

**PROSES DEHIDRASI BIOETANOL MENGGUNAKAN
ZEOLIT TERAKTIVASI NaOH DENGAN VARIASI
KONSENTRASI DAN BERAT ZEOLIT**

SKRIPSI

Oleh:
DAVID SAIDI
NIM. 09630041



**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
2014**

**PROSES DEHIDRASI BIOETANOL MENGGUNAKAN
ZEOLIT TERAKTIVASI NaOH DENGAN VARIASI
KONSENTRASI DAN BERAT ZEOLIT**

SKRIPSI

**Diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
DAVID SAIDI
NIM. 09630041**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN)
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
2014**

**PROSES DEHIDRASI BIOETANOL MENGGUNAKAN
ZEOLIT TERAKTIVASI NaOH DENGAN VARIASI
KONSENTRASI DAN BERAT ZEOLIT**

SKRIPSI

Oleh:
DAVID SAIDI
NIM. 09630041

Telah disetujui oleh:

Pembimbing Utama

Pembimbing Agama

Akyunul Jannah, S.Si, M.P
NIP. 19750410 200501 2 009

Dr.H. Munirul Abidin, M.Ag
NIP. 19722004 20012 0 003

Mengetahi,
Ketua Jurusan Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang

Elok Kamilah Hayati, M.Si
NIP. 19790620 200604 2 002

**PROSES DEHIDRASI BIOETANOL MENGGUNAKAN
ZEOLIT TERAKTIVASI NaOH DENGAN VARIASI
KONSENTRASI DAN BERAT ZEOLIT**

SKRIPSI

**Oleh:
DAVID SAIDI
NIM. 09630041**

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu
Persyaratan untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S. Si)
Tanggal: 07 April 2014

Susunan Dewan Penguji :	Tanda Tangan
1. Penguji Utama : Elok Kamilah Hayati, M.Si NIP. 19790620 200604 2 002	(.....)
2. Ketua Penguji : Nur Aini, M.Si NIPT. 2013 09022316	(.....)
3. Sekr. Penguji : Akyunul Jannah, S.Si, M.P NIP. 19750410 200501 2 009	(.....)
4. Anggota Penguji : Dr.H. Munirul Abidin, M.Ag NIP. 19722004 20012 0 003	(.....)

Mengesahkan
Ketua Jurusan Kimia
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang

Elok Kamilah Hayati, M.Si
NIP. 19790620 200604 2 002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : David Saidi
NIM : 09630041
Fakultas / Jurusan : Sains dan Teknologi / Kimia
Judul Penelitian : Proses Dehidrasi Bioetanol Menggunakan Zeolit
Teraktivasi NaOH Dengan Variasi Konsentrasi Dan Berat Zeolit

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 07 April 2014

Yang Membuat Pernyataan,

David Saidi
NIM. 09630041

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahil'alaamiin

Dengan senantiasa memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, ku persembahkan buah karya ini untuk:

Kelurga tercinta Ayah dan Ibunda engkaulah guru pertama dalam hidupku yang telah mengasuh, mendidik, membesarkan, menasehati, memotivasi, yang selalu ada disaat aku rapuh, yang rela berkorban dengan segenap jiwa dan raga demi kesuksesanku, yang senantiasa meneteskan air mata dalam heningnya malam dan setiap do'anya.

Dan juga adik-adik ku Upik dan Tris yang selalu membuatku ceria, mendengarkan ceritaku, peduli dan selalu memberiku semangat dalam setiap keresahanku.

Kepada guru sekaligus inspirator pak Lutfi Apal engkaulah pelita yang selalu menerangi jejak rekam langkah ini hingga berani melangkah di luar batas kemampuanku. Terima kasih karena telah mau membimbing dan berbagi pengalaman hidup denganku.

Kepada dosen-dosen pembimbingku bu Akyun dan bu Anik yang telah berkenan memberikan banyak pelajaran berharga, demi goresan tanda tangan kalian saya berjuang dan akhirnya bisa sampai pada titik ini. Tidak lupa terima kasih juga kepada dosen waliku bu Elok yang selalu memberikan masukan baik berupa saran dan kritik dalam pengembangan akademik ku.

Kepada teman-teman (Farid, Maksum, Dita, Hesti, Luul, mas hendi, mbak Zahra, mbak Dinar, Riski, Rofiq) dan semua pihak yang telah saling memotivasi hingga bisa menyelesaikan skripsi ini.

MOTTO

Berjalanlah dengan menggunakan filosofi hidup semut.

Biarpun pelan tapi selalu punya tujuan yang pasti

(David Saidi)

Niat adalah awal

Melangkah adalah proses

Kecewa adalah pelajaran

Bahagia adalah hadiah

Dan akhirnya bersyukur, agar nikmat-Nya di tambah.

(Hikmah Penelitian)

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat serta hidayah-Nya, dan hanya dengan ridho-Nya semata penulis dapat menyelesaikan proposal penelitian ini dengan judul : **“Proses Dehidrasi Bioetanol Menggunakan Zeolit Teraktivasi NaOH Dengan Variasi Konsentrasi Dan Berat Zeolit”**. Pada kesempatan ini penulis ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan proposal penelitian ini, khususnya kepada:

1. Kedua orang tua dan adik-adik tercinta yang telah banyak memberikan nasihat, doa, dan dukungan baik moril maupun materil sehingga penyusunan skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang Bapak Prof. H. Mudjia Raharjo, M.SI.
3. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Ibrahim Malang Ibu Dr. Drh. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si.
4. Ketua jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang Ibu Elok Kamilah Hayati, M.Si.
5. Para dosen pembimbing Ibu Akyunul Jannah, S.Si, M.P, Ibu Anik Maunatin, S.T, M.P dan Bapak Munirul Abidin, M.Ag, karena atas bimbingan,

pengarahan, kesabaran dan motivasinya penyusunan skripsi dapat diselesaikan.

6. Dosen Penguji Ibu Elok Kamilah Hayati yang juga sebagai dosen wali dan juga bu Nur Aini, M.Si, atas masukan dan sarannya skripsi ini bisa menjadi lebih baik.
7. Teman-teman angkatan 2009 yang telah saling memotivasi sehingga mempercepat penyelesaian skripsi.
8. Segenap laboran dan staf administrasi kimia yang telah banyak membantu dalam penelitian.
9. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menambah khasanah ilmu pengetahuan.

Malang, 07 April 2014

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan.....	iii
Halaman Pernyataan	iv
Halaman Persembahan.....	v
Halaman Motto	vi
Kata Pengantar	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Lampiran	xiii
Abstrak.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan	8
1.4 Batasan Masalah.....	9
1.5 Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
2.1 Bioetanol	10
2.2 Proses Fermentasi Molase.....	15
2.2.1 Sampel Molase	15
2.2.2 Khamir <i>Saccaromyces cereviceae</i>	16
2.2.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Aktivitas Fermentasi	16
2.2 Pemurnian Etanol	19
2.3.1 Destilasi.....	21
2.3.2 Dehidrasi Etanol.....	23
2.3.3 Dehidrasi Etanol Menggunakan Zeolit Alam dan Zeolit Sintetis	30
2.3.3.1 Modifikasi Rasio Si/Al.....	33
2.3.3.2 Aktivasi Zeolit.....	35
2.3.3.2.1 Aktivasi Fisika	38
2.3.3.2.2 Aktivasi Kimia	38
2.4 Analisis Kadar Etanol Dengan Metode Kromatografi Gas.....	42
2.5 Perpektif Islam Tentang Pemanfaatan Sumber Daya Molase dan Zeolit	46
BAB III METODOLOGI	52
3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian	52
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	52
3.2.1 Alat Penelitian	52
3.2.2 Bahan Penelitian.....	53
3.3 Rancangan Penelitian	53
3.4 Tahapan Penelitian	56

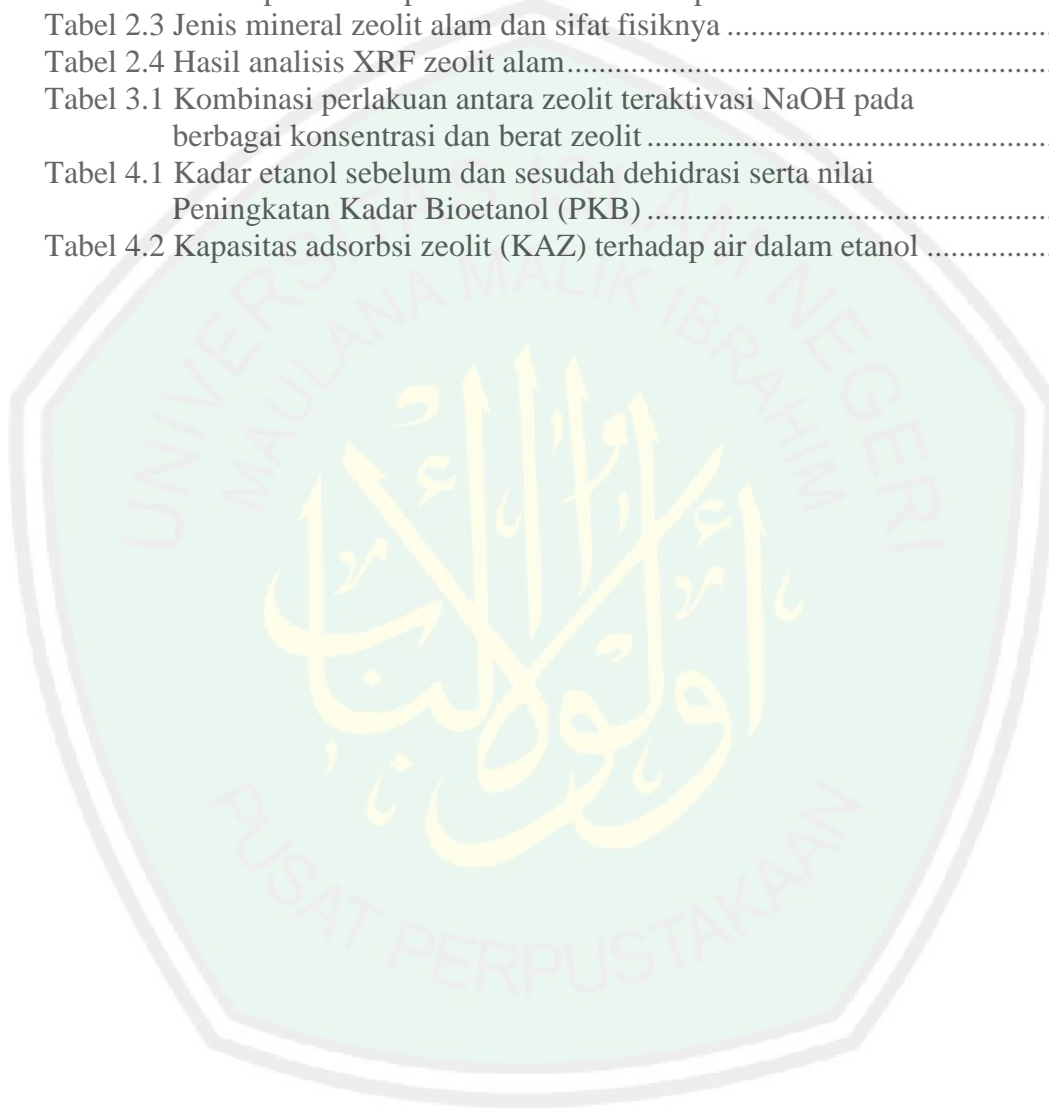
3.5 Cara Kerja	56
3.5.1 Pembuatan Zeolit Teraktivasi NaOH	56
3.5.1.1 Preparasi	56
3.5.1.2 Aktivasi Zeolit dengan NaOH	57
3.5.2 Pembuatan Media	57
3.5.2.1 Pembuatan Media YPGA	57
3.5.2.2 Pembuatan Media YPGB	58
3.5.3 Regenerasi <i>Saccharomyces cereviciae</i>	58
3.5.4 Pembuatan Inokulum	58
3.5.5 Preparasi Bahan Baku	59
3.5.5.1 Pembuatan Sampel Molase	59
3.5.5.2 Fermentasi Molase Untuk Menghasilkan Etanol	59
3.5.5.3 Destilasi Hasil Fermentasi Molase	59
3.5.6 Dehidrasi Etanol Menggunakan Zeolit Teraktivasi NaOH	60
3.5.7 Analisis Kadar Etanol dengan Metode Kromatografi Gas (KG)	60
3.5.7.1 Proses Persiapan Alat Kromatografi Gas (KG)	61
3.5.7.2 Analisis Kadar Bioetanol dengan Kromatografi Gas (KG)	61
3.5.7.2.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi	61
3.5.7.2.2 Analisis Kadar Bioetanol Metode Standar Internal	61
3.5.8 Analisis Data	62
BAB IV PEMBAHASAN.....	63
4.1 Pembuatan Zeolit Teraktivasi NaOH	63
4.1.1 Preparasi Sampel	63
4.1.2 Aktivasi Zeolit Alam dengan NaOH	64
4.2 Fermentasi Molase	66
4.3 Pemurnian Bioetanol Hasil Fermentasi	70
4.3.1 Metode Destilasi	70
4.3.2 Metode Dehidrasi Etanol Hasil Destilasi Menggunakan Zeolit Teraktivasi NaOH	71
4.3.2.1 Peningkatan Kadar Bioetanol	72
4.3.2.2 Kapasitas Adsorpsi Zeolit	75
4.4 Analisis Hasil Penelitian Dalam Perspektif Islam	79
BAB V PENUTUP.....	84
5.1 Kesimpulan	84
5.2 Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jalur perombakan glukosa menjadi etanol	12
Gambar 2.2 Konversi sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa oleh enzim invertase..	14
Gambar 2.3 Pembentukan bioetanol dari glukosa dan fruktosa oleh enzim zimase..	14
Gambar 2.4 Jalur glikolisis substrat karbohidrat	15
Gambar 2.5 Diagram kesetimbangan fase uap dari campuran etanol air.....	20
Gambar 2.6 Penggabungan Satuan SiO_4^{4-} dan AlO_4^{5-} (TO_4).....	36
Gambar 2.7 Unit penyusun zeolit.....	37
Gambar 2.8 Contoh struktur 3 dimensi zeolit alam	37
Gambar 2.9 Reaksi pertukaran ion pada proses aktivasi dengan asam.....	39
Gambar 2.10 Reaksi pertukaran ion pada proses aktivasi dengan basa.....	40
Gambar 2.11 Rangkaian alat kromatografi gas.....	43
Gambar 4.1 Dugaan reaksi pertukaran ion pada proses aktivasi dengan naoh	65
Gambar 4.2 Perbandingan zeolit sebelum dan sesudah diaktivasi.....	65
Gambar 4.3 Skema Embden Meyerhoff-Parnas Pathway	69
Gambar 4.4 Grafik kadar etanol setelah dehidrasi	72
Gambar 4.5 Grafik peningkatan kadar bietanol (PKB) hasil dehidrasi	73
Gambar 4.6 Grafik kapasitas adsorpsi zeolit terhadap air dalam etanol	76
Gambar 4.7 Interaksi ion Na^+ dengan molekul air	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat fisik dan kimia etanol	18
Tabel 2.2 Beberapa metode pemisahan untuk memperoleh etanol absolut	21
Tabel 2.3 Jenis mineral zeolit alam dan sifat fisiknya	34
Tabel 2.4 Hasil analisis XRF zeolit alam.....	34
Tabel 3.1 Kombinasi perlakuan antara zeolit teraktivasi NaOH pada berbagai konsentrasi dan berat zeolit	54
Tabel 4.1 Kadar etanol sebelum dan sesudah dehidrasi serta nilai Peningkatan Kadar Bioetanol (PKB)	72
Tabel 4.2 Kapasitas adsorpsi zeolit (KAZ) terhadap air dalam etanol	76



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Skema Kerja	93
Lampiran 2 Preparasi dan Perhitungan	97
Lampiran 3 Hasil Analisis Kromatografi Gas.....	105
Lampiran 4 Dokumentasi Penelitian.....	117



ABSTRAK

Saidi, D. 2014. **Proses Dehidrasi Bioetanol Menggunakan Zeolit Teraktivasi NaOH Dengan Variasi Konsentrasi Dan Berat Zeolit** . Skripsi. Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Maliki Ibrahim Malang. Pembimbing: Akyunul Jannah, S.Si, M.P, Anik Maunatin, S.T, M.P, dan Dr. Munirul Abidin , M.Ag.

Kata Kunci: Bioetanol, molase, dehidrasi, *molecular sieve*, konsentrasi NaOH, berat zeolit

Pemanfaatan molase yang merupakan bahan dasar pembuatan bioetanol menjadi salah satu upaya untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar serta mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang keberadaannya semakin langka. Fermentasi molase akan menghasilkan etanol dengan kemurnian rendah sehingga perlu ditingkatkan kemurniannya menggunakan metode dehidrasi dengan zeolit yang diaktivasi menggunakan NaOH dan pemberian sumber alumina berupa tawas. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui proses dehidrasi bioetanol menggunakan zeolit teraktivasi NaOH dengan variasi konsentrasi dan berat zeolit yang digunakan untuk memurnikan bioetanol.

Metode penelitian ini meliputi proses aktivasi zeolit, fermentasi, destilasi dan dehidrasi. Aktivasi zeolit alam dilakukan dengan memasukkan zeolit ukuran 120-150 mesh ke dalam beaker glass yang telah berisi NaOH serta pemberian tawas yang berlangsung pada suhu 80 °C selama 8 jam dan kalsinasi pada suhu 600 °C selama 2 jam. Proses fermentasi dilakukan dengan lama fermentasi 6 hari serta pH 5. Selanjutnya bioetanol dipisahkan dengan metode destilasi pada suhu 78,5 - 85 °C dan dilanjutkan dengan dehidrasi *molecular sieve* menggunakan zeolit teaktivasi NaOH dengan variasi konsentrasi NaOH 1,2,3 dan 4 M, sedangkan variasi berat zeolit 30, 40 dan 50 %. Kadar bioetanol diukur menggunakan metode kromatografi gas.

Kadar bioetanol hasil fermentasi adalah 29,8 %. Aplikasi zeolit hasil aktivasi pada proses dehidrasi bioetanol menunjukkan bahwa perlakuan A₂B₁ (konsentrasi NaOH 2 M dan berat 30 %) merupakan perlakuan terbaik dalam aktivitas pemurnian bioetanol dengan kadar sebesar 53,76 % dan nilai Peningkatan Kadar Bioetanol (PKB) 80,39 % serta Kapasitas Adsorpsi Zeolit (KAZ) 399,31 %.

ABSTRACT

Saidi, D. 2014. Bioethanol Dehydration Process Using Naoh-Activated Zeolite At Various Concentration and Zeolite Weight. Thesis. Chemistry Department, Faculty of Science and Technology, State Islamic University Maulana Malik Ibrahim of Malang. Advisor: Akyunul Jannah, S.Si, M.P, Anik Maunatin, S.T, M.P, and Dr. Munirul Abidin , M.Ag.

Keywords : bioethanol, molasses, dehydration, molecular sieve, concentration of NaOH, weight of zeolite.

Utilization of molasses as basic material for producing bioethanol becomes one of the promising efforts to fulfill the demand of fuel and diminish the dependence upon fossil fuel that its availability is increasingly rare. However, ethanol produced from fermentation of molasses has low purity. The purity could be increased by using dehydration method and zeolite activated by NaOH and alum as alumina source. The research is aimed to know the dehydration process of bioethanol use NaOH-activated zeolite at various concentration and zeolite weight on the purification of bioethanol.

In this research, the experiments could be categorized into 4 groups, they are activation of zeolite, fermentation, distillation, and dehydration process. Activation of natural zeolite performed by entering of sized 120-150 mesh zeolite powder was added to glass beaker that contains NaOH aqueous solution and followed by adding alum which took place at 80 °C for 8 hours and the final product calcinated at 600 °C for 2 hour. Fermentation process was managed for 6 days and pH 5. Furthermore, bioethanol was separated by distillation method at 78,5 - 85 °C and followed by *molecular sieve* dehydration using zeolite activated by NaOH solution in variation of zeolite weight (30, 40 and 50 %) and NaOH concentration (1, 2, 3 dan 4 M). The amount of bioethanol was measured by gas chromatography method.

Bioethanol concentration as fermentation product is 29,8 %. The result revealed that dehydration with 30% w.t zeolite activated by 2 M NaOH solution had the best activity in bioethanol purification with amount of bioethanol is 53,76 %, Increased Levels of Bioethanol (ILB) value is 80,39 % and Adsorption Capacity of Zeolite (ACZ) is 399,31 %.

مستخلص البحث

سائدي ، د. السعة 2014. عملية تجفيف الإيثانول عن ريق تنشيط الزيوليت هيدر و كسيد الصوم تركيز الاختلافات والثقيلة مع الزيوليت. البحث. قسم الكيمياء ، كلية العلوم و التكنولوجيا التابعة ، الجامعة الحكيمية الإسلامية مولانا مالك ابراهيم مالانج . المشرفة الاولى : اكونول جنة الماجستير ، المشرفة الثاني : أنيك ماوناتين الماجستير ، والمشرف الدكتور موميرول عابدين الماجستير

الكلمات الرئيسية : الإيثانول والديس و الجففة ، المنخل الجزيمي ، وتركيز هيدروكسيد الصوديوم ، وزن الزيوليت

الاستفادة من ديس السكر الذي هو صناعة الإيثانول ليكون واحدا من الجهود لتلبية احتياجاتها من الوقود وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري أصبحت أكثر ندرة وجودها. سوف تخمير المولاس انتاج الايثانول بدرجة نقاء المنخفضة التي تحتاج إلى تحسين نقاء باستخدام طريقة الجفاف باستخدام هيدروكسيد الصوديوم تنشيط الزيوليت و الألومينا مصادر مثل الإدارة الشب . كان الغرض من هذه الدراسة هو تحديد عملية تجفيف الإيثانول عن ريق تنشيط الزيوليت هيدر و كسيد الصوم تركيز الاختلافات والثقيلة مع الزيوليت

التشمل أساليب البحث الزيوليت عملية التنشيط ، التخمر والتقطير والجفاف. ويتم تفعيل الزيوليت الطبيعي عن طريق إدراج من 120-150 شبكة حجم الزيوليت في دورق زجاجي يحتوي من هيدروكسيد الصوديوم وقد تم اعطاء الشب و التي وقعت عند درجة حرارة 80 ° مئوية لمدة 8 ساعات و التكليس في درجة حرارة 600 ° مئوية لمدة 2 ساعة. تتم عملية التخمر مع التخمر ودرجة الحموضة طويلة 6 أيام و 5. وعلاوة على ذلك ، يتم فصل الإيثانول عن طريق وسيلة التقطير عند درجة حرارة 78,5 حتى 85 ° مئوية، تليها الجفاف باستخدام المنخل الجزيمي الزيوليت مع تركيز مختلفة من هيدروكسيد الصوديوم المنشط 1،2،3، و M 4 هيدروكسيد الصوديوم ، في حين أن الوزن الزيوليت التباين 30 و 40 و 50 % . تم قياس مستويات الإيثانول باستخدام أساليب اللوني للغاز.

وكانت مستويات من النتائج لتخزين الإيثانول 29,8. تبيق نتائج تفعيل الزيوليت في عملية الجفاف من الإيثانول A₂B₁ العلاج (تركيز M 2 هيدروكسيد الصوديوم و 30 % من حيث الوزن) هو أفضل علاج في تنقية الإيثانول مع مستويات النشاط من 53.76 % و بقيمة 80.39 % زيادة مستويات من الإيثانول و سعة الامتزاز من الزيوليت (كازاخستان) 399.31 % .


BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan bahan bakar minyak yang berasal dari fosil sudah diketahui dapat menimbulkan polusi rumah kaca terutama CO₂ sehingga dapat menyebabkan pemanasan global. Gas pembuangan tersebut juga dapat menyebabkan gangguan pernapasan, kanker bahkan kemandulan (Magdalena, 2007). Oleh karena itu sudah saatnya dilakukan pengembangan sumber energi alternatif yang diharapkan dapat memenuhi permintaan kebutuhan bahan bakar. Bahan bakar ini diproduksi dari berbagai tanaman yang terdapat di Indonesia.

Pemilihan tanaman harus diperhatikan agar juga tidak terjadi krisis pangan. Sumber daya alternatif yang menjadi pilihan dengan pertimbangan di atas adalah dengan memanfaatkan limbah hasil pertanian. Umumnya limbah hasil pertanian ini masih mengandung sejumlah nutrisi, sehingga dapat dikonversi menjadi produk yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Pemanfaatan sumber daya alam khususnya yang saat ini tidak didaya gunakan menjadi sangat penting. Sebagaimana Allah SWT telah berfirman dalam al Quran surat al Isra ayat 27 yang berbunyi:


 إِنَّ الْمُبَذِّرِينَ كَانُوا إِخْوَانَ الشَّيْطَانِ ط وَكَانَ الشَّيْطَانُ لِرَبِّهِ كَفُورًا

Artinya: “*Sesungguhnya pemboros-pemboros itu adalah saudara-saudara syaitan dan syaitan itu adalah sangat ingkar kepada Tuhannya*”.

Ayat ini dengan tegas menyatakan bahwa kita dianjurkan untuk tidak menjadi kaum-kaum pemboros. Hal ini mengandung makna yang luas agar kita senantiasa bisa memanfaatkan apa saja yang sekiranya masih bisa diberdayakan. Allah SWT tidaklah menciptakan sesuatu dengan sia-sia yakni tanpa suatu tujuan, melainkan ada manfaat yang terdapat di dalamnya. Misalnya terhadap komoditas budidaya di sektor pertanian yang dapat menghasilkan biomassa sebagai sumber bahan energi terbarukan.. Biomassa adalah semua bahan-bahan organik berumur relatif muda dan berasal dari tumbuh-tumbuhan atau hewan; produk dan limbah industri budidaya (pertanian, perkebunan, kehutanan, peternakan, dan perikanan) yang dapat diproses menjadi bioetanol

Bioetanol merupakan salah satu *biofuel* yang telah dan terus dikembangkan oleh peneliti-peneliti di Indonesia. Etanol menjadi pilihan utama dunia karena senyawa ini dapat terus diproduksi baik secara sintesis kimiawi maupun secara fermentasi (Koesoemadinata, 2001). Alasan mendasar pengembangan tersebut karena ketersediaan biomassa sebagai bahan baku pembuatan bioetanol yang melimpah. Selain itu bioetanol juga dikenal sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan. Bioetanol adalah etanol yang dihasilkan dari fermentasi glukosa (gula) yang dilanjutkan dengan proses destilasi. Bioetanol mempunyai banyak manfaat, diantaranya bisa digunakan baik dalam skala rumah industri sebagai pengganti minyak tanah (Komarayati & Gusmailina, 2010); laboratorium, maupun bahan pencampur BBM yang dapat mengurangi emisi di udara dan lebih ramah lingkungan (Lestari, dkk, 2007). Bioetanol dibuat dari tanam-tanaman berpati dan tanaman bergula. Dari tanaman tersebut sebagian

besar merupakan bahan pangan yang mempunyai nilai ekonomis tinggi dan merupakan makanan pokok masyarakat Indonesia. Apabila bahan tersebut digunakan secara terus menerus maka kemungkinan akan terjadi krisis pangan. Sebagai alternatif, pembuatan etanol dapat dilakukan dengan menggunakan bahan limbah. Pemanfaatan limbah sangat berguna untuk mengurangi pencemaran lingkungan, selain itu limbah juga mempunyai harga yang lebih murah. Salah satu limbah tersebut adalah molase

Molase merupakan hasil samping dari industri pengolahan gula yang masih mengandung gula cukup tinggi. Kandungan gula dalam molase merupakan kebutuhan utama dalam proses fermentasi, karena gula tersebut akan dikonversi menjadi bioetanol. Kandungan molase diantaranya glukosa 21,7 %, sukrosa 34,19 %, air 26,46 %, dan abu 17,26 % sehingga merupakan bahan baku potensial untuk pembuatan etanol (Tarigan, 2009). Jalur metabolisme karbohidrat yang pernah diselidiki adalah sistem fermentasi etanol oleh khamir. Salah satu jenis khamir yang produktif dan sering digunakan adalah *Saccharomyces cerevisiae*. Hal ini disebabkan karena *Saccharomyces cerevisiae* dapat memproduksi bioetanol dalam jumlah besar dan mempunyai toleransi tinggi terhadap bioetanol (Elevri dan Putra, 2006). Dalam fermentasi ini glukosa didegradasi menjadi etanol dan CO₂ melalui suatu jalur metabolisme yang disebut *glikolisis* (pemecahan glukosa). (Sebayang, 2006). *Saccharomyces cerevisiae* menghasilkan enzim zimase dan invertase. Enzim zimase berfungsi sebagai pemecah sukrosa menjadi monosakarida (glukosa dan fruktosa), invertase selanjutnya mengubah glukosa menjadi etanol (Juwita, 2012).

Permasalahan yang sering timbul dalam fermentasi etanol adalah etanol yang diperoleh mempunyai kemurnian rendah. Hal ini disebabkan karena dalam proses fermentasi tersebut, substrat karbohidrat juga menghasilkan produk samping lain sesuai dengan jalur glikolisis seperti air, asam asetat, asam laktat, senyawa ester, keton, alkohol dan asam-asam lainnya (Buckle, 1987; Simanjuntak, 2009). Etanol ini perlu dimurnikan agar diperoleh efisiensi etanol hasil fermentasi, harga jual etanol meningkat serta dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan dalam bahan bakar sehingga mengurangi efek emisi ke lingkungan, industri rumah tangga dan laboratorium (Lestari, dkk, 2007). Etanol ini akan dipisahkan dengan air yang masih terkandung didalamnya dengan metode *destilasi*.

Destilasi adalah suatu metode pemisahan yang didasarkan pada perbedaan titik didih untuk meningkatkan kemurnian suatu senyawa (Juwita, 2012). Simanjuntak (2009), menyatakan bahwa kadar etanol hasil fermentasi 20,45 % didestilasi pada suhu 90-100 °C menghasilkan etanol dengan kadar tertinggi sebesar 90,50 %. Wijaya (2012) menjelaskan bahwa terjadi peningkatan kadar etanol dari 6,4 % menjadi 92,5 % setelah 14 kali destilasi. Fauzi dkk (2012) juga melaporkan kadar etanol hasil destilasi meningkat dari 2,53 % menjadi 95,87 % pada suhu 85 °C. Berdasarkan beberapa kajian tentang proses destilasi, kadar etanol maksimal proses destilasi hanya sebesar 95,6 % dan 4,4 % air (Kusuma, 2009).

Permasalahan lain pada proses fermentasi adalah etanol yang dihasilkan setelah destilasi akan membentuk campuran *azeotrop* dengan air sehingga sulit

dipisahkan dengan destilasi sederhana. *Azeotrop* adalah suatu sistem campuran dua komponen kimia atau lebih pada perbandingan tertentu dimana komposisi tidak bisa diubah dengan destilasi biasa (Kusuma, 2009). Pemisahan campuran *azeotrop* ini memerlukan metode destilasi yang lebih kompleks agar hasil etanol murni bisa di peroleh. Adapun metode yang bisa digunakan untuk memperoleh kemurnian etanol tinggi adalah dengan menggunakan metode *dehidrasi*. Metode dehidrasi merupakan proses pemurnian lebih lanjut setelah destilasi yang akan menghasilkan etanol dengan tingkat kemurnian lebih tinggi (99 % etanol anhidrat), yang biasanya digunakan sebagai campuran *gasohol* (campuran etanol dan bensin). Hal terpenting pada dehidrasi bioetanol adalah mengeluarkan air yang masih bercampur dengan bioetanol hasil destilasi. Metode dehidrasi meliputi metode penambahan senyawa kimia (Erawati, 2008), destilasi dengan garam terlarut, destilasi *azeotropik* (Kusuma, 2009), *molecular sieve* (Khaidir, 2012) dan *adsorpsi* (Rahman, 2012).

Adsorpsi merupakan suatu peristiwa terkontakannya partikel padatan dan cairan pada kondisi tertentu sehingga sebagian cairan terjerap di permukaan padatan dan konsentrasi cairan yang tidak terjerap mengalami perubahan (Putro, 2010). Pemilihan metode dehidrasi adsorpsi didasarkan berbagai pertimbangan diantaranya: jenis adsorben yang digunakan (zeolit), penggunaan suhu, energi dan tekanan operasi, dan dana operasional yang lebih minim. Adapun jenis adsorben yang digunakan adalah zeolit *molecular sieve*. *Molecular sieve* adalah material sintetis yang memiliki pori-pori dengan ukuran yang sama persis dan seragam yang digunakan sebagai adsorben gas dan cairan. Molekul-molekul yang cukup

kecil akan diadsorpsi melewati pori-pori, sedangkan molekul-molekul yang lebih besar akan ditolak. *Molecular sieve* berbeda dengan penyaring secara umum yang digunakan untuk menyaring molekul pada tingkatan tertentu (Khaidir, 2012). Sebagai contoh air akan diserap oleh zeolit karena memiliki ukuran partikel spesifik yakni 3 A (ukuran molekul air 2,8 A; etanol 4,4 A) (Fauzi dkk, 2012). Zeolit dipilih sebagai adsorben karena ketersediaan zeolit alam Indonesia yang melimpah, harga zeolit alam yang murah, dan tidak akan menyebabkan kontaminasi terhadap etanol yang dihasilkan setelah proses dehidrasi. Peningkatan kadar etanol menggunakan zeolit telah dilaporkan oleh Khaidir (2012) 90 % menjadi 91,22 %; Rahman dkk (2012) 3,9 % menjadi 27,22 %; Novitasari (2012) 80 % menjadi 84,34 %. Akan tetapi penggunaan zeolit alam dalam bidang dehidrasi adsorpsi masih terbatas karena distribusi pori yang tidak seragam, sehingga perlu dilakukan modifikasi atau aktivasi (Khaidir, 2012).

Proses aktivasi diperlukan untuk meningkatkan sifat khusus zeolit dan menghilangkan unsur pengotor (Rosita dkk, 2004). Secara umum ada tiga proses aktivasi yang bisa dilakukan terhadap zeolit alam, yaitu aktivasi secara fisika dengan pemanasan, aktivasi secara kimia dengan asam dan aktivasi secara kimia dengan basa. Proses aktivasi dengan panas dapat dilakukan pada suhu antara 200-400 °C selama beberapa jam. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan air yang masih terkandung di dalamnya. Sedangkan pada proses aktivasi secara kimia dapat dilakukan dengan cara aktivasi asam dan aktivasi basa. Ozkan dan Ulku (2005) melaporkan bahwa aktivasi zeolit alam Turki dengan menggunakan larutan HCl pada berbagai konsentrasi dapat memaksimalkan

proses *dealuminasi* (pengurangan alumina) pada rasio Si/Al zeolit sehingga lebih bersifat *hidrofobik*. Sementara aktivasi dengan basa dapat dilakukan dengan melakukan perendaman zeolit dalam larutan NaOH, dimana akan terjadi penurunan rasio Si/Al sehingga lebih bersifat *hidrofilik* (Jozefaciuk dan Bowanko, 2002).

Dari proses aktivasi zeolit baik secara asam maupun basa, diperoleh hasil bahwa zeolit yang diaktivasi dengan basa akan menjadi lebih polar bila dibandingkan dengan zeolit yang diaktivasi dengan asam (Jozefaciuk dan Bowanko, 2002). Affandi (2011) melaporkan bahwa kemampuan adsorpsi air dalam zeolit teraktivasi HCl hanya sebesar 0,69 % sedangkan pada aktivasi NaOH sebesar 5,03 %. Kurniasari (2011), melaporkan bahwa pada proses aktivasi zeolit dengan penambahan NaOH dengan variasi 0,5-2N dan dipanaskan pada suhu 70 °C dihasilkan produk optimum zeolit yang mampu meningkatkan kemampuan adsorpsi air sebesar 0,171 gr uap air/gr adsorben pada konsentrasi NaOH 1N. Nais (2011), juga melaporkan bahwa terjadi penurunan rasio Si/Al seiring dengan meningkatnya konsentrasi NaOH dengan variasi 1,2,3,4 dan 12M. Rasio Si/Al zeolit alam 8,20 dapat dimodifikasi hingga rasionya menjadi 1,641 (seperti karakteristik zeolit sintetis 3A) dengan proses yang berlangsung pada suhu 80 °C selama 8 jam dan konsentrasi NaOH 2M. Peningkatan kapasitas adsorpsi air meningkat 16,547 % dari kapasitas adsorpsi sebelum aktivasi yang hanya 4,3103.

Selain faktor aktivasi secara kimiawi (asam basa), faktor lain yang juga berpengaruh dalam proses adsorpsi air dalam etanol adalah berat zeolit. Fauzi (2012) melaporkan bahwa 1 gram zeolit mampu mengadsorb air dalam etanol

sebanyak 0,181 gram. Novitasari & Kusumaningrum (2012) menunjukkan bahwa pada variasi berat zeolit alam 10, 15, 20, 25 dan 30 gram mampu menaikkan kemampuan adsorpsi terhadap 100 mL etanol 80 % pada 30 gram dengan konsentrasi akhir etanol 82,32 %. Sedangkan pada zeolit 4A dengan berat zeolit yang sama mampu menaikkan konsentrasi etanol hingga 83,23 %. Novitasari & Kusumaningrum (2012) juga melaporkan bahwa pada variasi berat zeolit 50, 75 dan 100 gram yang direndam ke dalam 100 mL etanol 80 % mampu dinaikkan sampai kadarnya 98,42 % dengan berat zeolit yang digunakan 100 gram. Rambe (2010) menyatakan bahwa pada variasi berat zeolit 25, 30 dan 50 % menghasilkan kadar etanol tertinggi 99,52 % pada perbandingan 50 %.

Berdasarkan kajian di atas dapat disimpulkan bahwa zeolit merupakan material dengan kelimpahan tinggi di alam mampu mengadsorb air dalam etanol. Kemampuan adsorpsinya dipengaruhi oleh faktor konsentrasi NaOH dan berat zeolit teraktivasi basa. Sehingga kajian tentang hal ini perlu dikembangkan agar dalam proses pemurnian etanol menghasilkan kadar yang cukup tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana proses dehidrasi boetanol menggunakan zeolit teraktivasi NaOH dengan variasi konsentrasi dan berat zeolit?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah Untuk mengetahui proses dehidrasi boetanol menggunakan zeolit teraktivasi NaOH dengan variasi konsentrasi dan berat zeolit.

1.4 Batasan Masalah

1. Sampel etanol yang digunakan merupakan etanol hasil fermentasi molase
2. Sampel zeolit yang digunakan berasal dari Sumber Manjing Malang, Jawa Timur.
3. Konsentrasi NaOH 1,2,3 dan 4 M serta berat zeolit 30 ,40 dan 50 %.
4. Sumber alumina berupa tawas

1.5 Manfaat

Sebagai sumber informasi proses pemurnian yang efektif dan effesien untuk mendapatkan konsentrasi etanol tinggi dengan metode dehidrasi melalui interaksi zeolit teraktivasi basa NaOH.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bioetanol

Etanol adalah istilah yang dipakai untuk menyebut alkohol, yang juga disebut “*grain alkohol*” dan kadang untuk minuman yang mengandung alkohol. Hal ini disebabkan karena memang etanol yang digunakan sebagai bahan dasar pada minuman tersebut, bukan metanol, atau group alkohol lainnya (Juwita, 2012). Etanol merupakan cairan bening tidak berwarna, mudah mengalir, mudah menguap dan mudah terbakar dengan api biru tanpa asap. Sifatnya larut dalam air, kloroform, eter, gliserol dan hampir semua pelarut organik (Fitriana, 2009).

Bioetanol merupakan senyawa alkohol yang diperoleh melalui proses fermentasi biomassa dengan bantuan mikroorganisme. Hidayat, *et al* (2006) mengartikan fermentasi sebagai perubahan gradual oleh enzim beberapa bakteri, khamir dan jamur. Contoh perubahan kimia dari fermentasi meliputi pengasaman susu, dekomposisi pati dan gula menjadi alkohol dan karbondioksida, serta oksidasi senyawa nitrogen organik. Paturau (1982) mendefinisikan fermentasi sebagai proses yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan kimia di dalam substrat organik melalui katalis biokimiawi (enzim) yang dihasilkan oleh mikroorganisme tertentu yang hidup didalamnya. Sedangkan Wang *et al*. (1979) mendefinisikan fermentasi sebagai semua kegiatan mikrobial atau ekstrak dari sel dalam menggunakan senyawa organik dan anorganik, yang meliputi kegiatan pertumbuhan, asimilasi, biosintesis dan disimilasi.

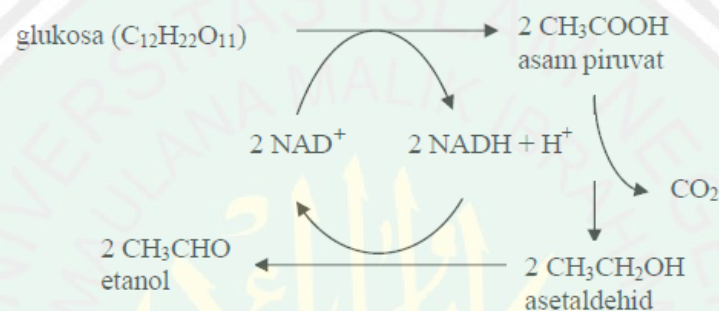
Proses fermentasi bisa dikatakan mempunyai fleksibilitas tinggi terhadap bahan bakunya. Terdapat banyak variasi bahan baku yang dapat digunakan. Dan hampir semua bahan baku untuk proses fermentasi, baik secara langsung maupun tidak langsung menggunakan hasil pertanian. Produksi etanol dengan cara fermentasi bisa diproduksi dari 3 macam karbohidrat, yaitu (Juwita, 2012):

1. Bahan-bahan yang mengandung gula atau disebut juga substansi sakharin yang rasanya manis, seperti misalnya gula tebu, gula bit, molase (molase), macam-macam sari buah-buahan dan lain-lain. Molase mengandung 50-55 % gula yang dapat difermentasi, yang terdiri dari atas 69 % sakarosa dan 30 % gula inversi.
2. Bahan yang mengandung pati misalnya: padi-padian, jagung, gandum, kentang sorgum, malt, barley, ubi kayu dan lain-lain.
3. Bahan-bahan yang mengandung selulosa, misalnya: kayu, cairan buangan pabrik pulp dan kertas (waste sulfite liquor).

Prinsip pembentukan alkohol adalah pelepasan energi yang tersimpan pada bahan-bahan organik, yang memiliki kandungan karbohidrat tinggi, dengan bantuan mikroba sebagai fermentor. Terdapat sejumlah jenis mikroba yang memiliki kemampuan untuk memfermentasikan alkohol, di antaranya khamir dan bakteri. Pada fermentasi etanol, bahan yang mengandung monosakarida langsung difermentasi tetapi disakarida, pati ataupun karbohidrat kompleks harus dihidrolisa terlebih dahulu menjadi komponen gula sederhana (Hunt, 1991).

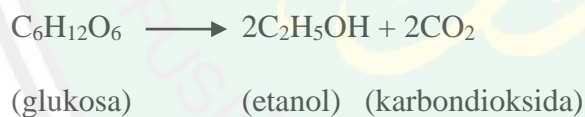
Menurut Amerine *et al.* (1987) pada proses fermentasi etanol, khamir terutama akan memetabolisme glukosa dan fruktosa membentuk asam piruvat

melalui tahapan reaksi pada jalur Embden-Meyerhof-Parnas, sedangkan asam piruvat yang dihasilkan akan didekarboksilasi menjadi asetaldehida yang kemudian mengalami dehidrogenasi menjadi etanol. Jalur perombakan glukosa menjadi etanol pada gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1 Jalur perombakan glukosa menjadi etanol (Ardi, 2009)

Persamaan Gay-Lussac menunjukkan reaksi dalam fermentasi alkohol seperti berikut ini (Lidya dan Djenar, 2000):



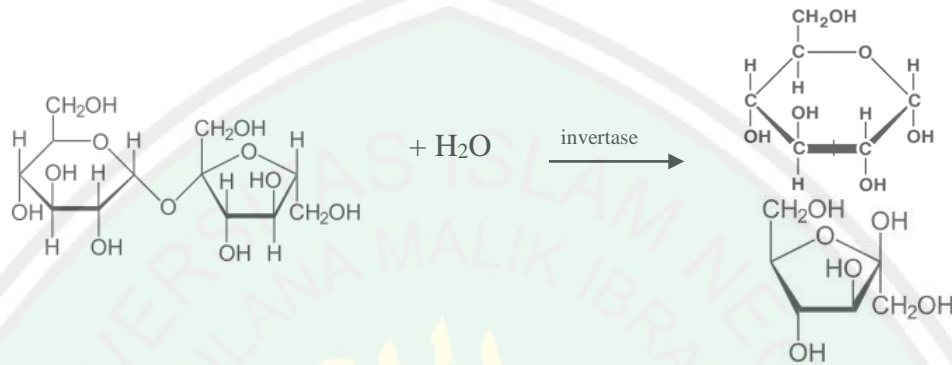
Sesuai dengan persamaan di atas, hasil fermentasi etanol yang ideal adalah 51,1 % etanol dan 48,9 % karbondioksida. Hasil optimal yang diharapkan bila dinyatakan dari persentase gula yang difermentasi adalah (dinyatakan dengan persen berat) etanol 48,4 persen, karbon dioksida 46,6 persen, gliserol 3,3 persen, asam suksinat 0,6 persen, selulosa dan lainnya 1,2 persen. Hasil etanol 48,4 persen Pasteur adalah sekitar 94,5 persen dari nilai teoritis Gay-Lussac (51,1 persen). Dalam kenyataannya jarang diperoleh efisiensi fermentasi lebih besar

dari 90 persen total gula invert yang diubah menjadi etanol (Paturau, 1982). Salah satu penyebabnya adalah mikroorganisme. Mikroorganisme mempunyai peran penting dalam proses fermentasi karena akan merubah bahan pangan sesuai dengan produk yang diinginkan. Dari mikroorganisme-mikroorganisme tersebut, yang paling penting dalam proses fermentasi adalah bakteri pembentuk asam laktat, bakteri pembentuk asam asetat dan beberapa jenis khamir penghasil alkohol.

Pada umumnya fermentasi etanol menggunakan khamir *Saccharomyces cereviceae*. Pemilihan tersebut bertujuan agar didapatkan mikroorganisme yang mampu tumbuh dengan cepat dan mempunyai toleransi terhadap konsentrasi gula yang tinggi, mampu menghasilkan alkohol dalam jumlah yang banyak dan tahan terhadap alkohol tersebut. Abdalbasit (2012) menyatakan bahwa, konsentrasi gula yang sesuai untuk proses fermentasi bioetanol adalah 20 %. Paturau (1982) konsentrasi gula yang tepat untuk fermentasi adalah 14 - 18 %, sedangkan Judoamidjojo (1992) melaporkan bahwa konsentrasi gula yang tepat untuk fermentasi adalah 14 - 20 %. Temperatur pertumbuhan yang optimum untuk *Saccharomyces cereviceae* adalah 35 °C dan pH optimum untuk pertumbuhan sel khamir 4 (Periyasamy, 2009).

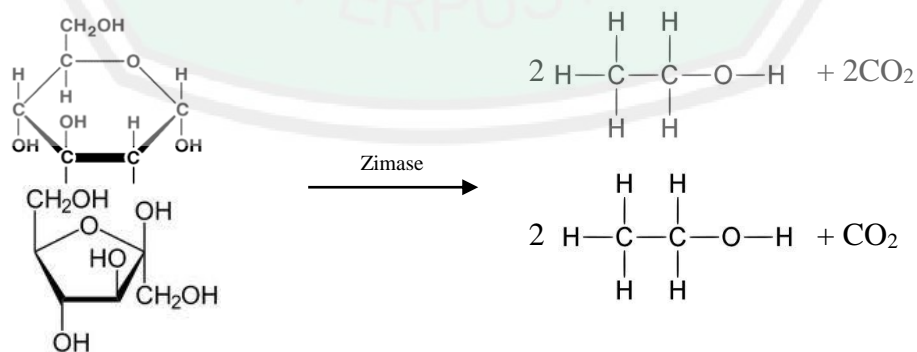
Untuk mempertahankan hidup, *Saccharomyces cereviceae* memerlukan energi diantaranya ATP (*Adenosin Triphospat*) dan untuk mendapatkannya maka mengkonsumsi gula yang dapat berupa glukosa dan fruktosa. Khamir *Saccharomyces cereviceae* menghasilkan enzim zimase dan invertase. Enzim invertase berfungsi sebagai pemecah sukrosa menjadi monosakarida (glukosa dan

fruktosa) (Prabawa dkk., 2012). Reaksi perubahan sukrosa menjadi monosakarida terdapat pada gambar 2.2:



Gambar 2.2 Konversi sukrosa menjadi glukosa dan fruktosa oleh enzim invertase (Prabawa dkk.,2008)

Selanjutnya glukosa dan fruktosa tersebut diubah menjadi bioetanol oleh enzim zimase (Hasanah, 2008). Reaksi yang terjadi dapat digambarkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pembentukan bioetanol dari glukosa dan fruktosa oleh enzim zimase (Hasanah, 2008)

Apabila *Saccaromyces cereviceae* memiliki oksigen dalam jumlah banyak, gula- gula tersebut diurai tahap demi tahap menjadi molekul yang lebih kecil. Akan tetapi, jika oksigen dalam jumlah sedikit atau tidak ada (anaerobik) maka degradasi kimia tidak berjalan dengan sempurna sehingga gula diuraikan menjadi etanol (Pretis, 1990). Berikut adalah produk hasil fermentasi anaerobik sesuai jalur glikolisis (Buckle, 1987):



Gambar 2.4 Jalur glikolisis substrat karbohidrat (Buckle, 1987)

2.2 Proses Fermentasi Molase

Terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan dalam proses fermentasi yaitu pemilihan sampel, pemilihan mikroba dan faktor-faktor yang mempengaruhi aktivitas fermentasi.

2.2.1 Sampel Molase

Molase (tetes tebu) adalah salah satu hasil samping yang berasal dari proses pembuatan gula tebu (sukrosa). Molase ini merupakan cairan kental sisa industri gula yang tidak dapat lagi membentuk kristal sukrosa pada proses kristalisasi (Paturau, 1982). Menurut Tarigan (2009) molase tersusun dari bahan organik, anorganik, dan air. Molase mengandung 21,7 % glukosa, 34,19 % sukrosa, 26,46 % air, dan 17,26 % abu sehingga merupakan bahan baku yang cukup potensial untuk pembentukan etanol.

2.2.2 Khamir *Saccharomyces cereviceae*

Pada umumnya fermentasi etanol menggunakan khamir *Saccharomyces cereviceae*. Pemilihan tersebut bertujuan agar didapatkan mikroorganismenya yang mampu tumbuh dengan cepat dan mempunyai toleransi terhadap konsentrasi gula yang tinggi, mampu menghasilkan alkohol dalam jumlah yang banyak dan tahan terhadap alkohol tersebut. Temperatur pertumbuhan yang optimum untuk *Saccharomyces cereviceae* adalah 35 °C dan pH optimum untuk pertumbuhan sel khamir 4 (Periyasamy, 2009).

2.2.3 Faktor-faktor yang mempengaruhi aktivitas fermentasi (Juwita, 2012)

a. Keasaman (pH)

Makanan yang mengandung asam biasanya tahan lama, tetapi jika oksigen cukup jumlahnya dan kapang dapat tumbuh serta fermentasi berlangsung terus,

maka daya awet dari asam tersebut akan hilang. Tingkat keasaman sangat berpengaruh dalam perkembangan bakteri.

b. Mikroba

Fermentasi biasanya dilakukan dengan kultur murni yang dihasilkan dilaboratorium. Kultur ini dapat disimpan dalam keadaan kering atau dibekukan.

c. Suhu

Suhu fermentasi sangat menentukan macam mikroba yang dominan selama fermentasi. Tiap-tiap mikroorganisme memiliki suhu pertumbuhan yang maksimal, suhu pertumbuhan minimal, dan suhu optimal yaitu suhu yang memberikan terbaik dan memperbanyak diri tercepat.

d. Oksigen

Udara atau oksigen selama fermentasi harus diatur sebaik mungkin untuk memperbanyak atau menghambat pertumbuhan mikroba tertentu. Setiap mikroba membutuhkan oksigen yang berbeda jumlahnya untuk pertumbuhan atau membentuk sel-sel baru dan untuk fermentasi. Misalnya ragi roti (*Saccharomyces cerevisiae*) akan tumbuh lebih baik dalam keadaan aerobik, tetapi keduanya akan melakukan fermentasi terhadap gula jauh lebih cepat dengan keadaan anaerobik.

e. Waktu

Laju perbanyakan bakteri bervariasi menurut spesies dan kondisi pertumbuhannya. Pada kondisi optimal, bakteri akan membelah sekali setiap 20 menit. Untuk beberapa bakteri memilih waktu generasi yaitu selang waktu antara pembelahan, dapat dicapai selama 20 menit. Jika waktu generasinya 20 menit

pada kondisi yang cocok sebuah sel dapat menghasilkan beberapa juta sel selama 7 jam.

Berdasarkan kajian di atas, Periyasamy (2009), menyatakan bahwa kondisi optimum yang diperoleh dari analisis limbah molase melalui proses fermentasi dengan parameter suhu (25, 30, 35 dan 45°C), pH (1-8), konsentrasi ragi *Saccharomyces cerevisiae* (1, 2, 4, 8 gram), konsentrasi molase (50, 100, 300 dan 400 gram/L) dan waktu fermentasi (tiap interval 12 jam) diperoleh hasil optimum pada temperatur 35°C, pH 4 waktu fermentasi 72 jam, konsentrasi ragi 2 gram dengan konsentrasi molase 300 gram/L menghasilkan kadar etanol 53 %.

Etanol yang dihasilkan dari proses fermentasi mempunyai kadar yang cukup rendah, karena dalam proses tersebut, substrat karbohidrat juga menghasilkan produk samping lain sesuai dengan jalur glikolisis. Etanol ini perlu dimurnikan untuk memperoleh kadar etanol tinggi.

Tabel 2.1 Sifat fisik dan kimia etanol

Sifat-sifat fisika	Keterangan
Berat molekul	46,07 g/mol
Titik lebur	-112 °C
Titik didih	78,4 °C
Densitas	0,7893 g/mL
Indeks bias	1,36143 cP
Viskositas 20	1,17 cP
Panas penguapan	200,6 kal/g
Warna cairan	Cairan tak berwarna
Kelarutan	Larut dalam air dan eter
Aroma	Memiliki aroma yang khas

Sumber: Soebagio, 1980

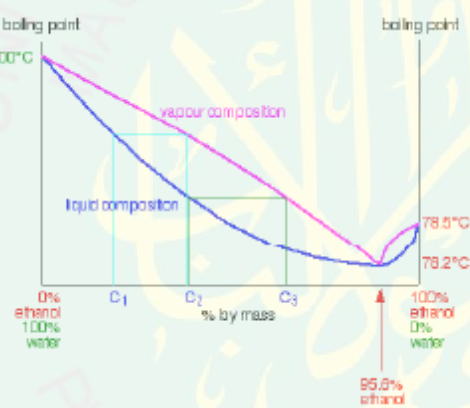
2.3 Pemurnian Etanol

Pada campuran dengan konsentrasi etanol tinggi, dimana etanol berfungsi sebagai *cosolvent*, sejumlah air dapat di tolerir, sehingga destilasi yang diperlukan cukup sampai pada komposisi *azeotrop* 96,6 % etanol. Namun jika etanol digunakan sebagai zat aditif pada mesin yang belum di modifikasi, etanol harus dengan kemurnian 99,9 % (etanol absolut) karena air dapat menyebabkan korosi pada mesin serta penurunan nilai kalor pembakaran (Kusuma, 2009).

Bioetanol yang dihasilkan dari fermentasi bahan nabati umumnya memiliki konsentrasi berkisar antara 7-10 % volume etanol (Rindengan, 2006). Konsentrasi etanol dari proses fermentasi ini tergantung dari bahan nabati, proses fermentasi dan mikroorganisme yang digunakan (Kusuma, 2009). Etanol ini perlu dimurnikan. Pemurnian etanol dilakukan dengan dua tahap yaitu, pemurnian dengan destilasi hingga konsentrasi 95,6 % etanol serta dehidrasi etanol untuk mendapatkan etanol absolut. Pemurnian etanol tidak dapat dilakukan hanya dengan satu tahap (destilasi sederhana) karena etanol dan air membentuk campuran azeotrop (Kusuma, 2009).

Kata azeotrop berasal dari bahasa Yunani yang berarti tidak berubah dengan pendidihan. Azeotrop adalah campuran dari dua komponen kimia atau lebih pada perbandingan tertentu dimana komposisi tersebut tidak bisa diubah dengan destilasi sederhana. Saat campuran azeotrop didihkan, uap yang terbentuk memiliki komposisi yang sama dengan cairannya. Karena komposisinya yang tidak berubah oleh pendidihan, azeotrop dikenal juga dengan istilah campuran didih tetap (*constant boiling mixture*). Campuran etanol-air membentuk azeotrop

dengan komposisi 95,6 % etanol dan 4,4 % air. Campuran azeotropik etanol-air tergolong ke dalam azeotropik positif atau azeotropik dengan titik didih minimum. Etanol mendidih pada suhu 78,4 °C, air mendidih pada suhu 100 °C, akan tetapi campuran azeotropik etanol-air mendidih pada 78,2 °C yang lebih rendah dari titik didih masing-masing senyawa. Diagram kesetimbangan fase uap dari campuran etanol air diilustrasikan pada gambar 2.5:



Gambar 2.5 Diagram kesetimbangan fase uap dari campuran etanol air (Clark 2005)

Diagram ini menunjukkan pada campuran etanol air terjadi penyimpangan (deviasi) positif dengan titik didih campuran berada dibawah titik didih masing-masing bahan yaitu di bawah titik didih etanol dan air (Clark 2005). Walaupun dimurnikan dengan destilasi secara terus-menerus, kadar etanol yang diperoleh tidak akan melebihi 95,6 % berat. Hal ini sesuai dengan yang dilaporkan oleh Wijaya (2012), bahwa peningkatan kadar etanol setelah 14 kali destilasi dari 6,4 % hanya menjadi 92,5 %.

Berikut adalah beberapa metode pemisahan yang bisa digunakan untuk menghasilkan etanol absolut (Austin 1984):

Tabel 2.2 Beberapa metode pemisahan untuk memperoleh etanol absolut

Tipe pemisahan	Etanol (%)		Proses	Kebutuhan energy (kJ/L)
	Awal	akhir		
Sempurna	10	100	Conventional "dual" distillation	7600
Sempurna	10	100	Ekstraksi dengan CO ₂	2200-2800
Sempurna	10	100	Ekstraksi pelarut	1000
Sempurna	10	100	Destilasi vakum	9800
10-azeotrop	10	95	Destilasi konvensional	5000
10-azeotrop	10	95	Vapor recompression	1800
10-azeotrop	10	95	Multieffect vacuum	2000
Azeotrop	95	100	Destilasi azeotrop konvensional	2600
Azeotrop	95	100	Dehidrasi melalui adsorpsi	335
Azeotrop	95	100	Peyaring molecular	1300-1750
Yang lain	3	10	Reverse osmosis	140

2.3.1 Destilasi

Prinsip dari proses destilasi yaitu memisahkan etanol dari campuran etanol dan air. Untuk larutan yang terdiri dari komponen-komponen yang berbeda nyata suhu didihnya, destilasi merupakan cara yang paling mudah dioperasikan dan juga merupakan cara pemisahan yang secara thermal efisien. Pada tekanan atmosfer, air mendidih pada suhu 100 °C dan etanol mendidih pada suhu sekitar 78,5 °C. perbedaan dalam titik didih inilah yang memungkinkan pemisahan campuran etanol air (Lurgi, 1989).

Kadar etanol hasil fermentasi tidak dapat mencapai level diatas 18-21 %, sebab etanol dengan kadar tersebut bersifat racun terhadap ragi yang memproduksi etanol tersebut sehingga untuk memperoleh etanol dengan kadar yang lebih tinggi perlu dilakukan destilasi. Destilasi adalah proses pemanasan yang memisahkan etanol dan beberapa komponen cair lain dari substrat fermentasi sehingga diperoleh kadar etanol yang lebih tinggi (Archunan, 2004).

Beberapa hal penting yang harus diperhatikan dalam destilasi adalah kondisi saat pemanasan labu didih. Dalam keadaan suhu dan tekanan tinggi, labu dapat mengalami ledakan yang dikenal sebagai *super heated*. Secara teknis, sebelum proses pemanasan, di dalam labu didih disertakan agen *anti bumping* seperti pecahan porcelain. Pori-pori porcelain dapat menyerap panas dan meratakan panas ke seluruh sistem. Metode destilasi digunakan pada larutan yang mempunyai titik didih moderat sekitar 100 °C. Apabila terdapat sampel dengan titik didih sangat tinggi, tidak disarankan menggunakan teknik pemisahan destilasi karena dua hal yaitu suhu dan tekanan tinggi rawan ledakan dan pada suhu tinggi senyawa dapat mengalami dekomposisi atau rusak. Terdapat berbagai macam destilasi, diantaranya (Arsyat, N, M., 2001):

1. Destilasi sederhana : Penguapan suatu larutan dengan pemanasan dan uap diembunkan kembali oleh kondensor.
2. Destilasi Uap : Penyulingan senyawa-senyawa volatil yang kurang larut dalam air melalui semburan uap di atas campuran sehingga zat yang lebih volatil akan menyuling ke dalam uap dan diembunkan sebagai destilat. Karena senyawa kurang larut air, maka senyawa yang diinginkan dapat

dengan mudah dipisahkan dari air yang ikut mengembun sebagai destilat.

Destilasi uap digunakan dalam pembuatan parfum.

3. Destilasi destruktif : disebut juga destilasi kering, suatu proses penyulingan dari sampel padat dengan pemanasan sampai menguap dan diembunkan kembali. Contoh destilasi batubara menjadi kokas.
4. Destilasi fraksional : Penyulingan yang dilakukan dengan refluks parsial karena luas permukaan dalam kolom fraksionasi yang digunakan memungkinkan terjadinya keseimbangan uap-cair. Uap hasil destilasi pertama akan mengembun kembali dan melewati sel berikutnya, menguap kembali. Proses ini berlangsung berulang-ulang. Semakin banyak kolom fraksionasi, maka pemisahan semakin sempurna. Senyawa yang berada pada puncak kolom adalah senyawa paling volatil/titik didih paling rendah. Contoh : pemisahan fraksi-fraksi dalam minyak bumi.

2.3.2 Dehidrasi Etanol

Proses dehidrasi etanol secara konvensional yang umum digunakan adalah dengan destilasi azeotropik yang saat ini mulai digantikan dengan *molecular sieve*. Metode yang sedang dikembangkan saat ini adalah pervaporasi dengan membran. Kajian terhadap metode pemisahan campuran azeotropik ini masih dilakukan untuk mendapatkan metode yang paling efisien.

1. Destilasi Azeotropik

Penelitian untuk mendapatkan alkohol absolut menggunakan destilasi telah dimulai sejak tahun 1900-an. Diantaranya, penemuan yang dilakukan oleh Young

pada tahun 1902 terakrit dengan metode destilasi campuran azeotrop. Destilasi azeotrop ini dilakukan dengan menggunakan zat perantara tambahan yang biasa dikenal dengan *entrainer*. Entrainer akan mempengaruhi volatilitas dari salah satu penyusun azeotrop dibandingkan penyusun yang lain. Jika suatu entrainer ditambahkan ke azeotrop biner, akan terbentuk azeotrop terner, yang kemudian di destilasi sehingga akan didapatkan salah satu komponen murninya. Entrainer yang umum digunakan pada campuran azeotrop etanol air adalah benzen atau sikloheksana. Dengan sikloheksana sebagai entrainer, akan terbentuk campuran azeotrop terner dengan komposisi 7 % air, 17 % etanol, dan 76 % sikloheksan yang mendidih pada suhu 62,1 °C. Jika campuran dididihkan, azeotrop akan menguap dan meninggalkan residu yang mengandung hampir seluruhnya etanol murni (Kusuma, 2009).

Metode pemisahan ini tidak banyak digunakan karena membutuhkan energi yang tinggi serta menggunakan tambahan komponen ketiga untuk memisahkan campuran azeotrop. Metode ini juga lebih rumit dalam pengoperasiannya serta membutuhkan dana operasional tinggi.

2. Pemisahan Kimiawi

Tipe lain dari entrainer adalah zat yang memiliki sifat afinitas kimia yang kuat terhadap salah satu penyusun azeotrop. Pada campuran azeotrop etanol-air, ditambahkan kalsium oksida (CaO) yang bereaksi secara kuat dengan air membentuk senyawa non-volatil, kalsium hidroksida (CaOH). Karena kalsium hidroksida tidak larut dalam alkohol, maka dapat dengan mudah dipisahkan dari

etanol, baik dengan destilasi langsung atau dengan dekantasi yang di ikuti dengan filtrasi. Kemurnian etanol yang dapat diperoleh dari metode ini hingga 99,5 %. Metode ini adalah metode yang paling konvensional dilakukan untuk dehidrasi etanol. Saat ini metode tersebut masih digunakan pada skala laboratorium (Kusuma, 2009).

3. Destilasi Dengan Garam Terlarut (Ekstraktif)

Ketika suatu garam dilarutkan dalam pelarut, garam akan meningkatkan titik didih dari pelarut tersebut atau menurunkan volatilitas pelarut. Jika garam tersebut terlarut dalam salah satu penyusun azeotrop, namun tidak larut pada yang lain, volatilitas penyusun dimana garam mampu larut akan turun, sedangkan penyusun yang lain tidak akan terpengaruh. Dengan cara ini, dapat dilakukan pemecahan azeotrop etanol-air dengan melarutkan kalium asetat, kemudian di destilasi.

Destilasi ekstraktif merupakan proses baru untuk meningkatkan kemurnian etanol. Dalam destilasi ekstraktif dapat dikombinasikan antara penambahan garam dan pelarut atau penambahan garam saja. Destilasi ekstraktif biasa digunakan dalam industri dan merupakan metode pemisahan yang penting dalam *petrochemical engineering*. Salah satu aplikasi destilasi jenis ini untuk memisahkan hidrokarbon pada campuran C4 dan memisahkan campuran *azeotropic* dalam campuran etanol- air.

Dua faktor yang penting dalam destilasi ekstraktif adalah tahap pemisahan itu sendiri dan pelarut yang digunakan. Destilasi ekstraktif dengan garam dikenal

dengan *saline extractive distillation* merupakan metode baru untuk memisahkan campuran etanol dan air dengan kemurnian yang tinggi (Lei, 2001). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Pinto pada tahun 2000 metode *saline extractive distillation* menggunakan NaCl, KCl, KI, CaCl₂ (Pinto, 2000:1960). Penelitian pendahuluan yang pernah dilakukan oleh Pinto, *et al* (2000) telah melakukan optimasi dengan menggunakan *Saline Extractive Distillation* untuk memurnikan campuran etanol-air dari proses fermentasi dengan menggunakan 4 jenis garam yaitu NaCl, KCl, KI, CaCl₂ dan pelarut Dimetilformamid / Acetonitril Ethylen Glycol (Pinto, 2000). Erawati (2008), melaporkan bahwa dengan adanya penambahan CaCl₂ dan pelarut acetonitril mempengaruhi kadar kemurnian etanol dari modifikasi larutan gula. Hasil terbaik diperoleh untuk penambahan 0,1 g/mL CaCl₂ dan 25 % acetonitrile meningkat dari 45 % menjadi 99,287 % pada suhu pemasukan CaCl₂ 30 °C. Penambahan senyawa garam ini dimaksudkan untuk menaikkan titik didih dari salah satu campuran azeotrop sehingga mudah dipisahkan dengan metode destilasi sederhana.

Saptantyo & Novanto (2007) telah memurnikan etanol sebagai campuran gasohol dengan metode *saline extractive distillation* dengan menggunakan NaCl dan Acetonitril. Garam NaCl yang digunakan 80 gram dan 120 gram, dan Acetonitril dengan variasi kadar 15 %, 20 %, 25 %, 30 % dan 35 %. Dari penelitian ini diperoleh kadar etanol tertinggi 96,40 %.

4. Molecular Sieve

Molecular sieve adalah kristal aluminasilikat yang memiliki 3 dimensi dengan silica dan alumina tetrahedral yang saling terhubung atau sering disebut zeolit sintetik. Air yang terikat pada struktur aluminasilikat disingkirkan dengan pemanas sehingga menghasilkan pori yang seragam yang akan mengadsorpsi molekul dengan ukuran spesifik. Teori adsorpsi yang terjadi pada *molecular sieve* ini yaitu teori adsorpsi kimia adalah adsorpsi yang ikatan antara adsorbent dan adsorbatnya berupa ikatan kimia (www.scribd.com/doc/51302780/Adsorpsi)

Dari penjelasan maka *molecular sieve* termasuk teori isotherm adsorpsi Langmuir. Teori Langmuir menggambarkan proses adsorpsi terdiri dari dua proses berlawanan, yaitu kondensasi molekul-molekul fase teradsorpsi menuju permukaan dan evaporasi/penguapan molekul- molekul dari permukaan kembali ke dalam larutan (scribd.com/doc/32979730/Adsorpsi-Isotherm).

Kemampuan adsorpsi penyaring molekular adalah sebagai berikut (Khaidir, 2012):

1. 3A (ukuran pori 3Å) : mengadsorpsi NH_3 , H_2O , (tidak C_2H_6). Baik untuk pengeringan cairan polar.
2. 4A (ukuran pori 4Å) : mengadsorpsi H_2O , CO_2 , SO_2 , H_2S , C_2H_4 , C_2H_6 , C_3H_6 , Etanol. Tidak akan mengadsorpsi C_3H_8 dan hidrokarbon yang lebih tinggi.
3. 5A (ukuran pori 5Å) : mengadsorpsi hidrokarbon normal (linier) sampai $\text{n-C}_4\text{H}_{10}$, alkohol sampai $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$, merkaptan sampai $\text{C}_4\text{H}_9\text{SH}$. Tidak akan menyerap senyawa-senyawa iso dan bercincin yang lebih besar dari C4.

4. 10X (ukuran pori 8Å) : mengadsorpsi hidrokarbon bercabang dan senyawa aromatik. Berguna untuk pengeringan gas.
5. 13X (ukuran pori 10Å) : mengadsorpsi di-n-butilamin (tetapi tidak tri-n-butilamin). Berguna untuk pengeringan *hexamethylphosphoramide* (HMPA) (Anonim 2006).

Jenis sieve yang biasa digunakan pada pemurnian etanol adalah tipe 3A. Pemilihan sieve ini spesifik untuk pemisahan molekul air yang memiliki diameter kritis sebesar 3,2 Å.

Proses dehidrasi etanol dengan molecular sieve dijelaskan sebagai berikut. Umpan yaitu etanol 95 % dipompa masuk ke dalam kolom Stripper/ Rectifier. Steam parsial yang mengandung uap etanol dipanaskan dalam super heater kemudian masuk ke dalam unit molecular sieve untuk proses dehidrasi. Uap kemudian dilewatkan ke dalam tumpukan molecular sieve dimana air pada arus umpan akan teradsorpsi oleh material molecular sieve. Uap etanol anhidrat kemudian masuk ke dalam kondensor lalu di dinginkan lebih lanjut dalam cooler hingga mendekati temperature ambient. Etanol cair kemudian di tampung dalam tangki etanol (Kusuma, 2009).

Proses molecular sieve terdiri dari dua kolom yang bekerja bergantian dimana operasi berjalan di kolom yang satu dan regenerasi di kolom lainnya. Regenerasi dilakukan dengan menjadikan kondisi kolom menjadi vakum. Air yang teradsorpsi pada molecular sieve akan terdesorpsi kemudian ter evaporasi. Uap hasil evaporasi kemudian dipanaskan dalam preheater untuk dimasukkan kembali ke dalam kolom stripper. Regenerasi juga dapat dilakukan dengan

pemanasan dan purging dengan gas inert. Pemanasan harus dilakukan pada temperature yang tepat untuk menguapkan molekul air yang teradsorpsi dalam pori. Temperatur tumpukan molecular sieve menjadi batasan pemilihan temperature regenerasi. Umumnya temperature untuk tipe 3A berkisar pada 175-260 C. pada temperature yang lebih tinggi dari range tersebut akan terjadi polimerisasi olefin pada permukaan molecular sieve (Kusuma, 2009).

Beberapa keuntungan menggunakan penyaring molekular pada proses dehidrasi etanol antara lain : (1) Proses yang sangat sederhana, sehingga mudah diotomatisasi, sehingga dapat mengurangi kebutuhan terhadap tenaga kerja, (2) Proses *inert*, karena tidak menggunakan bahan kimia tambahan yang memerlukan penanganan tertentu yang mungkin dapat membahayakan para pekerja, (3) Penyaring molekular dapat dengan mudah memproses etanol yang mengandung kontaminan. Hal ini merupakan gangguan pada proses destilasi azeotropik, (4) Penyaring molekular yang didesain untuk etanol dapat juga digunakan untuk dehidrasi bahan-bahan kimia lainnya, (5) Memiliki umur simpan yang lama (lebih dari 5 tahun), kerusakan hanya terjadi karena media yang kotor atau karena destruksi mekanis, dan (6) Dapat diatur sebagai sistem yang berdiri sendiri atau terintegrasi dengan sistem destilasi. Jika sepenuhnya terintegrasi dengan sistem destilasi, akan diperoleh laju penggunaan tenaga yang sangat minimum pada proses pemisahan (Anonim 2012).

5. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan suatu peristiwa fisik pada permukaan suatu bahan yang tergantung dari gaya gabung antara adsorben dan zat yang diadsorpsi (Ketaren, 1986; Rini, 2010). Adsorpsi adalah peristiwa penyerapan pada permukaan suatu adsorben misalnya adsorpsi zat padat terhadap gas atau zat cair (Kasmadi, 2002; Rini, 2010). Peristiwa adsorpsi dapat terjadi pada adsorben yang pada umumnya berupa zat padat. Adsorpsi pada zat padat dibedakan menjadi dua yaitu adsorpsi fisik dan kimia. Pada adsorpsi fisik, molekul-molekul teradsorpsi pada permukaan dengan ikatan yang lemah. Adsorpsi fisik umumnya terjadi pada temperatur rendah dan dengan bertambahnya temperatur jumlah adsorpsi berkurang. Pada adsorpsi kimia, molekul-molekul yang teradsorpsi pada permukaan bereaksi secara kimia sehingga terjadi pemutusan dan pembentukan ikatan.

2.3.3 Dehidrasi Bioetanol menggunakan Zeolit Alam dan Zeolit Sintetis

Penggunaan zeolit meningkat tiap tahunnya sebesar 1,6 juta ton/tahun. Jumlah sebesar 1,1 ton merupakan zeolit A yang merupakan hasil sintesis di laboratorium (Pfeninger 1999). Zeolit sintetis (Zeolit A) digunakan sebagai deterjen "*builders*" dalam industri deterjen yang mencapai 40 % berat deterjen (Mortimer & Taylor 2002; Pfeninger 1999), untuk melembutkan air sadah (*hard water*) terutama dalam menghilangkan ion kalsium yang ada di dalam air (Mortimer & Taylor 2002). Sementara itu, zeolit A juga berperan besar dalam bidang adsorpsi dan dehidrasi terutama menghilangkan kelembaban dan substansi

asing dari campuran gas atau cairan (Pfeninger 1999). Penggunaan zeolit A secara lebih luas dalam bidang adsorpsi, diantaranya adalah pada proses pembuatan etanol anhidrat dengan memisahkan campuran azeotrop etanol-air (95,57 % berat etanol) (Tahezadeh & Karimi 2008) menggunakan zeolit sebagai adsorben. Zeolit A yang dapat digunakan pada proses dehidrasi atau pengeringan etanol adalah zeolit 3A dan 4A (Al-Asheh *et al.* 2004).

Proses sintesis zeolit A di laboratorium masih mengacu pada metode yang digunakan oleh Richard Barrer melalui metode hidrotermal pada kisaran temperatur antara 100 – 250 C dengan nilai pH yang tinggi (Mortimer & Taylor 2002). Sebagian besar peneliti melakukan sintesis zeolit A pada temperatur di bawah 100 C seperti yang dilakukan oleh Leonard (1981), Sun (1983), Vaughan (1985), Kuznicki *et al.* (2002), dan Diaz *et al.* (2010).

Zeolit tipe A diperoleh melalui sintesis menggunakan sumber silika dan alumina maupun menggunakan zeolit alam jenis klinoptilolit (Leonard 1981; Sun 1983) dengan penambahan sumber alumina dan larutan NaOH sebagai promotor dengan kadar 10 – 20 %. Sumber silika yang digunakan antara lain silika gel, asam silikat (*silicic acid*), *aqueous colloidal silika sols*, dan Na/K-silikat, sedangkan sumber aluminanya berupa $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, kaolin, halloisit, metakaolin, aluminium sulfat, dan yang sejenis. Natrium atau kalium aluminat yang dibuat dengan melarutkan $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ dalam larutan KOH atau NaOH pada 60 – 100 C menjadi pilihan utama (Vaughan 1985). Proses sintesis zeolit 3A dapat dilakukan melalui pertukaran ion terhadap zeolit A (zeolit 4A) ataupun sintesis langsung tanpa tahap pertukaran ion dengan perbandingan komposisi Na dan K yang sesuai

(Vaughan 1985). Proses dilakukan secara hidrotermal dengan kondisi proses diatur pada rentang temperatur 80 – 100 C dan lamanya proses berkisar antara 4 jam sampai dengan 6 hari (Diaz *et al.* 2010; Kuznicki *et al.* 2002; Vaughan 1985). Zeolit A yang dihasilkan dari proses di atas memiliki sifat-sifat yang sesuai untuk digunakan pada proses separasi (pemisahan) campuran etanol-air (Diaz *et al.* 2010).

Berikut adalah beberapa penelitian tentang dehidrasi etanol. Khaidir (2012) melaporkan bahwa persentase kenaikan kadar bioetanol menggunakan Zeolit Alam Modifikasi (ZAM) yakni ZAM1 dan ZAM4 pada dehidrasi bioetanol 90 % berturut-turut adalah 1,22 % dan 1,38 %, sedangkan pada bioetanol 95 % adalah sebesar 1,27 % dan 1,08 %. Sementara itu besarnya peningkatan kadar bioetanol menggunakan zeolit alam murni pada bioetanol 90 % dan 95 % berturut-turut adalah 0,62 % dan 0,72 %. Dan juga menggunakan metode perendaman (*batch adsorption*) dengan persentase kenaikan etanol pada ZAM2 dan ZAM5 bioetanol 90 % berturut-turut adalah 1,22 % dan 1,38 %, sedangkan pada bioetanol 95 % adalah 1,27 % dan 1,08 %. Rahman dkk (2012) menyatakan bahwa kadar gula yang terdapat dalam kulit nanas yang hanya sekitar 8 % didapatkan kadar bioetanol tertinggi setelah destilasi hanya sebesar 3,9 %, dan dengan destilasi berulang selama tiga kali konsentrasi bioetanol tetap tidak meningkat, untuk itu diperlukan metode alternatif permunian lain yaitu dengan proses adsorpsi. Adsorben yang digunakan pada penelitian ini adalah zeolit alam dan batu kapur yang didapatkan dari daerah selatan kota Malang. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan performance adsorben zeolit alam dan batu

kapur pada pemurnian bioetanol yang dihasilkan dari kulit nanas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar bioetanol meningkat menjadi 27,22 % setelah dilewatkan adsorben zeolit dan batu kapur. Fauzi dkk (2012), melaporkan bahwa proses dehidrasi dari sampel limbah pod kakao dengan parameter dehidrasi 3 variabel jenis adsorben yakni molecular sieve 3A, silica gel dan kombinasi molecular sieve dan silica gel dengan kadar etanol sebelum adsorpsi 95,87 % menghasilkan kadar etanol masing-masing yaitu molecular sieve 3A 99,16 %, silica gel 97,97 % dan kombinasi molecular sieve dan silica gel 98,46 %.

Untuk mendapatkan hasil terbaik dalam proses ini, zeolit alam harus dimodifikasi sesuai dengan zeolit sintetis 3 A komersil. Zeolit 3 A merupakan zeolit yang sering digunakan dalam proses dehidrasi etanol karena mempunyai kapasitas adsorpsi yang cukup tinggi. Kemampuan adsorpsinya sebesar 0,1861 gram air/gram zeolit (Fauzi, 2012). Kemampuan adsorpsi zeolit alam tanpa aktivasi hanya sebesar 0,077 gram air/gram zeolit (Kurniasari, 2011). Untuk mendapatkan zeolit dengan kemampuan adsorpsi seperti zeolit 3 A maka perlu dilakukan proses modifikasi rasio Si/Al melalui proses aktivasi.

2.3.3.1 Modifikasi Rasio Si/Al

Modifikasi rasio Si/Al zeolit sengaja dibuat untuk mendapatkan zeolit dengan kemurnian yang lebih baik dengan mengatur perbandingan Si/Al. Berdasarkan nilai Si/Al, zeolit dapat dikelompokkan menjadi 4 kelompok yaitu (Rohatin, 2011):

1. Zeolit kadar Si rendah (kadar Si/Al=1-4) digunakan untuk adsorpsi senyawa polar. Contoh zeolit tipe 3A

2. Zeolit kadar Si sedang (kadar Si/Al=5-10)
3. Zeolit kadar Si tinggi (kadar Si/Al=11-100) digunakan untuk menyerap molekul non-polar
4. Zeolit Si (tanpa Al) digunakan untuk memisahkan suatu molekul organik dari suatu campuran air.

Perbandingan antara atom Si dan atom Al yang bervariasi akan menghasilkan banyak jenis zeolit yang terdapat di alam. Perbandingan Si/Al inilah yang akan mempengaruhi efektifitas pemurnian etanol karena diperoleh pori, komposisi dan saluran rongga yang optimum. Beberapa zeolit alam dan sifat fisiknya digambarkan pada Tabel 2.3:

Tabel 2.3 Jenis mineral zeolit alam dan sifat fisiknya (Hendrawan, 2010)

Jenis mineral zeolit	Rumus kimia	Rasio Si/Al	Diameter pori
Analsim	$\text{Na}_{16}[\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}]10\text{H}_2\text{O}$	2	2,6
Kabazit	$\text{Ca}_{16}[\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24}]13\text{H}_2\text{O}$	3	3,7-4,2
Filipsit	$\text{K}_2\text{Ca}_{1,5}\text{Na}[\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32}]12\text{H}_2\text{O}$	1,67	2,8-4,8
Klinoptilolit	$\text{Na}_6[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}]24\text{H}_2\text{O}$	5	3,9-5,4
Erionit	$\text{Na}_2\text{K}_2\text{Mg}_{0,5}\text{Ca}_2[\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}]27\text{H}_2\text{O}$	3	3,6-5,2
Ferrierit	$\text{Na}_2\text{Ca}_{0,5}\text{Mg}_2[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}]20\text{H}_2\text{O}$	5	3,4-5,5
Modernit	$\text{Na}_8[\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}]24\text{H}_2\text{O}$	5	2,9-7,0
Laumonit	$\text{Ca}_6[\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{46}]16\text{H}_2\text{O}$	2	4,6-6,3

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Setiadi dan Pertiwi (2007), dapat diketahui komposisi kimiawi zeolit alam Malang hasil analisis dengan XRF (Tabel 2.4). Dimana perbandingan rasio Si/Al adalah sebesar 5,17

Tabel 2.4 Hasil analisis XRF zeolit alam

Rumus kimia	Wt (%)	Rumus kimia	Wt (%)
Mg	1,3434	MgO	1,5965
Al	7,9040	Al ₂ O ₃	10,2816
Si	38,9490	SiO ₂	53,2322
K	2,3985	K ₂ O	1,5275
Ca	39,9281	CaO	27,6908
Mn	0,3461	MnO	0,1886
Fe	8,0806	Fe ₂ O ₃	4,8386
Sr	0,2944	SrO	0,1374
S	0,2282	S	0,1267

Sumber: Setiadi dan Pertiwi (2007)

Setiadi dan Pertiwi (2007), selain menganalisis Zeolit alam Malang dengan XRF, mereka juga menganalisis dengan XRD. Tujuannya adalah untuk mengetahui persen kristalinitas zeolit alam Malang. Perhitungan persen kristalinitas zeolit alam Malang dilakukan dengan membandingkan posisi puncak yang sama dengan puncak dari Mordenit sebagai standar, dan dilakukan penjumlahan *peak intensity* (counts) untuk kedua spektrum tersebut dengan posisi puncak yang simetrik sama. Zeolit alam Malang merupakan jenis modernit. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kristalinitas Mordenit zeolit alam Malang sebesar 44,1 % yang berarti kandungan Modernit dalam zeolit alam Malang relatif tinggi. Zeolit alam Malang ini perlu diaktivasi agar diperoleh sifat-sifat menyerupai zeolit sintetis 3 A.

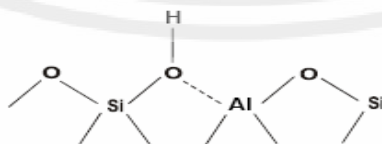
Zeolit alam jenis modernit mempunyai struktur kristal berbentuk ortorombik yang terdiri dari cincin 8 dan cincin 12 dan terletak dalam dua bidang yang saling tegak lurus dan membentuk saluran-saluran dengan ukuran masing-masing 2,6 x 5,7 angstrom dan 6,7 x 7,0 angstrom serta mempunyai total volume rongga 28%. Pada umumnya modernit mengandung ion Na, Ca dan K. sifat

adsorpsi modernit ditentukan oleh ukuran rongga, sehingga hanya molekul-molekul yang berdiameter lebih kecil yang dapat diserap oleh moderit terhidrasi (Hendrawan, 2010).

2.3.3.2 Aktivasi Zeolit Alam

Zeolit terdapat secara alami di permukaan tanah. Saat ini banyak jenis zeolit alam yang telah ditemukan dan dikelompokkan berdasarkan kesamaan strukturnya. Meskipun zeolit sintetis juga telah banyak diproduksi, namun zeolit alam tetap mempunyai peranan penting karena ketersediaannya yang melimpah di alam, khususnya di Indonesia (Senda dkk., 2006).

Berbeda dengan zeolit sintetis yang strukturnya dapat diprediksi dari senyawa penyusunnya, zeolit alam mempunyai struktur yang tidak selalu sama, tergantung pada kondisi pembentukannya di alam. Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit-unit tetrahedral $[\text{AlO}_4]^{5-}$ dan $[\text{SiO}_4]^{4+}$. Penggabungan satuan tetrahedron satu dengan lainnya terjadi adanya pemakaian bersama satu atom oksigen oleh dua tetrahedral, seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.6:



Gambar 2.6 Penggabungan satuan SiO_4^{4-} dan AlO_4^{5-} (TO_4) (Smart dan Moore, 1993)

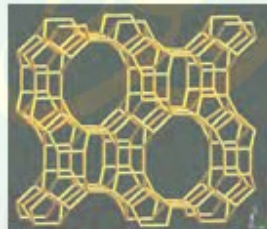
Rumus untuk satuan sel zeolit yang didefinisikan oleh *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) adalah $\text{M}_{x/n} [(\text{AlO}_2)_x (\text{SiO}_2)_y] \cdot z \text{H}_2\text{O}$.

Dimana M merupakan kation alkali atau alkali tanah, n adalah valensi logam alkali/alkali tanah dan valensi n dapat menetralkan muatan negatif pada kerangka aluminosilikat, x dan y adalah bilangan tetrahedral $[\text{AlO}_4]^{5-}$ dan $[\text{SiO}_4]^{4-}$ serta z merupakan jumlah molekul air yang terhidrat (Martin, 2000).

Unit penyusun zeolit serta struktur 3 dimensi material zeolit digambarkan pada Gambar 2.7 dan 2.8 berikut:



Gambar 2.7 Unit penyusun zeolit (Swantomo, dkk, 2009).



Gambar 2.8 Contoh struktur 3 dimensi zeolit alam (Rosdiana, 2006).

Tetrahedral $[\text{AlO}_4]^{5-}$ bermuatan negatif, sehingga zeolit alam dan zeolit sintesis memerlukan kation logam alkali (Na^+ , K^+) dan atau alkali tanah (Ca^{2+} , Ba^{2+}) sebagai pusat penyeimbang muatan untuk menjaga kenetralan muatan zeolit (Smart, 1993). Pada penggunaan zeolit alam sebagai adsorben dibutuhkan proses aktivasi. Proses aktivasi ini diperlukan untuk meningkatkan sifat khusus zeolit dan

menghilangkan unsur pengotor (Rosita dkk., 2004). Proses aktivasi juga dapat merubah jenis kation, perbandingan Si/Al serta karakteristik zeolit agar sesuai dengan bahan yang akan dijerap.

Secara umum, ada dua proses aktivasi yang bisa dilakukan terhadap zeolit alam, yaitu aktivasi secara fisis dengan pemanasan, aktivasi secara kimia dengan asam dan aktivasi secara kimia dengan basa.

a. Aktivasi Fisika (Hendrawan, 2010)

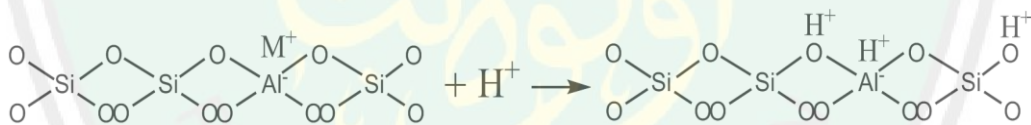
Pemanasan bertujuan untuk menguapkan air yang terperangkap di dalam pori-pori kristal zeolit, sehingga luas permukaannya bertambah (Khairinal, 2000). Proses aktivasi dengan panas dapat dilakukan pada suhu antara 200-400 °C selama beberapa jam, tergantung besarnya kandungan unsur pengotor yang ada serta stabilitas zeolit terhadap panas. Stabilitas ini dipengaruhi oleh jenis mineral zeolit yang terkandung. Proses pemanasan zeolit dikontrol karena pemanasan yang berlebihan akan menyebabkan zeolit tersebut rusak.

b. Aktivasi kimia

Aktivasi zeolit secara kimia dilakukan dengan cara perendaman dan pengadukan dalam larutan kimia. Aktivasi ini bertujuan untuk membersihkan permukaan pori, membuang senyawa pengotor dan mengatur kembali letak atom yang dapat dipertukarkan. Proses aktivasi dengan asam dapat meningkatkan kristalinitas, keasaman dan luas permukaan zeolit (Hari,2001). Perlakuan asam telah berhasil melepaskan aluminium dari kerangka zeolit dan mampu meningkatkan keasaman zeolit. Peningkatan keasaman zeolit mampu memperbesar

kemampuan penyerapan zeolit. Hal itu terjadi karena banyaknya pori-pori zeolit yang terbuka dan permukaan padatnya menjadi bersih dan luas.

Menurut Setyawan dan Handoko (2003) menyatakan bahwa penggunaan larutan HCl 4 M dapat menghilangkan oksida-oksida pengotor tetapi tidak merusak struktur kristal zeolit. Selain itu, penambahan HCl digunakan untuk pertukaran ion logam-logam yang terikat pada zeolit alam. Reaksi pertukaran ion pada zeolit terjadi apabila kation-kation yang awalnya berada dalam sistem berpori dalam kristal digantikan ion-ion lainnya dari larutan (Fatimah, 2000). Dimana dalam penelitian ini ion-ion logam yang terikat pada zeolit alam akan digantikan oleh ion-ion H^+ yang dihasilkan dari ionisasi HCl dalam medium air. Reaksi pertukaran ion dapat dilihat seperti pada gambar 2.9 berikut:



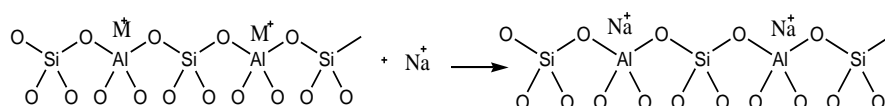
Gambar 2.9 Reaksi pertukaran ion pada aktivasi asam (Setyawan, 2003)

Sementara aktivasi dengan basa dapat dilakukan dengan larutan NaOH, dimana penurunan rasio Si/Al akan terjadi pada aktivasi dengan pH tinggi (Jozefaciuk dan Bowanko, 2002). Pada proses aktivasi dengan NaOH, akan terjadi proses pelarutan silika yang merupakan salah satu komponen dalam kerangka zeolit (Jozefaciuk dan Bowanko, 2002). Pelarutan silika akan menyebabkan perubahan struktur zeolit serta berkurangnya silika dalam kerangka zeolit sehingga rasio Si/Al menurun. Penurunan rasio ini akan meningkatkan kapasitas

adsorpsi dan selektivitas zeolit terhadap molekul-molekul polar seperti air (Bonenfant dkk., 2008).

Polaritas molekul yang teradsorpsi oleh zeolit juga mempunyai peranan yang cukup penting yang mempengaruhi interaksinya dengan bidang listrik zeolit. Untuk molekul-molekul polar seperti air, maka gaya yang bekerja adalah gaya elektrostatik. Molekul yang polar seperti air akan berinteraksi secara kuat dengan bidang listrik zeolit, sehingga proses adsorpsi uap air oleh zeolit akan lebih mudah terjadi. Pada rasio Si/Al rendah maka pori-pori zeolit mempunyai bidang listrik yang lebih tinggi yang disebabkan oleh meningkatnya "charge site" pada permukaan zeolit. Peningkatan bidang listrik pada permukaan zeolit ini terutama disebabkan oleh meningkatnya jumlah kation yang dapat dipertukarkan (*exchangeable cation*).

Selain penurunan Si/Al rasio, aktivasi dengan NaOH juga bertujuan untuk menghilangkan ion-ion tertentu dari kerangka zeolit dan menggantinya dengan ion Na^+ sehingga zeolit alam mempunyai kondisi yang semakin mendekati bentuk homoionik. Dengan bentuk homoionik, molekul zeolit akan mempunyai ukuran pori yang relatif sama, sehingga diharapkan kemampuan dan selektivitas adsorpsinya terhadap air juga akan lebih baik. Berikut adalah ilustrasi proses aktivasi zeolit alam dengan larutan NaOH ditunjukkan pada gambar 2.10:



Gambar 2.10 Reaksi pertukaran ion pada aktivasi basa (Inglezakis dkk., 2001)

Dari proses aktivasi zeolit baik secara asam maupun basa, diperoleh hasil bahwa zeolit yang diaktivasi dengan basa akan menjadi lebih polar bila dibandingkan dengan zeolit yang diaktivasi dengan asam (Jozefaciuk dan Bowanko, 2002). Perlakuan dengan asam terhadap zeolit juga terbukti akan menyebabkan zeolit menjadi lebih hidrofobik sehingga daya adsorpsinya terhadap air akan berkurang (Sumin dkk., 2009). Semakin tinggi konsentrasi asam yang digunakan maka daya adsorpsi zeolit terhadap uap air menjadi semakin kecil (Ozkan dan Ulku, 2005).

Berdasarkan kajian diatas, diketahui bahwa aktivasi zeolit menggunakan senyawa basa mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi zeolit terhadap senyawa polar (*hidrofilik*). Berikut adalah beberapa penelitian yang mengkaji tentang kemampuan adsorpsi zeolit teraktivasi basa terhadap pemisahan etanol air. Nais (2011), melaporkan bahwa pada konsentrasi NaOH 1 M masih terdapat pengotor seperti kuarsa, dan kristal hidroksisodalite, bahkan pada waktu operasi yang singkat (1-2 jam) masih ditemukan adanya mordenit yang belum termodifikasi. Sedangkan pada konsentrasi NaOH 4 M diperoleh zeolit A yang disertai jenis zeolit lain seperti SAPO-20, ZK-21 dan beberapa jenis Kristal zeolit yang belum memiliki nama. Bahkan untuk konsentrasi NaOH yang sangat tinggi (12 M) tidak ditemukan adanya zeolit A, namun hanya ditemukan beberapa jenis zeolit yang belum memiliki nama dan *natrodavyne* (Sodium Aluminum Carbonate Silicate). Pada percobaan ini dilakukan variasi terhadap konsentrasi NaOH dalam proses aktivasi. Variasi konsentrasi NaOH adalah 1, 2, 3, 4 dan 12 M. Zeolit alam yang mayoritas berupa klinoptilolit dengan rasio $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ semula 8,20 dapat di

modifikasi hingga rasionya menjadi 1,641 dengan proses yang berlangsung pada suhu 80 C, konsentrasi NaOH 2 M dan waktu operasi 8 jam. Kapasitas adsorbsinya meningkat 16,547 % dari kapasitas adsorpsi sebelum aktivasi yang hanya 4,3103. Kurniasari (2011) juga melakukan variasi konsentrasi NaOH pada proses aktivasi zeolit. Variasi NaOH yang digunakan adalah 0,5, 1 dan 2 N. Pada proses aktivasi zeolit dengan penambahan NaOH 1 N dan dipanaskan pada suhu 70 °C mampu meningkatkan kemampuan adsorpsi air sebesar 0,171 gr uap air/gr adsorben. Hal ini lebih baik jika dibandingkan dengan zeolit alam tidak diaktivasi yang hanya sebesar 0,077g uap air/g adsorben. Khaidir (2012) menyatakan bahwa konsentrasi optimum yang digunakan dalam proses aktivasi NaOH adalah 3,5 M dimana mampu menaikkan kapasitas adsorpsi zeolit sebesar 1,22 %.

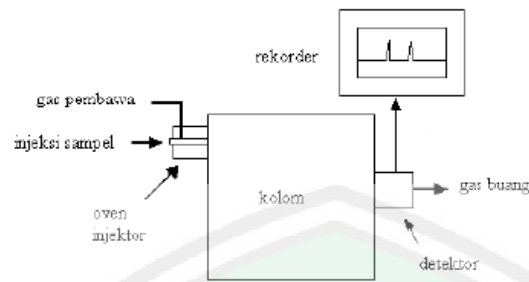
Novitasari (2012) melaporkan bahwa dengan semakin banyak zeolit yang ditambahkan maka kemampuan mengadsorb air pun akan semakin tinggi, tetapi peningkatan ini juga diikuti dengan volume etanol yang semakin berkurang karena etanol ikut teradsorb. Zeolit yang digunakan merupakan zeolit alam dan zeolit 4A. Kurniasari (2011) melaporkan kemampuan adsorb zeolit yang teraktivasi basa mampu menyerap air 0,077 gram uap air/ gram adsorben. Sedangkan untuk aktivasi fisik (pemanasan) menunjukkan kemampuan adsorpsi air dengan kondisi pemanasan 300 °C selama 3 jam dengan kemampuan adsorpsi sebesar 0,137 gram uap air/ gram adsorben.

2.4 Analisis Kadar Etanol dengan Metode Kromatografi Gas (GC)

Untuk menentukan kadar baik dalam makanan dan minuman, obat-obatan dan kosmetik dapat dilakukan dengan beberapa metode diantaranya yaitu volumetric, penentuan berat jenis, penentuan indek refraksi, penentuan titik didih, kromatografi gas, dan secara enzimatik (Anonymous, 2012). Diantara metode-metode tersebut, kromatografi gas adalah metode yang paling sering digunakan (Harjana, 2000).

Kromatografi gas adalah teknik kromatografi yang bisa digunakan untuk memisahkan senyawa organik yang mudah menguap. Senyawa yang dapat dipisahkan dengan kromatografi gas sangat banyak, namun ada batasan-batasannya. Senyawa tersebut harus mudah menguap dan stabil pada temperature pengujian, utamanya dari 50 – 300 C. Jika senyawa tidak mudah menguap atau tidak stabil pada temperatur pengujian, maka senyawa tersebut bisa diderivatisasi agar dapat dianalisis dengan kromatografi gas (Mardoni, dkk., 2007). Penentuan kadar etanol yang terdapat dalam sampel dapat dilakukan dengan menggunakan metode kromatografi gas (GC). Metode ini dapat digunakan karena metode ini

Pada kromatografi gas, fase gerakanya berupa gas yang inert (tidak bereaksi), sedangkan fase diamnya dapat berupa zat padat atau zat cair. Pemisahan tercapai dengan partisi sampel antara fase gas bergerak dan fase diam berupa cairan dengan titik didih tinggi (tidak mudah menguap) yang terikat pada zat padat penunjangnya (Khopkar, 2003). Untuk memahami bagaimana proses kromatografi gas berlangsung dapat dilihat dari diagram alat kromatografi gas pada Gambar 2.11



Gambar 2.11 Rangkaian Alat Kromatografi Gas (Bulan, 2004)

Mekanisme kerja kromatografi gas adalah sebagai berikut. Gas dalam silinder baja bertekanan tinggi dialirkan melalui kolom yang berisi fase diam. Cuplikan yang berupa campuran yang akan dipisahkan, biasanya dalam bentuk larutan, disuntikkan ke dalam aliran gas tersebut. Kemudian cuplikan dibawah oleh gas pembawa ke dalam kolom dan didalam kolom terjadi proses pemisahan. Komponen campuran yang telah terpisahkan satu persatu meninggalkan kolom. Suatu detektor yang diletakkan di ujung kolom untuk mendeteksi jenis maupun jumlah tiap komponen campuran. Hasil pendeteksian direkam dengan recorder dan dinamakan kromatogram yang terdiri dari beberapa peak dan jumlah peak yang dihasilkan menyatakan jumlah komponen (senyawa) yang terdapat dalam campuran (Hendayana, S., 2006).

Kromatografi gas cair yang lebih dikenal dengan kromatografi gas (GC) mempunyai dasar pemisahan partisi cuplikan pada lapisan tipis fasa diam tersebut. Dengan menganggap bahwa waktu penahanan untuk setiap senyawa berbeda maka kromatografi gas ini dapat digunakan sebagai analisis kualitatif dan analisis kuantitatif. Analisis kualitatif berdasarkan pada perbandingan waktu retensi yaitu waktu yang diperlukan untuk mengeluskan senyawa setelah diinjeksikan. Waktu

retensi dibandingkan dengan waktu retensi senyawa standar dan metode ini disebut metoda *spiking* yaitu dengan menambahkan senyawa cuplikan kepada senyawa yang akan dianalisis. Pada analisis kuantitatif jumlah (%) suatu senyawa dihitung berdasarkan pada pengukuran luas puncak kromatogram. Puncak-puncak pada kromatogram mirip seperti segitiga.

Metode kuantifikasi untuk analisis kuantitatif dengan kromatografi gas dapat dilakukan dengan menggunakan metode baku eksternal, normalisasi internal, dan baku internal. Metode baku internal dapat menghilangkan pengaruh karena adanya perubahan-perubahan ukuran sampel atau konsentrasi karena variasi instrumen. Salah satu alasan utama digunakan baku internal adalah jika suatu sampel memerlukan perlakuan sampel yang sangat signifikan. Syarat-syarat suatu senyawa dapat digunakan sebagai baku internal adalah (Rohman dan Gandjar, 2007):

1. Terpisah dengan baik dari senyawa yang dituju atau puncak-puncak yang lain
2. Mempunyai waktu retensi yang hampir sama dengan analit
3. Tidak terdapat dalam sampel.
4. Mempunyai kemiripan sifat-sifat dengan analit dalam tahapan-tahapan penyiapan sampel
5. Tidak mempunyai kemiripan secara kimiawi dengan analit
6. Tersedia dalam perdagangan dengan kemurnian yang tinggi
7. Stabil dan tidak reaktif dengan sampel atau dengan fase gerak

8. Mempunyai respon detektor yang hampir sama dengan analit pada konsentrasi yang digunakan

Dengan metode baku internal, kurva baku dihasilkan dengan mempersiapkan beberapa larutan baku yang mengandung konsentrasi yang berbeda dari senyawa yang dituju dengan ditambahkan sejumlah konsentrasi tertentu yang tetap dari larutan baku internal (Rohman dan Gandjar, 2007).

Konsentrasi (X) yang akan diplotkan ke dalam kurva berupa perbandingan antara berat sampel dan berat standar. Sedangkan Y merupakan perbandingan luas area sampel dan luas area standar internal. Hubungan antara konsentrasi (X) dan luas area (Y) menghasilkan persamaan regresi yang akan digunakan untuk menghitung kadar bioetanol (Rohman, 2007):

2.5 Perspektif Islam Tentang Pemanfaatan Sumber Daya Molase dan Zeolit

Konseptualisasi lingkungan atau alam dalam Islam merupakan pemahaman rasional terhadap ayat-ayat *kauniyah* yang terbentang di hadapan manusia, di samping ayat-ayat *qauliyah* yang cenderung menjelaskan tentang alam dan seluruh isinya.

Keberadaan alam dan seluruh benda-benda yang terkandung di dalamnya merupakan suatu kesatuan yang tidak terpisahkan. Secara keseluruhan saling membutuhkan, dan saling melengkapi kekurangannya. Kelangsungan hidup dari setiap unsur kekuatan alam terkait dengan keberadaan hidup kekuatan lain. Kejadian alam dan apa yang di dalamnya saling mendukung sehingga ia disebut

alam secara keseluruhan. Alam dan apa-apa yang ada di dalamnya seperti tumbuh-tumbuhan dan binatang termasuk manusia dan benda mati yang ada di sekitarnya, serta kekuatan alam lainnya seperti angin, udara dan iklim hakekatnya adalah bagian dari keberadaan alam. Hal ini menjadi dasar umat manusia untuk selalu mensyukuri nikmat Allah yang telah menciptakan alam semesta tersebut. Allah SWT berfirman dalam surat ali Imran 190-191 yang berbunyi:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَأَخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ ﴿١٩٠﴾ الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطْلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

Artinya: "Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal, (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): "Ya Tuhan Kami, Tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha suci Engkau, Maka peliharalah Kami dari siksa neraka." (Q.S al Imran: 190-191)

Tafsir Al-Maraghi (1993) memberikan penjelasan tentang ayat di atas bahwa tidak ada sesuatu yang Allah ciptakan yang tidak berarti dan sia-sia, bahkan semua ciptaanNya adalah hak, yang mengandung hikmah-hikmah yang agung dan masalah-maslahat yang besar. Seorang mukmin yang mau menggunakan akal pikirannya selalu mengharapakan kepada Allah dengan pujian, doa, dan ibtihal, sesudah ia melihat bukti-bukti yang menunjukkan kepada keindahan hikmah. Ia (manusia) akan mempunyai pengetahuan yang luas tentang detail-detail alam semesta yang menghubungkan antara manusia dengan

tuhannya. Orang-orang berakal seharusnya berpikir bahwa Allah tidak hanya menciptakan manusia untuk selalu menyembah kepada-Nya akan tetapi lebih dari itu Allah juga menciptakan manusia untuk suatu tujuan lain yaitu mengatur bagaimana manusia berhubungan dengan sesama manusia bahkan dengan lingkungan alam ciptaan-Nya.

Manusia diamanahkan oleh Allah untuk menjadi khalifah di muka bumi ini, artinya manusialah yang diberi wewenang untuk memanfaatkan, menjaga dan melestarikannya, akan tetapi setelah begitu nyaman dengan hak yang diberikan oleh Allah untuk memanfaatkannya, kebanyakan manusia lupa dengan kewajibannya untuk menjaga agar lingkungan tersebut tetap stabil. Lebih dari itu bahkan manusia melakukan kerusakan di dalamnya. Hal ini sebagaimana yang termaktub dalam surat ar Rum ayat 41 yaitu:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ
يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

Artinya: "telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)". (Q.S ar Rum: 41)

Menurut tafsir Departemen Agama (1993), kerusakan di darat dan di laut itu akibat perbuatan dari tangan manusia sendiri. Kerusakan-kerusakan terjadi bersamaan dengan adanya manusia. Adanya pencemaran lingkungan, kebakaran, kekeringan dan kerusakan-kerusakan yang lainnya disebabkan oleh kejahatan dan dosa-dosa yang diperbuat manusia.

Keserakahan dan ketamakan manusia yang sudah mulai tidak terkendali membuat kerusakan alam disekitar semakin parah. Meskipun sebenarnya kerusakan lingkungan itu terjadi karena dua faktor yaitu faktor alam dan faktor manusia. Akan tetapi faktor manusialah yang justru lebih dominan dalam kerusakan lingkungan tersebut karena faktor alam hanya terjadi dalam tempo waktu tertentu dan pada tempat yang tertentu pula. Berbeda dengan kerusakan yang disebabkan oleh ulah manusia yang bisa berdampak hampir ke seluruh lapisan bumi.

Salah satu tuntunan terpenting Islam dalam hubungannya dengan lingkungan, ialah bagaimana menjaga keseimbangan alam/ lingkungan dan habitat yang ada tanpa merusaknya. Karena tidak diragukan lagi bahwa Allah menciptakan segala sesuatu di alam ini dengan perhitungan tertentu tanpa main-main. Seperti dalam firman-Nya dalam surat ad Dukhan 38:

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا لَعِبِينَ ﴿٣٨﴾

Artinya: "dan Kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada antara keduanya dengan bermain-main. (Q.S ad Dukhan 38)

Tafsir Al-Jazairi (2009) menyatakan bahwa ayat ini menjelaskan tentang maksud penciptaan Allah (langit dan bumi) dengan sungguh-sungguh mengandung hikmah yaitu agar manusia mensyukuri-Nya. Salah satu wujud syukur ini adalah dengan menjaga keseimbangan alam ciptaan Allah SWT.

Keseimbangan yang diciptakan Allah swt, dalam suatu lingkungan hidup akan terus berlangsung dan baru akan terganggu jika terjadi suatu keadaan luar biasa. Dan keadaan ini akan terjaga jika manusia menyikapi setiap persoalan-

persoalan lingkungan dengan bijak serta mengembalikannya sesuai keinginan Allah SWT. Salah satu dari faktor yang mempengaruhi kesetimbangan alam ini adalah melimpahnya limbah. Indonesia dikenal oleh dunia sebagai Negara agraris dimana setiap tahunnya menghasilkan limbah pertanian dalam jumlah besar. Setiap industri penghasil limbah tersebut belum melakukan penelitian lanjutan agar mampu memanfaatkan limbah menjadi benda dengan manfaat tinggi lainnya. Telah dilakukan berbagai penelitian terhadap berbagai limbah tersebut diantaranya sebagai sumber penghasil bioetanol.

Bioetanol dibuat dari tanam-tanaman berpati dan tanaman bergula. Dari tanaman tersebut sebagian besar merupakan bahan pangan yang mempunyai nilai ekonomis tinggi dan merupakan makanan pokok masyarakat Indonesia. Apabila bahan tersebut digunakan secara terus menerus maka kemungkinan akan terjadi krisis pangan. Sebagai alternatif, pembuatan etanol dapat dilakukan dengan menggunakan bahan limbah. Pemanfaatan limbah sangat penting untuk mengurangi pencemaran lingkungan, selain itu limbah juga mempunyai harga yang lebih murah. Umumnya limbah hasil pertanian ini masih mengandung sejumlah nutrisi, sehingga dapat dikonversi menjadi produk yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Pemanfaatan sumber daya alam khususnya yang saat ini tidak didaya gunakan menjadi sangat penting. Sebagaimana Allah SWT telah berfirman dalam al Quran surat al Isra ayat 27 yang berbunyi:

إِنَّ الْمُبَذِّرِينَ كَانُوا إِخْوَانَ الشَّيْطَانِ ط وَكَانَ الشَّيْطَانُ لِرَبِّهِ كَفُورًا ﴿٢٧﴾

Artinya: "Sesungguhnya pemboros-pemboros itu adalah saudara-saudara syaitan dan syaitan itu adalah sangat ingkar kepada Tuhannya". (Q.S al Isra: 27)

Tafsir Al-Jazairi (2009) memberikan definisi boros lebih merujuk pada penggunaan harta berupa uang. Karena mereka menghamburkan harta untuk bermaksiat dan berbuat fasik terhadap perintah Allah. Dan inilah kondisi setan hingga mereka menyerupainya maka jadilah mereka saudara-saudara setan. Lingkup pembahasan boros juga bisa dikaitkan dalam penggunaan harta berupa sumber daya alam yang tidak dikelola secara baik sehingga menimbulkan masalah lain berupa pencemaran lingkungan yaitu limbah. Salah satu limbah yang mampu menghasilkan bioetanol adalah molase (tetes tebu).

Kandungan gula dalam molase merupakan kebutuhan utama dalam proses fermentasi, karena gula tersebut akan dikonversi menjadi bioetanol. Kandungan molase diantaranya glukosa 21,7 %, sukrosa 34,19 %, air 26,46 %, dan abu 17,26 % sehingga merupakan bahan baku potensial untuk pembuatan etanol (Tarigan, 2009). Kandungan molase tersebut merupakan bahan baku potensial untuk pembentukan bioetanol. Bioetanol merupakan sumber daya energy alternatif yang dapat berfungsi sebagai pengganti bahan bakar minyak yang keberadaannya semakin langka. Bioetanol ini dihasilkan dari fermentasi glukosa (gula) yang dilanjutkan dengan proses destilasi. Apabila digunakan sebagai bahan bakar, bioetanol ini harus mempunyai kemurnian 99-100 %. Hal ini disebabkan karena kandungan air yang terdapat di dalamnya akan menyebabkan korosi pada mesin. Bioetanol hasil destilasi akan membentuk campuran *azeotrop*. Campuran azeotrop ini akan dipisahkan lagi dengan metode dehidrasi melalui prinsip adsorpsi menggunakan zeolit. Zeolit merupakan mineral yang tersedia dengan kelimpahan tinggi di alam, murah dan belum dimanfaatkan sebagaimana mestinya.

BAB III

METODOLOGI

3.1 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan September - Desember di Laboratorium Mikrobiologi Jurusan Biologi, Laboratorium Bioteknologi dan Laboratorium Organik Jurusan Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang serta Laboratorium Instrumentasi Politeknik Negeri Malang.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah ayakan 120 dan 150 mesh, neraca analitik, *bluetip*, *aluminium foil*, botol semprot, *furnice*, thermometer, *laminar air flow*, gelas beaker, Erlenmeyer, tabung reaksi, labu ukur, pipet ukur, pipet volume, bola hisap, pipet tetes, kaca arloji, pengaduk gelas, spatula, corong kaca, kertas saring, oven, *hotplate*, *autoclave*, *furnice*, *shaker*, neraca analitik, mortar dan alu, desikator, seperangkat alat destilasi, *hand brix refraktrometer* dan 1 set GC merk HP 5890.

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan adalah molase, aquades, zeolit dari daerah Sumber Manjing Malang, padatan NaOH, larutan H₂SO₄, glukosa, *yeast extract*, pepton, etanol p.a, padatan tawas, indikator universal.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimental laboratorik. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen dengan penulisan secara deskriptif untuk memberika informasi tentang pemurnian etanol hasil fermentasi molase menggunakan zeolit alam teraktivasi basa yang disusun secara faktorial dengan 2 faktor, yaitu faktor zeolit teraktivasi NaOH pada berbagai konsentrasi (faktor A) yang terdiri dari 4 level dan berat zeolit (faktor B) terdiri dari 3 level. Masing-masing perlakuan dilakukan pengulangan sebanyak 2 (dua) kali.

Adapun proses penelitian yang dilakukan dimulai dengan proses aktivasi zeolit. Zeolit lolos ayakan 120-150 mesh dimasukkan ke dalam beaker glass berisi NaOH dengan konsentrasi (1,2,3 dan 4 M) serta padatan tawas 107,38 gram (Khaidir, 2012). Dipanaskan pada suhu 80 °C selama 2 jam. Kemudian bahan disaring dan material padat dicuci dengan aquadest sampai pH netral. Kristal dikeringkan di oven pada suhu 80 °C selama 10 jam dan dikalsinasi pada suhu 650 °C selama 2 jam.

Selanjutnya adalah pembuatan etanol yang dimulai dengan preparasi bahan baku. Molase diencerkan terlebih dahulu hingga nilai Brix mencapai 20 % Brix. Selanjutnya molase dipreparasi dan ditambahkan H₂SO₄ untuk mengatur pH yang

dikehendaki yaitu pH 5. Molase yang telah dipreparasi kemudian ditambahkan inokulum *Saccharomyces cerevisiae* sebanyak 10 %, selanjutnya molase siap difermentasi dengan lama fermentasi 3 hari. Molase yang telah difermentasi selanjutnya didestilasi dengan suhu 78,5 - 85 °C. Destilat yang diperoleh diukur kadar bioetanolnya dengan alat kromatografi gas.

Selanjutnya Filtrat etanol hasil destilasi didehidrasi dengan menggunakan zeolit teraktivasi NaOH. Parameter yang dianalisis adalah kadar bioetanol hasil dehidrasi menggunakan zeolit teraktivasi NaOH

Faktor A (zeolit teraktivasi NaOH pada berbagai konsentrasi) terdiri dari 4 level yaitu:

1. A₁ : zeolit teraktivasi NaOH 1 M
2. A₂ : zeolit teraktivasi NaOH 2 M
3. A₃ : zeolit teraktivasi NaOH 3 M
4. A₄ : zeolit teraktivasi NaOH 4 M

Faktor B (berat zeolit) terdiri dari 3 level yaitu:

1. B₁ : 30 %
2. B₂ : 40 %
3. B₃ : 50 %

Tabel 3.1 Kombinasi perlakuan antara zeolit teraktivasi NaOH pada berbagai konsentrasi dan berat zeolit

A \ B	1 M	2 M	3 M	4 M
30 %	A ₁ B ₁	A ₂ B ₁	A ₃ B ₁	A ₄ B ₁
40 %	A ₁ B ₂	A ₂ B ₂	A ₃ B ₂	A ₄ B ₂
50 %	A ₁ B ₃	A ₂ B ₃	A ₃ B ₃	A ₄ B ₃

Pada proses dehidrasi etanol ini, zeolit yang telah diaktivasi ditambahkan ke dalam 20 mL etanol dengan variasi berat 30 %, 40 % dan 50 % berat etanol. Peningkatan kadar etanol kemudian dianalisis menggunakan kromatografi gas.

Pengamatan dilakukan terhadap persentase kenaikan kadar bioetanol (PKB) dan kapasitas adsorpsi zeolit terhadap air dalam bioetanol (KAZ). Persentase kenaikan kadar bioetanol (PKB) dapat dihitung menggunakan persamaan 1, sedangkan perhitungan persentase kapasitas adsorpsi zeolit terhadap air dalam bioetanol (KAZ) dilakukan menurut prinsip kesetimbangan massa persamaan 2 (Khaidir,)

Persentase Kenaikan Kadar Bioetanol (PKB) (%)

$$PKB = \frac{(\% \text{ akhir} - \% \text{ awal})}{\% \text{ awal}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Kapasitas Adsorpsi Air dari Zeolit (KAZ) (%)

$$KAZ = \frac{K_a \text{ awal} - K_a \text{ akhir}}{m \text{ Zeolit}} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Kadar air awal dan akhir dalam sampel bioetanol dapat dihitung menggunakan persamaan 3 dan 4.

$$K_a \text{ awal} = 100 - \% \text{ Bioetanol awal} \dots \dots \dots (3)$$

$$K_a \text{ akhir} = 100 - \% \text{ Bioetanol akhir} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana K_a = kadar air (g);

$\%B$ = persentase bioetanol (%);

3.4 Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa tahap yaitu:

1. Pembuatan Zeolit Teraktivasi NaOH
2. Pembuatan Media YPGA dan YPGB
3. Regenerasi *Saccharomyces cereviciae*
4. Pembuatan Inokulum
5. Fermentasi Molase Untuk Menghasilkan Etanol
6. Destilasi Hasil Fermentasi
7. Dehidrasi Etanol Hasil Destilasi
8. Analisis Kadar Etanol Hasil Dehidrasi Dengan Metode Kromatografi Gas
9. Analisis Data

3.5 Cara Kerja

3.5.1 Pembuatan Zeolit Teraktivasi NaOH

3.5.1.1 Preparasi

Zeolit yang digunakan diperoleh dari daerah Sumber Manjing Malang, Jawa Timur. Bentuk dan ukuran zeolit yang digunakan adalah bubuk 120-150 mesh dan dicuci dengan akuades. Disaring dengan kertas saring. Residu dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 4 jam (Mutngimaturrahmah, dkk., 2010).

3.5.1.1 Aktivasi Zeolit dengan NaOH dan Tawas

Zeolit alam hasil preparasi ditimbang sebanyak 25 gram dan dimasukkan ke dalam beaker glass berisi 450 mL NaOH masing-masing dengan konsentrasi (1,2, 3 dan 4 M) dan padatan tawas 107,38 gram (Nais, 2011). Beaker glass dipanaskan pada suhu 80 °C selama 8 jam. Kemudian bahan disaring untuk memisahkan antara liquid dan padatan. Material padat yang diperoleh dicuci berulang dengan aquadest sampai pH netral (Zuhaidha, 2012). Kristal dikeringkan di oven pada suhu 80 °C selama 10 jam dan dikalsinasi pada suhu 650 °C selama 2 jam (Nais, 2011).

3.5.2 Pembuatan Media

3.5.2.1 Pembuatan Media YPGA (*Yeast Extract Pepton Glucose Agar*) (Hartina, 2013)

Media YPGA dibuat dengan menimbang 0,5 g *pepton*, 0,25 g *yeast extract*, 1 g glukosa, dan 1,5 g agar, bahan-bahan tersebut kemudian dilarutkan dengan akuades 50 mL dan dipanaskan hingga mendidih. Selanjutnya media YPGA disterilisasi dengan *autoclave* pada suhu 121 °C dan tekanan 15 psi selama 15 menit. Larutan tersebut kemudian didinginkan dalam tabung reaksi pada keadaan miring hingga memadat. Media YPGA ini digunakan untuk regenerasi *Saccharomyces cerevisiae*.

3.5.2.2 Pembuatan Media YPGB (*Yeast Extract Pepton Glucose Broth*) (Hartina, 2013)

Media YPGB dibuat dengan menimbang 2,5 g *pepton*, 1,25 g *yeast extract*, dan 5 g glukosa, kemudian bahan-bahan tersebut dilarutkan dengan akuades 250 mL dan dipanaskan hingga mendidih. Selanjutnya media YPGB disterilisasi dengan *autoclave* pada suhu 121 °C dan tekanan 15 psi selama 15 menit. Media YPGB ini digunakan untuk pembuatan inokulum.

3.5.3 Regenerasi *Saccharomyces cereviciae*

Biakan *Saccharomyces cereviciae* diambil sebanyak dua ose dan dimasukkan ke dalam media YPGA, kemudian diinkubasi selama 2 hari pada suhu ruang. *Saccharomyces cereviciae* yang telah diregenerasi digunakan untuk pembuatan inokulum.

3.5.4 Pembuatan Inokulum (Hartina, 2013)

Pembuatan inokulum ini dilakukan dengan cara memindahkan 2 ose *Saccharomyces cereviciae* ke dalam 100 mL media YPGB, kemudian di goyang dengan *shaker* pada kecepatan 150 rpm selama 32 jam pada suhu 30 °C. Inokulum digunakan untuk fermentasi molase.

3.5.5 Preparasi Bahan Baku

3.5.5.1 Pembuatan Sampel Molase (Kultsum, 2009)

Molase yang telah diencerkan hingga 20 % Brix diambil sebanyak 600 mL kemudian dipanaskan dengan suhu 70 °C selama 30 menit dan disaring dengan kertas saring. Filtrat yang diperoleh ditambahkan urea sebanyak 0,6 %, kemudian filtrat dibagi menjadi 3 masing-masing 200 mL. Ditambahkan larutan H₂SO₄ 0,1 N untuk mengatur pH yang dikehendaki yaitu pH 5. Selanjutnya sampel disterilisasi ke dalam *autoclave* pada suhu 121 °C dan tekanan 15 psi selama 2 jam. Selanjutnya digunakan untuk fermentasi pembuatan bioetanol.

3.5.5.2 Fermentasi Molase Untuk Menghasilkan Etanol

Molase yang telah dipreparasi dengan pH 5 pada volume 200 mL ditambahkan inokulum *Saccharomyces cereviciae* yang telah mencapai fase log sebanyak 20 mL (Rahim, 2009), kemudian Erlenmeyer ditutup dengan kapas dan *dishaker* dengan kecepatan 150 rpm selama waktu fermentasi yang dikehendaki yaitu 3 hari (Periyasamy, 2009). Setelah proses fermentasi selesai, dilakukan penyaringan untuk memisahkan kotoran yang ada dan untuk memisahkan bioetanol dari media fermentasi selanjutnya dilakukan proses destilasi.

3.5.5.3 Destilasi Hasil Fermentasi Molase

Dirancang alat destilasi. Dimasukkan filtrat hasil fermentasi ke labu alas bulat yang telah di isi dengan batu didih sehingga volumenya setengah volume labu. Dialirkan air kondensor menggunakan air es lalu dihidupkan mantel pemanas dengan

suhu sedang. Ditampung destilat pada suhu 78,5 - 85 °C. Destilasi dihentikan jika sudah tidak ada destilat yang menetes dalam Erlenmeyer. Destilat yang didapat lalu dimasukkan dalam botol dan ditutup rapat. Destilat yang disimpan dalam botol siap untuk dianalisis dengan GC.

3.5.6 Dehidrasi Etanol Hasil Destilasi menggunakan Zeolit Teraktivasi NaOH

Dehidrasi menggunakan metode adsorpsi dilakukan menggunakan zeolit yang dihasilkan pada proses aktivasi NaOH (perlakuan 3.5.1.1). Perbandingan massa zeolit terhadap etanol yang digunakan pada proses dehidrasi adalah 30 %, 40 % dan 50 % ke dalam volume etanol hasil destilasi. Percobaan ini diawali dengan memasukkan etanol 20 mL hasil destilasi ke dalam Erlenmeyer lalu ditambahkan zeolit (Novitasari, 2012). Diaduk perlahan selama 30 menit pada suhu ruang menggunakan *magnetic stirrer* (Erlenmeyer ditutup), adsorben zeolit dipisahkan dengan pengendapan dan filtrasi (Nais, 2011). Kemudian dihitung perubahan konsentrasi etanol.

3.5.7 Analisis Kadar Etanol dengan Kromatografi Gas (KG) Metode Standar Internal

Pengujian kadar etanol dilakukan dengan menggunakan metode Kromatografi Gas (KG) melalui tahapan sebagai berikut :

1. Proses persiapan alat Kromatografi Gas (KG)
2. Analisis kadar alkohol dengan Kromatografi Gas (KG)

3.5.7.1 Proses Persiapan Alat Kromatografi Gas (KG)

Proses persiapan alat Kromatografi Gas (KG) adalah sebagai berikut; dinyalakan power alat KG dengan prosedur standart. Diatur kondisi kerja alat sebagai berikut; suhu injektor 100 °C, suhu kolom HP 608 45 °C, suhu detektor 100 °C, detektor FID, gas pembawa N₂, kecepatan 2 mL/menit, selanjutnya alat siap digunakan.

3.5.7.2 Analisis Kadar Bioetanol dengan Kromatografi Gas (KG)

3.5.7.2.1 Pembuatan Kurva Kalibrasi Etanol

Disiapkan larutan baku dengan variasi konsentrasi berupa standar 1, 2, 3, 4, dan 5. Ditambahkan senyawa pembanding (standar internal) dengan massa yang konstan ke dalam larutan standar. Konsentrasi (X) yang akan diplotkan ke dalam kurva berupa perbandingan antara berat etanol dan berat asetonitril. Sedangkan Y merupakan perbandingan luas area etanol dan luas area standar internal. Hubungan antara konsentrasi (X) dan luas area (Y) menghasilkan persamaan regresi yang akan digunakan untuk menghitung kadar bioetanol.

3.5.7.2.2 Analisis Kadar Bioetanol menggunakan GC Metode Standar Internal

Adapun tahapan Analisis kadar etanol dengan menggunakan Kromatografi Gas (GC) yaitu, ditambahkan senyawa pembanding (asetonitril) dengan massa yang konstan ke dalam larutan sampel. diambil (1 µl) dari masing-masing cuplikan dengan *syring*. Selanjutnya cuplikan diinjeksikan melalui injektor. Luas puncak etanol dari

kromatogram dihitung. Untuk menentukan kadar sampel dengan alat GC dilakukan dengan cara memasukkan perbandingan luas area sampel dengan luas area standar internal (Y) ke dalam persamaan regresi yang dihasilkan dari persamaan regresi kurva kalibrasi (Rohman, 2007).

3.5.8 Analisis Data

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan metode deskriptif. Data hasil penelitian disusun dalam tabel-tabel, diklasifikasikan sehingga merupakan suatu susunan urutan data dan dimuat dalam grafik untuk kemudian dintrepetasikan sesuai dengan hasil pengamatan yang ada. Data yang telah diperoleh dalam penelitian ini meliputi data yang didasarkan pada kadar etanol yang dihasilkan dari dehidrasi destilat hasil fermentasi molase dengan dengan kromatografi gas.

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Zeolit Teraktivasi NaOH

4.1.1 Preparasi Sampel

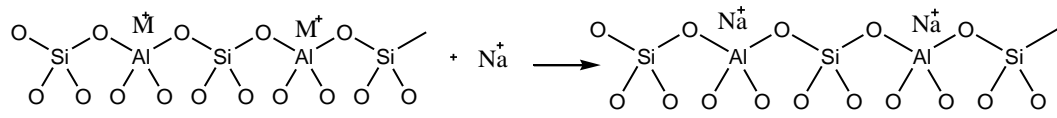
Zeolit yang digunakan dalam penelitian ini adalah zeolit alam yang berasal dari kecamatan Sumbermanjing kabupaten Malang. Zeolit alam Malang memiliki tekstur batuan yang berwarna hijau keabu-abuan. Dari analisis XRD yang dilakukan Botianovi (2012) didapatkan hasil bahwa zeolit alam Malang termasuk golongan mordenit. Setiadi & Pertiwi (2007) menyatakan bahwa perbandingan rasio Si/Al zeolit modernit hasil analisis XRF adalah 5,177. Zeolit ini harus diaktivasi agar diperoleh perbandingan rasio Si/Al yaitu 1:1 yang berfungsi untuk mengadsorpsi air dalam etanol. Perbandingan rasio Si/Al akan menentukan sifat spesifik dari zeolit dalam proses adsorpsinya. Zeolit dengan rasio Si/Al 1- 4 digunakan untuk dehidrasi dalam proses pemurnian etanol (Khaidir, 2012).

Preparasi dilakukan dengan cara mengayak serbuk zeolit dengan ukuran ayakan rentang 120-150 mesh untuk menghasilkan ukuran partikel seragam dan luas permukaan yang semakin besar, sedangkan penghilangan pengotor dilakukan dengan pencucian zeolit menggunakan akuades. Zeolit alam hasil preparasi dikeringkan dalam oven pada suhu 120 °C selama 4 jam untuk menghilangkan kandungan air (Mutngimaturrahmah, dkk., 2010). Selanjutnya zeolit yang kering dihaluskan kembali menggunakan mortar.

4.1.2 Aktivasi Zeolit Alam dengan NaOH dan Tawas

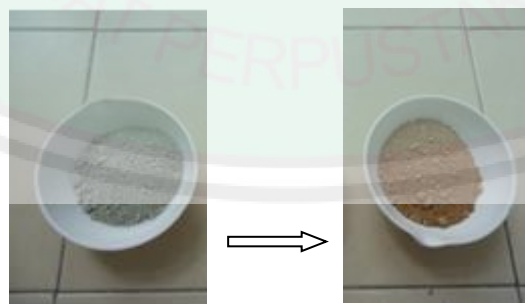
Zeolit alam hasil preparasi masih banyak mengikat logam alkali, alkali tanah seperti K, Ca, Fe, Cu, Ni, Zn dan persenyawaan lainnya (Botianovi, 2012), sehingga perlu dilakukan proses aktivasi zeolit alam secara kimia untuk mengurangi kandungan logam, membersihkan permukaan pori dan mengatur kembali letak atom yang dipertukarkan (Syafii, dkk., 2010). Proses aktivasi zeolit alam dilakukan untuk mendapatkan perbandingan rasio Si/Al serta karakteristik zeolit agar sesuai dengan bahan yang akan diserap. Proses aktivasi menggunakan pelarut basa yaitu NaOH. Pemilihan pelarut basa ini didasarkan pada kemampuannya dalam mengendapkan Al yang terdapat pada sumber alumina dan diselipkan ke dalam zeolit membentuk $\text{Al}(\text{OH})_3$. Sumber alumina tersebut berasal dari tawas. Perlakuan dengan penambahan sumber ion Al^{3+} ke dalam kerangka zeolit bertujuan untuk memperkecil perbandingan kandungan Si/Al terhadap zeolit yang diaktivasi. Khaidir (2012) melaporkan bahwa proses aktivasi zeolit menggunakan NaOH dan tawas mampu menurunkan rasio Si/Al dari 3,45 menjadi 2,20.

Selain penurunan rasio Si/Al, aktivasi dengan NaOH juga bertujuan untuk menghilangkan ion-ion tertentu dari kerangka zeolit dan menggantinya dengan ion Na^+ sehingga zeolit alam mempunyai kondisi yang semakin mendekati bentuk homoionik. Bentuk homoionik menjadikan molekul zeolit akan mempunyai ukuran pori yang relatif sama, sehingga diharapkan kemampuan dan selektivitas adsorpsinya terhadap air juga akan lebih baik. Dugaan reaksi aktivasi zeolit alam dengan larutan NaOH diilustrasikan pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Dugaan reaksi pada aktivasi NaOH (Inglezakis dkk., 2001)

Zeolit hasil rendaman NaOH dan tambahan tawas dikeringkan dalam oven pada suhu 80 °C selama 10 jam untuk menghilangkan molekul air. Zeolit kemudian dikalsinasi pada suhu 650 °C selama 2 jam (Nais, 2011). Kalsinasi pada penelitian ini bertujuan untuk rekristalisasi sampel zeolit setelah proses aktivasi sehingga sumber alumina dan sumber natrium terikat kuat dalam kerangka zeolit. Pemilihan temperatur tinggi pada proses kalsinasi dimaksudkan juga agar struktur zeolit lebih tahan pada temperatur reaksi yang cukup tinggi (Lestari, 2010). Zeolit ini kemudian siap digunakan dalam proses pemurnian etanol. Perbedaan zeolit sebelum dan sesudah aktivasi digambarkan pada gambar 4.2 berikut:



a. sebelum

b. sesudah

Gambar 4.2 Perbandingan zeolit sebelum dan sesudah aktivasi

4.2 Fermentasi Molase

Sebelum memulai proses fermentasi, terdapat beberapa rangkaian penelitian yang harus dilakukan agar proses fermentasi dapat berjalan dengan baik. Adapun penelitian tersebut diawali dengan pembuatan media YPGA dan YPGB. Media YPGA (*Yeast Extract Pepton Glucose Agar*) merupakan media padat yang digunakan untuk regenerasi *Saccharomyces cerevisiae*, sedangkan media YPGB (*Yeast Extract Pepton Glucose Broth*) merupakan media cair yang digunakan untuk pembuatan inokulum. Media-media tersebut dikondisikan sesuai dengan nutrisi yang dibutuhkan dalam pertumbuhan *Saccharomyces cerevisiae* seperti sumber C dalam glukosa, sumber N organik dalam ekstrak ragi dan pepton. Lalu disterilkan dalam *autoklaf*. Tujuan sterilisasi adalah agar tidak didapatkan mikroba yang tidak diharapkan kehadirannya baik yang mengganggu atau yang merusak media atau mengganggu kehidupan dan proses yang sedang dikerjakan.

Selanjutnya molase yang diperoleh dipreparasi dengan mengkondisikan kadar gula menjadi 20 % Brix, jika konsentrasi gula terlalu tinggi aktivitas khamir dapat terhambat dan waktu fermentasi menjadi lebih lama serta tidak semua gula dapat difermentasi (Abdalbasit, 2012). Sebaliknya jika konsentrasi gula terlalu rendah akan dihasilkan kadar etanol yang rendah. Molase ini kemudian dipreparasi dengan pH 5 menggunakan larutan H_2SO_4 0,1 N dan disterilisasi. Pemilihan pH 5 dilakukan untuk mengkondisikan media fermentasi agar sesuai dengan pH optimum khamir dalam melakukan aktivitas secara maksimal, di bawah atau di atas pH optimum aktivitas enzim akan mengalami penurunan. Untuk

fermentasi bioetanol, *Saccharomyces cerevisiae* memerlukan media dengan suasana asam, yaitu antara pH 4-5 (Hidayat dkk., 2006). Pada pH 3, *Saccharomyces cerevisiae* sebenarnya masih dapat melakukan fermentasi tetapi agak lambat. Hartina (2013) menyatakan bahwa pH optimum dalam fermentasi molase menjadi etanol adalah pada pH 5.

Molase yang telah dipreparasi diambil 200 mL dan ditambahkan inokulum *Saccharomyces cerevisiae* yang telah mencapai fase log sebanyak 10 % (Rahim, 2009), kemudian Erlenmeyer ditutup dengan kapas dan *dishaker* dengan kecepatan 150 rpm selama waktu fermentasi yang dikehendaki yaitu 6 hari. Waktu fermentasi berpengaruh terhadap hasil fermentasi karena semakin lama inkubasi akan meningkatkan kadar bioetanol. Namun bila fermentasi terlalu lama nutrisi dalam substrat, akan habis dan khamir tidak dapat memfermentasi bahan organik (Purbarini, 2003). Pada proses fermentasi, jumlah mikroba antara lain dipengaruhi oleh waktu fermentasi yakni semakin lama waktu fermentasi jumlah mikroba semakin banyak dan produksi bioetanol semakin tinggi. Proses ini akan terhenti jika kadar bioetanol sudah meningkat sampai tidak dapat ditolerir lagi oleh sel-sel khamir (Hidayat, 2006). Setelah proses fermentasi selesai, dilakukan penyaringan untuk memisahkan kotoran yang ada dan untuk memisahkan bioetanol dari media fermentasi. Hartina (2013) menyatakan bahwa lama fermentasi optimum dalam menghasilkan kadar etanol tinggi adalah pada 6 hari.

Secara singkat perubahan biokimia selama fermentasi molase dapat ditulis sebagai berikut: *Saccharomyces cerevisiae* memanfaatkan disakarida seperti sukrosa sebagai sumber makanan karena *Saccharomyces cerevisiae* dapat menghasilkan dua enzim, yaitu enzim invertase dan enzim zimase. Enzim

invertase berfungsi memecah sukrosa menjadi monosakarida (glukosa dan fruktosa) (Prabawa dkk., 2012). Selanjutnya glukosa dan fruktosa tersebut diubah menjadi bioetanol oleh enzim zimase (Hasanah, 2008).

Khamir *Saccharomyces cerevisiae* menggunakan jalur EMP dalam memfermentasi glukosa menjadi bioetanol pada kondisi netral atau sedikit asam dan anaerob. Pada kondisi mikroaerofil *Saccharomyces cerevisiae* melakukan respirasi. Pada kondisi tersebut glukosa biasanya direspirasi menjadi CO₂. Menurut Buckle, *et al* (1987), karbon dan energi dapat diperoleh dari gula karbohidrat sederhana seperti glukosa. Karbohidrat merupakan sumber karbon yang paling banyak digunakan dalam fermentasi sel khamir. Menurut Amerine dkk (1987) pada proses fermentasi etanol, khamir terutama akan memetabolisme glukosa dan fruktosa membentuk asam piruvat melalui tahapan reaksi pada jalur Embden-Meyerhof-Parnas (EMP), sedangkan asam piruvat yang dihasilkan akan didekarboksilasi menjadi asetaldehida yang kemudian mengalami dehidrogenasi menjadi etanol. Skema EMP ditunjukkan pada Gambar 4.3:



Gambar 4.3 Skema Embden Meyerhoff-Parnas Pathway (Sebayang, 2006)

Glukosa mengalami fosforilasi menjadi glukosa-6-P dan fruktosa-6-P dengan ATP sebagai donor fosfat. Fruktosa-6-P kemudian diubah menjadi fruktosa 1,6-di-P menggunakan ATP sebagai donor fosfat. Fruktosa-1,6-di-P kemudian dipecah menjadi dua molekul C_3 yang terfosforilasi yaitu dihidroksiaseton fosfat dan gliseraldehid-3-P. Dihidroksi aseton fosfat selanjutnya teroksidasi menjadi gliserolfosfat kemudian diubah menjadi gliserol yang merupakan metabolit sekunder. Gliseraldehid-3-P tereduksi membentuk asam 1,3-di-fosfoglisarat kemudian mengalami defosforilasi menjadi 3-P-asam gliserat dengan melepaskan fosfat dan aseptor fosfat ADP membentuk ATP. Selanjutnya, 3-P-asam gliserat membentuk 2-P-asam gliserat kemudian terbentuk asam fosfoenol piruvat dengan menghasilkan ATP. Melalui reaksi dekarboksilasi, asam piruvat akan membentuk asetaldehid dan CO_2 yang kemudian akan mengalami reaksi oksidasi membentuk etanol.

Etanol yang diperoleh dari proses fermentasi mempunyai kemurnian rendah. Hal ini disebabkan karena dalam proses tersebut, substrat karbohidrat juga menghasilkan produk samping lain sesuai dengan jalur glikolisis seperti air, asam asetat, asam laktat, senyawa ester, keton, alkohol dan asam-asam lainnya (Buckle, 1987; Simanjuntak, 2009). Etanol ini kemudian dimurnikan dengan menggunakan metode destilasi dan dehidrasi.

4.3 Pemurnian Bioetanol Hasil Fermentasi

Percobaan proses pemurnian bioetanol dilakukan dengan menggunakan dua metode, yaitu metode destilasi dan proses dehidrasi melalui metode adsorpsi (*batch adsorption*) menggunakan zeolit teraktivasi NaOH pada berbagai konsentrasi yaitu 1, 2, 3 dan 4 M

4.3.1 Metode Destilasi

Destilasi bertujuan memisahkan etanol dari fasa cair lain berdasarkan perbedaan titik didih yang juga dihasilkan dari proses fermentasi, misalnya air dan asam asetat. Langkah-langkah pemisahan fase cair hasil fermentasi dengan destilasi yaitu, dimasukkan filtrat hasil fermentasi ke labu alas bulat yang telah diisi dengan batu didih sehingga volumenya setengah volume labu. Dialirkan air kondensor menggunakan air es lalu dihidupkan mantel pemanas dengan suhu sedang. Ditampung destilat pada suhu 78,5 - 85 °C. Senyawa yang menguap terlebih dahulu adalah etanol karena titik didih rendah yaitu 78,9 °C dibandingkan dengan senyawa-senyawa lain seperti glukosa dengan titik didih 146 °C dan asam asetat dengan titik didih 118,1 °C atau air 100 °C. Semua fasa cair yang ada dalam

sampel yang keluar dari labu alas bulat akan keluar melalui pipa *outnet* dan diembunkan kembali dengan pendingin atau kondensor, destilat yang sudah diembunkan akan ditampung dalam wadah terpisah. Destilasi dihentikan jika sudah tidak ada destilat yang menetes dalam Erlenmeyer. Destilat yang didapat lalu dimasukkan dalam botol dan ditutup rapat agar tidak mengalami penguapan karena etanol mempunyai sifat mudah menguap. Destilat yang disimpan dalam botol siap untuk dianalisis dengan GC. Hasil GC menunjukkan bahwa kadar etanol hasil destilasi adalah 29,8 %.

4.2.2 Dehidrasi Etanol Hasil Destilasi menggunakan Zeolit Teraktivasi NaOH

Dehidrasi menggunakan metode adsorpsi dilakukan menggunakan zeolit yang dihasilkan pada proses aktivasi NaOH. Perbandingan massa zeolit terhadap etanol yang digunakan pada proses dehidrasi adalah 30 %, 40 % dan 50 % ke dalam volume etanol hasil destilasi. Percobaan ini diawali dengan memasukkan etanol 20 mL hasil destilasi ke dalam Erlenmeyer lalu ditambahkan zeolit (Novitasari, 2012). Diaduk perlahan selama 30 menit pada suhu ruang menggunakan *magnetic stirrer* (Erlenmeyer ditutup), adsorben zeolit dipisahkan dengan pengendapan dan filtrasi (Nais, 2011). Kemudian dihitung perubahan konsentrasi etanol.

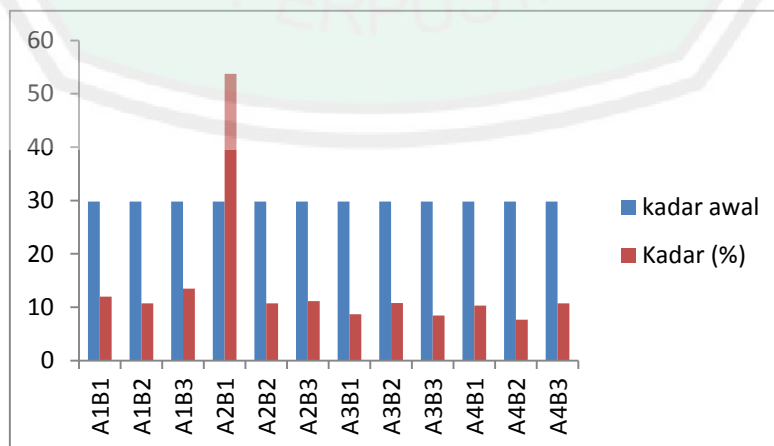
Parameter yang diamati pada proses dehidrasi bioetanol meliputi persentase kenaikan kadar bioetanol (PKB) dan kapasitas adsorpsi zeolit terhadap air (KAZ) dalam bioetanol.

4.3.2.1 Peningkatan Kadar Bioetanol

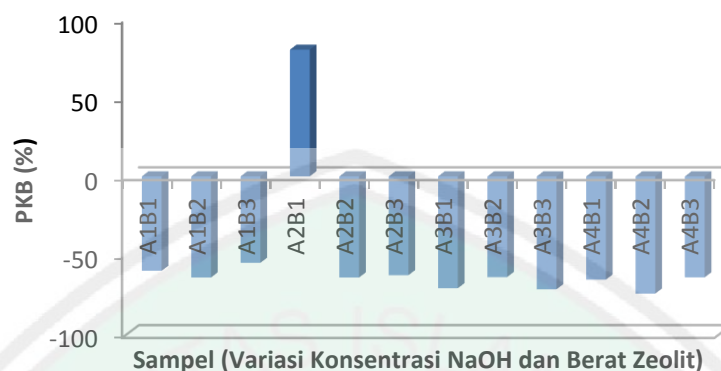
Kadar bioetanol hasil fermentasi yang didestilasi pada suhu 78,5-85 °C, kadar etanol hasil dehidrasi dengan menggunakan zeolit teraktivasi NaOH serta Peningkatan Kadar Bietanol digambarkan dalam Tabel 4.1 serta Gambar 4.5 dan 4.6.

Tabel 4.1 Kadar etanol sebelum dan sesudah dehidrasi serta nilai Peningkatan Kadar Bioetanol (PKB)

Sampel	Kadar Bietanol Hasil Destilasi (% v/v)	Kadar Bietanol Hasil Dehidrasi (% v/v)	Peningkatan Kadar Bioetanol (% v/v)
A ₁ B ₁	29,8	11,97	-59,83
A ₁ B ₂		10,71	-64,04
A ₁ B ₃		13,49	-54,75
A ₂ B ₁		53,76	80,39
A ₂ B ₂		10,72	-64,05
A ₂ B ₃		11,14	-62,62
A ₃ B ₁		8,68	-70,88
A ₃ B ₂		10,79	-63,81
A ₃ B ₃		8,47	-71,57
A ₄ B ₁		10,30	-65,45
A ₄ B ₂		7,67	-74,28
A ₄ B ₃		10,73	-64,00



Gambar 4.5 Grafik kadar etanol setelah dehidrasi

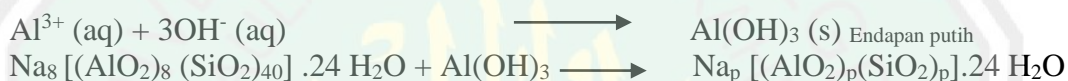


Gambar 4.6 Grafik Peningkatan Kadar Bietanol (PKB) hasil dehidrasi

Kadar bioetanol hasil fermentasi yakni 29,8 % mengalami peningkatan dan penurunan setelah proses adsorpsi menggunakan zeolit yang diaktivasi NaOH 1, 2, 3 dan 4 M (dehidrasi bioetanol). Persentase kadar bioetanol berada pada kisaran 7,67– 53,76 % dengan PKB berkisar pada -74,28– 80,39%. Dari data yang diperoleh menunjukkan bahwa kadar bioetanol yang dihasilkan pada proses adsorpsi dehidrasi menggunakan zeolit teraktivasi NaOH (ZTN) 2 M mengalami peningkatan dari kadar 29,8 % pada kode sampel A₂B₁ dengan kadar 53,76 %.

Zeolit teraktivasi NaOH 2 M mempunyai aktivitas tertinggi dalam proses adsorpsinya terhadap air dalam etanol dibandingkan dengan zeolit yang diaktivasi dengan konsentrasi NaOH lainnya. Hal yang mendasari hal ini berkaitan dengan kemampuan NaOH dalam fungsinya mengurangi pengotor-pengotor berupa kation-kation penyeimbang struktur zeolit. Nais (2011) melaporkan bahwa pada konsentrasi NaOH 1 M masih mengandung banyak pengotor-pengotor seperti kuarsa dan kristal hidrosodalite bahkan masih terdapat modernit yang belum termodifikasi. Sedangkan pada konsentrasi NaOH 4 M diperoleh beberapa jenis

kristal yang belum memiliki nama. Mustain (2011) menyatakan bahwa pada proses aktivasi NaOH 2 M terjadi penurunan kandungan SiO₂ dari 69,8 % menjadi 58,6 %. Sedangkan kandungan Al₂O₃ meningkat dari 8,5 % menjadi 30,3 %. Proses aktivasi ini akhirnya menurunkan rasio Si/Al dimana akan meningkatkan kapasitas adsorpsi zeolit terhadap air. Ilustrasi proses yang terjadi antara zeolit, NaOH 2 M dan tawas pada proses aktivasi zeolit (Svehla, 1979; Iman, 2013; Hendrawan, 2010 & Nais, 2011):



Naiknya konsentrasi NaOH juga dikhawatirkan akan melarutkan Al yang akan diselipkan ke dalam kerangka zeolit (membentuk Al(OH)₄⁻ yang berupa larutan) (Svehla, 1979). Hal ini akan mengakibatkan Al tidak dapat dijebak ke dalam zeolit akan tetapi larut bersama larutan NaOH (konsentrasi NaOH 3M dan 4M). Adapun reaksinya digambarkan seperti reaksi berikut ini (Svehla, 1979):



Aktivasi kimia menggunakan larutan NaOH juga bertujuan untuk terjadinya reaksi pertukaran kation-kation sehingga dapat membuka dan mengaktifkan ruang antar lapis zeolit. Pertukaran kation-kation tersebut diharapkan sebagian besar kation-kation selain Na⁺ dapat digantikan oleh kation Na⁺. Kation Na⁺ yang telah diselipkan ke dalam zeolit akan berinteraksi dengan air dalam etanol. Hal ini terjadi karena Na⁺ yang berasal dari NaOH akan

menyeimbangkan muatan negatif Al dalam zeolit. Naiknya kadar Al dalam zeolit yang berasal dari tawas berakibat pada meningkatnya bidang listrik (*charge site*) pada permukaan zeolit. Kenaikan bidang listrik ini merupakan efek samping dari naiknya jumlah kation penyeimbang dalam zeolit (Inglezakis dkk., 2001).

Proses dehidrasi etanol menggunakan ZTN 1, 2, 3 dan 4 M mempunyai kemampuan yang berbeda dalam proses adsorpsinya. Pada gambar 4.6 terlihat bahwa 11 sampel yang digunakan mempunyai nilai PKB minus. Hal ini mengindikasikan bahwa selain molekul air, molekul bioetanol juga ikut teradsorpsi ke dalam sampel zeolit yang digunakan. Hal yang sama terjadi pada penelitian Khaidir (2012) dimana setelah proses dehidrasi menggunakan zeolit justru terjadi penurunan kadar etanol dari 92,34 % menjadi 77,66 %.

Dalam proses adsorpsi zeolit terdapat kompetisi antara air dan etanol untuk masuk ke dalam zeolit disebabkan persamaan sifat yang dimiliki keduanya. Akan tetapi proses pemisahan akan terjadi dengan baik apabila zeolit yang dihasilkan mempunyai ukuran molekul yang sama dengan molekul yang diadsorpsi. Penurunan kadar bioetanol sesudah penambahan zeolit teraktivasi NaOH berarti ada kemungkinan ukuran molekul zeolit lebih besar sehingga yang lebih dominan masuk adalah etanol (ukuran molekul air 2,8 Å; etanol 4,4 Å). ketika zeolit telah jenuh dengan etanol, air menjadi tidak bisa diadsorb.

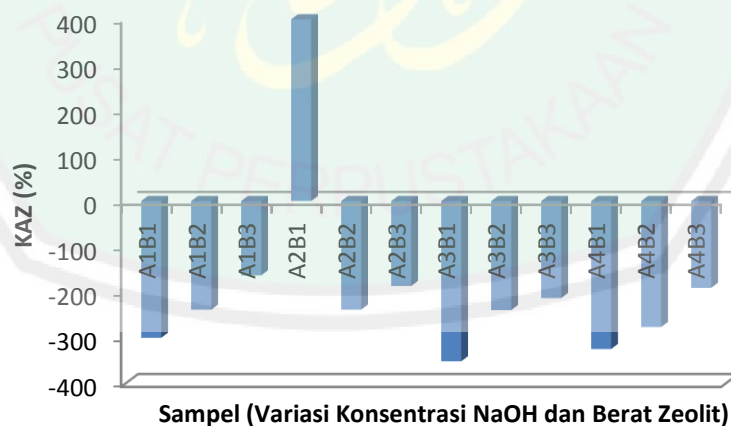
4.3.2.2 Kapasitas Adsorpsi Zeolit (KAZ)

Kapasitas adsorpsi zeolit dalam dehidrasi etanol didefinisikan sebagai jumlah air yang mampu diserap oleh zeolit per berat zeolit yang ditambahkan

(Khaidir, 2012). Kapasitas adsorpsi zeolit dalam dehidrasi etanol ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.8:

Tabel 4.2 Kapasitas Adsorpsi Zeolit (KAZ) terhadap air dalam etanol

Sampel	Kapasitas Adsorpsi Zeolit (% b/v)
A ₁ B ₁	-300,50
A ₁ B ₂	-238,63
A ₁ B ₃	-163,15
A ₂ B ₁	399,31
A ₂ B ₂	-238,57
A ₂ B ₃	-186,60
A ₃ B ₁	-352,13
A ₃ B ₂	-239,69
A ₃ B ₃	-213,30
A ₄ B ₁	-325,08
A ₄ B ₂	-276,69
A ₄ B ₃	-190,73

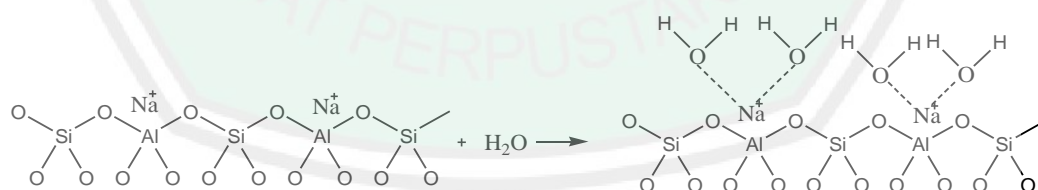


Gambar 4.8 Grafik Kapasitas Adsorpsi Zeolit (KAZ) air dalam etanol

Kapasitas Adsorpsi Zeolit (KAZ) berada pada kisaran -325,08 - 399,31%.

Berdasarkan hasil yang diperoleh menunjukkan adanya kecenderungan bahwa

dari keempat macam zeolit yang digunakan pada proses dehidrasi etanol, zeolit teraktivasi NaOH 2 M memberikan hasil yang relatif lebih baik dibandingkan dengan zeolit teraktivasi NaOH lainnya. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Nais (2011) dimana pada proses aktivasi zeolit menggunakan NaOH 2 M memberikan rasio Si/Al 1,641. Rasio Si/Al zeolit ini dianggap mendekati zeolit komersial 3 A yang merupakan material zeolit yang biasa digunakan dalam proses dehidrasi etanol. Sedangkan zeolit yang diaktivasi menggunakan NaOH dengan konsentrasi 1 M, 3 M dan 4 M masih banyak mengandung pengotor-pengotor lain yang tidak diinginkan. Rasio Si/Al dalam sampel zeolit berperan penting dalam proses adsorpsi air, dimana zeolit dengan rasio Si/Al paling kecil akan mampu mengikat air lebih banyak. Secara teoritis, zeolit dengan rasio Si/Al lebih rendah akan bersifat lebih hidrofilik (Jozefaciuk dan Bowanko, 2002). Ilustrasi interaksi ion Na^+ dengan molekul air dalam etanol ditunjukkan pada Gambar 4.10 berikut ini:



Gambar 4.10 Interaksi ion Na^+ dan air (Jozefaciuk dan Bowanko, 2002)

Selain rasio Si/Al, proses adsorpsi juga dipengaruhi oleh ion-ion logam yang melingkupi permukaan zeolit, sebagai contoh ion Na^+ . Zeolit dengan kandungan logam natrium lebih tinggi akan lebih mudah mengikat air dibandingkan yang lainnya. Jadi, molekul-molekul air tidak hanya terperangkap

dalam pori-pori zeolit, tetapi berinteraksi juga dengan ion natrium yang mengelilingi permukaan zeolit. Molekul air terkumpul pada kation Na^+ (Byrappa & Yoshimura 2001).

Zeolit alam Malang diketahui mempunyai ukuran diameter pori 2,9-7 Å (Hendrawan, 2010). Jenis pori zeolit yang biasa digunakan pada pemurnian etanol adalah tipe 3A. Pemilihan zeolit ini spesifik untuk pemisahan molekul air yang memiliki diameter kritis sebesar 2,8 Å. Adsorpsi tersebut merupakan fenomena permukaan yang terjadi pada saat molekul *adsorbate* tertarik dan menempel pada permukaan dari *adsorbent*. Gaya tarik tersebut disebabkan oleh gugus-gugus hidroksil yang berada di permukaan pori dari membran zeolit (Khaidir, 2012). Fauzi (2012) menyatakan bahwa penggunaan zeolit 3 A mampu menaikkan kadar etanol dari 95,87 % menjadi 99,16 %.

Air dalam etanol dapat teradsorpsi karena gaya tarik dari permukaan membran zeolit lebih besar dari pada gaya tarik yang menahan air tersebut untuk tetap larut dalam etanol. Air memiliki ukuran molekul 2,8 Å sedangkan etanol 4,4 Å (Fauzi, 2012). Zeolit yang dihasilkan dari proses aktivasi menggunakan NaOH diharapkan mempunyai ukuran pori 3 A sehingga hanya molekul air yang dapat masuk ke dalam pori zeolit, sedangkan molekul etanol tertahan karena mempunyai ukuran molekul yang lebih besar. Namun dalam penelitian ini dihasilkan penurunan kadar bioethanol sehingga mengindikasikan adanya adsorpsi etanol oleh zeolit teraktivasi NaOH yang digunakan dalam percobaan. Zeolit alam Malang diketahui mempunyai ukuran diameter pori 2,9-7 Å (Hendrawan, 2010) sehingga terdapat kemungkinan zeolit mengadsorpsi molekul

etanol yang berukuran 4,4 Å (Fauzi, 2012) sehingga terjadi penurunan kadar bioetanol setelah proses adsorpsi.

Kemampuan adsorpsi zeolit terhadap air bervariasi antara kedua belas sampel zeolit yang digunakan. Zeolit Teraktivasi NaOH (ZTN) A₂B₁ memiliki kapasitas adsorpsi air tertinggi dibandingkan sampel zeolit yang lain. Kapasitas adsorpsi beberapa zeolit lainnya sangat rendah yang mengindikasikan bahwa yang teradsorpsi bukanlah air melainkan etanol. Hal ini berarti bahwa tingkat selektivitas dari ZTN A₂B₁ sangat bagus. Kapasitas adsorpsi air ZTN 2 tertinggi adalah pada berat 30 % dengan KAZ 399,31 % pada bioetanol hasil destilasi yang direndam selama 30 menit. Kapasitas adsorpsi zeolit terkecil diperoleh pada ZTN A₃B₁ yang mempunyai kapasitas adsorpsi sebesar -352,13.

4.4 Analisis Hasil Penelitian dalam Persepektif Islam

Penelitian ini merupakan salah satu upaya pemanfaatan sumber daya alam lokal Malang serta pemanfaatan teknologi yang telah dikembangkan untuk dapat memberikan informasi kepada masyarakat luas. Zeolit pada penelitian ini diarahkan pada sifatnya sebagai agen pendehidrasi. Sifat ini diperoleh dengan cara mengaktivasi zeolit dengan merendamnya ke dalam larutan basa NaOH dan penambahan sumber alumina berupa tawas sehingga memperkecil rasio Si/Al yang mempengaruhinya menjadi zeolit dengan karakter hidrofilik. Hal ini merupakan wujud manusia dalam melestarikan, menjaga dan menata alam ciptaan Allah.

Salah satu upaya manusia dalam menata tatanan kehidupan di alam adalah dengan menjaga keseimbangan kehidupan lingkungan hidup dan selalu merawatnya. Usaha memikirkan segala ciptaan Allah dalam keadaan apapun menjadi pondasi dasar sebagai sosok yang disebut *Ulul Albab* yang Allah jelaskan dalam QS ali Imran 190-191.

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ ﴿١٩٠﴾ الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطْلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

Artinya: "Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal, (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): "Ya Tuhan Kami, Tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha suci Engkau, Maka peliharalah Kami dari siksa neraka." (Q.S ali Imran: 190-191)

Tafsir Q.S. ali Imran ayat 190-191 menjelaskan bahwa apa yang diciptakan oleh Allah apa yang ada di langit dan di bumi adalah untuk kehidupan, kebutuhan dan rizki manusia dan hanya orang yang berilmu dan yang berakallah yang mampu membaca tentang ciptaan Allah (Thabari, 2008).

Dalam tafsir Al-Maraghi (1993) memberikan penjelasan bagian Q.S ali Imran ayat 191 bahwa tidak ada segala sesuatu yang Allah ciptakan yang tidak berarti dan sia-sia, bahkan semua ciptaanNya adalah hak, yang mengandung hikmah-hikmah yang agung dan maslahat-maslahat yang besar. Seorang mukmin yang mau menggunakan akal pikirannya selalu mengharapkan kepada Allah

dengan pujian, doa dan *ibtihal*, sesudah ia melihat bukti-bukti yang menunjukkan kepada keindahan hikmah. Ia pun luas pengetahuannya tentang detail-detail alam semesta yang menghubungkan antara manusia dengan Tuhannya. Konsekuensi logis dari penggunaan akal untuk tujuan mencari hikmah-hikmah tersebut adalah dengan menuntut ilmu.

Tafsir al-Qurtubi menyebutkan bahwa orang-orang yang berilmu adalah mereka yang dapat mengambil manfaat dari ilmunya dan mengamalkannya. Siapa yang tidak mengamalkannya ilmunya dan tidak bisa mengambil manfaat darinya, sama dengan orang yang tidak berilmu. “Sesungguhnya orang yang berakallah yang dapat menerima pelajaran” yakni orang-orang yang berakal dan yang beriman (Qurtubhi, 2009).

Memanfaatkan zeolit alam menjadi zeolit yang digunakan sebagai adsorben merupakan bentuk memikirkan salah satu ciptaan Allah dalam upaya menunjang kehidupan manusia, dimana zeolit dapat menyerap air yang terkandung dalam bioetanol sehingga dapat menaikkan kemurnian etanol dan bisa digunakan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Adanya hasil penelitian ini menunjukkan bahwa memang benar atas semua kebenaran Allah.

Hasil penelitian ini menunjukan bahwa zeolit mampu melakukan proses pemurnian terhadap bioetanol hasil fermentasi. Dimana terjadi peningkatan kadar dari kadar 79,72 % menjadi 85,95 %. Hal ini menjelaskan kepada kita tentang keberadaan hikmah yang besar dari alam hasil ciptaan Allah. Sebagaimana Allah SWT berfirman dalam surat ad Dukhan 38:

وَمَا خَلَقْنَا السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضَ وَمَا بَيْنَهُمَا لِعِبَادٍ ۚ

Artinya: “dan Kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada antara keduanya dengan bermain-main. (Q.S ad Dukhan: 38)

Sayyid Quthb (2001) dalam kitab tafsirnya “*Fi Zhilalil Quran*” menafsirkan penggalan ayat di atas bahwa Allah tidak menciptakan alam ini dengan sia-sia dan batil melainkan menciptakannya dengan penuh benar dan kebenaran. Benar nilainya, benar undang-undangnya, dan benar dasarnya. Sesungguhnya alam ini memiliki hakikat. Maka ia bukanlah sesuatu yang “tidak ada” sebagaimana yang dikatakan oleh sebagian ahli filsafat, akan tetapi ia berjalan sesuai aturan. Maka ia tidak dibiarkan rusak dan amburadul, ia berjalan untuk suatu tujuan. Ia diatur wujud, gerak dan tujuannya dengan benar, ia tidak bercampur dengan kebatilan.

Hakikat keilmuan juga diarahkan pada pemanfaatan sumber daya alam limbah hasil pertanian yang keberadaannya melimpah seperti molase. Molase masih mengandung sejumlah nutrisi, sehingga dapat dikonversi menjadi produk yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Kandungan gula dalam molase merupakan kebutuhan utama dalam proses fermentasi, karena gula tersebut akan dikonversi menjadi bioetanol.

Pemanfaatan sumber daya alam khususnya yang saat ini tidak didaya gunakan menjadi sangat penting. Sebagaimana Allah SWT telah berfirman dalam Al-Qur’an surat al Isra ayat 27 yang berbunyi:

﴿٤٧﴾ إِنَّ الْمُبَذِّرِينَ كَانُوا إِخْوَانَ الشَّيَاطِينِ ۗ وَكَانَ الشَّيْطَانُ لِرَبِّهِ كَفُورًا

Artinya: “*Sesungguhnya pemboros-pemboros itu adalah saudara-saudara syaitan dan syaitan itu adalah sangat ingkar kepada Tuhannya*” (Q.S al Isra: 27)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa molase dapat menghasilkan etanol dengan kadar sebesar 29,8%. Hasil ini menggambarkan kepada kita bahwa molase bisa dimanfaatkan menjadi bioetanol. Bioetanol ini lalu didedhidrasi menggunakan zeolit alam yang telah diaktivasi dengan NaOH dan tawas. Peningkatan kadar tertinggi terjadi pada proses adsorpsi dengan zeolit yang diaktivasi dengan konsentrasi NaOH 2 M. Pemanfaatan molase dan zeolit yang merupakan realisasi nyata dalam pengaplikasian firman Allah agar tidak tergolong dalam kelompok orang-orang *mubadzir*.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kadar bioetanol hasil dehidrasi menggunakan zeolit teraktivasi NaOH dengan variasi konsentrasi (1,2,3 dan 4M) dan berat zeolit (30,40 dan 50 %) terendah diperoleh pada perlakuan A₄B₂ (konsentrasi 2 dan berat 40 %) sebesar 7,67 % (v/v). Sedangkan bioetanol tertinggi diperoleh pada perlakuan A₂B₁ (konsentrasi 2 dan berat 30 %) dengan kadar bioetanol sebesar 53,76 % (v/v).

5.2 Saran

Penelitian lanjutan yang disarankan untuk melengkapi dan menyempurnakan penelitian ini adalah:

1. Melakukan proses aktivasi dengan NaOH dan tawas secara terpisah agar diketahui proses yang paling berpengaruh terhadap aktivasi zeolit.
2. Melakukan uji FTIR, XRF dan SEM agar diperoleh perbedaan gugus fungsi zeolite sebelum dan sesudah aktivasi, komposisi unsur serta pencitraan material zeolit hasil aktivasi.
3. Melakukan regenerasi terhadap zeolit yang telah digunakan dalam proses dehidrasi agar zeolit tersebut dapat digunakan berulang-ulang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdalbasit, M., Gasmalla, A., Yang, R., Nikoo, M., and Man, S. 2012. Production of Etanol from Sudanese Sugar Cane Molasses and Evaluation of Its Quality. *Journal Food Processing and Technology*, Vol 3 issue 7, pp 1-3
- Abdullah, M.B, Popi, R.A., Yefta, C.A. *Optimasi Pembuatan Alkohol Dari Limbah Cair Nanas Menggunakan Saccharomyces Cerevisiae*. Semarang: Universitas Diponegoro
- Al-Jazairi, A.B.J. *Tafsir Al-Aisar Jilid 4*. Jakarta: Darus Sunnah Press
- Al-Jazairi, A.B.J. *Tafsir Al-Aisar Jilid 5*. Jakarta: Darus Sunnah Press
- Al-Maraghi, A.M. 1993. *Terjemahan Tafsir Al-Maraghi Jilid 8*. Semarang: Toha Putra.
- Ardi, W.R. 2009. *Pemurnian Etanol Dari Fermentasi Tape Ubi Kayu (Kajian Suhu dan Lama Waktu Destilasi)*. Malang: Universitas Brawijaya
- Baikow, V. E. 1982. *Manufacture and Refining of Raw Cane Sugar*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam-Oxford-New York.
- Baker, B. P. 1980. *Composition, Properties and Uses of Molasses and Related*
- Bonenfant, D., Kharoune, M., Niquette, P., Mimeault, M., and Hausler, R. (2008). *Advances in Principal Factors Influencing Carbon Dioxide Adsorption on Zeolite, Sci. Technol. Adv. Mater*, 9.
- Buckle, E., Flead, W. 1987. *Ilmu Pangan*. Jakarta : UI Press
- Bulan, R. 2004. *Esterifikasi Patchouli Alkohol Hasil Isolasi Dari Minyak Daun Nilam (Patchouli Oil)*, <http://www.library.usu.ac.id/modules.php?op=modload&name=Down...pdf> diakses 20 November 2012.
- Fatimah. 2000. *Penggunaan Na-Zeolit Alam Teraktivasi sebagai Penukar Ion Cr³⁺ dalam Larutan*. LOGIKA, Volume 4, Nomor 5. ISSN: 1410-2315.
- Fauzi, R. A., Haryadi, D., Priyanto, S. 2012. *Pengaruh Waktu Fermentasi dan Efektivitas Adsorben Dalam Pembuatan Bioetanol Fuel Grade Dari Limbah POD KAKAO (Theobromo cacao)*. Semarang: Undip

- Fitriana, L. 2009. *Analisis Kadar Bioetanol Hasil Fermentasi Dari Pati Sagu (Metroxylon sago) Asal Papua*. Papua: UNP
- Harimbi, S., Rahman, N.A. 2011. *Pemanfaatan Kulit Pisang Sebagai Bahan Baku Bioetanol Dengan Proses Hidrolisis Enzimatis*. Malang: ITN Malang
- Harjana, 2000. *Alkohol Dalam Tinjauan Farmasi, Pra-Mudzakaroh Alkohol*. Jawa Timur: MUI Lembaga Pengkajian Pangan, Obat-Obatan dan Kosmetika.
- Harrison JS, Graham JCJ.1970. *Yeasts in distillery practice*. In: *The Yeasts Vol. 3 ed.* Rose AH, Harrison JS. pp. 283-332. LondonAcademic Press.
- Hasanah, H. 2008. *Pengaruh Lama Fermentasi Terhadap Kadar Alkoho Tape Ketan Hitam (Oryza Sativa L Var Forma Glutinosa) Dan Tape Singkong (Manihot Utilissima Pohl)*. Malang: UIN Maliki
- Hendayana, S. 2006 *Kimia Pemisaan (Metode Kromatografi dan Elektroforesis Modern)*. Bandung: PT. Remaja Rosadakarya, hal 32 dan 54.
- Hendrawan, A. 2010. *Adsorpsi Unsur Pengotor Larutan Natrium Silikat Menggunakan Zeolit Alam Karangnunggal*. Jakarta: Uin Syarif Hidayatullah
- Hidayat,N.M.C, Suhartini. 2006. *Mikrobiologi Industri*. Jakarta: Andi
- Hunt, V. and Daniel. 1991. *The Gasohol Handbook*. Industrial press Inc. New York
- Inglezakis, V.J., Papadeas, C.D., Loizidou, M.D., and Grigoropoulou, H.P., (2001), *Effects of Pretreatment on Physical and Ion Exchange Properties of Natural Clinoptilolite*, *Environmental Technology*, 22, pp. 75-82.
- Juwita, R. 2012. *Studi Produksi Alkohol Dari Tetes Tebu (Saccharum officinarum L) Selama Proses Fermentasi*. Makassar: Universitas Hasanuddin Press
- Khaidir. 2012. *Dehidrasi Bioetanol Menggunakan Zeolit Alam Termodifikasi*. Jawa Barat: IPB Press
- Khopkar, S, M., 2003, *Konsep Dasar Kimia Analitik*, Jakarta: UI-Press, hal 160.

- Komarayati, Sri & Gusmailina, 2010. *Prospek Bioetanol Sebagai Pengganti Minyak Tanah*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan
- Kusuma, D.S. 2009. *Pemurnian Ethanol Untuk Bahan Bakar*. Tangerang: PUSPIPTEK
- Kusumaningrum, D. 2012. *Pemurnian Bioetanol Menggunakan Proses Adsorpsi Dan Destilasi Adsorpsi Dengan Adsorben Zeolit*. Semarang: Undip
- Lidya, B. dan N. S. Djenaar. 2000. *Dasar Bioproses*. Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta
- Lei, Z., Wang, H and Zhou, R. 2002. *Influence Of Salt Added To Solvent On Extractive Distillation*. Chemical Engineering Journal, Volume 24.
- Mardoni. 2007. *Perbandingan Metode Kromatografi Gas Dan Berat Jenis Pada Penetapan Kadar Etanol Dalam Minuman Anggur*, http://www.usd.ac.id/06/publ_dosen/far/mardoni.pdf- diakses 30 Oktober 2007.
- Martoyo., Theresia, E. S. Bambang dan Bachtiar. 1991. *Diktat Analisis Kadar Gula Total dalam Tetes (Molase)*. Pasuruan: Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia
- Minarni, N., Ismuyanto, B., Sutrisno. 2013. *Pembuatan Bioetanol Dengan Bantuan Saccharomyces Cerevisiae Dari Glukosa Hasil Hidrolisis Biji Durian (Durio Zhibetinus)*. Malang: Universitas Brawijaya
- Muljono, J., dan A.A Daewis, 199. *Teknologi Fermentasi*. Bogor: Pusat Antara Universitas Bioteknologi, Institut Pertanian Bogor
- Nais, M.F., Wibawa, Gede. 2011. *Peningkatan Kualitas Zeolit Alam Indoensia Sebagai Adsorben pada Produksi Bioethanol Fuel Grade*. Surabaya: ITS
- Nimmo JR. 2004. *Porosity and Pore Size Distribution*. Di dalam : Hillel D, editor. *Encyclopedia of Soils in The Environment*. New York : Academic Pr. hlm 295-303
- Novitasari, D. 2012. *Pemurnian Bioetanol Menggunakan Proses Adsorpsi Dan Destilasi Adsorpsi Dengan Adsorben Zeolit*. Semarang: Undip
- Nugroho, A., Effendi, Edison., Wongso, Lydya. *Produksi Etanol Dari Limbah Padat Tapioka Dengan Aspergillus Niger Dan Saccharomyces Cerevisiae*. Jakarta: Trisakti

- Nurdyastuti, I. 2005. *Teknologi Proses Produksi Bioetanol*.
- Pardosi, J.L. 2009. *Perbandingan Metode Kromatografi Gas dan Berat Jenis Pada Penetapan Kadar Etanol*. Medan: USU
- Paturau, J. M. 1982. *By - Product of the Cane Sugar Industry*. Elsevier Scientific Publ. Co., Amsterdam.
- Pelczar, M. J., Chan, E. C. S. & Pelczar, M. F. 1982. *Element of Microbiology*. McGraw Hill Book Company, New York.
- Periysamy, S. 2009. *Production of Bio-ethanol From Sugar Molasses Using Saccharomyces Cerevisiae*. India: KSR College of Technology Tiruchengodu
- Pinto, R.T.P., Wolf-Maciel, M.R. and Computers and Lintomen, L. 2000. *Saline Extractive Distillation Process For Ethanol Purification*. Computers and Chemical Engineering, Volume 24
- Prabawa, A, A., Utomo, H, E., dan Abdullah. 2012. Produksi Enzim Invertase oleh *Saccharomyces cerevisiae* Menggunakan Substrat Gula Dengan Sistem Fermentasi Cair. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri, Vol 1, No 1, Halm 139-149*.
- Putro, A.N.H. 2010. *Proses Pengambilan Kembali Bioetanol Hasil Fermentasi Dengan Metode Adsorpsi Hidrofobik*. Semarang: Undip
- Rahman, N.A., Setyawati, Harimbi. 2012. *Peningkatan Kadar Bioetanol Dari Kulit Nanas Menggunakan Zeolit Alam dan Batu Kapur*. Malang: ITN Malang
- Riyanti, E.I. 2009. *Biomassa Sebagai Bahan Baku Bioetanol*. Bogor : Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Bioteknologi dan Sumberdaya Genetik Pertanian
- Saptantyo, G. 2007. *Pemurnian Etanol sebagai Campuran Gasohol dengan Metode Saline Extractive Distillation dengan menggunakan NaCl dan Acetonitril*. Skripsi. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Sastrohamidjojo, H. 2007. *Kromatografi*. Yogyakarta: Liberty.
- Sebayang, F. 2006. *Pembuatan Etanol dari Molase secara Fermentasi Menggunakan Sel Saccharomyces cerevisiae yang Terimobilisasi pada Kalsium Alginat*. Medan: USU

- Simanjuntak, R. 2009. *Studi Pembuatan Etanol Dari Limbah Gula (Molase)*. Medan: USU Press
- Smart, L, and Moore, E. 1993. *Solid State Chemistry*, First edition. London : Chapman and Hall University and Professional Division.
- Subari, T. E. B. 1988. *Imobilisasi Sel Saccharomyces cerevisiae dan Saccharomyces uvarum dengan Aiginat sebagai Matriks Polimer untuk Pembuatan Etanol dari Molase*. Skripsi. Bogor: Fateta IPB
- Tarigan. 2009. *Pra Rancangan Pembuatan pabrik bioetanol dari Molase Kapasitas produksi 98.000 ton/tahun*. <http://Repository.usu.ac.id>. Diakses tanggal 24 Maret 2013.
- Tarigan, J. 1988. *Pengantar Mikrobiologi*. Jakarta: Departemen Pendidikan.
- Tim Tafsir Depag. 1993. *Tafsir Al-Qura'an*. Jakarta: Departemen Agama RI
- Trisunaryati, W. 2009. *Zeolit Alam Sebagai Absorben dan Katalis Dalam Mengatasi Masalah Lingkungan dan Krisis Energi*. Jogjakarta: UGM
- Wang, D. I. C., C. L. Cooney, A. I. Demain, P. Dunnill, A. E. Humphrey dan M. D. Lilly. 1979. *Fermentation and Enzyme Technology*. John Wiley and Sons Inc., New York.
- Wanto, E. P. dan A. Soebagyo. 1980. *Dasar-dasar Mikrobiologi Industri*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan RI
- Zuhaidha, N. 2012. *Zeolit Alam Teraktivasi Basa Untuk Pemurnian Bioetanol*. Bogor: IPB

Lampiran I

Skema Kerja

1. Pembuatan Adsorben Zeolit Teraktivasi NaOH

Zeolit Alam 120-150 mesh 25 g

- Dimasukkan ke dalam beaker glass berisi 450 mL NaOH 1 M¹
- Ditambahkan 107,38 gram tawas
- Dipanaskan pada suhu 80 °C selama 2 jam
- Difiltrasi, dicuci dengan aquades sampai pH netral
- Dikeringkan dalam oven (80 °C, 10 jam)
- Dikalsinasi (650 °C, 2 jam)

Hasil

2. Pembuatan Media

- **Media YPGA (*Yeast Extract Pepton Glucose Agar*) (Hartina, 2013)**

YPGA (*yeast extract* 0,5 g, *pepton* 1 g, glukosa 2 g, dan agar 3 g)

- Dilarutkan dengan akuades 100 ml
- Dipanaskan hingga mendidih
- Dimasukkan dalam tabung reaksi masing-masing 10 ml
- Disterilisasi dalam *autoclave* pada suhu 121 °c, tekanan 15 psi selama 15 menit
- Didinginkan dalam keadaan miring

Hasil

- **Media YPGB (*Yeast Extract Peptone Glucose Broth*) (Hartina, 2013)**

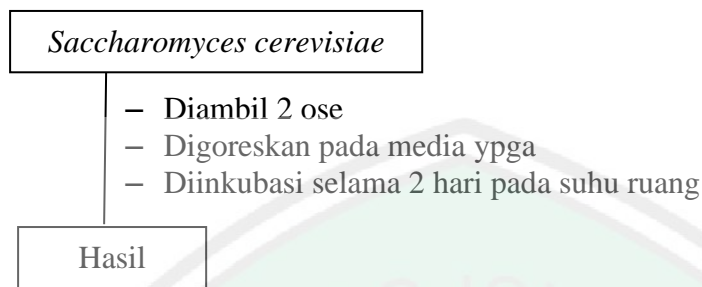
YPGB (*yeast extract* 1 g, *peptone* 2 g, glukosa 4 g)

- Dilarutkan dalam 200 ml akuades
- Dipanaskan hingga mendidih
- Disterilisasi dalam *autoclave* pada suhu 121 °c, tekanan 15 psi selama 15 menit

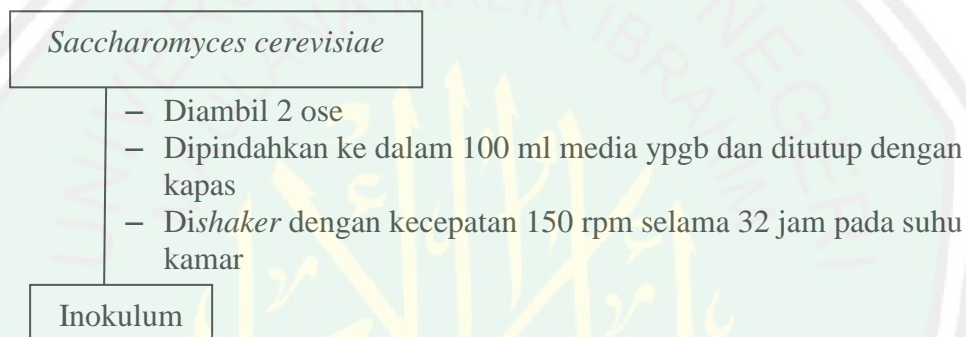
Hasil

¹ Dilakukan hal yang sama untuk konsentrasi 2, 3 dan 4 M

3. Regenerasi *Saccharomyces cerevisiae*

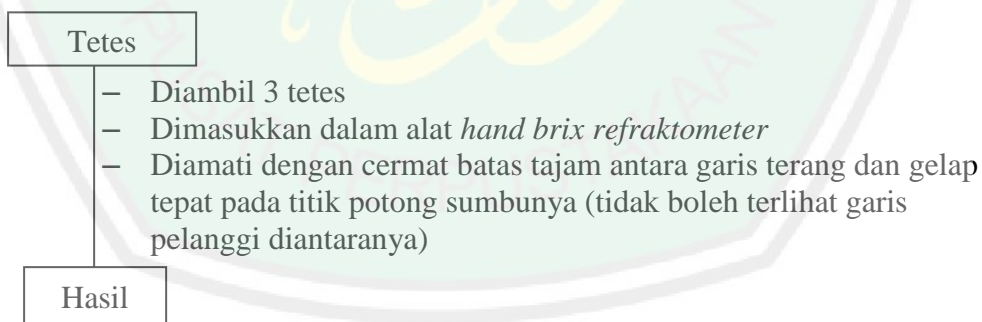


4. Pembuatan Inokulum (Hartina, 2013)



5. Preparasi Bahan Baku

• Pengukuran Brix (Kultsum, 2009)



Konsentrasi gula yang didapatkan dalam % Brix selanjutnya diencerkan dengan menambahkan akuades hingga 20 % Brix, dengan rumus pengenceran $M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$

Tetes tebu 20 °Brix

- Diambil 600 ml
- Dimasukkan dalam *beaker glass*
- Ditambahkan urea sebanyak 0,3 %
- Dimasukkan ke dalam 3 erlenmeyer masing-masing 200 ml
- Ditambahkan H₂SO₄ 0,1 N pada masing-masing erlenmeyer pada ph yang diinginkan yaitu 4
- Disterilisasi dalam *autoclave* pada suhu 121 °c dan tekanan 15 psi selama 2 jam
- Didinginkan hingga mencapai suhu ruang

Hasil

• **Fermentasi Molase Untuk Menghasilkan Etanol**

200 mL tetes dengan pH 5

- Ditambahkan inokulum *Saccharomyces cereviciae* yang telah mencapai fase log sebanyak 20 ml
- Ditutup dengan kapas
- Diinkubasi selama waktu fermentasi 6 hari sambil *dishaker* dengan kecepatan 150 rpm

Hasil

• **Destilasi Hasil Fermentasi Molase**

Tetes yang telah di Fermentasi

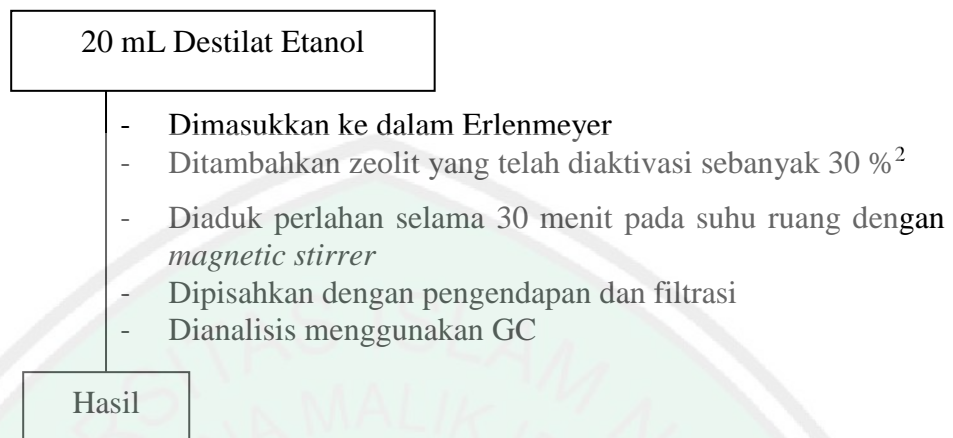
- Diambil 100 ml
- Dimasukkan dalam labu destilasi
- Didestilasi pada suhu berkisar antara 78,5 - 85 °c

Destilat

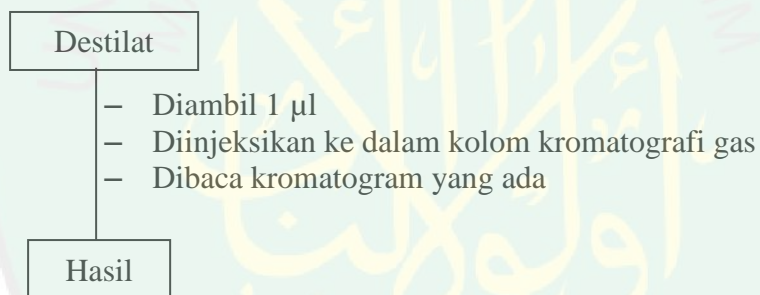
- Ditampung dalam botol
- Dihentikan hingga cairan tidak menetes lagi
- Ditutup rapat

Hasil

6. Dehidrasi Etanol Hasil Destilasi Menggunakan Zeolit Teraktivasi NaOH



7. Analisis Kadar Bioetanol dengan Kromatografi Gas (KG)



² Dilakukan juga pada berat 40 dan 50 %

Lampiran II

Preparasi dan Perhitungan

a. Pembuatan Larutan NaOH

1. NaOH 1 M

$$n = \frac{m}{mr} \qquad n = \frac{4 \text{ gram}}{40} = 0,1$$

$$M = \frac{n}{v} \qquad M = \frac{0,1 \text{ mol}}{0,1L} = 1 \text{ M}$$

Diambil 4 gram padatan NaOH lalu diencerkan kedalam beaker glass 100 mL yang telah terisi aquades 25 mL. Setelah larut, larutan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambah aquades sampai tanda batas.

2. NaOH 2 M

$$n = \frac{m}{mr} \qquad n = \frac{8 \text{ gram}}{40} = 0,2$$

$$M = \frac{n}{v} \qquad M = \frac{0,2 \text{ mol}}{0,1L} = 2 \text{ M}$$

Diambil 8 gram padatan NaOH lalu diencerkan kedalam beaker glass 100 mL yang telah terisi aquades 25 mL. Setelah larut, larutan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambah aquades sampai tanda batas.

3. NaOH 3 M

$$n = \frac{m}{mr} \qquad n = \frac{12 \text{ gram}}{40} = 0,3$$

$$M = \frac{n}{v} \qquad M = \frac{0,3 \text{ mol}}{0,1L} = 3 \text{ M}$$

Diambil 12 gram padatan NaOH lalu diencerkan kedalam beaker glass 100 mL yang telah terisi aquades 25 mL. Setelah larut, larutan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambah aquades sampai tanda batas.

4. NaOH 4 M

$$n = \frac{m}{mr} \longrightarrow n = \frac{16 \text{ gram}}{40} = 0,4$$

$$M = \frac{n}{v} \longrightarrow M = \frac{0,4 \text{ mol}}{0,1 \text{ L}} = 4 \text{ M}$$

Diambil 16 gram padatan NaOH lalu diencerkan kedalam beaker glass 100 mL yang telah terisi aquades 25 mL. Setelah larut, larutan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 mL dan ditambah aquades sampai tanda batas.

b. Pembuatan Larutan H₂SO₄ 0,1 N

Menghitung Normalitas H₂SO₄ dengan konsentrasi 98 %

$$\text{Normalitas} = \frac{1000 \times \text{BJ} \times \text{C}}{\text{BE}}$$

Ket: BJ= Berat Jenis H₂SO₄ (1,19)

C = Konsentrasi H₂SO₄ p.a (98 %)

BE= Berat Ekuivalen H₂SO₄ (98 x 1/2 = 49)

$$\text{Jadi Normalitas H}_2\text{SO}_4 \text{ 98 \%} = \frac{1000 \times 1,19 \times 98 / 100}{49} = 23,8 \text{ N}$$

Untuk membuat H₂SO₄ dengan konsentrasi 0,1 N maka dapat dilakukan pengenceran dengan rumus sebagai berikut:

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$23,8 \text{ N} \cdot V_1 = 0,1 \text{ N} \cdot 100 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{0,1 \text{ N} \cdot 100 \text{ mL}}{23,8 \text{ N}} = 0,42 \text{ mL}$$

Jadi untuk membuat larutan H_2SO_4 dengan konsentrasi 0,1 N dibutuhkan 0,42 mL larutan H_2SO_4 98 % dan dilarutkan dengan akuades sebanyak 100 mL.

c. Pengenceran Molase

$$M_1 \cdot V_1 = M_2 \cdot V_2$$

$$V_1 = \frac{M_2 \cdot V_2}{M_1}$$

Keterangan : M_1 : Konsentrasi Brix awal (sebelum diencerkan)

M_2 : Konsentrasi Brix akhir (setelah diencerkan)

V_1 : Volume sampel awal (sebelum diencerkan)

V_2 : Volume sampel akhir (setelah diencerkan)

$$90 \% \cdot V_1 = 20 \% \cdot 2000 \text{ mL}$$

$$V_1 = 444,44 \text{ mL}$$

Jadi untuk mengencerkan molase menjadi 20 % Brix diambil 444,44 mL tetes, kemudian diencerkan dengan air hingga volume 2000 mL.

d. Menghitung penambahan tawas dalam proses aktivasi zeolit (Nais, 2012)

Tawas

25 gram → $\text{Al}_2\text{O}_3 = 10,2816 \%$

$\text{SiO}_2 = 53,2322 \%$

Hasil Analisa XRF Zeolit Alam
Malang oleh Setiadi & Pertiwi (2007)

Sehingga didapatkan :

$$\text{Al}_2\text{O}_3 = 25 \times 10,2816 \% = 2,570$$

$$\text{SiO}_2 = 25 \times 53,2322 \% = 13,308$$

Untuk mendapatkan perbandingan $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 1:1$ maka dibutuhkan :

$$\begin{aligned} \text{Al}_2\text{O}_3 &= 13,308 - 2,570 \\ &= 10,738 \text{ gram} \end{aligned}$$

Dimana diketahui dari spesifikasi produk dari supplier bahwa dalam tawas mengandung Al_2O_3 sebesar 10 %. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut maka kebutuhan Al_2O_3 agar perbandingannya 1:1 dibutuhkan tawas sebanyak

$$\begin{aligned} \text{tawas} &= 10,738 \text{ gram} \times 10 \\ &= 107,38 \text{ gram} \end{aligned}$$



e. Analisis Kadar Bioetanol Hasil Fermentasi Tetes Tebu Menggunakan Kromatografi Gas

Sampel	Kadar Bietanol Hasil Destilasi (% v/v)	Kadar Etanol (%)		Total (%)
		UI	UII	
A1B1	29,8	11,89	12,05	11,97
A1B2		10,79	10,64	10,71
A1B3		16,72	10,25	13,49
A2B1		58,41	49,11	53,76
A2B2		9,64	11,79	10,72
A2B3		10,34	11,94	11,14
A3B1		7,34	10,01	8,68
A3B2		10,64	10,93	10,79
A3B3		8,78	8,16	8,47
A4B1		10,34	10,25	10,30
A4B2		5,33	10,00	7,67
A4B3		11,99	9,47	10,73

Persamaan regresi kurva kalibrasi

$$y = 0,899 x$$

dimana $y = \frac{\text{luas area sampel}}{\text{luas area standar internal}}$

Misalnya:

1. Sampel destilat sebelum dehidrasi

$$y = \frac{449767,58}{1678529,46} = 0,2679$$

$$0,2679 = 0,899 x$$

$$x = \frac{0,2679}{0,899} \times 100 \%$$

$$x = 29,8 \%$$

2. Sampel A₂B₁

$$y = \frac{217463,80}{414151,37} = 0,525$$

$$0,525 = 0,899 x$$

$$x = \frac{0,525}{0,899} \times 100 \%$$

$$x = 58,41 \%$$



f. Perhitungan Peningkatan Kadar Bioetanol

Sampel	Kadar Awal (%)	Kadar Akhir (%)		PKB (%)		Total (%)
		UI	UII	UI	UII	
A1B1	29,8	11,89	12,05	-60.08	-66.4	1,23
A1B2		10,79	10,64	-63.79	-64.29	-5,48
A1B3		16,72	10,25	-43.89	-65.6	1,69
A2B1		58,41	49,11	95.99	64.79	7,8
A2B2		9,64	11,79	-67.65	-60.44	-6,27
A2B3		10,34	11,94	-65.3	-59.93	4,51
A3B1		7,34	10,01	-75.36	-66.4	-2,03
A3B2		10,64	10,93	-64.29	-63.32	-3,82
A3B3		8,78	8,16	-70.53	-72.61	3,75
A4B1		10,34	10,25	-65.3	-65.6	0,44
A4B2		5,33	10,00	-82.11	-66.44	-7,03
A4B3		11,99	9,47	-59.76	-68.24	-2,82

$$\text{PKB} = \frac{(\% \text{ akhir} - \% \text{ awal})}{\% \text{ awal}} \times 100\%$$

$$\text{A2B1} = \frac{(58,41 - 29,8)}{29,8} \times 100\% = 95,99 \%$$

f. Perhitungan Kapasitas Adsorpsi Zeolit

Sampel	Kadar Air Awal (%)	Kadar Air Akhir (%)		KAZ (%)		Total (%)
		UI	UII	UI	UII	
A1B1	70,02	88,50	87,96	-305,00	-296,00	-300,50
A1B2		89,21	89,36	-237,63	-239,63	-238,63
A1B3		83,28	89,75	-130,80	-195,50	-163,15
A2B1		41,59	50,89	476,78	321,83	399,31
A2B2		90,36	88,21	-252,00	-225,13	-238,57
A2B3		89,66	88,06	-194,60	-178,60	-186,60
A3B1		92,66	89,99	-374,43	-329,83	-352,13
A3B2		89,36	89,07	-239,50	-239,88	239,69
A3B3		91,22	91,84	-210,20	-216,40	-213,30
A4B1		89,66	89,75	-324,33	-325,83	-325,08
A4B2		94,67	90,00	-305,88	-247,50	-276,69
A4B3		88,01	90,54	-178,10	-203,35	-190,73

$$KAZ = \frac{K_a \text{ awal} - K_a \text{ akhir}}{m \text{ Zeolit}} \times 100\%$$

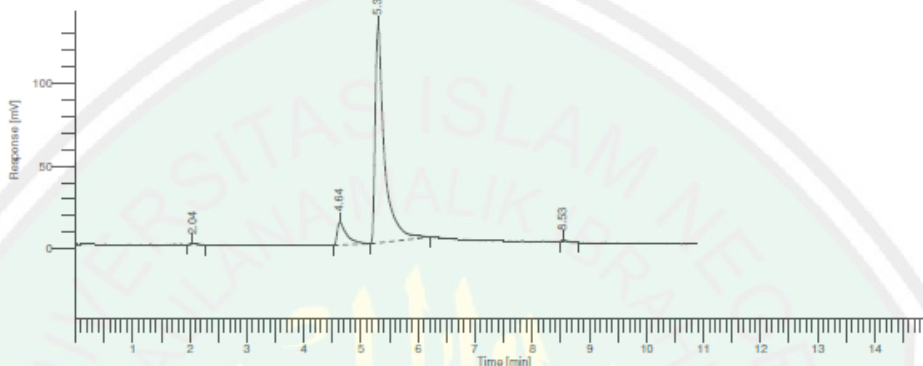
$$A2B1 = \frac{70,02 - 41,59}{6 \text{ gram}} \times 100\% = 476,78 \%$$

Lampiran III

Hasil Analisis Kromatografi Gas

Ulangan I

➤ Sampel A₁B₁



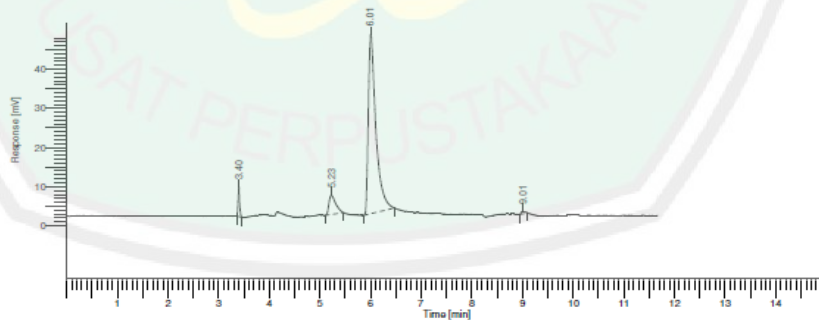
REKAPITULASI HASIL

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	2.043	7632.38	905.77	0.46
2	4.635	158535.91	13554.68	9.57
3	5.302	1482450.04	131053.24	89.46
4	8.531	8575.50	979.56	0.52
		1657193.82	146493.26	100.00

Missing Component Report
 Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

➤ Sampel A₁B₂



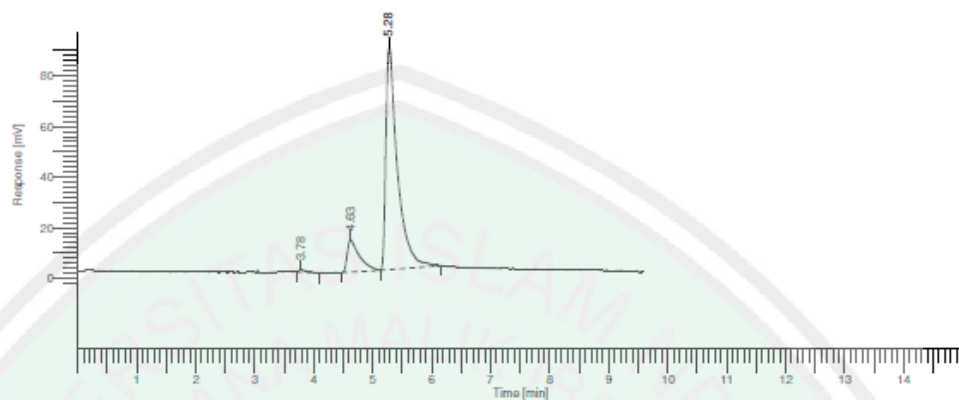
REKAPITULASI HASIL

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	3.400	14693.20	5737.11	2.73
2	5.228	45928.66	4898.05	8.54
3	6.008	473505.23	46018.33	88.07
4	9.009	3499.39	673.96	0.65
		537626.48	57327.45	100.00

Missing Component Report
 Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

➤ Sampel A₁B₃



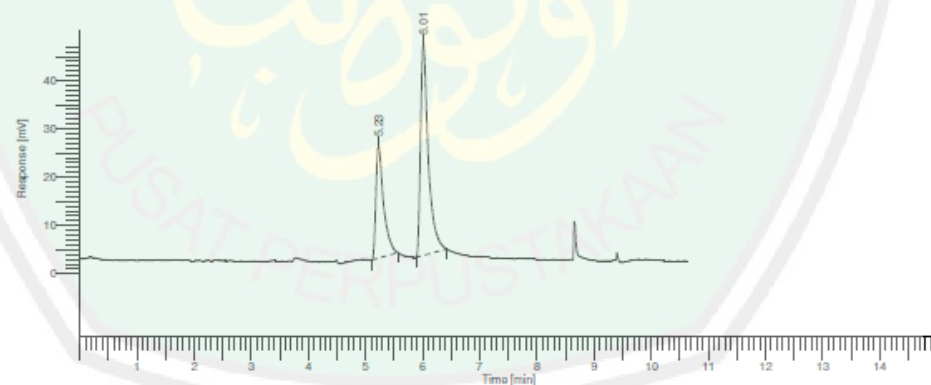
REKAPITULASI HASIL

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	3.785	8483.05	830.55	0.61
2	4.631	179626.77	12503.32	12.99
3	5.285	1194684.64	88089.82	86.40
		1382794.46	101423.69	100.00

Missing Component Report
Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

➤ Sampel A₂B₁

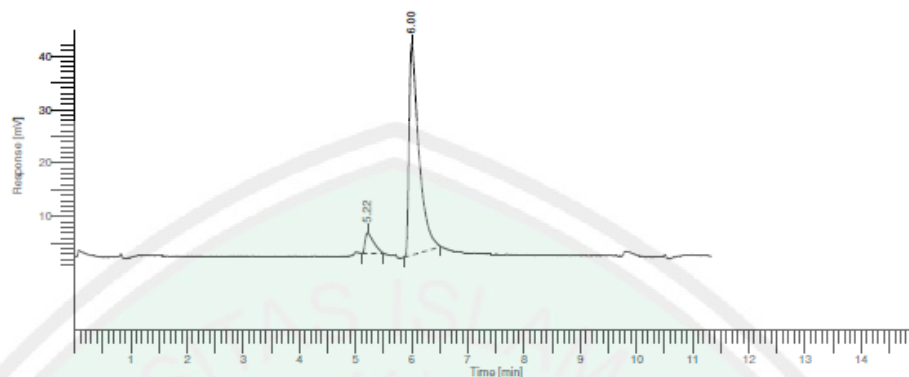


REKAPITULASI HASIL

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	5.231	217463.80	23101.45	34.43
2	6.014	414151.37	43758.67	65.57
		631615.17	66860.13	100.00

Missing Component Report
Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

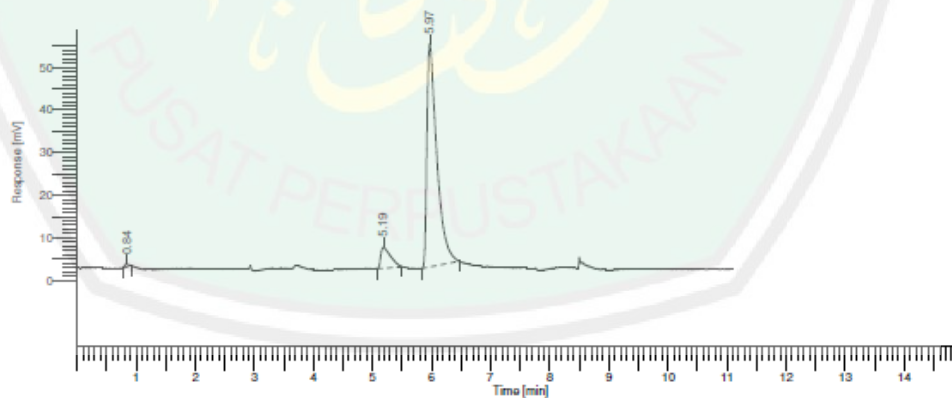
➤ Sampel A₂B₂

REKAPITULASI HASIL

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	5.219	41260.66	3886.50	7.97
2	6.005	476198.17	39510.07	92.03
		517458.83	43396.57	100.00

Missing Component Report
 Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

➤ Sampel A₂B₃

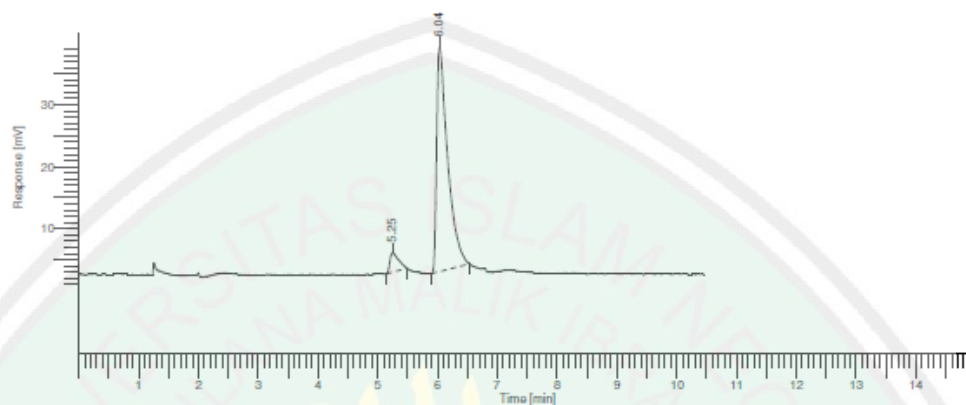
REKAPITULASI HASIL

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	0.842	2870.92	624.00	0.43
2	5.189	56755.01	4989.05	8.51
3	5.972	607444.80	52534.35	91.06
		667070.73	58147.40	100.00

Missing Component Report
 Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

➤ Sampel A₃B₁



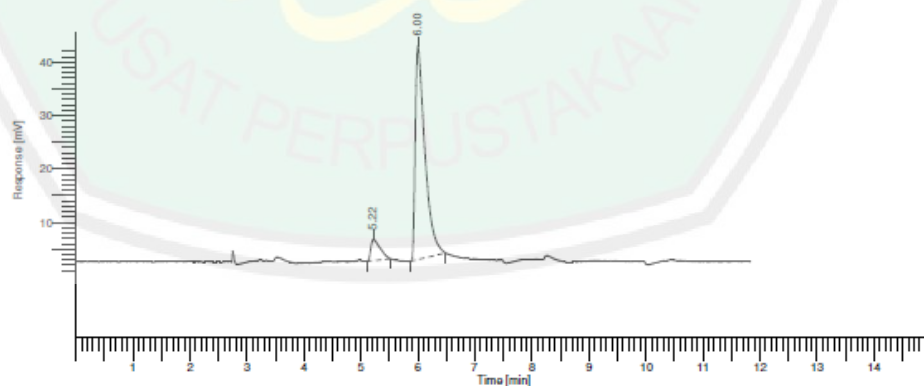
REKAPITULASI HASIL

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	5.255	30724.80	3094.73	6.19
2	6.039	465313.02	36404.97	93.81
		496037.81	39499.70	100.00

Missing Component Report
Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

➤ Sampel A₃B₂



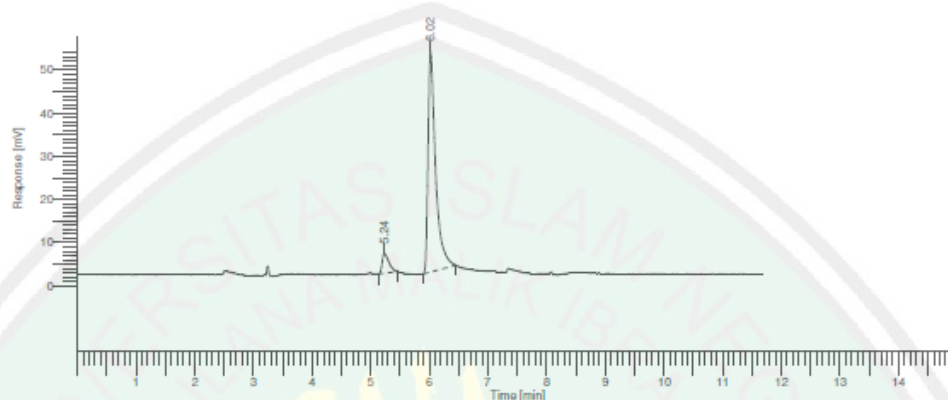
REKAPITULASI HASIL

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	5.224	44892.25	3987.90	8.73
2	6.004	469161.96	40066.33	91.27
		514054.21	44054.23	100.00

Missing Component Report
Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

➤ Sampel A₃B₃



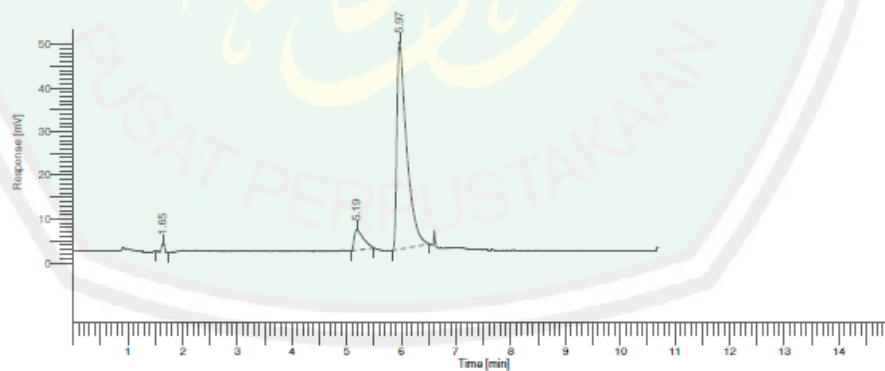
REKAPITULASI HASIL

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	5.239	36640.65	4605.57	7.40
2	6.023	458768.04	51580.98	92.60
		495408.68	56186.54	100.00

Missing Component Report
Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

➤ Sampel A₄B₁

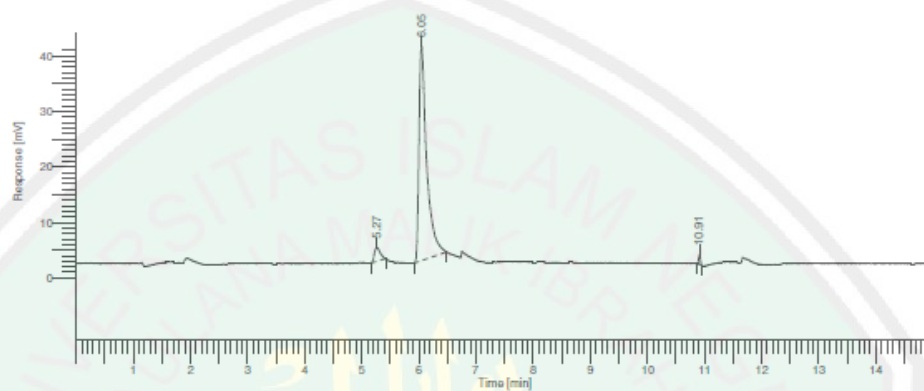


REKAPITULASI HASIL

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	1.646	7935.35	1938.83	1.22
2	5.189	54886.70	4733.12	8.44
3	5.971	587363.16	47402.55	90.34
		650185.21	54074.49	100.00

Missing Component Report
Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

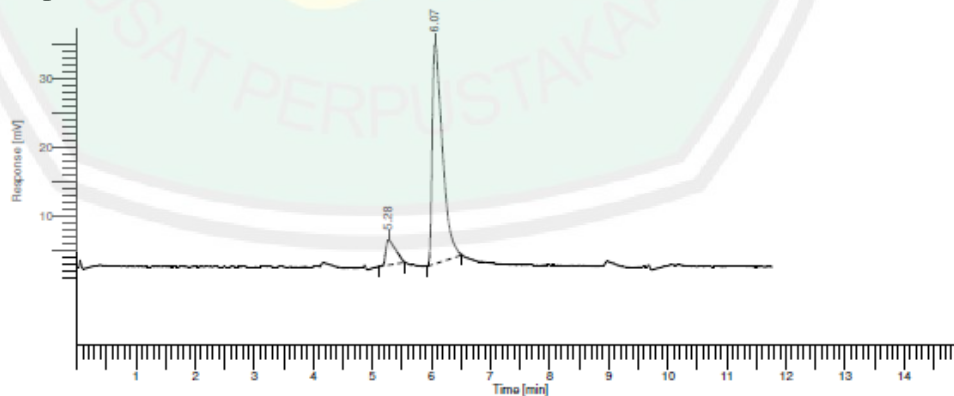
➤ Sampel A₄B₂

REKAPITULASI HASIL

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	5.268	17530.44	2482.27	4.54
2	6.049	364941.89	38550.52	94.45
3	10.913	3933.97	1488.53	1.02
		386406.30	42521.32	100.00

Missing Component Report
Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

➤ Sampel A₄B₃

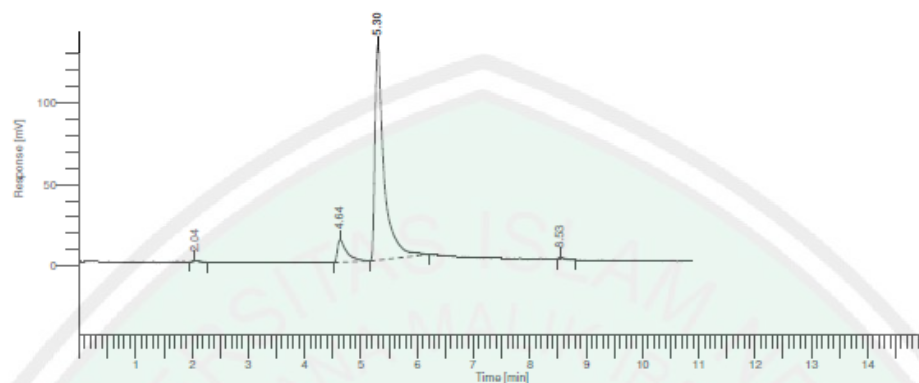
REKAPITULASI HASIL

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	5.281	41362.82	3597.38	9.73
2	6.067	383734.73	32095.97	90.27
		425097.55	35693.35	100.00

Missing Component Report
Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

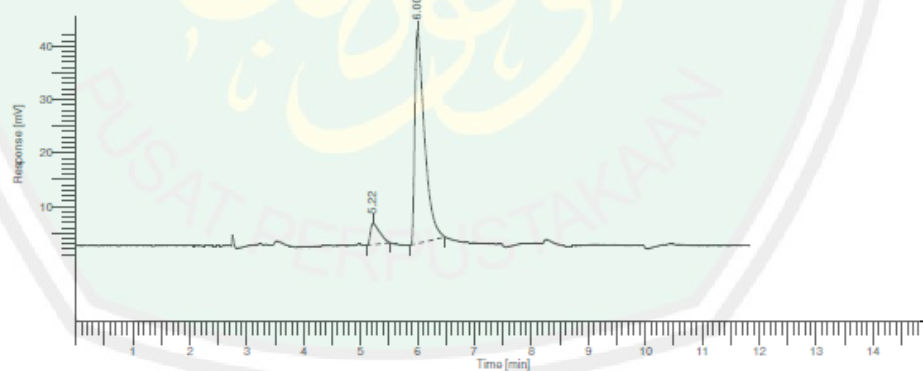
Ulangan II

➤ Sampel A₁B₁

REKAPITULASI HASIL

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	2.052	7634.58	909.03	1.15
2	4.643	160765.21	13564.79	9.68
3	5.305	1484620.31	131053.24	89.35
4	8.531	8576.50	979.90	0.52
		1661596.59	146500.96	100.00

Missing Component Report
 Component Expected Retention (Calibration File)
 All components were found

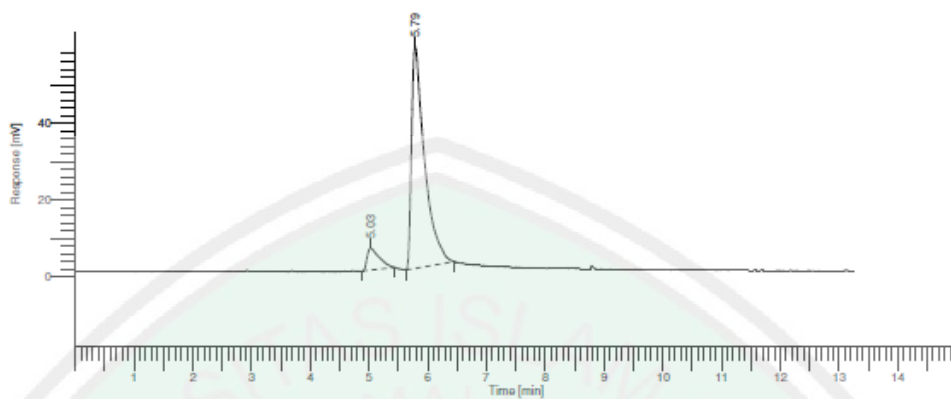
➤ Sampel A₁B₂

REKAPITULASI HASIL

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	5.224	44892.25	3987.90	8.73
2	6.004	469161.96	40066.33	91.27
		514054.21	44054.23	100.00

Missing Component Report
 Component Expected Retention (Calibration File)
 All components were found

➤ Sampel A₁B₃



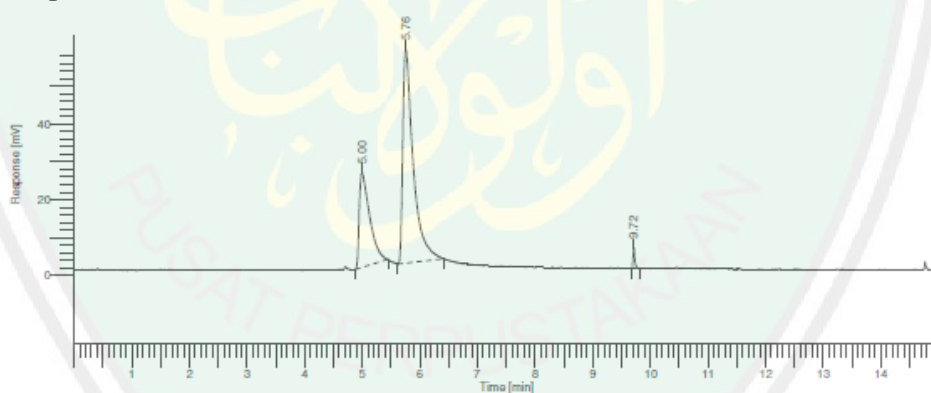
DEFAULT REPORT

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	5.032	82099.92	5718.99	8.44
2	5.788	890185.35	57771.20	91.56
		972285.27	63490.19	100.00

Missing Component Report
Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

➤ Sampel A₂B₁



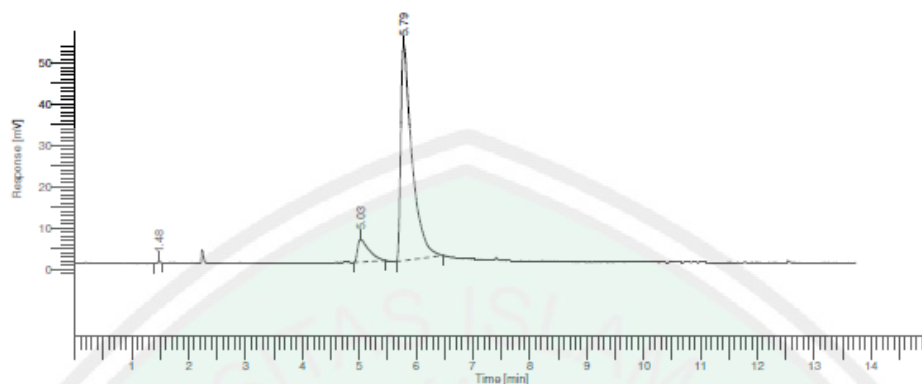
DEFAULT REPORT

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	5.002	314676.36	24906.77	30.29
2	5.758	712737.19	56954.37	68.80
3	9.717	11539.73	4301.80	1.11
		1038953.28	86162.94	100.00

Missing Component Report
Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

➤ Sampel A₂B₂



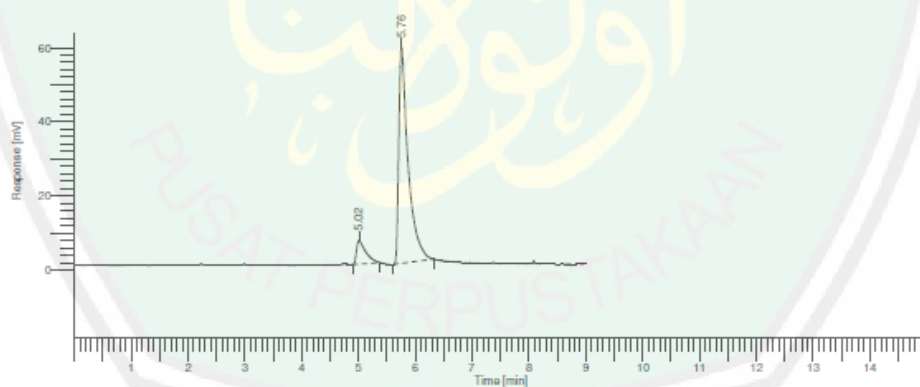
DEFAULT REPORT

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	1.485	933.77	344.74	0.12
2	5.028	76352.99	5598.99	9.58
3	5.788	719394.43	52444.44	90.30
		796681.18	58388.17	100.00

Missing Component Report
Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

➤ Sampel A₂B₃



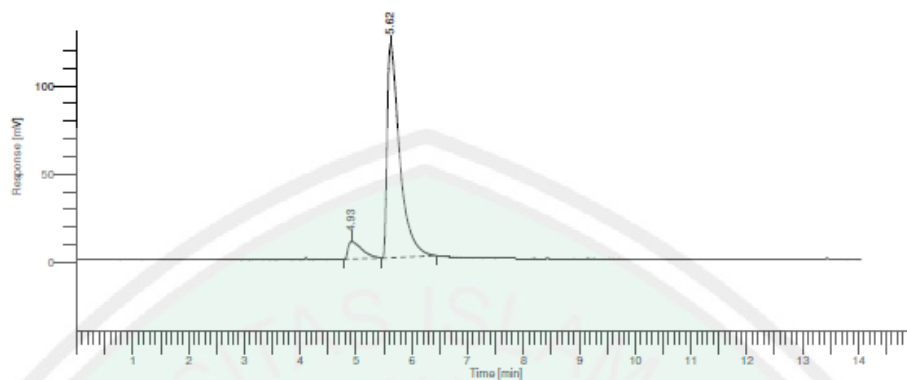
DEFAULT REPORT

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	5.016	71491.96	6342.07	9.70
2	5.759	665811.43	58918.85	90.30
		737303.39	65260.92	100.00

Missing Component Report
Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

➤ Sampel A₃B₁



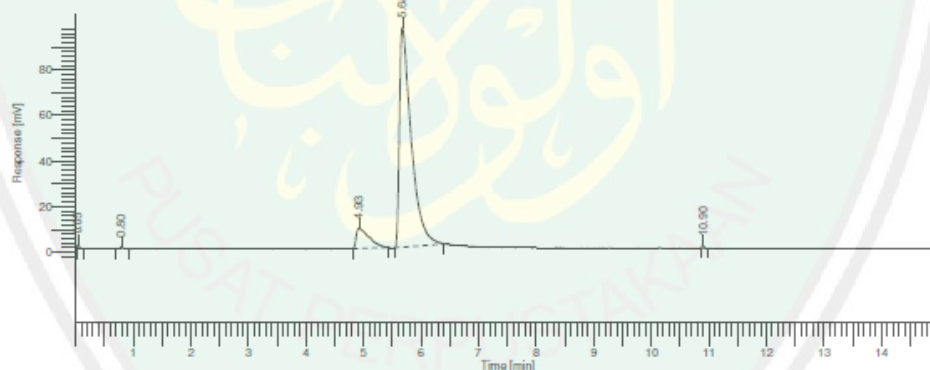
DEFAULT REPORT

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	4.926	169984.35	9904.29	8.27
2	5.624	1884215.97	121383.48	91.73
		2054200.32	131287.77	100.00

Missing Component Report
Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

➤ Sampel A₃B₂



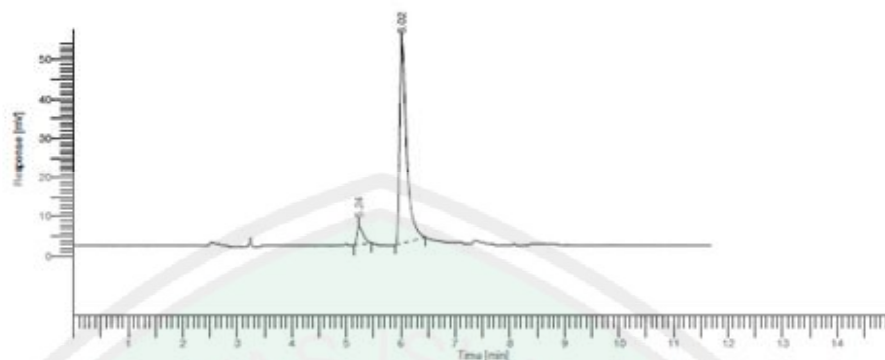
DEFAULT REPORT

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	0.050	4354.66	1838.73	0.29
2	0.799	2879.98	953.26	0.19
3	4.928	134850.48	8929.79	8.88
4	5.681	1371991.92	96322.97	90.37
5	10.900	2955.26	1104.44	0.19
6	15.283	1194.78	428.50	0.08
		1518227.07	109577.69	100.00

Missing Component Report
Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

➤ Sampel A₃B₃

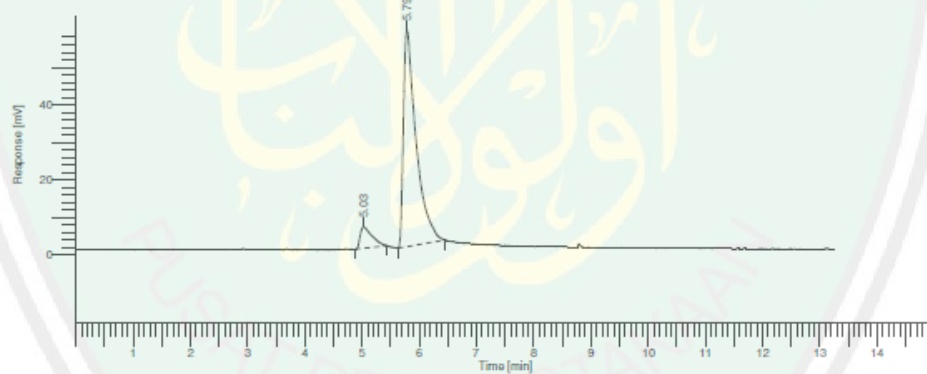


REKAPITULASI HASIL

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	5.239	33610.57	4590.80	6.85
2	6.954	457717.84	51580.98	93.15
		491328.41	56171.78	100.00

Missing Component Report
 Component Expected Retention (Calibration File)
 All components were found

➤ Sampel A₄B₁

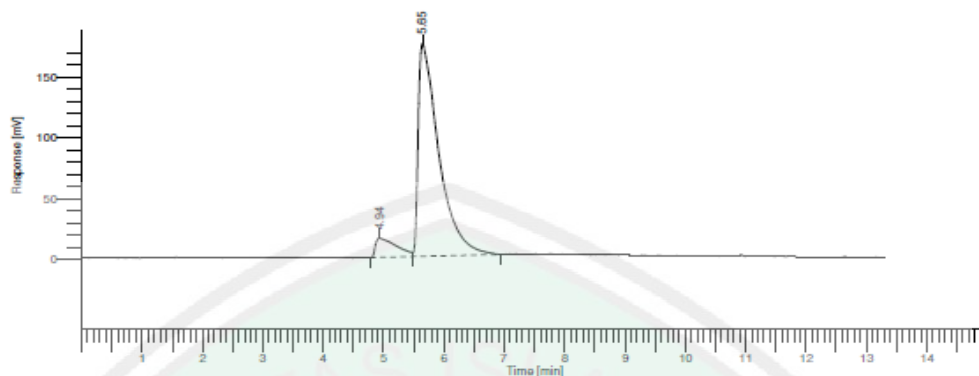


DEFAULT REPORT

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	5.032	82099.92	5718.99	8.44
2	5.788	890185.35	57771.20	91.56
		972285.27	63490.19	100.00

Missing Component Report
 Component Expected Retention (Calibration File)
 All components were found

➤ Sampel A₄B₂



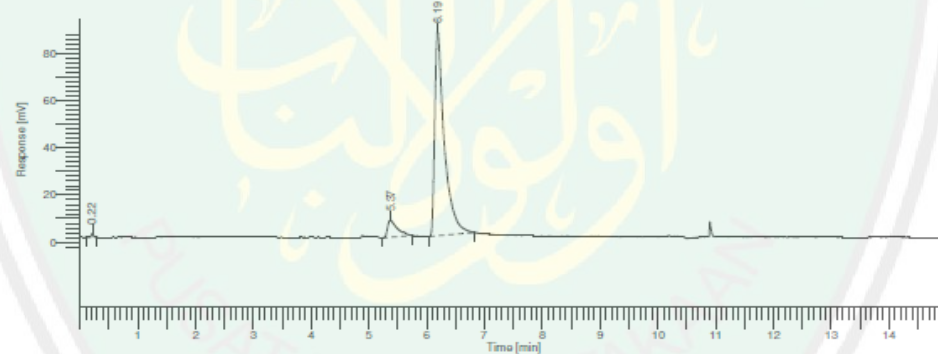
DEFAULT REPORT

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	4.936	373484.87	15638.76	8.25
2	5.850	4150991.93	174866.46	91.75
		4524476.80	190505.22	100.00

Missing Component Report
 Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

➤ Sampel A4B3



DEFAULT REPORT

Peak #	Time [min]	Area [uV*sec]	Height [uV]	Area [%]
1	0.216	4268.26	1408.81	0.39
2	5.374	84986.25	7314.87	7.74
3	6.192	998479.19	87384.99	90.92
4	20.620	10532.86	3981.12	0.96
		1098246.55	100089.39	100.00

Missing Component Report
 Component Expected Retention (Calibration File)

All components were found

Lampiran IV Dokumentasi Penelitian



Gambar 1. Pengayakan zeolit ukuran 120-150 mesh



Gambar 2. Pencucian zeolit dengan aquades



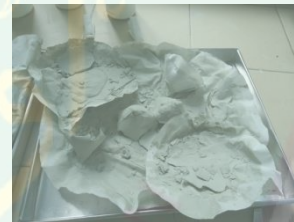
Gambar 3. Penyaringan dengan kertas saring



Gambar 4. Zeolit hasil saringan



Gambar 5. Pengovenan zeolit



Gambar 6. Zeolit hasil pengovenan



Gambar 7. Penghalusan Zeolit



Gambar 8. Zeolit yang siap diaktivasi



Gambar 9. Aktivasi zeolit dengan NaOH dan tawas



Gambar 10. Netralisasi zeolit dengan aquadest



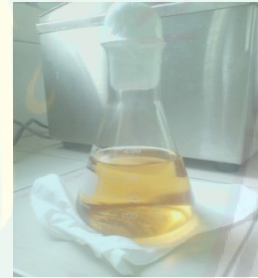
Gambar 11. Zeolit hasil kalsinasi dengan variasi konsentrasi NaOH pengaktivasi 1,2,3 dan 4 M



Gambar 12. Perbandingan warna zeolit sebelum sesudah aktivasi



Gambar 13. Media YPGA



Gambar 14. Media YPGB



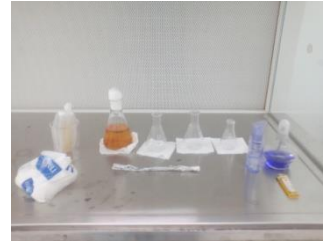
Gambar 15. Media agar miring



Gambar 16. Sterilisasi menggunakan autoclave



Gambar 17. Hasil regenerasi SC



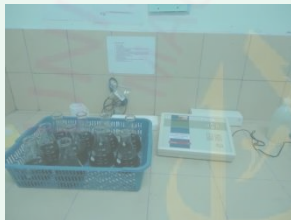
Gambar 18. Pembuatan Inokulum



Gambar 19. Pemanasan sampel molase



Gambar 20. Penyaringan pengotor dalam molase



Gambar 21. Pengaturan pH molase



Gambar 22. Sterilisasi sampel molase

Gambar 23. Fermentasi molase menggunakan *shaker incubator*

Gambar 24. Destilasi molase hasil fermentasi



Gambar 25. Dehidrasi etanol menggunakan zeolit



Gambar 26. Hasil dehidrasi etanol



Gambar 27. Alat kromatografi gas

