

**PENGARUH PENAMBAHAN ZEOLIT PADA  $Al_2O_3$  TERHADAP  
KOEFSIEN DIFUSI KNUDSEN KERAMIK KATALIS HIDROGEN**

**SKRIPSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**RENEO BAKOTA**  
NIM. 0210620107-62

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2009**



**PENGARUH PENAMBAHAN ZEOLIT PADA  $Al_2O_3$  TERHADAP  
KOEFSIEN DIFUSI KNUDSEN KERAMIK KATALIS HIDROGEN**

**SKRIPSI**

**Konsentrasi Teknik Produksi**

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**Disusun Oleh :**

**RENEO BAKOTA  
NIM. 0210620107**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met**  
NIP. 131 574 846

**Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc.CSE**  
NIP. 132 048 543



**PENGARUH PENAMBAHAN ZEOLIT PADA  $Al_2O_3$  TERHADAP  
KOEFSIEN DIFUSI KNUDSEN KERAMIK KATALIS HIDROGEN**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI TEKNIK PRODUKSI**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar sarjana teknik

Disusun oleh :

**RENEO BAKOTA**  
NIM. 0210620107-62

Skripsi ini telah diuji dan  
dinyatakan lulus pada tanggal 13 Februari 2009

Dosen Penguji,

Skripsi I

Skripsi II

**Ir. Winarno Yahdi Admadja, MT.**  
NIP. 131 280 655

**Ir. Endi Sutikno, MT.**  
NIP. 131 756 002

Komprehensif

**Ir. Suharto, MT**  
NIP. 131 131 025

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Dr. H. Slamet Wahyudi, ST. MT.**  
NIP. 132 159 708

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis sadar bahwa banyak pihak yang telah membantu didalam pengerjaan karya tulis ilmiah ini. Untuk itu ucapan terima kasih yang tulus penulis haturkan kepada :

- Dr. Slamet Wahyudi, ST.,MT, selaku Ketua Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya serta dosen wali yang telah membantu kelancaran pengerjaan skripsi ini.
- Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc, selaku Sekretaris Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya sekaligus dosen pembimbing II yang juga telah banyak memberikan sumbangan pemikiran, bimbingan dan masukan pada penulis.
- Ir. Marsoedi wirohardjo, MMT, selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Produksi Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya atas masukan-masukannya.
- Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met, selaku dosen pembimbing I yang banyak memberikan bimbingan dan masukan pada penulis dalam penyusunan skripsi ini.
- Bapakku Ir. Muhbir, Ibuku Farida Nur Santi, serta adik-adikku Ade Prasetyo, ST, Puspari Larasati, Ragil Kasuda, yang telah memberikan segala dukungan dan semangat untuk penulis sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
- Semua pihak yang secara langsung atau tidak langsung khususnya *Partner* skripsiku Iwan Kusuma, 145C *family* Arek Mesin Angkatan 2002; Gandes, Isa, Mac, Wira, Matthew, Purba, dll. yang telah membantu demi kelancaran pengerjaan skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, karena itu kritik dan saran sangat kami harapkan untuk kesempurnaan skripsi ini.

Malang, 27 Januari 2009

Penyusun

**DAFTAR ISI**

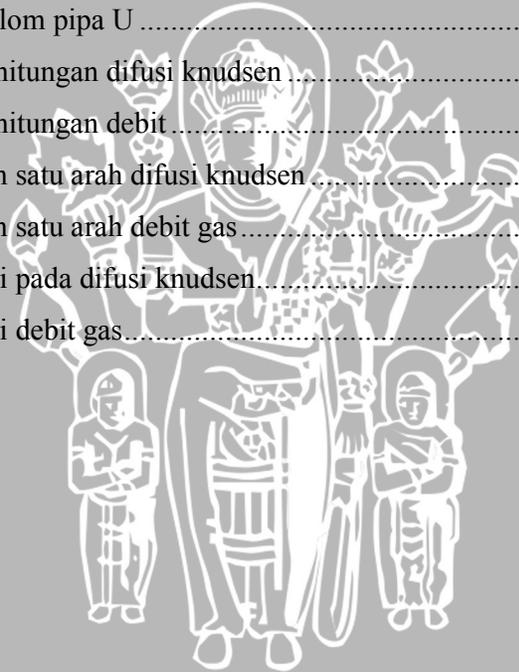
|  |     |
|--|-----|
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                | i   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                    | ii  |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                  | iv  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                 | v   |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....               | vi  |
| <b>RINGKASAN</b> .....                     | vii |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....             | 1   |
| 1.1 Latar Belakang.....                    | 1   |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                   | 3   |
| 1.3 Batasan Masalah.....                   | 3   |
| 1.4 Tujuan Penelitian.....                 | 4   |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....                | 4   |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....       | 5   |
| 2.1 Penelitian Sebelumnya.....             | 5   |
| 2.2 Katalis.....                           | 5   |
| 2.2.1 Reaksi katalis.....                  | 5   |
| 2.2.2 Pengembangan ( <i>support</i> )..... | 8   |
| 2.2.3 Katalis logam berpengembangan.....   | 9   |
| 2.3 Zeolit.....                            | 10  |
| 2.3.1 Struktur zeolit.....                 | 10  |
| 2.4 Keramik.....                           | 12  |
| 2.4.1 Jenis keramik.....                   | 12  |
| 2.4.2 Aluminium oksida.....                | 15  |
| 2.5 Difusi didalam padatan.....            | 17  |
| 2.5.1 Difusi knudsen.....                  | 17  |
| 2.6 Etanol.....                            | 18  |
| 2.6.1 Sifat fisika.....                    | 19  |
| 2.6.2 Sifat kimia.....                     | 20  |
| 2.7 Reaksi Pemisahan Hidrogen.....         | 21  |
| 2.8 Hidrogen.....                          | 21  |



|   |           |
|---|-----------|
| 2.9 Hipotesis .....   | 26        |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>  | <b>27</b> |
| 3.1 Metode Penelitian.....  | 27        |
| 3.2 Variabel Penelitian .....   | 27        |
| 3.3 Tempat dan Waktu Penelitian .....   | 27        |
| 3.4 Peralatan Dan Bahan Penelitian .....  | 28        |
| 3.4.1 Peralatan yang digunakan dalam penelitian .....                                     | 28        |
| 3.4.2 Bahan yang digunakan .....  | 28        |
| 3.5 Prosedur Pembuatan Spesimen.....  | 28        |
| 3.6 Prosedur Penelitian .....   | 29        |
| 3.7 Rancangan Penelitian .....  | 29        |
| 3.8 Analisis Statistik.....   | 30        |
| 3.9 Analisis Varian Satu Arah .....   | 30        |
| 3.10 Diagram Alir Penelitian .....  | 33        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>  | <b>34</b> |
| 4.1 Data Hasil Penelitian dan Perhitungan.....  | 34        |
| 4.2 Analisis Varian Satu Arah .....   | 37        |
| 4.2.1 Analisis varian satu arah data difusi knudsen .....                                 | 38        |
| 4.2.2 Analisis varian satu arah data debit gas .....                                      | 40        |
| 4.3 Analisis Regresi dan Korelasi .....   | 43        |
| 4.3.1 Analisis regresi dan korelasi pada difusi knudsen .....                             | 43        |
| 4.3.2 Analisis regresi dan korelasi pada debit gas .....                                  | 45        |
| 4.4 Pembahasan Grafik .....   | 48        |
| 4.4.1 Grafik hubungan penambahan persentase zeolit terhadap koefisien difusi knudsen..... | 48        |
| 4.4.2 Grafik hubungan penambahan persentase zeolit terhadap debit gas .....               | 49        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>  | <b>51</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....  | 51        |
| 5.2 Saran.....  | 51        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>   |           |
| <b>LAMPIRAN</b>   |           |

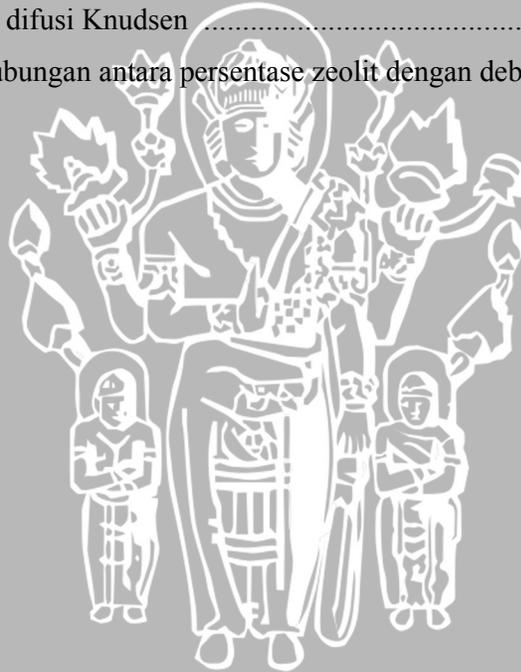
**DAFTAR TABEL**

| No.       | Judul   | Halaman |
|-----------|---|---------|
| Tabel 2.1 | Beberapa contoh aplikasi keramik tradisional.....                           | 13      |
| Tabel 2.2 | Beberapa sifat keramik modern.....  | 13      |
| Tabel 2.3 | Sifat fisis dan kimia material alumina.....                                 | 16      |
| Tabel 2.4 | Sifat mekanik aluminium oksida (99,5% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )..... | 17      |
| Tabel 2.5 | Properties etanol.....  | 21      |
| Tabel 2.6 | Sifat hidrogen.....   | 24      |
| Tabel 3.1 | Rancangan penulisan data penelitian.....                                    | 31      |
| Tabel 3.2 | Analisis varian satu arah.....  | 33      |
| Tabel 4.1 | Data ukuran pori Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -zeolit.....                | 34      |
| Tabel 4.2 | Data tinggi kolom pipa U.....   | 35      |
| Tabel 4.3 | Data hasil perhitungan difusi knudsen.....                                  | 37      |
| Tabel 4.4 | Data hasil perhitungan debit.....   | 37      |
| Tabel 4.5 | Analisis varian satu arah difusi knudsen.....                               | 40      |
| Tabel 4.6 | Analisis varian satu arah debit gas.....                                    | 43      |
| Tabel 4.7 | Analisa regresi pada difusi knudsen.....                                    | 45      |
| Tabel 4.8 | Analisa regresi debit gas.....  | 47      |



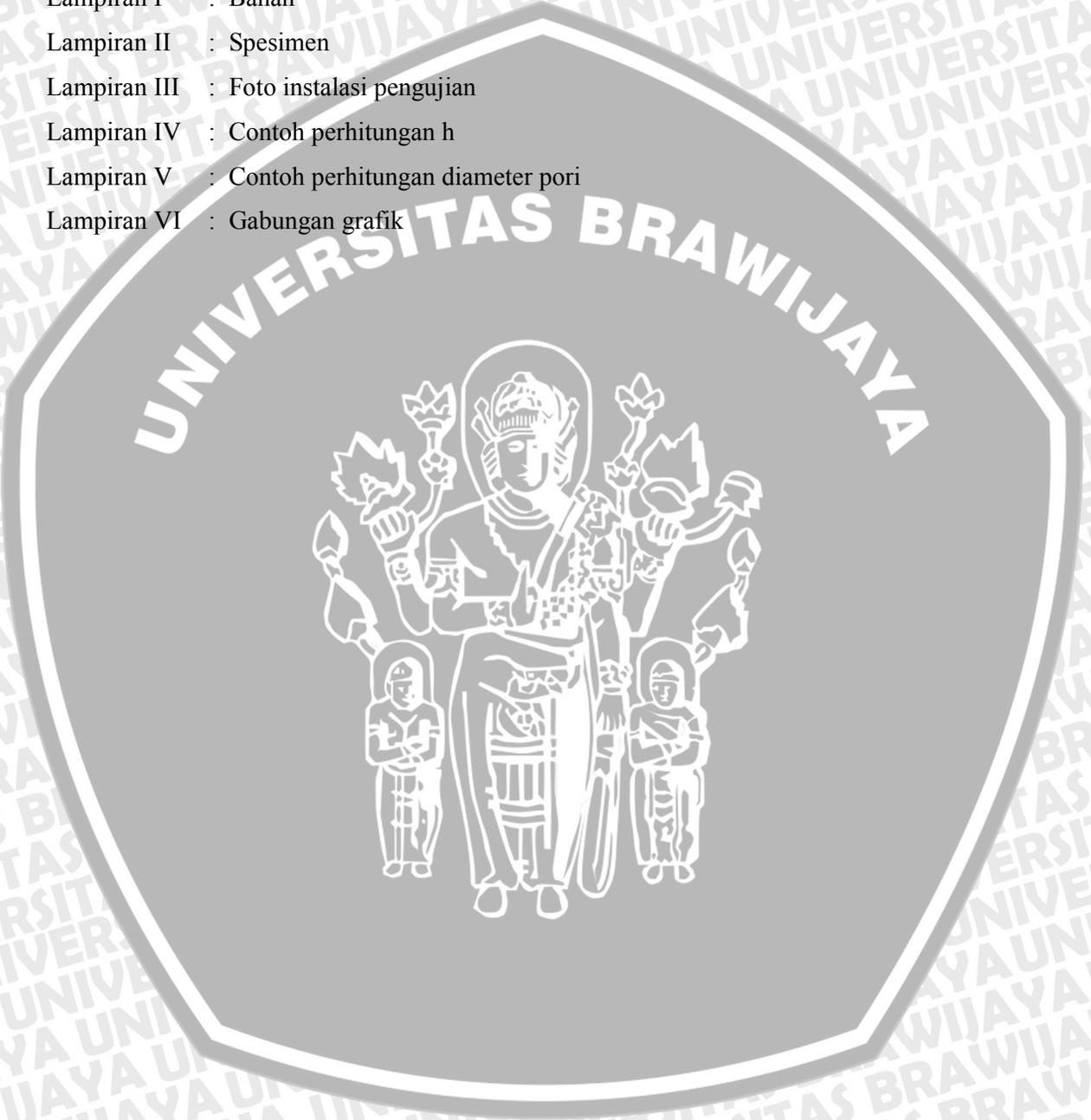
**DAFTAR GAMBAR**

| No.        | Judul  | Halaman |
|------------|--|---------|
| Gambar 2.1 | Diagram energi aktifasi .....  | 6       |
| Gambar 2.2 | Reaksi katalitik dalam rongga katalis .....                                    | 7       |
| Gambar 2.3 | Struktur bangun zeolit .....   | 11      |
| Gambar 2.4 | Struktur kerangka zeolit .....   | 12      |
| Gambar 2.5 | Struktur kimia etanol .....  | 18      |
| Gambar 2.6 | Struktur etanol .....  | 20      |
| Gambar 3.1 | Instalasi penelitian .....   | 29      |
| Gambar 3.2 | Diagram alir penelitian .....  | 33      |
| Gambar 4.1 | Grafik hubungan antara persentase zeolit dengan koefisien difusi Knudsen ..... | 48      |
| Gambar 4.2 | Grafik hubungan antara persentase zeolit dengan debit gas .....                | 49      |



## DAFTAR LAMPIRAN

| No.          | Judul                              |
|--------------|------------------------------------|
| Lampiran I   | : Bahan                            |
| Lampiran II  | : Spesimen                         |
| Lampiran III | : Foto instalasi pengujian         |
| Lampiran IV  | : Contoh perhitungan h             |
| Lampiran V   | : Contoh perhitungan diameter pori |
| Lampiran VI  | : Gabungan grafik                  |



## RINGKASAN

RENEO BAKOTA, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Februari 2009, *Pengaruh Penambahan Zeolit pada  $Al_2O_3$  Terhadap Koefisien Difusi Knudsen Keramik Katalis Hidrogen*, Dosen Pembimbing : Ir. Wahyono Suprpto, MT.Met dan. Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc.CSE.

Penggunaan sumber energi dalam setiap aktivitas kehidupan manusia tidak dapat dihindari lagi, tak terkecuali penggunaan minyak bumi sebagai salah satu sumber energi yang tidak terbarukan, yang mana sumber energi ini lama-kelamaan akan segera habis. Untuk itu diperlukan suatu sumber energi baru yang dapat terbarukan serta ramah lingkungan, dalam hal ini hidrogen merupakan salah satu alternatif sumber energi yang terbarukan. Sehingga diperlukan suatu cara untuk menghasilkan hidrogen ini yang salah satunya dengan metode *steam reforming*. Pada proses *steam reforming* ini diperlukan suatu katalis untuk mempercepat reaksi pemisahan hidrogen, dalam penelitian ini digunakan katalis dari keramik. Salah satu parameter yang perlu diteliti dari katalis keramik ini yaitu koefisien difusi knudsen dari katalis keramik. Untuk mendapatkan koefisien difusi knudsen dengan melihat ukuran diameter rata-rata, dari keramik yang ditambahkan dengan zeolit

Pada penelitian ini, digunakan metode eksperimental nyata yang bertujuan untuk mengetahui koefisien difusi knudsen, untuk pembuatan keramik bahan yang digunakan adalah *aluminium oxide* ( $Al_2O_3$ ) yang ditambahkan dengan bahan zeolit. Variabel bebas yang digunakan adalah penambahan persentase zeolit yang dicampurkan kedalam *aluminium oxide* dengan persentase sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% sedangkan variabel terikatnya adalah koefisien difusi knudsen. Kemudian data yang diperoleh diolah menggunakan analisis varian satu arah untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh penambahan persentase zeolit terhadap koefisien difusi knudsen katalis keramik.

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa penambahan zeolit berpengaruh terhadap koefisien difusi knudsen yang terjadi pada katalis hidrogen. Dari semua variasi penambahan zeolit pada katalis hydrogen, didapatkan koefisien difusi knudsen tertinggi pada tanpa penambahan zeolit sebesar 1,1989, dan koefisien difusi knudsen terendah pada penambahan zeolit sebesar 20% sebesar 1,0298

**Kata Kunci :** Zeolit,  $Al_2O_3$ , Koefisien difusi knudsen, Katalis, Steam reforming.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kehidupan manusia saat ini sangat tergantung pada bahan bakar fosil sebagai sumber energi dan bahan bakar. Serta Perkembangan kebutuhan energi dunia yang dinamis di tengah semakin terbatasnya cadangan energi fosil dan kepedulian terhadap kelestarian lingkungan hidup. Bahan bakar fosil yang berasal dari fosil makhluk hidup beberapa juta tahun yang lalu ini, akan kita pergunakan habis hanya dalam kurun waktu 200~300 tahun saja. Kalau kita pergunakan energi seperti kondisi sekarang ini, maka persediaan bahan bakar fosil yang ada sekarang adalah minyak bumi tinggal 40 tahun, gas bumi 63 tahun, dan batubara 231 tahun lagi (Anto Tri Sugiarto, 2001). Selain itu emisi yang timbul dari pembakaran bahan bakar fosil dapat terakumulasi dan menimbulkan dampak buruk bagi lingkungan dan kesehatan manusia antara lain adalah efek rumah kaca dan gangguan pernafasan. Untuk itu dibutuhkan penemuan energi pengganti yang dapat menggantikan bahan bakar yang berasal dari fosil, sekaligus untuk memenuhi kebutuhan akan energi dimasa yang akan datang..

*Steam reforming*, adalah satu metoda tentang memproduksi hidrogen dari hidrokarbon-hidrokarbon. Di satu skala yang industri, adalah metoda dominan untuk memproduksi hidrogen. Unit-unit *Steam reforming* kecil-kecilan adalah sekarang ini tunduk kepada riset ilmiah, sebagai cara untuk menyediakan hidrogen untuk sel bahan-bakar. Pada penelitian ini menggunakan hidrokarbon etanol. *Steam reforming* dari hidrokarbon cairan dilihat sebagai cara potensial untuk menyediakan bahan bakar untuk sel bahan-bakar. Gagasan dasar adalah itu sebagai contoh satu tangki etanol dan satu unit *Steam reforming* akan menggantikan tangki hidrogen, yang biasanya tekanan hidrogen pada tangki, jadi ini tidak perlu. Ini juga mengurangi masalah yang dihubungkan dengan sarana pengangkutan hidrogen.

Indonesia merupakan salah satu negara yang kaya akan zeolit alam dengan sifat-sifat yang memungkinkan untuk dimodifikasi menjadi katalis maupun sebagai padatan pengemban logam aktif. Zeolit telah diketahui memainkan

peranan penting sebagai katalis asam pada industri pengolahan minyak bumi dan petrokimia, termasuk dalam reaksi perengkahan (*creaking*) dan isomerisasi hidrokarbon. Mengingat zeolit alam sangat melimpah dan murah, maka penggunaannya sebagai katalis dapat menurunkan biaya produksi (Trisunaryanti *et al*,1999). Dalam hal ini akan dibuat katalis yang dipergunakan untuk hidrorengkah, dengan memisahkan hidrogen dari etanol.

Katalis memungkinkan reaksi berlangsung lebih cepat atau memungkinkan reaksi pada suhu lebih rendah akibat perubahan yang dipicunya terhadap pereaksi. Katalis menyediakan suatu jalur pilihan dengan [energi aktivasi](#) yang lebih rendah. Katalis mengurangi energi yang dibutuhkan untuk berlangsungnya reaksi. Dengan demikian pada akhir reaksi katalis tidak tergabung dengan senyawa produk reaksi.

Aluminium oksida adalah sebuah [senyawa kimia](#) dari [aluminium](#) dan [oksigen](#), dengan rumus kimia  $Al_2O_3$ . Nama [mineralnya](#) adalah alumina, dan dalam bidang [pertambangan](#), [keramik](#) dan [teknik material](#) senyawa ini lebih banyak disebut dengan nama alumina. Aluminium oksida adalah [insulator](#) (penghambat) [panas](#) dan [listrik](#) yang baik. Umumnya  $Al_2O_3$  terdapat dalam bentuk [kristalin](#) yang disebut [corundum](#) atau  $\alpha$ -aluminium oksida.  $Al_2O_3$  dipakai sebagai bahan [abrasif](#) dan sebagai komponen dalam [alat pemotong](#), karena sifat kekerasannya ([www.wikipedia.com/Aluminium\\_oksida.htm](http://www.wikipedia.com/Aluminium_oksida.htm)). Keramik alumina ( $Al_2O_3$ ) adalah keramik jenis oksida yang paling banyak digunakan untuk aplikasi bahan dasar tahan api (50%), abrasif (20%), busi (15%) dan keramik teknik (10%) ( Lee dan Rainforth, 1994).

Katalis umumnya terdiri oleh komponen-komponen yang dapat menunjang sifat dan fungsi katalitik yang diharapkan seperti pengemban (Othmer and Kirk 1981), sehingga suatu katalis berpengemban memiliki pusat aktif dan bagian yang tidak ikut serta dalam reaksi. Pengemban merupakan komponen katalis padat yang kuat. Pengemban digunakan dalam kombinasi katalis agar dispersi logam aktif terjadi secara menyeluruh. Komponen pengemban memiliki kestabilan termal yang tinggi sehingga melindungi logam aktif yang umumnya tidak tahan terhadap sintering (Perego and Villa,2007).

Indonesia harus mengembangkan alternatif sumber daya energi dengan emisi karbon yang rendah guna mencapai kedaulatan energi dan mengatasi

perubahan iklim (Media Indonesia, Jumat 22 Agustus 2008). Oleh karena itu peranan energi terbarukan semakin meningkat mengingat cadangan sumber daya hidrokarbon yang terkandung di bumi Indonesia semakin menipis karena ketersediaannya relatif terbatas. Hal ini akan semakin penting apabila masalah lingkungan menjadi faktor dominan dalam pilihan jenis energi. Dimasa yang akan datang penggunaan energi fosil diarahkan untuk mendapatkan nilai tambah yang optimal, baik sebagai bahan baku industri maupun sumber energi. Oleh karena itu untuk memenuhi kebutuhan energi di dalam negeri harus dilakukan dengan mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya energi setempat. Hal ini akan mempertajam posisi energi terbarukan sebagai sumber energi alternatif.

Dari beberapa hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian mengenai bagaimana pengaruh penambahan zeolit pada  $Al_2O_3$  terhadap koefisien difusi knudsen keramik katalis hidrogen. Dengan bahan zeolit yang relatif murah dan mudah didapat, penelitian ini diharapkan mampu meningkatkan jumlah pori-pori dari keramik katalis. Dari analisa tersebut, penulis berharap dapat mengetahui koefisien difusi knudsen dari penambahan zeolit sebagai campuran bahan keramik  $Al_2O_3$  dari keramik katalis.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan yang akan diungkap dalam skripsi ini adalah bagaimana pengaruh penambahan zeolit pada  $Al_2O_3$  terhadap koefisien difusi knudsen keramik katalis hidrogen.

### **1.3 Batasan Masalah**

Agar permasalahan yang akan dibahas tidak meluas, maka diperlukan adanya pembatasan masalah, maka penelitian ini dibatasi pada hal-hal berikut:

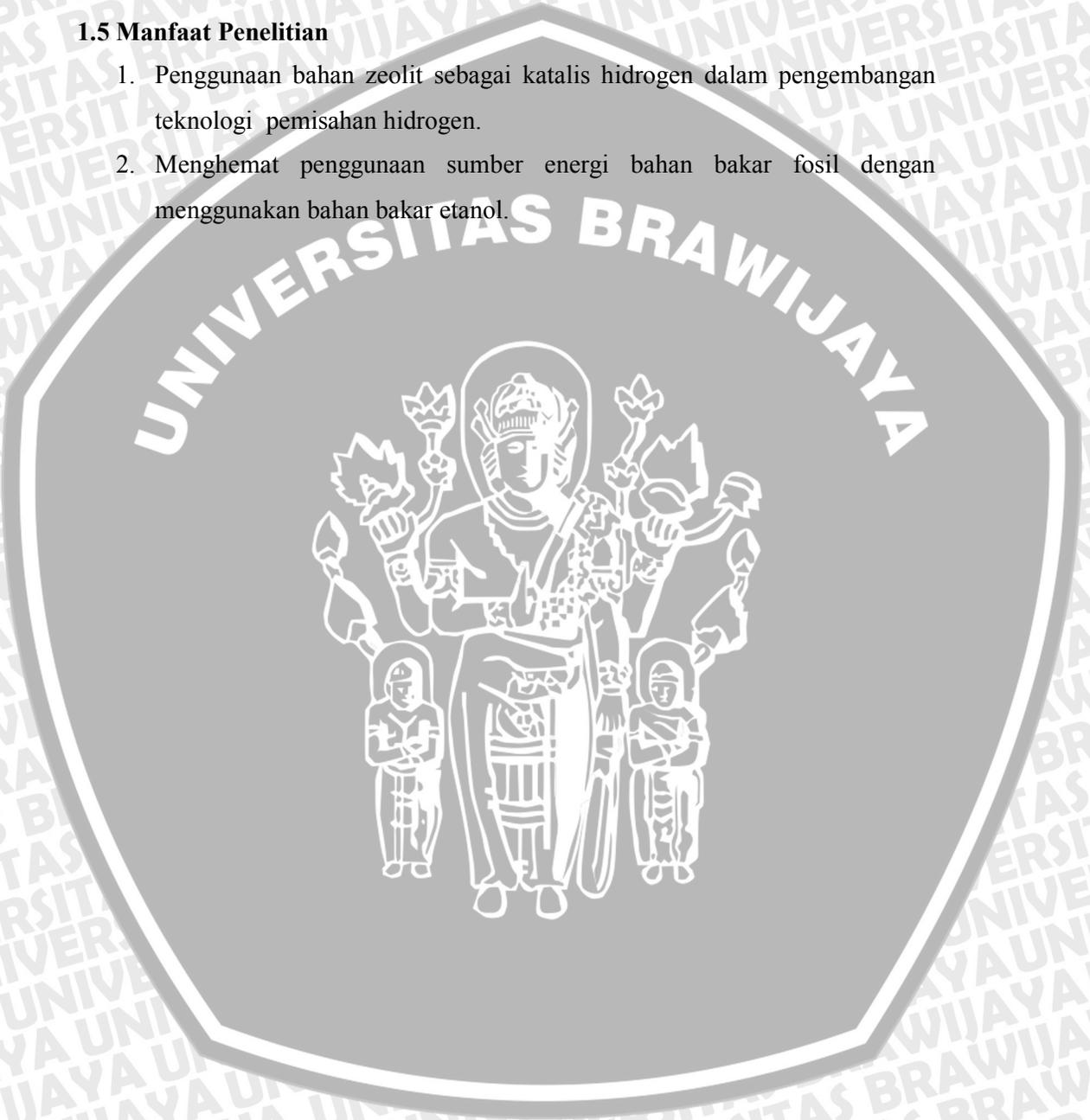
1. Bahan yang digunakan adalah zeolit sebagai pendukung katalis dengan penambahan sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan, 20%.
2. Hanya membahas tentang pengaruh koefisien difusi knudsen.
3. Bahan katalis menggunakan alumina ( $Al_2O_3$ ).
4. Menggunakan etanol dan air sebagai bahan penghasil hidrogen.
5. Reaksi kimia yang terjadi dianggap sempurna.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh koefisien difusi knudsen keramik katalis hidrogen.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Penggunaan bahan zeolit sebagai katalis hidrogen dalam pengembangan teknologi pemisahan hidrogen.
2. Menghemat penggunaan sumber energi bahan bakar fosil dengan menggunakan bahan bakar etanol.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Cavallaro (2000) dalam penelitiannya yang berjudul “*Ethanol Steam Reforming on Rh/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Catalysts*.” telah melaporkan bahwa didalam reaksi pembentukan ulang etanol cair yang memakai Rh/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang mana digunakan sebagai katalisator, mekanisme reaksi mulai dengan *dehydrogenation* atau pengeringan etanol yang diikuti oleh konversi yang cepat produk ke dalam gas metana, CO dan CO<sub>2</sub>. Katalisator (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) membantu dehydrogenation alkohol, sedangkan reaksi lainnya, katalisasi dilakukan oleh Rh, tetapi kearah reaksi yang berbeda.

Kaengsilalai (2003); *Hydrogen Production from Carbon Dioxide Reforming of Methane over Ni/Zelite Catalysts: Effect of an Upscale Synthesis*, telah melakukan penelitian tentang efek dari suatu skala kenaikan sintesa K-H Zeolit telah diselidiki pada gas asam-arang yang memperbaiki gas metana. kenaikan sintesa menggunakan suatu sol-gel proses dengan menggunakan gelombang mikro untuk memanaskan alumatrane dan silatrane telah menjadi tiga sampai empat kali lipat dari ukuran sintesa reguler dengan suatu susunan komposisi SiO<sub>2</sub>: 0.1Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 3K<sub>2</sub>O: 410H<sub>2</sub>O. 8% Ni. Pemberian katalis telah disiapkan dengan menggunakan metode impregnasi basah yang masih dalam permulaan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan reaktor yang dilengkapi dengan suatu gas chromatograph pada suatu suhu reaksi 700°C di bawah tekanan udara dan perbandingan molar CH<sub>4</sub> : CO<sub>2</sub> adalah sebanding. Dari hasil pengujian mengungkapkan bahwa kenaikan skala K-H sintesa Zeolit secara signifikan berdampak kepada pemisahan H<sub>2</sub> dengan gas metana.

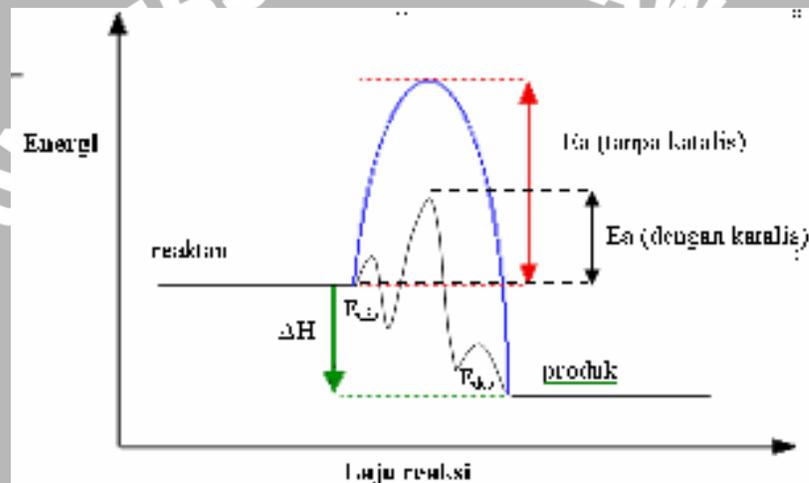
#### 2.2 Katalis

##### 2.2.1 Reaksi katalis

Katalis merupakan zat yang dapat meningkatkan laju reaksi kimia yang layak terjadi dalam mencapai kesetimbangan tanpa terlibat langsung secara permanen (Gates, 1992). Interaksi yang terjadi antara katalis dan reaktan dapat

menghasilkan senyawa antara yang lebih aktif. Interaksi ini meningkatkan ketepatan orientasi tumbukan, sehingga meningkat pula jumlah tumbukan yang efektif dan membuka jalur reaksi dengan energi pengaktifan yang lebih rendah (Thomas dan Thomas, 1997).

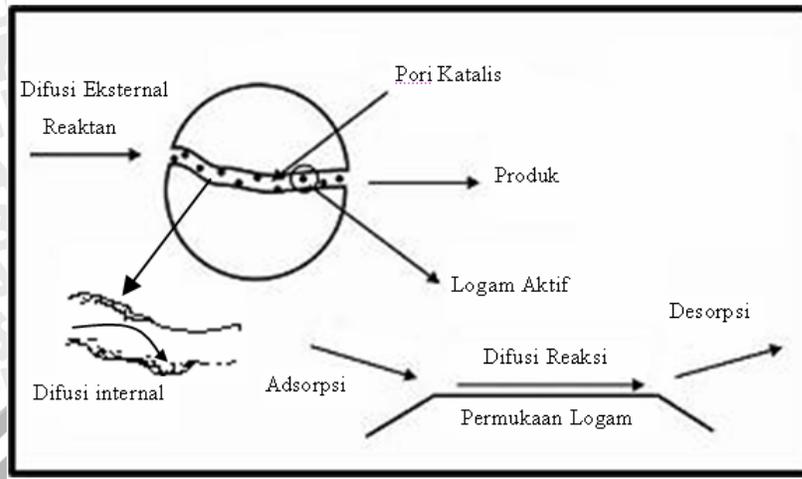
Diagram energi aktivasi ditunjukkan pada Gambar 2.1.  $E_a$  adalah energi aktivasi suatu reaksi dan  $E_{ads}$  menunjukkan adsorpsi reaktan pada katalis serta  $E_{des}$  adalah desorpsi produk. Katalis menurunkan energi aktivasi suatu reaksi. Perubahan energi pada reaksi dengan dan tanpa katalis menghasilkan perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) yang sama (Satterfield, 1980).



**Gambar 2.1** Diagram energi aktivasi

Sumber : Satterfield, 1980

Suatu reaksi katalitik heterogen melalui tujuh tahapan, yaitu (Fogler, 1999): Difusi eksternal reaktan dari *bulk fluid* ke permukaan katalis, difusi internal reaktan dari mulut pori melalui pori katalis menuju ke permukaan internal katalis, adsorpsi reaktan pada dinding permukaan internal katalis, reaksi kimia pada permukaan internal katalis atau reaksi permukaan, desorpsi produk dari permukaan internal, difusi (internal) produk dari interior katalis ke mulut pori pada permukaan katalis, dan transfer massa difusi eksternal produk dari permukaan luar katalis ke *bulk fluid*.



**Gambar 2.2** Reaksi katalitik dalam rongga katalis

Sumber : Fogler, 1999

Fungsi dari katalis (Smith, 1981) adalah:

1. Katalis mempercepat reaksi kesetimbangan, jadi tidak memulai reaksi. Reaksi yang dapat dipercepat adalah reaksi yang secara termodinamika dimungkinkan terjadi, walaupun berlangsung secara lambat.
2. Kesetimbangan yang dicapai dengan menggunakan katalis sama dengan tanpa menggunakan katalis.
3. Katalis membentuk senyawa antara yang memiliki energi aktivasi yang lebih rendah sehingga lebih cepat membentuk produk.

Untuk mendapatkan suatu katalis yang baik maka harus diperhatikan beberapa faktor, diantaranya (Bond, 1968):

1. Aktivitas, yaitu kemampuan katalis untuk mengkonversikan reaktan menjadi produk yang diinginkan.
2. Selektivitas, yaitu kemampuan mempercepat suatu reaksi diantara beberapa reaksi yang berlangsung dengan demikian yang akan diperoleh adalah produk yang diinginkan dan produk samping yang dihasilkan adalah seminimal mungkin.
3. Kestabilan, yaitu lamanya katalis memiliki aktivitas dan selektivitas pada keadaan seperti semula. Untuk memperoleh katalis yang lebih

lama, diantaranya katalis harus bersifat tahan terhadap racun, perlakuan panas dan erosi. Parameter ini penting karena akan mempengaruhi nilai ekonomis suatu katalis.

4. “Yeild” didefinisikan sebagai jumlah produk tertentu yang terbentuk untuk setiap satuan jumlah reaktan yang terkonsumsi (biasanya dinyatakan dalam persen berat). Dengan mengetahui “Yield”, berat katalis yang akan digunakan dapat diperkirakan.
5. Kemudian diregenerasi, apabila katalis setelah mengalami beberapa kali proses akan mengalami perubahan, seperti aktivitas dan selektivitasnya berkurang, akibat terbentuknya endapan misalnya kokas dalam katalis yang menyumbat mulut pori, sehingga proses adsorpsi terhalang. Peristiwa ini sering disebut dengan peracunan katalis, oleh karena itu katalis perlu diregenerasi untuk mengembalikan aktivitas dan selektivitas seperti semula.

#### 2.2.2 Pengemban (*Support*)

Katalis umumnya terdiri oleh komponen-komponen yang dapat menunjang sifat dan fungsi katalitik yang diharapkan seperti pengemban (Othmer and Kirk, 1981), sehingga suatu katalis berpengemban memiliki pusat aktif dan bagian yang tidak ikut serta dalam reaksi. Pengemban merupakan komponen katalis padat yang kuat. Pengemban digunakan dalam kombinasi katalis agar dispersi logam aktif terjadi secara menyeluruh. Komponen pengemban memiliki kestabilan termal yang tinggi sehingga melindungi logam aktif yang umumnya tidak tahan terhadap sintering (Perego and Villa, 1997).

Beberapa kriteria dari pengemban (Perego and Villa, 1997): Pengemban bersifat inert sehingga tidak bereaksi baik dengan komponen aktifnya maupun dengan spesi-spesi kimia yang terlibat dalam reaksi kimia yang dikatalisis; memiliki kekuatan mekanik yang tinggi yang meliputi kekerasan, ketahanan dari aus, kekuatan tekan dan juga titik lebur yang tinggi; kestabilan yang tinggi dalam kondisi reaksi dan regenerasi sehingga dapat mencegah terjadinya sintering katalis logam. Memiliki luas permukaan yang tinggi karena laju reaksi katalitik dipengaruhi laju reaksi kimia di permukaan

sehingga laju reaksi juga dipengaruhi oleh luas permukaan katalis. Porositas yang tinggi sangat mempengaruhi keberhasilan impregnasi logam aktif.

### 2.2.3 Katalis logam berpengemban

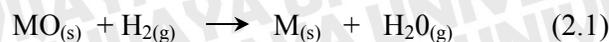
Katalis heterogen yang banyak digunakan dalam berbagai proses kimia pada umumnya berupa katalis logam pengemban. Katalis logam berpengemban merupakan sistem katalis yang dibuat dengan mendispersikan bahan aktif logam pada suatu bahan pengemban yang berpori. (Augustine, 1995)

Komponen aktif dapat terdispersi merata ke seluruh pori-pori sehingga luas permukaan katalis bertambah. Komponen logam katalis yang diembankan menjadi lebih stabil. Bahan pengemban juga dapat menambah daya tahan katalis terhadap racun katalis dan menghambat penggumpalan (*sintering*) katalis selama reaksi katalisis (Anderson and Dowson, 1976).

Tujuan preparasi katalis logam pengemban adalah untuk mendapatkan luas permukaan yang besar dari logam yang didepositkan dalam material pengemban dengan cara yang efektif sehingga memiliki aktivitas maksimum (Anderson and Dowson, 1976). Preparasi katalis berpengemban pada umumnya digunakan metode impregnasi (Foger, 1984):

- Impregnasi dengan pembasahan. Impregnasi dengan membasahi pengemban dengan sejumlah larutan yang mengandung senyawa logam yang sesuai dengan volume pori pengemban kemudian dikeringkan.
- Impregnasi dengan perendaman. Pengemban dicelupkan dalam larutan senyawa logam. Larutan diaduk dalam waktu tertentu, disaring dan hasilnya dikeringkan sehingga cairan induknya dapat dimanfaatkan kembali.

Setelah logam terdispersi dalam pengemban, maka kemudian dikeringkan dan dikalsinasi. Kalsinasi dilakukan dalam suasana oksidatif yang bertujuan untuk mendistribusikan logam. Tahap akhir yaitu reduksi untuk mengubah logam yang berupa senyawa oksida menjadi logam murninya. Reaksi yang terjadi (Satterfield, 1980):



### 2.3 Zeolit

Zeolit merupakan senyawa aluminosilikat terhidrasi yang memiliki kerangka struktur tiga dimensi (3D), mikroporous, dan merupakan padatan kristalin dengan kandungan utama silikon, aluminium, dan oksigen serta mengikat sejumlah tertentu molekul air di dalam porinya. Secara umum, Zeolit memiliki mekular sruktur yang unik, dimana atom silikon dikelilingi oleh 4 atom oksigen sehingga membentuk semacam jaringan dengan pola yang teratur.

Penemuan zeolit di dunia dimulai dengan ditemukannya Stilbit pada tahun 1756 oleh seorang ilmuwan bernama A. F. Constedt. Constedt menggambarkan kekhasan mineral ini ketika berada dalam pemanasan terlihat seperti mendidih karena molekulnya kehilangan air dengan sangat cepat. Sesuai dengan sifatnya tersebut maka mineral ini diberi nama zeolit yang berasal dari kata 'zein' yang berarti mendidih dan 'lithos' yang berarti batuan ([www.kopo.mpg.de/kopo/institut/arbeitsbereiche/scmith/research-e.htm](http://www.kopo.mpg.de/kopo/institut/arbeitsbereiche/scmith/research-e.htm)).

#### 2.3.1 Struktur Zeolit

Zeolit merupakan kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali maupun alkali tanah. Kation tersebut dapat diganti oleh kation lain tanpa merusak struktur zeolit. Struktur zeolit berupa kerangka tiga dimensi terbuka yang dibangun oleh tetrahedral-tetrahedral  $\text{SiO}_4^{4-}$  dan  $\text{AlO}_4^{5-}$  yang saling berhubungan melalui atom O membentuk rongga-rongga intrakristalin dan saluran-saluran yang teratur (Sutarti, 1994 dan Hamdan, 1992). Ukuran pori dan kanal bervariasi antara 3-30 Å yang cukup untuk berdifusinya atom dan molekul kecil dalam struktur makromolekular (Anonymous<sup>c</sup>).

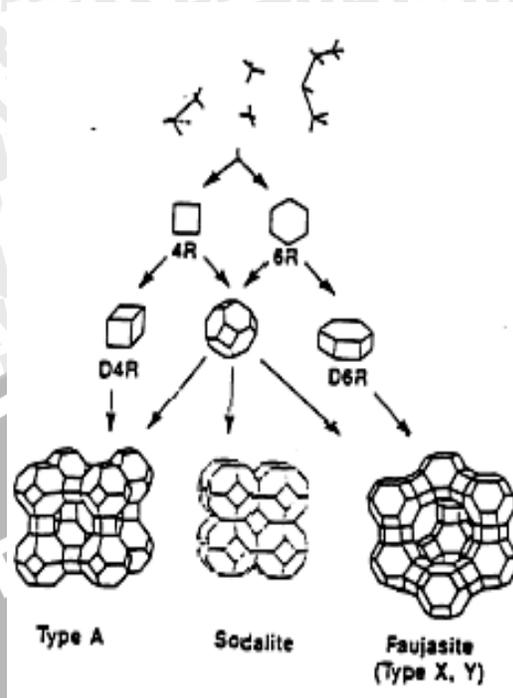
Bangun dasar zeolit berupa tetrahedral ( $\text{SiO}_4^{4-}$  dan  $\text{AlO}_4^{5-}$ ) seperti pada Gambar 2.4.a. Beberapa unit bangun dasar membentuk pola geometri tertentu unit bangun sekunder (*Secondary Building Unit*) seperti pada Gambar 2.4.b. Unit bangun sekunder akhirnya akan membentuk suatu polihedral unit bangun tersier (*Tertier Building Unit*) seperti Gambar 2.4.c. Beberapa polihedral tergabungnya dalam suatu kerangka merupakan bentuk struktur zeolit (Yao, 1992).

a

b

c

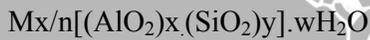
d



**Gambar 2.3** Struktur bangun zeolit. a) Unit bangun primer, b) Unit bangun sekunder, c) Unit bangun tertier, d). Struktur zeolit.

Sumber : Yao, 1992

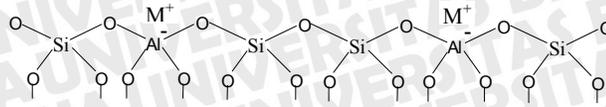
Sehingga rumus umum zeolit dapat ditulis (Anderson and Dowson, 1976):



dimana

- M : kation logam alkali atau alkali tanah
- n : valensi dari kation
- w : jumlah molekul air per satu unit sel
- x,y : total jumlah tetrahedral per satu unit sel
- [ ] : struktur kerangka alumina silikat.

Struktur kerangka zeolit terdiri dari dua bagian yaitu bagian netral dan bagian yang bermuatan. Bagian netral tersusun atas atom-atom silikon dan oksigen. Pergantian ion pusat silikon bervalensi 4+ dengan kation aluminium bervalensi 3+ menyebabkan ada bagian yang bermuatan sehingga membutuhkan ion logam alkali atau alkali tanah seperti  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  untuk menetralkannya (Davis and Lobo, 1992).



**Gambar 2.4** Struktur kerangka zeolit

Sumber : Davis and Lobo, 1992

Zeolit bersifat asam akibat adanya situs asam baik tipe asam bronsted maupun asam Lewis. Keasaman zeolit dapat ditentukan berdasarkan rasio Si/Al-nya, semakin besar rasio Si/Al maka sifat asamnya semakin bertambah (Gates, 1992).

Zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam rongga permukaan sehingga efektif berinteraksi dengan molekul teradsorpsi. Zeolit yang dipanaskan hingga temperatur 300-400 °C maka hidrat keluar kristal sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas. Kation dalam kerangka zeolit berfungsi menjaga kenetralan zeolit. Kation-kation ini dapat bergerak sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran, muatan zeolit (Sutarti, 1994).

## 2.4 Keramik

Keramik berasal dari perkataan “keramos” yang artinya “yang dibakar”. Keramik adalah semua benda-benda yang terbuat dari tanah liat atau lempung yang mengalami proses pengerasan dengan pembakaran pada suhu tinggi. Keramik dapat didefinisikan sebagai benda padat anorganik yang merupakan senyawa yang tersusun atas unsur logam dan non-logam dan terbentuk melalui proses pembakaran dengan temperatur tertentu sampai terjadi pengelasan (glasisasi). Beberapa unsur logam yang umumnya terdapat dalam keramik ialah aluminium, silikon, magnesium. Sedangkan unsur non-logamnya ialah oksigen, karbon, atau nitrogen.

### 2.4.1 Jenis keramik

Pada umumnya keramik diklasifikasikan kedalam dua kelompok, yaitu :

- Keramik tradisional

*Clay*, *flint*, dan *feldspar* merupakan bahan dasar keramik tradisional. *Clay* atau tanah liat mengandung *hydrated aluminum silicates* ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) dan sedikit

kandungan oksida seperti MgO, CaO, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, dan K<sub>2</sub>O. Keramik tradisional umumnya digunakan untuk suatu kerajinan yang menghasilkan bentuk-bentuk fungsional seperti mangkok, gelas, piring. Dapat pula dibuat benda seni yang berbentuk ekspresi pribadi dengan memakai kombinasi-kombinasi warna dan tekstur. Beberapa produk yang dihasilkan dari industri keramik tradisional dapat dilihat pada tabel 2.6.

**Tabel 2.1.** Beberapa contoh aplikasi keramik tradisional

| Produk                  | Contoh                          |
|-------------------------|---------------------------------|
| Keramik putih           | Piring, cangkir.                |
| Bahan bangunan          | Batu bata, genteng, pipa, ubin. |
| Bahan – bahan tahan api | Bata tahan api                  |
| Alat gosok              | Roda gerinda, kertas ampelas.   |

Sumber : Thomas Vasilos, 1995

- Keramik modern

Berbeda dengan keramik tradisional, sebagian besar bahan keramik modern merupakan senyawa oksida, nitrida, atau karbida. Beberapa keramik modern misalnya alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), Silikon nitrida (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), Silikon karbida (SiC). Selain itu proses pembentukan keramik modern umumnya menggunakan tekanan. Pada umumnya keramik modern digunakan untuk keperluan industri karena sifat-sifat khusus yang dimiliki keramik modern. Beberapa sifat khusus keramik modern dapat dilihat pada tabel 2.7.

**Tabel 2.2.** Beberapa sifat keramik modern.

| Sifat Keramik Modern  | Aplikasi  | Contoh Keramik                       |
|---|---|--------------------------------------|
| Sifat Thermal<br>• Sifat ini meliputi konduktivitas termal dan ketahanan pada temperatur tinggi.      | <i>Heat sink</i> pada komponen elektronik, Material penyusun tungku pembakaran. | AlN, ZnO <sub>2</sub>                |
| Sifat Elektrik<br>Sifat ini meliputi kemampuan keramik untuk menjadi konduktor atau isolator listrik. | Busi, kapasitor   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , BeO |
| Sifat Kimia   | <i>Heat exchanger</i> ,   | SiC,                                 |

|  |                                |                                     |
|--|--------------------------------|-------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Sifat ini meliputi ketahanan terhadap korosi dan reaksi terhadap lingkungan.</li> </ul> | Filter gas buang.              | MgO                                 |
| <p>Sifat Mekanik</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Sifat ini meliputi kekerasan, ketahanan terhadap aus.</li> </ul>   | <i>Cutting tools, Bearing.</i> | SiC, Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> |

Sumber : Basroum, 1997

Jenis keramik menurut kepadatannya dapat dibagi menjadi empat, yaitu :

1. Gerabah (*earthen ware*)

Gerabah dibuat dari semua jenis tanah liat dan mudah dibentuk dan dibakar pada suhu maksimum 1000° C. Keramik jenis ini mempunyai struktur yang sangat rapuh, kasar dan berpori. Gerabah termasuk jenis keramik berkualitas rendah . Batubata, genteng, kendi dan gentong termasuk dalam jenis keramik gerabah.

2. Keramik batu (*stoneware*)

Dibuat dari bahan lempung plastis yang dicampur dengan bahan tahan api. Sehingga dapat dibakar pada suhu tinggi antara 1200°-1300° C . Keramik ini mempunyai struktur yang kokoh dan halus, kuat dan berat seperti batu. Keramik jenis ini termasuk golongan menengah.

3. Porselen

Adalah jenis keramik yang dibuat dari lempung murni tahan api seperti kaolin, alumina dan silika. Keramik ini disebut juga keramik putih karena berwarna putih bahkan bisa tembus cahaya. Porselen atau keramik putih ini dipijarkan pada suhu 1330°– 1400° C bahkan ada yang dibakar pada suhu 1500° C, karena keramik ini dibakar pada suhu tinggi maka dihasilkan jenis keramik yang bagus dan berkualitas tinggi.

4. Keramik baru (*new ceramic*)

Adalah keramik yang secara teknis, diproses untuk keperluan teknologi tinggi seperti peralatan mobil, listrik, konstruksi bahan bangunan, komputer, cerobong pesawat, kristal optik, keramik metal, biokeramik, keramik magnetik dan lain sebagainya.



Berdasarkan komposisi kimia, keramik dapat diklasifikasikan atas empat kategori utama, yaitu :

1. Golongan Oksida, termasuk didalamnya alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), magnesia ( $\text{MgO}$ ), dan zirkonia ( $\text{ZrO}_2$ ).
2. Golongan Karbida, yaitu silikon karbida ( $\text{SiC}$ ), silikon nitrida ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ).
3. Golongan Silikat, yaitu porselen, steatit dan mullit.
4. Sialon, berbasis  $\text{Si} - \text{Al} - \text{O} - \text{N}$  dan  $\text{M} - \text{Si} - \text{Al} - \text{O} - \text{N}$  dimana  $\text{M} = \text{Li, Be, Mg, Ca, Sc, Y}$ .

#### 2.4.2 Aluminium Oksida

Aluminium Oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) atau yang biasanya dikenal sebagai alumina, mempunyai ikatan ion antar atom yang kuat, hal ini sesuai dengan karakteristik material yang diinginkan. Pada unsur ini terdapat beberapa tahap dari kristalisasi yang mana semua berbalik ke tahap alfa hexagonal yang paling stabil pada saat terjadi kenaikan temperatur. Alumina pada tahap alfa adalah yang paling kuat dan paling kaku untuk oksida keramik. Kekerasan yang tinggi, sifat elektris yang baik, *refractoriness* dan ketahanan panas yang baik membuat material ini dapat diaplikasikan secara luas.

Alumina adalah oksida keramik yang paling banyak digunakan. Alumina mempunyai titik leleh tinggi ( $2050^\circ\text{C}$ ) dan mempunyai ketahanan panas dan ketahanan api. Gaya pengikatan interatomiknya sebagian bersifat ionik dan sebagian bersifat kovalen. Sangat kuat dan struktur kristal alumina masih stabil hingga suhu  $1500^\circ - 1700^\circ \text{C}$ . Meskipun material ini lebih peka terhadap panas dan memiliki stabilitas kimia yang baik namun lebih peka terhadap kejutan termal dibandingkan dengan material pembentuk keramik yang lain (Smallman, 2000). Pada alumina tidak terdapat sedikit elektron bebas dan memiliki tetapan dielektrik yang tinggi. Bahkan pada suhu  $1000^\circ \text{C}$  dimana atom memiliki mobilitas yang tinggi dan mampu menghantarkan listrik, tahananannya masih sangat tinggi.

Bahan baku utama dalam pembuatan alumina adalah bauksit  $\text{Al}_2\text{O}(\text{OH})_2$  yaitu batuan hidrat yang sangat berlimpah yang terdapat dikulit bumi. Pada Tabel 2.3 ditampilkan sifat-sifat fisis dan kimia alumina.

**Tabel 2.3** Sifat fisis dan kimia material alumina

| <b>Gneral</b>         |                                |
|-----------------------|--------------------------------|
| Names                 | Alumina                        |
| Molecular formula     | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| Molar mass            | 101,96 g/mol                   |
| <b>Properties</b>     |                                |
| Density and phase     | 3,97 g/cm <sup>3</sup> , solit |
| Sulubility in water   | Insoluble                      |
| Melting point         | 2050 °C                        |
| Boiling point         | ~3000 °C                       |
| Thermal conductivity  | 18 W/m.K                       |
| <b>Structure</b>      |                                |
| Coordination geometry | octahedral                     |
| Crystal structure     | cubic                          |

Sumber : [www.wikipedia.org/wiki/Transparent\\_alumina](http://www.wikipedia.org/wiki/Transparent_alumina)

Pada tingkat kemurnian alumina yang tinggi dapat dipakai mengoksidasi dan mereduksi atmosfer sampai temperature 1925°C. Kerugian berat di dalam ruang hampa yaitu antara 10<sup>-7</sup> sampai 10<sup>-6</sup> g/cm<sup>2</sup>.sec pada temperatur 1700° sampai 2000°C. ([www accuratus.com/alumox.html](http://www accuratus.com/alumox.html)). Alumina juga mempunyai ketahanan terhadap pengaruh dari semua gas kecuali gas fluorine serta ketahanan kimia terhadap semua bahan kecuali asam hidrofluor dan asam fosfat.

Sifat-sifat yang dimiliki oleh aluminium oksida ([www accuratus.com/alumox.html](http://www accuratus.com/alumox.html)) adalah:

1. Kekerasan dan ketahanan aus yang baik.
2. Kemampuan elektrik yang baik.
3. Konduktivitas termal yang baik.
4. Tahan terhadap pengaruh unsur asam dan alkali pada saat terjadi kenaikan temperatur.
5. Memiliki sifat mampu bentuk yang baik.
6. Memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi.

**Tabel 2.4.** Sifat mekanik aluminium oksida ( 99,5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

| Mechanical           | Units of Measure | SI/Metric |
|----------------------|------------------|-----------|
| Density              | g/cc             | 3.89      |
| Color                | —                | ivory     |
| Tensile Strength     | MPa              | 379       |
| Elastic Modulus      | GPa              | 375       |
| Shear Modulus        | GPa              | 152       |
| Max. use temperature | °C               | 1750      |

Sumber : [www accuratus.com/alumox.html](http://www accuratus.com/alumox.html)

## 2.5 Difusi didalam padatan

### 2.5.1 Difusi Knudsen

Difusi didalam pori-pori kecil. Manakala gas difusi didalam pori-pori sangat kecil dari suatu padat, seperti terjadi selama adsorpsi, mengeringkan menyerapan padat, atau beberapa proses separasi membran, nilai difusi kurang dari nilai yang normal oleh karena benturan molekular dengan dinding pori-pori. Manakala ukuran pori-pori adalah jauh lebih kecil dibanding jarak bebas garis edar yang normal, proses difusi ini disebut Difusi knudsen, dan difusi untuk suatu silindris berpori-pori adalah

$$N_{kn} = \frac{\lambda_A}{d_o} \quad (2.3)$$

Dimana :

$N_{kn}$  = koefisien difusi knudsen

$\lambda_A$  = mean free path (m)

$d_o$  = diameter pori (m)

$$\lambda_A = 32 \frac{\mu_A}{p} \left( \frac{RT}{2\pi M_A} \right)^{1/2} \quad (2.4)$$

Dimana :

$\mu_A$  = kekentalan (kg m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>)

$p$  = tekanan (Pa)

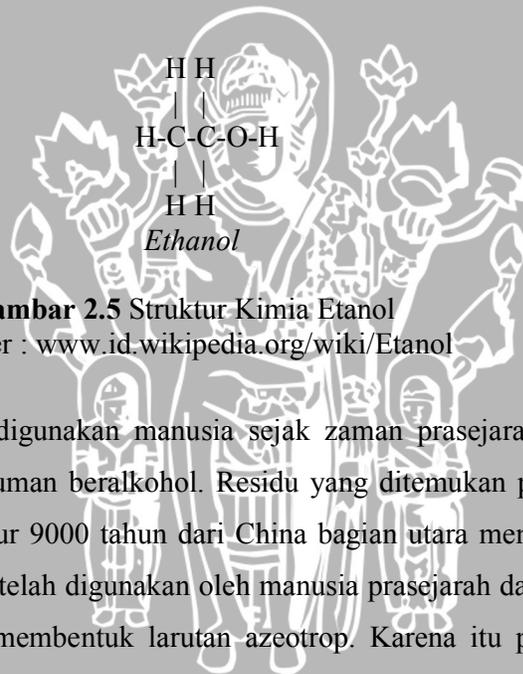
$R$  = konstanta gas (8314 kg m<sup>2</sup> s<sup>-2</sup> kmol<sup>-1</sup> k<sup>-1</sup>)

$T$  = temperatur (K)

$M_A$  = massa (kg kmol<sup>-1</sup>)

## 2.6 Etanol

Etanol (disebut juga etil-alkohol atau alkohol saja), adalah alkohol yang paling sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Karena sifatnya yang tidak beracun bahan ini banyak dipakai sebagai pelarut dalam dunia farmasi dan industri makanan dan minuman. Etanol tidak berwarna dan tidak berasa tapi memiliki bau yang khas. Bahan ini dapat memabukkan jika diminum. Etanol sering ditulis dengan rumus EtOH. Rumus molekul etanol adalah C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH atau rumus empiris C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O.



**Gambar 2.5** Struktur Kimia Etanol

Sumber : [www.id.wikipedia.org/wiki/Etanol](http://www.id.wikipedia.org/wiki/Etanol)

Etanol telah digunakan manusia sejak zaman prasejarah sebagai bahan pemabuk dalam minuman beralkohol. Residu yang ditemukan pada peninggalan keramik yang berumur 9000 tahun dari China bagian utara menunjukkan bahwa minuman beralkohol telah digunakan oleh manusia prasejarah dari masa Neolitik. Etanol dan alkohol membentuk larutan azeotrop. Karena itu pemurnian etanol yang mengandung air dengan cara penyulingan biasa hanya mampu menghasilkan etanol dengan kemurnian 96%. Etanol murni (absolut) dihasilkan pertama kali pada tahun 1796 oleh Johan Tobias Lowitz yaitu dengan cara menyaring alkohol hasil distilasi melalui arang.

Lavoisier menggambarkan bahwa etanol adalah senyawa yang terbentuk dari karbon, hidrogen dan oksigen. Pada tahun 1808 Saussure dapat menentukan rumus kimia etanol. Limapuluh tahun kemudian (1858), Couper menerbitkan

rumus bangun etanol. Dengan demikian etanol adalah salah satu senyawa kimia yang pertama kali ditemukan rumus bangunnya.

Etanol adalah satu alkohol rantai lurus, dan rumusan molekular nya adalah  $C_2H_5OH$ . Satu notasi alternatif adalah  $CH_3-CH_2-OH$ , yang menunjukkan bahwa karbon dari satu kelompok metil ( $CH_3-$ ) terikat kasih sayang dengan karbon dari satu kelompok metilena ( $-CH_2-$ ), yang terikat kasih sayang dengan oksigen dari satu kelompok hidroksit ( $-OH$ ). Rumus empirisnya adalah  $C_2H_6O$ , pembuatan itu satu isometri konstitusional dari dimethyl eter.

Kecuali gunakan dari api, peragian gula ke dalam etanol adalah reaksi organik paling awal yang dikenal manusia. Memabukkan merupakan efek dari konsumsi etanol telah dikenal karena zaman lampau. Di dalam waktu modern, etanol berniat untuk penggunaan yang industri adalah juga diproduksi dari hasil sampingan dari pengilangan minyak bumi.

Etanol digunakan sebagai satu bahan pelarut unsur-unsur yang diharapkan untuk konsumsi atau kontak manusia, termasuk bau harum, perencah-perencah, pewarnaan-pewarnaan, dan pengobatan-pengobatan. Di dalam ilmu kimia, itu adalah kedua-duanya satu bahan pelarut penting dan satu bahan baku untuk sintese dari yang lain produk-produk. Itu mempunyai satu sejarah panjang sebagai bahan bakar untuk cahaya dan panas dan juga sebagai bahan bakar untuk mesin pembakaran bagian dalam.

#### 2.6.1 Sifat fisika

Etanol adalah suatu asiri, cairan yang mudah terbakar, tanpa warna yang mempunyai suatu bau karakteristik yang kuat. Itu membakar dengan suatu nyala api biru yang tanpa asap yang tidak selalu kelihatan di dalam cahaya normal. Sifat fisika dari etanol mengait terutama dari kehadiran tentangnya kelompok hidroksit dan pemendekan tentangnya rantai karbon. Kelompok hidroksit etanol adalah mampu mengambil bagian di dalam ikatan hidrogen, menyumbangannya lebih melekat dan lebih sedikit asiri dibanding lebih sedikit senyawa organik yang kutub dari bobot molekular yang serupa.

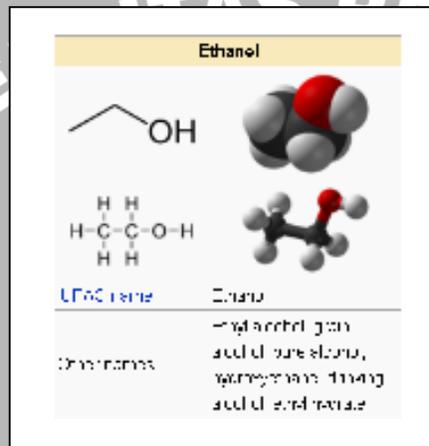
Etanol adalah suatu bahan pelarut yang serbaguna, yang dapat dicampur dengan air dan dengan banyak bahan pelarut organik, termasuk asam cuka, aseton, benzen, karbon tetraklorida, cloroform, diethyl eter, etilena glikol, gliserol,

nitromethane, piridina, dan toluene Ini juga dapat dicampur dengan hidrokarbon alifatik yang ringan, seperti pentan dan heksan, dan dengan klorid-klorid yang alifatik seperti trichloroethane dan tetrachloroethylene.

### 2.6.2 Sifat kimia

Etanol digolongkan sebagai suatu alkohol yang utama, maksudnya karbon masuk kelompok hidroksit terlampir mempunyai sedikitnya dua atom hidrogen berkait dengannya juga.

Ilmu kimia dari etanol adalah sebagian besar itu, tentangnya kelompok hidroksit.



Gambar 2.6 Struktur etanol

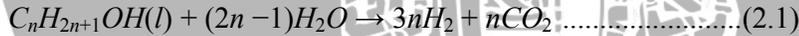
**Tabel 2.5** Properties etanol

| Properties          |                                  |
|---------------------|----------------------------------|
| Molecular formula   | C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O  |
| Molar mass          | 46,06844(232) g/mol              |
| Appearance          | Colorless clear liquid           |
| Density             | 0,789 g/cm <sup>3</sup> , liquid |
| Melting point       | -114,3°C (158,8K)                |
| Boiling point       | 78,4°C, 173,1 F (351,6 K)        |
| Solubility in water | Fully miscible                   |
| Acidity (pKa)       | 15,9                             |
| Viscosity           | 1.200 mPa-s (cP) at 20°C         |
| Depole moment       | 5,64 fC.fm (1,69 D) (gas)        |

Sumber. [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com)

**2.7. Reaksi Pemisahan Hidrogen**

Untuk proses pemisahan unsur hidrogen dari etanol perlu dilakukan terlebih dahulu proses pemanasan pada etanol yang secara teoritis reaksi pemisahan unsur hidrogen (H<sub>2</sub>) dari etanol adalah sebagai berikut (Thomas, et.al. 2000):



Sehingga diperoleh persamaan reaksi pemisahan unsur hidrogen dari etanol seperti persamaan reaksi dibawah ini:



**2.8 Hidrogen**

Hidrogen (bahasa Latin: *hydrogenium*, dari bahasa Yunani: *hydro*: air, *genes*: membentuk) adalah unsur kimia pada tabel periodik yang memiliki simbol H dan nomor atom 1. Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non-logam, bervalensi tunggal, dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar. Dengan massa atom 1,00794 amu, hidrogen adalah unsur teringan di dunia.

Hidrogen juga adalah unsur paling melimpah dengan persentase kira-kira 75% dari total massa unsur alam semesta. Kebanyakan bintang dibentuk oleh hidrogen dalam keadaan plasma. Senyawa hidrogen relatif langka dan jarang dijumpai secara alami di bumi, dan biasanya dihasilkan secara industri dari berbagai senyawa hidrokarbon seperti metana. Hidrogen juga dapat dihasilkan dari air melalui proses elektrolisis, namun proses ini secara komersial lebih mahal daripada produksi hidrogen dari gas alam.

Isotop hidrogen yang paling banyak dijumpai di alam adalah protium, yang inti atomnya hanya mempunyai proton tunggal dan tanpa neutron. Senyawa ionik hidrogen dapat bermuatan positif (kation) ataupun negatif (anion). Hidrogen dapat membentuk senyawa dengan kebanyakan unsur dan dapat dijumpai dalam air dan senyawa-senyawa organik. Hidrogen sangat penting dalam reaksi asam basa yang mana banyak reaksi ini melibatkan pertukaran proton antar molekul terlarut. Oleh karena hidrogen merupakan satu-satunya atom netral yang persamaan Schrödingernya dapat diselesaikan secara analitik, kajian pada energetika dan ikatan atom hidrogen memainkan peran yang sangat penting dalam perkembangan mekanika kuantum.

Kelarutan dan karakteristik hidrogen dengan berbagai macam logam merupakan subyek yang sangat penting dalam bidang metalurgi (karena perapuhan hidrogen dapat terjadi pada kebanyakan logam) dan dalam riset pengembangan cara yang aman untuk menyimpan hidrogen sebagai bahan bakar. Hidrogen sangatlah larut dalam berbagai senyawa yang terdiri dari logam tanah nadir dan logam transisi dan dapat dilarutkan dalam logam kristal maupun logam amorf. Kelarutan hidrogen dalam logam disebabkan oleh distorsi setempat ataupun ketidakmurnian dalam kekisi hablur logam.

Gas hidrogen sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4% H<sub>2</sub> di udara bebas. Entalpi pembakaran hidrogen adalah -286 kJ/mol. Hidrogen terbakar menurut persamaan kimia:



Ketika dicampur dengan oksigen dalam berbagai perbandingan, hidrogen meledak seketika disulut dengan api dan akan meledak sendiri pada temperatur 560 °C. Lidah api hasil pembakaran hidrogen-oksigen murni memancarkan gelombang

ultraviolet dan hampir tidak terlihat dengan mata telanjang. Oleh karena itu, sangatlah sulit mendeteksi terjadinya kebocoran hidrogen secara visual. Karakteristik lainnya dari api hidrogen adalah nyala api cenderung menghilang dengan cepat di udara, sehingga kerusakan akibat ledakan hidrogen lebih ringan dari ledakan hidrokarbon.

Atom H, juga disebut *hidrogen nasen* atau *hidrogen atomik*, diklaim eksis secara fana namun cukup lama untuk menimbulkan reaksi kimia. Menurut klaim itu, hidrogen nasen dihasilkan secara *in situ*, biasanya reaksi antara seng dengan asam, atau dengan elektrolisis pada katoda. Sebagai molekul monoatomik, atom H sangat reaktif dan oleh karena itu adalah reduktor yang lebih kuat dari H<sub>2</sub> diatomik, namun pertanyaan kuncinya terletak pada keberadaan atom H itu sendiri. Konsep ini lebih populer di bidang teknik dan di literatur-literatur lama.

Walaupun H<sub>2</sub> tidaklah begitu reaktif dalam keadaan standar, ia masih dapat membentuk senyawa dengan kebanyakan unsur. Jutaan jenis hidrokarbon telah diketahui, namun itu semua tidaklah dihasilkan secara langsung dari hidrogen dan karbon. Hidrogen dapat membentuk senyawa dengan unsur yang lebih elektronegatif seperti halogen (F, Cl, Br, I); dalam senyawa ini hidrogen memiliki muatan parsial positif. Ketika berikatan dengan fluor, oksigen ataupun nitrogen, hidrogen dapat berpartisipasi dalam bentuk ikatan non-kovalen yang kuat, yang disebut dengan ikatan hidrogen yang sangat penting untuk menjaga kestabilan kebanyakan molekul biologi. Hidrogen juga membentuk senyawa dengan unsur yang kurang elektronegatif seperti logam dan metaloid, yang mana hidrogen memiliki muatan parsial negatif. Senyawa ini dikenal dengan nama hidrida.

Tabel 2.6 Sifat hidrogen

| Informasi umum                   |  |
|----------------------------------|--|
| <u>Nama, lambang, nomor atom</u> | hidrogen, H, 1   |
| <u>Deret kimia</u>               | nonlogam   |
| <u>Golongan, periode, blok</u>   | 1, 1, s  |
| <u>Penampilan</u>                | tak berwarna<br> |
| <u>Berat atom standar</u>        | 1,00794(7)g·mol <sup>-1</sup>  |
| <u>Konfigurasi elektron</u>      | 1s <sup>1</sup>  |
| <u>Elektron per kulit</u>        | 1  |
| Sifat fisika                     |  |
| <u>Fase</u>                      | gas  |
| <u>Densitas</u>                  | (0 °C, 101,325 kPa)<br>0,08988 g/L   |
| <u>Titik leleh</u>               | 14,01 K<br>(-259,14 °C, -434,45 °F)  |
| <u>Titik didih</u>               | 20,28 K<br>(-252,87 °C, -423,17 °F)  |
| <u>Titik tripel</u>              | 13,8033 K, 7,042 kPa   |
| <u>Titik kritis</u>              | 32,97 K, 1,293 MPa   |
| <u>Bahang beku</u>               | (H <sub>2</sub> ) 0,117 kJ·mol <sup>-1</sup>   |
| <u>Bahang penguapan</u>          | (H <sub>2</sub> ) 0,904 kJ·mol <sup>-1</sup>   |
| <u>Kapasitas bahang</u>          | (25 °C) (H <sub>2</sub> )<br>28,836 J·mol <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>                           |
| <u>Tekanan uap</u>               |  |
| <u>P/Pa</u>                      | 1    10    100    1 k    10 k    100 k   |
| <u>pada T/K</u>                  |  |

Sumber. www.wikipedia.com

H<sub>2</sub> bereaksi secara langsung dengan unsur-unsur oksidator lainnya. Ia bereaksi dengan spontan dan hebat pada suhu kamar dengan klorin dan fluorin, menghasilkan hidrogen halida berupa hidrogen klorida dan hidrogen fluorida.

### 2.7.1 Manfaat gas hidrogen

Hidrogen banyak digunakan untuk mengikat nitrogen dengan unsur lain, dalam proses Haber (memproduksi amonia) dan untuk proses hidrogenasi lemak dan minyak. Hidrogen juga digunakan dalam jumlah yang banyak dalam produksi methanol, dealkilasi hidrogen (*hydrodealkylation*), katalis *hydrocracking*, dan

sulfurisasi hidrogen. Kegunaan-kegunaan lainnya termasuk sebagaibahan bakar roket, memproduksi asam hidroklorida, mereduksi bijih-bijih besi dan sebagai gas pengisi balon.

Daya angkat 1 kaki kubik gas hidrogen sekitar 0,07 lbf pada suhu 0 °C dan tekanan udara 760 mmHg. Baterai yang berbahan bakar hidrogen (*Hydrogen Fuel Cell*) adalah teknologi baru yang sedang dikembangkan, dimana tenaga listrikdalam jumlah besar dapat dihasilkan gas hidrogen. Pabrik-pabrik baru dapat dibangun dekat laut untuk melakukan proses elektrolisis air laut guna memproduksi hidrogen.

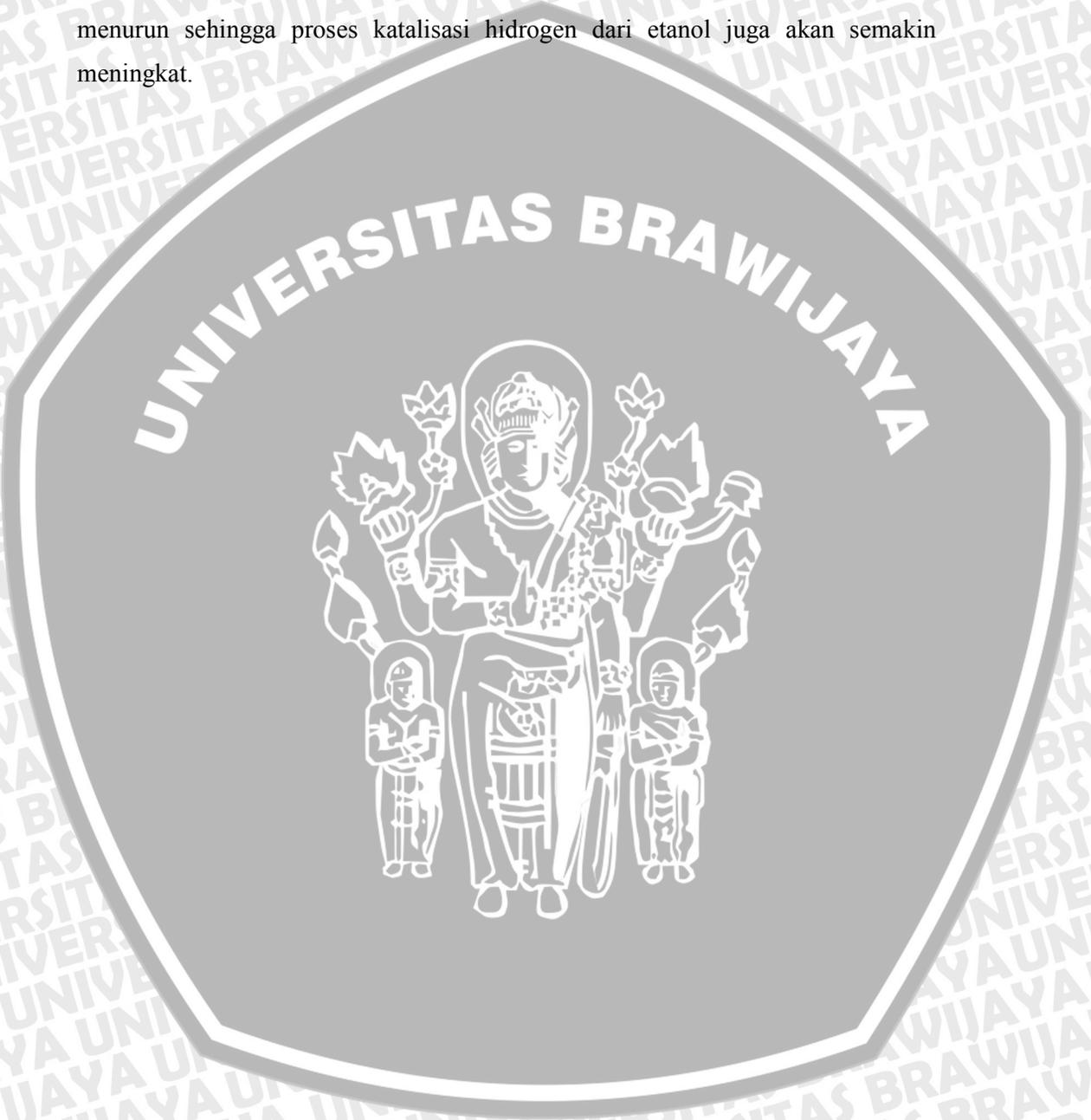
*Fuel cell* merupakan perangkat elektrokimia yang mampu mengkonversi perubahan energi bebas suatu reaksi elektrokimia menjadi energi listrik. Hidrogen merupakan bahan bakar paling ideal buat *fuel cell* karena memiliki energi persatuan berat yang tertinggi. Ketersediaan hidrogen di alam juga sangat melimpah. Konversi hidrogen menjadi listrik cuma menghasilkan uap air, sehingga akan ramah lingkungan.

Hidrogen dapat berfungsi sebagai energi untuk semua kegunaan sebagai mana layaknya minyak bumi dan gas alam, selain itu keberadaannya hanya ditemukan di alam dalam bentuk senyawa. Hidrogen yang tersedia dalam air dan senyawa organik berbentuk senyawa hidrokarbon, seperti gas alam, batubara, dan biomassa. Oleh karena itu hidrogen harus diproduksi melalui penggunaan energi sebelum hidrogen itu sendiri tersedia sebagai sumber energi. Pemotongan ikatan-ikatan kimia di dalam air akan menghasilkan hidrogen yang dapat dipergunakan sebagai bahan bakar.

Reaktan yang bisa digunakan dalam sebuah sel bahan bakar adalah hidrogen di sisi anoda dan oksigen di sisi katoda (sebuah sel hidrogen). Biasanya aliran reaktan mengalir masuk dan produk dari reaktan mengalir keluar, sehingga operasi jangka panjang dapat terus menerus dilakukan selama aliran tersebut dapat dijaga kelangsungannya. Sel bahan bakar seringkali dianggap menarik dalam aplikasi modern karena efisiensi tinggi dan penggunaan satu-satunya hasil produk dari bahan bakar yang beroperasi menggunakan hidrogen murni adalah uap air.

## 2.9 Hipotesis

Dengan meningkatnya persentase penambahan unsur zeolit pada alumina akan mempengaruhi koefisien difusi knudsen katalis hidrogen. Yang mana dengan kenaikan persentase zeolit maka koefisien difusi knudsen katalis akan semakin menurun sehingga proses katalisasi hidrogen dari etanol juga akan semakin meningkat.



## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian sebenarnya (*true experiment research*), dengan model analisis varian satu arah.

### 3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan adalah :

#### 1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya ditentukan oleh peneliti dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Dalam penelitian ini variabel bebasnya adalah penambahan zeolit, dengan penambahan antara zeolit dengan alumina sebesar (0%), (5%), (10%), (15%) dan, (20%).

#### 2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi oleh variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikatnya adalah koefisien difusi knudsen.

#### 3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah sesuatu yang nilainya telah ditetapkan oleh peneliti. Dalam penelitian ini variabel terkontrolnya adalah:

- Volume etanol dan air : 1:3
- Ukuran mesh zeolit : 25-50
- Ukuran mesh alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) : 100-150
- Tekanan : 12,49 Pa
- Temperatur reaktor : 423,14 K

### 3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan juni 2008, tempat yang digunakan penelitian yaitu:

1. Laboratorium abc Malang untuk pengujian katalis hidrogen.
2. Pelayanan Teknis Industri Keramik (LIK) Malang.

### 3.4 Peralatan dan Bahan Penelitian

3.4.1 Peralatan yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah :

- Tabung reaksi
- Jangka sorong
- *Timer*
- Termometer
- Mistar ukur
- Corong
- Manometer
- Kasa almunium
- Cetakan spesimen
- Timbangan

3.4.2 Bahan yang Digunakan dalam penelitian ini :

- Serbuk aluminium oksid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- Serbuk zeolit
- Etanol ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ )
- Air ( $\text{H}_2\text{O}$ )

### 3.5 Prosedur Pembuatan Spesimen

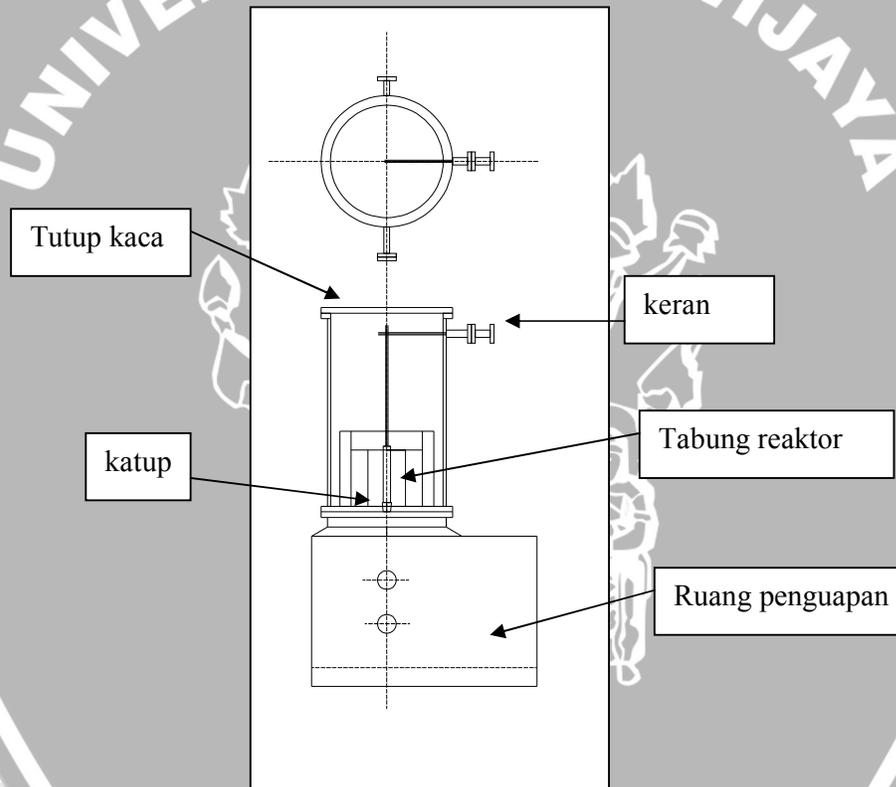
Langkah langkah pembuatan spesimen pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan bahan yang akan digunakan yaitu serbuk alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan serbuk zeolit.
2. Dilakukan pengukuran serbuk alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan serbuk zeolit sesuai dengan persentase yang telah ditentukan.
3. Dilakukan *dry mixing* antara serbuk alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan serbuk zeolit.
4. Memasang cetakan spesimen pada mesin tekan.
5. Memasukkan campuran serbuk alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan serbuk zeolit dalam cetakan, kemudian dilakukan penekanan.
6. Cetakan dilepas dan spesimen dikeluarkan dari dalam cetakan.
7. Dilakukan pengukuran dimensi spesimen kemudian dilakukan pengampelasan agar diperoleh dimensi yang sama.
8. Proses pengeringan spesimen.
9. Pembakaran spesimen agar menjadi keramik.

### 3.6 Prosedur Penelitian

Langkah-langkah percobaan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian.
2. Spesimen diletakkan dalam instalasi pengujian.
3. Menutup saluran keluar gas.
4. Memasukkan campuran etanol + air ke dalam instalasi pengujian.
5. Memanaskan campuran etanol + air.
6. Mencatat data yang diperlukan untuk semua hasil pengujian.
7. Mengulangi langkah 1 – 6 dengan persentase zeolit pada spesimen yang berbeda.



Gambar 3.1 Instalasi penelitian

### 3.7 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian ini merupakan cara untuk menentukan keberhasilan suatu penelitian atau eksperimen dan juga menentukan analisis yang tepat sehingga didapat suatu analisis dan kesimpulan yang tepat.

Pencatatan data merupakan hal yang sangat penting dalam proses analisis data untuk memperoleh informasi tentang sesuatu hal yang benar. Oleh karena itu diperlukan ketelitian serta adanya sampel yang cukup mewakili populasi dari masalah yang akan diteliti. Data yang telah diperoleh kemudian diolah dengan analisis statistik dengan menggunakan analisis varian satu arah dan analisis regresi.

### 3.8 Analisis Statistik

- Data rata-rata

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad (3.1)$$

- Standar Deviasi

$$s^2 = \frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n - 1} \quad (3.2)$$

- Standar Deviasi rata-rata

$$s = \sqrt{\frac{\sum |x - \bar{x}|^2}{n - 1}} \quad (3.3)$$

- Interval penduga

$$\bar{x} - t \left[ \frac{\alpha}{2}; db \right] \frac{s}{\sqrt{6}} < \mu < \bar{x} + \left[ \frac{\alpha}{2}; db \right] \frac{s}{\sqrt{6}} \quad (3.4)$$

### 3.9 Analisis Varian Satu Arah

Analisis varian satu arah digunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh porositas katalis zeolit terhadap proses katalisasi *hydrogen*. Harga variabel terikat dianggap sebagai  $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4,$  dan  $\mu_5$ . Sehingga hipotesis penelitian dapat ditulis sebagai berikut :

$H_0$  :  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$  (Peningkatan persentase kadar zeolit tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap proses katalisasi *hydrogen*)

$H_1$  :  $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5$  (Peningkatan persentase kadar zeolit memberikan pengaruh yang nyata terhadap proses katalisasi *hydrogen*)

Pengamatan ditabelkan sebagai berikut :

**Tabel 3.1** Rancangan penulisan data penelitian

| Pengulangan data | variasi         |                 |                 |                 |                 |
|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                  | Zeolit 0%       | Zeolit 5%       | Zeolit 10%      | Zeolit 15%      | Zeolit 20%      |
| 1                | Y <sub>11</sub> | Y <sub>12</sub> | Y <sub>13</sub> | Y <sub>14</sub> | Y <sub>15</sub> |
| 2                | Y <sub>21</sub> | Y <sub>22</sub> | Y <sub>23</sub> | Y <sub>24</sub> | Y <sub>25</sub> |
| 3                | Y <sub>31</sub> | Y <sub>32</sub> | Y <sub>33</sub> | Y <sub>34</sub> | Y <sub>35</sub> |
| 4                | Y <sub>41</sub> | Y <sub>42</sub> | Y <sub>43</sub> | Y <sub>44</sub> | Y <sub>45</sub> |
| 5                | Y <sub>51</sub> | Y <sub>52</sub> | Y <sub>53</sub> | Y <sub>54</sub> | Y <sub>55</sub> |

Berdasarkan pada tabel :

- Jumlah seluruh perlakuan =  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}$  ..... (3.5)

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan =  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2$  ..... (3.6)

- Faktor koreksi (FK)

$$fk = \frac{\left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right)^2}{\sum ni} \dots\dots\dots (3.7)$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$JKT = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - fk \dots\dots\dots (3.8)$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k \left[ \sum_{i=1}^n Y_{ij} \right]^2}{ni} - fk \dots\dots\dots (3.9)$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP \dots\dots\dots (3.10)$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k-1} \dots\dots\dots (3.11)$$

- Kuadrat tengah galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{db} \dots\dots\dots (3.12)$$

- Nilai  $F_{hitung}$

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG} \dots\dots\dots (3.13)$$

**Tabel 3.2** Analisis varian satu arah

| Sumber Kevarianan | Derajat bebas | Jumlah Kuadrat | Kuadrat Rata-rata | $F_{hitung}$ | $F_{tabel}$        |
|-------------------|---------------|----------------|-------------------|--------------|--------------------|
| Perlakuan         | k-1           | JKP            | KTP               | $F_{hitung}$ | $F(\alpha, k, db)$ |
| Galat             | k(n-1)        | JKG            | KTG               |              |                    |
| Total             | nk-1          | JKT            |                   |              |                    |

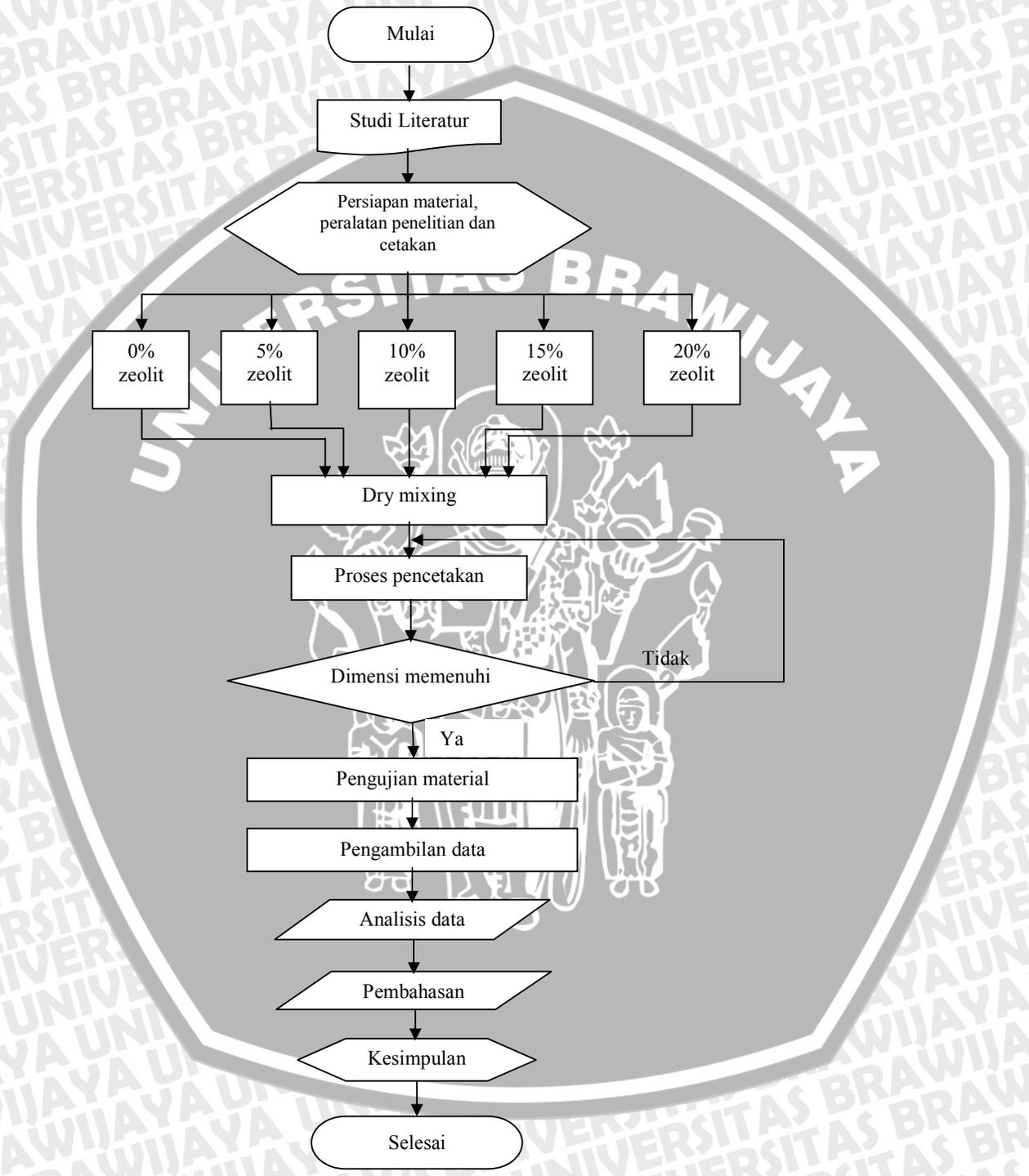
Pengujian ada tidaknya pengaruh perlakuan adalah dengan membandingkan antara  $F_{hitung}$  dengan  $F_{tabel}$

1. Jika  $F_{hitung} > F(\alpha, k, db)$  berarti  $H_0$  ditolak, menyatakan bahwa ada perbedaan yang berarti antara peningkatan persentase kadar zeolit (%) terhadap proses katalisasi *hydrogen*.
2. Jika  $F_{hitung} < F(\alpha, k, db)$  berarti  $H_0$  diterima, menyatakan bahwa tidak ada perbedaan yang berarti antara peningkatan persentase kadar zeolit (%) terhadap proses katalisasi *hydrogen*.



### 3.10 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah ini.



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian

## BAB IV

## DATA DAN PEMBAHASAN

## 4.1 Data Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari hasil penelitian diperoleh data sebagai berikut :

**Tabel 4.1.**Data ukuran pori Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-zeolit.

| Pengulangan | Diameter pori (m) |           |           |           |           |
|-------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|             | 0%                | 5%        | 10%       | 15%       | 20%       |
| 1           | 0.0137296         | 0.0141478 | 0.0146555 | 0.0155467 | 0.0156547 |
| 2           | 0.0126026         | 0.0128915 | 0.0142785 | 0.0145454 | 0.0148535 |
| 3           | 0.0116442         | 0.0125683 | 0.0128773 | 0.0128804 | 0.0144812 |
| 4           | 0.0134481         | 0.0135201 | 0.0137373 | 0.014176  | 0.0149447 |
| 5           | 0.013246          | 0.0135404 | 0.0139128 | 0.015292  | 0.0151445 |

Rumus yang digunakan untuk menghitung koefisien difusi knudsen adalah:

$$N_{Kn} = \frac{\lambda_A}{d_o}$$

Dimana :

$N_{Kn}$  = Koefisien difusi knudsen

$\lambda_A$  = mean free path (m)

$d_o$  = diameter pori (m)

$$\lambda_A = 32 \frac{\mu_A}{p} \left( \frac{RT}{2\pi M_A} \right)^{1/2}$$

Dimana :

$\mu_A$  = kekentalan (kg m<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>)

$p$  = tekanan (Pa)

$R$  = konstanta gas (8314 kg m<sup>2</sup> s<sup>-2</sup> kmol<sup>-1</sup> k<sup>-1</sup>)

$T$  = temperatur (K)

$M_A$  = massa (kg kmol<sup>-1</sup>)

Contoh perhitungan:

Diketahui :  $\mu_A = 0,0114 \times 10^{-3} (\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1})$

$p = 12,49367 (\text{Pa})$

$R = 8314 (\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{kmol}^{-1} \text{K}^{-1})$

$T = 423,15 (\text{K})$

$M_A = 2 (\text{kg kmol}^{-1})$

$$\lambda_A = 32 \left( \frac{0,0000114}{12,49367} \right) \left( \frac{(8314)(423,15)}{(2\pi)(2)} \right)^{1/2}$$

$$= 0,0154533323 \text{ m}$$

$$N_{Kn} = \frac{0,0154533323}{0,0137296}$$

$N_{Kn} = 1,1255$

Maka diperoleh koefisien difusi knudsen  $N_{Kn} = 1,1255$

**Tabel 4.2.** Data tinggi kolom pipa U.

| Pengulangan | Tinggi kolom pipa U(mm) |           |            |            |            |
|-------------|-------------------------|-----------|------------|------------|------------|
|             | Zeolit 0%               | Zeolit 5% | Zeolit 10% | Zeolit 15% | Zeolit 20% |
| 1           | 31                      | 32        | 33         | 34         | 33         |
| 2           | 31                      | 33        | 31         | 33         | 35         |
| 3           | 32                      | 35        | 34         | 36         | 37         |
| 4           | 33                      | 37        | 35         | 33         | 35         |
| 5           | 34                      | 39        | 34         | 35         | 35         |

Rumus yang digunakan adalah:

Kecepatan

$$v = \sqrt{2gh}$$

Dimana :  $v =$  Kecepatan (m/s)

$g =$  percepatan gravitasi ( $9,8\text{m/s}^2$ )

$h =$  tinggi kolom (mm)



Contoh perhitungan:

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$\text{Diketahui } h = 31 \text{ mm} = 3,1 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

maka

$$v = \sqrt{2gh}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot (3,1 \times 10^{-3})}$$

$$v = 0,246 \text{ m/s}^2$$

Debit

$$Q = v \cdot A$$

Dimana

$$Q = \text{debit (m}^3/\text{s)}$$

$$v = \text{kecepatan (m/s)}$$

$$A = \text{luas penampang (m}^2\text{)}$$

Contoh perhitungan

$$Q = v \cdot A$$

$$\text{Diketahui } v = 0,246 \text{ m/s}$$

$$A = 3,14 \times 7,5 \times 7,5$$

$$= 176,6 \text{ cm}^2$$

$$= 1,766 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

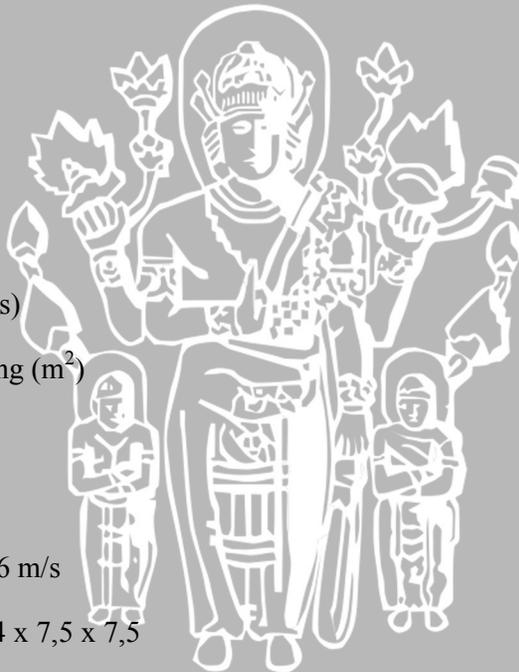
Maka

$$Q = 0,246 \times (1,766 \times 10^{-2})$$

$$= 0,004353 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 4,353 \text{ liter/s}$$

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan data koefisien difusi knudsen ( $K_n$ ) seperti pada tabel 4.1 dan debit (liter/s) seperti pada tabel 4.2. Setiap pengamatan dilakukan pengulangan sebanyak 5 kali.

**Tabel 4.3** Data hasil perhitungan koefisien difusi knudsen

| Pengulangan | Koefisien Difusi Knudsen ( $K_n$ ) |        |        |        |        |
|-------------|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
|             | 0%                                 | 5%     | 10%    | 15%    | 20%    |
| 1           | 1.1255                             | 1.0923 | 1.0544 | 0.9940 | 0.9871 |
| 2           | 1.2262                             | 1.1987 | 1.0823 | 1.0624 | 1.0404 |
| 3           | 1.3271                             | 1.2295 | 1.2000 | 1.1998 | 1.0671 |
| 4           | 1.1491                             | 1.1430 | 1.1249 | 1.0901 | 1.0340 |
| 5           | 1.1666                             | 1.1413 | 1.1107 | 1.0106 | 1.0204 |
| jumlah      | 5.9946                             | 5.8048 | 5.5724 | 5.3568 | 5.1491 |
| rata-rata   | 1.1989                             | 1.1610 | 1.1145 | 1.0714 | 1.0298 |

**Tabel 4.4** Data hasil perhitungan debit

| Perlakuan | Debit (liter/s) |           |            |            |            |
|-----------|-----------------|-----------|------------|------------|------------|
|           | Zeolit 0%       | Zeolit 5% | Zeolit 10% | Zeolit 15% | Zeolit 20% |
| 1         | 13,77           | 13,99     | 14,20      | 14,42      | 14,20      |
| 2         | 13,77           | 14,42     | 13,77      | 14,20      | 14,63      |
| 3         | 13,99           | 14,20     | 14,42      | 14,83      | 15,04      |
| 4         | 14,20           | 13,77     | 14,63      | 14,20      | 14,63      |
| 5         | 14,42           | 14,20     | 14,42      | 14,63      | 14,63      |
| Jumlah    | 70,14           | 70,57     | 71,43      | 72,28      | 73,12      |
| rata-rata | 14,03           | 14,11     | 14,29      | 14,46      | 14,62      |

#### 4.2 Analisis Varian Satu Arah

Untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh persentase penambahan zeolit terhadap koefisien difusi knudsen keramik dan debit gas yang dihasilkan dapat diketahui dari hasil analisis variannya. Apabila nilai  $F_{hitung}$  yang diperoleh lebih besar dari  $F_{tabel}$  berarti faktor yang diuji memberikan pengaruh yang nyata. Namun apabila  $F_{hitung}$  lebih kecil dari  $F_{tabel}$  maka faktor yang diuji tidak memberikan pengaruh yang nyata.

4.2.1 Analisis varian satu arah data koefisien difusi knudsen

- Jumlah seluruh perlakuan

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \\
 &= 1,1255 + 1,2262 + 1,3271 + 1,1491 + \dots + 1,0624 + 1,1998 + 1,0901 + 1,0106 \\
 &= 27,8778
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 \\
 &= (1,1255)^2 + (1,2262)^2 + (1,3271)^2 + (1,1491)^2 + \dots + (1,0624)^2 + (1,998)^2 + \\
 &\quad (1,0901)^2 + (1,0106)^2 \\
 &= 31,2581
 \end{aligned}$$

- Faktor koreksi ( $fk$ )

$$\begin{aligned}
 fk &= \frac{\left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right)^2}{\sum ni} \\
 &= \frac{(27,8778)^2}{25} \\
 &= 31,0869
 \end{aligned}$$



- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$\begin{aligned}
 JKT &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - fk \\
 &= 31,2581 - 31,0869 \\
 &= 0,1712
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$JKP = \frac{\sum_{j=1}^k \left[ \sum_{i=1}^n Y_{ij} \right]^2}{ni} - fk$$

$$= \frac{(5,9946^2 + 5,8048^2 + 5,5724^2 + 5,3568^2 + 5,1491^2)}{5} - 31,0869$$

$$= 31,1784 - 31,0869$$

$$= 0,0915$$

- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP$$

$$= 0,1712 - 0,0915$$

$$= 0,0797$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k - 1}$$

$$= \frac{0,0915}{5 - 1}$$

$$= 0,0229$$

- Kuadrat tengah galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{db}$$

$$= \frac{0,0797}{25 - 5}$$

$$= 0,0039$$



- Nilai  $F_{hitung}$

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG}$$

$$= \frac{0,0229}{0,0039}$$

$$= 5,8717$$

Dari hasil-hasil perhitungan analisis varian satu arah untuk koefisien difusi knudsen dapat ditabelkan pada tabel 4.3 seperti dibawah ini :

**Tabel 4.5** Analisis varian satu arah koefisien difusi knudsen

| Sumber Keragaman | Derajat Bebas | Jumlah Kuadrat | Kuadrat Rata-rata | $F_{hitung}$ | $F_{tabel}$ |
|------------------|---------------|----------------|-------------------|--------------|-------------|
| Perlakuan        | 4             | 0,0915         | 0,0229            | 5,8717       | 2,60        |
| Galat            | 20            | 0,0797         | 0,0039            | -            | -           |
| Total            | 24            | 0,1712         | -                 | -            | -           |

Dari tabel 4.3 analisis varian satu arah diatas diperoleh hasil  $F_{hitung}$  lebih besar dari  $F_{tabel}$ , sehingga dapat disimpulkan bahwa persentase penambahan zeolit sebagai bahan campuran mempunyai pengaruh yang nyata terhadap koefisien difusi knudsen katalis keramik.

#### 4.2.2 Analisis varian satu arah data debit gas

- Jumlah seluruh perlakuan

$$= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}$$

$$= 13,77 + 13,77 + 13,99 + \dots + 15,04 + 14,63 + 14,63$$

$$= 357,55$$



- Jumlah kuadrat seluruh perlakuan

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 \\
 &= (13,77)^2 + (13,77)^2 + (13,99)^2 + \dots + (15,04)^2 + (14,63)^2 + (14,63)^2 \\
 &= 5116,38
 \end{aligned}$$

- Faktor koreksi ( $fk$ )

$$\begin{aligned}
 fk &= \frac{\left( \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij} \right)^2}{\sum ni} \\
 &= \frac{(357,55)^2}{25} \\
 &= 5113,68
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat total (JKT)

$$\begin{aligned}
 JKT &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k Y_{ij}^2 - fk \\
 &= 5116,38 - 5113,68 \\
 &= 2,7
 \end{aligned}$$

- Jumlah kuadrat perlakuan (JKP)

$$\begin{aligned}
 JKP &= \frac{\sum_{j=1}^k \left[ \sum_{i=1}^n Y_{ij} \right]^2}{ni} - fk \\
 &= \frac{(70,14^2 + 70,57^2 + 71,43^2 + 72,28^2 + 73,12^2)}{5} - 5113,68 \\
 &= 5114,74 - 5113,68 \\
 &= 1,06
 \end{aligned}$$



- Jumlah kuadrat galat (JKG)

$$JKG = JKT - JKP$$

$$= 2,7 - 1,06$$

$$= 1,64$$

- Kuadrat tengah perlakuan (KTP)

$$KTP = \frac{JKP}{k - 1}$$

$$= \frac{1,06}{5 - 1}$$

$$= 0,265$$

- Kuadrat tengah galat (KTG)

$$KTG = \frac{JKG}{db}$$

$$= \frac{1,64}{25 - 5}$$

$$= 0,082$$



- Nilai Fhitung

$$F_{hitung} = \frac{KTP}{KTG}$$

$$= \frac{0,265}{0,082}$$

$$= 3,23$$



Dari hasil-hasil perhitungan analisis varian satu arah untuk debit gas dapat ditabelkan pada tabel 4.4 seperti dibawah ini :

**Tabel 4.6** Analisis varian satu arah debit gas

| Sumber Keragaman | Derajat Bebas | Jumlah Kuadrat | Kuadrat Rata-rata | F <sub>hitung</sub> | F <sub>tabel</sub> |
|------------------|---------------|----------------|-------------------|---------------------|--------------------|
| Perlakuan        | 4             | 1,06           | 0,265             | 3,23                | 2,60               |
| Galat            | 20            | 1,64           | 0,082             | -                   | -                  |
| Total            | 24            | 2,7            | -                 | -                   | -                  |

Dari tabel 4.4 analisis varian satu arah diatas diperoleh hasil F<sub>hitung</sub> lebih besar dari F<sub>tabel</sub>, sehingga dapat disimpulkan bahwa persentase penambahan zeolit mempunyai pengaruh yang nyata terhadap jumlah / debit gas yang dihasilkan.

#### 4.3 Analisis Regresi dan Korelasi

Dari data hasil pengukuran yang diperoleh maka dapat dilakukan analisis regresi. Persamaan regresi yang digunakan adalah model persamaan regresi linier dan untuk model korelasi yang digunakan adalah korelasi linier. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dari contoh perhitungan berikut.

##### 4.3.1 Analisis regresi dan korelasi pada koefisien difusi knudsen .

Dari data yang didapat pada tabel 4.5 dapat diketahui pengaruh persentase penambahan zeolit terhadap koefisien difusi knudsen . Dengan menggunakan tabel 4.5 akan didapatkan persamaan regresi linier dan persamaan korelasi linier, sebagai berikut:

Persamaan regresi linier:

$$Y = a + bx \quad (4.1)$$

$$a = \frac{\sum Y \sum X^2 - \sum X \sum XY}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$= \frac{(438,71 \times 3750) - (250 \times 4298,43)}{(25 \times 3750 - (250)^2)}$$

$$= 18,258$$

$$b = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$= \frac{(25 \times 4298,3) - (250 \times 438,71)}{(25 \times 3750 - (250)^2)}$$

$$= -0,070936$$

Jadi persamaan (4.1) akan menjadi seperti berikut:

$$Y = 25,824 - 0,1 x$$

Persamaan korelasi linier :

$$R = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(N \sum X^2 - (\sum X)^2)(N \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

$$= \frac{(25 \times 4298,43) - (250 \times 438,71)}{\sqrt{((25 \times 3750) - (250)^2)((25 \times 7713,46) - (438,71)^2)}}$$

$$= 0,976$$

Untuk hasil analisis regresi koefisien difusi knudsen dapat ditabelkan seperti dibawah ini:

**Tabel 4.7.** Analisa regresi pada koefisien difusi knudsen

| No     | X   | Y       | X <sup>2</sup> | Y <sup>2</sup> | XY       |
|--------|-----|---------|----------------|----------------|----------|
| 1      | 0   | 1.1255  | 0              | 1.2669         | 0        |
| 2      | 0   | 1.2262  | 0              | 1.5036         | 0        |
| 3      | 0   | 1.3271  | 0              | 1.7613         | 0        |
| 4      | 0   | 1.1491  | 0              | 1.3205         | 0        |
| 5      | 0   | 1.1666  | 0              | 1.3611         | 0        |
| 6      | 5   | 1.0923  | 25             | 1.1931         | 5.4614   |
| 7      | 5   | 1.1987  | 25             | 1.4369         | 5.9936   |
| 8      | 5   | 1.2295  | 25             | 1.5118         | 6.1477   |
| 9      | 5   | 1.1430  | 25             | 1.3064         | 5.7149   |
| 10     | 5   | 1.1413  | 25             | 1.3025         | 5.7064   |
| 11     | 10  | 1.0544  | 100            | 1.1118         | 10.5444  |
| 12     | 10  | 1.0823  | 100            | 1.1713         | 10.8228  |
| 13     | 10  | 1.2000  | 100            | 1.4401         | 12.0004  |
| 14     | 10  | 1.1249  | 100            | 1.2654         | 11.2492  |
| 15     | 10  | 1.1107  | 100            | 1.2337         | 11.1073  |
| 16     | 15  | 0.9940  | 225            | 0.9880         | 14.9099  |
| 17     | 15  | 1.0624  | 225            | 1.1287         | 15.9363  |
| 18     | 15  | 1.1998  | 225            | 1.4394         | 17.9963  |
| 19     | 15  | 1.0901  | 225            | 1.1883         | 16.3516  |
| 20     | 15  | 1.0106  | 225            | 1.0212         | 15.1583  |
| 21     | 20  | 0.9871  | 400            | 0.9744         | 19.7427  |
| 22     | 20  | 1.0404  | 400            | 1.0824         | 20.8077  |
| 23     | 20  | 1.0671  | 400            | 1.1388         | 21.3426  |
| 24     | 20  | 1.0340  | 400            | 1.0692         | 20.6807  |
| 25     | 20  | 1.0204  | 400            | 1.0412         | 20.4078  |
| jumlah | 250 | 27.8778 | 3750           | 31.2581        | 268.0821 |

#### 4.3.2 Analisis regresi dan korelasi pada debit gas.

Dari data yang didapat pada tabel 4.6 dapat diketahui pengaruh persentase penambahan zeolit debit gas. Dengan menggunakan tabel 4.6 akan didapatkan persamaan regresi linier dan persamaan korelasi linier, sebagai berikut:

Persamaan regresi linier:

$$Y = a + bx \tag{4.2}$$

$$a = \frac{\sum Y \sum X^2 - \sum X \sum XY}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$= \frac{(27,8778 \times 3750) - (250 \times 268,0821)}{(25 \times 3750) - (250)^2}$$

$$= 1,2007$$

$$b = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{N \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

$$= \frac{(25 \times 268,0821) - (250 \times 27,8778)}{(25 \times 3750 - (250)^2)}$$

$$= -0,008556$$

Jadi persamaan (4.2) akan menjadi seperti berikut:

$$Y = 1,2007 - 0,008556 x$$

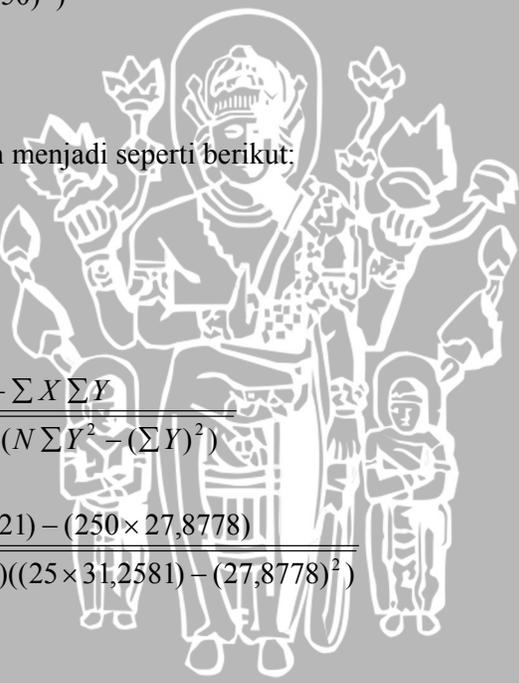
Persamaan korelasi linier:

$$R = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{(N \sum X^2 - (\sum X)^2)(N \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}}$$

$$= \frac{(25 \times 268,0821) - (250 \times 27,8778)}{\sqrt{(25 \times 3750 - (250)^2)((25 \times 31,2581) - (27,8778)^2)}}$$

$$= 0,9992$$

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Untuk hasil analisis regresi debit gas dapat ditabelkan seperti dibawah ini:

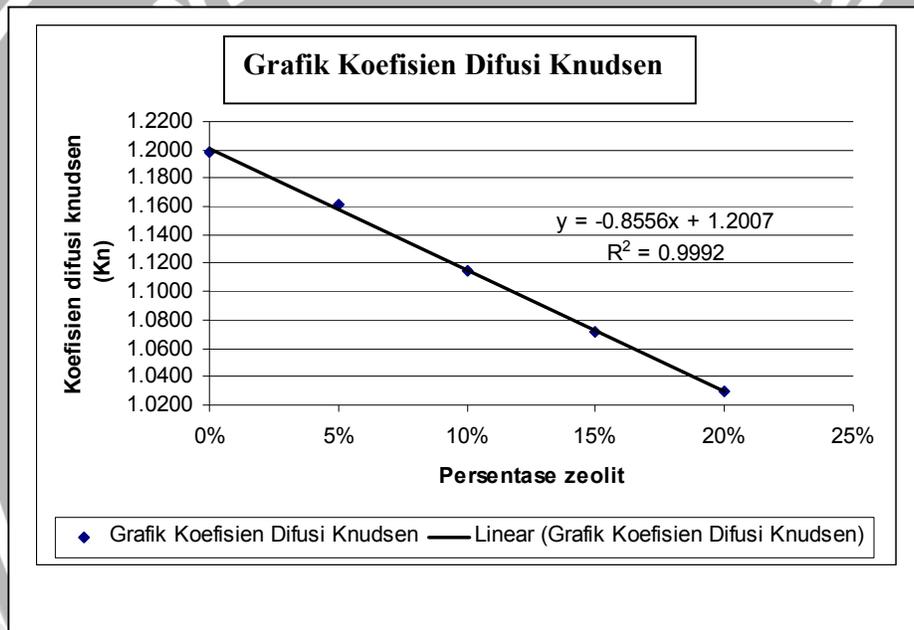
**Tabel 4.8.** Analisa regresi debit gas

| No     | X   | Y      | X <sup>2</sup> | Y <sup>2</sup> | XY      |
|--------|-----|--------|----------------|----------------|---------|
| 1      | 0   | 13.77  | 0              | 189.50         | 0       |
| 2      | 0   | 13.77  | 0              | 189.50         | 0       |
| 3      | 0   | 13.99  | 0              | 195.61         | 0       |
| 4      | 0   | 14.20  | 0              | 201.72         | 0       |
| 5      | 0   | 14.42  | 0              | 207.83         | 0       |
| 6      | 5   | 13.99  | 25             | 195.61         | 69.93   |
| 7      | 5   | 14.42  | 25             | 207.83         | 72.08   |
| 8      | 5   | 14.20  | 25             | 201.72         | 71.01   |
| 9      | 5   | 13.77  | 25             | 189.50         | 68.83   |
| 10     | 5   | 14.20  | 25             | 201.72         | 71.01   |
| 11     | 10  | 14.20  | 100            | 201.72         | 142.03  |
| 12     | 10  | 13.77  | 100            | 189.50         | 137.66  |
| 13     | 10  | 14.42  | 100            | 207.83         | 144.16  |
| 14     | 10  | 14.63  | 100            | 213.95         | 146.27  |
| 15     | 10  | 14.42  | 100            | 207.83         | 144.16  |
| 16     | 15  | 14.42  | 225            | 207.83         | 216.25  |
| 17     | 15  | 14.20  | 225            | 201.72         | 213.04  |
| 18     | 15  | 14.83  | 225            | 220.06         | 222.52  |
| 19     | 15  | 14.20  | 225            | 201.72         | 213.04  |
| 20     | 15  | 14.63  | 225            | 213.95         | 219.40  |
| 21     | 20  | 14.20  | 400            | 201.72         | 284.06  |
| 22     | 20  | 14.63  | 400            | 213.95         | 292.54  |
| 23     | 20  | 15.04  | 400            | 226.17         | 300.78  |
| 24     | 20  | 14.63  | 400            | 213.95         | 292.54  |
| 25     | 20  | 14.63  | 400            | 213.95         | 292.54  |
| jumlah | 250 | 357.55 | 3750           | 5116.38        | 3613.86 |

#### 4.4 Pembahasan Grafik

##### 4.4.1 Grafik hubungan penambahan persentase zeolit terhadap Koefisien Difusi Knudsen

Dari hasil analisis varian satu arah pada tabel 4. dapat diketahui variasi penambahan persentase zeolit berpengaruh nyata terhadap koefisien difusi knudsen yang dihasilkan dari proses steam reforming, hal ini dapat dilihat dari nilai  $F_{hitung} > F_{tabel}$  ( $5,8717 > 2,6$ ). Pengaruh nyatanya adalah berupa penurunan nilai koefisien difusi knudsen seiring dengan kenaikan besarnya persentase penambahan zeolit seperti yang ditunjukkan grafik dibawah ini.



**Gambar 4.1** Grafik hubungan antara persentase zeolit dengan koefisien difusi knudsen

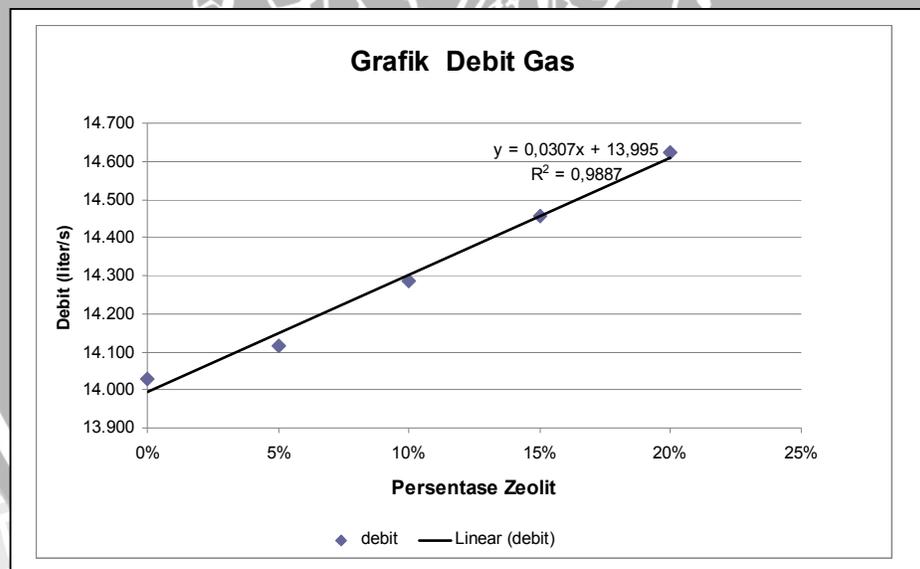
Dari grafik diatas padat diketahui bahwa penurunan nilai koefisien difusi knudsen seiring dengan kenaikan persentase penambahan zeolit terhadap bahan dasar *aluminium oxide* (alumina). Pada persentase zeolit 0% didapatkan nilai koefisien difusi knudsen rata-rata sebesar 1,199, kemudian nilai koefisien

difusi knudsen yang didapatkan semakin menurun sampai pada persentase zeolit 20% dengan nilai rata-rata nilai koefisien difusi knudsen sebesar 1,0298.

Terlihat jelas dari grafik bahwa dengan penambahan zeolit pada katalis keramik dapat menurunkan nilai koefisien difusi knudsen, hal ini diakibatkan oleh adanya peningkatan ukuran diameter pori oleh adanya penambahan bahan zeolit yang mana dengan semakin bertambahnya persentase zeolit diameter pori akan semakin membesar sehingga dengan semakin besar ukuran diameter pori maka nilai koefisien difusi knudsen akan semakin kecil

#### 4.4.2 Grafik hubungan penambahan persentase zeolit terhadap debit gas

Dari hasil analisis varian satu arah pada tabel 4.2 dapat diketahui variasi penambahan persentase zeolit berpengaruh nyata terhadap debit gas yang dihasilkan dari proses steam reforming, hal ini dapat dilihat dari nilai  $F_{hitung} > F_{tabel}$  ( $3,23 > 2,6$ ). Pengaruh nyatanya adalah berupa kenaikan debit gas yang melewati katalis keramik seiring dengan kenaikan besarnya persentase penambahan zeolit seperti yang ditunjukkan grafik dibawah ini.

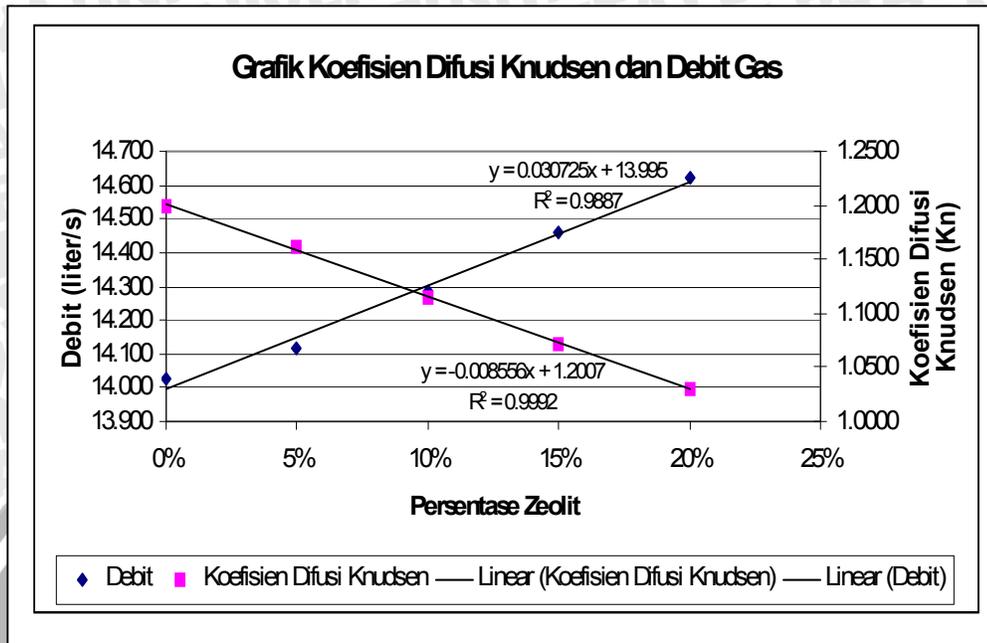


Gambar 4.2 Grafik hubungan antara persentase zeolit dengan debit gas

Dari grafik diatas padat diketahui bahwa kenaikan debit gas seiring dengan kenaikan persentase penambahan zeolit terhadap bahan dasar *aluminium oxide* (alumina). Pada persentase zeolit 0% didapatkan nilai debit rata-rata sebesar 14,03 liter/s, kemudian nilai debit yang didapatkan semakin meningkat sampai pada persentase zeolit 20% dengan nilai rata-rata debit sebesar 14,62 liter/s.

Terlihat jelas dari grafik bahwa dengan penambahan zeolit pada katalis keramik dapat menurunkan nilai koefisien difusi knudsen sehingga mempengaruhi nilai debit yang dihasilkan. Dengan penurunan koefisien difusi knudsen didapatkan nilai debit yang meningkat. Dimana dengan penambahan zeolit 0% didapatkan nilai koefisien difusi knudsen sebesar 1,1989 dengan nilai debit sebesar 14,03 liter/s, pada penambahan zeolit 5% didapatkan nilai koefisien difusi knudsen sebesar 1,1610 dengan nilai debit sebesar 14,11 liter/s, pada penambahan zeolit 10% didapatkan nilai koefisien difusi knudsen sebesar 1,1145 dengan nilai debit sebesar 14,29 liter/s, pada penambahan zeolit 15% didapatkan nilai koefisien difusi knudsen sebesar 1,0714 dengan nilai debit sebesar 14,46 liter/s, pada penambahan zeolit 20% didapatkan nilai koefisien difusi knudsen sebesar 1,0298 dengan nilai debit sebesar 14,62 liter/s.

Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar zeolit akan menurunkan nilai koefisien difusi knudsen, dimana penurunan nilai Koefisien difusi knudsen dipengaruhi oleh peningkatan besarnya diameter pori dari katalis keramik. Akibat penambahan zeolit katalis meningkatkan diameter pori yang terbentuk sehingga berpengaruh pada debit yang dihasilkan akan semakin besar.



**Gambar 4.3** Grafik koefisien difusi knudsen dan debit gas

Dari grafik dapat terlihat bahwa dengan penambahan zeolit pada katalis keramik dapat menurunkan nilai koefisien difusi knudsen. Pada grafik juga terlihat bahwa dengan penambahan zeolit pada katalis keramik dapat meningkatkan debit alirannya. Dari grafik diatas dapat diambil kesimpulan, bahwa zeolit optimum yang digunakan adalah 10%. Dengan nilai koefisien difusi Knudsen 1,1145 dan debit gas sebesar 14,29 liter/s

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan data dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai koefisien difusi knudsen katalis keramik semakin menurun seiring dengan peningkatan persentase zeolit yang dicampurkan dengan *aluminium oxide*. Penurunan nilai koefisien difusi knudsen ini dipengaruhi oleh penambahan persentase zeolit terhadap bahan *aluminium oxide*, yang mana dengan bertambahnya persentase zeolit maka ukuran diameter pori yang terbentuk akan semakin besar sehingga nilai koefisien difusi knudsenya akan semakin kecil. Pada persentase zeolit 0% didapatkan nilai koefisien difusi knudsen rata-rata sebesar 1,1989, kemudian nilai koefisien difusi knudsen yang didapatkan semakin menurun sampai pada persentase zeolit 20% dengan nilai rata-rata nilai koefisien difusi knudsen sebesar 1,0298.
2. Dengan semakin menurunnya nilai koefisien difusi knudsen dari katalis keramik maka debit gas yang mengalir juga semakin meningkat, peningkatan ini dipengaruhi oleh semakin besarnya diameter pori yang terbentuk sehingga gas yang mengalir juga semakin banyak.

### 5.2 Saran

1. Dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh variasi ukuran mesh dari zeolit yang ditambahkan kedalam bahan *aluminium oxide* terhadap koefisien Koefisien difusi knudsen katalis keramik.
2. Dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh kalsinasi pada bahan zeolit sebelum dicampurkan ke dalam aluminium oxide terhadap koefisien koefisien difusi knudsen katalis keramik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adams. 2002. *Aluminium Oxide*( $Al_2O_3$ ). <http://www accuratus.com/alumox.html>.
- Anderson, Robert B. and D. Peter T., 1976, *Experimental Methods in Catalytic Research*, Vol 1: Preparation and Examination of Practical Catalysts, Academic Press Inc, London.
- Anonim. <http://www.wikipedia.com>,
- Anonymous<sup>c</sup>, *Introduction to Zeolite*, <http://www.ch.ic.ac.uk/vchemlib/course/zeolite/intro>. diakses tgl 11 Januari 2007.
- Augustine, L. Rober, 1995, *Heterogenous Catalysis for the Synthetic Chemist*, Marcel Dekker Inc, New York.
- Cavallaro. 2000 “ *Ethanol Steam Reforming on Rh/ $Al_2O_3$  Catalysts*.
- Davis, M.E. and Lobo, 1992, *Zeolite and Molecular Sieves Synthesis*, American Chemical Society, New York.
- Fogler, H. Scott, 1999, *Element of Chemical Reaction Engineering Third ed*, Prentice Hall. Inc New Jersey.
- Gates, Bruce C., 1992, *Catalytic Chemistry*, John Wiley and Sons Inc, Singapore.
- Kaengsilalai. 2003; *Hydrogen Production from Carbon Dioxide Reforming of Methane over Ni/Zeolite Catalysts: Effect of an Upscale Synthesis*,
- Lee, R.M. and W.E. Rainforth, (1994), *Structural Oxide:  $Al_2O_3$  and Mullite in Ceramic Structure:Property Control by Processing*, London: Chapman and Hall.
- Nurhadi, M., W. Trisunaryanti, M.U Yahya dan B. Setiaji, 1999, *Karakterisasi dan Modifikasi Zeolit Alam dan Sifat Perengkahannya terhadap Fraksi minyak Bumi*, Indonesian Journal of Chemistry, 13:7-10
- Othmer and Kirk, 1981, *Encyclopedia of Science Technology*, Vol. 9, John Wiley and Sons, New York, 64.
- Perego, Carlo and V. Pierluigi, 1997, *Catalyst Preparation Methods*, *Catalyst Today* 34:281-305.

Robert S., Harry C., 1988, *Transport Phenomena*. Mc Graw Hill Book Companies, New York.

Satter Field, C.N, 1980, *Heterogeneous Catalysis In Practice*, Mc Graw Hill Book Companies, New York.

Smallman, R.E, Bishop, R.J., 2000, *Metallurgi Fisik dan Rekayasa Material* Penerbit Erlangga, Jakarta.

Sutarti, M. dan M. Rachmawati, 1994, *Zeolit Tinjauan Literatur*, Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmiah LIPI, Jakarta.

Thomas, J.M. and, W.J. Thomas, 1997, *Principle and Practice of Heterogeneous Catalysis*, VCH, New York, 65, 112-116.

Thomas, Vasilos. 1995. *Industrial Material*. New Jersey: Prentice hall.

Tri Sugiarto, Anto. 2001. *Prospek Energi Masa Depan*. Dimensi.

Wahyudi,S, 2006, *Statistik Teknik*, Malang : Teknik Mesin Brawijaya.

Yao, J. 1992, *Aromatization of Short Chain Alkenes, Over Gallium Modified zsm-5 Catalysts*, Phd Thesis, Concordia University.



## Lampiran

### Lampiran I Bahan



Aluminium oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

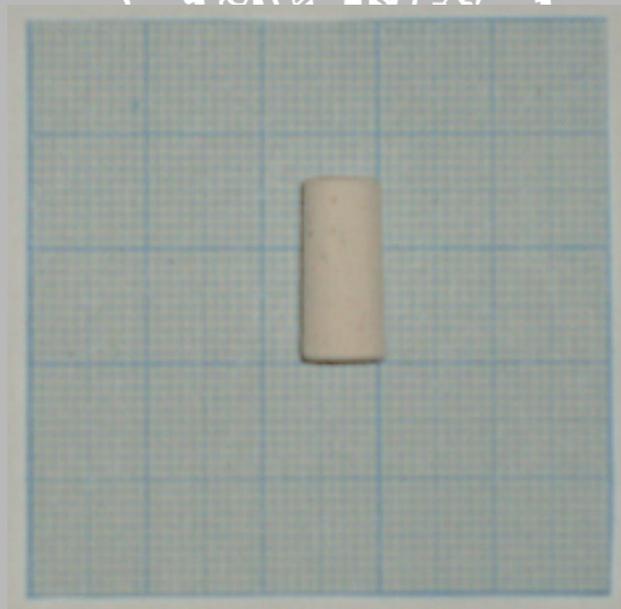


Zeolit

Lampiran II  
Spesimen



Keramik dengan zeolit 0%



Keramik dengan zeolit 5%

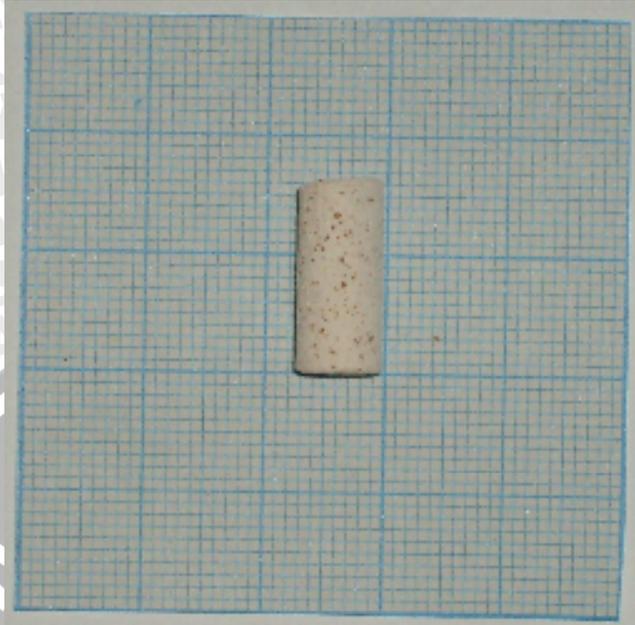




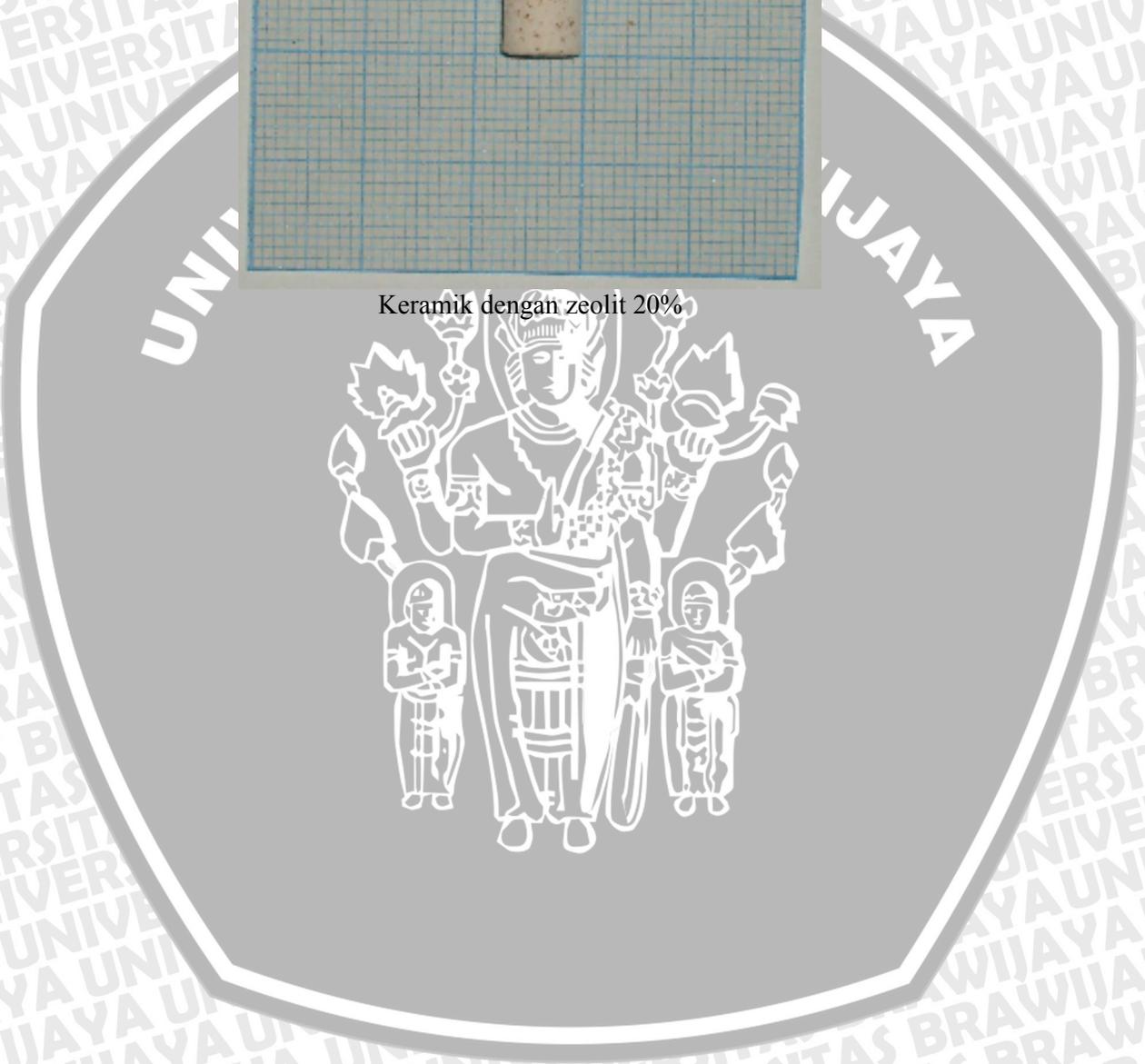
Keramik dengan zeolit 10%



Keramik dengan zeolit 15%



Keramik dengan zeolit 20%



Lampiran III  
Foto instalasi pengujian



Lampiran VI  
Gabungan grafik

