



UNIVERSITAS INDONESIA

**Kinerja Katalis Praseodimium Oksida/Alumina untuk
Meningkatkan Bilangan Oktan Bensin**

SARI PRATIWI
(0806456820)

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK, JANUARI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**Kinerja Katalis Praseodimium Oksida/Alumina untuk
Meningkatkan Bilangan Oktan Bensin**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

SARI PRATIWI

(0806456820)

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
DEPOK, JANUARI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : SARI PRATIWI

NPM : 0806456820

Tanda Tangan :

Tanggal : 19 Januari 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Sari Pratiwi
NPM : 0806456820
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi :

KINERJA KATALIS PRASEODIMIUM OKSIDA/ALUMINA UNTUK MENINGKATKAN BILANGAN OKTAN BENSIN

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I	: Ir. Dewi Tristantini, M.T., PhD.	(.....)
Pembimbing II	: Dr. Eny Kusriani, S.Si	(.....)
Penguji I	: Dr. Ir. Sukirno, M.Eng	(.....)
Penguji II	: Prof. Dr. Ir. M. Nasikin, M.Eng	(.....)
Penguji II	: Elsa Krisanti Mulia, PhD.	(.....)

Ditetapkan di : Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Tanggal : 19 Januari 2012

KATA PENGANTAR

Puji Syukur saya panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan anugerah-Nyalah skripsi ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya.

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk melengkapi persyaratan menjadi Sarjana Teknik Kimia di Universitas Indonesia dan menambah pengetahuan dan wawasan mahasiswa mengenai topik pembuatan katalis untuk reaksi amidasi dari aldehyd dan amina.

Dalam penyelesaian skripsi ini, saya banyak mengalami kesulitan, namun berkat bimbingan dari berbagai pihak, akhirnya makalah ini dapat terselesaikan, walaupun masih banyak kekurangannya. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Ir. Dewi Tristantini, M.T., PhD yang sangat sabar dalam memberikan pengarahan dan bimbingannya kepada saya serta telah memberikan kepercayaan, kesempatan, dan support kepada saya.
2. Ibu Dr. Eny Kusriani, S. Si sebagai pembimbing kedua saya.
3. Bapak Dr. Ir. Sukirno, M.Eng, Prof. Dr. Ir. M. Nasikin, M.Eng dan Ibu Elsa K, PhD selaku dewan penguji
4. Bapak Ir. Murdiman dan Ibu Murdiati, S.Pd , selaku orang tua saya yang selalu mendoakan yang terbaik untuk saya
5. Denar Mawatama, SE., Reawal Pandega, SE, dan Putri Sawitri, selaku saudara kandung saya yang selalu membantu saya.
6. Mang Ijal, Mang Djajat, Mas Taufik, Mas Heri, Mas Eko, dan Mbak Tiwi atas bantuan mereka selama proses penelitian di laboratorium DTK
7. Teman- teman TK 2008, dan senior atas support nya.
8. Dan semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung yang tidak dapat disebutkan satu per satu

Harapan penulis, skripsi ini dapat membuat pembaca mengerti tentang pemanfaatan lantanida khususnya katalis praseodimium termodifikasi untuk meningkatkan bilangan oktan bensin serta bermanfaat bagi pembaca

Penulis menyadari skripsi ini masih banyak memiliki kekurangan. Oleh karena itu, saya sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang positif agar skripsi ini dapat menjadi lebih baik dan berdaya guna di masa yang akan datang.

Depok, Januari 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Sari Pratiwi
NPM : 0806456820
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

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

**Kinerja Katalis Praseodimium Oksida/Alumina untuk Meningkatkan
Bilangan Oktan Bensin**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan 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 : Departemen Teknik Kimia

Pada tanggal : Kamis, 19 Januari 2012

Yang menyatakan

(Sari Pratiwi)

(Sari Pratiwi)



ABSTRAK

Nama : Sari Pratiwi
NPM : 0806456820
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Kinerja Katalis Praseodimium Oksida/Alumina untuk Meningkatkan Bilangan Oktan Bensin

Katalis Praseodimium oksida/alumina ($\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) dengan variasi kandungan praseodimium (0,01 – 0,03 % (b/b)) dipreparasi secara *dry-impregnation* menggunakan larutan garam $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ pada penyangga $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$. Katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ diuji aktivitasnya untuk meningkatkan bilangan oktan bensin. Reaksi dilakukan dalam reaktor *batch* berpengaduk pada tekanan atmosferik dan suhu 40°C dengan waktu bervariasi 20, 50, dan 80 menit. Katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ menunjukkan keaktifan dalam menaikkan bilangan oktan. Katalis yang dihasilkan dikarakterisasi dengan BET, ICPS, dan SEM-EDX. Kenaikan bilangan oktana bensin dianalisis menggunakan *octane meter*. Dari hasil *octane-meter* diketahui peningkatan bilangan oktan bensin tertinggi sebesar 1,9 dengan menggunakan katalis 0,03% $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Berdasarkan GC-MS, kenaikan bilangan oktan bensin dianalisis melalui % *peak area* masing-masing senyawa C8 hidrokarbon bercabang dan benzena sebesar 4,39 dan 26,08% berbanding dengan 4,16 dan 24,06% untuk bensin komersial. Bilangan oktan meningkat dengan penambahan prosentase praseodimium dalam katalis, namun tidak dipengaruhi waktu reaksi. Metode *dry-impregnation* berhasil dilakukan terbukti dengan terjadinya penurunan luas permukaan katalis seiring penambahan praseodimium. SEM menunjukkan adanya praseodimium di permukaan alumina, sedangkan analisis EDX dan ICPS mengidentifikasi adanya kandungan aluminium yang menurun sesuai dengan penambahan praseodimium.

Kata kunci : Alumina; Bensin; Bilangan oktan; Praseodimium

ABSTRACT

Name : Sari Pratiwi
Student number : 0806456820
Major : Chemical Engineering
Script title : Performance of Praseodymium Oxide/Alumina Catalyst to increase the Gasoline Octane Number

Praseodymium oxide/alumina oxide ($\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$) Catalyst with various compositions of PrO_2 (0,01-0,03 wt%) are prepared by dry-impregnation using salt solution $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ as support. The activeness of Catalyst $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ is tested to increase gasoline octane number. This reaction is done in stirred reactor batch at atmospheric pressure and temperature around 40°C with time variations of 20, 50, and 80 minutes. $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ catalyst shows the activeness in increasing octane number. Catalyst is characterized using BET, ICPS, and SEM-EDX methods. Gasoline is analyzed using octane meter and GC-MS. From the result of octane meter, it shows the increasing of gasoline octane number, which used 0,03% $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ catalyst showed the highest octane number increase up to 1,9. Besides that, the increasing of octane number is analyzed through the increase of %peak area of iso-octane and benzene compound from GC-MS as 4,39 and 26,08 respectively compared to 4,16 and 24,06% of commercial gasoline. Octane number increase with the increment of praseodymium percentages in catalyst, but it doesn't influent the reaction time. Dry-impregnation method is successfully done proofed by the reduction of catalyst surface area with the increment of Praseodymium. SEM shows that the existing of PrO_2 on Al_2O_3 surface, but the EDX and ICPS analysis identify the decreasing of aluminium composition with the increment of praseodymium.

Keyword : Alumina; gasoline; octane number; praseodymium

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan	3
2. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Bensin	4
2.2 Reaksi – reaksi dalam Meningkatkan Bilangan Oktan	10
2.2.1 <i>Catalytic Cracking</i>	10
2.2.2 Isomerisasi.....	13
2.3 Katalis	14
2.3.1 <i>Support</i>	15
2.3.2 <i>Active Site</i>	16
2.4 Katalis PrO ₂ /Al ₂ O ₃	18
2.4.1 Mekanisme Reaksi Katalis PrO ₂ /Al ₂ O ₃ dalam Meningkatkan Bilangan Oktan Bensin.....	18
2.4.2 Metode preparasi dan karakterisasi katalis PrO ₂ /Al ₂ O ₃	19
3. METODE PENELITIAN	21
3.1 Variabel Bebas dan Terikat.....	21
3.2 Bahan dan Alat.....	21
3.2.1 Bahan.....	21
3.2.2 Alat	22
3.3 Pelaksanaan Penelitian.....	22

3.4	Prosedur Penelitian	22
3.4.1	Pembuatan Katalis	23
3.4.2	Karakterisasi Katalis	24
3.4.2.1	BET	24
3.4.2.2	ICPS	25
3.4.2.3	SEM-EDX.....	25
3.4.3	Pengujian Aktifitas Katalis.....	25
3.4.5.1	<i>Octane-Meter</i>	27
3.4.5.2	GC-MS.....	27
4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1	Katalis yang Dihasilkan	28
4.2	Karakterisasi Katalis	28
4.2.1	BET	28
4.2.2	ICPS	29
4.2.3	SEM-EDX	30
4.3	Keaktifan Katalis dalam Meningkatkan Bilangan Oktan Bensin	32
4.3.1	<i>Octane Meter</i>	33
4.3.2	GC-MS	35
5.	KESIMPULAN DAN SARAN	37
5.1	Kesimpulan	37
5.2	Saran.....	37
	DAFTAR PUSTAKA	38
	LAMPIRAN.....	40

DAFTAR TABEL

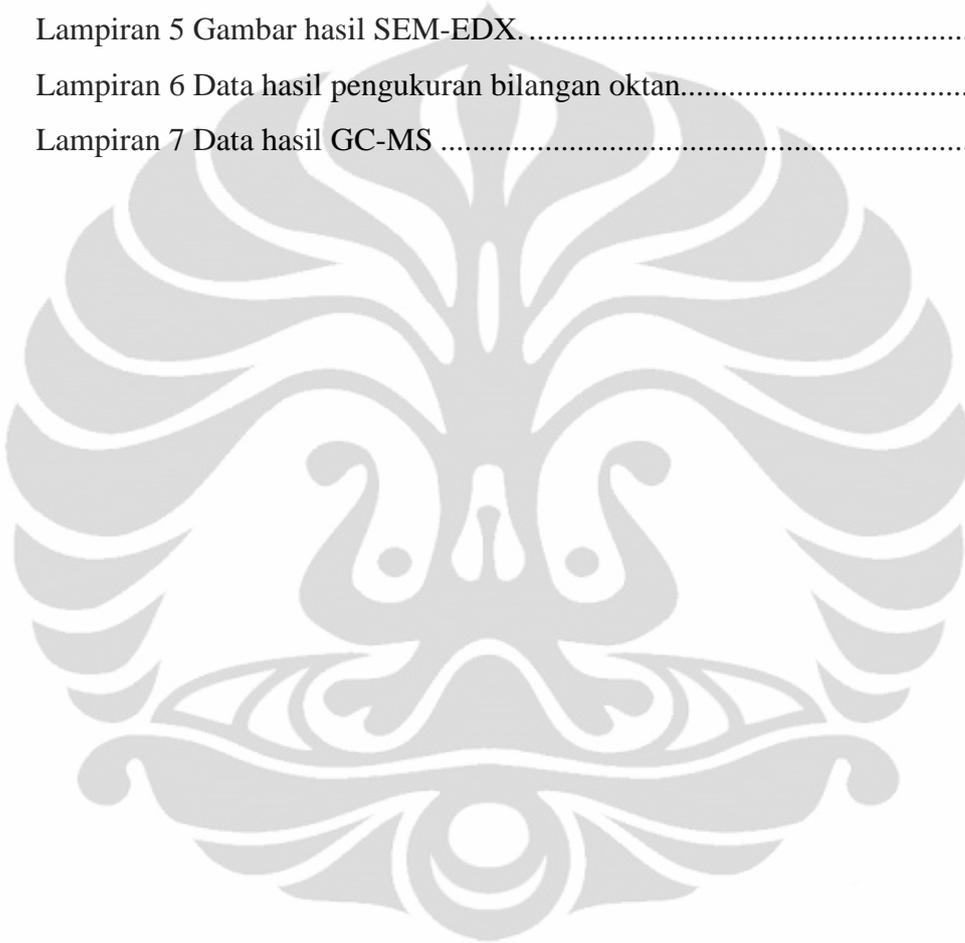
Tabel 2.1. Spesifikasi praseodimium	7
Tabel 2.2 Spesifikasi bensin dengan bilangan oktan 88	17
Tabel 2.3 Hubungan antara ΔG° dan K diprediksi dari persamaan $\Delta G^\circ = -RT \ln K$	19
Tabel 4.1 Hasil uji BET	30
Tabel 4.2 Hasil uji ICPS	31
Tabel 4.3 Hasil uji SEM-EDX	33
Tabel 4.4 Hasil Bilangan oktan bensin	34
Tabel 4.5 Hasil uji GC-MS	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Perengkahan cincin aromatic	11
Gambar 2.2 Reaksi hidrogen transfer.....	11
Gambar 2.3 Reaksi pertukaran ion karbonium	11
Gambar 2.4 Reaksi dehidrasi alumina.	16
Gambar 2.5 Sisi asam Bronsted pada alumina	16
Gambar 2.6 Reaksi konversi n-heksana	19
Gambar 2.7 <i>Dry-impregnation</i>	20
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	22
Gambar 3.2 Diagram alir pembuatan katalis.....	24
Gambar 2.3 Diagram alir uji aktifitas katalis	27
Gambar 3.4 <i>Octane meter</i> seri Shatox ZX 101C	28
Gambar 4.1 Hasil uji SEM katalis (a) Al_2O_3 (b) 0,01% $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (c) 0,03% $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	32
Gambar 4.2 Grafik pengaruh kandungan praseodimium dalam katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ terhadap bilangan oktan bensin.....	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil penelitian	40
Lampiran 2 Data hasil BET.....	41
Lampiran 3 Data hasil ICPS.....	43
Lampiran 4 Data hasil SEM-EDX	44
Lampiran 5 Gambar hasil SEM-EDX.....	45
Lampiran 6 Data hasil pengukuran bilangan oktan.....	50
Lampiran 7 Data hasil GC-MS	52



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi yang dibutuhkan di Indonesia terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi-teknologi baru yang membutuhkan energi lebih. Hal tersebut ditunjukkan dengan produksi kendaraan bermotor keluaran tahun 2005 ke atas yang memiliki mesin berteknologi terbaru, sehingga diperlukan bahan bakar berbilangan oktan yang lebih tinggi untuk menyesuaikannya (Buchanan *et al.*, 2001). Mesin kendaraan bermotor memerlukan jenis bensin dengan jumlah bilangan oktan RON yang sesuai *compression ratio* mesin itu sendiri agar dapat bekerja secara optimal. Bilangan oktan bensin dapat ditingkatkan dengan menambahkan *Tetra Ethyl Lead* (TEL), namun peneliti menemukan kelemahan TEL, yaitu dapat menimbulkan emisi bahan bakar yang membahayakan kesehatan manusia. Banyak penelitian dilakukan untuk menemukan bahan yang dapat menaikkan angka oktan bensin sebagai pengganti TEL (Khaeruddin *et al.*, 2007) diantaranya menggunakan naphthalene (Tirtoatmodjo, 2011). Salah satu proses yang dapat dilakukan untuk menaikkan bilangan oktan bensin atau *gasoline* ini dengan menggunakan reaksi *catalytic cracking* (perengkahan katalitik) yaitu reaksi merengkah dengan bantuan katalis.

Penelitian perengkahan katalitik pada umumnya menggunakan zeolit (Xian *et al.*, 2010) dan logam golongan utama (Myrstad, 1996). Penggunaan ZSM-5 dan Al pada reaksi perengkahan katalitik dapat menaikkan bilangan oktan hingga >80 pada suhu 550- 650°C (Xian *et al.*, 2010). Penambahan vanadium pada nikel meningkatkan aktifitas katalis sehingga dapat menaikkan bilangan oktan pada *gasoline* (Myrstad, 1996). Pada penelitian tersebut belum dapat dihasilkan bilangan oktan yang melebihi standar premium yaitu 88, melainkan hanya sebesar 86. Pencampuran zeolit dan logam golongan utama (Li, Mg, Ca, dan Al) yang dilakukan menghasilkan bilangan oktan yang tinggi (Lugstein *et al.*, 1998). Namun demikian, percobaan ini memerlukan biaya yang lebih mahal karena komposisi dari logam golongan utama lebih besar, sehingga kurang efisien

dalam penggunaannya. Proses peningkatan bilangan oktan bensin juga telah dilakukan oleh Vino (Hasyim, 2010). Penelitian tersebut menghasilkan peningkatan bilangan oktan bensin sebesar 1,6 dengan menggunakan katalis kompleks nano partikel Pr/EDTA/Zeolit klipnotilit.

Dalam beberapa tahun terakhir, karakterisasi berbasis campuran oksida telah menarik banyak perhatian ilmuwan untuk tekstur yang luar biasa, peningkatan kapasitas penyimpanan oksigen, dan ketahanan sintering dibandingkan dengan lantanida murni. Dilaporkan bahwa kombinasi dari dua oksida logam praseodimium dan alumina dapat memberikan aktifitas katalitik yang baik. Alumina memiliki luas permukaan yang tinggi dan stabilitas mekanis, sangat cocok sebagai penyangga katalis (Laosiripojana *et al.*, 2005). Deposisi sejumlah kecil dari lantanida ke dalam penyangga katalis dengan luas permukaan yang tinggi dapat membantu menjaga permukaan logam dan penyangganya pada temperatur tinggi dan untuk mencegah pembentukan karbon dan proses sintering dari fase logam aktif. Hal ini juga menghasilkan campuran oksida dengan redoks yang baik.

Katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dan Pr_6O_{11} juga telah dilakukan. Penelitian tersebut membuktikan bahwa katalis yang mengandung praseodimium berikatan lebih kuat dengan alumina dibandingkan praseodimium murni (Tankov *et al.*, 2011). Dalam penelitiannya, kandungan praseodimium dalam alumina divariasikan, yaitu 1, 6, 12, dan 20%. Dari variasi ini, didapat kesimpulan bahwa semakin kecil praseodimium dalam alumina, maka interaksi katalis semakin kuat. Namun penelitian tersebut belum dilakukan uji aktifitas katalis.

Katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ kemungkinan dapat digunakan untuk meningkatkan bilangan oktan bensin. Berdasarkan uraian di atas, maka pada penelitian ini dilakukan pembuatan katalis dengan metode yang sama dengan variasi kandungan praseodimium di bawah 1%, yaitu 0,01% dan 0,03% untuk diuji keaktifannya dalam meningkatkan bilangan oktan bensin.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana aktifitas katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dalam menaikkan bilangan oktan bensin?
2. Bagaimana pengaruh kandungan praseodimium terhadap sifat fisik dan sifat kimia dalam katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui keaktifan katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ untuk menaikkan bilangan oktan bensin.
2. Mengetahui pengaruh kandungan praseodimium terhadap sifat fisik dan sifat kimia dalam katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penulis membatasi permasalahan sebagai berikut :

1. Katalis yang diuji adalah katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ yang dibuat melalui metode impregnasi
2. Reaktan yang digunakan adalah bensin komersil (premium).
3. Reaktor yang digunakan adalah reaktor tumpak/batch

1.5 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi teori umum tentang hal-hal yang berkaitan dengan penelitian ini, seperti bahan-bahan dalam proses penelitian, katalis dan proses pembuatannya, serta uji kinerja katalis yang dilakukan.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

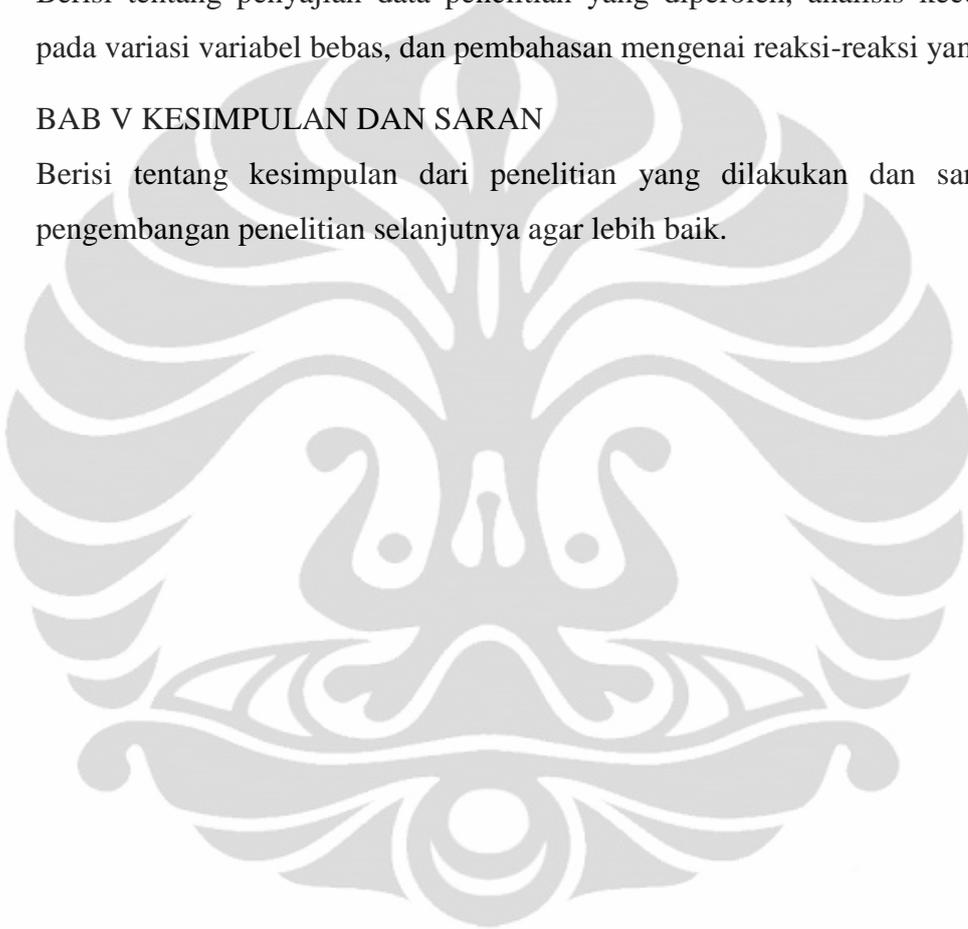
Berisi prosedur penelitian, alat dan bahan yang digunakan, analisa produk, dan pengolahan data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang penyajian data penelitian yang diperoleh, analisis kecendrungan pada variasi variabel bebas, dan pembahasan mengenai reaksi-reaksi yang terjadi.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya agar lebih baik.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bensin

Bensin sudah hampir menjadi kebutuhan pokok masyarakat dunia. Bensin merupakan cairan campuran berbagai bahan yang berasal dari minyak bumi dengan daya bakar bensin berbeda-beda menurut komposisinya. Ukuran daya bakar ini dapat dilihat dari bilangan oktan setiap campuran bensin. Di Indonesia, bensin diperdagangkan dalam dua kelompok besar: campuran standar (disebut premium dengan standar bilangan oktan adalah 88), dan bensin super (disebut juga pertamax dengan standar bilangan oktan adalah 92). Spesifikasi *gasoline* yang dibuat tersebut mencakup pertimbangan tentang kebutuhan ideal kendaraan bermotor negara bersangkutan, tingkat ekonomi negara, dan kemampuan produksinya.

Proses pembuatan *gasoline* yaitu melalui fraksinasi minyak bumi, yaitu proses pemisahan hidrokarbon berdasarkan perbedaan titik didih komponen. Golongan hidrokarbon yang utama adalah (Migas, 2006)

1. Parafin adalah kelompok senyawa hidrokarbon jenuh berantai lurus (alkana). Contohnya adalah metana, etana, n-butana, isobutana, isopentana, dan isooktana. Jumlah senyawa yang tergolong ke dalam senyawa isoparafin jauh lebih banyak daripada senyawa yang tergolong n-parafin. Tetapi, di dalam minyak bumi mentah, kadar senyawa isoparafin biasanya lebih kecil daripada n-parafin.
2. Olefin adalah kelompok senyawa hidrokarbon tidak jenuh. Contohnya etilena, propena, dan butena.
3. Naftena adalah senyawa hidrokarbon jenuh yang membentuk struktur cincin. Senyawa-senyawa kelompok naftena yang banyak ditemukan adalah senyawa yang struktur cincinnya tersusun dari 5 atau 6 atom karbon. Contohnya adalah siklopentana, metal siklopentana dan sikloheksan. Umumnya, di dalam minyak bumi mentah, naftena merupakan kelompok senyawa hidrokarbon yang memiliki kadar terbanyak kedua setelah n-parafin.

4. Aromatik adalah hidrokarbon-hidrokarbon tak jenuh yang berintikan atom-atom karbon yang membentuk cincin benzena. Contohnya benzena, metilbenzena, dan naftalena. Minyak bumi dari Sumatera dan Kalimantan umumnya memiliki kadar aromatik yang relatif besar.

Setelah fraksinasi, bensin diproses lebih lanjut untuk menaikkan bilangan oktannya. Adapun kualitas gasolin yang ditetapkan sebagai spesifikasi standar adalah yang dikeluarkan oleh *American Petroleum Institute* (API) pada tahun 2005. Secara sederhana, bensin tersusun dari hidrokarbon rantai lurus, mulai dari heptana sampai dengan dodekana. Dengan kata lain, bensin terbuat dari molekul yang hanya terdiri atas hidrogen dan karbon yang terikat satu dengan yang lainnya sehingga membentuk rantai.

Salah satu reaksi yang digunakan untuk menghasilkan bensin adalah reaksi perengkahan dengan katalis (*catalytic cracking*) khususnya untuk menghasilkan bilangan oktan yang relatif tinggi dibandingkan bensin biasa (premium). Beberapa hal yang dipertimbangkan dalam setiap perubahan spesifik bensin antara lain (Tabel 2.1)

Tabel 2.1 Spesifikasi bensin dengan bilangan oktan 88

No	Karakteristik	Satuan	Batasan			
			Tanpa Timbal		Bertimbal	
			Min	Maks	Min	Maks
1	Bilangan oktan					
	Riset Bilangan Oktan (RON)	RON	88,0		88,0	
	Motor Bilangan Oktan (MON)		Dilaporkan		Dilaporkan	
2	Stabilitas Oksidasi (Periode Induksi)	Menit	360			
3	Kandungan Sulfur	% m/m		0,05		0,05
4	Kandungan Timbal (Pb)	g/l		0,013		0,3
5	Distilasi					
	10% vol. penguapan	°C		74		74
	50% vol. penguapan	°C	88	125		125
	90% vol. penguapan	°C		180		180
	Titik didih akhir	°C		215		215
	Residu	% vol		2,0		2,0
6	Kandungan Oksigen	% m/m		2,7		2,7
7	Washed Gum	mg/100ml		5		5
8	Tekanan uap	kPa		62		62
9	Berat jenis (pada suhu 15°C)	kg/m ³	715	780	715	780
10	Korosi bilah tembaga	Menit	kelas 1		kelas 1	
11	Uji doctor		Negative		Negative	
12	Sulfur Mercaptan	% massa		0,002		0,002
13	Penampilan visual		jernih dan terang		jernih dan terang	
14	Warna		Merah		Merah	
15	Kandungan pewarna	g/100l	0,13		0,13	
16	Bau		dapat dipasarkan		dapat dipasarkan	

Sumber: Keputusan Direktur Minyak dan Gas Bumi No 3674 K/24/DJM/2006 ,17 Maret 2006

Bensin yang digunakan oleh mesin kendaraan bermotor harus memiliki bilangan oktan yang sesuai dengan kebutuhan mesin. Bilangan oktan adalah indikator dari bahan bakar untuk mesin pembakaran jenis cetus api (mesin bensin), yang menunjukkan seberapa kuat bahan bakar tersebut tidak terbakar dengan sendirinya. Hal ini sangat penting untuk sistem pembakaran pada mesin

bensin yang memanfaatkan pembakaran terkontrol yang menuntut terjadinya pembakaran dimulai dari satu titik, yaitu ujung busi. Apabila bahan bakar tersebut terbakar dengan sendirinya ketika api pembakaran yang berasal dari busi belum sampai di titik tersebut, maka akan terjadi peristiwa *knocking*. Jika *knocking* tersebut terjadi secara terus menerus dalam jangka waktu lama akan membuat goresan hingga lubang pada kepala piston. Hal ini mengakibatkan turunnya efisiensi energi hasil pembakaran yang terpakai dan menimbulkan getaran atau sentakan yang kuat pada bagian mesin dengan tidak terkontrol.

Bensin yang memiliki bilangan oktan tinggi pada mobil yang memiliki spesifikasi bilangan oktan di atas 90 membuat konsumsi bahan bakar lebih irit. Ini disebabkan bensin sedikit lebih lama terbakar sehingga mesin bisa efisien. Dengan sedikit bahan bakar jenis ini, bisa dihasilkan tenaga yang banyak, akibat reaksi seketika mudah terbakar dalam ruang bakar pembakaran menjadi sempurna sehingga dapat meningkatkan tenaga dan akselerasi. Pemakaian bensin berangka oktan tinggi yang tidak sesuai dengan spesifikasi mesin mobil hanya akan menyebabkan pemborosan.

Bilangan oktan merupakan acuan untuk mengukur kualitas suatu bensin yang digunakan sebagai bahan bakar. Bensin mengandung lebih dari 500 jenis hidrokarbon, dengan kadar yang bervariasi tergantung komposisi minyak mentah dan kualitas yang diinginkan. Pembakaran bensin yang diinginkan adalah menghasilkan dorongan mulus terhadap penurunan piston. Hal ini tergantung pada ketepatan waktu pembakaran agar jumlah energi ditransfer ke piston menjadi maksimum. Ketepatan waktu pembakaran tergantung pada jenis rantai karbon yang selanjutnya akan menentukan kualitas bensin.

Pengukuran bilangan oktan dilakukan dengan membandingkan kemampuan mencegah *knocking* antara suatu jenis bensin dengan campuran kimia antara senyawa isooktan dan n-heptana. Bensin berbilangan oktan 88, misalnya, berarti memiliki kemampuan mencegah kelitik sama dengan campuran yang terdiri atas 88 % iso-oktan dan 12 % n-heptana. Ada dua kategori angka oktan ini, yaitu *Research Octane Number* (RON) dan *Motor Octane Number* (MON). RON diperoleh dari simulasi kinerja bahan bakar saat mesin dioperasikan dalam kondisi standard an merupakan kecenderungan bensin untuk mengalami knocking pada

pengendaraan biasa, sementara MON menunjukkan kinerja bahan bakar saat mesin dioperasikan dalam kondisi lebih berat dan merupakan kecenderungan bensin untuk mengalami knocking pada kecepatan tinggi. Bilangan oktan MON bisa 10 poin lebih rendah dibandingkan angka oktan RON. Bilangan oktan yang biasa disebut secara umum merupakan nilai yang diperoleh dari rata-rata besar RON dan MON. Bilangan oktan yang diumumkan adalah rata-rata aritmatik kedua bilangan oktan tersebut yang kemudian disebut sebagai PON (Posted Octane Number). Senyawa aromatik dan parafin bercabang mempunyai angka oktan paling tinggi, sedangkan n-parafin memiliki bilangan oktan yang paling rendah. Naftenik, olefin dan parafin bercabang sedikit memiliki bilangan oktan yang sedang. Kenaikan panjang rantai hidrokarbon parafin menurunkan angka oktan.

Penambahan senyawa-senyawa organik logam berat dapat meningkatkan bilangan oktan bensin. Senyawa yang paling efektif dalam meningkatkan bilangan oktan adalah *Tetra Ethyl Lead* (TEL). Senyawa ini larut dalam bensin dan dapat mengakibatkan kenaikan yang besar pada bilangan oktan bensin yang ditambahkan. Kenaikan bilangan oktan karena penambahan TEL semakin kecil jika bilangan oktan semula semakin besar. Tetapi, penambahan TEL atau senyawa-senyawa logam berat lainnya dapat mencemari atmosfer dan menjadi racun bagi orang yang menghirupnya, maka digunakanlah senyawa-senyawa pengganti logam berat tersebut yaitu senyawa alkohol dan eter seperti metanol, etanol, Metil Tersier Butil Eter (MTBE), Etil Tersier Butil Eter (ETBE) dan Tersier Amil Metil Eter (TAME). Aditif yang berasal dari eter memiliki afinitas terhadap air yang lebih kecil daripada aditif yang berasal dari alkohol. Bensin yang dicampuri eter lebih tidak menarik air dari udara bebas (adanya air akan merusak mutu bensin).

2.2 Reaksi – Reaksi yang Berperan dalam Meningkatkan Bilangan Oktan

Peningkatan bilangan oktan dapat terjadi melalui beberapa reaksi, yaitu *catalytic cracking* dan isomerisasi

2.2.1 *Catalytic Cracking*

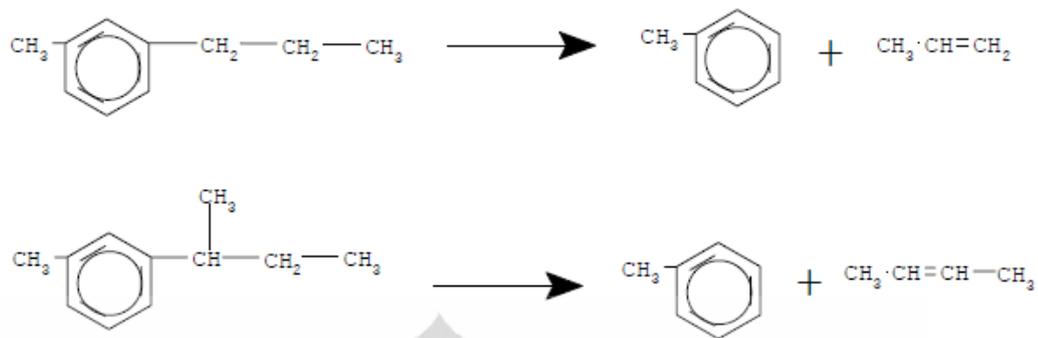
Cracking atau perengkahan hidrokarbon adalah pemutusan molekul-molekul senyawa hidrokarbon yang besar menjadi molekul-molekul senyawa hidrokarbon yang kecil. Contoh perengkahan ini adalah pengolahan minyak solar atau minyak tanah menjadi bensin. Kualitas bensin sangat ditentukan oleh sifat

anti-*knock* (ketukan) yang dinyatakan dalam bilangan oktan. Bilangan oktan 100 diberikan pada iso-oktan yang mempunyai sifat anti *knocking* yang istimewa, dan bilangan oktan 0 diberikan pada n-heptana yang mempunyai sifat anti *knock* yang buruk. Bensin yang diuji akan dibandingkan dengan campuran isooktana dan n-heptana.

Bilangan oktan dipengaruhi oleh beberapa struktur molekul hidrokarbon. Hidrokarbon tersebut tergolong hidrokarbon rantai pendek yang didapat dari perengkahan hidrokarbon rantai panjang. Terdapat 3 cara proses perengkahan, salah satunya adalah perengkahan dengan menggunakan katalis (*catalytic cracking*). Perengkahan menggunakan katalis dalam reaksi perengkahannya akan mengarahkan reaksi sehingga menghasilkan produk hidrokarbon yang memiliki angka oktan tinggi. Proses perengkahan katalitik dari hidrokarbon memiliki beberapa keunggulan diantaranya adalah:

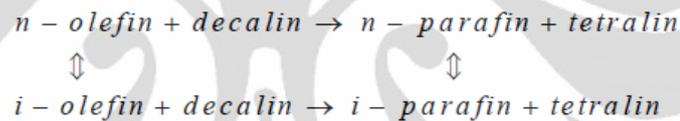
1. Produk bensin yang dihasilkan memiliki angka oktan yang lebih tinggi karena banyak mengandung iso-parafin. Senyawa jenis ini juga lebih stabil, dan memiliki konversi produk bensin lebih besar jika digunakan kristal katalis Al_2O_3 (Buchanan *et al.*, 2001).
2. Bensin yang dihasilkan mempunyai kandungan sulfur lebih rendah daripada bensin hasil *thermal cracking*.
3. Menghasilkan lebih sedikit *heavy residual oil* atau tar. Selama proses perengkahan, material karbon terdeposit di permukaan katalis sehingga menurunkan aktivitas katalis tersebut. Oleh karena itu, salah satu bagian yang sangat penting pada proses ini adalah regenerasi katalis.

Perengkahan katalis terdiri dari dua jenis reaksi, yaitu perengkahan aromatik dan reaksi perpindahan hidrogen. Pada perengkahan aromatik, cincin aromatik stabil pada kondisi perengkahan katalis, tetapi rantai panjang alkil reaktif. Kemudahan perengkahan alkil aromatik bertambah dengan kenaikan panjang rantai alkil. (Gambar 2.1)



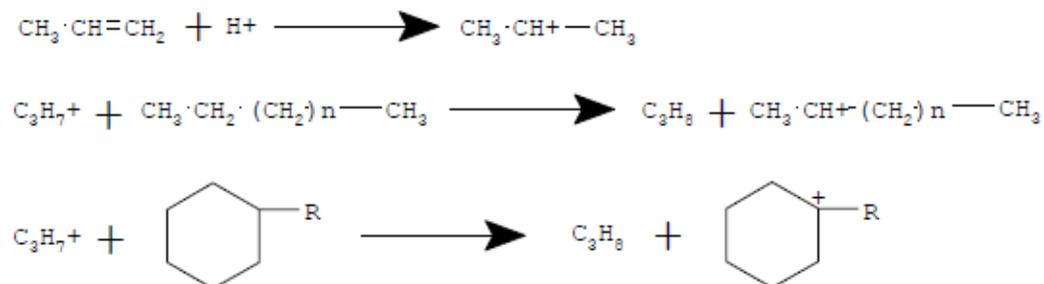
Gambar 2.1 Perengkahan cincin aromatic (Migas, 2006)

Produk parafinik hasil perengkahan katalis bercabang lebih banyak dari yang diperkirakan. Penjelasan atas hal tersebut diberikan dari reaksi hidrogen transfer seperti berikut (Gambar 2.2):



Gambar 2.2 Reaksi hidrogen transfer (Migas, 2006)

Karena reaksi isomerisasi olefin dan hidrogen transfer antara i-olefin dan decalin jauh lebih cepat dari pada reaksi lain, maka i-parafin dihasilkan lebih cepat dari parafin. Berlawanan dengan perengkahan termis yang terjadi karena adanya reaksi rantai dari radikal bebas, produk reaksi antara yang terdapat dalam perengkahan katalis adalah fragmen-fragmen bermuatan positif yang disebut ion karbonium. Ion karbonium berbeda dengan radikal bebas karena mengandung elektron minus satu. Tipe reaksinya sebagai berikut (Gambar 2.3):



Gambar 2.3 Reaksi pertukaran ion karbonium (Migas, 2006)

Katalis yang digunakan adalah katalis padat yang bersifat asam dengan porositas tinggi dan tahan abrasi maupun perubahan temperatur. Bahan katalis terdiri dari silika dan alumina. Semakin banyak umpan, semakin tinggi hasil gasolin yang diperoleh. Secara umum, peran katalis asam penelitian ini dalam reaksi perengkahan adalah sebagai berikut:

1. Memutuskan ikatan karbon-karbon dilakukan secara selektif, sehingga jarang terbentuk produk perengkahan yang memiliki lebih kecil dari tiga buah atom karbon.
2. Meningkatkan laju reaksi perengkahan 5 sampai 60 kali lebih cepat dibandingkan perengkahan panas. Laju reaksi meningkat sejalan dengan kenaikan berat molekul.
3. Melakukan isomerisasi selektif sehingga hidrokarbon jenuh dengan rantai karbon pendek tidak mengalami isomerisasi.

Olefin lebih mudah untuk direngkah dari pada parafin dan juga lebih cepat mengalami isomerisasi dan pembentukan deposit karbon. Diolefin dan olefin aromatik bahkan lebih cepat mengalami perengkahan, penjenuhan, polimerisasi, dan terkonversi menjadi deposit karbon. Naphtena sangat sensitif terhadap perengkahan katalitik. Kenaikan laju reaksi sejalan dengan berat molekul dan menjadi sekitar 1000 kali lebih cepat dari pada perengkahan panas. Semua senyawa aromatik seperti benzena, bifenil, dan naftalena pada umumnya tidak dapat direngkah dengan mekanisme katalisis ini, sedangkan alkil aromatik siap direngkah menjadi cincin untuk menghasilkan benzena, dan lain-lain.

Proses perengkahan katalitik pada penelitian ini menggunakan reaktor *batch*, yaitu reaktan dilewatkan pada suatu katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Variabel operasi yang penting mempengaruhi konversi dan distribusi produk adalah suhu *cracking*, rasio katalis dan bensin, *space velocity*, tipe dan aktifitas katalis dalam merengkahkan, dan rasio *recycle*. Dalam batasan kondisi operasi normal, peningkatan suhu reaksi, rasio katalis/reaktan, aktivitas katalis, dan waktu kontak akan menghasilkan kenaikan dalam konversi dan penurunan dalam naiknya konversi *space velocity*. Harus diperhatikan bahwa kenaikan konversi tidak selalu berarti kenaikan pada *bensin*. Sebagai contoh kenaikan suhu diatas level tertentu

ternyata dapat meningkatkan konversi, *coke* karbon gas, dan angka oktan, tetapi menurunkan *bensin*.

2.2.2 Isomerisasi

Isomer adalah senyawa yang mempunyai rumus molekul sama tetapi rumus bangunnya berbeda. Bensin ini terdiri dari campuran isomer heptana dan oktana. Isomer dapat dibedakan atas isomer struktur dan isomer ruang. Isomer struktur adalah dua atau lebih senyawa organik berbeda disebabkan oleh susunan atom yang terikat satu sama lain dalam suatu molekul. Isomer struktur ini dapat dibedakan atas 3 jenis, yaitu isomer rangkaian, isomer kedudukan, dan isomer fungsional. Untuk menghasilkan bilangan oktan yang tinggi, pada proses ini kemungkinan terjadi reaksi isomer rangkaian untuk pembentukan iso-oktan. Isomer rangkaian adalah dua senyawa atau lebih yg mempunyai rumus molekul sama tetapi berbeda pada percabangan atom C-nya. Dari peristiwa isomerisasi ini dihasilkan produk dengan jumlah percabangan yang lebih banyak. Cabang ini akan membentuk suatu ikatan iso- yang akan meningkatkan nilai bilangan oktan yang terkandung pada sebuah senyawa dengan jumlah karbon yang sama.

2.3 Katalis

Katalis merupakan substansi yang dapat meningkatkan laju reaksi untuk mencapai kesetimbangan namun tidak ikut bereaksi dengan reaktan dalam reaksi tersebut. Katalis pada umumnya mempunyai sifat-sifat sebagai berikut (Nasikin dan Susanto, 2010). Dalam pemilihan katalis, diperhatikan faktor sebagai berikut:

1. Aktifitas

Keaktifan katalis didefinisikan sebagai kemampuan dari katalis untuk dapat mengubah bahan baku menjadi produk yang dikehendaki. Keaktifan katalis didapat dari kombinasi bahan kimia dan bahan mineralogi, sehingga dapat diketahui katalis tersebut aktif dalam melakukan proses katalis yang dibuktikan dengan dihasilkannya produk baru yang dikehendaki.

2. Stabilitas

Stabil dalam arti mempunyai kemampuan menghadapi racun-racun yang mungkin dapat merusak kinerja dan penampakan dari katalis itu sendiri.

3. Selektifitas

Selektifitas didefinisikan sebagai kemampuan katalis dalam menghasilkan produk yang sesuai dengan yang dikehendaki. Hal ini karena satu zat yang berperan dalam salah satu proses dapat juga menjadi penghambat pada proses lainnya, sehingga perlu diteliti setiap material yang akan digunakan sebagai katalis.

4. Umur

Umur katalis mempunyai pengertian rentang waktu bagi katalis untuk bertahan pada level yang mencukupi sesuai kinerja katalis yang diinginkan.

5. Regenerasi

Sifat mudah diregenerasi harus dimiliki oleh katalis sehingga pada saat katalis dioperasikan gangguan yang terjadi dapat diminimumkan.

6. Kekuatan mekanik

Kekuatan mekanik merupakan kondisi yang harus dimiliki katalis sehingga bila proses menghendaki tekanan dan temperatur tinggi, katalis itu dapat digunakan.

Secara umum, katalis memiliki 2 fungsi, sebagai berikut:

1. Mempercepat reaksi menuju kesetimbangan atau fungsi aktivitas
2. Meningkatkan hasil reaksi yang dikehendaki atau fungsi selektivitas

Katalis tidak secara permanen terlibat dalam reaksi kimia, ketika katalis melakukan fungsinya, maka katalis mengalami perubahan baik secara kimiawi maupun secara fisik yang sangat mempengaruhi kinerjanya. Oleh karena itu terdapat 3 parameter utama dari kinerja katalis yaitu :

1. Aktivitas, yaitu peran katalis untuk meningkatkan kecepatan reaksi
2. Selektivitas, yaitu peran katalis untuk meningkatkan produk yang diinginkan
3. Deaktivasi, yaitu penurunan aktivitas dari katalis yang dihubungkan dengan masa hidup katalis (*life-time*).

Dalam melakukan fungsinya pada reaksi katalisis, ada 3 faktor yang mempengaruhi kinerja dari katalis, yaitu aliran fluida, aktivitas katalis dan

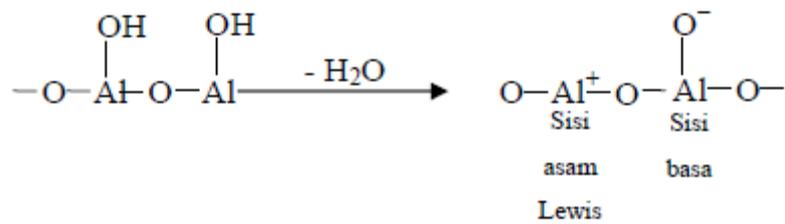
stabilitas katalis. Aktivitas dan selektivitas dapat dicapai dengan pemilihan komponen atau material serta metode preparasi yang mampu memberikan luas permukaan yang optimum. Aktivitas yang tinggi saja tanpa memperhatikan selektivitas dan faktor lain semisal kekuatan mekanik tidaklah cukup dalam menentukan kelayakan pembuatan suatu katalis. Sehingga untuk mendapatkan kinerja katalis yang optimum, pemilihan komponen pada penelitian ini terdiri atas 2 komponen, yaitu inti aktif dan penyangga.

2.3.1 *Support*

Support atau disebut juga penyangga katalis memiliki berbagai fungsi. Namun, fungsi utama dari penyangga adalah untuk menyediakan luas permukaan yang besar bagi inti aktif. Fungsi penyangga yang lain adalah sebagai permukaan yang stabil dimana inti aktif terdispersi sedemikian rupa sehingga *sintering* dapat dikurangi. Dengan demikian penyangga harus tahan terhadap pertumbuhan kristal dikarenakan panas, yang artinya harus memiliki titik lebur yang tinggi atau minimal lebih tinggi daripada titik lebur inti aktif.

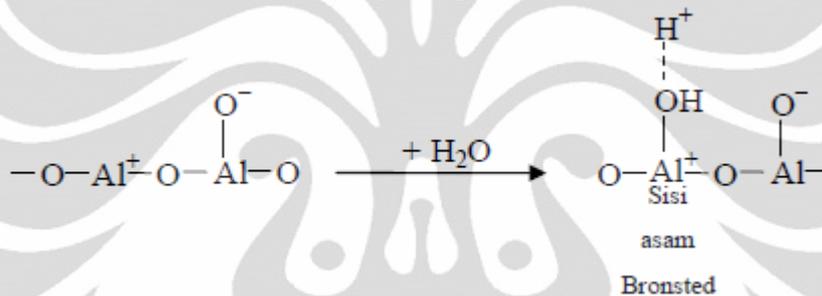
γ - Al_2O_3 merupakan jenis penyangga sebagai support pada komponen inti aktif katalis (Nasikin dan Susanto, 2010). Kekuatan asam pada katalis alumina terletak pada sisi asam katalis yang diasosiasikan dengan atom aluminium. Alumina dengan keasaman yang tinggi terdiri dari alumina amorf dan alumina dengan struktur trigonal. Alumina dalam bentuk amorf memiliki kekuatan asam yang lebih rendah daripada alumina dengan struktur trigonal (Arifianto, 2006). Karena bersifat asam, Al_2O_3 cocok digunakan untuk merengkahkan senyawa berantai panjang menjadi rantai lebih pendek. Aluminium dengan keasaman yang tinggi dikelilingi oleh atom yang memiliki keelektronegatifan yang baik dalam membentuk aluminium oksida. Sebagai lapisan tipis yang dengan cepat menutupi permukaan aluminium, lapisan ini melindungi logam aluminium dari oksidasi lebih lanjut. Senyawa oksida ini memiliki titik lebur 2318°C sehingga biasa digunakan sebagai penyangga.

Alumina yang di-dehidrasi pada saat preparasi mengikuti reaksi dibawah ini: (Gambar 2.4)



Gambar 2.4 Reaksi dehidrasi alumina (Nasikin dan Susanto, 2010)

Pada reaksi dehidrasi tersebut masih tetap ada sejumlah air yang teradsorpsi pada permukaan katalis yang menghasilkan sisi asam Bronsted seperti persamaan reaksi berikut ini (Gambar 2.5)



Gambar 2.5 Sisi asam Bronsted pada alumina (Nasikin dan Susanto, 2010)

Sisi Bronsted yang menginisiasi reaksi ion karbonium dan sisi Lewis yang memberikan reaksi ion radikal, keduanya ada meskipun pada prakteknya asam Bronsted lebih dominan. Ketika menggunakan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sebagai penyangga, reaksi perengkahan dan isomerisasi terjadi karena keasaman penyangga memberikan dampak positif terhadap reaksi utama. Dalam peristiwa seperti ini penyangga berfungsi juga sebagai katalis disamping inti aktif logam. Oleh karenanya jenis katalis seperti ini akan berfungsi sebagai katalis ganda.

2.3.2 Active Site

Pada katalis, inti aktif bertanggung jawab terhadap prinsip jalannya reaksi. Pemilihan komponen aktif adalah langkah pertama yang harus dilakukan dalam perancangan suatu katalis. Pemilihan komponen aktif katalis ini dapat berdasarkan

konduktivitas Salah satu komponen aktif yang baik untuk reaksi perengkahan katalitik dan isomerisasi adalah katalis oksida asam, karena memiliki konduktivitas sebagai isolator, sehingga tidak dapat secara langsung mempromosikan perpindahan muatan listrik, tetapi permukaan yang mengandung proton dapat melakukannya.

Praseodimium berbentuk padatan didapat dari suatu proses pertukaran ion dari monazite pasir ((Ce, La, Th, Nd, Y)PO₄), suatu material kaya akan unsur-unsur bumi yang jarang. Praseodimium ini sering digunakan sebagai campuran logam dan penyusun metal (Cotton, 1991). Oleh karena sifatnya itu, praseodimium dapat digunakan sebagai campuran katalis. Praseodimium terdapat pada golongan 4f dan memiliki ion 3+. Spesifikasi dari lantanida jenis praseodimium ini tercantum dalam tabel 2.2

Tabel 2.2. Spesifikasi Praseodimium (Cotton, 1991)

Nomor Atom	59
Berat Atom	140.90765
Densitas	6.77 g/cm ³
Titik Lebur	1204 K (931°C atau 1708°F)
Titik Didih	3793 K (3520°C atau 6368°F)
<i>Estimated Crustal Abundance</i>	9.2 mg/ kg
<i>Estimated Oceanic Abundance</i>	6.4×10 ⁻⁷ mg/l
Energi Ionisasi	5.464

Dari tabel 2.2 dapat dilihat bahwa titik lebur praseodimium sebesar 931°C sehingga dalam proses pembuatan katalis tidak dianjurkan melebihi suhu tersebut. Penambahan lantanida pada katalis alumina berfungsi sebagai peningkat kestabilan katalis (Parwono *et al.*, 1997). Praseodimium dalam alumina memiliki kekuatan interaksi yang kuat, sehingga kekuatan mereduksi yang tinggi (Tankov *et al.*, 2011). Sifat asam yang dihasilkan oleh penggabungan praseodimium dan alumina diharapkan dapat merengkahkan suatu senyawa hidrokarbon nantinya.

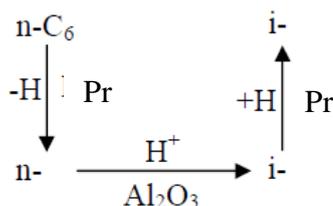
2.4 Katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$

Katalis yang digunakan adalah logam Pr dengan *loading* yang rendah pada penyangga Al_2O_3 . Keunggulan dari katalis ini adalah tergolong oksida asam sehingga sesuai dengan reaksi isomerisasi pada reaktan.

2.4.1 Mekanisme Katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dalam Meningkatkan Bilangan Oktan

PrO_2 termasuk jenis katalis oksida asam berkonduktivitas isolator dengan jenis reaksi ion karbonium. Jenis katalis ini, insulator tidak dapat secara langsung mempromosikan perpindahan muatan listrik, tetapi permukaan yang mengandung proton dapat melakukannya, sehingga inti aktif ini biasa digunakan pada jenis reaksi isomerisasi untuk mengonversi n-oktana menjadi iso-oktana (Hasyim, 2010). Reaksi isomerisasi dimulai dari terbentuknya ion karbonium di permukaan katalis. Mekanisme reaksi katalitik ini terjadi pada inti aktif katalis yang berada di permukaan bagian dalam pori katalis. Reaksi ini dipercepat dengan adanya sifat asam dari penyangga. Sifat asam Al_2O_3 didapat dari metode preparasi. Saat alumina didehidrasi masih tetap ada sejumlah air yang teradsorpsi pada permukaan katalis yang menghasilkan sisi asam Bronsted.

Pr dan Al_2O_3 tidak menyebabkan reaksi isomerisasi parafin, tapi sisi asam Al_2O_3 akan meng-isomerisasi n-olefin. Pada peristiwa tersebut terjadi 3 tahap reaksi yaitu, Pr akan menyebabkan dehidrogenasi n- C_8 menjadi n- C_8^- , yang berpindah ke Al_2O_3 dan di-isomerisasi menjadi i- C_8^- lalu di-hidrogenasi menjadi i- C_8 oleh Pr. Reaksi konversi ditunjukkan oleh gambar 2.6. Agar reaksi ini dapat terjadi, maka diperlukan persyaratan yaitu praseodimium dan Al_2O_3 harus saling kontak dengan sangat dekat dan Al_2O_3 memiliki tingkat keasaman yang cukup. Proses saling kontak yang akan dilakukan dengan metode impregnasi.



Gambar 2.6 Reaksi konversi n-heksana (Nasikin dan Susanto, 2010)

Reaksi isomerisasi n-oktana menjadi iso-oktana dapat menghasilkan yield yang besar jika dilakukan pada suhu rendah sehingga kesetimbangan reaksi tercapai. Hal tersebut dibuktikan dengan perhitungan energi Gibbs, pada suhu 40°C, ΔG° n-oktana = 630197,20 J/mol dan ΔG° iso-oktana = 275563,05 J/mol, maka ΔG° reaksi = -354634,15 J/mol. Energi Gibbs menunjukkan angka negatif yang berarti, reaksi terjadi secara spontan. Jika energi Gibbs dihubungkan dengan konstanta kesetimbangan maka akan diperoleh hubungan termodinamika sebagai $\Delta G^\circ = -RT \ln K$.

Tabel 2.3 Logika hubungan antara ΔG° dan K dari persamaan $\Delta G^\circ = -RT \ln K$

K	In K	ΔG°	Keterangan
>1	+	-	Kesetimbangan ke arah produk
=1	0	0	Kesetimbangan netral
<1	-	+	Kesetimbangan ke arah reaktan

Tabel 2.3 di atas menunjukkan jika $\Delta G^\circ = 0$, maka kesetimbangan reaksi bergeser ke arah produk yang berarti kecenderungan menghasilkan produk lebih tinggi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada suhu 40°C, reaksi isomerisasi dapat terjadi dengan hasil yang cukup baik nantinya.

2.4.2 Metode Preparasi dan Karakterisasi

Katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dibuat dengan metode impregnasi. Impregnasi merupakan proses deposisi zat tertentu (pada penelitian ini praseodimium) dimana sebelumnya zat ini dilarutkan terlebih dahulu (hasilnya larutan impregnasi). Metode ini melibatkan 3 tahap:

1. Penyangga dikontakkan dengan larutan impregnasi selama beberapa waktu
2. Proses penghilangan penyangga untuk menghilangkan pelarut
3. Aktivasi katalis misalnya dengan kalsinasi atau reduksi

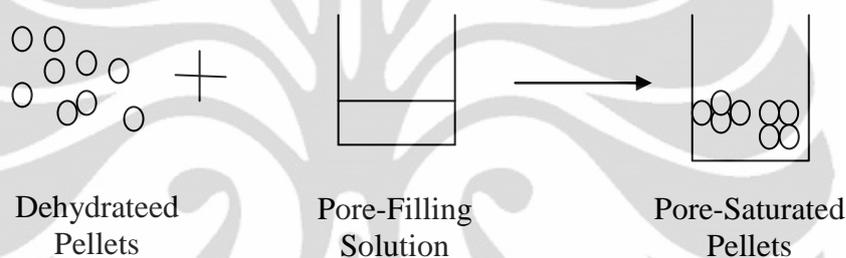
Berdasarkan perbedaan jumlah larutan impregnasi, metode preparasi ini dibagi menjadi dua:

1. *Wet Impregnation (dipping)*

Dengan cara ini penyangga direndam dalam larutan impregnasi. Jumlah larutan impregnasi yang dipakai dibuat berlebih, yaitu melebihi dari volume pori penyangga.

2. *Dry Impregnation (incipient wetness)*

Dalam metode ini penyangga juga direndam dalam larutan impregnasi. Namun, volum larutan impregnasi dibuat sama dengan volum pori penyangga. (Gambar 2.7)



Gambar 2.7 *Dry Impregnation* (Richardson, 1989)

Setelah diimpregnasi, padatan dikeringkan dari air yang terkandung di dalamnya kemudian dikalsinasi dengan tujuan untuk menghilangkan impurities dalam katalis seperti NO_3 dan H_2O

Katalis yang telah dibuat perlu diuji untuk mengetahui sifat struktur katalis tersebut. Pengujian katalis ini biasa disebut karakterisasi. Bagian yang paling penting dalam karakterisasi katalis adalah pemilihan metode karakterisasi katalis yang tepat. Pada dasarnya semua metode karakterisasi katalis adalah bermanfaat. Metode karakterisasi katalis dipilih berdasarkan pertimbangan keperluan atau kepentingannya secara ilmiah dan teknis, biaya karakterisasi, dan kemudahan akses peralatan.

Secara garis besar, teknik karakterisasi katalis dapat dibagi menjadi beberapa macam berdasarkan sifat-sifat yang akan diteliti, antara lain:

1. Sifat-sifat partikel, meliputi: luas permukaan (*surface area*), porositas atau distribusi ukuran pori (adsorpsi uap pada suhu rendah, Hg porosimetry, dan *incipient wetness*), densitas, ukuran partikel, sifat mekanis, dan difusifitas.
2. Sifat-sifat permukaan (*surface*), meliputi: struktur dan morfologi (SEM, TEM, XRD, EXAFS, XPS, FT-IR, Raman, UV-Vis), dispersi (chemisorption), dan keasaman.
3. Sifat-sifat bulk, meliputi: komposisi elemental (XRF, AAS), sifat-sifat senyawa atau struktur fasa (XRD, Raman, FT-IR, DTA, TPR, TPO, TEM), struktur molekul (IR, Raman, UV-Vis, XAFS, NMR, dan EPR). (Richardson, 1989)

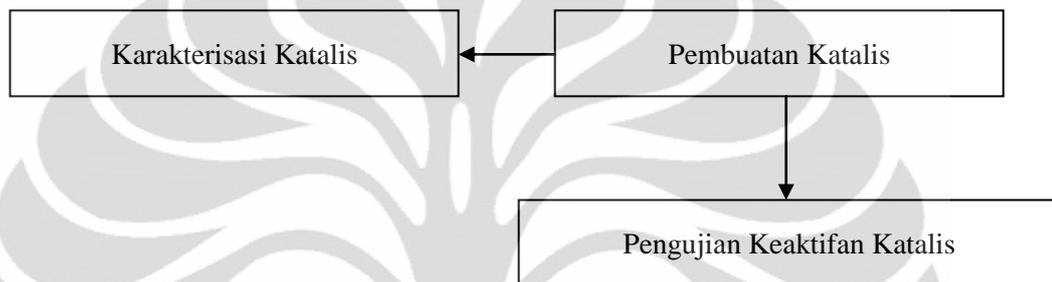
Pada penelitian ini, karakterisasi katalis yang dilakukan meliputi:

1. BET untuk mengetahui luas permukaan dan ukuran pori katalis
2. ICPS untuk mengetahui kandungan logam dalam katalis
3. SEM-EDX untuk mengetahui struktur katalis yang telah dibuat.

Sedangkan bensin hasil reaksi dengan katalis dilakukan pengukuran bilangan oktan dan dianalisis menggunakan GC-MS.

BAB 3 METODELOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini dibuat katalis dengan variasi kandungan praseodimium di dalam penyangga $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, Kemudian katalis tersebut dikarakterisasi dan diuji aktifitasnya untuk menaikkan bilangan oktan bensin. Berikut tahapan penelitian yang dilakukan (Gambar 3.1)



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Secara rinci, tahapan penelitian tersebut akan dijelaskan pada prosedur penelitian

3.1 Variabel Bebas dan Terikat

Variabel-variabel yang terdapat pada penelitian ini adalah

- Variabel Bebas :
- a. Rasio massa garam praseodimium nitrat dalam penyangga $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ yaitu 0,01 dan 0,03 wt %
 - b. Waktu tahap uji aktifitas katalis divariasikan 20, 50, dan 80 menit.

Variabel Terikat : Bilangan oktan bensin

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah

1. $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$

Didapat dari Merck dengan kemurnian 99,9%

2. Garam praseodimium $\text{Pr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Didapat dari Aldrich dengan kemurnian 99,9%
3. Bensin
Didapat PT Pertamina dengan lokasi SPBU di kawasan kelurahan
4. Akuades
Didapat dari toko bahan kimia Bogor

3.2.2 Alat

Alat- alat yang digunakan pada penelitian ini adalah

- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1. Reaktor kaca 100 mL | 11. <i>Magnetic Stirrer</i> |
| 2. Kondenser | 12. Kertas saring |
| 3. <i>Hot Plate</i> | 13. Furnace |
| 4. Gelas Ukur | 14. Penyaring |
| 5. Stopwatch | 15. Cawan uap |
| 6. Pipet | 16. Timbangan elektronik |
| 7. Sentrifugal electric | 17. BET |
| 8. Spatula | 18. SEM-EDX |
| 9. Termometer | 19. Shatox ZX-101C |
| 10. Desikator | 20. GC-MS |

3.3 Pelaksanaan Penelitian

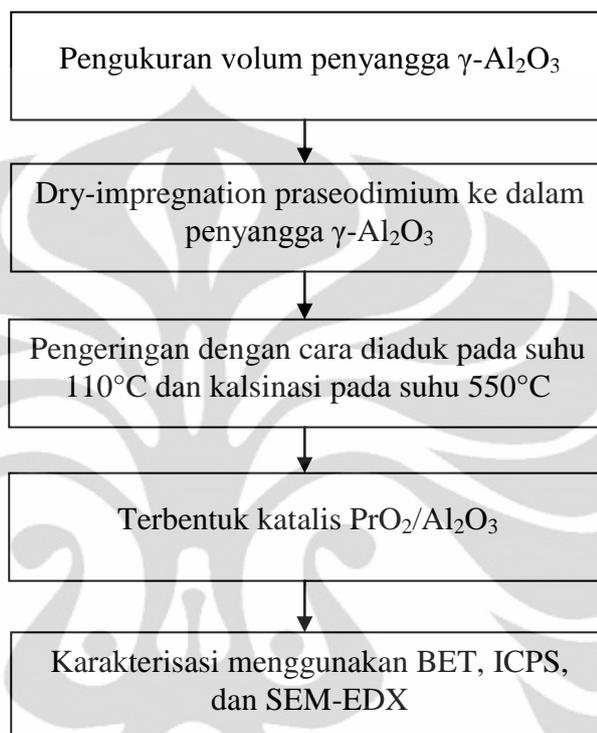
Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Rekayasa Produk Kimia dan Bahan Alam (RPKA), Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan terdiri atas tiga tahap, yaitu pembuatan katalis, karakterisasi katalis, dan uji aktivitas katalis.

3.4.1 Pembuatan Katalis

Pembuatan katalis terdiri atas tiga tahap, yaitu pengukuran pori penyangga $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, impregnasi praseodimium, dan kalsinasi



Gambar 3.2 Diagram alir pembuatan katalis

Langkah kerja yang dilakukan untuk mengetahui volum pori penyangga $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ sebagai berikut :

1. 2 gram $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ditimbang dan ditempatkan dalam cawan petri
2. 10 ml akuades dituang ke dalam tabung ukur.
3. Padatan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ditetaskan akuades dan diaduk secara merata menggunakan pipet tetes sampai padatan terbasahi secara merata (tidak berlebih/ tidak ada air yang mengalir)
4. Poin (1) sampai (3) diulang untuk sampel berikutnya. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan keakuratan data
5. Volum pori dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$V_{\text{pori}} = \frac{V_{\text{akuades}}}{m_{\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3}} \left(\frac{\text{ml}}{\text{g}_{\text{katalis}}} \right) \quad \dots (3.1)$$

Metode *dry-impregnasi* $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ dengan garam praseodimium nitrat yang dilakukan:

1. 150 gram massa padatan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ditimbang dan ditempatkan pada 3 wadah cawan uap, masing-masing 50 gram.
2. 0,005 dan 0,015 gram garam praseodimium nitrat ditimbang dan masing-masing dilarutkan dengan akuades dalam gelas beker.
3. Padatan $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ diteteskan tetes demi tetes dengan larutan garam tersebut dan diaduk secara merata.

Proses terakhir dalam pembuatan katalis dilakukan pengeringan dan kalsinasi katalis

1. Campuran katalis tersebut ditaruh ke dalam oven dengan suhu 110°C selama 2 jam (Tankov *et al.*, 2011) Selama di-oven, padatan diaduk-aduk saat waktu ke 30, 60, 75, 90, dan 105 menit.
2. Campuran katalis dikalsinasi pada suhu 550°C selama 2 jam (Tankov *et al.*, 2011)
3. Setelah 2 jam, butiran kristal katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ terbentuk.

3.4.2 Karakterisasi Katalis

Katalis yang sudah terbentuk masing-masing dikarakterisasi dengan metode *Brunauer Emmet Teller (BET)*, *Inductively Coupled Plasma Spectroscopy (ICPS)*, dan *Scanning Electron Microscope (SEM)*

3.4.2.1 BET

Brunauer Emmet Teller (BET) merupakan salah satu alat utama dalam karakterisasi material. Alat ini khususnya berfungsi untuk menentukan luas permukaan pori, volum, dan distribusi ukuran pori katalis. Gejala yang diamati pada adsorpsi isoterm berupa adsorpsi lapisan molekul tunggal, adsorpsi lapisan molekul ganda dan kondensasi dalam kapiler. Dalam penelitian ini, jenis alat analisis BET yang digunakan adalah Quanta Chrome seri 6 A untuk menentukan

luas permukaan pori, volum, dan distribusi ukuran pori katalis yang telah dibuat. Pengujian dilakukan di laboratorium RPKA Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.

3.4.2.2 ICPS

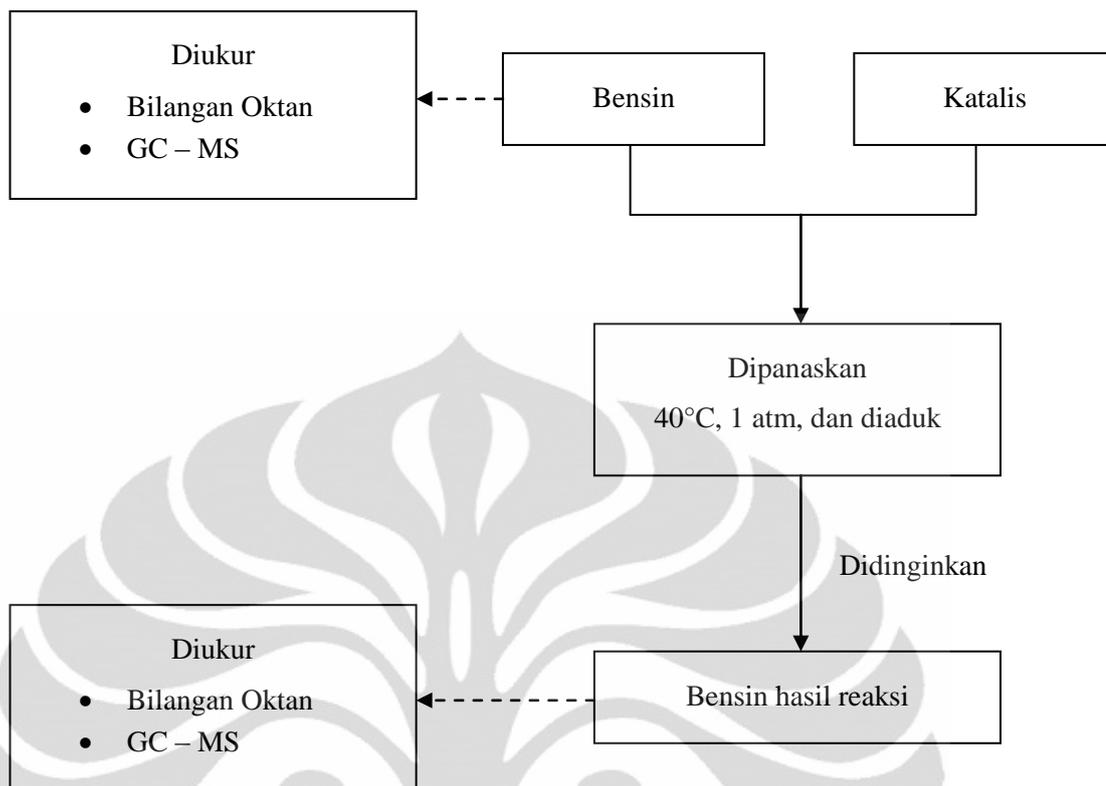
Tujuan analisis ini untuk mengukur dan menganalisis kandungan unsur-unsur logam dalam katalis. Unsur yang diketahui dari analisis ini yaitu kandungan Al dari setiap katalis yang sudah diaktivasi. Analisis ini didapat dari Lembaga Minyak dan Gas, Jakarta.

3.4.2.3 SEM-EDX

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah suatu tipe mikroskop elektron yang menggambarkan permukaan sampel melalui proses *scan* dengan menggunakan pancaran energi yang tinggi dari elektron dalam suatu pola *scan raster*. Alat ini digunakan untuk mengetahui morfologi senyawa padatan dan komposisi unsur yang terdapat dalam suatu senyawa. Area dianalisis untuk mendapatkan hasil pengukuran SEM-EDX. Interaksi–interaksi elektron yang terjadi tersebut selanjutnya akan dideteksi dan diubah kedalam sebuah gambar oleh analisis SEM dan juga dalam bentuk grafik oleh analisis EDX. Analisis ini dilakukan di ruangan analisis SEM-EDX di Departemen Material dan Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

3.4.3 Uji Aktifitas Katalis

Uji aktifitas katalis dilakukan dengan cara mereaksikan reaktan yaitu bensin dengan katalis yang telah dibuat pada suhu 40°C, tekanan atmosferik selama waktu tertentu. Sebelum dan sesudah direaksikan dengan katalis bilangan oktan bensin diukur..



Gambar 3.3 Diagram alir uji aktifitas katalis

Tahapan ini bertujuan untuk mengetahui kinerja katalis yang dibuat pada proses peningkatan bilangan oktan. Adapun prosedur yang dilakukan

1. 500 ml bensin dituang ke dalam gelas labu.
2. 0,5 gram atalis ditimbang (dari hasil perhitungan rasio massa katalis:reaktan sebesar 1:1000)
3. *Magnetic stirrer* diletakkan di dalam gelas labu tersebut, kondenser dipasang di atas mulut labu reaksi, dan keran air pendingin dibuka
4. Alat *hot plate stirrer* dinyalakan pada skala 4 dan suhu 40°C,
5. Termokopel dan termometer masing-masing dimasukkan ke dalam salah satu lubang labu reaksi.
6. Setelah 20 menit, *hotplate stirrer* tersebut dimatikan.
7. Kipas angin dinyalakan dan labu reaksi didiamkan selama 5 menit hingga bensin dingin
8. Setelah bensin dingin, bensin dituang dari labu reaksi ke gelas ukur, kemudian volum bensin dicatat.

9. Bensin dari gelas ukur dituang ke botol sampel dan botol sampel diberi label.
10. Poin (1) sampai (9) diulangi untuk katalis kedua dan ketiga, serta waktu reaksi 50 dan 80 menit.
11. *Hotplate stirrer* dimatikan.
12. Bensin dianalisis menggunakan *octane meter* dan GC-MS

Setelah bensin direaksikan dengan katalis, bensin diukur bilangan oktan dengan *octane meter* dan GC-MS.

3.4.3.1 *Octane meter*

Tujuan analisis ini untuk mengetahui bilangan oktan bensin setelah direaksikan dengan katalis. Pengukuran ini dilakukan di CV Catur Bangun Putra dengan alat yang digunakan Shatox ZX 101 C (Gambar 3.4)



Gambar 3.4 *Octane meter* seri Shatox ZX 101C

3.4.3.2 GC-MS

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui jenis dan komposisi senyawa dalam bensin setelah direaksikan dengan katalis. Analisis ini dilakukan di Pusat Laboratorium Forensik Mabes Polri, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini disajikan data hasil penelitian dan pembahasannya, meliputi hasil pembuatan katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, karakterisasi katalis yang dihasilkan, dan uji aktifitas katalis untuk meningkatkan bilangan oktan bensin beserta analisis yang dilakukan.

4.1 Katalis yang Dihasilkan

Dari tahap pembuatan katalis, dihasilkan katalis-katalis berikut:

1. Katalis Al_2O_3
Katalis tanpa kandungan praseodimium yang digunakan sebagai pembanding..
2. Katalis 0,01% $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$
Katalis dengan kandungan garam praseodimium nitrat sebesar 0,01 wt%
3. Katalis 0,03% $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$
Katalis dengan kandungan garam praseodimium nitrat sebesar 0,03 wt%

4.2 Karakterisasi Katalis

Katalis-katalis yang telah dibuat kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan BET, ICPS dan SEM-EDX. Masing-masing analisis dijelaskan sebagai berikut:

4.2.1 BET

Katalis dkarakterisasi menggunakan metode *Brunauer Emmet Teller* (BET). Metode ini dapat mengukur luas permukaan, volum pori dan distribusi pori. Dari analisis ini didapat tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil uji BET

Katalis	Luas permukaan (m ² /g)	Uk pori (Å)	Vol Pori (ml/g)
Al ₂ O ₃	117,8	113,5	0,05546
0.01%PrO ₂ /Al ₂ O ₃	117,5	112,7	0,05526
0.03%PrO ₂ /Al ₂ O ₃	116,8	111,7	0,05513

Luas permukaan katalis yang diperoleh mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya prosentase kandungan praseodimium. Penambahan 0,01 wt% Pr dapat menurunkan luas permukaan sebesar 0,3 m²/g dari 117,8 m²/g menjadi 117,5 m²/g. Penambahan 0,03 wt% Pr dapat menurunkan luas permukaan sebesar 1,0 m²/g dari 117,8 m²/g menjadi 116,8 m²/g. Pendeposisian 0,01 dan 0,03 wt % praseodimium juga mengakibatkan penurunan ukuran pori dan volum pori katalis yang dihasilkan. Ukuran pori katalis 0,01%PrO₂/Al₂O₃ mengalami penurunan sebesar 0,8 Å dari 113,5 Å menjadi 112,7 Å. Ukuran pori katalis 0,03%PrO₂/Al₂O₃ mengalami penurunan sebesar 1,0 Å dari 113,5 Å menjadi 112,7 Å. Dari karakterisasi ini juga terlihat penurunan volum pori katalis, yaitu yang semula katalis Al₂O₃ adalah 0,05546 ml/g, setelah diimpregnasi dengan 0,01% Pr menjadi 0,05526 ml/g dan 0,03% Pr menjadi 0,05513 ml/g.

Dari hasil pengujian BET tersebut dapat dikatakan bahwa impregnasi praseodimium ke dalam penyangga γ -Al₂O₃ menyebabkan penutupan sebagian pori dari penyangga γ -Al₂O₃. Ukuran pori dari katalis yang dihasilkan tersebut masih termasuk ukuran makropori, yaitu ukuran pori di atas 50 nm. Ukuran pori yang menurun hampir secara linear dengan penambahan prosentase praseodimium juga menurunkan volum pori yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan penelitian Tankov yang menyatakan bahwa penambahan dan peningkatan dari PrO₂ (>1%) akan mengalami penurunan luas permukaan dan volum pori yang spesifik dan volum pori-pori, karena pori-pori Al₂O₃ diisi dengan PrO₂ (Tankov *et al.*, 2011).

4.2.2 ICPS

ICPS secara akurat menentukan jumlah alumunium dalam katalis. Hasil analisis ini bersifat kuantitatif, yaitu konsentrasi alumunium ditentukan dengan membandingkan jumlah alumunium dengan isotop alumunium yang didapat dari kurva kalibrasi eksternal.

Untuk mengetahui prosentase kandungan alumunium dalam katalis diperlukan standar kalibrasi sampel alumunium yang sudah diketahui komposisinya. Hasil analisis katalis terdapat dalam tabel 4.2

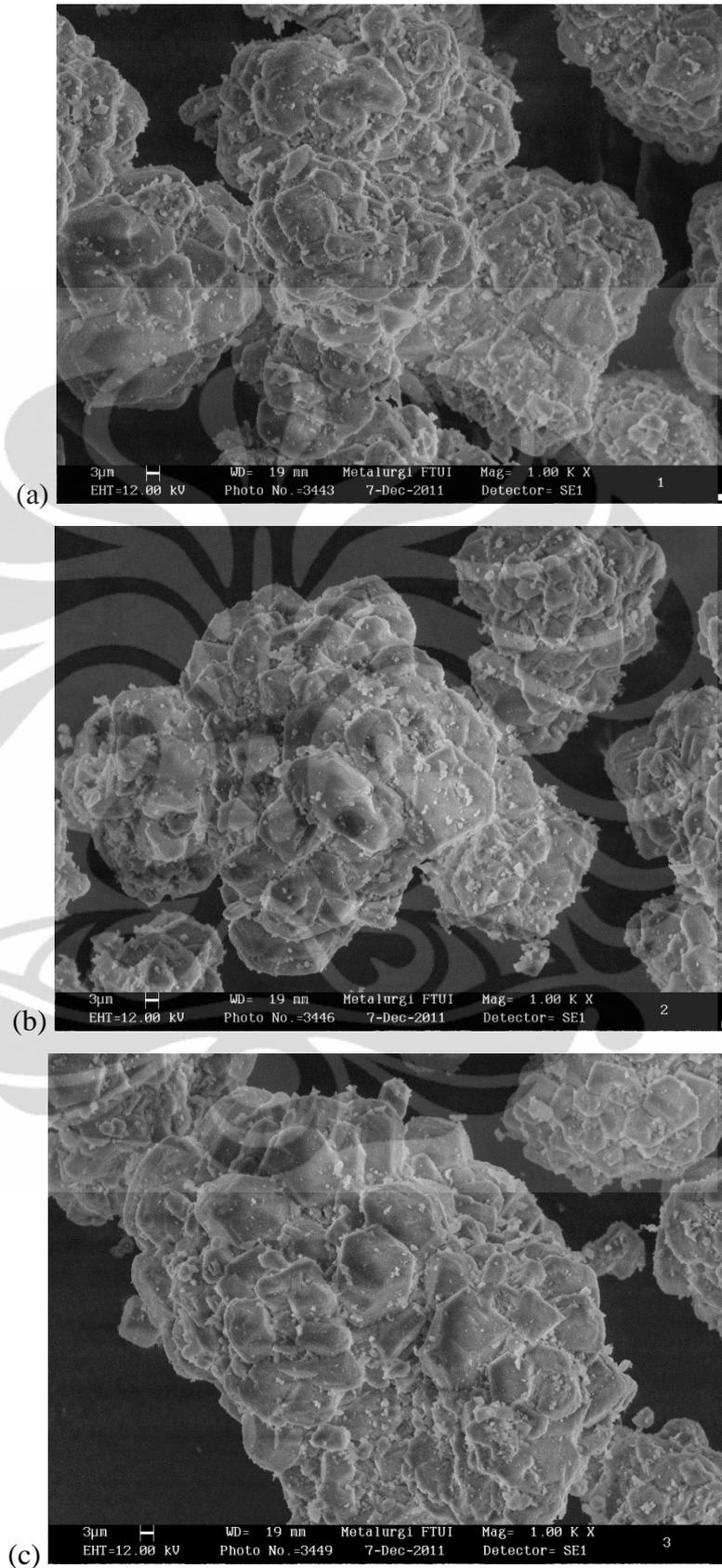
Tabel 4.2 Hasil uji ICPS

Jenis Katalis	Al (ppm)	Al (%)
Al_2O_3	520463	52,0464
0.01% $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	520108	52,0109
0.03% $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	520066	52,0067

Tabel 4.2 menunjukkan impregnasi logam praseodimium ke dalam penyangga alumina berhasil dilakukan, dengan hasil semakin banyak PrO_2 yang diimpregnasi, maka semakin turun kandungan alumunium. Hal tersebut dapat dilihat dari menurunnya jumlah kandungan logam alumunium dalam katalis dari 52,0464% menjadi 52,0109% dan 52,0067 seiring dengan penambahan logam praseodimium yang diimpregnasikan dari 0; 0,01; dan 0,03% masing-masing. Hal ini dapat terjadi karena interaksi praseodimium dengan oksida alumina lebih kuat dibandingkan interaksi alumunium dengan oksidanya (Tankov *et al.*, 2011) Sebagai bukti, jumlah praseodimium yang sedikit tersebut (0,01 dan 0,03%) dapat menggantikan ikatan antara alumunium dengan oksidanya. Hal ini diperkuat dengan hasil analisis uji SEM-EDX.

4.2.3 SEM-EDX

Data yang diperoleh dari hasil SEM-EDX dapat dianalisis secara kuantitatif maupun kualitatif, karena dari data yang diperoleh dapat diketahui jenis dan jumlah unsur-unsur mineral yang terkandung dalam katalis. Hasil dari uji SEM berupa gambar struktur permukaan katalis (Gambar 4.1)



Gambar 4.1 Hasil uji SEM katalis (a) Al₂O₃ (b) 0,01% PrO₂/Al₂O₃ (c) 0,03% PrO₂/Al₂O₃

Dari gambar 4.1 dapat dilihat bahwa katalis yang dihasilkan berupa *plate* atau lempengan-lempengan yang berlapis. Jika dibandingkan, katalis Al_2O_3 dengan katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ terlihat bahwa impregnasi praseodimium membuat permukaan katalis terlihat lebih halus, yaitu lempengan-lempengan yang bertumpuk lebih lebar tetapi dengan jumlah yang kurang, sehingga luas permukaan yang dihasilkan menjadi berkurang. Kehalusan dari permukaan katalis seiring dengan penambahan prosentase jumlah praseodimium dalam katalis. Hal ini juga dibuktikan dari nilai penurunan luas permukaan yang dihasilkan dari uji BET. Dari analisis EDX, didapat ditabel 4.3 berikut

Tabel 4.3 Hasil uji EDX

Jenis Katalis	Kandungan dalam katalis		
	O (%)	Pr (%)	Al (%)
Al_2O_3	38,210	0,000	61,540
0.01% $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	39,028	0,004	58,340
0.03% $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	39,595	0,011	55,009

Berdasarkan tabel 4.3, terdapat kandungan Pr dalam katalis sebesar 0,004% pada katalis 0,01% $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dan 0,011% pada katalis 0,03% $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$. Hal ini menunjukkan bahwa Pr berhasil diimpregnasikan ke dalam penyangga alumina walaupun tidak seluruhnya dari jumlah sebenarnya yang diimpregnasikan sebesar 0,01% dan 0,03%, tetapi jumlah kenaikannya yang terbaca sama yaitu tiga kali dari hasil impregnasi sebelumnya. Sama halnya dengan hasil uji ICPS sebelumnya, diketahui bahwa penambahan prosentase logam praseodimium dalam katalis menyebabkan penurunan logam alumunium dalam katalis. Hal ini terjadi karena hampir sebagian ikatan dari logam alumunium digantikan dengan logam praseodimium akibat interaksi kuat antar logam, praseodimium tergolong salah satu jenis logam (Lukic et al., 2009)

4.3 Keaktifan Katalis dalam Meningkatkan Bilangan Oktan Bensin

Uji aktivitas katalis yang dilakukan adalah mereaksikan bensin dan masing-masing katalis yang telah dibuat. Waktu reaksi bensin divariasikan yaitu 20, 50, dan 80 menit. Hal ini dimaksudkan agar diketahui pengaruh waktu reaksi

terhadap kenaikan bilangan oktan bensin tersebut. Bensin yang digunakan adalah bensin tipe premium, produk dari PT. Pertamina. Bensin hasil reaksi menunjukkan kenaikan bilangan oktan. Berikut hasil pegujian yang dilakukan.

4.3.1 Octane meter

Hasil dari uji aktivitas katalis untuk meningkatkan bilangan oktan bensin terdapat di tabel 4.4 berikut

Tabel 4.4 Hasil Bilangan oktan bensin (RON)

Jenis Katalis	t (menit)	RON
Tanpa Katalis	0	89,7
Al ₂ O ₃	20	90,3
	50	90,5
	80	90,6
0,01%PrO ₂ /Al ₂ O ₃	20	91,2
	50	91,2
	80	91,4
0,03%PrO ₂ /Al ₂ O ₃	20	91,3
	50	91,4
	80	91,6

Dari hasil uji aktivasi yang tertera dalam tabel 4.4 dapat dilihat bahwa bilangan oktan pada bensin komersil tanpa penambahan katalis terbaca oleh alat shatox ZX-101C sebesar 89,7. Sedangkan bilangan oktan pada bensin komersil milik PT Pertamina secara teori sebesar 88. Selisih angka 1,7 ini digunakan sebagai acuan standar kalibrasi alat terhadap pengukuran bilangan oktan.

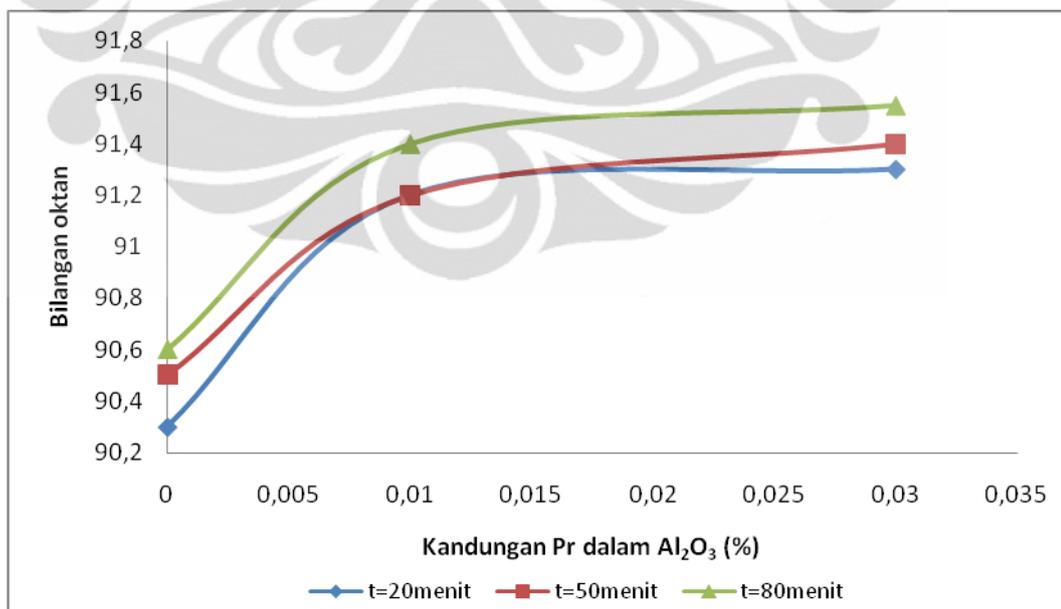
Setelah penambahan katalis Al₂O₃, bilangan oktan bensin meningkat berturut-turut selama waktu reaksi 20, 50, dan 80 menit sebesar masing-masing 90,3; 90,5; dan 90,6. Penambahan katalis 0,01%PrO₂/Al₂O₃, bilangan oktan bensin menjadi 91,2; 91,2; dan 91,4. Sedangkan penambahan katalis 0,03%PrO₂/Al₂O₃ bilangan oktan berturut-turut menjadi 91,3; 91,4; dan 91,6.

Kenaikan waktu reaksi dari 20 ke 50 menit menunjukkan hasil yang berbeda untuk masing-masing katalis, yaitu kenaikan bilangan oktan 0,2 untuk katalis Al₂O₃, kenaikan bilangan oktan 0,1 untuk katalis 0,03%PrO₂/Al₂O₃, dan

tidak ada kenaikan bilangan oktan untuk katalis $0,01\%PrO_2/Al_2O_3$. Akan tetapi kenaikan waktu reaksi dari 50 ke 80 menit terlihat cukup signifikan yaitu 0,2 untuk katalis alumina yang mengandung PrO_2 tetapi tidak berpengaruh untuk katalis Al_2O_3 sebesar 0,1. Jadi dapat dikatakan bahwa reaksi tidak berpengaruh terhadap kenaikan bilangan oktan bensin untuk ketiga jenis katalis tersebut.

Selama waktu reaksi 20 menit, terlihat peningkatan bilangan oktan bensin lebih besar untuk katalis yang mengandung 0,01% dan 0,03% PrO_2 berturut-turut 91,2 dan 91,3, dibandingkan katalis Al_2O_3 hanya sebesar 90,3. Hal ini berarti terjadi kenaikan bilangan oktan yang cukup signifikan yaitu 0,6; 1,5; dan 1,6 untuk masing-masing katalis Al_2O_3 , $0,01\%PrO_2/Al_2O_3$, dan $0,03\%PrO_2/Al_2O_3$. Hal yang sama terjadi pada bensin dengan waktu reaksi 50 menit yaitu 0,8; 1,5; dan 1,7 untuk masing-masing katalis. Demikian pula yang terjadi untuk waktu reaksi 80 menit, yaitu 0,9; 1,7; dan 1,9. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kenaikan jumlah PrO_2 dalam katalis Al_2O_3 berpengaruh dalam reaksi perengkahan katalitik dan isomerisasi untuk meningkatkan bilangan oktan bensin.

Untuk mempermudah dalam membandingkan hasil percobaan tabel 4.4 digrafikkan menjadi gambar 4.3 berikut



Gambar 4.3 Grafik pengaruh kandungan praseodimium dalam katalis PrO_2/Al_2O_3 terhadap bilangan oktan bensin untuk variasi waktu reaksi.

Dari hasil yang didapat, prosentase dari kandungan praseodimium dalam alumina belum dapat dikatakan optimum karena masih dimungkinkan adanya kenaikan bilangan oktan bensin jika prosentase kandungan praseodimium dinaikkan.

4.3.2 GC-MS

Bensin yang sudah diuji aktifitasnya, kemudian dianalisis kembali menggunakan alat uji GC-MS. Tidak semua bensin hasil reaksi pada bagian 4.2 diuji dengan GC-MS. Berikut adalah hasil analisis bensin melalui alat GC-MS yang dilakukan.

Tabel 4.5 Hasil uji GC-MS

Katalis	RON	% Peak area		
		<i>n-Octane</i>	<i>Iso-octane</i>	<i>Benzene</i>
Tanpa katalis	89,7	0,60	4,12	27,05
Al ₂ O ₃	90,6	0,82	4,17	24,12
0.01%PrO ₂ /Al ₂ O ₃	91,4	0,83	4,21	25,30
0.03%PrO ₂ /Al ₂ O ₃	91,6	0,85	4,39	26,08

Untuk n-oktana kenaikan prosentase peak meningkat seiring peningkatan prosentase PrO₂ dalam katalis PrO₂/Al₂O₃. Bensin tanpa katalis memiliki 0,60% peak n-oktana. Prosentase peak yang dihasilkan dari reaksi dengan katalis Al₂O₃ sebesar 0,82%. Penambahan 0,01 % Pr dapat menaikkan %peak n-oktana sebesar 0,23% dari 0,60% menjadi 0,83%. Sedangkan untuk iso-oktana penambahan katalis Al₂O₃, 0,01%PrO₂/Al₂O₃, dan 0,03%PrO₂/Al₂O₃ menghasilkan kenaikan %peak area berturut-turut 0,5; 0,9; dan 0,27. Penambahan katalis Al₂O₃ dapat menurunkan %peak benzena sebesar 2,93. Namun, penambahan 0,01 dan 0,03% Pr juga mengakibatkan peningkatan %peak benzena yang dihasilkan, yaitu berturut-turut dari 24,12 menjadi 25,30 dan 26,08. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan katalis kemungkinan menyebabkan terjadinya reaksi isomerisasi n-oktana menjadi iso-oktana dan penambahan benzena yang dapat meningkatkan bilangan oktan bensin. Meskipun hal ini masih harus dibuktikan dengan analisis lebih lainnya, seperti *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR).

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian tentang “Kinerja Katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ untuk Meningkatkan Bilangan Oktan Bensin” diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Bilangan oktan meningkat 1,7 dengan penambahan 0,01% praseodimium dan 1,9 dengan penambahan 0,03% praseodimium dalam katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dari bensin dengan bilangan oktan 89,7, namun peningkatan bilangan oktan bensin tidak dipengaruhi oleh waktu reaksi.
2. Kenaikan bilangan oktan bensin akibat dari reaksi isomerisasi n-oktana, sehingga jumlah % peak area iso-oktana dan bezene dalam bensin bertambah.
3. Impregnasi praseodimium dalam katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ berhasil dilakukan, terbukti dari hasil karakterisasi katalis penurunan luas permukaan katalis akibat tertutupnya pori-pori katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dengan logam praseodimium, terjadi penurunan prosentase kandungan dari alumunium dan terjadi peningkatan prosentase kandungan dari praseodimium.
4. Pengujian SEM untuk masing-masing katalis menunjukkan bahwa katalis berbentuk lempengan berlapis. Penambahan prosentase praseodimium dalam katalis $\text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ dapat meningkatkan ukuran lempengan tersebut menjadi tambah lebar dengan jumlah lempengan berkurang.

5.2 Saran

Penelitian berikutnya disarankan untuk menggunakan variasi suhu dan jumlah katalis dengan kandungan praseodimium yang lebih banyak dalam meningkatkan proses yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifianto, B. (2006) Reaksi Perengkahan Katalitik Minyak Sawit dengan Katalis B_2O_3/Al_2O_3 . *Skripsi*. Depok: UI: 37-40
- Buchanan, J. S., Olson, D. H. and Schramm, S.E. (2001) Gasoline Selective ZSM-5 FCC Additives: Effects of Crystal Size, SiO_2/Al_2O_3 , Steaming, and Other Treatments on ZSM-5 Diffusivity and Selectivity in Cracking of Hexene/Octene Feed. *Applied Catalysis A: General*. Vol. 220(1-2): 223-234.
- Centeno, M. A., Carrizosa, I. and Odriozola, J. A. (1998) In Situ Drifts Study of The SCR Reaction of NO With NH_3 in The Presence of O_2 Over Lanthanide Doped V_2O_5/Al_2O_3 Catalysts. *Applied Catalysis B: Environmental*. Vol. 19(1): 67-73.
- Cotton, S. (1991). *Lanthanide and Actinide Chemistry*. Inorganic Chemistry. D. Woollins, B. Crabtree, D. Atwood and G. Meyer. USA, John Wiley and Sons Ltd: 7.
- Hasyim, V. (2011) Peningkatan Bilangan Oktanan pada Gasoline Menggunakan Praseodimium(III)-Etilen Diamin Tetra Asetat/Zeolit Klipnotilolit Aktif. *Skripsi*. Depok: UI: 29-35.
- Khaerudin, J.M., Cathaputra. E. dan Winoto, H.P. (2007) Produksi Isopropil Murni untuk Aditif Bensin yang Ramah Lingkungan Sebagai Wujud Pemanfaatan Produk Samping pada Industri Gas Alam. *Karya Ilmiah Mahasiswa bidang energi*. Bandung: ITB: 6-7.
- Laosiripojana, N., Sutthisripok, W., Assabumrungrat, S. (2005) Synthesis gas production from dry reforming of methane over CeO_2 doped Ni/Al_2O_3 : influence of the doping ceria on the resistance toward carbon formation. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 112(): 13–22.
- Lukic, I., Krstic, J., Jovanovic, D. and Skala, D. (2009) Alumina/silica Supported K_2CO_3 as A Catalyst for Biodiesel Synthesis from Sunflower Oil. *Bioresource Technology*. Vol. 100(2): 4690-4696.
- Lugstein, A., Jentys, A. and Vinek, H. (1998) Hydroisomerization and Cracking of N-Octane and C8 Isomers on Ni-Containing Zeolites. *Journal of Catalysis*. Vol. 42(1): 60-72.
- Migas, D. (2006) Spesifikasi Bahan Bakar Minyak Jenis Jenis Bensin 88. *Keputusan Dirjen Migas No. 3674 K/24/DJM*. Jakarta: ESDM: .
- Myrstad, T. (1996) Effect of Vanadium on Octane Numbers in FCC-Naptha. *International Journal of Catalyst*. Vol. 3(1): 51-58.
- Nasikin, M. dan Susanto, B. H. (2010) Katalis Heterogen. Jakarta: UI Press: 12-52.
- Natesakhawat, S., Oktar, O., and Ozkan, U. S. (2005) Effect of Lanthanide Promotion on Catalytic Performance of Sol-Gel Ni/Al_2O_3 Catalysts in

- Steam Reforming of Propane. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. Vol. 241(1-2): 133-146.
- Parwono, S., Murachman, B., Hardjono, T., Budhijanto dan Witono, H. (1997) Pembuatan Platinum Katalis dengan Penyangga Karbon Aktif dan Zeolit untuk Oksidasi Gas Buang. *Skripsi*. Yogyakarta: UGM: 17-19.
- Patra, A., Reisfeld, R. and Minti, H. (1998) Influence of Aluminium Oxide on Intensities of Sm^{3+} and Pr^{3+} Spectral Transitions in Sol-Gel Glasses. *Materials Letters*. Vol. 37(6): 325-329.
- Richardson, J.T. (1989) Principles of Catalyst Development. New York: Plenum Press: 87.
- Sato, S., Kuroki, M., Sodesawa, T., Nozaki, F. and Maciel G.E. (1995) Surface structure and acidity of alumina-boria catalysts. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*. Vol. 104(2): 171-177.
- Tankov, I., Pawelec, B., Arishtirova, K. and Damyanova, S. (2011) Structure and Surface Properties of Praseodimium Modified Alumina. *Applied Surface Science*. Vol. 258(1): 278-284.
- Tietz, F., Zanghellini, E., Mariotto, G., Dedecke, T. and Umland, W. (1995) Optical and magnetic investigations of $\text{Na}^+/\text{Pr}^{3+}$ -[beta]- Al_2O_3 . *Journal of Alloys and Compounds*. Vol. 225(1-2): 152-155.
- Tirtoatmodjo, Rahardjo. (2011) Pengaruh Naphtalene terhadap Perubahan Angka Oktan Bensin untuk Kerja Motor dan Gas Buangnya. *Journal of Mechanical*: 97.
- Tonnies, J. J., and Gschneidner, K. A. (2002) Preparation of lanthanide single crystals; praseodymium, neodymium, and lutetium. *Journal of Crystal Growth*. Vol. 10(1): 1-5.
- Xian, X., Liu, G., Zhang, X., Wang, L., and Mi, Z. (2010) Catalytic cracking of n-dodecane over HZSM-5 zeolite under supercritical conditions: Experiments and kinetics. *Chemical Engineering Science* . Vol. 65(20): 5588-5604.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Percobaan



Gambar L. 1.1 Katalis yang telah dibuat

Lampiran 2. Data hasil BET

Quantachrome Corporation
Quantachrome Autosorb Automated Gas Sorption System Report
Autosorb for Windows@ for AS-3 and A5-6 Version 1—23

Sample TD : Sari
 Description Comment : Sari
 Sample Weight : 0.5043 g
 Adsorbate NITROGEN Outgas Temp 150.0 °C Operator Jajat
 Cross-Sec Area 16.2 A' /molecul Outgas Time 2.0 hrs Analysis Time 53.8 min
 NonIdeality 6.5808-05 P/Po Toter 3 End of Run 11/1,5/20L1 11:18
 Molecular Wt 28.01-34 g/ttrol Equil Time 2 File Name A5977816 -RAW
 Statlon + 4 Bath Temp. '17.40 PC SW Version 1.23

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY 1 (Katalis Al₂O₃)

SURFACE AREA DATA

MultipointBET 1,178E+02 m²/g
 Single Point BET 1,188E+02 m²/g
 Langmuir Surface Area..... 1,178E+02 m²/g
 t-Method External Surface Area: 1,175E+02 m²/g
 trMet..hod Micro Pore Surface Area 0,000E+00 m²/g
 DR Method Micro Pore Area..... 1,561E+02 m²/g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume..... 0,000E+00 cc/g
 DR Method Mj_cro pore Volume 5,546E-02 cc/g
 HK Method Cumufative Pore Volume 4,572E-02 cc/g
 SF Method Cumufative Pore Volume..... 4,690E-02 cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width 1,135E+02 Å
 DA Method Pore Diameter (Mode) 1,800E+01 Å
 HK Method Pore Width (Mode) 1,448E+01 Å
 SF Method Pore Diameter (Mode) 2,713E+01 Å

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY 2 (Katalis 0,01% PrO₂/Al₂O₃)

SURFACE AREA DATA

MultipointBET 1,175E+02 m²/g
 Single Point BET 1,1438+02 m²/g
 Langmuir Surface Area..... 1,878E+02 m²/g
 t-Method External Surface Area: 1,175E+02 m²/g
 trMet..hod Micro Pore Surface Area 0,000E+00 m²/g
 DR Method Micro Pore Area..... 1,555E+02 m²/g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume..... 0,000E+00 cc/g

DR Method Mj_cro pore Volume	5,526E-02 cc/g
HK Method Cumufative Pore Volume	4,570E-02 cc/g
SF Method Cumufative Pore Volume.....	4,687E-02 cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width	1,127E+02 Å
DA Method Pore Diameter (Mode)	1,800E+01 Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1,442E+01 Å
SF Method Pore Diameter (Mode)	2,713E+01 Å

AREA-VOLUME-PORE SIZE SUMMARY 3 (Katalis 0,03% PrO₂/Al₂O₃) SURFACE AREA DATA

MultipointBET	1,168E+02 m ² /g
Single Point BET	1,138E+02 m ² /g
Langmuir Surface Area.....	1,863E+02 m ² /g
t-Method External Surface Area:	1,168E+02 m ² /g
trMet..hod Micro Pore Surface Area	0,000E+00 m ² /g
DR Method Micro Pore Area.....	1,551E+02 m ² /g

PORE VOLUME DATA

t-Method Micro Pore Volume	0,000E+00 cc/g
DR Method Mj_cro pore Volume	5,513E-02 cc/g
HK Method Cumufative Pore Volume	4,575E-02 cc/g
SF Method Cumufative Pore Volume.....	4,689E-02 cc/g

PORE SIZE DATA

DR Method Micro Pore Width	1,117E+02 Å
DA Method Pore Diameter (Mode)	1,800E+01 Å
HK Method Pore Width (Mode).....	1,442E+01 Å
SF Method Pore Diameter (Mode)	2,713E+01 Å

DATA REDUCTION PARAMETERS

Thermal Transpiration: OFF
 Last Po Acquired 770.19 ilur Hg
 Additional Tnitial: zatlon fnformation Not Recorded.
 BJH/otl Moving Average Size : 1
 Interaction Constant (K) 2.9600 nm³ x kJ/mol

Lampiran 3. Data hasil ICPS

PTR 31 OKT 11 10/31/2011 12:21:24 PM READ BY EKWFKH Page 1 of 1

Versi 725-ES

Sample Label	Al 257.509	Si 184.082	Si 184.685	Si 184.752	Si 185.005	Si 185.185	Si 190.071	Si 198.835
	ppm							
BLK HCL 25%	1.83	-7.78	-9.02	-10.49	-10.06	-4.47	-0.36	-9.98
STSD-3 IC01	16213.7	190.34	211.54	211.12	259.42	283.19	232.13	212.55
BM 161 IC01	17981.5	381.34	413.44	407.09	527.47	506.96	433.08	411.20
BLK HCl 25%	77.64	-1.43	-1.48	-1.68	-1.45	-1.59	-1.12	-1.61
PTR-001489 (1)	498.50	-9.08	-9.20	-9.11	-9.13	-9.04	-8.94	-9.02
PTR-001489 (2)	402.46	-8.96	-9.20	-9.07	-9.16	-9.07	-8.95	-9.08
PTR-001489 (3)	421.67	-9.10	-9.28	-9.05	-9.29	-9.36	-8.95	-9.10

Sample Label	Si 212.412	Si 220.798	Si 221.089	Si 221.667	Si 243.515	Si 250.690	Si 251.432	Si 251.611
	ppm							
BLK HCL 25%	-8.43	-9.02	-7.14	-8.56	-8.63	-12.96	-12.68	-13.85
STSD-3 IC01	214.32	244.22	197.69	210.11	63.69	202.33	480.64	207.03
BM 161 IC01	414.63	451.71	393.77	410.82	224.94	400.79	731.22	403.41
BLK HCl 25%	-1.49	-1.46	-1.52	-1.48	-1.72	-1.65	-1.50	-1.70
PTR-001489 (1)	-9.08	-8.88	-8.96	-8.92	-9.02	-9.00	-8.88	-9.12
PTR-001489 (2)	-9.09	-8.95	-9.00	-8.89	-9.11	-9.02	-8.92	-9.15
PTR-001489 (3)	-9.11	-8.95	-9.02	-8.95	-9.10	-9.04	-8.92	-9.16

Sample Label	Si 251.920	Si 252.411	Si 252.851	Si 288.158
	ppm	ppm	ppm	ppm
BLK HCL 25%	-14.30	-13.50	-12.33	-13.50
STSD-3 IC01	455.90	199.32	210.39	208.86
BM 161 IC01	782.42	389.64	402.61	404.68
BLK HCl 25%	-1.48	-1.64	-1.60	-1.69
PTR-001489 (1)	-8.86	-9.03	-9.01	-9.19
PTR-001489 (2)	-8.91	-9.05	-9.01	-9.21
PTR-001489 (3)	-8.92	-9.08	-9.04	-9.22

Hasil analisis ICPS didapat tabel L 3 berikut

Tabel L. 3 Hasil uji ICPS

No	Katalis	Weight	Al	%
1.	Al ₂ O ₃	0,4789	498,50	52,04636
2.	0,01%PrO ₂ /Al ₂ O ₃	0,3869	402,46	52,01086
3.	0,03%PrO ₂ /Al ₂ O ₃	0,4054	421,67	52,00666

Lampiran 4. Data hasil SEM-EDX

SEMQuant results. Listed at 10:43:25 on 09/12/11
 Operator: zakiyuddin
 Client: Dept. Metalurgi dan Material Universitas Indonesia
 Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
 Spectrum label: 1184-3-1

System resolution = 59 eV

Quantitative method: ZAF (2 iterations) .
 Analysed all elements and normalized results.

Standards :

C	K	Carbon Low 13/09/06
O	K	AL2O3 20/05/11
Pr	K	PR6O11 20/05/11
Al	K	AL2O3 20/05/11

Summary 1 (Katalis Al₂O₃)

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C	K	ED 0.280	0.450
O	K	ED 38.210	50.920
Al	K	ED 61.540	48.630
Total		100.000	100.000

Summary 2 (Katalis 0,01%PrO₂/Al₂O₃)

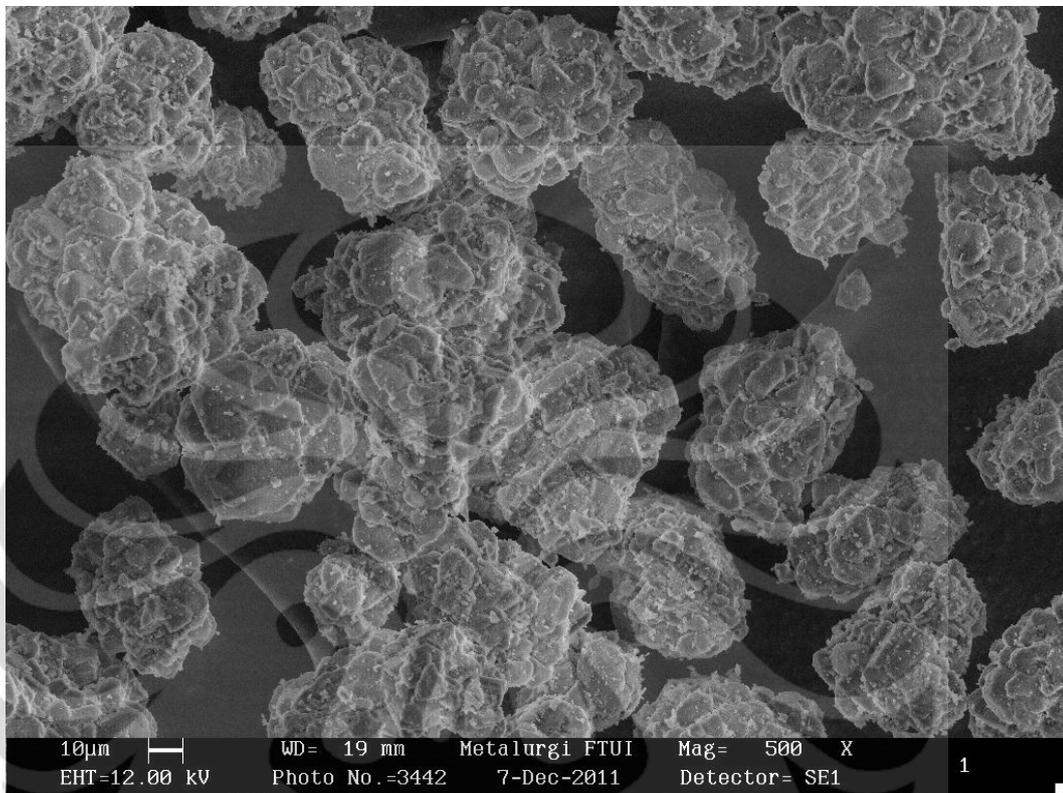
Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C	K	ED 2.628	4.518
O	K	ED 39.028	50.428
Pr	K	ED 0.004	0.004
Al	K	ED 58.340	45.050
Total		100.000	100.000

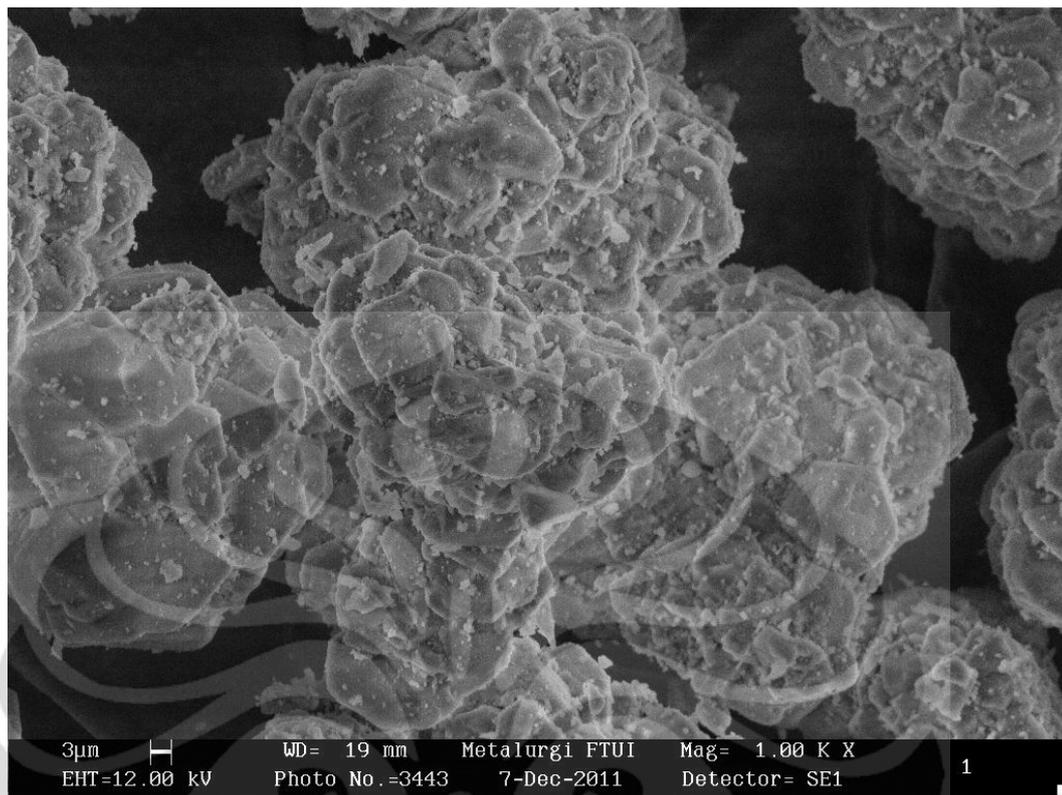
Summary 3 (Katalis 0,03%PrO₂/Al₂O₃)

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C	K	ED 5.385	9.035
O	K	ED 39.595	49.875
Pr	K	ED 0.011	0.010
Al	K	ED 55.009	41.080
Total		100.00	100.00

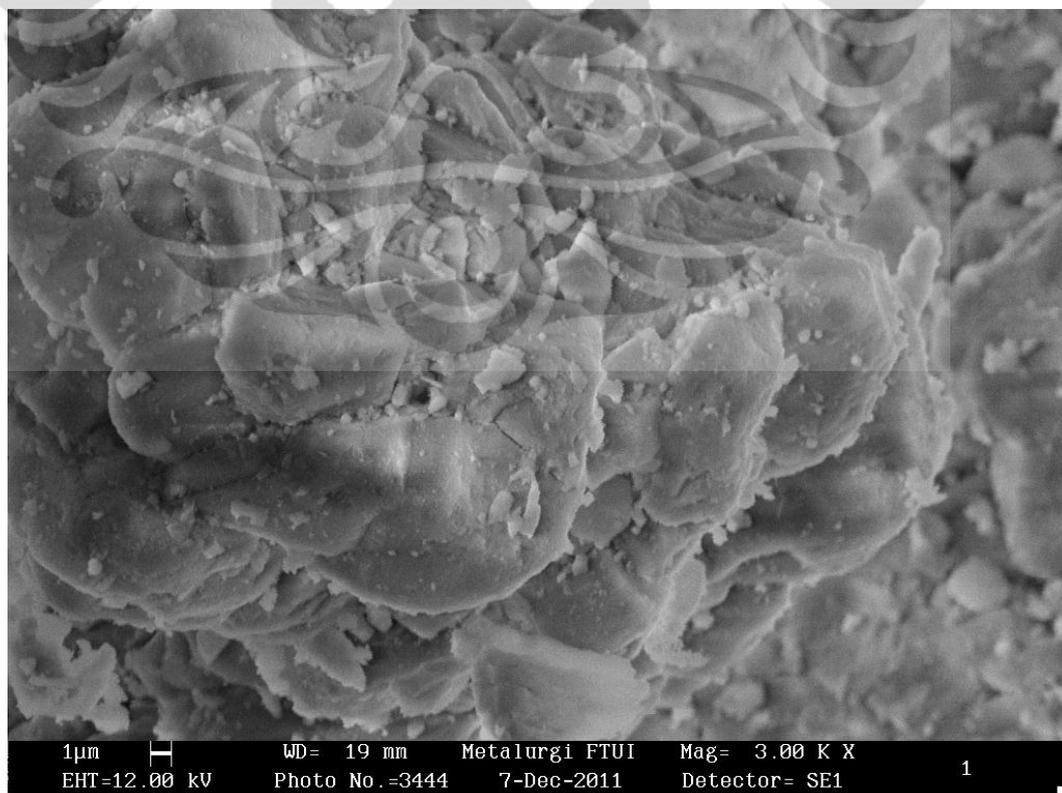
* = <2 Sigma

Lampiran 5. Gambar struktur katalis yang telah dibuat

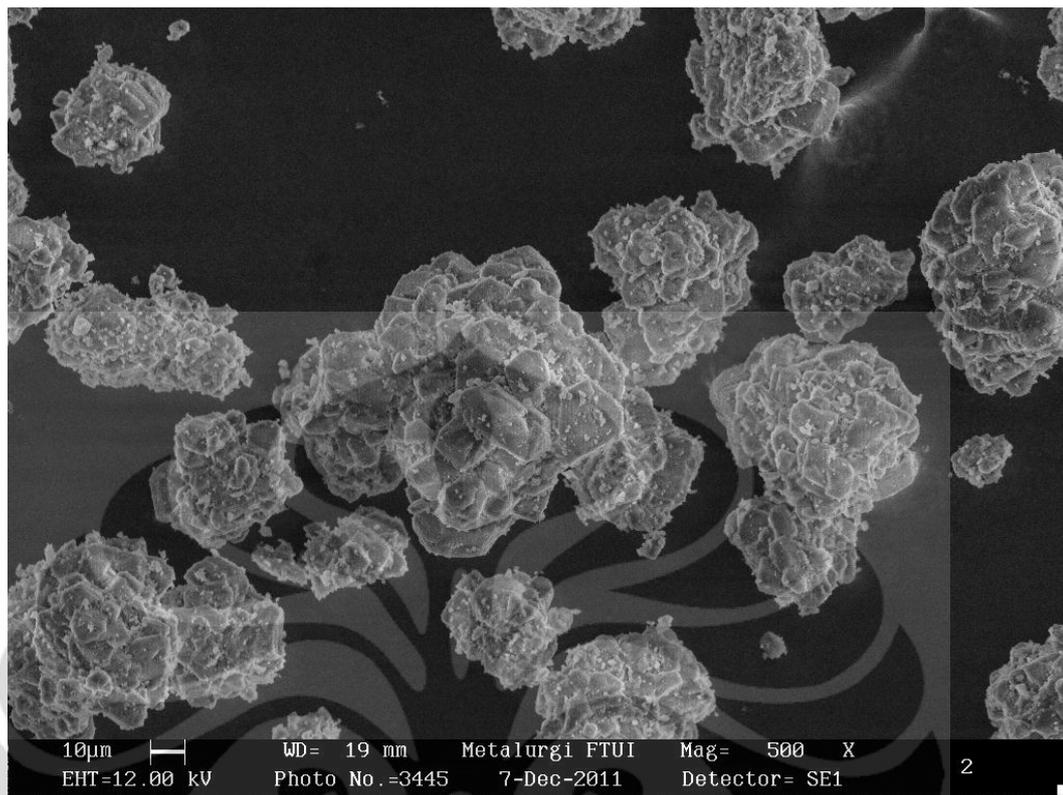
Gambar L. 5.1 Hasil uji SEM katalis Al₂O₃ (500 kali)



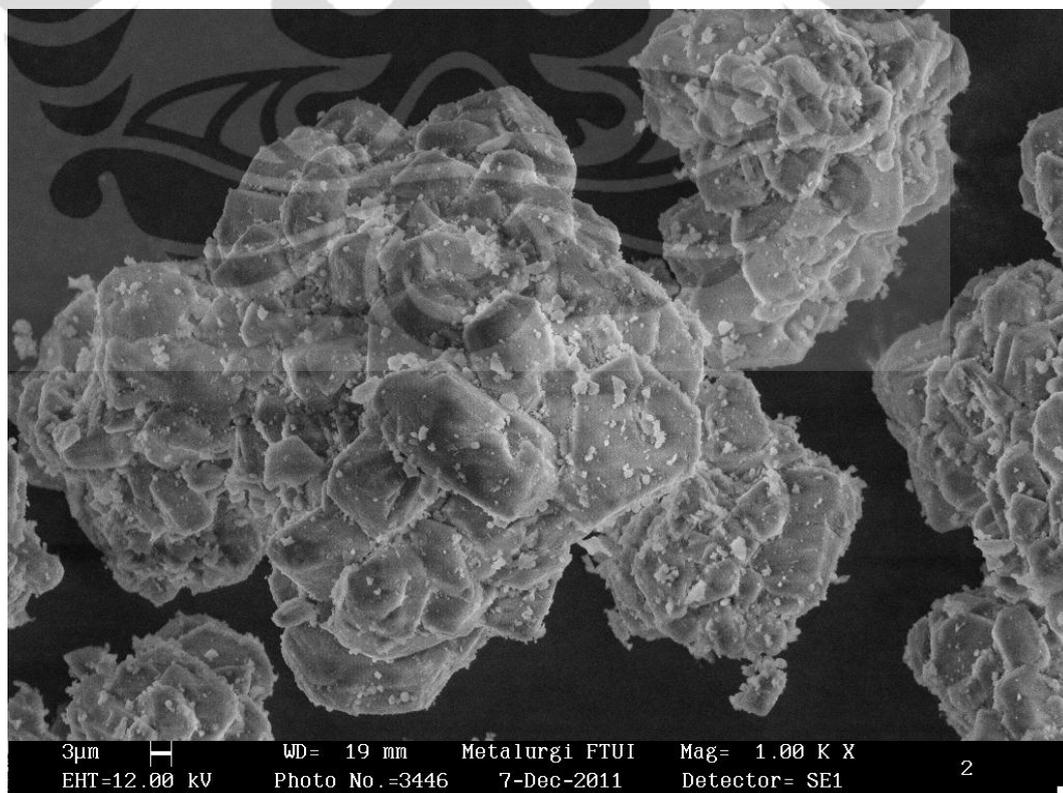
Gambar L. 5.2 Hasil uji SEM katalis Al₂O₃ (1000 kali)



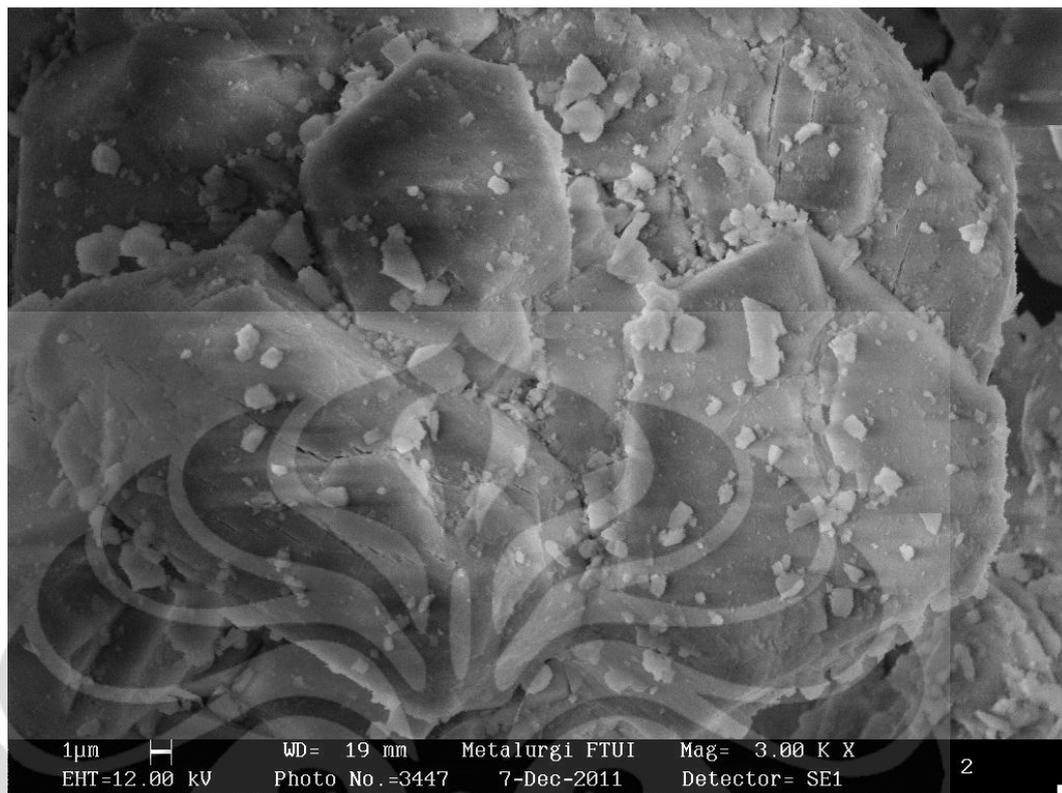
Gambar L. 5.3 Hasil uji SEM katalis Al₂O₃ (3000 kali)



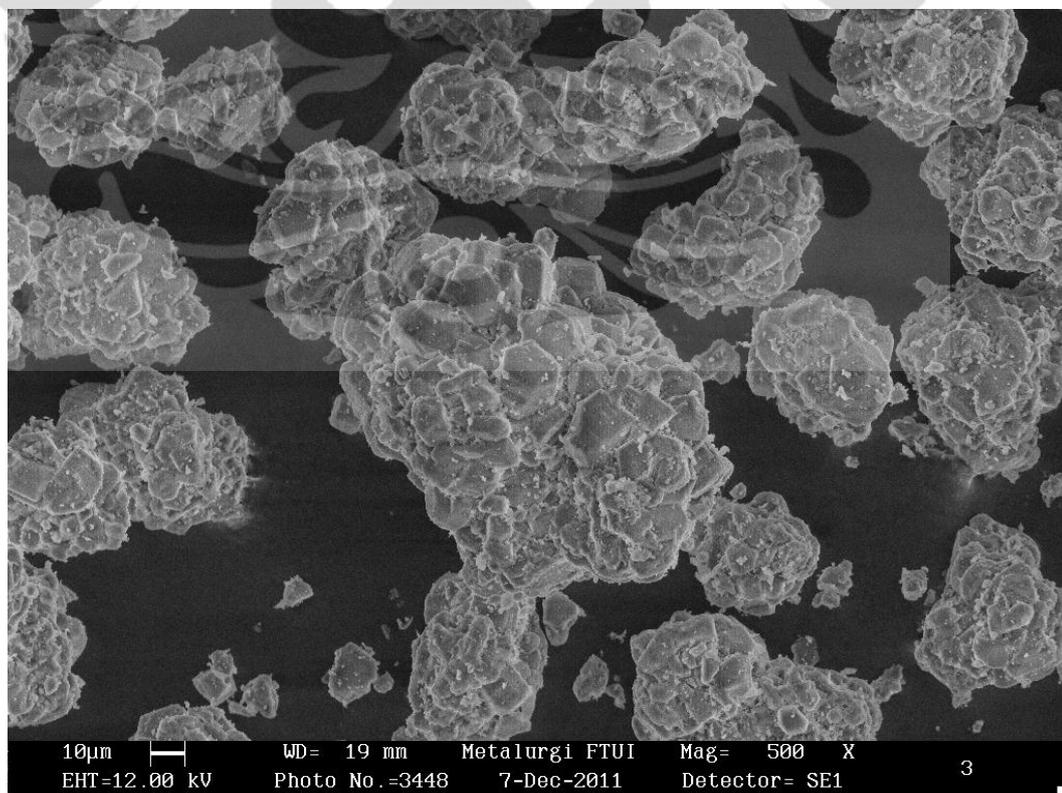
Gambar L. 5.4 Hasil uji SEM katalis 0,01%PrO₂/Al₂O₃ (500 kali)



Gambar L. 5.5 Hasil uji SEM katalis 0,01%PrO₂/Al₂O₃ (1000 kali)



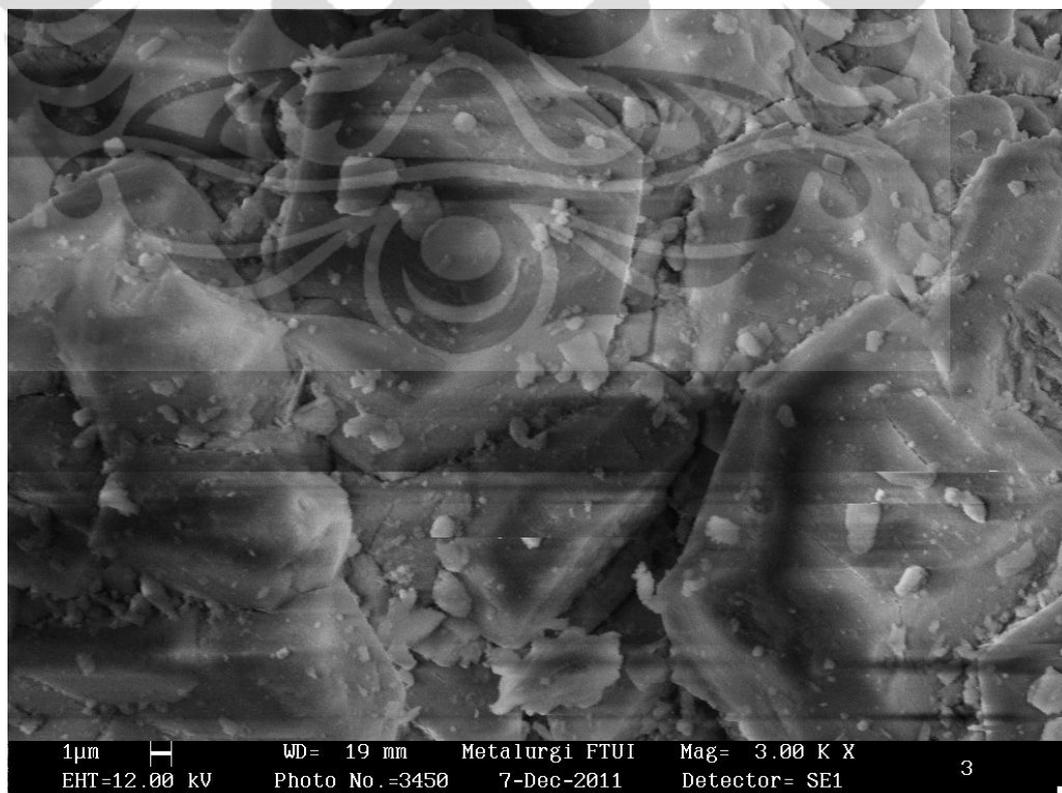
Gambar L. 5.6 Hasil uji SEM katalis 0,01%PrO₂/Al₂O₃ (3000 kali)



Gambar L. 5.7 Hasil uji SEM katalis 0,03%PrO₂/Al₂O₃ (500 kali)

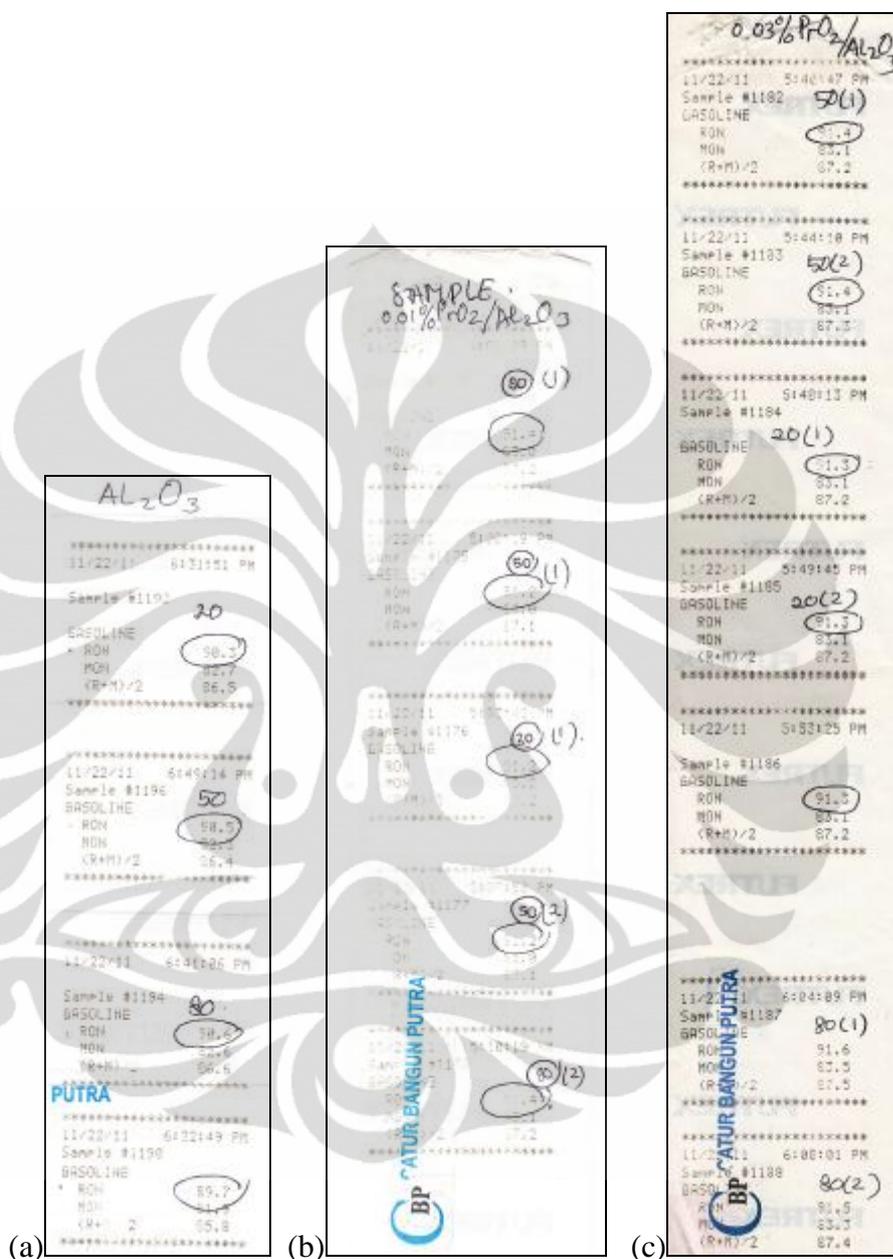


Gambar L. 5.8 Hasil uji SEM katalis $0,03\% \text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (1000 kali)



Gambar L. 5.9 Hasil uji SEM katalis $0,03\% \text{PrO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (3000 kali)

Lampiran 6. Data hasil pengukuran bilangan oktan bensin

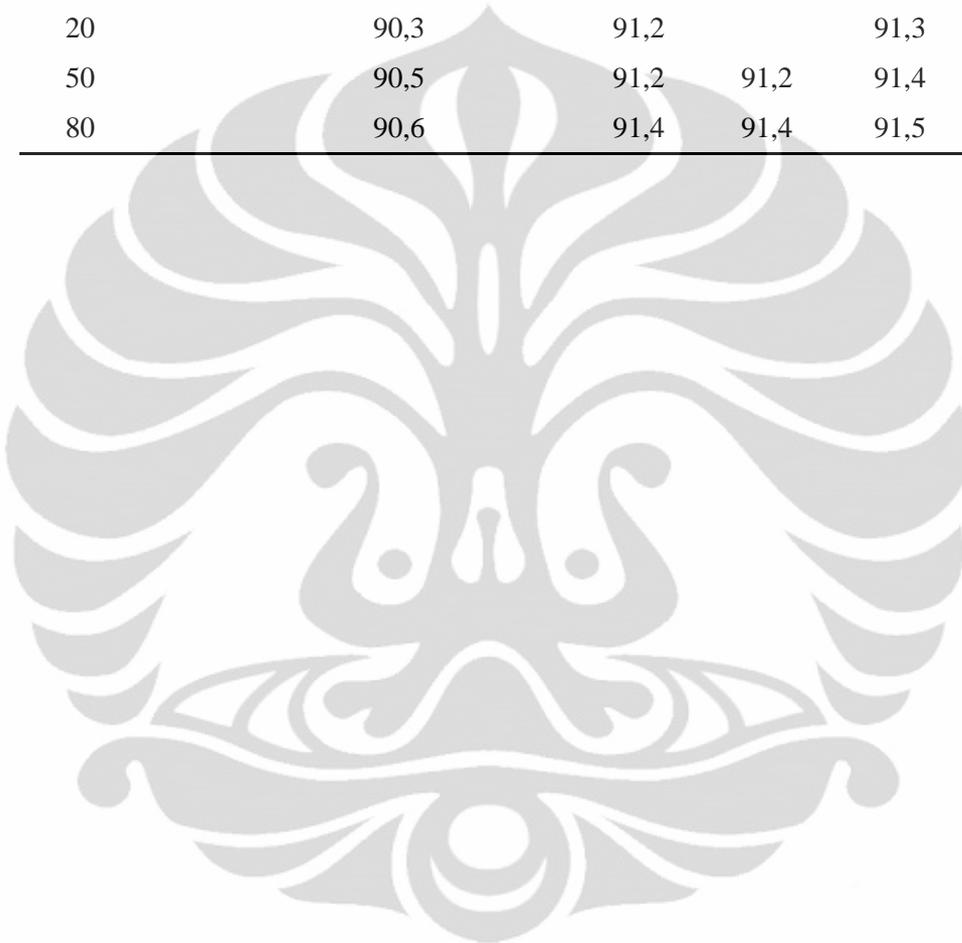


Gambar L. 6 Print out uji bilangan oktan bensin dengan menggunakan katalis (a) Al_2O_3
 (b) $0.01\% PrO_2/Al_2O_3$ (c) $0.03\% PrO_2/Al_2O_3$

Gambar L. 6 ditabelkan menjadi tabel L 5 berikut

Tabel L. 6 Hasil bilangan oktan bensin

Waktu	Tanpa katalis	Al ₂ O ₃		0,01% PrO ₂ /Al ₂ O ₃		0,03% PrO ₂ /Al ₂ O ₃	
	(1)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
0	89,7						
20		90,3		91,2		91,3	91,3
50		90,5		91,2	91,2	91,4	91,4
80		90,6		91,4	91,4	91,5	91,6



Lampiran 7. Data Hasil GC-MS

No	Nama Senyawa	Bensin tanpa katalis		bensin + Al ₂ O ₃		bensin + 0.01%PrO ₂ /Al ₂ O ₃		bensin + 0.03%PrO ₂ /Al ₂ O ₃	
		RT	% Area	RT	% Area	RT	% Area	RT	% Area
1	Butane, 2 methyl	1,31	2,63	1,31	2,82	1,32	2,48	1,31	2,80
2	1 Propene, 2 methyl 3 methylethoxy	1,36	1,62	1,36	1,85			1,36	1,73
3	Pentane					1,37	1,74		
4	2 Pentene	1,42	3,51	1,42	3,75	1,39	1,13	1,42	3,54
5	Butane, 2,2 dimethyl	1,45	0,75	1,46	0,95	1,47	0,93	1,46	0,91
6	Pentane, 2 methyl	1,59	4,31	1,59	3,62	1,60	3,55	1,59	3,17
7	Pentane, 3 methyl	1,65	2,41	1,65	3,08	1,66	2,98	1,66	3,46
8	1 Pentene, 2 methyl					1,70	0,41		
9	Hexane	1,74	2,51	1,75	2,85	1,76	2,78	1,76	2,88
10	2 Butene, 2,3 dimethyl	1,80	1,98	1,81	1,96	1,82	1,97	1,81	1,05
11	2 Pentene, 3 methyl	1,90	0,86	1,91	0,90			1,84	0,83
12	1 Pentane, 3 methyl					1,91	0,90	1,91	0,89
13	Cyclopentane, methyl	1,95	2,86	1,96	2,80	1,97	2,78	1,96	2,77
14	Cyclopentene, 1 methyl	1,17	1,13	2,18	1,07	2,20	1,06	2,19	1,05
15	Benzene	2,28	6,29	2,28	6,47	2,31	6,51	2,29	6,41
16	Hexane, 3 methyl	2,40	2,30	2,42	2,65	2,44	2,67	2,43	2,66
17	Butane, 2 metoxy 2 methyl	2,44	1,06						
18	Cyclopentane, 1,3 dimethyl	2,51	0,70	2,53	0,84	2,55	0,87	2,54	0,82
19	Pentane, 2,2,4 trimethyl	2,55	3,85						
20	Pentane, 2,2,3,4 tetramethyl			2,57	3,67	2,59	3,68		
21	Heptane, 2,2,4,6,6 pentamethyl			2,76	2,01			2,59	3,68
22	Heptane	2,73	1,71			2,79	2,03	2,77	2,01
23	3 methyl 3 hexene	2,80	1,09	2,83	0,95	2,85	1,15	2,84	1,13
24	Cyclohexane, methyl	3,12	2,32	3,15	2,47	3,18	2,5	3,16	2,47
25	Hexane, 2,4 dimethyl	3,32	0,99	3,35	1,02	3,39	1,02	3,37	1,02
26	1,2,4 trimethyl cyclopentane	3,47	0,54	3,5	0,62	3,54	0,63	3,52	0,62
27	Pentane, 2,3,4 trimethyl	3,68	1,12	3,72	1,14	3,76	0,89	3,73	1,14
28	Pentane, 2,3,3 trimethyl	3,79	1,12	3,83	1,1	3,87	1,11	3,84	1,1
29	Cyclopropane, 1 methyl 1 isopropenyl	3,84	0,50					3,89	0,52
30	Cyclopentene, 4,4 dimethyl			3,88	0,52				
31	Toluene	4,20	13,09	4,25	10,71	4,29	10,89	4,26	10,73
32	Heptane, 3 methyl	4,36	1,02	4,41	1,12	4,46	1,14	4,43	1,13
33	Cyclohexane, 1,2 dimethyl	4,46	0,72	4,51	0,72	4,56	0,74	4,53	0,73
34	Octane	5,30	0,60	5,35	0,82	5,40	0,83	5,37	0,85
35	Benzene, ethyl	7,52	2,41	7,56	2,48	7,61	2,50	7,58	2,46
36	Octane, 2 methyl			7,74	0,51	7,8	0,50	7,77	0,52

No	Nama Senyawa	Bensin tanpa katalis		bensin + Al ₂ O ₃		bensin + 0.01%PrO ₂ /Al ₂ O ₃		bensin + 0.03%PrO ₂ /Al ₂ O ₃	
		RT	% Area	RT	% Area	RT	% Area	RT	% Area
37	Xylene	7,84	8,21	7,88	8,57	7,94	8,70	7,90	8,54
38	Octane, 3 methyl	7,95	0,47	7,99	0,54	8,04	0,55	8,00	0,55
39	Benzene, 1,3 dimethyl	8,61	3,19	8,64	3,34	8,70	3,41	8,67	3,35
40	Benzene, propyl	10,58	0,48						
41	Benzene, 1 ethyl 2 methyl	10,85	3,73	10,87	3,72	10,93	3,69	10,89	3,64
42	Benzene, 1,2,3 trimethyl	11,05	1,14	11,07	1,20	11,13	1,09	11,09	1,07
43	Benzene, 1 ethyl 2 methyl	11,36	0,83	11,39	0,8	11,44	0,81	11,41	0,8
44	Benzene, 1,2,3 trimethyl	11,78	4,34	11,8	4,09	11,85	4,12	11,82	4,13
45	Benzene, 1,2,4 trimethyl	12,56	1,14	12,58	0,88	12,64	0,94	12,6	1,23
46	Benzene, cyclopropyl	12,90	0,89	12,93	0,85	12,98	0,78	12,95	0,85
47	Benzene, 1 methyl 3 propyl	13,37	0,80	13,4	0,78	13,45	0,79	13,42	0,81
48	Benzene, 4 ethyl 1,2 dimethyl	13,57	0,83	13,59	0,79	13,64	0,80	13,61	0,80
49	Benzene, 2 ethyl 1,4 dimethyl	14,04	0,48					14,12	0,60
50	Benzene, 1 methyl 2 methylethyl	14,09	0,63	14,11	0,61	14,15	0,61	14,29	1,16
51	Benzene, 1 methyl 2 methylethyl	14,25	1,15						
52	Benzene, 1,2,4,5 tetramethyl	15,01	0,51	14,27	1,15	15,18	0,57	15,58	0,69
53	Benzene, 1,2,4,5 tetramethyl	15,12	0,62	15,13	0,62				
54	Benzene, 3 methyl 2 butenyl							16,73	0,54