vol. 30, hal.1-4.
9. Suyandra dan Isradharma, 2007. "*Pemanfaatan Hidrolisat Pati Sagu (Metroxylon sp.) sebagai Sumber Karbon pada Fermentasi Etanol oleh Saccharomyces cerevisiae*". Departemen Teknologi Industri Pertanian Institut Pertanian Bogor.
10. Trifosa, D. 2007. "*Konversi Pati Jagung Menjadi Bioetanol*". Skripsi Program Studi Kimia FMIPA ITB. Bandung.
11. Umbreit, Wayne W. 1959. "*Advances in Applied Microbiology*". Vol. 1. Rutgers University New Jersey.