



UNIVERSITAS INDONESIA

**PREPARASI, KARAKTERISASI, DAN UJI AKTIFITAS
KATALIS Ni-Cr/ZEOLIT ALAM PADA PROSES
PERENKAHAN LIMBAH PLASTIK MENJADI FRAKSI
BENSIN**

SKRIPSI

KEZIA LANDIA SIBARANI

0706263233

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI KIMIA

UNIVERSITAS INDONESIA

JULI 2012



UNIVERSITAS INDONESIA

**PREPARASI, KARAKTERISASI, DAN UJI AKTIFITAS
KATALIS Ni-Cr/ZEOLIT ALAM PADA PROSES
PERENKAHAN LIMBAH PLASTIK MENJADI FRAKSI
BENSIN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

KEZIA LANDIA SIBARANI

0706263233

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI KIMIA

UNIVERSITAS INDONESIA

JULI 2012

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan benar.

Nama : Kezia Landia Sibarani

NPM : 0706263233

Tanda Tangan : 

Tanggal : 9 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Kezia Landia Sibarani
NPM : 0706263233
Program Studi : Kimia
Judul Skripsi : Preparasi, Karakterisasi dan Uji Aktivitas Katalis Ni-Cr/Zeolit Alam Pada Proses Perengkahan Limbah Plastik Menjadi Fraksi Bensin

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Sarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Widayanti Wibowo

(*[Signature]*)

Pembimbing : Dra. Morina, M.Si

(*[Signature]*)

Penguji : Drs. Riswiyanto, M.Si

(*[Signature]*)

Penguji : Dr. Agustino Zulys

(*[Signature]*)

Penguji : Dra. Tresye Utari, M.Si

(*[Signature]*)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : Juli 2012

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah Yang Maha Kuasa yang menganugerahkan saya kekuatan dan mujizat-Nya untuk menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains jurusan kimia pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Masa perkuliahan di Universitas Indonesia ini merupakan bagian pembelajaran dalam kehidupan yang indah untuk dikenang dan dipetik hikmahnya.

Begitu banyak doa dan dukungan yang telah diberikan untuk menyelesaikan skripsi ini, karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Dr. Widayanti Wibowo dan Dra. Morina, M.Si, selaku dosen Pembimbing Penelitian yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
- (2) Dr. Ridla Bakri, M. Phil, selaku Ketua Departemen Kimia, dan Pembimbing Akademis, Prof. Usman Sumo Friend Tambunan, serta Dosen Pengajar di Departemen Kimia yang telah banyak membagi ilmu dan senantiasa membimbing mahasiswa untuk tetap terus belajar dan berkarya.
- (3) Papi dan Mami tercinta yang selalu memberikan doa, kasih sayangnya dan mendukung setiap hal yang saya lakukan, serta adik saya, Richiana, yang terus mendukung saya dengan segala sesuatu yang dapat dilakukannya.
- (4) Dr. Oberlin. S dan semua karyawan di Lab Konversi dan Katalisa Gedung Proses Lemigas, yang telah banyak membantu saya demi terselesaikannya penelitian ini.
- (5) Rekan-rekan Kimia 2007 dan 2008 atas diskusi dan dukungan semangatnya yang sangat berharga. Banyak hal berharga yang saya pelajari dari kalian semua.
- (6) PKK (Trijan Riana P), TKK (Hesty, Santy, dan Nenci), dan AKK (Abdiel,

Grandprix, Hendy TP, David, Gidson, Anton, dan Hendy F), serta teman-teman seiman PO FMIPA UI yang telah memberikan banyak dukungan doa, perhatian, dan semangat. Saya bersyukur bisa mengenal kalian, bertumbuh bersama dalam iman dan terus berjuang untuk hidup berintegritas demi kemuliaan nama-Nya.

- (7) Semua rekan-rekan kosan 'Teteh Mila', terima kasih telah menjadi keluarga dan teman selama saya penelitian.
- (8) Semua pihak yang namanya tidak dapat saya sebutkan satu per satu, terima kasih telah mendukung saya selama masa penelitian dan penyusunan skripsi ini. Kalian begitu berharga dan menginspirasi saya.

Skripsi ini adalah salah satu kesempatan pelayanan saya kepada-Nya. Oleh kemurahan Allah saya menerima pelayanan ini. Karena itu saya tidak tawar hati. Dan perjuangan panjang ini merupakan anugerah untuk saya makin mengenal-Nya. Janjinya sungguh nyata. Bagaikan pelangi sehabis hujan. Untuk itu, kiranya Allah Yang Maha Kuasa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu dan mendukung saya.

Penulis
2012

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Kezia Landia Sibarani
NPM : 0706263233
Program Studi : S1 Reguler
Departemen : Kimia
Fakultas : MIPA
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Preparasi, Karakterisasi dan Uji Aktivitas Katalis Ni-Cr/Zeolit Alam Pada Proses Perengkahan Limbah Plastik Menjadi Fraksi Bensin

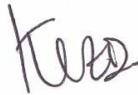
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juli 2012

Yang menyatakan,



(Kezia Landia Sibarani)

ABSTRAK

Nama : Kezia Landia Sibarani
Program Studi : Kimia
Judul : Preparasi, Karakterisasi dan Uji Aktivitas Katalis Ni-Cr/Zeolit Alam Pada Proses Perengkahan Limbah Plastik Menjadi Fraksi Bensin

Telah dilakukan preparasi katalis berbasis zeolit alam yang dimodifikasi dengan logam Ni dan Cr untuk perengkahan limbah plastik jenis polipropilena (PP) menjadi fraksi bensin. Zeolit alam diaktivasi terlebih dahulu, kemudian diimpregnasi dengan logam Ni konsentrasi tetap 4% (b/b) dan logam Cr dengan konsentrasi bervariasi, yaitu 4% (katalis A), 6% (katalis B), dan 8% (katalis C), secara bersamaan (koimpregnasi). Hasil preparasi dikarakterisasi dengan XRD, AAS, BET, dan metode adsorpsi amonia. Difraktogram katalis menunjukkan spesi NiO ($2\theta = 44^\circ$) dan Cr₂O₃ ($2\theta = 33^\circ$ dan 54°) memiliki intensitas yang cukup signifikan dan semakin meningkat seiring dengan kandungan logam Cr yang terimpregnasi. Luas permukaan dan total volume pori katalis memiliki tren menurun, sedangkan rata-rata diameter pori memiliki tren meningkat seiring dengan semakin banyaknya logam yang terimpregnasi. Kandungan total logam pada katalis A sebesar 1,81% Ni – 1,32% Cr, pada katalis B sebesar 1,80% Ni – 1,91% Cr, dan pada katalis C sebesar 2,37% Ni – 2,38% Cr dimana total keasaman katalis meningkat dengan semakin besarnya kandungan total logam. Uji aktivitas katalis dilakukan pada suhu 400°C dan 450°C menunjukkan bahwa hasil konversi pada fraksi bensin C₃-C₁₄ lebih besar sekitar 10-23% dibandingkan dengan hasil perengkahan termal (tanpa katalis). Hasil konversi terbesar diperoleh dengan penggunaan katalis B sebesar 86,91% pada suhu 450°C.

Kata kunci : zeolit alam, perengkahan katalitik, sampah plastik PP, Ni dan Cr
xii + 64 : 23 gambar, 9 tabel
Daftar pustaka : 33 (1974-2011)

ABSTRACT

Name : Kezia Landia Sibarani
Study Program: Chemistry
Title : Preparation, Characterization And Activity Test of Ni-Cr/
Natural Zeolite for Cracking Waste Plastic into Gasoline Fraction

Catalyst was prepared by modifying natural zeolite with Ni and Cr metals and was used for the cracking of polypropylene (PP) waste into gasoline fractions. The natural zeolite was first activated and then was loaded simultaneously with a fixed Ni-metal of 4 wt.% and Cr-metal of varied concentrations of 4 wt.% (namely catalyst A), 6 wt.% (namely catalyst B), and 8 wt.% (namely catalyst C). The catalysts were characterized by XRD, AAS, BET, and ammonia adsorption method. The catalysts diffractograms showed peaks of NiO species ($2\theta = 44^\circ$) and Cr_2O_3 species ($2\theta = 33^\circ$ and 54°) which showed an increase intensities with the increased Cr-loading. BET surface area measurement showed a decreased surface area and total pore volume with the increased metals loading, meanwhile the pore diameters were increased. Analysis by AAS method showed the total metals content in catalyst A were 1,81% Ni – 1,32% Cr, in catalyst B were 1,80% Ni – 1,91% Cr, and in catalyst C were 2,37% Ni – 2,38% Cr whereas the catalysts acidity were increased with the total metals loading. The studies on catalysts activities were conducted at 400 °C and 450 °C, which showed the conversion results on gasoline fraction $\text{C}_3\text{-C}_{14}$ around 10-23 % more than thermal cracking (48,51 %). The highest results of conversion was obtained using catalyst B which was 86.91% at 450 °C.

Keyword : natural zeolite, catalytic cracking, PP waste plastic, Ni and Cr
xii + 64 : 23 figures, 9 tables
Bibliography : 33 (1974-2011)

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS..... | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | iii |
| KATA PENGANTAR..... | iv |
| HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH..... | vi |
| ABSTRAK..... | vii |
| DAFTAR ISI..... | ix |
| DAFTAR GAMBAR..... | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xii |
| BAB 1 PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah..... | 3 |
| 1.3 Hipotesa..... | 4 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Katalis..... | 5 |
| 2.2 Zeolit..... | 6 |
| 2.3 Logam Transisi : Nikel dan Kromium | 12 |
| 2.4 Polipropilena(PP)..... | 13 |
| 2.5 Perengkahan..... | 15 |
| 2.6 Karakterisasi Katalis..... | 17 |
| 2.6.1 Metode XRD..... | 18 |
| 2.6.2 Metode AAS..... | 19 |
| 2.6.3 Metode BET..... | 21 |
| 2.6.4 Metode adsorpsi amonia..... | 22 |
| BAB 3 METODE PENELITIAN..... | 23 |
| 3.1 Alat dan Bahan..... | 23 |
| 3.1.1 Alat..... | 23 |
| 3.1.2 Bahan..... | 23 |
| 3.2 Prosedur percobaan..... | 23 |
| 3.2.1 Aktivasi zeolit..... | 23 |
| 3.2.1.1 Aktivasi zeolit secara fisika..... | 23 |
| 3.2.1.2 Aktivasi zeolit secara kimia..... | 24 |
| 3.2.2 Preparasi katalis Ni-Cr/Zeolit..... | 24 |
| 3.2.3 Reaksi perengkahan..... | 25 |
| 3.2.3.1 Perengkahan termal..... | 25 |
| 3.2.3.2 Perengkahan katalitik..... | 25 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| 3.3 | Bagan Kerja..... | 26 |
| 3.3.1 | Aktivasi zeolit..... | 26 |
| 3.3.2 | Preparasi katalis Ni-Cr/Zeolit..... | 26 |
| 3.3.3 | Perengkahan termal | 27 |
| 3.3.4 | Perengkahan katalitik..... | 27 |
| BAB 4 | PEMBAHASAN..... | 29 |
| 4.1 | Preparasi katalis..... | 29 |
| 4.1.1 | Aktivasi zeolit secara fisika..... | 29 |
| 4.1.2 | Aktivasi zeolit secara kimia | 29 |
| 4.1.3 | Karakterisasi dengan XRD | 30 |
| 4.1.4 | Karakterisasi dengan BET | 32 |
| 4.1.5 | Karakterisasi dengan AAS..... | 33 |
| 4.1.6 | Karakterisasi dengan metode adsorpsi amonia..... | 33 |
| 4.2 | Preparasi katalis Ni-Cr/Zeolit dan karakterisasi..... | 34 |
| 4.2.1 | Preparasi katalis Ni-Cr/Zeolit..... | 34 |
| 4.2.2 | Karakterisasi dengan XRD..... | 35 |
| 4.2.3 | Karakterisasi dengan AAS | 36 |
| 4.2.4 | Karakterisasi dengan BET..... | 38 |
| 4.2.5 | Karakterisasi dengan metode adsorpsi amonia..... | 40 |
| 4.3 | Reaksi perengkahan..... | 41 |
| 4.3.1 | Perengkahan termal..... | 42 |
| 4.3.2 | Perengkahan katalitik | 44 |
| 4.3.2.1 | Pengaruh impregnasi logam pada ZAA..... | 44 |
| 4.3.2.2 | Pengaruh suhu dan konsentrasi logam Cr..... | 46 |
| 5. | KESIMPULAN DAN SARAN..... | 48 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 48 |
| 5.2 | Saran..... | 48 |
| | DAFTAR PUSTAKA..... | 49 |
| | LAMPIRAN..... | 53 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Diagram hubungan energi aktivasi dengan rreaksi menggunakan katalis..... | 5 |
| Gambar 2.2 Struktur 3 dimensi zeolit | 7 |
| Gambar 2.3 Posisi kation pada zeolit..... | 8 |
| Gambar 2.4 Mekanisme dealuminasi dengan asam..... | 10 |
| Gambar 2.5 Mekanisme dealuminasi dengan uap air (hidrotermal)..... | 10 |
| Gambar 2.6 Dekomposisi termal kation NH_4^+ | 11 |
| Gambar 2.7 Pembentukan sisi asam Lewis..... | 12 |
| Gambar 2.8 Reaksi polimerisasi propilena menjadi polipropilena (PP)..... | 14 |
| Gambar 2.9 Ikatan tetrahedral C-C dengan sudut $109,5^\circ$ | 14 |
| Gambar 2.10 Struktur polipropilena | 15 |
| Gambar 2.11 Mekanisme perengkahan termal polipropilena..... | 16 |
| Gambar 2.12 Mekanisme perengkahan katalitik polipropilena pada zeolit..... | 17 |
| Gambar 2.13 Difraksi sinar-X..... | 18 |
| Gambar 3.1 Reaktor rengkah sederhana dengan system <i>flow fixed bed</i> | 28 |
| Gambar 4.1 Perbandingan difraktogram ZA dan ZA..... | 31 |
| Gambar 4.2 Perbandingan difraktogram ZAA dan katalis..... | 35 |
| Gambar 4.3 Kandungan logam Ni dan Cr dalam katalis A, B, dan C..... | 37 |
| Gambar 4.4 Kandungan total logam (Ni+Cr) dalam katalis A, B, dan C..... | 38 |
| Gambar 4.5 Hasil analisa BET katalis A, B, dan C..... | 39 |
| Gambar 4.6 Keasaman total ZAA dan katalis A, B, dan C..... | 40 |
| Gambar 4.7 Kromatogram bensin (premium)..... | 41 |
| Gambar 4.8 Kromatogram perengkahan termal | 43 |
| Gambar 4.9 Perbandingan hasil konversi termal dan katalitik..... | 45 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabel 4.1 | Posisi puncak khas mordenit pada ZA dan ZAA..... | 31 |
| Tabel 4.2 | Perbandingan intensitas ZA dan ZAA..... | 32 |
| Tabel 4.3 | Analisis BET ZA dan ZAA..... | 32 |
| Tabel 4.4 | Analisis rasio Si/Al ZA dan ZAA..... | 33 |
| Tabel 4.5 | Analisis keasaman total ZA dan ZAA..... | 34 |
| Tabel 4.6 | Efisiensi impregnasi logam Ni dan Cr..... | 37 |
| Tabel 4.7 | Kandungan hidrokarbon bensin (premium)..... | 42 |
| Tabel 4.8 | Hasil analisa perengkahan termal pada fraksi bensin..... | 43 |
| Tabel 4.9 | Hasil analisa produk perengkahan katalitik katalis A, B, dan C... | 47 |



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perengkahan hidrokarbon (*cracking*) adalah salah satu solusi dalam mendaur ulang limbah plastik menjadi bahan bakar. Reaksi ini dapat dilakukan dengan menggunakan suhu tinggi (perengkahan termal) maupun melibatkan katalis (perengkahan katalitik). Katalis yang dibutuhkan dalam perengkahan hidrokarbon merupakan katalis yang bersifat asam. Situs asam ini mengkatalisis reaksi rengkah dengan pembentukan intermediet ion karbonium (Gates *et.al*, 1979).

Zeolit merupakan katalis rengkah yang banyak digunakan terkait sifat asam pada permukaan padatannya. Selain berfungsi sebagai katalis, zeolit pun dapat berperan sebagai pengemban katalis karena struktur 3 dimensinya yang berongga. Dalam penelitian ini zeolit yang digunakan merupakan zeolit alam yang pada dasarnya mengandung banyak pengotor (*impurities*). Hal ini menyebabkan pori-pori atau situs aktif dari zeolit tertutup sehingga dapat menurunkan kapasitas adsorpsi maupun sifat katalisis dari zeolit.

Dalam rangka meningkatkan aktivitas katalitik zeolit alam pada reaksi perengkahan, maka perlu dilakukan tahap aktivasi, baik secara fisika maupun kimia. Kestabilan zeolit sebagai katalis dan pengemban katalis perengkahan dapat ditingkatkan dengan menaikkan rasio Si/Al (perbandingan jumlah atom Si terhadap atom Al di dalam kerangka zeolit) melalui proses dealuminasi. Kenaikan rasio Si/Al akan meningkatkan stabilitas termal pada kristal zeolit dan kestabilannya pada kondisi asam. Selain itu, zeolit dengan kadar Al rendah sifatnya cenderung hidrofobik dan dapat lebih mudah bereaksi dengan senyawa organik atau hidrokarbon (Gates, 1992).

Zeolit sebagai katalis rengkah banyak dimodifikasi dengan logam transisi yang biasanya digunakan untuk meningkatkan stabilitas termal

dan modifikasi keasaman zeolit yang berpengaruh pada aktivitas, selektifitas, dan laju pembentukan gas dan kokas (Cornet dan Chambellan, 1985).

Jiangyin *et.al* (2006) meneliti penggunaan katalis Cr/HZSM-5 untuk reaksi perengkahan pada isobutana. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa konsentrasi Cr (0,004-0,038 mmol/gr) yang digunakan pada modifikasi zeolit meningkatkan aktivitas perengkahan dan juga selektifitasnya pada pembentukan olefin, terutama senyawa etilena. Keberadaan logam Cr mengubah keasaman pada katalis HZSM-5 dengan menghasilkan jumlah dan kekuatan asam yang sesuai untuk reaksi perengkahan isobutana dan berperan dalam reaksi dehidrogenasi yang menyebabkan terbentuknya isobutena yang lebih mudah direngkahkan menjadi senyawa olefin lain yang lebih ringan.

Penelitian lain dengan katalis rengkah berbasis zeolit alam yang dimodifikasi dengan logam transisi juga telah banyak dilakukan, antara lain konversi minyak jelantah menjadi bahan bakar cair yang telah dilakukan Handoko (2005) dengan logam Ni. Hasil konversi maksimal sebesar 50,43%. Sedangkan Kadarwati, Susatyo, dan Ekowati (2010) menggunakan logam Cr dengan hasil konversi maksimal sebesar 75,22%. Kedua peneliti tersebut melakukan uji aktifitas dengan melibatkan aliran gas hydrogen (*hydrocracking*) pada reaktor rengkah sistem *flow fixed bed*.

Eka (2011) melakukan perengkahan sampah plastik jenis polipropilena (PP) dengan mengimpregnasikan logam Ni pada zeolit alam PT. Brataco Chemika dengan variasi konsentrasi 4%, 6%, dan 8%. Perengkahan dilakukan dengan reaktor sederhana sistem *fixed bed* menggunakan gas nitrogen yang berfungsi sebagai gas pembawa uap polimer. Hasil konversi terbesar pada temperatur reaksi perengkahan 400°C sebesar 14,84% dengan katalis Ni 6% (4,76%) dan pada temperatur 450°C sebesar 11% dengan katalis Ni 4% (3,33%). Hasil konversi pada fraksi bensin masih cukup kecil dan produk perengkahan yang berupa cairan pada temperatur ruangan akan cenderung memadat.

Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas katalis masih rendah dan cepat terdeaktivasi sehingga produk yang diinginkan jumlahnya masih relatif rendah. Perbedaan hasil beberapa penelitian diatas sangat ditentukan dari kondisi preparasi katalis dan kondisi reaksi perengkahan.

Berdasarkan hasil penelitian diatas, maka pada penelitian ini pun akan dilakukan reaksi perengkahan katalitik dengan menggunakan logam transisi Ni dan Cr yang akan diimpregnasi secara bersamaan (koimpregnasi) pada zeolit alam. Metode preparasi katalis dilakukan seperti yang dilakukan Eka (2011). Pengembangan dilakukan dengan mengimpregnasikan logam Ni yang konsentrasinya dibuat tetap, yaitu 4%, sedangkan logam Cr konsentrasinya divariasikan, yaitu 4%, 6%, dan 8%. Kondisi reaksi perengkahan katalitik yang digunakan adalah pada temperatur 400 dan 450°C dengan menggunakan aliran gas N₂ sebagai gas pembawa. Uji aktifitas katalis dilakukan terhadap sampah plastik jenis polipropilen (PP) yang digunakan sebagai wadah air mineral.

Pada penelitian ini konversi (% yield) diharapkan memiliki distribusi rantai karbon pada fraksi bensin dengan hasil yang lebih baik dari penelitian Eka (2011). Hasil konversi pada perengkahan secara termal maupun dengan katalis akan dibandingkan dengan fraksi bensin (premium) komersil.

1.2 Perumusan Masalah

1. Apakah impregnasi logam Ni (konsentrasi tetap) dan Cr (konsentrasi bervariasi) pada zeolit alam aktif dapat mempengaruhi hasil konversi limbah plastik menjadi fraksi bensin?
2. Apakah suhu dapat mempengaruhi hasil konversi limbah plastik menjadi fraksi bensin dengan menggunakan katalis Ni-Cr/Zeolit?

1.3 Hipotesa

Impregnasi zeolit dengan Ni (konsentrasi tetap) dan Cr (konsentrasi bervariasi) dapat mempengaruhi hasil konversi limbah plastik polipropilena (PP) menjadi fraksi bensin. Suhu pada perengkahan katalitik dapat mempengaruhi hasil konversi limbah plastik polipropilena (PP) menjadi fraksi bensin.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mempreparasi katalis rengkah yang diimpregnasi logam Ni dan Cr pada zeolit alam teraktivasi.
2. Mengkarakterisasi katalis yang dihasilkan dengan XRD untuk melihat kristalinitas zeolit, AAS untuk menentukan kadar logam yang teremban pada zeolit alam, BET untuk menentukan luas permukaan, volume pori, dan rata-rata diameter pori, serta metode adsorpsi amonia untuk menentukan jumlah keasaman katalis.
3. Menguji aktifitas katalis terhadap konversi limbah plastik jenis polipropilen (PP) menjadi fraksi bensin dengan variasi suhu dan variasi konsentrasi Cr (konsentrasi Ni tetap).

1.5 Manfaat Penelitian

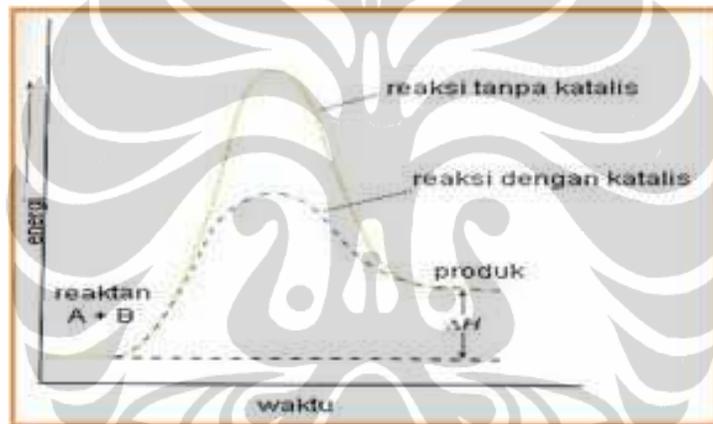
Mengingat dampak negatif sampah plastik, maka perlu perhatian yang serius untuk mengatasinya. Oleh sebab itu, pengurangan sampah plastik melalui perengkahan katalitik diharapkan dapat dilakukan dengan menggunakan katalis hasil modifikasi pada penelitian ini dan dapat memberikan alternatif penyediaan bahan bakar dalam skala industri.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Katalis

Katalis adalah suatu zat yang dapat meningkatkan laju reaksi dan setelah reaksi selesai, terbentuk kembali dalam kondisi tetap. Katalis ikut terlibat dalam reaksi memberikan mekanisme baru dengan energi pengaktifan yang lebih rendah dibanding reaksi tanpa katalis (Etna Rufiati, 2011).



Gambar 2.1 Diagram hubungan energi aktivasi dengan reaksi menggunakan katalis

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa keberadaan katalis tidak merubah entalpi produk yang merupakan faktor termodinamika reaksi. Puncak pada diagram tersebut menunjukkan besarnya energi aktivasi (E_a) atau besarnya energi yang dibutuhkan untuk membentuk produk. Dengan adanya katalis, maka pembentukan produk dimungkinkan menggunakan temperatur yang lebih rendah.

Berdasarkan perbedaan fase antara katalis dan reaktan, katalis dibedakan ke dalam dua golongan, yaitu : katalis homogen dan katalis

heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang memiliki fasa yang sama dengan reaktan, sedangkan katalis heterogen adalah katalis yang ada dalam fase berbeda (Thomas and Thomas, 1967). Persyaratan kunci dalam katalisis heterogen ialah bahwa pereaksi fase gas atau larutan diadsorpsi kepermukaan katalis. Tahapan reaksi pada sistem katalis heterogen, yaitu :

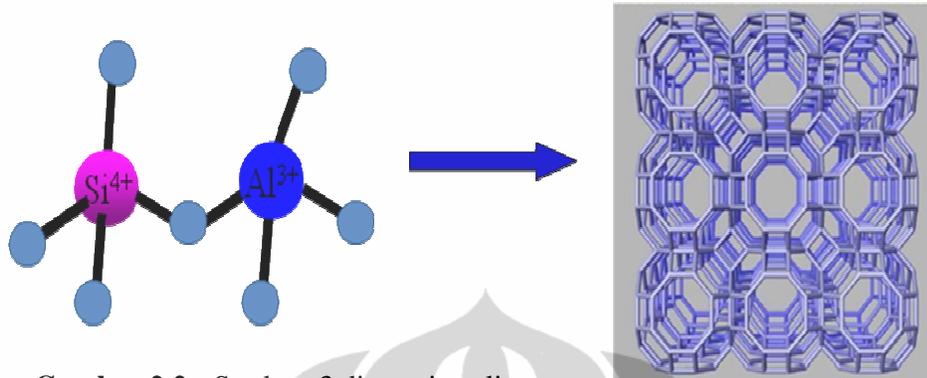
1. Transport reaktan ke permukaan katalis
2. Interaksi reaktan dengan katalis, dimana terjadi pelemahan ikatan dari molekul yang teradsorb
3. Reaksi molekul reaktan yang teradsorpsi dengan membentuk senyawa intermediet dan menghasilkan produk
4. Desorpsi produk dari permukaan katalis
5. Transport produk menjauhi katalis

Katalis dapat dinilai baik-buruknya berdasarkan pada beberapa parameter sebagai berikut:

- Aktivitas, yaitu kemampuan katalis untuk mengkonversi reaktan menjadi produk yang diinginkan.
- Selektivitas, yaitu kemampuan katalis mempercepat salah satu reaksi diantara beberapa reaksi yang terjadi sehingga produk yang diinginkan dapat diperoleh dengan produk sampingan seminimal mungkin.
- Kestabilan, yaitu lamanya katalis memiliki aktivitas dan selektivitas seperti pada keadaan semula.
- Hasil (*yield*), yaitu jumlah produk tertentu yang terbentuk untuk setiap satuan reaktan yang dikonsumsi.
- Kemudahan diregenerasi, yaitu proses mengembalikan aktivitas dan selektivitas katalis seperti semula.

2.2 Zeolit

Zeolit merupakan mineral alumina silikat terhidrat yang tersusun atas tetrahedral-tetrahedral alumina (AlO_4^{5-}) dan silika (SiO_4^{4-}) yang membentuk struktur bermuatan negatif dan berongga terbuka/berpori.



Gambar 2.2 Struktur 3 dimensi zeolit

Muatan negatif pada kerangka zeolit dinetralkan oleh kation yang terikat lemah sehingga dapat ditukar dengan kation lain (*exchangeable cation*). Selain kation, rongga zeolit juga terisi oleh molekul air yang berkoordinasi dengan kation. Rumus umum zeolit :

$M_{x/n}[(AlO_2)_x(SiO_2)_y].mH_2O$, dimana M adalah kation bervalensi n, $(AlO_2)_x(SiO_2)_y$ adalah kerangka zeolit yang bermuatan negatif, dan H_2O adalah molekul air yang terhidrat dalam kerangka zeolit.

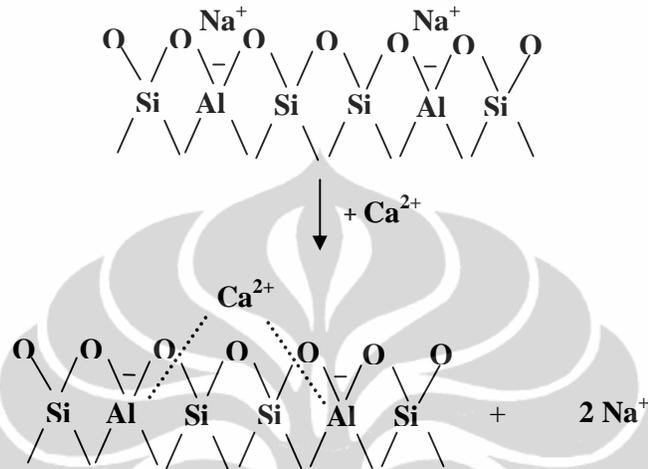
Zeolit pada umumnya dapat dibedakan menjadi dua, yaitu zeolit alam dan zeolit sintetik. Zeolit alam biasanya mengandung kation-kation K^+ , Na^+ , Ca^{2+} atau Mg^{2+} sedangkan zeolit sintetik biasanya hanya mengandung kation-kation K^+ atau Na^+ .

Keberadaan dan posisi kation pada zeolit sangat penting karena secara signifikan akan mempengaruhi ukuran molekul yang dapat teradsorpsi. Lingkaran silang dari cincin dan terowongan pada strukturnya dapat diubah dengan mengubah ukuran atau muatan kation. Sebagai contoh : dua logam Na bermuatan 1+ dapat digantikan dengan satu kation Ca bermuatan 2+. Hal ini akan berpengaruh pada ukuran rongga zeolit yang semakin sempit karena Ca memiliki ukuran yang lebih besar dari Na.

Pengubahan pada pengisian kationik juga akan mengubah distribusi muatan di dalam rongga yang akan mempengaruhi sifat adsorptif dan aktivitas katalitik dari zeolit tersebut (Hamdan, 1992). Dengan alasan

Universitas Indonesia

ini maka sangat penting untuk mengatur posisi kation di dalam kerangka dan banyak penelitian telah dilakukan untuk maksud tersebut. Berikut ini adalah contoh posisi kation Na^+ yang digantikan oleh kation Ca^{2+} (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Posisi kation (*exchangeable cation*) pada zeolit

(Sumber “telah diolah kembali” : Gates,1992, hal. 270)

Zeolit merupakan katalis yang sangat berguna yang menunjukkan beberapa sifat penting yang tidak ditemukan pada katalis amorf tradisional. Katalis amorf hampir selalu dibuat dalam bentuk serbuk untuk memberikan luas permukaan yang besar sehingga jumlah sisi katalitik semakin besar.

Keberadaan rongga pada zeolit memberikan luas permukaan internal yang sangat luas sehingga dapat menampung 100 kali molekul lebih banyak daripada katalis amorf dengan jumlah yang sama. (Breck, 1974). Zeolit merupakan kristal yang mudah dibuat dalam jumlah besar mengingat zeolit tidak menunjukkan aktivitas katalitik yang bervariasi seperti pada katalis amorf.

Sifat penyaring molekul dari zeolit dapat mengontrol molekul yang masuk atau keluar dari situs aktif. Karena adanya pengontrolan seperti ini maka zeolit disebut sebagai katalis selektif bentuk. Zeolit mempunyai tiga tipe katalis selektif bentuk, yaitu : (Hamdan,1992)

Universitas Indonesia

4.1 Katalis selektif reaktan

Dimana hanya molekul (reaktan) dengan ukuran tertentu yang dapat masuk ke dalam pori dan akan bereaksi di dalam pori.

4.2 Katalis selektif produk

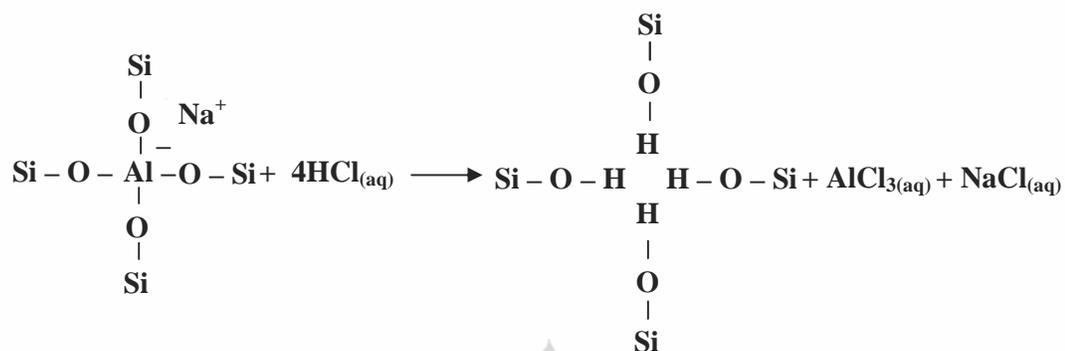
Hanya produk yang berukuran tertentu yang dapat meninggalkan situs aktif dan berdifusi melewati saluran (*channel*) dan keluar sebagai produk.

4.3 Katalis selektif keadaan transisi

Reaksi yang terjadi melibatkan keadaan transisi dengan dimensi yang terbatas oleh ukuran pori.

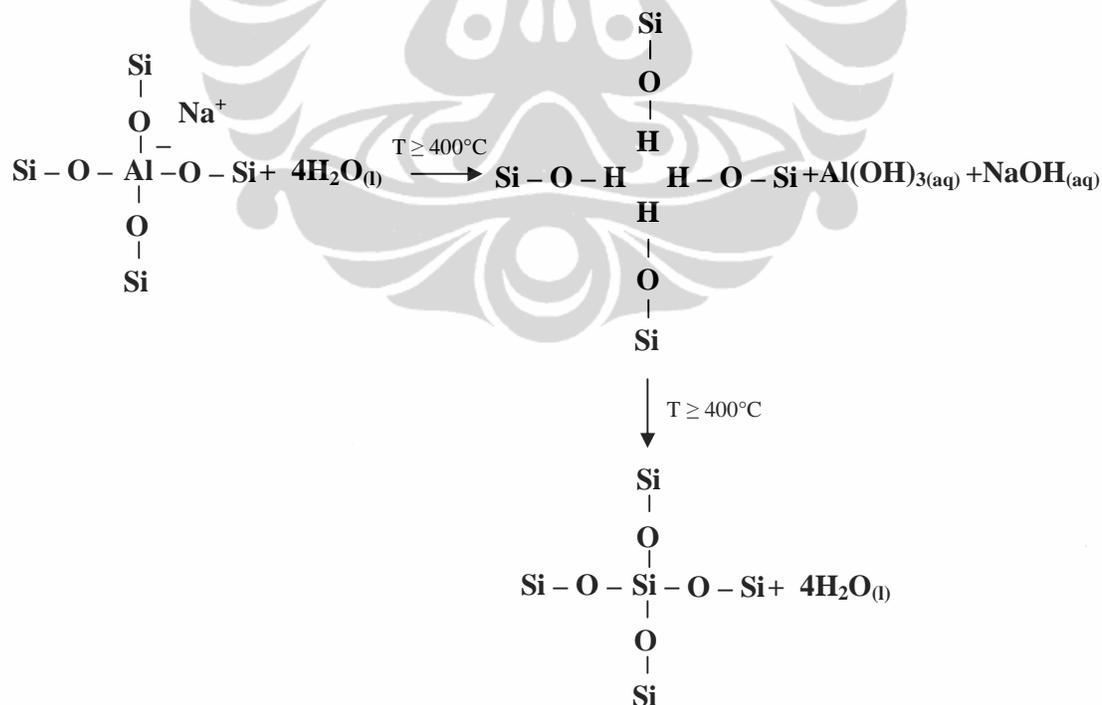
Pada zeolit alam, adanya molekul air dalam pori dan oksida bebas di permukaan seperti Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O dapat menutupi pori-pori atau situs aktif dari zeolit sehingga dapat menurunkan kapasitas adsorpsi maupun sifat katalisis dari zeolit tersebut. Inilah alasan mengapa zeolit alam perlu diaktivasi terlebih dahulu sebelum digunakan.

Aktivasi zeolit alam dapat dilakukan secara fisika maupun kimia. Secara fisika, aktivasi dapat dilakukan dengan pemanasan pada suhu 300-400 °C dengan udara panas atau dengan sistem vakum untuk melepaskan molekul air. Sedangkan aktivasi secara kimia dilakukan melalui pencucian zeolit dengan larutan Na_2EDTA atau asam-asam anorganik seperti HF, HCl dan H_2SO_4 untuk menghilangkan oksida-oksida pengotor yang menutupi permukaan pori. Selain menghilangkan pengotor oksida, menurut Hamdan (1992) aktivasi ini merupakan kategori modifikasi zeolit alam yang dapat menaikkan rasio Si/Al dengan mengurangi kadar Al pada kerangka zeolit yang disebut dealuminasi. Berikut persamaan reaksinya (Gambar 2.4) :



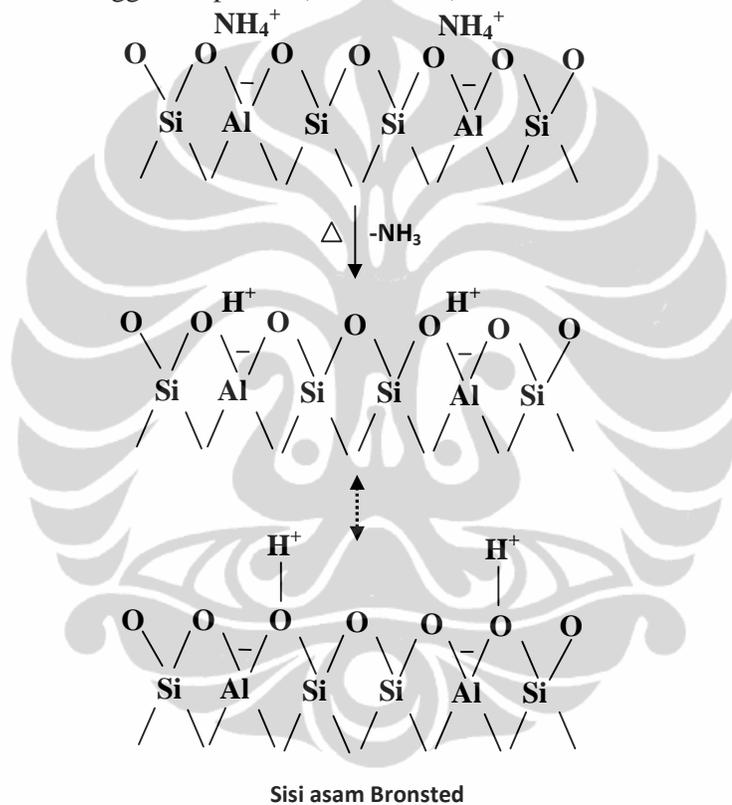
Gambar 2.4 Mekanisme dealuminasi dengan asam

Selain dengan perlakuan asam, dealuminasi juga dapat terjadi dengan adanya perlakuan hidrotermal (Gambar 2.5). Pada suhu tinggi ($\geq 400^\circ\text{C}$) akan terjadi stabilisasi struktur setelah dealuminasi Berikut ini adalah mekanisme reaksinya.



Gambar 2.5 Mekanisme dealuminasi dengan uap air (hidrotermal)

Aktivitas katalitik dari zeolit dihubungkan dengan keberadaan situs asam yang muncul dari unit tetrahedral $[\text{AlO}_4^-]$ pada kerangka. Situs asam ini bisa berkarakter asam Bronsted maupun asam Lewis. Zeolit alam yang telah di dealuminasi dengan asam akan memberikan permukaan gugus hidroksil yang merupakan sisi asam Bronsted. Jika zeolit tidak stabil pada larutan asam, situs Bronsted dapat dibuat dengan mengubah zeolit menjadi garam NH_4^+ kemudian memanaskannya sehingga terjadi penguapan NH_3 dengan meninggalkan proton (Gambar 2.6).

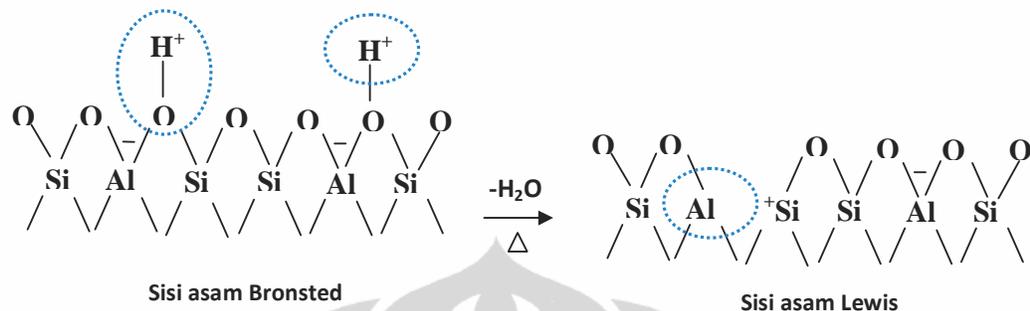


Gambar 2.6 Dekomposisi termal kation NH_4^+ pada zeolit

(Sumber “telah diolah kembali” : Breck, 1974, hal. 474)

Pemanasan yang berlebihan akan menyebabkan rusaknya struktur kristal (Trisunaryanti, 2002) dimana hal tersebut menyebabkan keluarnya air dari situs Bronsted (Gambar 2.7) menghasilkan ion Al terkoordinasi 3

yang mempunyai sifat akseptor pasangan elektron sebagai asam Lewis (Gates, 1992).



Gambar 2.7 Pembentukan sisi asam Lewis

(Sumber “telah diolah kembali” : Gates, 1992, hal. 272)

Permukaan zeolit dapat menunjukkan sisi asam Bronsted, sisi asam Lewis ataupun keduanya tergantung bagaimana zeolit tersebut dipreparasi.

2.3 Logam transisi : Nikel dan Kromium

Istilah logam transisi biasanya digunakan untuk penyebutan logam yang berada pada unsur-unsur blok d, sedangkan untuk unsur-unsur pada blok f disebut logam transisi dalam. Unsur transisi periode keempat umumnya memiliki elektron valensi pada subkulit 3d yang belum terisi penuh (kecuali unsur Seng (Zn) pada Golongan IIB). Hal ini menyebabkan unsur transisi periode keempat memiliki beberapa sifat khas yang tidak dimiliki oleh unsur-unsur golongan utama, seperti sifat magnetik, warna ion, aktivitas katalitik, serta kemampuan membentuk senyawa kompleks. Sebagian besar unsur transisi periode keempat mudah teroksidasi (memiliki E°_{red} negatif), kecuali unsur tembaga yang cenderung mudah tereduksi (memiliki E°_{red} positif).

Logam nikel adalah unsur kimia metalik dalam tabel periodik yang memiliki simbol Ni dengan nomor atom 28 dan memiliki konfigurasi elektron $[Ar] 3d^8 4s^2$. Nikel memiliki Kromium adalah unsur kimia lambang Cr dengan nomor atom 24 dan memiliki konfigurasi elektron $[Ar]$

$3d^54s^1$. Dalam keadaan sebagai logam murni maupun bentuk teroksidasi, logam Ni dan Cr dapat memiliki aktivitas katalitik.

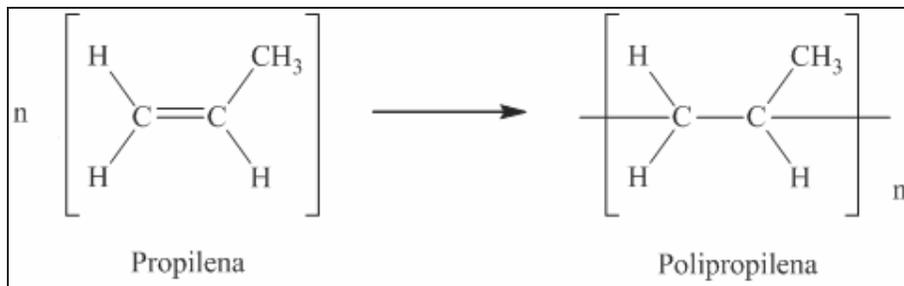
Kemampuan katalitik logam nikel dan kromium ini dipengaruhi keberadaan elektron pada orbital d yang berbaur dengan keadaan elektronik orbital s dan p terdekat yang terdegenerasi. Akibatnya akan timbul keadaan elektronik berenergi rendah dalam jumlah besar dan adanya orbital kosong yang dapat dimanfaatkan sebagai situs katalitik logam.

Dalam reaksi katalitik, permukaan logam Ni dan Cr (dalam bentuk logam murni maupun oksidanya) dapat membentuk dan memutuskan ikatan rangkap atau mengatomkan molekul diatomik seperti H_2 . Dalam mekanisme reaksi perengkahan hidrokarbon, logam cenderung berperan dalam proses dehidrogenasi dan dapat membantu meningkatkan hasil perengkahan karena mekanisme dehidrogenasi memungkinkan terjadinya pemutusan pada ikatan C-C.

2.4 Polipropilena (PP)

Polipropilena atau polipropena (PP) adalah sebuah polimer termoplastik yang dibuat oleh industri kimia dan digunakan dalam berbagai aplikasi, diantaranya pengemasan, tekstil (contohnya tali, pakaian dalam termal, dan karpet), alat tulis, berbagai tipe wadah terpakai ulang serta bagian plastik, perlengkapan laboratorium, pengeras suara, komponen otomotif, dan uang kertas polimer.

Secara industri, polimerisasi polipropilena dilakukan dengan menggunakan katalis koordinasi. Proses polimerisasi ini akan dapat menghasilkan suatu rantai linear yang berbentuk $-A-A-A-A-A-$, dengan A merupakan propilena. Reaksi polimerisasi dari propilena secara umum dapat dilihat pada gambar berikut :

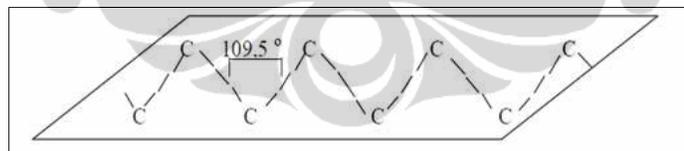


Gambar 2.8 Reaksi polimerisasi propilena menjadi polipropilena (PP)

(Sumber : <http://ahmadhafizullahritonga.blog.usu.ac.id/2011/02/16/polipropilena/>)

Kristalinitas merupakan sifat penting yang terdapat pada polimer. Kristalinitas merupakan ikatan antara rantai molekul sehingga menghasilkan susunan molekul yang lebih teratur. Pada polimer polipropilena, rantai polimer yang terbentuk dapat tersusun membentuk daerah kristalin (molekul tersusun teratur) dan bagian lain membentuk daerah amorf (molekul tersusun secara tidak teratur).

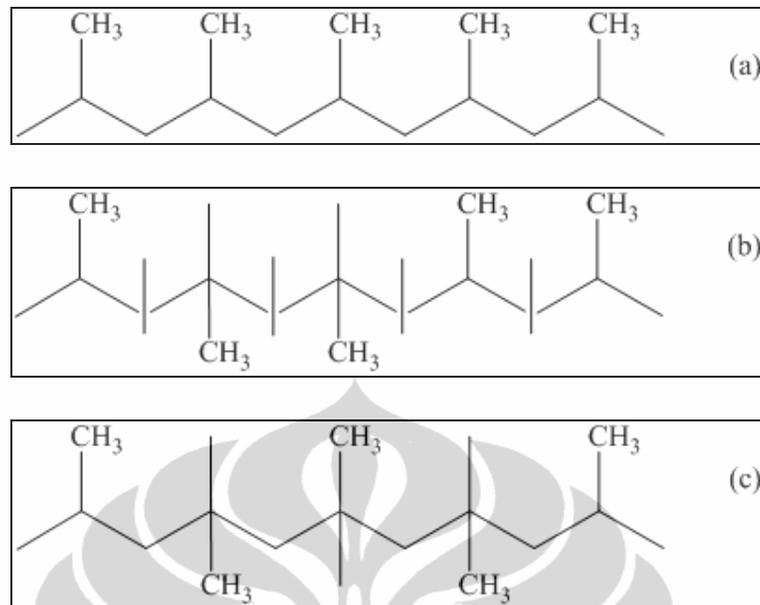
Dalam struktur polimer atom-atom karbon terikat secara tetrahedral dengan sudut antara ikatan C-C $109,5^\circ$ dan membentuk rantai zigzag planar sebagai berikut :



Gambar 2.9 Ikatan tetrahedral C-C dengan sudut $109,5^\circ$

(Sumber : <http://ahmadhafizullahritonga.blog.usu.ac.id/2011/02/16/polipropilena/>)

Untuk polipropilena struktur zigzag planar dapat terjadi dalam tiga cara yang berbeda-beda tergantung pada posisi relatif gugus metil satu sama lain di dalam rantai polimernya. Ini menghasilkan struktur isotaktik, ataktik dan sindiotaktik. (Gambar 2.10)



Gambar 2.10 Struktur polipropilena a) isotaktik b) ataktik c) sindiotaktik

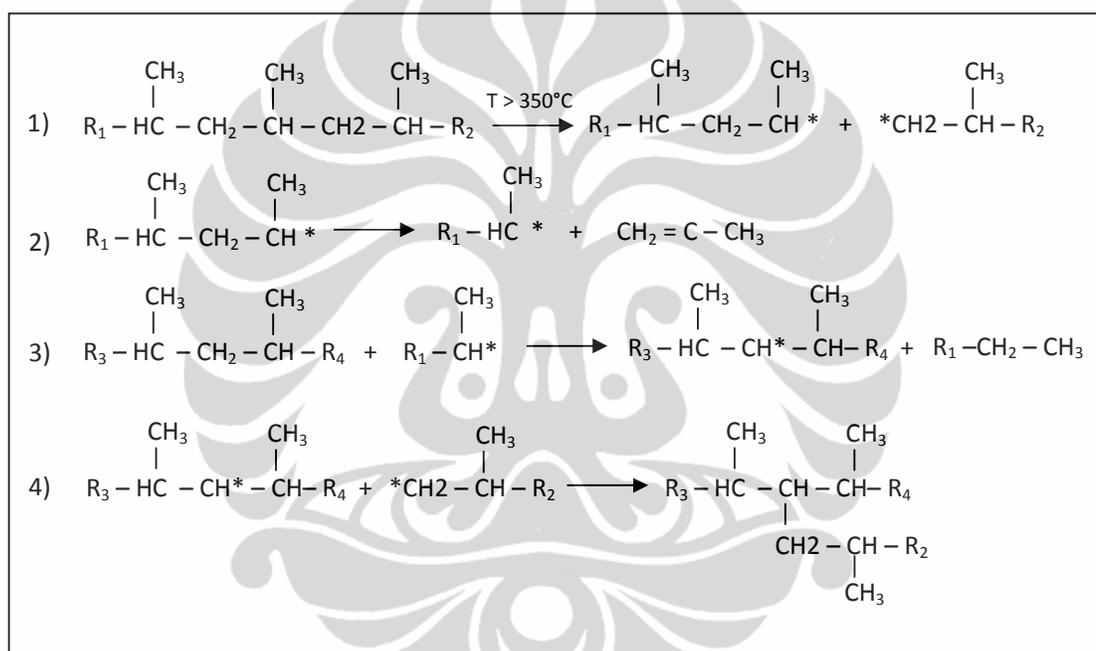
(Sumber : <http://ahmadhafizullahritonga.blog.usu.ac.id/2011/02/16/polipropilena/>)

Ketiga struktur polipropilena tersebut pada dasarnya secara kimia berbeda satu sama lain. Polipropilena ataktik tidak dapat berubah menjadi polipropilena sindiotaktik atau menjadi struktur lainnya tanpa memutuskan dan menyusun kembali beberapa ikatan kimia. Struktur yang lebih teratur memiliki kecenderungan yang lebih besar untuk berkristalisasi daripada struktur yang tidak teratur. Jadi, struktur isotaktik dan sindiotaktik lebih cenderung membentuk daerah kristalin dari pada ataktik. Kebanyakan polipropilena komersial merupakan isotaktik dan memiliki kristalinitas tingkat menengah. Mekanisme pemecahan rantai polipropilena terjadi secara acak (Buekens and Huang, 1998).

2.5 Perengkahan (*cracking*)

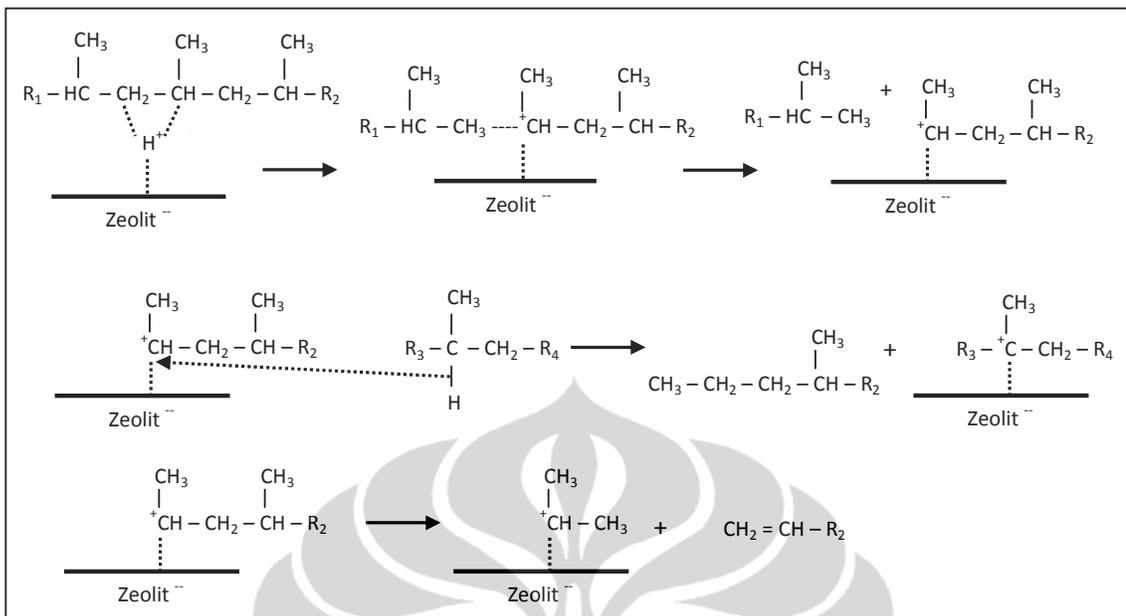
Reaksi perengkahan adalah reaksi pemutusan ikatan C-C dari rantai karbon panjang dan berat molekul besar menjadi hidrokarbon dengan rantai karbon pendek dan berat molekul kecil. Dua macam kondisi perengkahan, yaitu, perengkahan termal dan perengkahan katalitik.

Perengkahan termal menggunakan temperatur tinggi sehingga menghasilkan fragmen-fragmen radikal bebas yang cenderung akan mengalami oligomerisasi (Wigiyatmo, 1995), sedangkan perengkahan katalitik menggunakan katalis asam akan membentuk senyawa intermediet berupa ion karbonium dan pemutusan terjadi pada posisi beta dari ion karbonium tersebut (Gates, 1979). Berikut ini adalah contoh reaksi perengkahan pada polipropilena secara termal (Gambar 2.11) dan katalitik dengan menggunakan zeolit (Gambar 2.12) :



Gambar 2.11 Mekanisme perengkahan termal polipropilena

Pada dasarnya perengkahan polimer rantai jenuh sulit terjadi. Namun, dengan penggunaan temperatur tinggi, hal tersebut dapat terjadi. Mekanisme termal menunjukkan terbentuknya radikal pada (tahap 1), lalu terjadi pemotongan pada posisi beta membentuk olefin (alkena) dan radikal baru (tahap 2). Selanjutnya, radikal yang dihasilkan pada tahap 2 menyerang polimer lain dan membentuk parafin (alkana) dan radikal yang baru (tahap 3). Pada akhirnya, radikal akan saling bertemu mengalami polimerisasi kembali membentuk oligomer (tahap 4). Hasil utama pada perengkahan termal berupa senyawa olefin.



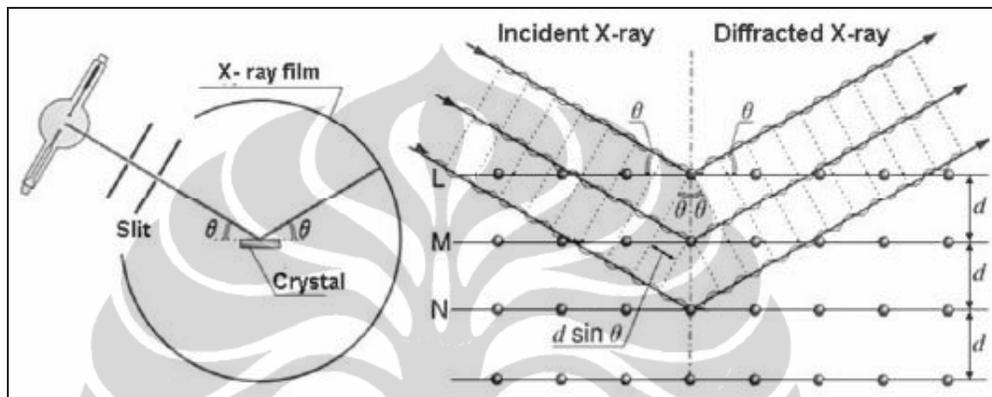
Gambar 2.12 Mekanisme perengkahan katalitik polipropilena dengan zeolit

Gambar 2.12 menunjukkan kemungkinan mekanisme perengkahan katalitik pada polipropilena. Polimer dengan ikatan jenuh (rantai tunggal) akan lebih mudah diprotonasi dengan sisi asam katalis untuk membentuk ion karbonium bila didukung dengan temperatur tinggi. Sehingga keberadaan katalis akan membantu meningkatkan hasil konversi per satuan waktu dibandingkan tanpa katalis. Mekanisme perengkahan melalui ion karbonium akan menghasilkan berbagai macam produk karena intermediet karbonium mengalami berbagai reaksi samping seperti isomerisasi, siklisasi, dan aromatisasi. Produk utama dalam reaksi perengkahan katalitik adalah senyawa paraffin dengan rantai kecil (C1-C4) dan senyawa aromatik. Bila pembentukan senyawa hidrokarbon tak jenuh dengan berat molekular besar (seperti poliaromatik) meningkat, maka laju pembentukan kokas menjadi lebih cepat. Kokes merupakan racun pada katalis, dimana keberadaannya disebabkan karena terbentuknya ikatan yang cukup kuat pada permukaan katalis sehingga mengurangi sisi aktif katalis.

2.6 Karakterisasi Katalis

2.6.1 Metode XRD (X-Ray Diffraction)

Difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Hamburan monokromatis sinar-X dalam fasa tersebut memberikan interferensi yang konstruktif.



Gambar 2.13 Difraksi sinar- X

(Sumber : <http://www.chemistry.org/materi kimia/kimia kuantum/teori kuantum dan persamaan gelombang/partikel -dan-sifat-gelombang/>)

Prinsip dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg:

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta$$

$n = 1, 2, 3, \dots$

Dengan λ adalah panjang gelombang sinar-X yang digunakan, d adalah jarak antara dua bidang kisi, θ adalah sudut antara sinar datang dengan bidang normal, dan n adalah bilangan bulat yang disebut sebagai orde pembiasan.

Berdasarkan persamaan Bragg, jika seberkas sinar-X di jatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam

kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Makin banyak bidang kristal yang terdapat dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Tiap puncak yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu dalam sumbu tiga dimensi. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X untuk hampir semua jenis material. Standar ini disebut JCPDS .

Metode difraksi sinar X digunakan untuk mengetahui struktur dari lapisan tipis yang terbentuk. Sampel diletakkan pada sampel holder difraktometer sinar X. Proses difraksi sinar X dimulai dengan menyalakan difraktometer sehingga diperoleh hasil difraksi berupa difraktogram yang menyatakan hubungan antara sudut difraksi 2θ dengan intensitas sinar X yang dipantulkan. Untuk difraktometer sinar X, sinar X terpancar dari tabung sinar X. Sinar X didifraksikan dari sampel yang konvergen yang diterima slit dalam posisi simetris dengan respon ke fokus sinar X. Sinar X ini ditangkap oleh detektor sintilator dan diubah menjadi sinyal listrik. Sinyal tersebut, setelah dieliminasi komponen noisenya, dihitung sebagai analisa pulsa tinggi. Teknik difraksi sinar x juga digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia dan keadaan lain yang memiliki orde yang sama.

2.6.2 Metode AAS (*Absorption Atomic Spectrophotometer*)

Metode AAS berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada sifat unsurnya. Prinsip dari alat ini adalah berdasarkan pada hukum Lambert-Beer, yaitu hukum berdasarkan penyerapan cahaya, dimana bila suatu sinar monokromatis di tembakkan pada melalui suatu media, maka sebagian cahaya akan dipantulkan, sebagian diserap, dan sebagian lagi akan diteruskan. Besarnya cahaya yang diserap oleh media akan tergantung pada kepekatan, jenis media, dan panjang media yang dilalui oleh sinar. Sinar yang diteruskan diketahui intensitasnya, sehingga

sinar yang diserap dapat diketahui intensitasnya. Hasil pengukuran biasanya dibaca dalam bentuk absorbansi atau persen transmittan yang dilakukan oleh detektor. Setiap alat AAS terdiri atas tiga komponen yaitu unit teratomisasi, sumber radiasi, sistem pengukur fotometerik.

Sampel yang akan diukur dengan metode ini terlebih dahulu dilarutkan (destruksi) untuk membuat unsur logam menjadi ion logam. Destruksi dapat dilakukan dengan destruksi basah maupun kering. Destruksi basah dilakukan dengan menambahkan asam oksidator pekat seperti H_2SO_4 , HCl , HNO_3 , H_2O_2 , dan bila perlu dibantu dengan pemanasan. Sedangkan destruksi kering dilakukan dengan mengabukan sampel dengan menggunakan furnace ataupun api bunsen, lalu dilarutkan.

Sistem atomisasi dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu sistem atomisasi dengan nyala (*flame*) dan tanpa nyala (*flameless*). Pada sistem atomisasi nyala, molekul diatomkan dengan membakar dalam nyala yang dihasilkan oleh pembakar (burner). Sampel dimasukkan dalam bentuk aerosol. Setelah itu terjadi penyerapan sinar oleh atom, banyaknya sinar yang diserap berbanding lurus dengan kadar zat. Ada beberapa jenis nyala biasa digunakan, yaitu :

Nyala udara asetilen

Biasanya menjadi pilihan untuk analisis menggunakan AAS. Temperatur nyalanya yang lebih rendah mendorong terbentuknya atom netral dan dengan nyala yang kaya bahan bakar pembentukan oksida dari banyak unsur dapat diminimalkan. Temperatur maksimum dengan nyala ini adalah $2300^{\circ}C$.

Nitrous oksida-asetilen

Dianjurkan dipakai untuk penentuan unsur-unsur yang mudah membentuk oksida dan sulit terurai. Hal ini disebabkan temperatur nyala yang dihasilkan relatif tinggi. Unsur-unsur tersebut adalah: Al, B, Mo, Si, Ti, V dan W. Temperatur maksimum pada nyala ini adalah $2955^{\circ}C$.

Atomisasi tanpa nyala dilakukan dengan energi listrik pada batang karbon yang biasanya berbentuk tabung grafit. Sampel diletakkan dalam tabung grafit dan listrik dialirkan melalui tabung tersebut sehingga tabung

dipanaskan dan contohkan teratomisasikan. Temperatur tabung grafit dapat diatur dengan merubah arus listrik yang dialirkan, sehingga kondisi temperatur optimum untuk setiap macam contoh / unsur yang dianalisa dapat dicapai dengan mudah.

2.6.3 Metode BET (metode adsorpsi gas N₂)

Luas permukaan ditentukan berdasarkan adsorpsi gas pada permukaan padatan. Teori yang digunakan adalah berdasarkan teori BET dengan persamaan isothermis sebagai berikut :

$$\frac{P/P_0}{[V(1 - P/P_0)]} = \frac{1}{V_m \cdot C} + \frac{(C - 1) \cdot P/P_0}{C \cdot V_m}$$

P = tekanan adsorbat

P₀ = tekanan uap jenuh adsorbat

V = volume gas yang teradsorpsi

V_m = volume gas yang teradsorpsi membentuk monolayer

Pada P/P₀ = 0, akan diperoleh V_m = 1/I + S, dimana I adalah intersep dan S adalah slope (kemiringan).

Teori BET menyatakan bahwa permukaan padatan tidak akan tertutup secara sempurna selama tekanan uap jenuh belum tercapai. Tetapan C berhubungan dengan panas adsorpsi. Harga V_m dan C dapat dihitung dari slope kurva yang dibuat dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{P/P_0}{[V(1 - P/P_0)]} \text{ vs. } P/P_0$$

Untuk gas nitrogen pada suhu 77 K, teori BET cocok diterapkan pada tekanan relatif (P/P₀) dari 0,05 hingga 0,35 dan harga C dalam kisaran 10-100. Luas permukaan total BET dihitung dari harga V_m menurut persamaan berikut :

$$S_{\text{BET, total}} = [(V_m \cdot N) / V] \times \alpha$$

N = bilangan Avogadro ($6,23 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$)

V = volume molar gas ($22.400 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$)

α = penampang silang adsorpsi (cm^2)

m = massa adsorbat (gr)

$S_{\text{BET, total}}$ = luas permukaan total BET (cm^2)

dimana luas permukaan spesifik BET, $S_{\text{BET}} = S_{\text{BET, total}}/m$ ($\text{cm}^2 \text{ gr}^{-1}$)

2.6.4 Metode adsorpsi amonia

Metode adsorpsi amonia digunakan untuk menentukan jumlah keasaman pada permukaan padatan. Jumlah asam pada permukaan biasanya dinyatakan sebagai banyaknya molekul atau jumlah mol basa yang teradsorpsi dalam satuan berat sampel atau satuan luas permukaan padatan. Jumlah ini diperoleh melalui pengukuran banyaknya basa yang bereaksi dengan asam pada permukaan padatan. Basa yang biasa digunakan adalah quinolin, piridin, piperidin, trimetilamin, n-butyl-amin, pirol, dan amonia. Dalam penelitian ini, basa yang digunakan adalah amonia dengan pertimbangan strukturnya yang cukup kecil sehingga dapat masuk dan berinteraksi dengan situs asam didalam pori-pori zeolit. Pada metode ini, hasil pengukuran merupakan total asam dari situs asam Bronsted dan Lewis.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alu-mortar, ayakan 100 dan 150 mesh, mesin ayakan, labu Erlenmeyer, corong Buchner, batang pengaduk kaca, batang pengaduk plastik, beaker plastik, gelas ukur plastik, gelas beker, corong biasa, pompa vakum, kertas saring, pipet, oven, 1 set alat refluks, labu leher 3, pH-meter, termometer, indikator universal, desikator, kalsinator, reaktor rengkah sederhana.

3.1.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah zeolit alam dari PT. Brataco Chemika, akuabides, HCl 37%, HF 48% (w/w), $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, NH_4Cl 1M, gas Nitrogen, Oksigen, Hidrogen dan Nitrogen cair.

3.2 Prosedur Percobaan

3.2.1 Aktivasi zeolit

3.2.1.1 Aktivasi Zeolit Secara Fisika

Zeolit alam (ZA) digerus dengan menggunakan alu-mortar, lalu disaring dengan mesin ayak hingga diperoleh ukuran 100 mesh. ZA dikarakterisasi dengan XRD, BET, AAS, dan metode adsorpsi amonia. Selanjutnya, ZA yang telah memiliki ukuran seragam tersebut (100 mesh) dicuci dengan akuades, lalu disaring dengan menggunakan corong Buchner. Jika air cucian sudah terlihat cukup jernih, maka ZA tersebut dikeringkan dengan oven pada suhu 120°C selama 24 jam.

3.2.1.2 Aktivasi Zeolit Secara Kimia

ZA yang telah kering direndam dalam larutan HF 1% selama 10 menit, lalu dicuci dengan akuabides hingga pH berkisar 5-6. ZA dicuci dengan HCl 3M dan direfluks pada suhu 80°C selama 1 jam dengan pengadukan selama selang 10-15 menit. Hasil refluks didekantasi dan larutannya dibuang. Endapan ZA dicuci dengan akuades hingga pH berkisar 5-6, lalu dikeringkan dengan oven pada suhu 120°C hingga beratnya konstan.

ZA yang telah kering selanjutnya direndam dengan NH₄Cl 1M dalam labu bulat dan direfluks pada suhu kisaran 70°C selama 2 jam. Refluks dilakukan hingga 7 kali. Hasil refluks didinginkan dan dicuci dengan akuades hingga pH berkisar 5-6. Selanjutnya, ZA dikeringkan dalam oven selama 3 jam pada suhu 120°C, dikalsinasi pada suhu 500°C selama 5 jam, dihidrotermal pada suhu kalsinasi selama 5 jam, dan dioksidasi pada suhu 400°C selama 2 jam. Sampai tahap ini ZA telah aktif dan diberi label ZAA yang selanjutnya dikarakterisasi dengan XRD, BET, AAS, dan metode adsorpsi amonia.

3.2.2 Preparasi katalis Ni-Cr/Zeolit

ZAA dibagi menjadi 3 bagian masing-masing sebanyak 15 gram, ditaruh pada cawan penguap, dan diberi label (A, B, dan C). Masing-masing bagian direndam dalam larutan garam nikel dan kromium dengan komposisi Ni 4% - Cr 4% pada wadah A, Ni 4% - Cr 6% pada wadah B, dan Ni 4% - Cr 8% pada wadah C dan dipanaskan pada suhu 70-80°C selama 3 jam sambil diaduk perlahan-lahan. Selanjutnya ZAA dikeringkan dengan oven pada suhu 120°C, lalu dikalsinasi pada suhu 500°C selama 5 jam. Setelah itu, ZAA dioksidasi pada suhu 400°C selama 2 jam, lalu direduksi pada suhu kalsinasi selama 2 jam. Katalis kombinasi logam-zeolit diberi label katalis A (pada konsentrasi logam Ni 4% - Cr 4%), katalis B (pada konsentrasi logam Ni 4% - Cr 6%), dan katalis C (pada konsentrasi logam Ni 4% - Cr 8%). Katalis dikarakterisasi dengan XRD, BET, AAS, dan metode adsorpsi amonia.

3.2.3 Reaksi Perengkahan

3.2.3.1 Perengkahan Termal

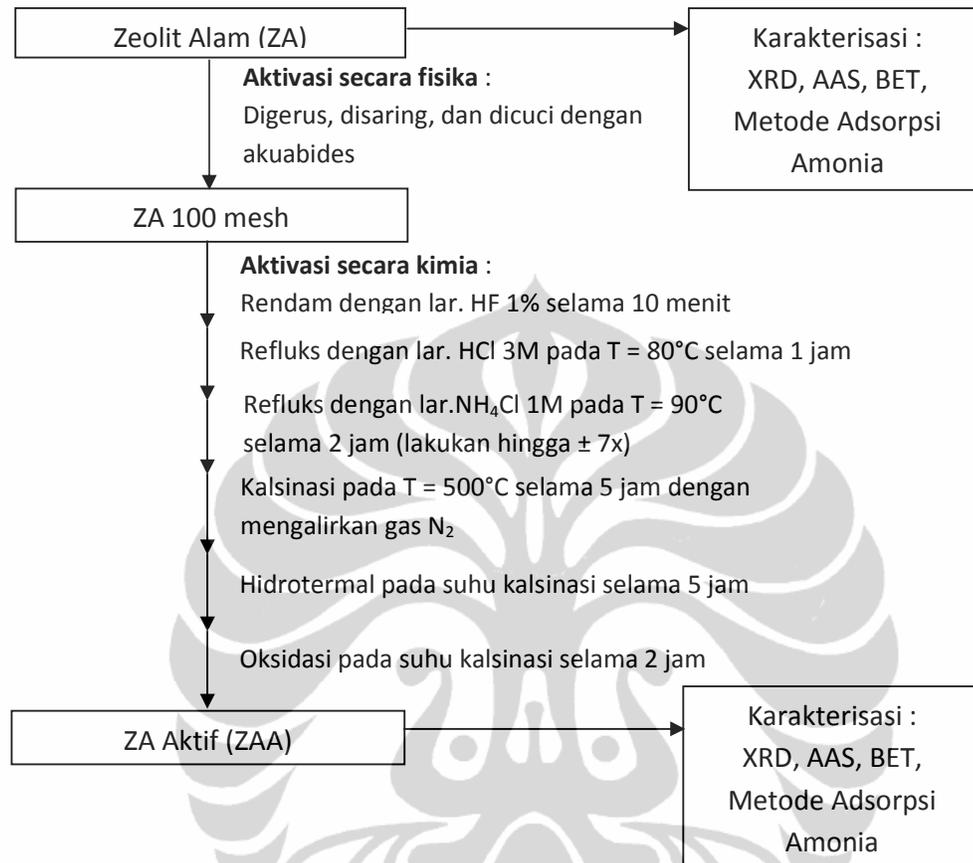
Sampah plastik jenis polipropilen dari wadah air mineral dipotong kecil-kecil, lalu dimasukkan ke dalam unit evaporator sebanyak 6 gram, sedangkan unit perengkahan dibiarkan kosong (tanpa katalis). Aliran gas nitrogen dipastikan mengalir konstan dengan kecepatan aliran berkisar 10 mL per menit, lalu suhu unit evaporator dan unit perengkahan diatur hingga mencapai 450°C. Waktu reaksi adalah 30 menit dari suhu reaksi tercapai. Hasil perengkahan (produk) berupa cairan ditampung dan dianalisis dengan menggunakan instrumen analisis GC-FID (*Gas Chromatography- Flame Ionized Detector*) untuk mengetahui distribusi hidrokarbon hasil perengkahan.

3.2.3.2 Perengkahan Katalitik

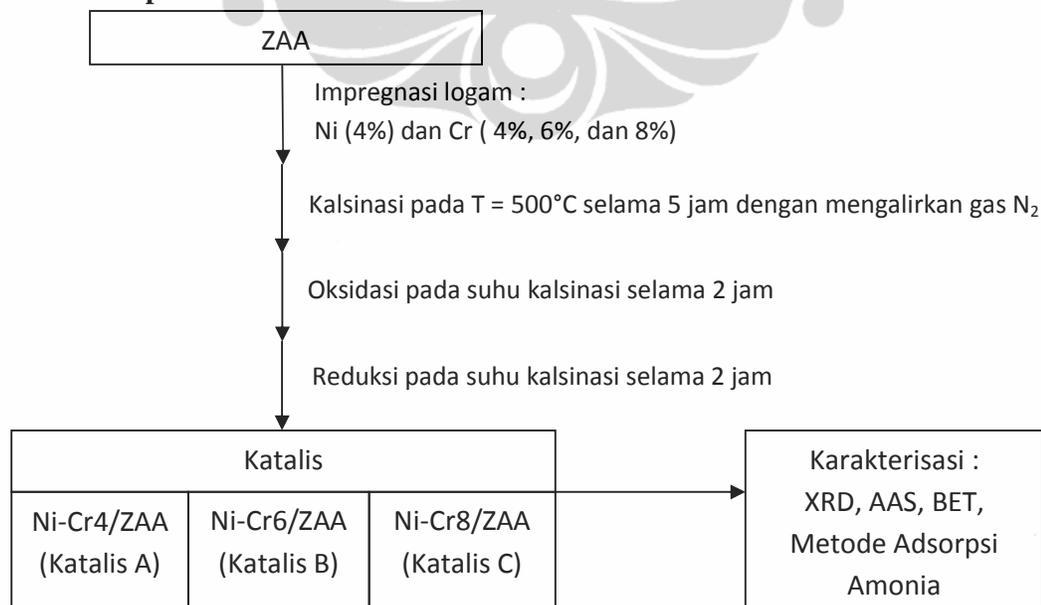
Sampah plastik jenis polipropilen dari wadah air mineral dipotong kecil-kecil, lalu dimasukkan ke dalam unit evaporator sebanyak 6 gram. Katalis sebanyak 2 gram dimasukkan ke dalam unit perengkahan. Memastikan aliran gas nitrogen mengalir konstan dengan kecepatan aliran berkisar 10 mL per menit, lalu suhu unit perengkahan diatur hingga mencapai suhu reaksi (400 dan 450°C), sedangkan suhu pada unit evaporator dibuat tetap, yaitu 450°C. Waktu reaksi adalah 30 menit dari suhu reaksi tercapai. Hasil perengkahan (produk) berupa cairan ditampung dan dianalisis dengan menggunakan instrumen analisis GC-FID (*Gas Chromatography- Flame Ionized Detector*) untuk mengetahui distribusi hidrokarbon perengkahan.

3.3 Bagan Kerja

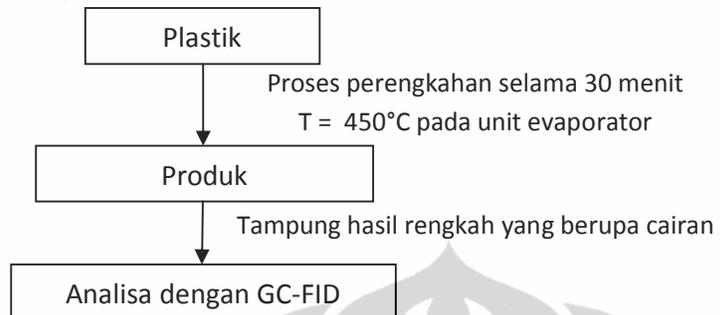
3.3.1 Aktivasi zeolit



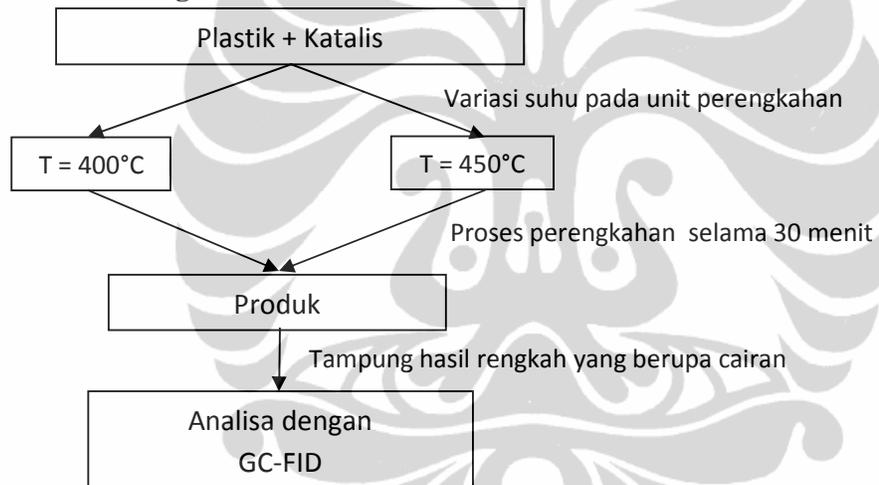
3.3.2 Preparasi katalis Ni-Cr/Zeolit

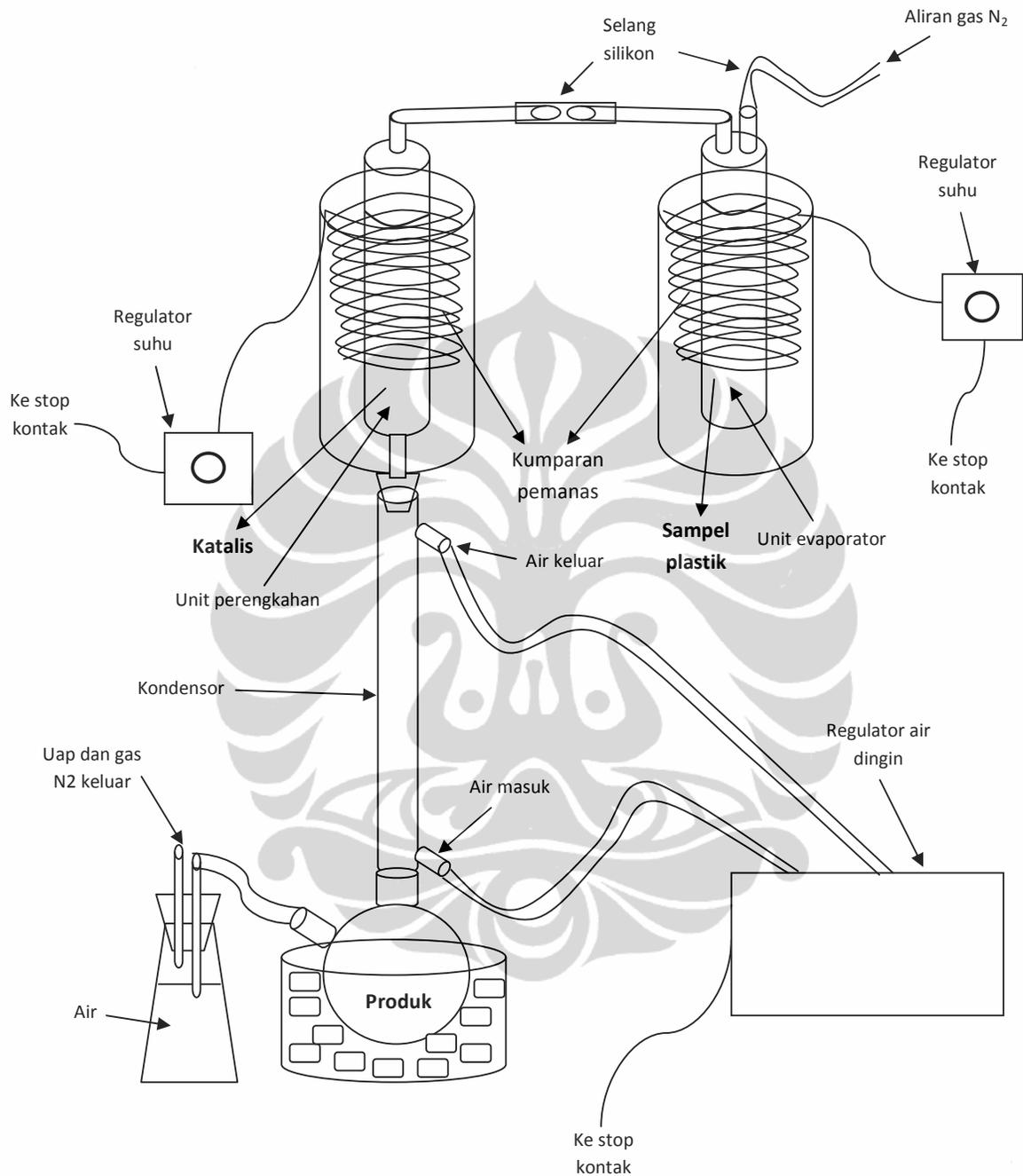


3.3.3 Perengkahan Termal



3.3.4 Perengkahan Katalitik





Gambar 3.1 Reaktor rengkah sederhana dengan sistem *fixed bed*

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Aktivasi zeolit dan karakterisasi

Zeolit yang digunakan adalah zeolit alam komersial dari PT. Brataco Chemika. Peningkatan mutu zeolit alam (ZA) sebagai katalis asam dan pengemban katalis pada reaksi perengkahan dilakukan dengan melakukan aktivasi secara fisika dan kimia.

4.1.1 Aktivasi zeolit secara fisika

Aktivasi secara fisika dilakukan dengan memperkecil ukuran zeolit alam menjadi 100 mesh agar ukurannya menjadi lebih seragam dan luas permukaannya menjadi lebih besar. Selain itu, dilakukan pencucian dengan akuabides untuk menghilangkan partikel debu dan tanah yang menempel secara fisik.

4.1.2 Aktivasi zeolit secara kimia

Aktivasi secara kimia dilakukan dengan menggunakan larutan asam yaitu HF dan HCl. Penggunaan HF bertujuan untuk menghilangkan pengotor di lapisan terluar kerangka zeolit, baik pengotor organik seperti karbon, sulfur, maupun fosfat maupun oksida logam yang pada umumnya ada dalam zeolit alam. HF dapat melarutkan silika dengan baik dan mengubahnya menjadi senyawa silika yang mudah menguap, yaitu SiF₄. Reaksi antara silika dioksida dengan HF adalah sebagai berikut (Vogel, 1994) :



Kontak antara zeolit dengan larutan HF ini tidak boleh terlalu lama karena dikhawatirkan dapat merusak struktur kristal zeolit.

Penggunaan larutan HCl bertujuan untuk mendealuminasi (Gambar 2.4) dan menyempurnakan proses pembersihan dari material pengotor yang kemungkinan masih terjebak dalam pori-pori zeolit.

Aktivasi secara kimia selain menggunakan HF dan HCl adalah dengan menggunakan NH_4Cl untuk membentuk H-zeolit. Ion NH_4^+ akan menggantikan kation (*exchangeable cation*) dalam zeolit alam. Pemanasan akan mengubah NH_4^+ menjadi uap NH_3 dan meninggalkan H^+ yang terikat pada zeolit sehingga membentuk H-zeolit (Gambar 2.6). Proses ini akan menyebabkan meningkatnya jumlah situs asam Bronsted dalam zeolit.

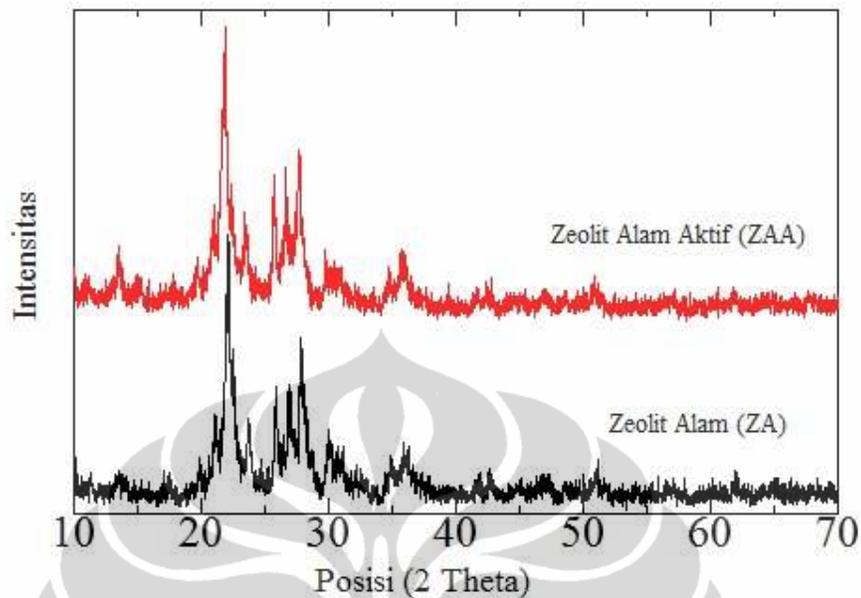
Proses aktivasi dilanjutkan dengan melakukan kalsinasi, hidrotermal, dan oksidasi. Kalsinasi dengan mengalirkan gas nitrogen bertujuan untuk menyempurnakan proses pengeringan setelah pertukaran kation, membantu menghilangkan pengotor organik yang mudah terurai pada suhu tinggi, dan mendorong pengotor yang sulit keluar dari pori-pori zeolit. Selanjutnya, pada tahap hidrotermal dapat terjadi dealuminasi lanjutan dan penataan ulang dari struktur kristal sehingga lebih stabil secara termal (Gambar 2.5). Dan terakhir, oksidasi dilakukan dengan menggunakan gas oksigen sebagai tahap penyempurnaan proses mengubah NH_4^+ menjadi asam Bronsted dengan persamaan reaksi sebagai berikut (Breck, 1974) :



Zeolit yang telah diaktivasi disebut sebagai Zeolit Alam Aktif (ZAA).

4.1.3 Karakterisasi dengan XRD

Hasil analisa XRD pada penelitian ini memiliki puncak-puncak khas yang dibandingkan dengan data dari JCPDS (*Joint Committee of Powder Diffraction Standar*) dan didukung dengan data dari *XRD Simulated Pattern*. Puncak-puncak pada difraktogram zeolit alam menunjukkan adanya struktur mordenit ($\text{Na}_8(\text{H}_2\text{O})_{24}[\text{Si}_{40}\text{Al}_8\text{O}_{96}]$) sebagai kandungan mineral utama dan kemungkinan adanya campuran dari jenis clinoptilolite, tridymite, plagioklas, kuarsa dan material pengotor lainnya.



Gambar 4.1 Perbandingan difraktogram ZA dan ZAA

Penentuan kristalinitas zeolit alam dilakukan secara kualitatif, yaitu dengan membandingkan difraktogram sebelum dan sesudah perlakuan aktivasi. Berdasarkan perbandingan difraktogram antara ZA dan ZAA terjadi sedikit pergeseran posisi puncak pada ZA ke posisi sudut 2θ makin sesuai dengan posisi puncak khas mordenit (Tabel 4.1) dan kenaikan intensitas pada sudut-sudut khas mordenit (Tabel 4.2).

Tabel 4.1 Posisi puncak khas mordenit pada ZA dan ZAA

| Kode | Posisi (2 Theta) d-spacing (Å) | | | |
|------|-----------------------------------|--------|--------|--------|
| | Standar MOR | 13.46 | 22.22 | 25.64 |
| ZA | 6.5805 | 4.0003 | 3.4739 | 3.2258 |
| | 13.76 | 22.08 | 25.84 | 27.79 |
| ZAA | 6.4370 | 4.0265 | 3.4474 | 3.2108 |
| | 13.5 | 21.88 | 25.71 | 27.68 |
| | 6.5571 | 4.0621 | 3.4649 | 3.2228 |

Tabel 4.2 Perbandingan intensitas ZA dan ZAA pada sudut 2 θ khas mordenit (MOR)

| Sudut 2 θ MOR (\AA) | Intensitas ZA (cts) | Intensitas ZAA (cts) |
|---------------------------------------|---------------------|----------------------|
| 13.46 | 15.18 | 34.32 |
| 22.22 | 179.73 | 198.04 |
| 25.64 | 75.76 | 81.72 |
| 27.65 | 105.46 | 112.38 |
| Total | 376.13 | 426.46 |

Hal ini menunjukkan bahwa zeolit alam yang awalnya memiliki puncak-puncak melebar karena banyak mengandung struktur amorf mengalami proses penataan ulang kristal setelah mengalami proses aktivasi dengan kalsinasi, hidrotermal, dan oksidasi sehingga tingkat kristalinitas mordenitnya meningkat.

4.1.4 Karakterisasi dengan metode BET

Perlakuan asam dan termal pada aktivasi ZA menyebabkan meningkatnya luas permukaan dan volume pori karena hilangnya molekul-molekul pengotor yang menutupi permukaan ZA maupun yang terjebak dalam rongga ZA. Penurunan diameter pori dapat disebabkan karena terbentuknya pori-pori baru yang berukuran lebih kecil pada permukaan yang telah dibersihkan. Hal ini serupa dengan yang disimpulkan oleh Nazarudin (2000) bahwa luas permukaan akan berbanding terbalik dengan jari-jari pori.

Tabel 4.3 Analisis BET ZA dan ZAA

| Kode | Luas Permukaan (m ² /g) | Total Volume Pori (cc/g) | Rata-rata Diameter Pori (\AA) |
|------|------------------------------------|--------------------------|--|
| ZA | 37.35 | 0.1104 | 118.238 |
| ZAA | 71.89 | 0.1169 | 65.051 |

4.1.5 Karakterisasi dengan AAS

Hasil analisis AAS menunjukkan bahwa zeolit alam (ZA) dalam penelitian ini tergolong ke dalam zeolit dengan rasio Si/Al tinggi. Besarnya rasio Si/Al pada ZA kemungkinan dapat disebabkan dari sumbangan Si yang bukan penyusun kerangka zeolit jenis mordenit. Menurut Tsitsishvili (1992), rasio Si/Al zeolit alam yang memiliki struktur mordenit berkisar 4,4 – 5,5. Selain itu, rasio Si/Al suatu zeolit alam juga bergantung pada lokasi pembentukannya.

Tabel 4.4 Analisis rasio Si/Al ZA dan ZAA

| Kode | Rasio Si/Al |
|------|-------------|
| ZA | 19.61 |
| ZAA | 260.02 |

Berdasarkan data hasil analisa dengan EDX (Eka, 2011) rasio Si/Al zeolit alam dari PT. Brataco Chemika adalah 5,6 dan sesudah perlakuan aktivasi terjadi peningkatan rasio menjadi 10,64, dimana perlakuan aktivasinya sama dengan yang dikerjakan dalam penelitian ini.

Peningkatan rasio Si/Al ZAA karena dealuminasi dengan asam dan hidrotermal juga memberi gambaran bahwa stabilitas termal dan katahanan terhadap asam dari ZA meningkat setelah aktivasi. Dengan demikian, zeolit alam yang telah diaktivasi (ZAA) ini dapat dijadikan sebagai pengemban yang baik sekaligus berperan dalam proses perengkahan katalitik polimer (hidrokarbon).

4.1.6 Karakterisasi dengan metode adsorpsi amonia

Dari hasil analisa adsorpsi amonia, diperoleh keasaman total yang terdapat pada ZA meningkat setelah aktivasi (Tabel 4.5). Hal ini dikarenakan interaksi antara basa NH_3 dengan situs asam pada zeolit. ZAA memiliki kation tergantikan berupa H^+ dengan kandungan yang tinggi dibandingkan ZA. H^+ merupakan asam Bronsted yang akan membentuk ion

NH_4^+ bila berinteraksi dengan NH_3 . Sedangkan asam Lewis yang berasal dari atom Al yang hanya berkoordinasi dengan 3 atom O masih dapat membentuk ikatan koordinasi dengan menerima donor pasangan elektron dari NH_3 (Gambar 2.7). Peningkatan keasaman ini diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih baik dalam proses perengkahan hidrokarbon.

Tabel 4.5 Analisis keasaman total ZA dan ZAA

| Kode | Total asam mmol NH_3 /gr sampel |
|------|---|
| ZA | 0.7957 |
| ZAA | 1.2143 |

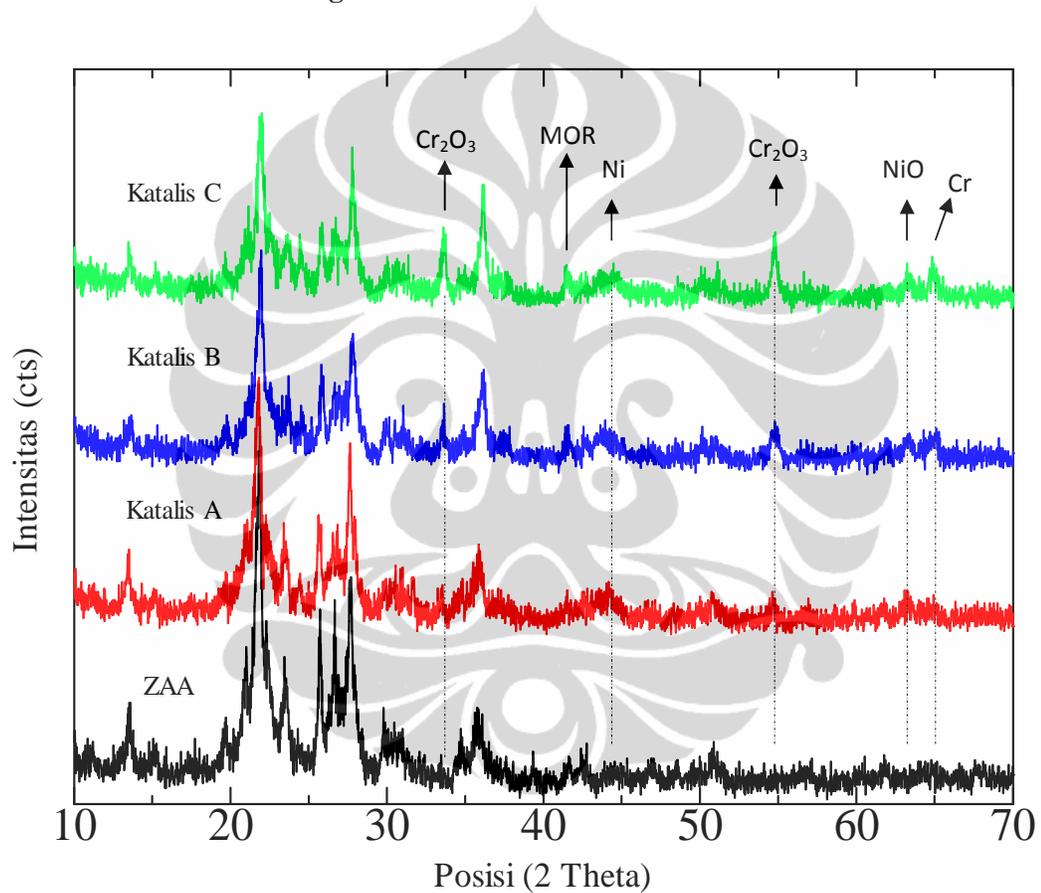
4.2 Preparasi katalis Ni-Cr/Zeolit dan karakterisasi

4.2.1 Preparasi katalis Ni-Cr/Zeolit

Preparasi katalis Ni-Cr/Zeolit dilakukan dengan mengimpregnasi logam Ni dan Cr secara bersamaan (koimpregnasi). Logam yang diimpregnasi terlebih dahulu berada dalam bentuk ionik, yaitu kation Ni^{2+} dan Cr^{3+} , yang memungkinkan terjadinya pertukaran dengan kation H^+ dalam zeolit aktif. Namun, tahap impregnasi ini tidak menyebabkan hilangnya keberadaan kation H^+ karena tidak adanya larutan yang dibuang pada saat melakukan impregnasi. Kation yang berinteraksi pada permukaan (eksternal maupun internal) zeolit selanjutnya dikalsinasi. Kalsinasi bertujuan untuk menghilangkan air, ligan dari larutan prekursor, maupun pengotor organik yang mungkin mengkontaminasi saat proses impregnasi. Selanjutnya aliran gas oksigen diberikan untuk membantu meratakan pendispersian logam yang masuk ke dalam zeolit dengan membentuk oksida logam yang dapat terdistribusi lebih baik (Ginting, 1997) dan mengubah sisa logam dan nonlogam yang mengganggu stabilitas dan aktivitas katalis logam-zeolit agar menjadi senyawa oksida sehingga mudah meninggalkan permukaan zeolit. Sedangkan reduksi dilakukan untuk mengubah oksida logam pada permukaan zeolit menjadi logam murni atau bervalensi nol,

dimana ukurannya lebih kecil dibandingkan dalam bentuk oksidanya sehingga dapat memperluas permukaan katalitik. Namun, meskipun sudah direduksi, keberadaan logam Ni dan Cr dalam bentuk NiO dan Cr₂O₃ tetap ada dengan jumlah yang cukup besar karena sifat oksidanya yang cukup stabil. Hal ini dapat dilihat dari hasil karakterisasi XRD (Gambar 4.2)

4.2.2 Karakterisasi dengan XRD



Gambar 4.2 Perbandingan difraktogram ZAA dan katalis A, B, dan C

Karakterisasi katalis secara kualitatif dilakukan dengan analisa XRD. Dari hasil analisa difraktogram katalis (A, B, dan C) yang dibandingkan dengan difraktogram ZAA, terlihat bahwa pada puncak-

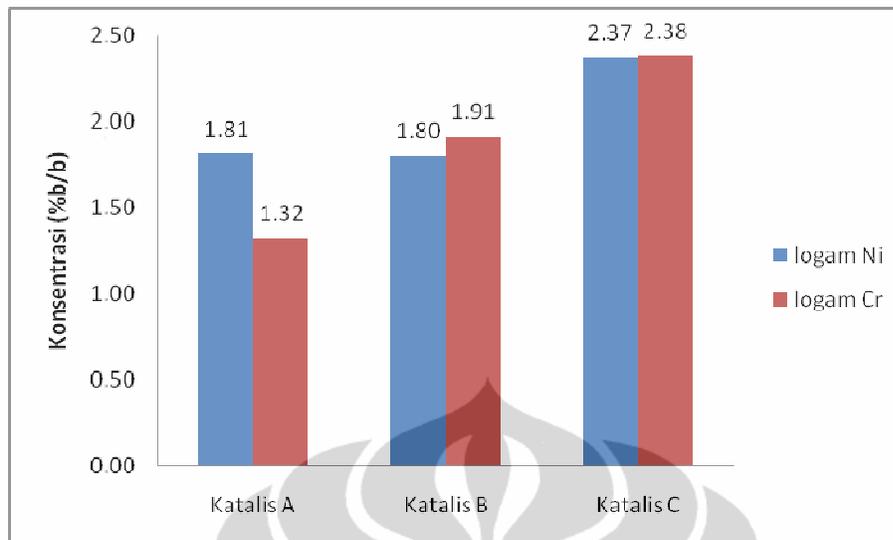
puncak tertentu ada yang mengalami perubahan intensitas dan ada pula yang membentuk puncak baru.

Perubahan intensitas ada yang naik dan ada yang turun bergantung dari struktur kristal, posisi atom dalam unit sel dan vibrasi termalnya. Namun, struktur kristal pada ZAA tidak mengalami banyak perubahan karena sudah stabil saat diaktivasi. Hal ini ditunjukkan dari posisi puncak yang tidak bergeser secara signifikan.

Adanya pengembunan logam Ni dan Cr dapat dilihat dari munculnya puncak-puncak baru. Pada posisi (2θ) sekitar 30° - 65° , terdapat puncak khas logam Ni, Cr, oksida Ni, yaitu NiO, dan oksida Cr, yaitu Cr_2O_3 . Puncak Ni muncul pada posisi sekitar 44° , puncak Cr_2O_3 sekitar 33° dan 54° , dan puncak NiO sekitar 63° . Munculnya peak baru pada posisi sekitar 65° hanya terlihat jelas pada katalis B dan C yang menandakan adanya spesi logam Cr, walaupun jumlahnya cukup kecil dibandingkan dengan spesi oksidanya. Keberhasilan masuknya logam Ni dan Cr yang diembankan dapat dilihat pada hasil analisis dengan AAS.

4.2.3 Karakterisasi dengan AAS

Berdasarkan hasil analisis AAS, terdepositnya logam Ni dan Cr ke dalam ZAA cukup bervariasi. Dua logam yang diembankan secara bersamaan ini mengalami persaingan untuk masuk. Dari gambar 4.3 terlihat bahwa konsentrasi logam Ni dapat terdistribusi lebih banyak didalam zeolit daripada logam Cr. Hal ini dapat disebabkan karena ukuran logam Ni lebih kecil (163 pm) dibandingkan logam Cr (166 pm). Namun, seiring dengan bertambahnya jumlah konsentrasi logam Cr, maka jumlahnya yang masuk pun semakin meningkat.



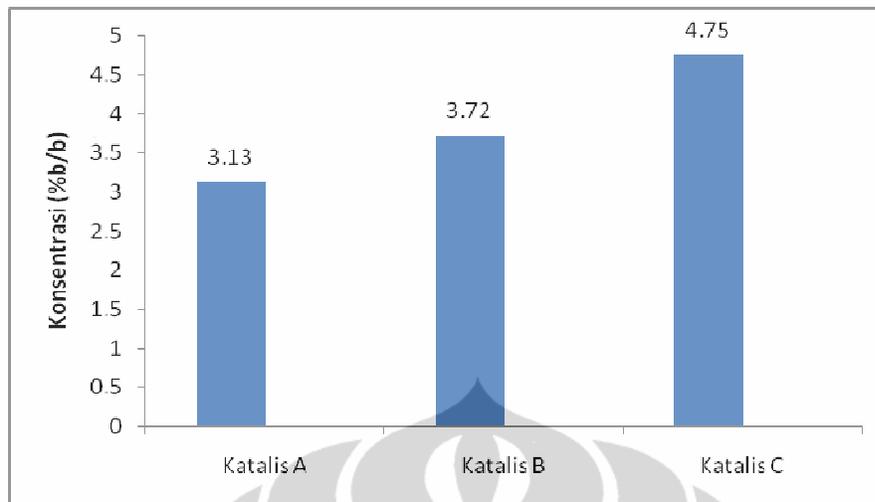
Gambar 4.3 Kandungan logam Ni dan Cr dalam katalis A, B, dan C

Efisiensi impregnasi logam Ni rata-rata hampir 50%, sedangkan Cr mencapai efisiensi rata-rata sekitar 30% (Tabel 4.6). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun semakin banyak logam Cr yang diimpregnasi, namun kemampuan logam Ni untuk terimpregnasi dalam zeolit cenderung lebih besar daripada logam Cr. Efisiensi impregnasi ini merupakan data yang diperoleh dengan membandingkan konsentrasi logam sesungguhnya dengan banyaknya logam yang diharapkan terimpregnasi pada katalis.

Tabel 4.6 Efisiensi impregnasi logam Ni dan Cr

| Kode | Efisiensi impregnasi (%) | |
|-----------|--------------------------|-------|
| | Ni | Cr |
| Katalis A | 45.25 | 33 |
| Katalis B | 45 | 31.83 |
| Katalis C | 59.25 | 29.75 |

Kandungan total logam Ni dan Cr yang terimpregnasi pada zeolit memiliki tren meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi logam yang diimpregnasikan (Gambar 4.4).



Gambar 4.4 Kandungan total logam (Ni+Cr) yang terimprgenasi dalam katalis A, B, dan C

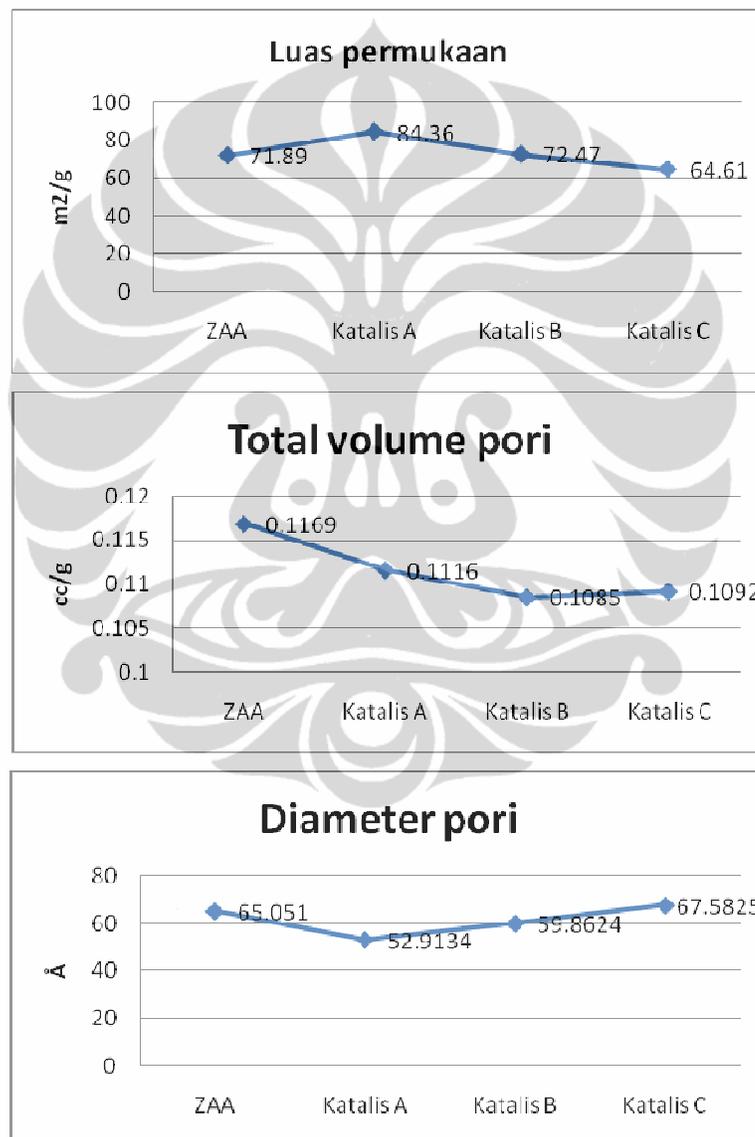
4.2.4 Karakterisasi dengan BET

Luas permukaan zeolit meningkat pada pengembunan logam dengan konsentrasi rendah, yaitu pada katalis A (Ni 4% - Cr 4%). Hal ini menunjukkan bahwa pendispersian logam pada katalis A cukup baik. Namun, seiring dengan bertambahnya jumlah logam yang masuk ke dalam zeolit, luas permukaan zeolit akan semakin kecil, dimana tren luas permukaan pada katalis B dan C semakin menurun (Gambar 4.5). Hal ini dapat menyebabkan jumlah sisi aktif katalitik pada zeolit semakin sedikit.

Pengaruh penutupan permukaan internal zeolit dapat dilihat juga dari total volume pori. Semakin banyak logam yang mengisi pori-pori zeolit (permukaan internal), maka total volume pori juga akan semakin kecil. Hal ini dapat mengakibatkan semakin sedikitnya reaktan yang dapat teradsorpsi maupun jumlah produk yang terbentuk. Sedikit meningkatnya total volume pori pada katalis C kemungkinan karena pendistribusian yang kurang merata pada sebagian pori-pori zeolit.

Pengaruh penambahan logam pada zeolit juga dapat dilihat dari rata-rata diameter pori yang terbentuk. Proses kalsinasi, oksidasi, dan

reduksi akan membantu terbentuknya pori-pori baru dengan ukuran yang lebih seragam. Semakin banyak logam yang terimpregnasi, tren rata-rata diameter pori juga meningkat. Rata-rata diameter pori pada katalis mengindikasikan adanya pori-pori dalam ukuran mikropori ($D < 20 \text{ \AA}$) dan mesopori ($20 \text{ \AA} < D < 500 \text{ \AA}$) yang baik digunakan untuk pembentukan hidrokarbon rantai pendek (Siddiqui, 2011).



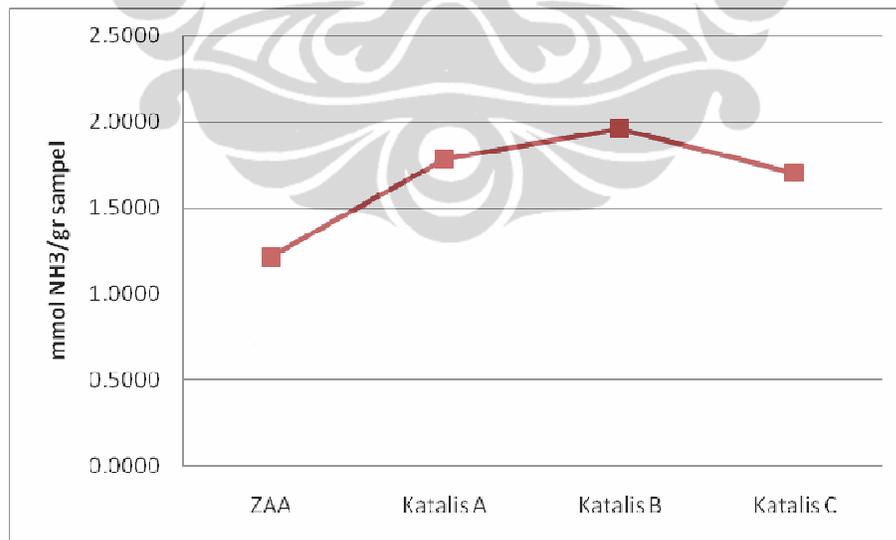
Gambar 4.5 Hasil analisa BET katalis A, B, dan C

4.2.5 Karakterisasi dengan metode adsorpsi amonia

Keasaman pada katalis merupakan jumlah keasaman total dari sisi asam Bronsted maupun asam Lewis. Pada katalis yang dimpregnasi logam, jumlah sisi asam disumbangkan oleh keberadaan logam yang bersifat asam Lewis. Hal ini sesuai dengan hasil analisis yang menunjukkan tren yang meningkat pada keasaman katalis seiring dengan bertambahnya jumlah logam yang ada dalam zeolit aktif (ZAA).

Fenomena penurunan keasaman total pada katalis C kemungkinan dapat disebabkan karena pendistribusian logam pada katalis C yang kurang merata, sehingga meskipun logam yang masuk lebih banyak, namun kemungkinan membentuk agregat yang mengurangi jumlah situs asam katalis.

Gambaran mengenai total keasaman katalis tidak dapat menjadi faktor yang mutlak dalam menentukan keberhasilan proses perengkahan yang dilakukan katalis sebab selain jumlah keasaman, faktor kekuatan asam juga harus dipertimbangkan.

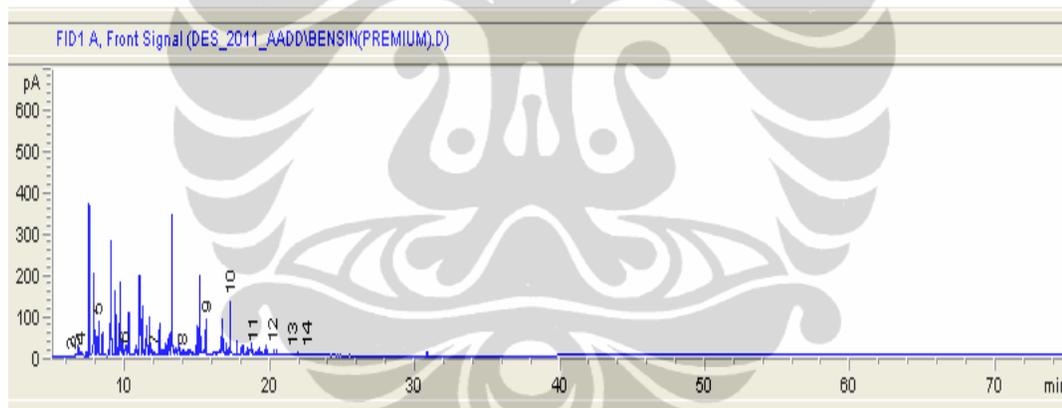


Gambar 4.6 Keasaman total ZAA dan katalis A, B, dan C

4.3 Reaksi perengkahan

Pada dasarnya reaksi perengkahan bukan hanya pemecahan rantai hidrokarbon panjang menjadi pendek, namun juga dapat terjadi reaksi isomerisasi, siklisasi, dan polimerisasi kembali, terutama pada perengkahan termal. Oleh sebab itu, maka peningkatan hasil perengkahan katalitik ini akan dibandingkan dengan perengkahan tanpa katalis (termal). Hasil perengkahan baik secara termal maupun katalitik diharapkan menghasilkan senyawa hidrokarbon yang berada pada fraksi bensin, dimana fraksi tersebut akan dibandingkan dengan fraksi bensin komersial.

Sampel bensin (premium) komersial diperoleh dari salah satu SPBU di daerah Kebayoran Baru, dimana kandungan hasil analisa GC menunjukkan bahwa komponen yang terdapat dalam bensin tersebut memiliki jumlah rantai karbon berkisar dari C3 hingga C14 (Tabel 4.7).



Gambar 4.7 Kromatogram bensin (premium)

Pertimbangan penggunaan hidrokarbon yang sesuai bagi bahan bensin terkait dengan volatilitas dan angka oktannya. Bahan bakar bensin pada umumnya memiliki jumlah dominan pada komponen C5-C8, namun beberapa ada yang sampai C9 atau lebih (Buekens, 1998). Pada rentang C5-C8 terkandung senyawa isomer dengan rantai bercabang, aromatik maupun siklik yang baik dalam penggunaan bensin sebagai bahan bakar motor. Hal ini sesuai dengan hasil analisis bensin premium komersial,

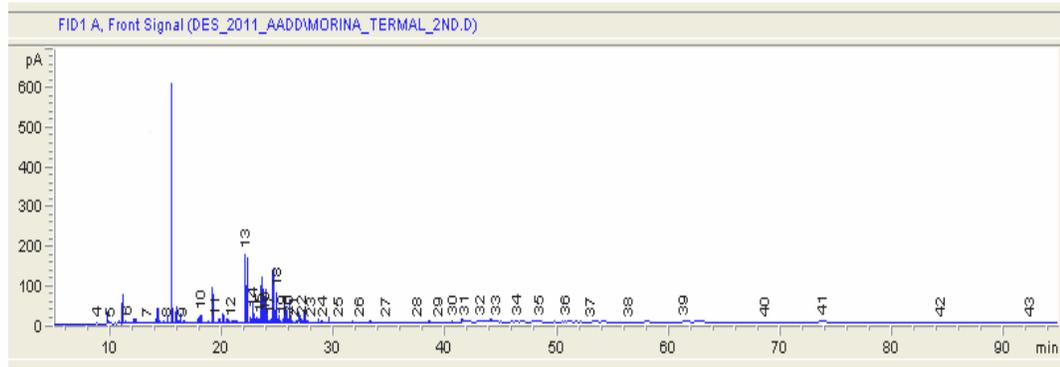
dimana bensin memiliki jumlah yang cukup tinggi pada komponen rantai C5- C9.

Tabel 4.7 Kandungan hidrokarbon bensin (premium)

| Komponen | konsentrasi (% berat) |
|----------|--------------------------|
| C3 | 0.11 |
| C4 | 1.06 |
| C5 | 21.44 |
| C6 | 20.85 |
| C7 | 18.29 |
| C8 | 15.81 |
| C9 | 10.23 |
| C10 | 5.51 |
| C11 | 2.85 |
| C12 | 2.48 |
| C13 | 1.07 |
| C14 | 0.3 |
| Total | 100 |

4.3.1 Perengkahan termal

Pada gambar 4.8 terlihat bahwa hasil perengkahan secara termal menghasilkan hidrokarbon dengan distribusi rantai C4 hingga C43. Hasil perengkahan pada fraksi bensinya hanya mencapai sekitar 48,51%, sedangkan fraksi C>12 mencapai 51,49%. Hal ini disebabkan karena pada perengkahan termal radikal bebas yang terbentuk sangat reaktif dan cenderung mengalami proses polimerisasi kembali, sehingga jumlah fraksi yang lebih kecil cenderung sedikit seperti yang dialami pada penelitian Eka (2011).



Gambar 4.8 Kromatogram perengkahan termal

Tabel 4.8 Hasil analisa perengkahan termal pada fraksi bensin (C3-C14)

| Komponen | Konsentrasi (% berat) |
|----------|--------------------------|
| C3 | 0 |
| C4 | 0.06 |
| C5 | 1.96 |
| C6 | 5.05 |
| C7 | 2.36 |
| C8 | 2.98 |
| C9 | 27.41 |
| C10 | 1.88 |
| C11 | 4.46 |
| C12 | 2.35 |
| C13 | 6.37 |
| C14 | 8.95 |
| Total | 63.83 |

4.3.2 Perengkahan katalitik

Reaksi perengkahan dengan katalis Ni-Cr/Zeolit dilakukan pada suhu reaksi 400°C dan 450°C. Suhu ini ada pada unit perengkahan, sedangkan suhu pada unit evaporator dibuat tetap, yaitu 450°C. Suhu pada unit evaporator diperkirakan telah optimum untuk mengubah umpan padatan sampah plastik menjadi fasa uap. Hal ini didukung dari hasil analisa DTA-TG polimer PP yang digunakan, dimana pada suhu sekitar 450 – 460°C semua padatan telah terdegradasi menjadi uap (Lampiran 7). Laju alir nitrogen sebagai gas pembawa dibuat dengan laju yang tidak terlampaui cepat ataupun lambat (sekitar 10 mL/menit) agar interaksi antara reaktan dan katalis bisa berlangsung dengan baik dan mengurangi tekanan yang timbul akibat meningkatnya fasa uap seiring bertambahnya waktu reaksi.

4.3.2.1 Pengaruh impregnasi logam pada ZAA

Pengaruh impregnasi logam dilihat dengan membandingkan hasil konversi perengkahan menggunakan ZAA dan katalis Ni-Cr/Zeolit dengan ketiga variasi konsentrasi logam yang diimpregnasi, yaitu katalis A (Ni 4% - Cr 4%), katalis B (Ni 4% - Cr 6%), dan katalis C (Ni 4% - Cr 8%). Suhu perengkahan katalik ZAA dan Ni-Cr/Zeolit disamakan dengan suhu pada perengkahan termal, yaitu 450°C agar dapat sekaligus melihat pengaruh penggunaan katalis terhadap hasil konversi sampah plastik.

Gambar 4.9 menunjukkan perbandingan perengkahan katalitik dengan menggunakan zeolit aktif (ZAA) dan logam-zeolit (katalis A, B, dan C). Perengkahan dengan ZAA memberikan hasil konversi yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan zeolit yang telah diimpregnasi logam. Penambahan logam pada zeolit aktif menyebabkan terjadinya sedikit penurunan hasil konversi pada fraksi bensin (C3-C14). Hal ini dapat disebabkan karena tertutupnya situs aktif katalitik pada zeolit akibat penambahan logam. Namun, bila dibandingkan dengan hasil pada perengkahan termal, fraksi bensin yang dihasilkan dengan menggunakan

katalis zeolit-logam telah berhasil meningkatkan konversi sebesar 10-23%. Ini membuktikan bahwa modifikasi zeolit dengan pengembanan logam telah bekerja cukup efektif dalam merubah hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon dengan rantai yang lebih pendek.



Gambar 4.9 Perbandingan hasil konversi termal dan katalitik

4.3.2.2 Pengaruh suhu dan konsentrasi logam Cr

Perengkahan katalitik menghasilkan distribusi hidrokarbon yang memiliki waktu retensi yang semakin pendek atau rantai C yang semakin pendek dibandingkan pada perengkahan termal, yaitu sekitar C39 (Lampiran 11 dan 12). Pada suhu 400°C, hasil konversi fraksi bensin katalis A>C>B, sedangkan pada suhu 450°C hasil konversi fraksi bensin katalis B>A>C. Berdasarkan laporan LEMIGAS 2011, perengkahan katalitik limbah plastik jenis polipropilen menjadi fraksi bensin pada suhu 500°C menghasilkan konversi sebesar 72,36% untuk katalis A, 70,62% untuk katalis B, dan 71,84% untuk katalis C. Dari data sekunder pada suhu 500°C ini, hasil konversi fraksi bensin katalis A>C>B. Pola aktivitas katalis ini beragam bila dilihat dari hasil konversinya yang dipengaruhi oleh pengembanan logam, suhu, luas permukaan, rata-rata diameter pori, total volume pori, maupun keasamannya.

Berdasarkan hasil penelitian Eka (2011) yang menggunakan katalis rengkah Ni/Zeolit Alam dengan konsentrasi logam yang diimbangkan sebesar 4% (Z-Ni 4) 6% (Z-Ni 6), dan 8% (Z-Ni 8), pada suhu 400°C katalis akan cenderung menghasilkan produk yang lebih banyak mengandung fasa uap yang mudah berubah menjadi fasa cair, sehingga hasilnya meningkat seiring dengan jumlah logam yang teremban, yaitu berturut-turut sebesar 10,92%; 14,85%; dan 12,45%. Sedangkan pada suhu 450°C, katalis menghasilkan konversi yang cenderung menurun, yaitu 11 % (Z-Ni 4), 8,82 % (Z-Ni 6), dan 8,05 % (Z-Ni 8) seiring dengan bertambahnya jumlah logam yang teremban, dikarenakan logam yang terdistribusi kurang merata akan menurunkan kemampuan katalis untuk berinteraksi dengan reaktan. Pada uji aktivitas katalis, Eka (2011) melakukannya dengan menggunakan reaktor rengkah sederhana sistem fixed bed, namun hanya menggunakan satu wadah sebagai unit evaporator sekaligus unit perengkahan yang dipisahkan dengan glass wool. Bila dibandingkan dengan hasil pada penelitian ini, penambahan logam Cr dan penggunaan wadah evaporator dan perengkahan pada unit terpisah dapat meningkatkan kemampuan katalis untuk menghasilkan lebih banyak fraksi bensin, yaitu lebih besar dari 50%.

Tabel 4.9 Hasil analisa produk perengkahan katalitik katalis A, B, dan C

| Komponen | Suhu 400 | | | Suhu 450 | | |
|----------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|
| | Kat. A | Kat. B | Kat. C | Kat. A | Kat. B | Kat. C |
| C3 | 0.01 | 0 | 0 | 0.03 | 0.04 | 0 |
| C4 | 1.87 | 0.22 | 0.53 | 0.01 | 0.01 | 0 |
| C5 | 1.92 | 0.12 | 0.31 | 1.35 | 3.07 | 0.72 |
| C6 | 11.65 | 3.02 | 5.14 | 5.53 | 8.92 | 5.02 |
| C7 | 8.71 | 2.83 | 4.12 | 6.15 | 10.2 | 3.44 |
| C8 | 15.62 | 4.35 | 16.9 | 4.48 | 6.25 | 3.97 |
| C9 | 21.09 | 37.32 | 24.85 | 37.83 | 38.02 | 40.78 |
| C10 | 2.01 | 2.67 | 2.56 | 2.42 | 3.17 | 2.07 |
| C11 | 5.24 | 7.28 | 6.59 | 6.19 | 6.36 | 6.97 |
| C12 | 1.49 | 1.39 | 1.61 | 1.47 | 1.86 | 1.64 |
| C13 | 9.46 | 13.82 | 12.7 | 10.55 | 6.97 | 11.67 |
| C14 | 1.08 | 1.22 | 1.11 | 2.63 | 2.04 | 3.38 |
| Total | 80.15 | 74.24 | 76.42 | 78.64 | 86.91 | 79.66 |

Bila dibandingkan dengan kedua kondisi pada penelitian ini, yaitu suhu 400°C dan 450°C, maka secara garis besar hal ini menggambarkan bahwa perengkahan katalitik untuk masing-masing konsentrasi memiliki tren yang meningkat seiring meningkatnya suhu reaksi. Dengan kata lain, makin tinggi suhu reaksi maka perengkahan menghasilkan lebih banyak fraksi hidrokarbon rantai pendeknya.

Secara keseluruhan katalis A dapat menghasilkan fraksi bensin yang lebih besar daripada katalis B dan C. Hal ini dapat disebabkan karena luas permukaan katalis A lebih besar dibandingkan kedua katalis lainnya sehingga interaksi katalis dengan reaktan menjadi lebih banyak. Pada katalis B, hasil konversi rata-rata cenderung lebih rendah dari katalis A dan C, hal ini kemungkinan disebabkan volume porinya yang cenderung lebih kecil dari kedua katalis lainnya. Volume pori ibarat ruang untuk dihasilkannya produk. Bila ruangnya kecil, maka hasil yang terbentuk pun akan cenderung kecil. Namun, dalam penelitian ini konversi terbesar diperoleh pada penggunaan katalis B dengan hasil sebesar 86,91% pada temperatur 450°C.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Pengembanan logam Ni dengan konsentrasi tetap (4%) dan logam Cr dengan konsentrasi bervariasi (4%, 6%, dan 8%) pada zeolit alam aktif memberikan pengaruh pada hasil konversi katalitik zeolit alam. Secara garis besar, semakin banyak logam yang terimpregnasi, maka akan menyebabkan penutupan pada situs aktif katalitik zeolit sehingga hasil konversi menjadi lebih kecil daripada konversi katalitik dengan menggunakan zeolit alam aktif (ZAA). Namun, penggunaan katalis Ni-Cr/Zeolit sudah berfungsi dengan baik dalam proses perengkahan sampah plastik karena meningkatnya hasil konversi fraksi bensin dibandingkan pada perengkahan termal. Peningkatan yang dihasilkan berkisar 10-23%.
2. Perengkahan katalitik dengan katalis Ni-Cr/Zeolit dipengaruhi oleh temperatur, dimana semakin tinggi suhu, maka hasil perengkahan menjadi fraksi bensin semakin besar. Pada penelitian ini didapatkan hasil konversi terbesar pada penggunaan katalis B, yaitu sebesar 86,91% pada suhu 450°C.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya perlu menganalisa hasil perengkahan berupa gas maupun kokas agar dapat mengetahui keefektifan katalis dalam menghasilkan produk yang diinginkan.
2. Perlu menggunakan rangkaian alat perengkahan yang lebih baik lagi dengan sistem yang memungkinkan lebih banyak terkondensasinya cairan hasil perengkahan.

DAFTAR REFERENSI

- Breck, Donald. W. (1974). *Zeolite molecular sieves : structure, chemistry, and use*. New York : John Wiley and Sons, Inc.
- Buekens, A. G., and Huang. H. (1998). *Catalytic plastics cracking for recovery of gasoline-range hydrocarbons from municipal plastic wastes*. *Journal Resources, Conservation and Recycling* 23 (1998) 163–181. Belgium : Elsevier
- Cornet, D., and Cambellan, A. (1985). *Transition Ions Exchanged Zeolites as Cracking Catalyst*. *Catalysis by Acids and Bases*. Amsterdam : Elsevier
- Eka, Fransisca. (2011). *Pembuatan katalis Ni/zeolit untuk reaksi perengkahan katalitik limbah plastik menggunakan fixes bed reactor*. Semarang : Universitas Diponegoro
- Gates, B.C. (1992). *Catalytic chemistry*. New York : John Wiley and Sons, Inc.
- Ginting, Merga. (1997). *Preparasi Katalis Nikel-Zeolit Untuk Reaksi Hidrogenasi Asam Lemak Tidak Jenuh Dalam Minyak Kelapa*. Tesis Kimia FMIPA UGM. Yogyakarta : Departemen Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada
- Hamdan, H. (1992). *Introduction to zeolite synthesis, characterization and modifications*. Malaysia : Universiti Teknologi Malaysia.
- Handoko, D. S. P. (2005). *Aktivitas Katalis Ni/H5-NZA dan Mekanismenya Pada Konversi Fraksi Solar dan Bensin dengan Umpan Pancingan Jenis Metanol dan Butanol*. Jember : Kimia FMIPA Universitas Jember
- I.chorkendroff, J.W. Niemantsverdi. (2003). *Concepts of Modern Catalysis and Kinetics* (pp 143 -147). New York : Wiley-VCH GmbH&Co. <http://orybun.blogspot.com/2009/05/prinsip-dasar-spekstroskopi-difraksi.html>
- Kadarwati, Sri, dkk. (2010). *Aktivitas Katalis Cr/Zeolit Alam pada Reaksi Konversi Minyak Jelantah menjadi Bahan Bakar Cair*. Skripsi Kimia FMIPA UNS. Semarang : Universitas Negeri Semarang

- Keyvanloo, K., and Majid. S. (2008). *Effect of Element Modifications on Catalytic Performance of Zeolites*. WCECS (October 22-24, 2008). USA : San Fransisco
- Maryani. 2007. *Pengaruh Cara Pengembanan Logam Ni dan Mo Pada Zeolit Alam Aktif Terhadap Karakter Katalis Bimetal*. Skripsi Kimia FMIPA Universitas Sebelas Maret. Surakarta : Universitas Sebelas Maret
- Nazarudin. (2000). *Optimasi kondisi reaksi perengkahan katalitik fraksi berat minyak bumi*. Yogyakarta : Universitas Gadjah Mada
- Nurhadi, M. (1999). *Pembuatan dan karakterisasi katalis kromium-zeolit alam untuk perengkahan fraksi minyak bumi*. Yogyakarta : Departemen Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada
- Resasco, Daniel. E. (2000). *Dehydrogenation By Heterogeneous Catalysts*. USA : University of Oklahoma. <http://www.ou.edu/catalysis/pubs/2003-1.pdf>
- Rodiansono,dkk. (2007). *Pembuatan, Karakterisasi, dan Uji Aktivitas Katalis NiMo/Z dan NiMo/Z-Nb2O5 pada Reaksi Hidrorengkah Fraksi Sampah Plastik menjadi Fraksi Bensin*. Berkala MIPA, Vol.17 (2), hal. 43-54.
- Satterfield, Charles N. (1992). *Heterogeneous Catalysis in Industrial Practice* (2nd ed.). New York : Mc Graw Hill Book Company
- Setiadi, (2007). *Preparasi dan Karakterisasi Zeolit Alam Untuk Konversi Senyawa ABE menjadi Hidrokarbon*, Prosiding Kongres dan Simposium Nasional Kedua MKICS
- Siddiqui, et. al . (2011). *Enhancing propylene production from catalytic cracking of Arabian Light VGO over novel zeolites as FCC catalyst additives*. Journal Fuel Elsevier.
- Tsitsishvili, G.V., & Andronikashvili, T.G. (1992). *Natural Zeolites*. England : Ellis Horwood Limited
- Trisunaryati, Wega. (2002). *Optimasi Waktu dan Rasio Katalis/Umpan pada Proses Perengkahan Katalitik Fraksi Sampah Plastik Menjadi Fraksi Bensin Menggunakan Katalis Cr/Zeolit Alam*. Yogyakarta : Departemen Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada

- Vogel. (1994). *Kimia analisis kuantitatif anorganik* (edisi 4) (A. Hadyana P & L. Setiono, Penerjemah). Jakarta : EGC
- Widodo, Puguh Priyo. (2011). *The Effects of Calcination Temperature on the Activation of Natural Zeolite Sumbermanjing Wetan Malang Regency the Number of Active Sites, crystallinity, and pore size*. Tesis Kimia FMIPA Malang. Malang : Universitas Negeri Malang
- Windarti, Tri., Ahmad Suseno. (2003). *Konversi Polietilena dari Sampah Plastik menjadi Olefin dengan Katalis Zeolit Alam Asam*. Laporan P4T 28 Maret 2003. Semarang : Universitas Diponegoro
- <http://id.wikipedia.org/wiki/Katalis>
- <http://material-sciences.blogspot.com/2010/03/zeolit-struktur-dan-fungsi.html>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel>
- <http://id.wikipedia.org/wiki/Kromium>
- <http://h0404055.wordpress.com/2010/04/02/kromium-pangan-dan-gizi/>
- <http://mukhtar-api.blogspot.com/2009/06/limbah-plastik-mengancam-masa-depan.html>
- http://skp.unair.ac.id/repository/Guru-Indonesia/Katalis_EtnaRufiati_10880.pdf
- http://eprints.undip.ac.id/13791/1/laporan_KOMPLIT_FINALLL.pdf
- <http://teknologikimiaindustri.blogspot.com/2011/01/spektrofotometer-serapan-atom-aas.html>

LAMPIRAN 1

Analisa XRD Zeolit Alam (ZA)

| No. | Pos. [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] | FWHM [°2Th.] | Area [cts*°2Th.] | Height [cts] |
|-----|--------------|---------------|---------------|--------------|------------------|--------------|
| 1 | 6.0108 | 14.70419 | 8.93 | 1.1021 | 17.45 | 16.05 |
| 2 | 10.0212 | 8.82684 | 14.18 | 0.1968 | 4.95 | 25.49 |
| 3 | 13.7572 | 6.43703 | 8.44 | 0.6298 | 9.43 | 15.18 |
| 4 | 17.2998 | 5.12604 | 6.09 | 0.9446 | 10.2 | 10.94 |
| 5 | 19.8648 | 4.46956 | 15.39 | 0.2362 | 6.45 | 27.67 |
| 6 | 21.1418 | 4.20239 | 37.87 | 0.3149 | 21.14 | 68.06 |
| 7 | 22.0768 | 4.02647 | 100 | 0.3149 | 55.83 | 179.73 |
| 8 | 22.6325 | 3.92885 | 49.97 | 0.2362 | 20.92 | 89.82 |
| 9 | 23.7354 | 3.74874 | 30.05 | 0.3149 | 16.78 | 54.02 |
| 10 | 25.8442 | 3.44743 | 42.15 | 0.2362 | 17.65 | 75.76 |
| 11 | 26.9061 | 3.31374 | 37.66 | 0.2362 | 15.77 | 67.69 |
| 12 | 27.7861 | 3.21076 | 58.68 | 0.1968 | 20.47 | 105.46 |
| 13 | 30.0236 | 2.97639 | 27.55 | 0.1968 | 9.61 | 49.52 |
| 14 | 30.9318 | 2.89104 | 13.95 | 0.3149 | 7.79 | 25.08 |
| 15 | 32.1621 | 2.7832 | 10.01 | 0.1968 | 3.49 | 18 |
| 16 | 34.9078 | 2.57032 | 14.36 | 0.2362 | 6.01 | 25.8 |
| 17 | 36.2685 | 2.47695 | 19.31 | 0.2362 | 8.09 | 34.71 |
| 18 | 41.8057 | 2.16079 | 7.94 | 0.551 | 7.75 | 14.26 |
| 19 | 45.1 | 2.01032 | 6.47 | 0.6298 | 7.22 | 11.62 |
| 20 | 47.3242 | 1.9209 | 7.09 | 0.4723 | 5.94 | 12.75 |
| 21 | 48.5403 | 1.87558 | 6.27 | 0.3936 | 4.38 | 11.27 |
| 22 | 51.0966 | 1.78759 | 13.17 | 0.2755 | 6.43 | 23.67 |
| 23 | 54.2548 | 1.69076 | 4.87 | 0.4723 | 4.08 | 8.75 |
| 24 | 56.7741 | 1.62157 | 5.47 | 1.2595 | 12.22 | 9.84 |
| 25 | 61.8401 | 1.50034 | 9.55 | 0.4723 | 8 | 17.16 |
| 26 | 64.8892 | 1.43702 | 8.28 | 1.2595 | 18.48 | 14.88 |
| 27 | 69.0061 | 1.361 | 4.67 | 1.8893 | 15.64 | 8.39 |
| 28 | 73.4186 | 1.28865 | 4.21 | 2.304 | 23.24 | 7.56 |

LAMPIRAN 2

Analisa XRD Zeolit Alam Aktif (ZAA)

| No. | Pos. [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] | FWHM [°2Th.] | Area [cts*°2Th.] | Height [cts] |
|-----|--------------|---------------|---------------|--------------|------------------|--------------|
| 1 | 13.5041 | 6.5571 | 17.33 | 0.3149 | 10.66 | 34.32 |
| 2 | 15.204 | 5.82759 | 5.65 | 0.6298 | 6.95 | 11.18 |
| 3 | 19.6494 | 4.51808 | 13.24 | 0.2362 | 6.11 | 26.23 |
| 4 | 20.9532 | 4.23979 | 31.15 | 0.2362 | 14.37 | 61.69 |
| 5 | 21.8807 | 4.06211 | 100 | 0.1968 | 38.45 | 198.04 |
| 6 | 23.536 | 3.78004 | 26.34 | 0.3936 | 20.26 | 52.17 |
| 7 | 25.7115 | 3.46493 | 41.26 | 0.2362 | 19.04 | 81.72 |
| 8 | 26.6556 | 3.34431 | 37.81 | 0.2362 | 17.44 | 74.88 |
| 9 | 27.6807 | 3.22275 | 56.75 | 0.1968 | 21.82 | 112.38 |
| 10 | 29.7708 | 3.00108 | 13.94 | 0.3149 | 8.58 | 27.61 |
| 11 | 35.8936 | 2.50196 | 18.6 | 0.6298 | 22.88 | 36.83 |
| 12 | 39.3158 | 2.29171 | 7.67 | 0.2362 | 3.54 | 15.2 |
| 13 | 41.666 | 2.16771 | 8.07 | 0.2755 | 4.35 | 15.99 |
| 14 | 42.5526 | 2.12458 | 6.99 | 0.4723 | 6.45 | 13.85 |
| 15 | 44.5383 | 2.03436 | 4.3 | 0.9446 | 7.93 | 8.51 |
| 16 | 46.8818 | 1.93799 | 6.22 | 0.6298 | 7.65 | 12.32 |
| 17 | 48.6324 | 1.87224 | 5.65 | 0.2755 | 3.04 | 11.2 |
| 18 | 50.8767 | 1.7948 | 9.68 | 0.6298 | 11.91 | 19.18 |
| 19 | 57.0011 | 1.61565 | 6.52 | 0.9446 | 12.04 | 12.92 |
| 20 | 61.8194 | 1.50079 | 7.19 | 0.4723 | 6.63 | 14.23 |
| 21 | 67.7642 | 1.38174 | 5.57 | 0.768 | 11.3 | 11.03 |

LAMPIRAN 3

Analisa XRD Katalis A

| No. | Pos. [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] | FWHM [°2Th.] | Area [cts*°2Th.] | Height [cts] |
|-----|--------------|---------------|---------------|--------------|------------------|--------------|
| 1 | 13.4627 | 6.57716 | 17.59 | 0.2362 | 5.73 | 24.62 |
| 2 | 15.1875 | 5.83386 | 7.17 | 0.4723 | 4.68 | 10.04 |
| 3 | 21.7974 | 4.07745 | 100 | 0.2755 | 38.04 | 139.97 |
| 4 | 23.5334 | 3.78046 | 28.4 | 0.3936 | 15.44 | 39.76 |
| 5 | 25.6335 | 3.4753 | 42.57 | 0.2362 | 13.88 | 59.59 |
| 6 | 27.6274 | 3.22885 | 69.5 | 0.1968 | 18.89 | 97.28 |
| 7 | 30.1434 | 2.96482 | 11.63 | 0.6298 | 10.11 | 16.28 |
| 8 | 31.6614 | 2.82606 | 34.18 | 0.2362 | 11.14 | 47.84 |
| 9 | 33.5396 | 2.67197 | 11.17 | 0.2362 | 3.64 | 15.63 |
| 10 | 35.968 | 2.49695 | 24.7 | 0.3149 | 10.74 | 34.58 |
| 11 | 44.0704 | 2.05487 | 11.25 | 1.2595 | 19.57 | 15.75 |
| 12 | 50.8116 | 1.79694 | 11.31 | 0.4723 | 7.38 | 15.83 |
| 13 | 54.7124 | 1.6777 | 10.18 | 0.3149 | 4.43 | 14.25 |
| 14 | 56.6685 | 1.62434 | 5.78 | 0.9446 | 7.54 | 8.1 |
| 15 | 61.5884 | 1.50587 | 8.05 | 0.4723 | 5.25 | 11.27 |
| 16 | 63.1347 | 1.47266 | 8.62 | 0.6298 | 7.5 | 12.07 |
| 17 | 68.5236 | 1.3694 | 5.05 | 1.8893 | 13.19 | 7.08 |
| 18 | 75.5485 | 1.25752 | 9.59 | 1.536 | 27.5 | 13.43 |

Analisa XRD Katalis B

| No. | Pos. [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] | FWHM [°2Th.] | Area [cts*°2Th.] | Height [cts] |
|-----|--------------|---------------|---------------|--------------|------------------|--------------|
| 1 | 13.6169 | 6.50305 | 13.26 | 0.3149 | 4.78 | 15.38 |
| 2 | 19.7593 | 4.49318 | 14.02 | 0.4723 | 7.57 | 16.25 |
| 3 | 21.9523 | 4.04904 | 100 | 0.3936 | 45.02 | 115.96 |
| 4 | 23.6796 | 3.75744 | 26.73 | 0.2362 | 7.22 | 30.99 |
| 5 | 24.5602 | 3.62469 | 18.39 | 0.2362 | 4.97 | 21.33 |
| 6 | 25.8784 | 3.44296 | 36.17 | 0.2362 | 9.77 | 41.95 |
| 7 | 27.8444 | 3.20418 | 61.55 | 0.2362 | 16.63 | 71.38 |
| 8 | 29.8882 | 2.98956 | 13.08 | 0.3149 | 4.71 | 15.16 |
| 9 | 31.1501 | 2.87127 | 11.21 | 0.6298 | 8.08 | 13 |
| 10 | 33.6397 | 2.66426 | 18.95 | 0.2755 | 5.97 | 21.98 |
| 11 | 36.1462 | 2.48505 | 38.54 | 0.4723 | 20.82 | 44.69 |
| 12 | 41.5561 | 2.17319 | 13.19 | 0.551 | 8.31 | 15.29 |
| 13 | 44.0092 | 2.05758 | 13.19 | 1.8893 | 28.49 | 15.29 |
| 14 | 50.1435 | 1.81931 | 12.41 | 0.3149 | 4.47 | 14.39 |
| 15 | 54.8053 | 1.67507 | 17.47 | 0.6298 | 12.58 | 20.26 |
| 16 | 63.2895 | 1.46943 | 13.08 | 0.551 | 8.25 | 15.17 |
| 17 | 64.9211 | 1.43639 | 12.89 | 0.4723 | 6.96 | 14.95 |
| 18 | 76.2325 | 1.24793 | 4.56 | 1.152 | 8.13 | 5.29 |

LAMPIRAN 4

Analisa XRD Katalis C

| No. | Pos. [°2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] | FWHM [°2Th.] | Area [cts*°2Th.] | Height [cts] |
|-----|--------------|---------------|---------------|--------------|------------------|--------------|
| 1 | 13.5142 | 6.55223 | 20.49 | 0.2362 | 4.8 | 20.62 |
| 2 | 22.0211 | 4.03653 | 100 | 0.1968 | 19.54 | 100.65 |
| 3 | 23.6666 | 3.75948 | 30.66 | 0.3149 | 9.58 | 30.85 |
| 4 | 24.4949 | 3.6342 | 27.62 | 0.2362 | 6.48 | 27.8 |
| 5 | 25.8296 | 3.44936 | 38.22 | 0.2362 | 8.96 | 38.47 |
| 6 | 26.6525 | 3.34469 | 36.04 | 0.2362 | 8.45 | 36.28 |
| 7 | 27.8215 | 3.20675 | 74.49 | 0.1574 | 11.64 | 74.97 |
| 8 | 30.8662 | 2.89703 | 14.68 | 0.7872 | 11.47 | 14.77 |
| 9 | 33.7133 | 2.65861 | 30.53 | 0.2362 | 7.16 | 30.73 |
| 10 | 36.1573 | 2.48431 | 63.69 | 0.1968 | 12.45 | 64.11 |
| 11 | 41.4705 | 2.17748 | 17.32 | 0.3149 | 5.42 | 17.43 |
| 12 | 44.2536 | 2.04678 | 13.72 | 0.9446 | 12.86 | 13.81 |
| 13 | 50.1294 | 1.81979 | 14.85 | 0.4723 | 6.96 | 14.94 |
| 14 | 54.8061 | 1.67505 | 40.08 | 0.2362 | 9.4 | 40.34 |
| 15 | 56.8747 | 1.61894 | 9.03 | 0.9446 | 8.47 | 9.09 |
| 16 | 63.3339 | 1.4685 | 16.81 | 0.4723 | 7.88 | 16.92 |
| 17 | 64.7893 | 1.43899 | 18.99 | 0.3936 | 7.42 | 19.12 |
| 18 | 73.1632 | 1.29252 | 9.34 | 1.152 | 14.44 | 9.4 |

LAMPIRAN 5

Analisa BET

| Kode | Luas Permukaan (m ² /g) | Total Volume Pori (cc/g) | Diameter Pori (Å) |
|-----------|---------------------------------------|-----------------------------|----------------------|
| ZA | 37.35 | 0.1104 | 118.238 |
| ZAA | 71.89 | 0.1169 | 65.051 |
| Katalis A | 84.36 | 0.1116 | 52.9134 |
| Katalis B | 72.47 | 0.1085 | 59.8624 |
| Katalis C | 64.61 | 0.1092 | 67.5825 |

Analisa AAS

| Kode | Kadar logam (ppm) | |
|------|-------------------|----------|
| | Si | Al |
| ZA | 338625.3 | 16581.38 |
| ZAA | 127111.03 | 468.1 |

| Kode | Kadar logam (gr) | | Kadar logam (mol) | | Rasio Si/Al |
|------|------------------|--------|-------------------|-----------|----------------|
| | Si | Al | Si | Al | |
| ZA | 0.3386 | 0.0166 | 0.0120670 | 0.0006153 | 19.61 |
| ZAA | 0.1271 | 0.0005 | 0.0045296 | 0.0000174 | 260.02 |

Ppm = μg logam/gr sampel

Mol = gr logam/Mr logam, dimana Mr Al = 26,98 gr/mol dan Si = 28,09 gr/mol

(Lanjutan)

Kadar logam dalam katalis

| kode | Logam yang diimpregnasi (%b/b) | | Logam yang terimpregsi (%b/b) | |
|-----------|--------------------------------|----|-------------------------------|------|
| | Ni | Cr | Ni | Cr |
| Katalis A | 4 | 4 | 1.81 | 1.32 |
| Katalis B | 4 | 6 | 1.80 | 1.91 |
| Katalis C | 4 | 8 | 2.37 | 2.38 |

| Kode | Total logam (Ni+Cr) yang diimpregnasi (%b/b) | Total logam (Ni+Cr) yang terimpregnasi (%b/b) |
|-----------|--|---|
| Katalis A | 8 | 3.13 |
| Katalis B | 10 | 3.72 |
| Katalis C | 12 | 4.75 |

| Kode | Efisiensi impregnasi (%) | | Efisiensi impregnasi (%) Ni+Cr |
|-----------|--------------------------|-------|-----------------------------------|
| | Ni | Cr | |
| Katalis A | 45.25 | 33 | 39.13 |
| Katalis B | 45 | 31.83 | 37.2 |
| Katalis C | 59.25 | 29.75 | 39.58 |

$$* \text{efisiensi impregnasi} = \frac{\text{logam yang terimpregnasi (\%b/b)}}{\text{logam yang diimpregnasi (\%b/b)}} \times 100\%$$

LAMPIRAN 6

Analisa Adsorpsi Amonia

| Kode | Massa wadah (gr) | Massa sampel (gr) | Massa sebelum (gr) (Massa wadah+sampel) |
|-----------|------------------|-------------------|--|
| ZA | 28.9685 | 0.5018 | 29.4703 |
| ZAA | 28.9608 | 0.5029 | 29.4637 |
| Katalis A | 28.9594 | 0.5003 | 29.4597 |
| Katalis B | 28.5889 | 0.5005 | 29.0894 |
| Katalis C | 29.0637 | 0.5028 | 29.5665 |

| Kode | Massa sebelum reaksi (gr) | Massa sesudah reaksi (gr) | Selisih massa (gr) (Massa amonia terserap) |
|-----------|---------------------------|---------------------------|---|
| ZA | 29.4703 | 29.4771 | 0.0068 |
| ZAA | 29.4637 | 29.4741 | 0.0104 |
| Katalis A | 29.4597 | 29.4749 | 0.0152 |
| Katalis B | 29.0894 | 29.1061 | 0.0167 |
| Katalis C | 29.5665 | 29.5811 | 0.0146 |

* $\text{massa amonia terserap, } m = \text{massa sesudah reaksi} - \text{massa sebelum reaksi}$

| Kode | Massa amonia terserap, m (mg) | Mol amonia terserap, n (mmol) |
|-----------|------------------------------------|------------------------------------|
| ZA | 6.8 | 0.3993 |
| ZAA | 10.4 | 0.6107 |
| Katalis A | 15.2 | 0.8925 |
| Katalis B | 16.7 | 0.9806 |
| Katalis C | 14.6 | 0.8573 |

* $M_r \text{ NH}_3 = 17.0304 \text{ mg/mmol}$

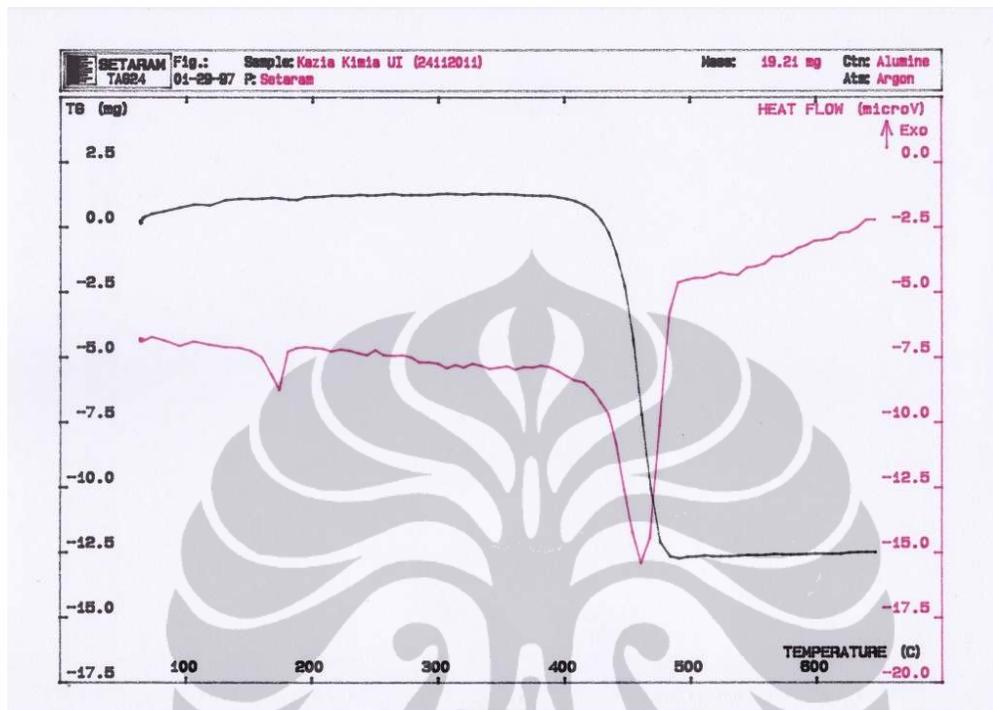
$$* n_{\text{NH}_3} = \frac{m_{\text{NH}_3}}{M_r \text{ NH}_3}$$

| Kode | Total asam mmol NH ₃ /gr sampel |
|-----------|---|
| ZA | 0.7957 |
| ZAA | 1.2143 |
| Katalis A | 1.7840 |
| Katalis B | 1.9592 |
| Katalis C | 1.7050 |

$$* \text{Total asam} = \frac{\text{mol NH}_3 \text{ (mmol)}}{\text{massa sampel (gr)}}$$

LAMPIRAN 7

Analisa DTA-TG Polipropilena



LAMPIRAN 8

**Analisa GC-FID Bensin (Premium) dan Produk Perengkahan Termal
Polipropilena**

| No. | K o m p o n e n | Konsentrasi (% berat) | |
|--------|------------------------|-----------------------|--------|
| | | Bensin | Termal |
| 1 | METANA | 0 | 0 |
| 2 | ETANA | 0 | 0 |
| 3 | PROPANA (C3) | 0.11 | 0 |
| 4 | BUTANA (C4) | 1.06 | 0.06 |
| 5 | PENTANA (C5) | 21.44 | 1.96 |
| 6 | HEKSANA (C6) | 20.85 | 5.05 |
| 7 | HEPTANA (C7) | 18.29 | 2.36 |
| 8 | OKTANA (C8) | 15.81 | 2.98 |
| 9 | NONANA (C9) | 10.23 | 27.41 |
| 10 | DEKANA (C10) | 5.51 | 1.88 |
| 11 | UNDEKANA (C11) | 2.85 | 4.46 |
| 12 | DODEKANA (C12) | 2.48 | 2.35 |
| 13 | TRIDEKANA (C13) | 1.07 | 6.37 |
| 14 | TETRADEKANA (C14) | 0.3 | 8.95 |
| 15 | PENTADEKANA (C15) | 0 | 1.32 |
| 16 | HEKSADEKANA (C16) | 0 | 5.59 |
| 17 | HEPTADEKANA (C17) | 0 | 0.87 |
| 18 | OKTADEKANA (C18) | 0 | 7.08 |
| 19 | NONADEKANA (C19) | 0 | 0.75 |
| 20 | EIKOSANA (C20) | 0 | 2.16 |
| 21 | HENEIKOSANA (C21) | 0 | 1.7 |
| 22 | DOKOSANA (C22) | 0 | 1.52 |
| 23 | TRIKOSANA (C23) | 0 | 1.95 |
| 24 | TETRAKOSANA (C24) | 0 | 0.79 |
| 25 | PENTAKOSANA (C25) | 0 | 1.14 |
| 26 | HEKSAKOSANA (C26) | 0 | 0.92 |
| 27 | HEPTAKOSANA (C27) | 0 | 1.22 |
| 28 | OKTAKOSANA (C28) | 0 | 0.59 |
| 29 | NONAKOSANA (C29) | 0 | 1.26 |
| 30 | TRIAKONTANA (C30) plus | 0 | 0.35 |
| 31 | HENETRIAKONTANA (C31) | 0 | 0.8 |
| 32 | DOTRIAKONTANA (C32) | 0 | 0.38 |
| 33 | TRITRIAKONTANA (C33) | 0 | 0.69 |
| 34 | TETRATRIAKONTANA (C34) | 0 | 0.25 |
| 35 | PENTATRIAKONTANA (C35) | 0 | 0.77 |
| 36 | HEKSATRIAKONTANA (C36) | 0 | 0.44 |
| 37 | HEPTATRIAKONTANA (C37) | 0 | 1.06 |
| 38 | OKTATRIAKONTANA (C38) | 0 | 0.12 |
| 39 | NONATRIAKONTANA (C39) | 0 | 0.5 |
| 40 | TETRAKONTANA (C40) | 0 | 1.95 |
| Jumlah | | 100 | 100 |

LAMPIRAN 9

Analisa GC-FID Produk Perengkahan Polipropilena dengan Katalis A, B, dan C Pada Suhu 400°C

| No. | K o m p o n e n | Konsentrasi (% berat) | | |
|--------|------------------------|-----------------------|-----------|-----------|
| | | Katalis A | Katalis B | Katalis C |
| 1 | METANA | 0.07 | 0 | 0 |
| 2 | ETANA | 0.01 | 0 | 0 |
| 3 | PROPANA (C3) | 0.01 | 0 | 0 |
| 4 | BUTANA (C4) | 1.87 | 0.22 | 0.53 |
| 5 | PENTANA (C5) | 1.92 | 0.12 | 0.31 |
| 6 | HEKSANA (C6) | 11.65 | 3.02 | 5.14 |
| 7 | HEPTANA (C7) | 8.71 | 2.83 | 4.12 |
| 8 | OKTANA (C8) | 15.62 | 4.35 | 16.9 |
| 9 | NONANA (C9) | 21.09 | 37.32 | 24.85 |
| 10 | DEKANA (C10) | 2.01 | 2.67 | 2.56 |
| 11 | UNDEKANA (C11) | 5.24 | 7.28 | 6.59 |
| 12 | DODEKANA (C12) | 1.49 | 1.39 | 1.61 |
| 13 | TRIDEKANA (C13) | 9.46 | 13.82 | 12.7 |
| 14 | TETRADEKANA (C14) | 1.08 | 1.22 | 1.11 |
| 15 | PENTADEKANA (C15) | 2.48 | 3.29 | 2.59 |
| 16 | HEKSADEKANA (C16) | 2.68 | 3.39 | 3.66 |
| 17 | HEPTADEKANA (C17) | 1.31 | 1.92 | 1.2 |
| 18 | OKTADEKANA (C18) | 3.57 | 4.91 | 5.37 |
| 19 | NONADEKANA (C19) | 0.69 | 0.9 | 0.84 |
| 20 | EIKOSANA (C20) | 1.3 | 1.83 | 1.86 |
| 21 | HENEIKOSANA (C21) | 0.38 | 0.4 | 0.54 |
| 22 | DOKOSANA (C22) | 1.1 | 1.57 | 1.46 |
| 23 | TRIKOSANA (C23) | 0.44 | 1.38 | 0.75 |
| 24 | TETRAKOSANA (C24) | 0.7 | 0.22 | 0.82 |
| 25 | PENTAKOSANA (C25) | 0.25 | 2 | 0.35 |
| 26 | HEKSAKOSANA (C26) | 1.23 | 0.47 | 0.55 |
| 27 | HEPTAKOSANA (C27) | 0.61 | 0.81 | 0.46 |
| 28 | OKTAKOSANA (C28) | 0.4 | 0.66 | 0.51 |
| 29 | NONAKOSANA (C29) | 0.4 | 0.32 | 0.4 |
| 30 | TRIAKONTANA (C30) plus | 0.29 | 0.28 | 0.3 |
| 31 | HENETRIAKONTANA (C31) | 0.29 | 0.26 | 0.44 |
| 32 | DOTRIAKONTANA (C32) | 0.3 | 0.14 | 0.29 |
| 33 | TRITRIAKONTANA (C33) | 0.23 | 0.82 | 0.29 |
| 34 | TETRATRIAKONTANA (C34) | 0.48 | 0.12 | 0.23 |
| 35 | PENTATRIAKONTANA (C35) | 0.38 | 0.1 | 0.27 |
| 36 | HEKSATRIAKONTANA (C36) | 0.06 | 0 | 0.07 |
| 37 | HEPTATRIAKONTANA (C37) | 0.19 | 0 | 0.3 |
| 38 | OKTATRIAKONTANA (C38) | 0 | 0 | 0.06 |
| 39 | NONATRIAKONTANA (C39) | 0 | 0 | 0 |
| 40 | TETRAKONTANA (C40) | 0 | 0 | 0 |
| Jumlah | | 100 | 100 | 100 |

LAMPIRAN 10

**Analisa GC-FID Produk Perengkahan Polipropilena dengan Katalis A, B,
dan C Pada Suhu 450°C**

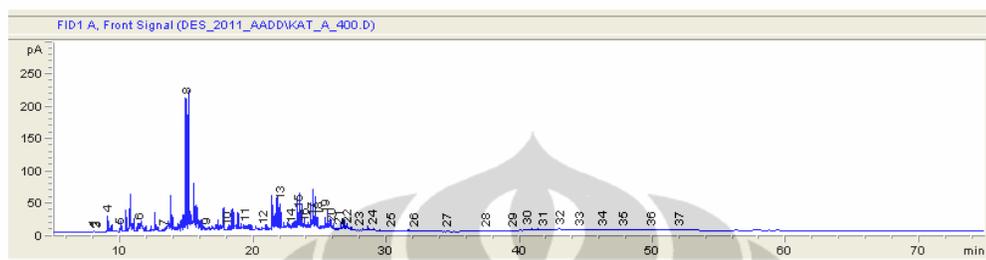
| No. | K o m p o n e n | Konsentrasi (% berat) | | |
|--------|------------------------|-----------------------|-----------|-----------|
| | | Katalis A | Katalis B | Katalis C |
| 1 | METANA | 0 | 0 | 0 |
| 2 | ETANA | 0 | 0 | 0 |
| 3 | PROPANA (C3) | 0.03 | 0.04 | 0 |
| 4 | BUTANA (C4) | 0.01 | 0.01 | 0 |
| 5 | PENTANA (C5) | 1.35 | 3.07 | 0.72 |
| 6 | HEKSANA (C6) | 5.53 | 8.92 | 5.02 |
| 7 | HEPTANA (C7) | 6.15 | 10.2 | 3.44 |
| 8 | OKTANA (C8) | 4.48 | 6.25 | 3.97 |
| 9 | NONANA (C9) | 37.83 | 38.02 | 40.78 |
| 10 | DEKANA (C10) | 2.42 | 3.17 | 2.07 |
| 11 | UNDEKANA (C11) | 6.19 | 6.36 | 6.97 |
| 12 | DODEKANA (C12) | 1.47 | 1.86 | 1.64 |
| 13 | TRIDEKANA (C13) | 10.55 | 6.97 | 11.67 |
| 14 | TETRADEKANA (C14) | 2.63 | 2.04 | 3.38 |
| 15 | PENTADEKANA (C15) | 2.75 | 2.27 | 2.76 |
| 16 | HEKSADEKANA (C16) | 3.03 | 1.88 | 3.62 |
| 17 | HEPTADEKANA (C17) | 1.45 | 0.85 | 1.33 |
| 18 | OKTADEKANA (C18) | 4.72 | 2.62 | 5.06 |
| 19 | NONADEKANA (C19) | 0.42 | 0.64 | 0.72 |
| 20 | EIKOSANA (C20) | 2.38 | 0.95 | 1.46 |
| 21 | HENEIKOSANA (C21) | 1.39 | 0.28 | 0.62 |
| 22 | DOKOSANA (C22) | 0.48 | 0.73 | 1.12 |
| 23 | TRIKOSANA (C23) | 0.77 | 0.18 | 0.56 |
| 24 | TETRAKOSANA (C24) | 0.22 | 0.47 | 0.59 |
| 25 | PENTAKOSANA (C25) | 0.5 | 0.15 | 0.24 |
| 26 | HEKSAKOSANA (C26) | 0.31 | 0.34 | 0.29 |
| 27 | HEPTAKOSANA (C27) | 0.64 | 0.19 | 0.29 |
| 28 | OKTAKOSANA (C28) | 0.52 | 0.36 | 0.31 |
| 29 | NONAKOSANA (C29) | 0.24 | 0.3 | 0.38 |
| 30 | TRIAKONTANA (C30) plus | 0.28 | 0.15 | 0.13 |
| 31 | HENETRIAKONTANA (C31) | 0.28 | 0.18 | 0.17 |
| 32 | DOTRIAKONTANA (C32) | 0.22 | 0.19 | 0.15 |
| 33 | TRITRIAKONTANA (C33) | 0.21 | 0.11 | 0.15 |
| 34 | TETRATRIAKONTANA (C34) | 0.08 | 0.13 | 0.11 |
| 35 | PENTATRIAKONTANA (C35) | 0.15 | 0.08 | 0.09 |
| 36 | HEKSATRIAKONTANA (C36) | 0.1 | 0.03 | 0.08 |
| 37 | HEPTATRIAKONTANA (C37) | 0.09 | 0 | 0.07 |
| 38 | OKTATRIAKONTANA (C38) | 0.08 | 0 | 0.04 |
| 39 | NONATRIAKONTANA (C39) | 0.03 | 0 | 0 |
| 40 | TETRAKONTANA (C40) | 0.01 | 0 | 0 |
| Jumlah | | 100 | 100 | 100 |

LAMPIRAN 11

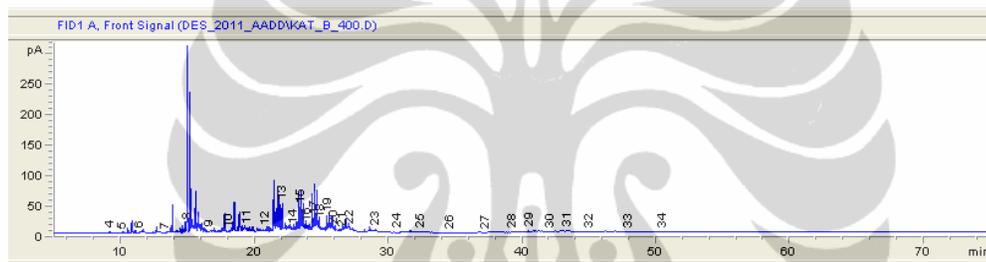
Kromatogram Hasil Perengkahan Polipropilena dengan Katalis A, B, dan C
Pada Suhu 400°C

Katalis

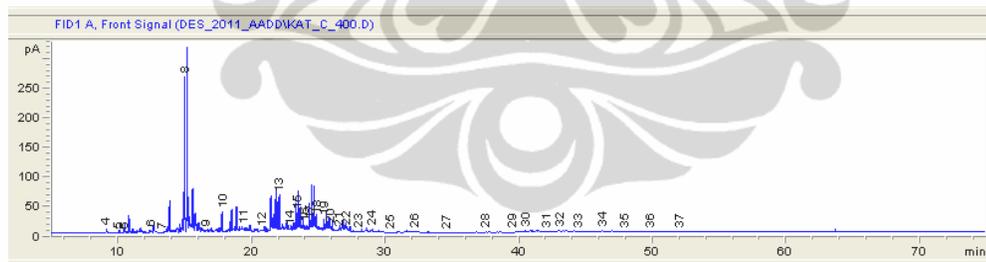
A



Katalis B



Katalis C

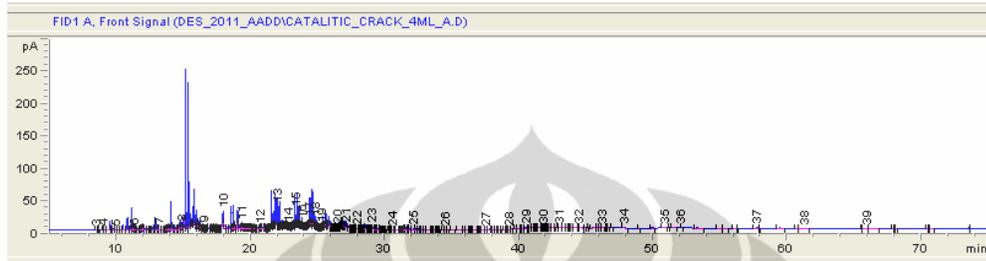


LAMPIRAN 12

Kromatogram Hasil Perengkahan Polipropilena dengan Katalis A, B, dan C
Pada Suhu 450°C

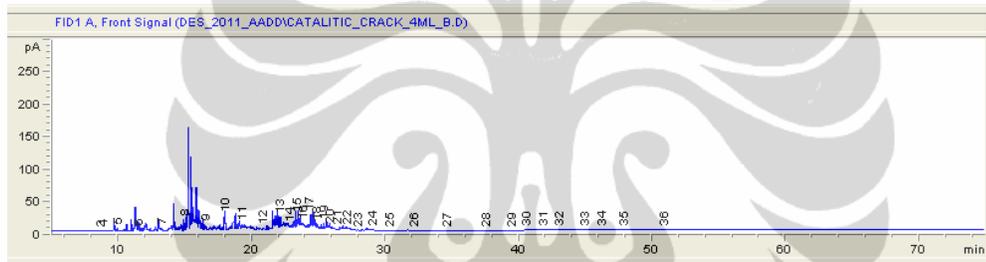
Katalis

A



Katalis

B



Katalis

C

