

## PEMANFAATAN LIMBAH PABRIK BREM SEBAGAI BAHAN BAKU BIOETANOL UNTUK BAHAN BAKAR ALTERNATIF

**Ratih Purwasih**

S1 Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
E-mail: ratihpurwasih@mhs.unesa.ac.id

**Dwi Heru Sutjahjo**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
E-mail: dwiheru@unesa.ac.id

### Abstrak

Pemanfaatan energi alternatif sebagai bahan bakar pengganti minyak masih sangat rendah apabila dibandingkan dengan bahan bakar fosil yang terus meningkat. Dengan meningkatnya pemakaian bahan bakar fosil maka ketersediaan bahan bakar fosil semakin berkurang, untuk mengatasi hal tersebut diperlukan suatu bahan bakar alternatif. Bahan bakar alternatif tersebut salah satunya adalah berasal dari limbah brem. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi bioetanol yang berasal dari limbah brem. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan berat limbah brem 250 gram, volume air (1000, 1250, 1500, 1750 ml), berat ragi (6,8,10,12 gr) dan waktu fermentasi (3,4,5,6 hari) sehingga diperoleh perbandingan yang menghasilkan kadar bioetanol optimal kemudian dilakukan pembuatan skala besar. Proses ini terdiri dari tiga tahapan, yaitu tahap sakarifikasi, tahap fermentasi dengan *saccharomyces cerevisiae* dan tahap distilasi dengan suhu 78°C. Setelah diperoleh kadar 96%, dilakukan pengujian karakteristik sesuai Surat Keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi Nomor 23204.K/10/DJM.S/2008. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbandingan terbaik yaitu volume air 6000 ml, berat ragi 40 gram dan waktu fermentasi 5 hari dengan kadar bioetanol 23%. Selanjutnya dilakukan 5 kali distilasi untuk mencapai kadar 96%. Hasil pengujian karakteristik bioetanol limbah brem yaitu kadar bioetanol 96%, kadar metanol 11,47%-v, kadar air 0,1186 %-v, kadar tembaga 0,0067mg/kg, keasaman sebagai asam asetat 40 mg/L, tampilan jernih, terang, tidak ada endapan, kadar ion klorida 5,93 mg/L, kandungan belerang 0,053 mg/L, kadar getah 0,2 mg/100 ml, nilai kalor 5922 kkal/kg, titik nyala 30°C, titik beku -50°C, densitas 0,812 gr/cm<sup>3</sup>, viskositas 3,30 cPs dan pH 7,15. Terdapat 1 karakteristik yang melebihi standar yang ditentukan oleh Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi 23204.K/10/DJM.S/2008 yaitu kadar keasaman sebagai asam asetat.

**Kata Kunci:** Bioetanol, *saccharomyces cerevisiae*, sakarifikasi, fermentasi, distilasi.

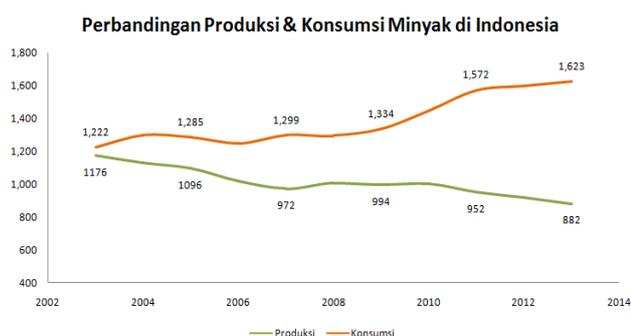
### Abstract

Utilization of alternative energy as a substitute fuel oil is still very low when compared with fossil fuels are increasing. With the increasing use of fossil fuels the availability of fossil fuels is diminishing, to overcome this an alternative fuel is needed. Alternative fuel is one of them is derived from brem waste. This study aims to characterize bioethanol derived from brem waste. This research uses quantitative descriptive method with 250 gram brem waste weight, water volume (1000, 1250, 1500, 1750 ml) yeast weight (6,8,10,12 gr) and fermentation time (3,4,5,6 day) So obtained the comparison that produces the highest levels then made large-scale manufacturing. This process consists of three stages, the saccharification stage, the fermentation stage with *saccharomyces cerevisiae* and the distillation stage with a temperature of 78°C. After obtaining 95% content, characteristic test is done according to Decree of Director General of Oil and Gas Number 23204.K / 10 / DJM.S / 2008. The results showed that the best ratio was water volume 6000 ml, yeast weight 40 gram and fermentation time 5 days with 23% bioethanol content. Furthermore, 5 times distillation to reach levels of 96%. The results of examination of bioethanol characteristics of brem waste are 96% bioethanol content, methanol content 11,47% -v, water content 0,1186% -v, copper content 0,0067mg / kg, acidity as acetic acid 40 mg / L, clear appearance, Light, no sediment, chloride ion contents 5.93 mg / L, sulfur content 0,053 mg / L, gum content of 0.2 mg / 100ml, heating value 5922 kcal / kg, flash point 30 ° C, freezing point 50 ° C, density 0,812 gr / cm<sup>3</sup>, viscosity 3,30 cPs and pH 7,15. There are several characteristics that exceed the standards specified by Director General of Oil and Gas 23204.K / 10 / DJM.S / 2008 ie acidity as acetic acid.

**Keywords:** Bioethanol, *saccharomyces cerevisiae*, saccharification, fermentation, distillation.

## PENDAHULUAN

Sumber energi fosil merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable energy*) atau tidak dapat diperoleh kembali setelah digunakan, maka diperkirakan beberapa tahun ke depan ketersediaan sumber energi tersebut akan habis di alam. Menurut perkiraan, batubara akan habis 50 tahun lagi, gas alam 30 tahun lagi dan minyak bumi 11 tahun lagi. Terbatasnya alat pemenuh kebutuhan manusia dalam hal ini adalah sumber energi fosil sedangkan kebutuhan manusia itu sendiri banyak dan harus terpenuhi.



Berdasarkan gambar 1.1 dapat diambil kesimpulan, bahwa kebutuhan minyak bumi di Indonesia sangat tinggi dan tidak seimbang dengan produksi yang dihasilkan, hal ini memicu eksploitasi di lahan-lahan baru dan pada akhirnya mempengaruhi langsung pada ketersediaan minyak bumi di Indonesia. Oleh sebab itu diperlukan energi alternatif dengan memanfaatkan sumber daya alam. Bioetanol tidak saja menjadi alternatif yang sangat menarik untuk substitusi bensin, namun mampu juga menurunkan emisi CO<sub>2</sub>. Bioetanol bisa didapat dari tanaman seperti tebu, jagung, gandum, singkong, padi, lobak, gandum hitam.

Salah satu jenis limbah brem yang banyak dihasilkan di Caruban, dan sangat potensial untuk bahan dasar pembuatan bioetanol adalah limbah brem. Limbah ini sangat potensial, karena jumlah limbah yang dihasilkan dari pabrik brem sebanyak 50-100 kg per hari atau sekitar 1,5-3 ton per bulan dan di dalamnya masih mengandung gula pereduksi dalam jumlah yang cukup banyak. Selama ini limbah tersebut hanya dipakai sebagai ransum ternak atau dipakai untuk pupuk organik setelah dikomposkan. Karbohidrat yang terdapat pada limbah brem 14,7% dapat dijadikan sebagai bahan baku bioetanol.

**Tabel 2.2** Komposisi Kimia per 100 gram Limbah Brem

| Komposisi                         | Kandungan (gram) |
|-----------------------------------|------------------|
| Karbohidrat                       | 14,7%*           |
| Pati                              | 13,2%*           |
| Air                               | 16%**            |
| Total asam                        | 15%***           |
| Lemak                             | 0,11%***         |
| Protein                           | 9,5%***          |
| Karbondioksida (CO <sub>2</sub> ) | 19,5%***         |
| Padatan terlarut                  | 1,34%***         |
| Serat pangan                      | 10,6%***         |

Keterangan:

\* : Balai Riset dan Standarisasi Industri Surabaya

\*\* : Lab. Bahan Bakar dan Pelumas

\*\*\* : Winarto et al (1982)

Pada penelitian ini menggunakan limbah brem yang difermentasi pada kondisi anaerob. Menurut Fardiaz (1992), Proses fermentasi didefinisikan sebagai proses pemecahan karbohidrat dan asam amino secara *anaerobic* tanpa oksigen. Senyawa yang dipecah dalam proses fermentasi adalah karbohidrat sedangkan asam amino hanya difermentasi oleh beberapa jenis bakteri tertentu. Pada saat fermentasi dilakukan variasi waktu fermentasi, berat ragi serta volume air. Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Himawan Sugiarto (2016), pembuatan bioetanol dari limbah ledre dengan berat ragi 8 gram menghasilkan kadar bioetanol sebesar 42%.

Setelah difermentasi, cairan hasil fermentasi didistilasi untuk memisahkan air dan etanol yang tercampur. distilasi dilakukan untuk memisahkan alkohol dengan air dengan memperhitungkan perbedaan titik didih kedua bahan tersebut yang kemudian diembunkan kembali. Pada dasarnya adalah 78°C sedangkan air memiliki titik didih 100°C sehingga pada proses distilasi tersebut bioetanol akan terlebih dahulu menguap dibandingkan air dan kemudian bioetanol yang menguap tersebut dikondensasi dan ditampung ditempat yang disediakan.

Berat ragi ditentukan berdasarkan penelitian oleh Zainal Abidin (20016) pembuatan bioetanol dari limbah blotong ragi 10 gr. Waktu fermentasi ditetapkan 5 hari dan berat limbah 250 gr berdasarkan penelitian oleh Himawan Sugiarto 2016 yaitu pembuatan bioetanol dari limbah ledre.

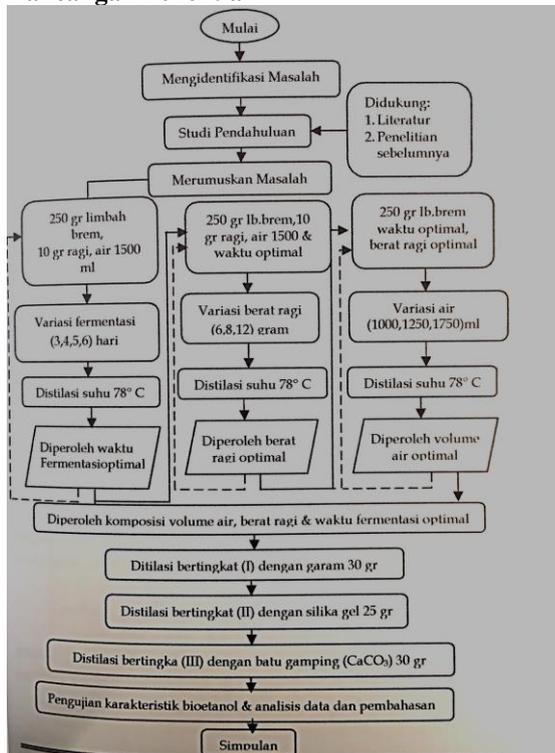
Penelitian jenis eksperimen ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan parameter terbaik pada variasi waktu fermentasi, berat ragi dan volume air serta pengujian karakteristik bioetanol limbah brem berdasarkan keputusan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi 23204.K/10/DJM.S/2008.

Hasil penelitian ini diharapkan bahwa limbah brem dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif pengganti

bahan bakar minyak serta dijadikan referensi dalam pengembangan tentang bahan bakar alternatif lebih lanjut.

## METODE PENELITIAN

### Rancangan Penelitian



Gambar 1. Rancangan Penelitian

### Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan Bakar dan Pelumas Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya. Sedangkan pengujian karakteristik bioetanol dilakukan di Laboratorium Unit Produksi Pelumas Pertamina Surabaya, Laboratorium Teknologi Air Kimia Industri Jurusan Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh November dan Balai Riset dan Standarisasi Industri Surabaya.

### Variabel Penelitian

- ❖ Variabel Bebas  
Variabel bebas dalam penelitian ini adalah volume air (1000 ml, 1250 ml, 1500 ml, 1750 ml), berat ragi (6 gram, 8 gram, 10 gram 12 gram) dan waktu fermentasi (3 hari, 4 hari, 5 hari, 6 hari).
- ❖ Variabel Terikat  
Variabel terikat dalam penelitian ini adalah perbandingan parameter terbaik pada tiap variasi dan karakteristik bioetanol yang diperoleh dari hasil pengujian yang meliputi kadar bioetanol, kadar metanol, kadar air, kadar tembaga, keasaman sebagai asam asetat, tampilkan, kadar ion klorida, kandungan

belerang dan kadar getah (dicuci), titik nyala, titik beku, nilai kalor, densitas, viskositas dan pH.

### ❖ Variabel Kontrol

Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah bakteri yang digunakan adalah ragi jenis *saccharomyces cerevisiae*, berat limbah brem 250 gram, suhu pada fermentasi 30° C dan suhu pada distilasi 78° C.

### Bahan, Alat dan Instrumen Penelitian

#### ➤ Bahan Penelitian

- Limbah brem



Gambar 2. Limbah Brem

- Ragi tape *saccharomyces cerevisiae*



Gambar 3. Ragi Tape Merk NKL (*Na Kok Liong*)

- Air
- Garam
- Silica gel
- Batu gamping

#### ➤ Alat Penelitian

- Jirigen sebagai tempat fermentasi
- Kompor listrik sebagai sumber pemanas distilasi
- Panci sebagai wadah mendidihkan limbah nasi.
- Corong untuk menuangkan cairan bioetanol ke dalam labu distilasi.
- Selang air untuk mengalirkan air dingin pada pipa luar kondensor sebagai media kondensasi.
- Pompa untuk memompa atau mensirkulasikan air dingin menuju *condensor liebig*
- Ember sebagai wadah air yang disirkulasikan pada kondensor dalam proses kodensasi.
- Botol untuk menampung cairan hasil fermentasi dan sebagai wadah penyimpanan hasil distilasi.
- Labu distilasi digunakan sebagai wadah cairan pada saat proses distilasi



**Gambar 4. Labu Distilasi Kapasitas 1 Liter**

- Kondensor digunakan untuk mengembunkan uap distilasi hingga menjadi cair.



**Gambar 5. Condensor Liebig**

- *Bend connector* digunakan sebagai alat bantu penghubung saluran uap bioetanol dari labu distilasi masuk ke kondensor.



**Gambar 6. Bend Connector**

- Labu erlenmeyer untuk menampung cairan hasil distilasi.



**Gambar 7. Labu Erlenmeyer**

- Rangkaian Alat Distilasi



**Gambar 8. Rangkaian Alat Distilasi**

Keterangan:

1. Labu Distilasi
2. Bend Connector
3. Selang *Out*
4. Kondensor
5. Statif dan Klem
6. Pompa Air
7. Selang *In*
8. *Bend Tube*
9. *Erlenmeyer*
10. Pemanas Listrik
11. *Thermocontrol*
12. *Thermocouple*
13. Ember

➤ Instrumen Penelitian

- Timbangan digital merk ACIS, kapasitas 5000 gr, ketelitian 0,01 gr.



**Gambar 9. Timbangan Digital**

- *Thermocontrol* untuk mengontrol suhu pada proses didilasi agar tetap terjaga 78° C. *Thermocontrol* tersebut disertai dengan *thermocouple* sebagai sensor pendeteksi suhu.



**Gambar 10. Thermocontrol**

- Gelas *Beaker* Merk Iwaki



**Gambar 11. Gelas Beaker 1000ml, 500ml, 200ml**

- Gelas Ukur Merk Iwaki



Gambar 12. Gelas Ukur 100 ml dan 250 ml

- Alkoholmeter untuk mengukur kadar boetanol.



Gambar 13. Alkoholmeter

- *Gas Chromatography* (ASTM D 5501) uji kadar metanol
- *Coulometric Karl Fischer Titration* (ASTM D 6304) uji kadar air
- *High Performance Liquid Chromatography* (ASTM D 7304) uji kadar denaturan
- *Atomic Absorption Spectrophotometry* (ASTM D 1688) uji kadar tembaga
- *Potentiometric Titration* (ASTM D 664) uji keasaman sebagai asam asetat
- Spektrofotometer (ASTM D 512) uji kadar ion klorida
- *Wave Length Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry* (ASTM D 2622) uji kadar belerang
- *Jet Evaporation* (ASTM D 381) uji kadar getah
- *Bomb Calorimeter* (ASTM D 240) uji nilai kalor
- *Open Cup Flash Point Tester* (ASTM D 93) uji titik nyala
- *Semi Automatic Pour Point* (ASTM D 97) uji titik beku
- Piknometer (ASTM D 1298) uji densitas
- Viskosimeter (ASTM D 445) uji viskositas
- pH meter (ASTM D 6423) uji pH

#### Prosedur Penelitian

##### ➤ Tahap Persiapan

- ✓ Mengumpulkan bahan baku seperti limbah brem, ragi tape dan air.

- ✓ Menyiapkan alat dan instrumen penelitian .
- ✓ Menimbang berat limbah brem dan ragi sesuai variasi.

##### ➤ Tahap Sakarifikasi

- ✓ Mengambil bahan baku limbah brem dari pabrik yang ada di Caruban.
- ✓ Memasukkan limbah brem sebanyak 250 gr dan air sebanyak 1500 ml ke dalam panci bervolume 4 liter kemudian dididihkan.
- ✓ Setelah mendidih limbah dipindahkan ke ember plastik hingga dingin kemudian dihaluskan menggunakan *blender*.

##### ➤ Tahap Fermentasi

- ✓ Menyiapkan jirigen untuk proses fermentasi
- ✓ Memasukkan limbah brem (tahap no 1) dalam jirigen dengan penambahan ragi 10 gr, dalam waktu 3 hari dengan volume air 1500ml.
- ✓ Hal yang sama dilakukan untuk 4hari, 5 hari, 6 hari. Setelah fermentasi jatuh tempo cairan limbah brem hasil fermentasi disaring untuk memisahkan ampas dengan cairannya, kemudian cairannya dilakukan proses distilasi.

##### ➤ Tahap Distilasi

- ✓ Menyiapkan labu distilasi berkapasitas 1000 ml dan hasilnya ditampung dalam *erlenmeyer* berkapasitas 250 ml.
- ✓ Memasang *condensor liebig*, selang *in* dan *out* serta *bend connector* dengan *grease* dan isolasi supaya tidak ada udara yang masuk.
- ✓ Memasukkan cairan hasil fermentasi ke dalam tabung distilasi.
- ✓ Mengatur suhu 78°C pada *thermocontrol* sesuai titik didih bioetanol.
- ✓ Setelah didapatkan hasil distilasi 60-70 ml baru bisa dilakukan pengukuran kadar bioetanol menggunakan alkoholmeter.
- ✓ Langkah selanjutnya yaitu melakukan distilasi besar dengan mengumpulkan hasil distilasi kecil yang sudah dilakukan sebelumnya sehingga diperoleh cairan sekitar 4 liter yang kadarnya 20-30%, kemudian dilanjutkan pada distilasi untuk memperoleh kadar bioetanol diatas 50% dan dilakukan penambahan *silica gel* di ujung labu distilasi serta penambahan garam dicampurkan pada cairan yang akan didistilasi sehingga diperoleh kadar bioetanol  $\leq 95\%$

✓

### Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan teknik eksperimen dengan melakukan percobaan terhadap objek yang akan diteliti kemudian dilakukan pengujian sehingga diperoleh data-data yang diperlukan. Data yang diperlukan yaitu perbandingan komposisi volume air, berat ragi dan lama waktu fermentasi sesuai pembuatan bioetanol dari limbah brem agar mencapai kadar bioetanol yang optimal. Selain itu data pengujian lain yang diperlukan adalah karakteristik bioetanol seperti kadar bioetanol, kadar metanol, kadar air, kadar denaturan, kadar tembaga, keasaman sebagai asam asetat, tannin, kadar ion klorida, kandungan belerang, kadar getah (dicuci), nilai kalor, titik nyala, titik beku, densitas, viskositas dan pH.

### Teknik Analisa Data

Teknik analisis data yang digunakan untuk menganalisis data pada penelitian ini adalah metode deskriptif kuantitatif yaitu berdasarkan pengumpulan data atau informasi dari setiap perubahan yang terjadi saat eksperimen secara langsung. Dari data tersebut akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik dengan disertai penjelasan secara distributif.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Penelitian

- ❖ Perbandingan Waktu Fermentasi, Berat Ragi dan Volume air

- Waktu Fermentasi

Hasil penelitian tahap pertama adalah mencari parameter waktu fermentasi dengan dilakukan variasi 3 hari, 4 hari, 5 hari, 6 hari serta berat ragi 10 gram dan volume air 1500 ml

**Tabel 3.** Kadar Bioetanol pada Variasi Volume Air

| Limbah brem   | Air            | Ragi         | Waktu Fermentasi | Kadar      |
|---------------|----------------|--------------|------------------|------------|
| 250 gr        | 1500 ml        | 10 gr        | 3 hari           | 14%        |
| 250 gr        | 1500 ml        | 10 gr        | 4 hari           | 22%        |
| <b>250 gr</b> | <b>1500 ml</b> | <b>10 gr</b> | <b>5 hari</b>    | <b>23%</b> |
| 250 gr        | 1500 ml        | 10 gr        | 6 hari           | 20%        |

Data tersebut dapat dibuat grafik seperti berikut:



**Gambar 14.** Grafik Kadar Bioetanol Berdasarkan Waktu Fermentasi

Dari data tersebut, maka perbandingan 250 gr limbah brem, ragi 10 gr, waktu fermentasi 5 hari dan volume air 1500 ml menghasilkan bioetanol dengan kadar optimal 23%.

- Berat Ragi

Hasil penelitian tahap kedua adalah mencari parameter berat ragi optimal dengan dilakukan variasi 6 gram, 8 gram, 12 gram serta volume air 1500 dengan variasi waktu yang optimal sesuai penelitian tahap pertama.

**Tabel 4.** Kadar Bioetanol Berdasarkan Variasi Berat Ragi

| Limbah Brem   | Air            | Ragi         | Waktu Fermentasi | Kadar      |
|---------------|----------------|--------------|------------------|------------|
| 250 gr        | 1500 ml        | 6 gr         | 5 hari           | 20%        |
| 250 gr        | 1500 ml        | 8 gr         | 5 hari           | 22%        |
| <b>250 gr</b> | <b>1500 ml</b> | <b>10 gr</b> | <b>5 hari</b>    | <b>23%</b> |
| 250 gr        | 1500 ml        | 12 gr        | 5 hari           | 22%        |

Data tersebut dapat dibuat grafik seperti berikut:



**Gambar 15.** Grafik Kadar Bioetanol Berdasarkan Variasi Berat Ragi

Dari data tersebut, maka perbandingan 250 gr limbah brem dengan waktu fermentasi 5 hari, volume air 1500 ml dan berat ragi 10 gr menghasilkan bioetanol dengan kadar optimal 23%.

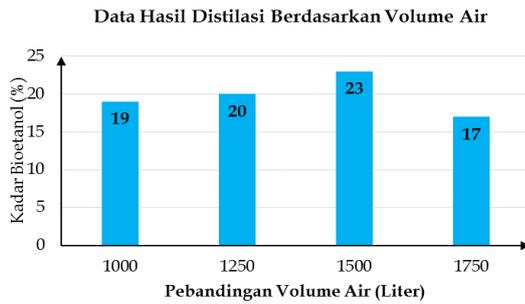
- Volume Air

Hasil penelitian tahap ketiga adalah mencari parameter Volume air dengan dilakukan variasi 1000 ml, 1200 ml, 1750 ml serta waktu fermentasi dan berat ragi yang digunakan yaitu sesuai data yang diperoleh dari penelitian tahap pertama dan kedua.

**Tabel 5.** Kadar Bioetanol Berdasarkan Variasi Volume Air

| Limbah Brem   | Air            | Ragi         | Waktu Fermentasi | Kadar      |
|---------------|----------------|--------------|------------------|------------|
| 250 gr        | 1000 ml        | 10 gr        | 5 hari           | 19%        |
| 250 gr        | 1200 ml        | 10 gr        | 5 hari           | 20%        |
| <b>250 gr</b> | <b>1500 ml</b> | <b>10 gr</b> | <b>5 hari</b>    | <b>23%</b> |
| 250 gr        | 1750ml         | 10 gr        | 5 hari           | 17%        |

Data tersebut dapat dibuat grafik seperti berikut:



**Gambar 16. Grafik Kadar Bioetanol Berdasarkan Variasi Volume Air**

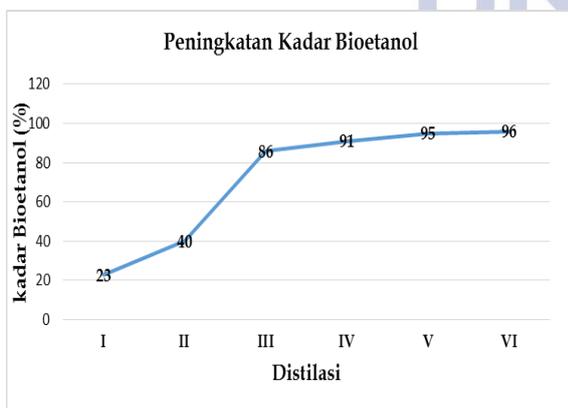
Dari data tersebut, maka perbandingan 250 gr limbah brem, waktu fermentasi 5 hari, berat ragi 10 gr, volume air 1500 ml menghasilkan bioetanol dengan kadar optimal 23%.

➤ Pembuatan Bioetanol Skala Besar

Dalam pembuatan skala besar digunakan 100 gr limbah brem, 6000 ml air, 40 gr ragi, fermentasi selama 5 hari menghasilkan 1200 ml bioetanol dengan kadar 23%. Alat yang digunakan yaitu alat distilasi kapasitas 5L. Untuk menaikkan kadar bioetanol tersebut menjadi kadar >95%, dibutuhkan 6 kali distilasi dengan penambahan *silica gel*, batu kapur dan garam pada proses distilasi selanjutnya. Berikut adalah tabel dan grafik persentase kenaikan kadar bioetanol hasil distilasi bertingkat:

**Tabel 6. Kenaikan Kadar Bioetanol Hasil Distilasi Bertingkat**

| No | Distilasi ke- | Jumlah Bioetanol | Kadar Bioetanol |
|----|---------------|------------------|-----------------|
| 1. | I             | 1200ml           | 23%             |
| 2. | II            | 690 ml           | 40%             |
| 3. | III           | 320 ml           | 86%             |
| 4. | IV            | 302 ml           | 91%             |
| 5. | V             | 289 ml           | 95%             |
| 6. | VI            | 285 ml           | 96%             |



**Gambar 17. Grafik Kenaikan Kadar Bioetanol Hasil Distilasi Bertingkat**

Dari data pada tabel dan grafik di atas, dapat diketahui bahwa dalam satu kali produksi bioetanol berkapasitas 5 liter dapat menghasilkan 285 ml dengan kadar 96%.

Sehingga dalam 1 kg limbah brem dapat menghasilkan bioetanol kadar 96% sebanyak kurang lebih 285 ml berdasarkan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} \text{Limbah brem } 1000\text{gr gram} &= 285 \text{ ml} \\ \text{Limbah brem } 1000 \text{ gram} &= \dots \text{ ml} \\ 1000 \text{ gram} \times \dots \text{ ml} &= 1000 \text{ gram} \times 285 \text{ ml} \\ X \text{ ml} &= \frac{1000 \text{ gram} \times 285 \text{ ml}}{1000 \text{ gram}} \\ &= 285 \text{ ml} \end{aligned}$$

Dari perhitungan tersebut juga dapat diketahui bahwa untuk memperoleh bioetanol dengan kadar 96% sebanyak 1 liter maka dibutuhkan sekitar kurang lebih 5 kali proses distilasi skala besar.

➤ Karakteristik Bioetanol Limbah Brem

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik bioetanol limbah brem, dapat diperoleh data dalam tabel berikut:

**Tabel 7. Perbandingan Karakteristik Bioetanol Limbah Brem dengan Standar Baku Mutu Bioetanol**

| No | Karakteristik                       | Standar  | Bioetanol Brem                 |
|----|-------------------------------------|--|--------------------------------|
| 1  | Kadar Bioetanol (%-v)               | 99,5 (sebelum denaturasi)<br>94,0 (setelah denaturasi) ♦ | 96%                            |
| 2  | Kadar Metanol (%-v)                 | 11,47****  | 11,47****                      |
| 3  | Kadar Air (%-v)                     | 0,1186 **  | 0,1186 **                      |
| 4  | Kadar Tembaga (mg/kg)               | <0,0067****  | <0,0067****                    |
| 5  | Keasaman sebagai Asam Asetat (mg/L) | 40 **  | 40 **                          |
| 6  | Tampakan                            | Jernih, terang, tidak kotor **                           | Jernih, terang, tidak kotor ** |
| 7  | Kadar Ion Klorida (mg/L)            | max 20♥  | 5,93 ****                      |
| 8  | Kadar Belerang (mg/L)               | max 50♥  | 0,053 **                       |
| 9  | Kadar Getah (mg/100 ml,)            | max 5,0♥   | 0,2 **                         |
| 10 | Nilai Kalor (kkal/kg)               | 6380 #   | 5922 ***                       |
| 11 | Titik Nyala (°C)                    | 12 *   | 30 ****                        |
| 12 | Titik Beku (°C)                     | -17,2 #  | -50 ° **                       |
| 13 | Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )      | 0,789 ^  | 0,812 *                        |
| 14 | Viskositas (cPs)                    | 1,17*  | 3,30 ****                      |
| 15 | pH                                  | 6,5-9♥   | 7,15                           |

Keterangan:

- \* dilakukan di laboratorium bahan bakar dan pelumas UNESA
- \*\* dilakukan di laboratorium UPPS PT.Pertamina
- \*\*\* dilakukan di laboratorium TAKI-ITS
- \*\*\*\* dilakukan di laboratorium Balai Riset dan Standarisasi Industri

- # A. Hardjono, 2001
- ♠ George Gramer Brown, 1973
- ♣ Physical & Theoretical Chemistry Lab. Safety Home

### Pembahasan Hasil Penelitian

#### ❖ Perbandingan Wajtu Fermentasi, Berat Ragi dan Volume Air

Berdasarkan data pada tabel 3 waktu fermentasi yang optimal adalah 5 hari. Pada saat durasi 3 hari maka proses fermentasi belum sempurna karena mikro organisme pada ragi belum selesai merubah glukosa pada limbah brem, dengan bertambahnya hari maka pada hari ke 5 mikro organisme sudah selesai mengurai glukosa menjadi alkohol secara optimal, bisa dilihat pada hari ke 6 kadar alkohol turun di karenakan mikro organisme sudah mulai mati dan merubah alkohol menjadi asam cuka.

Dari hasil proses distilasi pada tabel 4, dapat disimpulkan bahwa berat ragi paling optimal adalah 9 gr di antara variasi 5 gr, 7 gr, 9 gr dan 11 gr. Hal tersebut dikarenakan apabila ragi yang digunakan terlalu banyak menyebabkan kadar glukosanya rusak sehingga kadar alkohol akan menurun. Begitu pun sebaliknya, apabila penambahan ragi terlalu sedikit akan menghasilkan bioetanol dengan kadar yang kurang maksimal.

Berdasarkan data pada tabel 5, volume air yang optimal adalah sebanyak 1500 ml air. Pada penambahan air 1000 ml, mikro organisme tidak bisa merubah glukose menjadi alkohol dengan maksimal, karena konsentrasi bahan baku yang masih kental akan mengurangi respon mikro organisme untuk merubah glukose. Namun pada penambahan air sebanyak 1750 ml, mikro organisme juga tidak bisa merubah glukose menjadi alkohol dengan maksimal karena konsentrasi bahan yang terlalu encer

#### ❖ Proses Distilasi

Pada penelitian ini dilakukan distilasi bertingkat 6 kali untuk mencapai kadar bioetanol 96%. Dalam kondisi ini antara bioetanol dengan air sulit dipisahkan karena kedua komponen berada pada kondisi azeotrop dimana kedua komponen tersebut (bioetanol dan air) titik didihnya berselisih dekat. Dari kondisi tersebut maka dilakukan pemisahan dua komponen melalui distilasi dengan penambahan garam pada cairan distilat. Garam berperan sebagai komponen yang akan menaikkan titik didih air karena garam mudah larut dalam air sehingga jarak titik didih antara bioetanol dengan air semakin berjauhan dan bioetanol dapat terpisah dari air. Garam yang ditambahkan yaitu sebesar 30% gram dari volume cairan yang didistilasi supaya etanol yang dihasilkan tidak mengandung klorida yang tinggi. Selain itu juga dilakukan penambahan media penyerap air seperti *silica gel*. *Silica gel* diletakkan pada ujung *condensor liebig*. *Silica gel* mampu menyerap air dalam bentuk uap

dikarenakan rongga-rongga pada *silica gel* mampu menangkap molekul air yang lebih besar dari pada molekul bioetanol.

Selanjutnya dilakukan penambahan batu kapur atau  $\text{CaCO}_3$  yang berfungsi untuk menaikkan kadar bioetanol >95% mendekati bioetanol murni. Sifat  $\text{CaCO}_3$  mampu menyerap air sehingga kadar bioetanol meningkat. Pada penelitian ini batu gamping dihaluskan kemudian diletakkan di ujung kondensor agar uap air diserap oleh batu gamping

#### ❖ Analisis Karakteristik Bioetanol Limbah Nasi Basi

##### • Kadar Bioetanol

Pengujian kadar bioetanol ini menggunakan *alcoholmeter*, kadar bioetanol limbah brem yaitu 96%. Hal ini disebabkan karena pada bioetanol limbah brem masih terdapat kandungan air dan kandungan – kandungan yang lain seperti metanol, tembaga dan ion klorida. Untuk menaikkan kadar bioetanol limbah brem menjadi bioetanol murni diperlukan proses dehidrasi yang sangat sulit yaitu proses dehidrasi *molecular sieve* karena proses ini dapat menghilangkan air hingga kadar bioetanol menjadi 99,5% dan dihasilkan bioetanol *absolute* (murni). Semakin tinggi kadar bioetanol yang dihasilkan maka semakin bagus karakteristik yang dihasilkan, dan semakin sedikit pula kadar air yang terdapat didalam cairan bioetanol tersebut.

##### • Kadar Metanol

Pengujian kadar metanol dilakukan di Balai Riset dan Standardisasi Industri Surabaya menggunakan instrumen *gas chromatograph* berdasarkan metode ASTM D 5501. Dari tabel 7 di atas, dapat diketahui bahwa hasil pengujian kadar metanol yaitu 11,47 %-v. Dibandingkan dengan standar baku mutu bioetanol, kadar metanol dari limbah brem ini lebih rendah sehingga beresiko kecil pada terjadinya korosi.

##### • Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan di Laboratorium Unit Produksi Pelumas Pertamina Surabaya menggunakan instrumen *Coulometric Fischer Titration* berdasarkan metode ASTM D 6304. Dari hasil pengujian diketahui bahwa kadar air pada bioetanol dari limbah nasi basi sebesar 0,1186 %-v, sedangkan standarnya maksimal 0,7 %-v. Hal ini menunjukkan bahwa bioetanol limbah brem memiliki kadar air yang lebih rendah dibandingkan dengan standar baku bioetanol. Hal ini terjadi karena dalam proses distilasi pertama sampai ke tujuh dilakukan dengan menggunakan suhu tetap 78 °C sampai mencapai kadar bioetanol 96%.

Semakin tinggi kadar bioetanol yang dihasilkan maka semakin rendah pula kadar air yang terdapat didalam bioetanol tersebut.

- Kadar Tembaga

Kadar tembaga dalam bioetanol muncul dari proses fermentasi sampai proses distilasi yang memakai unit berbahan logam, pada saat proses distilasi dengan suhu tinggi pori – pori logam akan membuka dan secara alami logam dengan ukuran sangat kecil bisa terlarut di dalam etanol itu sendiri. Dan pada produksi bioetanol dalam skala besar (industri) penggunaan logam tembaga sangat penting karena logam tembaga dapat menghilangkan bau tak sedap pada bioetanol. Pengujian ini menggunakan metode ASTM D 863 dilakukan di Balai Riset dan Standarisasi Industri Surabaya.

Pada tabel 7 diatas bisa dilihat bahwa kandungan tembaga sangat kecil sebesar <0.0067 mg/kg dibawah standart yang diberikan oleh Dirjen Migas. Apabila kandungan tembaga dalam bioetanol limbah brem ini tinggi maka dapat merusak dinding ruang bakar, karena tembaga akan menggores ruang bakar mengikuti gerakan piston.

- Keasaman sebagai Asam Asetat

TAN (*Total Acid Number*) adalah pengukuran keasaman yang ditentukan oleh jumlah kalium hidroksida (KOH) dalam mg yang dibutuhkan untuk menetralkan asam dalam satu gram minyak. Nilai TAN ini dibuat untuk mengukur potensi korosi minyak itu sendiri, biasanya korosi yang terjadi adalah korosi asam naftenat (NAC). Korosi ini menyerang alat – alat pendukung seperti pompa, pipa. Pengujian dilakukan di UPPS dengan menggunakan metode ASTM D 664 dengan sampel sebanyak 5 ml.

Dari tabel 7 diatas bisa dilihat bahwa nilai keasaman sebagai CH<sub>3</sub>COOH bioetanol limbah brem sebesar 40 mg/L dan standart yang diacu sebesar 30 mg/L, jadi dapat disimpulkan bahwa bioetanol limbah brem sangat beresiko terjadi korosi asam naftenat (NAC).

- Tampilan

Tampilan adalah pengujian yang sangat penting, karena dari tampilan bisa dilihat apakah ada kotoran dan endapan dari bahan bakar tersebut. Jika terdapat endapan maka bahan bakar itu memiliki kualitas yang kurang bagus terhadap sistem bahan bakar maupun sistem pembakaran. Kotoran akan menyumbat pada saluran bahan bakar maupun pada pompa bahan bakar, dan akan menjadi deposit apabila masuk kedalam ruang bakar dan ikut terbakar.

Uji tampilan dilakukan di UPPS pertama dengan metode visual (*direct*) dan hasil uji dari bioetanol limbah brem yaitu jernih dan terang, tidak ada kotoran dan endapan. Bisa disimpulkan bahwa bioetanol limbah brem ini sudah memenuhi standart baku mutu.

- Kadar Ion Klorida

Kadar ion klorida sangat mempengaruhi kualitas bahan bakar apalagi bahan bakar minyak, karena klorida bersifat sangat korosif dan dapat menurunkan performa mesin karena ion klorida akan masuk kedalam pori – pori logam dan ion klorida akan bereaksi dengan logam yang bisa menimbulkan produk korosi di ruang bakar maupun pada sistem bahan bakar. Maka dari itu semakin kecil kadar ion klorida pada bioetanol limbah brem maka kualitas bioetanol akan lebih bagus. Pengujian ini menggunakan metode EPA 325.1 dilakukan di Balai Riset dan Standarisasi Industri Surabaya.

Dari tabel 7 diatas dapat dilihat bahwa kadar ion klorida pada bioetanol limbah brem yaitu 5,93 mg/L. Hasil ini menunjukkan bahwa bioetanol limbah brem memiliki kualitas yang bagus karena sudah memenuhi standar baku bioetanol yang nilai maksimalnya adalah 40 mg/L.

- Kandungan Belerang

Sulfur merupakan unsur yang terkandung dalam suatu bahan bakar, apabila kandungan sulfur dalam bahan bakar tinggi maka akan terjadi kerusakan dikarenakan terbentuknya lapisan kerak pada ruang bakar, *intake manifold*, tangki bahan bakar, dan pipa pembuangan (knalpot).

Pada tabel 7 dapat di analisis bahwa nilai kadar belerang bioetanol limbah brem 0,053 mg/L, dan pada standart yang tertera 50 mg/L. Pengujian menggunakan metode ASTM D 4294 dengan sampel sebanyak 5 ml. dari hasil uji di Lab.

- Kadar Getah

Kadar getah (*gum*), adalah nilai kandungan getah yang terkandung dalam suatu bahan bakar yang mempunyai pengaruh pada pembakaran, pengaruhnya terhadap pembakaran adalah kandungan getah pada bahan bakar akan menjadi deposit dan menempel pada ruang bakar setelah terjadi pembakaran dan berakibat naiknya nilai kompresi pada ruang bakar

Pada tabel 7 menunjukkan kadar getah (*gum*), bioetanol limbah brem lebih rendah dari bioetanol murni yaitu 0,2 mg/100ml sedangkan untuk bioetanol murni 5,0 mg/100ml. Kadar getah tersebut masih dalam batas ambang standar baku mutu bioetanol yang ditentukan oleh Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi 23204.K/10/DJM.S/2008

- Nilai Kalor

Nilai kalor (*heating value*) adalah jumlah energi yang dilepaskan pada proses pembakaran persatuan volume atau persatuan massanya. *Heating value* bahan bakar menentukan jumlah konsumsi bahan bakar tiap satuan waktu. Semakin tinggi *heating value* bahan bakar menunjukkan bahan tersebut semakin sedikit pemakaian bahan bakar.

Pada tabel 7 menunjukkan bahwa *heating value* bioetanol limbah brem sebesar 5922 Kkal/Kg. Sedangkan untuk bioetanol murni sebesar 6380 Kcal/Kg. Dari sini dapat disimpulkan bahwa energi yang dihasilkan bioetanol dari limbah brem lebih rendah dari energi yang dihasilkan bioetanol murni. Dan juga semakin tinggi nilai kalori bahan bakar tersebut akan semakin sedikit pemakaian bahan bakar.

- Titik Nyala

Titik nyala (*flash point*) adalah temperatur terendah dari suatu bahan bakar untuk dapat diubah bentuk menjadi uap, dan akan menyala bila tersentuh api (menyala sekejap). Pada dasarnya pengujian *flash point* dimaksudkan untuk keamanan, untuk mengetahui sampai suhu berapa orang masih dapat bekerja dengan aman tanpa timbul bahaya kebakaran.

Pada tabel 7 menunjukkan *flash point* bioetanol limbah brem lebih rendah dari bioetanol murni yaitu 30 °C sedangkan untuk bioetanol murni 12°C. Hal ini membuktikan bahwa bioetanol limbah brem sulit terbakar dibandingkan bioetanol murni. Jadi dapat disimpulkan semakin rendah *flash point* suatu bahan bakar, maka bahan tersebut akan makin mudah terbakar, namun sebaliknya semakin tinggi *flash point* suatu bahan, maka bahan tersebut akan makin sulit terbakar.

- Titik Beku

Pengujian titik beku (*pour point*) dilakukan di Laboratorium Unit Produksi Pelumas Pertamina Surabaya dengan menggunakan *Semi Automatic Pour Point* berdasarkan metode ASTM D 97. Titik beku sering disebut juga dengan titik tuang. Titik beku menunjukkan suhu dimana bahan bakar masih dapat dipompa atau mengalir apabila didinginkan pada suhu tertentu.

Pengujian titik beku dilakukan dengan mendinginkan bioetanol sampai tidak dapat mengalir atau telah membeku. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai titik beku bioetanol limbah brem yaitu -50°C sehingga dapat digunakan pada daerah yang memiliki suhu dibawah 0°C.

- Viskositas

Viskositas merupakan ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan dalam fluida, semakin besar viskositas fluida, maka semakin sulit fluida untuk mengalir dan juga menunjukkan semakin sulit suatu benda bergerak dalam fluida. Cara mengukur viskositas dengan jalan menghitung lama waktu mengalirnya suatu minyak yang banyaknya telah ditentukan melalui lubang *viscometer*.

Pada tabel 7 *viskositas* limbah brem adalah 3,30 sedangkan bioetanol murni mempunyai viskositas 1,523 cSt. Hal tersebut dapat menunjukkan bahwa bioetanol limbah brem lebih kental dibandingkan dengan bioetanol murni.

- pH

Kadar pH atau tingkat asam atau basa suatu cairan yang berpengaruh terhadap kualitas maupun penggunaannya. Apabila suatu cairan condong terlalu asam kuat atau basa kuat maka bisa bersifat korosif, namun apabila cairan tersebut memiliki nilai pH disekitar 7 maka bisa disimpulkan lebih stabil atau lebih kecil beresiko korosif.

Dari tabel 7 diatas bisa dilihat bahwa nilai pH bioetanol limbah brem sebesar 7,15 sedangkan standart dari Dirjen Migas sekitar 6,5 – 9. Jadi dapat disimpulkan bahwa bioetanol limbah brem lebih kecil bersifat korosi.

- ❖ Perhitungan Ekonomis

- Biaya Bahan Baku

Dalam penelitian ini digunakan limbah brem. Untuk harga limbah brem gratis atau Rp. 0,-/kg.

- Biaya Proses Fermentasi

Dalam skala besar dibutuhkan limbah brem 1000 gram, air 6000 ml dan ragi 40 gram. Harga ragi dipasaran Rp. 7500 per bungkus dengan berat 75 gram sehingga ragi /gram Rp.100. Dalam pembuatan bioetanol skala besar dibutuhkan 40 gram ragi sehingga dapat diketahui biaya ragi Rp.4000. Untuk pembuatan bioetanol 1 liter dibutuhkan 4x pembuatan sehingga biaya fermentasi:  $4 \times \text{Rp.}4.000 = \text{Rp.}16.000,-$

- Biaya Proses Distilasi

Harga listrik per 1 Kwh adalah Rp. 845 sehingga dapat dihitung biaya listrik tiap 1 watt/jam adalah Rp. 0,845. Pada penelitian ini menggunakan dua kompor listrik 1200 watt untuk distilasi skala besar (Distilasi I) dengan kapasitas 5,5 liter dan kompor listrik 300 watt untuk distilasi kapasitas 1liter (Distilasi II-VI) sehingga dapat diketahui bahwa biaya listrik per jam kompor 1200 watt adalah Rp. 1.014 dan biaya listrik per jam kompor 300 watt adalah Rp. 253,5. Dalam pembuatan bioetanol satu kali skala besar dilakukan

distilasi bertingkat berulang kali sehingga biaya listrik keseluruhan dapat dihitung melalui tabel berikut:

**Tabel 8. Rincian Biaya Listrik**

| No    | Distilasi            | Waktu (jam) | Biaya (watt/jam)    |
|-------|----------------------|-------------|---------------------|
| 1.    | I Kompor 1200 w (4x) | 7           | 28.392              |
| 2.    | II Kompor 300 w      | 6           | 1.521               |
| 3.    | III Kompor 300 w     | 5           | 1.267,5             |
| 4.    | IV Kompor 300 w      | 4           | 1.014               |
| 5.    | V Kompor 300 w       | 2           | 507                 |
| 6.    | VI Kompor 300 w      | 1           | 253,5               |
| Total |                      |             | <b>Rp. 32.955,-</b> |

Jadi untuk menghasilkan bioetanol 1 liter dibutuhkan 4x pembuatan =  $285 \times 4 = 1140$  ml sehingga biaya listrik 4 x Rp. 32.955 = **Rp. 131.820**

Pada satu kali proses distilasi skala besar memerlukan 40 gram garam krosok, 25 gram *silica gel* dan 30 gram batu kapur sehingga biaya listrik dapat dihitung melalui tabel berikut:

| No    | Distilasi ke-                    | Jumlah (gram) | Total             |
|-------|----------------------------------|---------------|-------------------|
| 1.    | IV (Garam Rp. 5/gr)              | 30            | Rp. 150           |
| 2.    | V ( <i>Silica gel</i> Rp. 40/gr) | 25            | Rp. 1.000         |
| 3.    | VI (Batu kapur Rp. 1,25)         | 30            | Rp. 37,5          |
| Total |                                  |               | <b>Rp. 1187,5</b> |

- Transportasi

Untuk pengiriman limbah brem dengan berat 20 kg menggunakan transportasi bus khusus barang dengan biaya Rp. 18.000,-

**Tabel 9. Total Biaya Pembuatan Bioetanol Limbah brem**

| No.   | Proses                                | Biaya              |               |
|-------|---------------------------------------|--------------------|---------------|
| 1.    | Persiapan                             | Rp. 0              |               |
| 2.    | Fermentasi                            | Rp. 16.000         |               |
| 3.    | a. Distilasi                          | Rp. 154.570,-      |               |
|       | Listrik                               |                    | Rp. 131.820,- |
|       | Transportasi                          |                    | Rp. 18.000,-  |
|       | Garam, <i>Silica gel</i> , Batu kapur |                    | Rp. 4.750,-   |
| Total |                                       | <b>Rp. 170.570</b> |               |

Jadi harga bioetanol limbah pabrik brem kadar 96% adalah Rp. 170.570 per liter sehingga lebih mahal dibandingkan dengan harga di pasaran saat ini yang mencapai Rp. 55.000 (Sumber Jalan Tidar Toko Kimia).

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian, pengujian dan analisa yang telah dilakukan terhadap pembuatan bioetanol dari brem, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Untuk pembuatan bioetanol yang optimal yaitu waktu fermentasi 5 hari, ragi 10 gram dan volume air 1500 ml.
- Karakteristik dari bioetanol berbahan baku limbah brem sudah sesuai dengan Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi 23204.K/10/DJM.S/2008 namun ada 1 yang melebihi batas maksimal yaitu kandungan keasaman sebagai asam asetat yaitu 40 mg/L dikarenakan bahan baku limbah brem sebelumnya sudah melalui proses penambahan ragi.
- Secara perhitungan ekonomis, bioetanol limbah brem belum layak dijual di lapangan.
- Bioetanol yang dihasilkan dari 1 kg bahan baku limbah brem dengan air 6000 ml menghasilkan 285 ml dengan kadar 96%.

## SARAN

- Untuk menghasilkan bioetanol limbah brem yang berkualitas sebaiknya dalam proses fermentasi dan distilasi jangan sampai terjadi kebocoran dikarenakan jika terjadi kebocoran maka uap bioetanol akan keluar melewati celah-celah, biasanya kebocoran terjadi pada sambungan *bend* dengan labu dan *bend* dan *condenser liebig*.
- Supaya lebih efektif pembuatan bioetanol dari limbah brem untuk meningkatkan kualitas bioetanol sebaiknya menggunakan batu gamping ( $\text{CaCO}_3$ )
- Perlu dilakukan penimbangan berat awal batu kapur sebelum digunakan dan berat akhir sesudah digunakan supaya dapat diketahui kadar air yang tertangkap oleh batu kapur.
- Sebelum dilakukan pemurnian menggunakan batu gamping terlebih dahulu dilakukan aktivasi batu gamping.
- Penambahan garam jangan terlalu banyak, karena akan mempengaruhi kadar ion klorida. Semakin banyak garam yang ditambahkan maka semakin besar pula kadar ion klorida ( $\text{Cl}^-$ ).
- Bioetanol limbah brem tidak ekonomis dikarenakan biaya listrik yang begitu mahal, untuk mengantisipasi biaya yang begitu mahal bisa diganti menggunakan kompor LPG.
- Untuk meminimalisir transportasi sebaiknya untuk produksi bioetanol limbah brem sebaiknya jaraknya dekat dengan produksi brem sehingga tidak membutuhkan transportasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Zainal. 2013. *Proses Pembuatan Bioetanol dari Limbah Pabrik Gula (Blotong)*. Skripsi Program S1 Pendidikan Teknik Mesin Unesa. Skripsi tidak diterbitkan. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Astawan, M. 2004. *Tetap Sehat Dengan Produk Makanan Olahan*. Tiga Serangkai. Solo
- Brown, George Granger. 1973. *Unit Operations*. New York Tokyo: Modern Asia Edition.
- Damianus.2010.*Biofuel*.(Online) (<https://id.wikipedia.org/wiki/Alkohol>, diakses tanggal 16 Januari 2017).
- Direktorat Bioenergi Dirjen EBTk Kementerian ESDM, 2013. *Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Nabati (Biofuel) Jenis Bioetanol*. Jakarta: Direktorat Jendral EBTk.
- Direktorat Gizi (1981) Haryadi 2013. "*Singkong Melalui Fermentasi dengan Dosis Ragi yang Berbeda*". *Jurnal Penelitian Teknik Biologi UIN Raden Fatah Palembang*.
- Fardiaz, Srikandi. 1992. *Mikrobiologi Pangan I*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama
- Hardjono. A. 2001. *Teknologi Minyak Bumi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Haryadi, H. 2013. *Analisa Kadar Alkohol Hasil Fermentasi Ketan dengan Metode Kromatografi Gas dan Uji Aktifitas Saccharomyces Cerevisiae Secara Mikroskopis*. Universitas Diponegoro Semarang.
- Khairani. 2007. *Bioetanol*. (Online) (<http://fungsi.info/wp-content/upload/2013/02/pengertianetanol-manfaat-danfungsinya.jpg>, diakses tanggal 15 Januari 2017).
- Muhidin. 2001. "*Singkong Melalui Fermentasi dengan Dosis Ragi yang Berbeda*". *Jurnal Penelitian Teknik Kimia*.
- Perry, Robert H. 1984. *Perry's Chemical Engineers Handbook*. Singapura: McGraw-Hill.
- Prihandana dkk. 2007. "*Fermentasi Ubi Kayu (Manihot esculenta Crantz) dan Ubi Jalar (Ipomea batatas L. Sin)*". UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Rahmawati, A. 2010. *Pemanfaatan Limbah Kulit Ubi Kayu (Manihot utilissima Pohl.) dan Kulit Nanas (Ananas comosus L.) pada Produksi Bioetanol*.
- Simbolon, K. 2008. *Pengaruh Persentase Ragi Tape dan Lama Fermentasi terhadap Mutu Tape Ubi Jalar*. Universitas Sumatera Utara.
- Sugiarto, Himawan. 2011. *Pemanfaatan Limbah Ledre Sebagai Bahan Bakar Alternatif Bioetanol*. Skripsi Programm S1 Pendidikan Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya.
- Sugiyono. 2010. *Statistika Untuk Penelitian*. Bandung: Alfabeta.
- Sutjahjo, Dwi Heru. 2007. *Diklat Kuliah Bahan Bakar dan Teknik Pembakaran*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- TIM Penyusun Buku Pedoman. 2014. *Panduan Penulisan Skripsi Program S1*. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin. Fakultas Teknik. Universitas Negeri Surabaya.
- Undang-Undang Lingkungan Hidup No. 32 Tahun 2009 tentang Pencemaran Lingkungan.
- Widyaningrum 2009. *Pengaruh Bahan Penutup Terhadap Kadar Alkohol Pada Proses Fermentasi Ubi Kayu*. UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
- Wikipedia Indonesia 2016. *Biofuel*. (Online), (<https://id.wikipedia.org/wiki/Biofuel> diakses tanggal 16 Januari 2017).
- Wikipedia Indonesia 2016. *Silicagel*. (Online), ([http://id.wiki.pedia.org/wiki/gel\\_silica](http://id.wiki.pedia.org/wiki/gel_silica) diakses tanggal 16 Januari 2017).
- Wikipedia Indonesia 2016. *Zeolit*. (Online), (<http://id.wikipedia.org/wiki/Zeolit> diakses tanggal 4 Juli 2017).
- Winarno, F.G, 1982. *Kimia Pangan dan Gizi*. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.