



SKRIPSI

**SINTESIS BAHAN BAKAR CAIR MENGGUNAKAN
METODE KONVERSI KATALITIK DARI LIMBAH
PLASTIK POLIPROPILENA**

**MAS ARIF TRI SUJADMIKO
NRP. 1413 100 008**

**Dosen Pembimbing
Dr. Hendro Juwono, M.Si.
Dra. Ita Ulfan, M.Si.**

**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**



SCRIPT

**SYNTHESIS OF LIQUID FUEL USING CATALYTIC
CONVERSION METHOD OF POLYPROPYLENE
PLASTIC WASTE**

**MAS ARIF TRI SUJADMIKO
NRP. 1413 100 008**

**Supervisor
Dr. Hendro Juwono, M.Si.
Dra. Ita Ulfin, M.Si.**

**CHEMISTRY DEPARTMENT
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

**SINTESIS BAHAN BAKAR CAIR MENGGUNAKAN
METODE KONVERSI KATALITIK DARI LIMBAH
PLASTIK POLIPROPILENA**

SKRIPSI

Disusun Sebagai Syarat Untuk Menyelesaikan Mata Kuliah Tugas
Akhir Program Studi S-1
Departemen Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Disusun oleh :

MAS ARIF TRI SUJADMIKO
NRP. 1413 100 008

Surabaya, 12 Juli 2017

**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

HALAMAN PENGESAHAN
SINTESIS BAHAN BAKAR CAIR MENGGUNAKAN
METODE KONVERSI KATALITIK DARI LIMBAH
PLASTIK POLIPROPILENA

TUGAS AKHIR
Oleh:

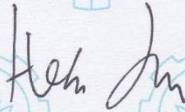
MAS ARIF TRI SUJADMIKO
NRP. 1413 100 008


Surabaya, 12 Juli 2017

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Dr. Hendro Juwono, M.Si
NIP. 19610606 198803 1 001


Dra. Ita Ulfin, M.Si
NIP. 19650426 198903 2 002

Mengetahui,
Kepala Departemen Kimia


Prof. Dr. Didik Prasetyoko, S.Si., M.Sc.
NIP. 19710616 199703 1 002

*Skripsi ini saya persembahkan untuk,
Ibu, Kakak dan Adik saya tercinta
Keluarga kecil saya Anorthite, Costboy dan
Teman-teman Laboratorium Instrumen dan Sains Analitik,*

SINTESIS BAHAN BAKAR CAIR MENGGUNAKAN METODE KONVERSI KATALITIK DARI LIMBAH PLASTIK POLIPROPILENA

Nama : Mas Arif Tri Sujadmiko
NRP : 1413100008
Departemen : Kimia
Pembimbing : Dr. Hendro Juwono, M.Si.
Dra. Ita Ulfin, M.Si.

ABSTRAK

Bensin (*gasoline*) merupakan salah satu jenis bahan bakar yang paling banyak dikonsumsi oleh masyarakat dunia, termasuk Indonesia. Produksi minyak mentah terus menerus dilakukan hingga akhirnya cadangan minyak bumi juga semakin habis. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan memproduksi bahan bakar cair yang berasal dari polimer plastik. Telah dilakukan penelitian dengan tujuan untuk sintesis bahan bakar cair yang berasal dari polimer limbah plastik menggunakan metode konversi katalitik. Katalis yang digunakan adalah material Al-MCM-41 dan limbah plastik polipropilena sebagai reaktan umpan. Variasi pada penelitian ini adalah jumlah katalis Al-MCM-41 sebesar 0%; 3,40%; 6,58%; 9,55% (b/b). Jumlah katalis mampu mempengaruhi produk bahan bakar cair yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan bakar cair yang paling mendekati karakteristik bahan bakar minyak berjenis bensin adalah bahan bakar cair berkatalis 9,55% (b/b) dengan *yield* fraksi bensin (C₇-C₁₂) sebesar 77,18%. Hasil pengujian fisik bahan bakar cair berkatalis 9,55% (b/b) antara lain: densitas 720 kg/m³, titik nyala 68°C, titik didih akhir 235°C, viskositas kinematik 0,504 cSt, kalor pembakaran 11.244 kkal/kg.

Kata Kunci: Katalis Al-MCM-41, bahan bakar cair, polipropilena, konversi katalitik.

SYNTHESIS OF LIQUID FUEL USING CATALYTIC CONVERSION METHOD OF POLYPROPYLENE PLASTIC WASTE

Name : Mas Arif Tri Sujadmiko
NRP : 1413100008
Department : Chemistry
Advisor : Dr. Hendro Juwono, M.Si.
Dra. Ita Ulfin, M.Si.

ABSTRACT

Gasoline is one of the most consumed fuels by the world community. Production of crude oil is continuously carried out until finally oil reserves are getting drained. One way to overcome this problem is to produce liquid fuels derived from plastic polymers. This research has been conducted with the aim of synthesizing liquid fuels derived from plastic waste polymers using catalytic conversion methods. Al-MCM-41 material was used as catalyst for cracking of polypropylene plastic waste as feed reactant. The variation in this study was the amount of Al-MCM-41 catalyst by 0%; 3.40%; 6.58%; 9.55% (w/w). The amount of catalyst affects liquid fuel product. The result of this research shows that fuel produced with 9.55% catalyst (w/w) has 77.18% yield of gasoline fraction (C₇-C₁₂) which has closest characteristic with gasoline type of fuel. Physical properties study shows that liquid fuel 9.55% catalyst (w/w) has value of density 720 kg /m³, flash point 68°C, final boiling point 235°C, kinematic viscosity 0.504 cSt, and burning heat 11244 kcal/kg.

Keyword: Al-MCM-41 catalyst, liquid fuel, polypropylene, catalytic conversion.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul “**Sintesis Bahan Bakar Cair menggunakan Metode Konversi Katalitik dari Limbah Plastik Polipropilena**” dapat diselesaikan dengan baik. Tulisan ini terwujud berkat bimbingan, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Hendro Juwono, M.Si., selaku dosen pembimbing I yang senantiasa memberikan motivasi dan bimbingan selama proses penelitian dan penulisan naskah.
2. Dra. Ita Ulfin, M.Si., selaku dosen pembimbing II yang senantiasa memberikan motivasi, bimbingan selama proses penelitian dan sekaligus selaku kepala Laboratorium Instrumen dan Sains Analitik yang telah memberikan izin selama melakukan penelitian..
3. Prof. Dr. Didik Prasetyoko, S.Si., M.Sc, selaku Ketua Jurusan Kimia ITS yang telah membantu secara administrasi.
4. Drs. Agus Wahyudi, M.S., selaku dosen wali yang telah memberikan pengarahan dan nasihat.
5. Orang tua dan keluarga yang selalu memberikan motivasi dan semangat.
6. Teman-teman satu dosen pembimbing yang selalu membantu kelancaran penelitian ini.
7. Sahabat saya Robby Nur Fridayan dan Tricahyo Agung Budi Harjo yang selalu memberikan dukungan moril.
8. Teman-teman Laboratorium Instrumen dan Sains Analitik yang telah membantu dan memberikan motivasi.
9. Teman-teman Anorthite yang selalu memberikan semangat.

Jika terdapat kesalahan dalam penulisan naskah ini,
diharapkan saran dan kritik untuk perbaikan di kemudian hari.

Surabaya, 12 Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Rumusan Masalah	4
1.3.Batasan Masalah.....	5
1.4.Tujuan Penelitian	5
1.5.Manfaat	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1.Katalis	7
2.1.1. Mobil Composition of Matter-41 (MCM-41)	8
2.1.2. Al-MCM-41	9
2.2.Polimer	11
2.3.1. Plastik.....	12
2.3.2. Polipropilena.....	13

2.3. Proses Konversi.....	14
2.4.1. Perengkahan Termal	15
2.4.2. Perengkahan Katalitik.....	16
2.4. Bensin (<i>Gasoline</i>).....	18
2.5. Karakterisasi Bahan Bakar Cair	20
2.5.1 Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (KG-SM)..	20
2.5.2 Densitas.....	23
2.5.3 Titik Nyala	23
2.5.4 Viskositas Kinematik	24
2.5.5 Kalor	25
BAB III METODOLOGI	27
3.1. Alat dan Bahan.....	27
3.1.1. Alat.....	27
3.1.2. Bahan	27
3.2. Prosedur Kerja.....	27
3.2.1. Preparasi Katalis	27
3.2.2. Sintesis Bahan Bakar Cair	28
3.2.3. Karakterisasi Bahan Bakar Cair.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1. Preparasi Katalis.....	34
4.2. Sintesis Bahan Bakar Cair.....	35
4.3. Hasil Karakterisasi Bahan Bakar Cair.....	39
4.3.1 Kromatografi Gas-Spektrometri Massa(KG-SM)...	39
4.3.2 Densitas.....	43

4.3.3 Titik Nyala	45
4.3.4 Titik Didih Akhir	47
4.3.5 Viskositas	48
4.3.6 Kalor	50
4.4. Proses Konversi	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	55
5.1. Kesimpulan	55
5.2. Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	65
BIODATA PENULIS	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur heksagonal MCM-41.....	8
Gambar 2.2 Struktur polipropilena.....	13
Gambar 2.3 Jenis polimer (i) homopolimer (ii) kopolimer impak (iii) kopolimer acak.....	14
Gambar 3.1 Set alat penelitian.....	28
Gambar 4.1 Bentuk pelet dari katalis	35
Gambar 4.2 Bentuk sampel limbah plastik polipropilena	36
Gambar 4.3 Produk sintesis bahan bakar cair variasi jumlah katalis.....	37
Gambar 4.4 <i>Coke (carbon-residue)</i>	38
Gambar 4.5 Kromatogram bahan bakar cair penelitian ini.....	40
Gambar 4.6 Komposisi fraksi hidrokarbon.....	41
Gambar 4.7 Kelimpahan komposisi fraksi bensin tiap jenis bahan bakar cair.....	42
Gambar 4.8 Densitas bahan bakar cair.....	44
Gambar 4.9 Titik nyala bahan bakar cair.....	46
Gambar 4.10 Titik didih akhir bahan bakar cair.....	47
Gambar 4.11 Viskositas bahan bakar cair.....	49
Gambar 4.12 Kalor bahan bakar cair.....	51
Gambar 4.13 Reaksi konversi katalitik plastik	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik katalis Al-MCM-41 (Meziani dkk., 2001).....	9
Tabel 2.2 Karakteristik katalis Al-MCM-41 (Iliopoulou dkk., 2007).....	10
Tabel 2.3 Karakteristik katalis Al-MCM-41 (Carmo dkk., 2009).....	11
Tabel 2.4 Karakterisasi polipropilena.....	14
Tabel 2.5 Spesifikasi bahan bakar minyak jenis bensin (SNI 06-3506-1994)	19
Tabel 4.1 Konversi volume bahan bakar cair dan <i>coke</i>	38
Tabel 4.2. <i>Yield</i> bahan bakar cair.	40
Tabel 4.3 Pengujian nilai kalor bahan bakar cair.	51

DAFTAR LAMPIRAN

A. Langkah Penelitian.....	65
B. Skema Kerja.....	66
C. Hasil Pengukuran Penelitian	67
C.1. Hasil Karakterisasi XRD Katalis Al-MCM-41	67
C.2. Hasil Karakterisasi Adsorpsi Desorpsi N ₂ Katalis Al-MCM-41	67
C.3. Hasil Karakterisasi ICP Katalis Al-MCM-41.....	68
D. Hasil Karakterisasi Bahan Bakar Cair.....	69
D.1. Hasil Karakterisasi GC-MS Bahan Bakar Cair	69
D.2. Hasil Pengujian Titik Nyala dan Titik Didih Akhir Bahan Bakar Cair	83
D.3. Hasil Pengujian Nilai Kalor Bahan Bakar Cair	84
E. Perhitungan	84
E.1. Variasi Jumlah Katalis.....	84
E.2. Penentuan Densitas Bahan Bakar Cair	84
E.3. Penentuan Viskositas Kinematik Bahan Bakar Cair	85
E.4. Penentuan <i>Yield</i> Bahan Bakar Cair.....	86
F. Standar Baku Mutu Bahan Bakar Minyak Berjenis Bensin.....	88
F.1. SNI 06-3506-1994.....	88
F.2. <i>Shell Petroleum</i> Canada 1999	89

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan masyarakat akan energi semakin meningkat, khususnya energi Bahan Bakar Minyak (BBM) yang berasal dari fosil yang tak dapat diperbarui. Sebagai sumber energi tak terbarukan, cadangan BBM sangat terbatas. Untuk menghadapi tantangan cadangan sumber daya fosil yang semakin menipis maka diperlukan pemanfaatan sumber energi lain untuk menggantikan pemakaian energi fosil. Salah satu sumber energi alternatif yang berkontribusi dalam pemenuhan kebutuhan energi saat ini adalah pengolahan limbah plastik. Plastik merupakan senyawa sintesis dari hidrokarbon rantai pendek yang terbuat dari rantai polimerisasi molekul-molekul kecil, sehingga membentuk rantai panjang (Gooch, 2007). Plastik memiliki sifat yang ringan, kuat, tahan terhadap korosi, transparan dan mudah diwarnai. Oleh karena kelebihan tersebut dalam kehidupan modern ini peranan plastik telah menggantikan kayu dan logam mulai dari kemasan makanan, alat-alat rumah tangga, mainan anak, elektronik hingga komponen otomotif. Namun di lain sisi, peningkatan penggunaan plastik ini akan membawa permasalahan yang buruk pada manusia dan lingkungan karena menghasilkan limbah yang bersifat *non-biodegradable*.

Pada tahun 2014, jumlah limbah plastik yang diproduksi di dunia telah mencapai 280 juta tons (Sriningsih dkk, 2014). Limbah plastik terbesar dihasilkan dari aktivitas masyarakat kota. Limbah ini campuran dari berbagai jenis plastik seperti *polyethylene terephthalate* (PET), *high density polyethylene* (HDPE), *polyvinyl chloride* (PVC), *low density polyethylene* (LDPE), *polypropylene* (PP) dan *polystyrene* (PS). Polipropilena

(PP) merupakan jenis limbah plastik yang sering dijumpai (Onwudili dkk, 2009). Polipropilena memiliki kelebihan yaitu mudah dibentuk ketika panas, sifatnya lentur, keras, dan resisten terhadap lemak. Oleh sebab itu polipropilena dimanfaatkan secara luas dalam kehidupan sehari-hari sebagai wadah makanan, kemasan, tutup botol obat, mainan, sedotan, mainan, dan tali (Suharto, 2010).

Polipropilena adalah sebuah polimer hidrokarbon linier hasil reaksi polimerisasi propilena dengan rumus molekul $(C_3H_6)_n$. Oleh karena struktur hidrokarbonnya rantai panjang, maka limbah plastik polipropilena dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair yang dilakukan dengan proses perengkahan (*Cracking*). Perengkahan adalah reaksi pemutusan C-C dari rantai karbon panjang dengan massa molekul relatif besar menjadi rantai karbon pendek dengan massa molekul relatif yang kecil (Sibarani, 2012). Proses perengkahan digolongkan menjadi dua yaitu perengkahan termal dan perengkahan katalitik. Perengkahan katalitik merupakan metode perengkahan yang menggunakan tambahan katalis untuk mereduksi penggunaan suhu tinggi pada perengkahan termal sehingga dapat menghemat konsumsi energi. Perengkahan katalitik menggunakan katalis heterogen sehingga dalam prosesnya terjadi interaksi padat-gas yaitu interaksi antara katalis dengan reaktan gas hidrokarbon rantai panjang.

Penelitian sebelumnya telah melaporkan perengkahan katalitik limbah plastik berupa polipropilena yang dilakukan Wanchai dan Chaisuwan (2013) dengan menggunakan katalis zeolit- β (BEA) sebanyak 5 g dengan rasio Si/Al 30, 60 dan 90 dan rasio plastik/katalis sebesar 5% w/w. Penelitian dilakukan secara *batch* selama 30 menit dan dialiri N_2 terus menerus pada suhu variasi 350-420°C. Hasil yang diperoleh berupa gas, cairan dan residu dengan *yield* tertinggi saat menggunakan katalis zeolit- β

dengan rasio Si/Al 30 pada suhu 350°C diperoleh *gasoline* sebesar 85%. Melyna (2013) melakukan penelitian perengkahan katalitik limbah plastik HDPE, PP dan PS dengan katalis H-Zeolit menghasilkan bahan bakar seperti bensin, solar, dan kerosin. Penelitian ini menghasilkan *yield* terbaik saat menggunkan plastik berjenis HDPE sebesar 33,73% bahan bakar cair. Selain itu, Kadir (2012) melakukan penelitian perengkahan plastik berjenis HDPE, PP, dan PET tanpa menggunakan katalis. Pada penelitian ini 500 g PP dapat dikonversi menghasilkan bahan bakar sebanyak 484 mL.

Penggunaan zeolit sebagai katalis dalam perengkahan katalitik limbah plastik masih belum optimum hal ini dikarenakan luas permukaan pori yang relatif kecil. Oleh sebab itu diperlukan material mesopori lain seperti pada penelitian Xie dkk. (2008) melakukan konversi katalitik limbah plastik PP dengan katalis Zr-Mo-MCM-41 1% pada suhu 500°C selama 30 menit. Penelitian ini memiliki *yield* produk cairan sebesar 98,60%. Material mesopori lainnya seperti katalis Al-MCM-41 juga berpotensi sebagai pengganti peranan zeolit. Katalis Al-MCM-41 merupakan katalis asam, adanya ion aluminium pada struktur MCM-41 meningkatkan keasaman material ini sehingga ion logam tersebut akan menjadi sisi asam Lewis dan berperan sebagai sisi aktif pada proses katalitik (Bhattacharyya dkk., 2001). Penggunaan katalis Al-MCM-41 dilaporkan oleh penelitian Jermy dan Padurangan (2005) dalam reaksi esterifikasi asam asetat dan n-butil alkohol dengan ratio Si/Al = 25 menghasilkan konversi produk 90,10%. Penggunaan Al-MCM-41 belum pernah diaplikasikan dalam reaksi konversi katalitik plastik sehingga dalam penelitian ini digunakan Al-MCM-41 sebagai katalis pada reaksi konversi katalitik limbah plastik polipropilena untuk menghasilkan bahan bakar cair.

Berawal dari latar belakang tersebut maka perlu dilakukan penelitian mengenai pembuatan bahan bakar cair berasal dari konversi katalitik limbah plastik polipropilena. Hasil bahan bakar cair yang diperoleh akan dikarakterisasi menggunakan Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (KG-SM) untuk mengetahui senyawa kimia penyusun bahan bakar cair tersebut. Sebagai bahan bakar cair yang akan dimanfaatkan untuk mesin kendaraan maka dilakukan karakterisasi fisik meliputi nilai kalor, densitas, titik nyala, titik didih akhir dan viskositas. Karakterisasi fisik bahan bakar cair yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan baku mutu bahan bakar cair yang berlaku.

1.2. Rumusan Masalah

Penelitian Ahmad dkk. (2014) mengamati peleburan limbah plastik polipropilena (PP) pada suhu 400°C menggunakan *micro steel reactor* menghasilkan 94,3% cairan (minyak) dan residu padat sebesar 5,70%. Plastik berjenis lain seperti polietilena (PE) dengan kondisi yang sama menghasilkan *yield* produk berupa 80,88% cairan (minyak) dan residu padat sebesar 29,12% (b/b). Hal ini menunjukkan konversi produk minyak polipropilena lebih melimpah dari pada polietilena. Namun dengan persen *yield* cairan yang tinggi belum menjamin bahwa bahan bakar cair yang dihasilkan memiliki fraksi rantai hidrokarbon yang pendek sehingga dalam penelitian ini perlu digunakan katalis Al-MCM-41 dalam konversi katalitik limbah plastik polipropilena. Penelitian mengenai pengaruh jumlah katalis Al-MCM-41 untuk reaksi konversi katalitik limbah plastik polipropilena belum pernah dilakukan sebelumnya sehingga dalam penelitian ini akan dilakukan variasi jumlah katalis Al-MCM-41 dari 0%; 3,40%; 6,68% dan 9,55% (b/b). Produk bahan bakar cair yang terbentuk dikarakterisasi sifat fisik dan kimianya

seperti densitas, titik nyala, titik didih akhir, viskositas kinematik, nilai kalor dan kandungan senyawa kimianya menggunakan KG-SM.

1.3. Batasan Masalah

Sintesis bahan bakar cair pada penelitian ini dilakukan dengan metode konversi katalitik pada temperatur 350°C selama 120 menit dengan variasi jumlah katalis Al-MCM-41 0%; 3,40%; 6,68% dan 9,55% (b/b). Hasil sintesis bahan bakar dikarakterisasi sifat fisik dan kimianya meliputi densitas, titik nyala, titik didih akhir, viskositas kinematik, kalor dan kandungan senyawa kimianya.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk sintesis bahan bakar cair dari konversi katalitik limbah plastik polipropilena dengan bantuan katalis Al-MCM-41 dan untuk mengetahui pengaruh jumlah katalis Al-MCM-41 yang digunakan dalam konversi katalitiknya.

1.5. Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi sumber alternatif pembuatan bahan bakar cair yang terbatas pada sumber daya fosil namun juga dapat dibuat dari limbah plastik melalui konversi katalitik. Manfaat penelitian ini dapat berkontribusi bagi pemerintah, masyarakat dan lingkungan. Adanya sumber bahan bakar alternatif berasal dari pengolahan limbah plastik melalui konversi katalitik maka pemerintah dapat mengurangi ketergantungan akan bahan bakar minyak yang semakin menipis. Pengolahan kembali limbah plastik tentunya

akan memberikan manfaat yang besar pada lingkungan dan masyarakat sehingga ekosistem semakin terjaga.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Katalis

Katalis merupakan zat yang ditambahkan untuk mempercepat jalannya reaksi dan ikut terlibat dalam reaksi namun akan terbentuk kembali setelah reaksi berakhir tanpa mengalami perubahan kimiawi. Katalis tidak merubah nilai kesetimbangan dan berperan dalam menurunkan energi aktivasi. Energi aktivasi merupakan energi minimum yang dibutuhkan untuk terjadinya reaksi. Katalis memiliki sifat-sifat seperti aktivitas, stabilitas, selektivitas, umur, regenerasi dan kekuatan mekaniknya (Gates, 1992).

Umumnya katalis terdiri dari tiga komponen penting yaitu sisi aktif, penyangga dan promotor. Sisi aktif katalis berperan sebagai tempat terjadinya reaksi kimia yang diharapkan. Penyangga berperan dalam memodifikasi komponen aktif, menyediakan permukaan yang luas dan meningkatkan stabilitas katalis. Sedangkan promotor berperan dalam meningkatkan atau membatasi aktivitas katalis serta berperan dalam struktur katalis (Istadi, 2011).

Berdasarkan fasa, katalis dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu katalis heterogen, katalis homogen dan katalis enzim. Katalis heterogen adalah katalis yang mempunyai fasa yang berbeda dengan substratnya, biasanya timbul interaksi padat cair. Katalis homogen adalah katalis yang mempunyai fasa yang sama dengan fasa substratnya, interaksi yang timbul antara substrat dan katalis biasanya interaksi cair-cair. Sementara katalis enzim yaitu katalis berupa molekul protein dengan ukuran koloid, artinya fasanya berada diantara katalis homogen dan heterogen (Georgogianni, 2009).

Katalis heterogen merupakan katalis berwujud padatan yang berinteraksi dengan substrat yang berbeda fasa, yaitu gas atau cair sehingga interaksi yang mungkin terjadi yaitu interaksi padat-gas atau padat-cair. Interaksi antara substrat dengan katalis heterogen umumnya terjadi di permukaan katalis (Georgogianni, 2009).

2.1.1. Mobil Composition of Matter–41 (MCM-41)

MCM-41 merupakan material yang memiliki pori-pori yang lebih besar dari pada material kristalin lainnya seperti zeolite. Oleh karena itu penggunaan material ini cukup luas diaplikasikan dalam katalisis, media adsorpsi, pemisahan kimia dan lain-lain. MCM-41 memiliki distribusi ukuran pori yang sedikit sempit, luas permukaan internal yang besar, dan pori-pori silindris yang seragam dengan susunan heksagonal. Struktur MCM-41 dapat dilihat pada Gambar 2.1. MCM-41 lebih stabil secara termal dengan tingkat resistansi asam yang besar, tetapi stabilitas hidrotermalnya relatif rendah (Zhao dkk., 1996).



Gambar 2.1 Struktur heksagonal MCM-41 (Sandi, 2009).

Proses sintesis MCM-41 dapat dilakukan dengan berbagai prosedur preparasi, tetapi semua prosedur tersebut memiliki kesamaan yakni menggunakan silika dan templat. Templat adalah agen pengarah terbentuknya struktur. Templat dapat berupa molekul sederhana atau ion yang berada disekeliling *framework*

yang dibangun (Zhao dkk., 1996). Templat yang paling umum adalah ion *ammonium quaterner* dengan rantai alkil pendek yang dapat dimodifikasi dengan cara mengganti paling sedikit satu rantai alkil pendek dengan rantai alkil panjang, biasanya berupa gugus heksadesil (Sandi, 2009).

2.1.2. Al-MCM-41

Material MCM-41 memiliki kelemahan pada sisi asamnya. Oleh karena itu perlu dilakukan peningkatan sisi asam dari material ini. Luas permukaan dan pori-pori MCM-41 yang besar memungkinkan ion logam ataupun bukan logam dapat masuk ke dalam pori-pori mesopori MCM-41 melalui substitusi atom Si dalam posisi tetrahedral (Battacharyya dkk., 2001). Material MCM-41 dapat dimodifikasi dengan mensubstitusikan beberapa ion logam transisi seperti Ga, Ti Fe, Mn V dan Al pada *framework* MCM-41 sehingga dapat meningkatkan sisi asam katalis (Carmo dkk., 2009). Penelitian Battacharyya dkk. (2001) menunjukkan adanya substitusi ion logam Al pada struktur MCM-41 mampu meningkatkan sisi asam baik asam Brownsted pada 1450 cm^{-1} maupun asam Lewis pada 1540 cm^{-1} .

Tabel 2.1 Karakteristik katalis Al-MCM-41 (Meziani dkk., 2001).

No	Katalis	Rasio Si/Al	Diameter pori (Å)	Vol Pori (mL/g)	Keasaman (mmol/g)
1	Si-MCM-41	0	23	0,60	0
2	Al-MCM-41(A)	86,3	23	0,69	0,035
3	Al-MCM-41(B)	43,9	24	0,76	0,060
4	Al-MCM-41(C)	23,3	25	0,79	0,098
5	Al-MCM-41(D)	14,3	26	0,82	0,152

Sintesis Al-MCM-41 umumnya dilakukan dengan teknik hidrotermal dengan senyawa prekursor yang berbeda-beda.

Meziani dkk. (2001) melakukan sintesis Al-MCM-41 menggunakan sumber silika sodium silikat dan aluminium sulfat sebagai sumber aluminium dengan berbagai ratio Si/Al yaitu 14,3 (D), 23,3 (C), 43,9 (B) dan 86,3 (A) dilakukan secara hidrotermal. Sifat katalis Al-MCM-41 hasil sintesis penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Eimer dkk. (2003) melaporkan bahwa material Al-MCM-41 dapat disintesis menggunakan prekursor *tetraethylorthosilicate* (TEOS) sebagai sumber silika dan sodium aluminat sebagai sumber aluminium serta dilakukan dengan teknik hidrotermal, Material yang diperoleh memiliki keteraturan MCM-41 sangat tinggi dan rasio Si/Al sebesar 20.

Tabel 2.2 Karakteristik katalis Al-MCM-41 (Iliopoulou dkk., 2007).

Katalis	Luas (m ² /g)	Ukuran pori (nm)	Vol Pori (mL/g)	Keasaman (mmol/g)
MCM-41	946	2,87	0,86	~0,02
Al-MCM-41(30)	869	2,75	0,96	0,28
Al-MCM-41(50)	827	2,70	0,93	0,20
MCM-41(C)	796	2,58	0,67	0,00
Al-MCM-41(30)-st550	591	2,52	0,63	0,21
Al-MCM-41(30)-st750	537	2,14	0,61	0,11
Al-MCM-41(50)-st750	502	2,38	0,56	0,16

Menurut Iliopoulou dkk. (2007) sintesis material mesopori Al-MCM-41 menggunakan prekursor TEOS sebagai sumber silika, sedangkan sumber aluminium menggunakan *aluminium isopropoxide* (AIP). Sintesis juga dilakukan

menggunakan teknik hidrotermal. Salah satu tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini yaitu untuk mengetahui komposisi optimum perbandingan Si/Al material dan kondisi kalsinasi saat sintesis agar memperoleh sisi asam yang besar. Hasil penelitian ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Sintesis Al-MCM-41 juga dilakukan Carmo dkk. (2009) dengan mereaksikan langsung $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam larutan CTABr dan NaOH. Lalu campuran ditambahkan TEOS sebagai sumber silika. Campuran dikalsinasi pada suhu 550°C selama 7 jam dengan perlakuan 1 jam dialiri nitrogen dan 6 jam berikutnya dialiri udara. Tujuan penelitian ini salah satunya adalah mencari komposisi optimum perbandingan Si/Al. Perbandingan Si/Al yang digunakan yaitu 8, 16 dan 32. Hasil penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Karakteristik katalis Al-MCM-41 (Carmo dkk., 2009).

Katalis	2θ ($^\circ\text{C}$)	d_{100} (\AA)	A_0 (\AA)	Luas (m^2/g)	APD (\AA)	Vol. Pori (cc/g)
Al-MCM-41(8)	2,5	33	38	713	34	0,67
Al-MCM-41(16)	2,4	36	40	792	36	0,71
Al-MCM-41(32)	2,2	40	46	815	36	0,89

2.2. Polimer

Polimer adalah molekul raksasa yang tersusun oleh pengulangan kesatuan senyawa kecil (monomer) yang saling berikatan satu sama lain sehingga memiliki massa molekul yang relatif besar (Cowd dan Strak, 1991). Polimer disintesis dari molekul-molekul sederhana yang disebut monomer atau bahan tunggal (Stevens, 2001). Polimer dapat digolongkan menjadi beberapa jenis antara lain:

a. Berdasarkan asal atau sumber

Polimer digolongkan menjadi dua berdasarkan asalnya yaitu polimer sintetik dan polimer alam. Polimer sintetik merupakan polimer yang dihasilkan melalui sintesis secara kimia. Polimer sintetik dibentuk untuk meningkatkan kualitas suatu polimer sehingga kebutuhan hidup manusia dapat terpenuhi, Polimer ini berupa plastik dan serat buatan yang memiliki sifat mudah dibentuk dan kuat. Sementara itu, plastik alam merupakan senyawa polimer yang dihasilkan dari proses metabolisme makhluk hidup. Berberapa contoh polimer jenis ini yaitu poliisoprena (karet alam), pati, selulosa, protein dan kitosan. Polimer alam cenderung bersifat kurang stabil pada pemanasan, sukar dibentuk, jumlahnya terbatas (Alock, 1990).

b. Berdasarkan sifat termal

Berdasarkan sifat termal, polimer digolongkan menjadi dua yakni termoset dan termoplastik. Polimer termoset merupakan jenis polimer yang tidak dapat melunak pada pemanasan melainkan menjadi terikat silang dan menyebabkan kaku. Contoh polimer jenis ini yaitu epoksi dan melamin formaldehida. Polimer lainnya yaitu termoplastik. Polimer termoplastik adalah polimer yang dapat melunak apabila dipanaskan dan dapat dibentuk/dicetak kembali berulang-ulang. Contoh polimer jenis ini antara lain: *Polyethylene Terephthalate* (PET), *High Density Polyethylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low Density Polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* (PP), dan *Polystyrene* (PS) (Cowd dan Stark, 1991).

2.2.1. Plastik

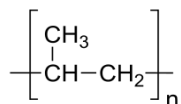
Plastik merupakan bahan yang tersusun dari satu atau lebih polimer. Plastik merupakan senyawa sintesis dari hidrokarbon rantai pendek yang terbuat dari rantai polimerisasi

molekul-molekul kecil, sehingga membentuk rantai panjang yang kaku (Gooch, 2007).

Secara umum terdapat tujuh jenis plastik yang digunakan secara komersial, diantaranya yaitu *Polyethylene Terephthalate* (PET), *High Density Polyethylene* (HDPE), *Polyvinyl Chloride* (PVC), *Low Density Polyethylene* (LDPE), *Polypropylene* (PP), *Polystyrene* (PS), dan Other (SAN, ABS, PC, Nylon). Diantara semua jenis plastik ini, jenis plastik yang sering digunakan adalah *polypropylene*, hal ini karena *polypropylene* memiliki sifat yang kuat dan stabil pada suhu tinggi (Julianti dan Nurminah, 2006).

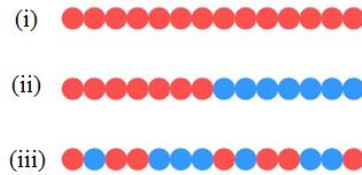
2.2.2. Polipropilena

Polipropilena adalah sebuah polimer hidrokarbon linier hasil reaksi polimerisasi propilena (C_3H_6). Polipropilena termasuk ke dalam polimer alifatik jenuh (rantai linier, tanpa ada ikatan rangkap pada atom karbonnya). Polipropilena memiliki sifat yang paling baik untuk dimanfaatkan sebagai plastik dan serat. Adapun struktur polipropilena ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Struktur polipropilena (Atchilias, 2007).

Polipropilena yang beredar secara komersial di masyarakat digolongkan sebagai homopolimer seperti pada Gambar 2.3. Polimer berjenis homopolimer tersusun dari satu macam monomer, dalam hal ini yaitu propilena. Polimer jenis ini memiliki sifat kuat tarik, kekakuan, ketahanan panas dan kekuatan yang tinggi sehingga dapat digunakan dalam berbagai aplikasi film plastik, *fiber multifilament*, *injection molding*, *sheet thermoforming* dan lain sebagainya.



Gambar 2. 3 Jenis polimer (i) homopolimer (ii) kopolimer impak (iii) kopolimer acak

Polipropilena merupakan polimer yang termasuk ke dalam polimer termoplastik yang dapat diolah pada temperatur tinggi. Tabel 2.4 menunjukkan karakterisasi sifat yang dimiliki polipropilena.

Tabel 2.4 Karakterisasi polipropilena (Achilias, 2007).

Parameter Sifat Fisik	Nilai
Indeks bias	1,49
Tensile strnght (psi)	4300-5500
Elongation (%)	200-700
Impact strength (ft-lb)	0,5-2,0
Densitas (g/cm^3)	0,855
Titik leleh ($^{\circ}\text{C}$)	160

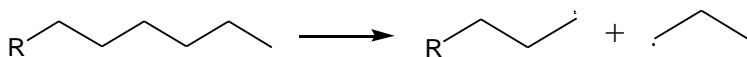
2.3. Proses Konversi

Di bidang industri proses konversi diaplikasikan untuk memproduksi fraksi minyak bumi. Proses konversi mampu meningkatkan produk pengolahan minyak bumi dari bahan bernilai rendah seperti residu berat menjadi bahan yang berharga seperti bensin dan LPG. Selain itu konversi mampu memperbaiki karakteristik bahan bakar dengan menaikkan nilai oktana (Nasution dkk., 2010).

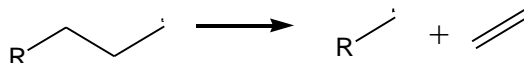
Proses konversi dapat berlangsung secara termal maupun katalitik melalui perengkahan. Perengkahan adalah proses pemecahan ikatan karbon-karbon pada rantai panjang hidrokarbon yang memiliki massa molekul relatif besar menjadi massa molekul relatif yang kecil. Pada proses konversi secara termal terjadi reaksi perengkahan termal yaitu adanya pengaruh panas mampu meningkatkan produk reaksi rengkah. Sedangkan proses konversi secara katalitik meliputi perengkahan katalitik, isomerisasi, polimerisasi, *reforming* katalitik nafta, hidrorengkah yang keseluruhannya dipengaruhi oleh penggunaan katalis (Nasution dkk., 2010).

2.3.1. Perengkahan Termal

Tahap pertama perengkahan ini adalah dekomposisi termal dari molekul hidrokarbon menjadi dua fragmen radikal bebas. Tahap inisiasi dapat terjadi melalui pemotongan ikatan C-C homolitik pada sembarang posisi rantai hidrokarbon. Berikut tahapan inisiasi yang dapat terjadi.

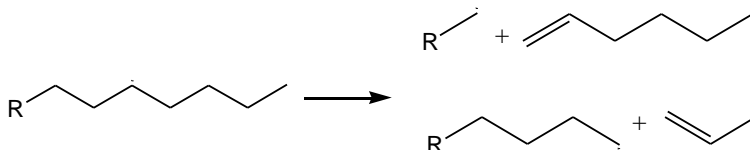


Proses perengkahan radikal-radikal dapat terus berjalan menghasilkan satu olefin dan satu radikal bebas baru. Perengkahan terjadi pada ikatan beta menjadi karbon yang membawa elektron tak berpasangan (Cinara, 2009).



Radikal bebas baru dapat juga bereaksi dengan molekul hidrokarbon lain dengan mengambil satu atom hidrogennya. Pada kasus ini, radikal yang bereaksi menjadi berakhir namun satu radikal bebas baru terbentuk kembali. Laju pengambilan hidrogen akan lebih cepat apabila terjadi pada posisi tersier dari pada

sekunder ataupun primer. Radikal bebas sekunder dapat merengkah pada kedua sisi dari karbon yang membawa elektron tak berpasangan sesuai dengan hukum pemutusan beta sehingga produk olefin dapat dihasilkan.

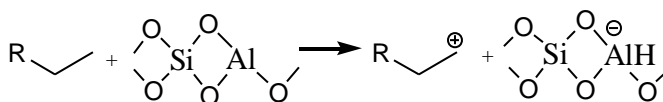


Radikal bebas tidak seperti ion karbonium yang dapat mengalami isomerisasi melalui migrasi metil ataupun hidrogen. Namun perpindahan hidrogen (perpindahan rantai) terjadi apabila satu radikal bebas bereaksi dengan hidrokarbon lain (Cinara, 2009).

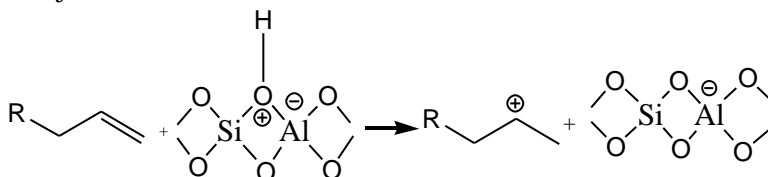
2.3.2. Perengkahan Katalitik

Perbedaan perengkahan katalitik dan perengkahan termal terletak pada reaksi perantaranya. Perengkahan katalitik terjadi melalui perantara ion karbonium sedangkan perengkahan termal melalui reaksi radikal bebas. Ion karbonium lebih selektif daripada reaksi radikal bebas. Reaksi pembentukan ion karbonium dibantu oleh katalis asam material berpori seperti zeolit atau silika-alumina. Pembentukan ion karbonium dapat terjadi dengan cara sebagai berikut.

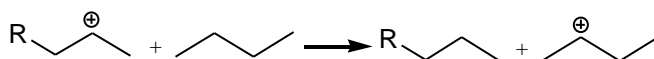
- Pembentukan ion karbonium oleh Asam Lewis pada hidrokarbon jenuh.



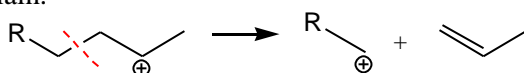
- b. Ion karbonium oleh Asam Brownsted pada hidrokarbon tak jenuh



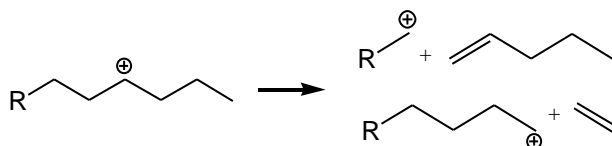
- c. Reaksi satu ion karbonium (dari tahap 1 atau 2) dengan hidrokarbon lain.



Dalam reaksi perengkahan, hal yang penting adalah pemotongan ikatan karbon beta. Adanya satu ikatan pada posisi beta dari karbon termuati positif maka akan putus secara heterolitik sehingga menghasilkan satu olefin dan ion karbonium lain.



Pemotongan ikatan karbon beta mungkin akan terjadi pada kedua sisi ion karbonium dengan potongan terkecil biasanya dua atom karbon (Nasution dkk, 2010).



Apabila ion karbonium telah terbentuk maka dapat mengalami berbagai macam kemungkinan reaksi proses balik seperti pembentukan olefin, isomerisasi skeletal, penukaran hidrogen, siklisasi dan lain sebagainya. Adapun reaksi samping

pada proses perengkahan juga cukup penting. Isomerisasi ikatan ganda pada olefin terjadi sangat cepat sehingga produk berada pada kesetimbangan kimia. Aromatik juga dapat terbentuk dari dimerisasi olefin dan siklisasi diolefin. Aromatik yang teradsorpsi, produk polimerisasi dan kondensasi olefin dapat menyebabkan timbulnya kokas (*coke*) yang dapat menurunkan aktifitas katalis (Kartina, 2006).

2.4. Bensin (*Gasoline*)

Bensin adalah campuran hidrokarbon dengan kisaran titik didih antara 30-215°C yang kandungan utamanya senyawa-senyawa hidrokarbon rantai pendek C₇-C₁₂. Komponen-komponen hidrokarbon di dalam bensin dapat dibagi menjadi tiga golongan senyawa yaitu senyawa hidrokarbon jenuh, naften dan aromatik (Nasution dkk, 2010).

Proses pembuatan bensin terdiri dari proses destilasi minyak bumi yang menghasilkan nafta dan proses konversi fraksi berat minyak bumi dengan cara termal maupun katalitik. Proses perengkahan katalitik merupakan proses yang sangat penting dalam pengolahan minyak untuk mengkonversi fraksi berat minyak bumi menjadi produk fraksi ringan seperti bensin dan LPG menggunakan katalis. Beberapa katalis yang sering digunakan dalam proses perengkahan katalitik adalah katalis amorf seperti silika, alumina, silika-alumina dan zeolit. Pengaturan kondisi operasi yang disesuaikan dengan katalis yang dipilih, proses perengkahan katalitik dapat diarahkan ke produk bensin.

Reaksi utama dari proses pembuatan bensin adalah pembentukan senyawa antara ion karbonium (R⁺) yang dihasilkan dengan cara berikut:

- Penarikan ion hidrida (H⁻) dari molekul umpan oleh sisi aktif katalis Asam Lewis
- Pemberian proton (H⁺) oleh sisi aktif katalis Asam Brownstead ke olefin.

Molekul hidrokarbon umpan harus berfase uap agar molekul tersebut dapat dengan mudah terdifusi ke sisi aktif di dalam pori-pori katalis.

Tabel 2. 5 Spesifikasi bahan bakar minyak jenis bensin (SNI 06-3506-1994)

Sifat	Satuan	Batasan	
		Min	Maks
Angka Oktan	RON	88,0	
Kandungan Timbal	g/L		0,46
Destilasi			
a. 10% vol. penguapan	°C	-	74
b. 50% vol. penguapan	°C	88	125
c. 90% vol. penguapan	°C		180
d. Titik didih akhir	°C		205
e. Residu	% Vol		2,0
Tek. Uap Reid (100 °F)	Psi		9,0
Getah Purwa	mg/100 mL		4,0
Periode Induksi	Menit		240
Kandungan Belerang	% massa		0,2
Belerang Mercaptan	% massa		0,002
Uji Doktor		Negatif	
Warna		Kuning	
Kandungan pewarna	gr/100 L		0,13
Densitas	kg/m ³	715	770

Ion karbonium yang terbentuk dapat mengalami pemutusan ikatan pada posisi karbon beta membentuk olefin dan ion karbonium rendah yang mengalami isomerisasi atau transfer hidrogen. Banyaknya hidrogen yang ditransfer akan berdampak pada produk yang dihasilkan, apabila produk akhir banyak mengandung olefin maka produk bensin yang dihasilkan memiliki nilai oktana rendah. Perengkahan termal dapat berlangsung bersamaan dengan perengkahan katalitik pada kondisi suhu operasi yang tinggi. Hal ini juga menyebabkan terbentuknya

olefin pada produk menjadi tinggi sehingga bensin yang dihasilkan juga memiliki nilai oktana yang rendah (Nasution dkk, 2010).

Di Indonesia sudah ditetapkan aturan-aturan mengenai spesifikasi bahan bakar minyak segala jenis yang diizinkan untuk dikonsumsi masyarakat. Salah satunya adalah Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3506-1994 tentang spesifikasi mutu bahan bakar minyak jenis bensin yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) pada tahun 1994. Adapun spesifikasi bensin yang diizinkan dapat ditunjukkan pada Tabel 2.5.

2.5. Karakterisasi Bahan Bakar Cair

2.5.1 Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (KG-SM)

Kromatografi gas-spektrometri massa merupakan metode pemisahan senyawa organik yang mengombinasikan dua metode analisis yaitu kromatografi gas untuk menganalisis jumlah senyawa secara kuantitatif dan spektrometri massa untuk menganalisis struktur molekul senyawa analit (Heftmann, 2004).

Prinsip kerja kromatografi gas adalah partisi antara fasa gerak dan fasa diam serta sifat volatilitas senyawa. Perbedaan sifat volatilitas antara molekul-molekul yang berbeda dalam suatu campuran dipisahkan dari molekul dengan melewati sampel sepanjang kolom. Senyawa yang lebih volatil maka akan terpisahkan terlebih dahulu. Fasa diam berupa absorben silika yang terdapat di sepanjang kolom pemisah dan memiliki sifat inert serta stabil pada suhu tinggi (Heftmann 2004),

Senyawa-senyawa memerlukan jumlah waktu retensi yang berbeda untuk keluar dari kolom kromatografi gas. Senyawa-senyawa yang telah terpisah pada kolom kromatografi gas akan masuk ke spektrometri massa. Terdapat tiga bagian dalam spektrometri massa yaitu sumber ion, *mass analyzer* dan detektor.

Senyawa yang masuk menuju spektrometri massa akan mengalami ionisasi dan fragmentasi menjadi ion-ion fragmen. Ionisasi terjadi karena adanya elektron yang berasal dari sumber ion. Ion-ion fragmen akan memasuki *mass analyzer* dan dipisahkan berdasarkan nilai m/z masing-masing. Ion fragmen dengan nilai m/z kecil akan memasuki detektor terlebih dahulu (Ajayi dkk., 2016). Output dari detektor berupa diagram hubungan antara nilai m/z dengan intensitas relatif ion-ion fragmen dari senyawa sehingga dapat diidentifikasi suatu senyawa dengan membandingkan pola spektrogram yang terdapat pada *library*.

1. Komponen Instrumen Kromatografi Gas

a. Tempat Injeksi

Dalam pemisahan dengan kromatografi gas cuplikan harus berbentuk gas. Umumnya senyawa organik berbentuk cairan dan padatan. Oleh sebab itu senyawa yang berbentuk cairan dan padatan harus diuapkan. Proses penguapan membutuhkan pemanasan sebelum masuk dalam kolom. Sumber panas terdapat pada tempat injeksi. Temperatur tempat injeksi dijaga agar tidak terlalu tinggi, karena dapat memungkinkan terjadi perubahan struktur senyawa yang akan dianalisis. Selain itu cuplikan yang akan diinjeksikan tidak boleh terlalu banyak, karena kromatografi gas sangat sensitif. Jumlah cuplikan yang diinjeksikan yaitu 0,5-50 μL untuk cuplikan gas dan 0,2–20 μL untuk cuplikan cairan (Hoffmann dkk., 2013).

b. Oven

Oven digunakan untuk memanaskan kolom pada temperatur tertentu sehingga mempermudah proses pemisahan komponen sampel. Umumnya oven memiliki jangkauan suhu 30–320°C.

c. Kolom

Kolom merupakan jantung dari kromatografi gas. Terdapat beberapa bentuk kolom yaitu lurus, bengkok, berbentuk V dan spiral. Kolom berisi fasa diam, sedangkan fasa bergerak akan lewat di dalamnya dengan membawa sampel. Secara umum terdapat 2 jenis kolom yaitu:

- *Packed column*. Umumnya terbuat dari glass atau *stainless steel coil* dengan panjang 1–5 m dan diameter kira-kira 5 mm.
- *Capillary column*, umumnya terbuat dari *purified silicate glass* dengan panjang 10-100 m dan diameter kira-kira 250 μ m.

Beberapa jenis fasa diam yang sering digunakan yaitu

- *Polysiloxanes* untuk analit nonpolar
- *Polyethylene glycol* untuk analit polar
- *Inorganic* atau *polymer packing* untuk sample bersifat small gaseous species (Heftmann, 2004).

2. Komponen Instrumen Spektrometri Massa

a. Sumber ion

Setelah analit melalui kolom kapiler, tahap selanjutnya yaitu ionisasi. Ionisasi pada spektrometri massa yang terintegrasi dengan kromatografi gas terdapat dua macam yakni *Electron Impact ionization* (EI) atau *Chemical Ionization* (CI) (Lee, 2005). Pada tahapan ionisasi EI analit yang keluar dari kolom kapiler akan diionisasi oleh elektron dari filamen *tungsten* yang diberi tegangan listrik. Ionisasi terjadi bukan karena tumbukan elektron dan molekul, tetapi karena interaksi medan elektron dan molekul ketika berdekatan. Hal tersebut menyebabkan satu elektron lepas, sehingga terbentuk ion molekular M^+ , yang memiliki massa sama dengan molekul netral, tetapi bermuatan lebih positif (Howe dan

Williams, 1981). Adapun perbandingan massa fragmen tersebut dengan muatannya yang disimbolkan m/z . Ion yang terbentuk akan didorong ke *quadrupoles* atau *mass filter*.

b. Filter

Pada bagian ini ion-ion dikelompokkan menurut m/z dengan kombinasi frekuensi radio yang bergantian dan tegangan DC. Hanya ion dengan m/z tertentu yang dilewatkan oleh *quadrupoles* menuju ke detektor (Lee, 2005).

c. Detektor

Detektor terdiri atas *High Energy Dynodes* (HED) dan *Electron Multiplier* (EM) *detector*. Ion positif menuju HED, menyebabkan elektron terlepas. Elektron kemudian menuju kutub yang lebih positif, yakni ujung tanduk EM. Ketika elektron menyinggung sisi EM, maka akan lebih banyak lagi elektron yang terlepas, menyebabkan sebuah arus/aliran. Kemudian sinyal arus akan diterjemahkan dan dikirim ke komputer sebagai spektra massa (Lee, 2005).

2.5.2 Densitas

Densitas merupakan banyaknya massa sampel persatuan volume. Piknometer adalah alat pengukuran densitas cairan. Densitas bahan bakar menjadi sifat penting saat diaplikasikan dalam mesin diesel. Apabila bahan bakar mempunyai densitas yang terlalu tinggi melebihi ketentuan akan menyebabkan keausan mesin diesel, emisi dan kerusakan pada mesin (Nurinawati, 2007).

2.5.3 Titik Nyala

Titik nyala adalah temperatur minimum yang dibutuhkan suatu bahan bakar dapat menyala. Penentuan titik nyala ini berkaitan dengan keamanan dalam penyimpanan dan penanganan

bahan bakar. Suatu bahan bakar dengan nilai titik nyala yang tinggi akan memudahkan penyimpanannya, karena minyak tidak akan mudah terbakar pada temperatur kamar. Selain itu apabila titik nyala terlalu tinggi maka akan menyebabkan keterlambatan penyalaan apabila diterapkan dalam mesin. Sedangkan nilai titik nyala yang terlalu rendah maka dapat menyebabkan timbulnya detonasi berupa ledakan-ledakan kecil yang terjadi sebelum bahan bakar masuk ke dalam ruang pembakaran (Prihandana, 2006).

2.5.4 Viskositas Kinematik

Viskositas merupakan tahanan yang dimiliki fluida yang dialirkan dalam pipa kapiler terhadap gaya gravitasi. Apabila viskositas semakin tinggi, maka tahanan untuk mengalir akan semakin tinggi. Viskositas bahan bakar erat kaitannya dengan proses injeksi, pengkabutan dan kemampuan melumasi sendiri dari bahan bakar tersebut. Karakterisasi viskositas sangat penting dilakukan karena dapat mempengaruhi kinerja injektor pada mesin diesel. Umumnya, bahan bakar harus memiliki viskositas yang relatif rendah agar mudah dialirkan dan diatomisasi. Putaran mesin yang cepat menuntut proses injeksi bahan bakar yang cepat pula (Prihandana dkk., 2006). Namun suatu bahan bakar dengan viskositas yang terlalu rendah akan menyebabkan keausan pada dinding silinder ruang pembakaran sedangkan apabila viskositas terlalu tinggi akan menyebabkan pemompaan yang lebih sulit sehingga proses atomisasi bahan bakar berkurang (Silaban, 1993).

Pengukuran viskositas kinematik dapat dilakukan menggunakan alat viskometer Ostwald. Metode yang digunakan alat ini yaitu mengukur waktu yang diperlukan sejumlah volume cairan yang mengalir dari batas atas kapiler hingga batas bawah kapiler. (Atkins, 1996).

2.5.5 Kalor

Nilai kalor adalah jumlah energi yang dilepaskan ketika suatu bahan bakar secara sempurna dalam suatu proses aliran tunak (*steady*) dan produk dikembalikan lagi ke keadaan reaktannya. Alat yang digunakan untuk menentukan nilai kalor pada bahan bakar padat dan cair menggunakan kalorimeter bom. Pengukuran kalorimeter bom dilakukan pada kondisi volume konstan tanpa menggunakan nyala api saat pembakaran melainkan menggunakan gas oksigen sebagai pembakar dengan volume konstan atau bertekanan tinggi (Saifurizzal, 2013).

Prinsip kerja dari kalorimeter bom adalah sampel bahan bakar dimasukkan ke dalam bejana kemudian diisi oksigen dengan tekanan tinggi. Kalorimeter bom ditempatkan di dalam bejana yang berisi air, kemudian bahan bakar dinyalakan menggunakan sambungan listrik. Suhu kalorimeter bom dijaga agar seragam dengan mengaduk air disekeliling kalorimeter bom (Saifurizzal, 2013).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1. Alat dan Bahan

3.1.1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer (GC-MS)* berjenis *Agilent Technologies 7890A GC-5975C MS* 1 set, *Fixed Bed Reactor* 1 set, alat *press* 1 set, alat pencacah plastik 1 set, viskometer Oswald 1 set, kalorimeter bom 1 set, piknometer 25 mL 1 buah, cawan penguap 1 buah, termometer 1 buah, *stopwatch* 1 buah, timbangan analitik.

3.1.2. Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu katalis Al-MCM-41 yang diperoleh dari sintesis penelitian Juwono dkk. (2013), katalis pendukung berupa serbuk keramik berasal dari busi, limbah plastik polipropilena kemasan gelas air mineral ClubTM dan aqua demineralisasi.

3.2. Prosedur Kerja

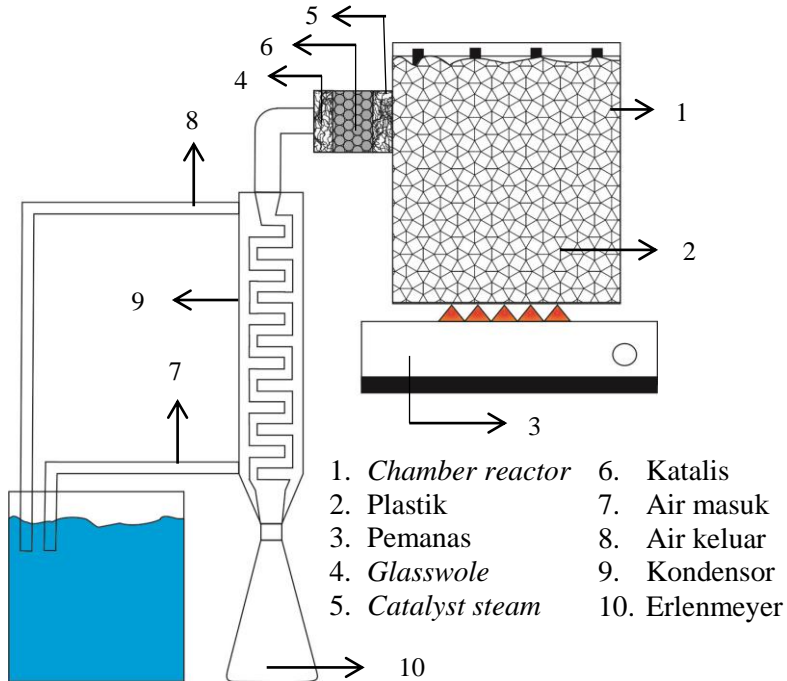
3.2.1. Preparasi Katalis

Katalis yang digunakan adalah material Al-MCM-41. Katalis Al-MCM-41 dicampurkan dengan serbuk keramik. Serbuk keramik diperoleh dari material keramik yang terdapat pada busi mesin kendaraan bermotor. Busi dicuci dengan sabun dan diambil bagian keramikanya dengan cara digerus hingga membentuk serbuk. Serbuk keramik diayak dengan mesh berukuran 100. Pencampuran Al-MCM-41 dengan serbuk keramik dibuat 2 : 8 dan dibentuk menjadi pelet dengan alat *press*.

3.2.2. Sintesis Bahan Bakar Cair

Sampel pada penelitian ini berupa limbah plastik polipropilena (PP) yang berasal dari kemasan gelas air mineral ClubTM. Sampel dicacah dalam ukuran kecil ($\pm 1 \text{ cm}^2$) menggunakan alat pencacah plastik.

Konversi katalitik limbah plastik dilakukan dengan reaktor tertutup seperti pada Gambar 3.1. Tipe reaktor yang digunakan yaitu *fixed bed reactor*. Reaktor dibuat dari logam aluminium berkapasitas 2 Liter. Dalam reaktor ini, padatan katalis berbentuk pelet diletakkan pada bagian samping (*catalyst steam*) yang terhubung dengan kondensor.



Gambar 3.1 Set alat penelitian

Sintesis bahan bakar cair dilakukan dengan prinsip destilasi. Mula-mula serangkaian alat destilasi dan reaktor disusun seperti pada Gambar 3.1. 500 g sampel limbah plastik polipropilena dimasukkan ke dalam *chamber reactor*. Reaktor dipanaskan hingga mencapai temperatur 350°C. Waktu pemanasan keseluruhan percobaan yaitu 120 menit tiap sampel. Sampel dikonversi menjadi uap dan dialirkan menuju *catalyst steam* yang berisi katalis Al-MCM-41. Kemudian hasilnya dikondensasi menjadi bahan bakar cair oleh kondensor. Bahan bakar cair ditampung oleh tank di bagian bawah sistem. Agar kondensasi berjalan maksimum, temperatur pada ruang kondensor dijaga di bawah 10°C. Percobaan diulangi dengan prosedur yang sama untuk variasi jumlah katalis yaitu 3,40%, 6,68% dan 9,55% (b/b). Percobaan juga dilakukan tanpa menggunakan katalis (0% b/b).

3.2.3. Karakterisasi Bahan Bakar Cair

Produk yang diperoleh berupa bahan bakar cair. Pengujian produk perlu dilakukan agar memenuhi baku mutu bahan bakar yang diizinkan. Pengujian meliputi densitas, titik nyala, titik didih akhir, viskositas menggunakan viskometer oswald, uji kalori menggunakan kalorimeter bom dan uji kromatografi gas-spektrometri massa.

A. Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (KG-SM)

Karakteristik produk bahan bakar cair secara kimia dilakukan menggunakan kromatografi gas-spektrometri massa untuk menentukan *yield* tiap fraksi senyawa hidrokarbon bahan bakar cair. Kromatografi gas-spektrometri massa dikondisikan sebagai berikut:

1. Inlets

- Jumlah suntikan: 1 μL
- Suhu : 250°C
- Tekanan : 15,26 Psi
- Ratio : 100:1

2. Oven

- Suhu awal : 50°C
- Suhu akhir : 250°C
- *Hold time* : 1,8 menit
- Laju : 5°C/menit

3. Kolom

- Tipe : kapiler
- Gas : helium
- Aliran gas : 0,51 mL/menit

Pada penelitian ini sebanyak 50 mg produk bahan bakar cair dilarutkan dalam 1 mL n-heksana, lalu sampel diinjeksikan ke inlets kromatografi dan diproses selama ± 25 menit.

B. Penentuan Densitas

Penentuan densitas bahan bakar cair dilakukan menggunakan piknometer 25 mL. Piknometer ditimbang massa kosongnya lalu diisi produk bahan bakar cair hingga memenuhi saluran rongga tutup piknometer, lalu piknometer dan sampel ditimbang massanya dan dihitung densitasnya.

$$\text{Densitas} = \frac{M_{\text{pikno+sampel}} - M_{\text{pikno}}}{V_{\text{pikno}}} \quad (3.1)$$

C. Penentuan Titik Nyala dan Titik Didih Akhir

Produk bahan bakar cair dituangkan ke dalam cawan penguap yang bersih lalu diletakkan di atas pemanas. Termometer

dipasang di atas cawan penguap hingga menyentuh bahan bakar cair. Lidi dibakar lalu dilewatkan di permukaan sampel. Suhu pada termometer dibaca saat terjadi nyala dan dicatat.

Produk bahan bakar cair juga ditentukan titik didih akhirnya. Produk bahan bakar cair dituangkan ke dalam cawan penguap dan diletakkan di atas pemanas. Pemanas diatur mulai dari suhu kamar kemudian dinaikkan hingga titik didih produk tercapai. Termometer dipasang di atas cawan penguap hingga menyentuh produk. Suhu pada termometer dibaca saat produk habis teruapkan.

D. Penentuan Viskositas

Penentuan viskositas produk bahan bakar cair dilakukan dengan viskometer Ostwald dan aqua demineralisasi sebagai pembandingnya. Aqua demineralisasi dimasukkan ke dalam viskometer Ostwald, lalu waktu alirnya dicatat dari batas atas kapiler hingga turun pada batas bawah kapiler. Setelah pengujian viskositas aqua demineralisasi selesai dilakukan maka aqua demineralisasi diganti dengan produk bahan bakar cair. Waktu alir bahan bakar cair juga dicatat saat berada di batas atas kapiler hingga turun pada batas bawah kapiler. Penentuan viskositas bahan bakar cair ini dilakukan pada suhu kamar 38°C. Nilai viskositas bahan bakar cair dapat diperoleh menggunakan persamaan 3.2 berikut ini.

$$\eta = \eta_0 \frac{t \cdot \rho}{t_0 \cdot \rho_0} \quad (3.2)$$

Keterangan : η : Viskositas bahan bakar cair
 η_0 : Viskositas aqua demineralisasi (38°C)
 t : Waktu alir bahan bakar cair
 t_0 : Waktu alir aqua demineralisasi
 ρ : Densitas bahan bakar cair
 ρ_0 : Densitas aqua demineralisasi.

E. Penentuan Kalor Pembakaran

Penentuan kalor pembakaran produk bahan bakar cair menggunakan kalorimeter bom. Sebanyak 0,5 gram produk bahan bakar cair diletakkan ke dalam krusibel dan dimasukkan ke dalam baja bom. Bom ditutup rapat lalu diisi dengan oksigen (O_2) hingga tekanan 30 atm dan dimasukkan ke dalam kalorimeter yang berisi air. Setelah preparasi dilakukan maka proses pembakaran dapat dilakukan dengan mengalirkan listrik ke dalam kalorimeter. Nilai kalor yang terserap oleh kalorimeter ditampilkan pada monitor.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan penemuan sumber bahan bakar minyak alternatif yang dapat diperoleh dari konversi katalitik limbah plastik dengan memanfaatkan katalis dalam sintesisnya. Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan. Tahap pertama adalah preparasi katalis yang digunakan dalam proses konversi katalitik limbah plastik. Tahap selanjutnya adalah sintesis bahan bakar cair yang dilakukan di dalam reaktor tertutup. Kemudian hasil sintesis bahan bakar cair dilakukan pengujian sifat secara fisik dan komposisi kandungan senyawanya. Hasil pengujian ini dibandingkan dengan sifat-sifat yang dimiliki bensin komersil berjenis premium yang dikonsumsi masyarakat. Selain itu hasil pengujian sifat bahan bakar cair sintesis juga dilakukan kontrol terhadap batasan-batasan spesifikasi bahan bakar minyak yang berlaku agar dapat diketahui kelayakannya. Di Indonesia sudah ditetapkan aturan-aturan mengenai spesifikasi bahan bakar minyak segala jenis yang diizinkan untuk dikonsumsi masyarakat. Salah satunya adalah Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3506-1994 tentang spesifikasi mutu bahan bakar minyak jenis bensin yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN) pada tahun 1994 seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Sedangkan beberapa parameter penting lain juga dibandingkan dengan standar bensin internasional seperti yang dikeluarkan oleh *Canada Shell Petroleum* tahun 1999, *Canada Hibernia Crude Oil*. Adapun rujukan spesifikasi internasional bensin *Canada* dapat ditunjukkan pada lembar lampiran laporan.

4.1. Preparasi Katalis

Sintesis bahan bakar cair pada penelitian ini menggunakan metode konversi katalitik sehingga terdapat peran penting katalis dalam sintesisnya. Katalis yang digunakan dalam penelitian ini yaitu material Al-MCM-41 yang diperoleh dari penelitian Juwono dkk. (2013). Dalam penerapannya katalis Al-MCM-41 disupport material lain berupa serbuk keramik. Serbuk keramik diperoleh dari penggerusan material keramik yang terdapat pada busi mesin kendaraan bermotor. Penggerusan material keramik dilakukan dengan lumpang alu (tumbuk baja), kemudian hasilnya diayak menggunakan mesh berukuran 100 dengan tujuan untuk memperluas permukaan material. Serbuk keramik dan Al-MCM-41 dicampur dengan perbandingan 8 : 2. Tujuan penggunaan keramik ini adalah untuk mempertahankan kondisi panas pada katalis sehingga dapat meningkatkan sisi aktif katalis selama sintesis.

Campuran serbuk keramik dan katalis Al-MCM-41 memiliki densitas yang rapat sehingga tidak efektif digunakan secara langsung untuk reaksi katalitik pada permukaan katalis. Campuran material yang terlalu rapat mampu menghambat difusi reaktan umpan (gas hidrokarbon) menuju *catalyst steam* pada reaktor sehingga dapat menurunkan *yield* produk. Oleh karena itu perlu dilakukan perubahan bentuk menjadi pelet menggunakan alat *press*. Pembentukan pelet ini mampu melewati reaktan umpan melalui pori-pori yang dibentuk antarpelet sehingga reaktan umpan dan katalis dapat bereaksi pada permukaan selektifnya (Perego dan Villa, 1997). Ukuran pelet yang terbentuk berdiameter 1 cm, tebal 7 mm dan memiliki massa 1,76 gram setiap butir pelet. Adapun bentuk pelet dari katalis dapat ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Bentuk pelet dari katalis

4.2. Sintesis Bahan Bakar Cair

Pada penelitian ini telah berhasil disintesis bahan bakar cair menggunakan metode konversi katalitik pada limbah plastik polipropilena. Bahan baku utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah plastik polipropilena. Sampel limbah plastik polipropilena diambil dari kemasan gelas air mineral 240 mL ClubTM. Sampel limbah plastik dipreparasi terlebih dahulu dengan mengubah ukuran menjadi lebih kecil. Sampel dicacah dengan ukuran $\pm 1 \text{ cm}^2$ menggunakan alat pencacah plastik. Tujuan dilakukan pencacahan adalah untuk meningkatkan densitas plastik sehingga dapat masuk ke dalam reaktor dengan mudah. Adapun bentuk sampel plastik dapat ditunjukkan pada Gambar 4.2.

Sintesis bahan bakar cair dilakukan di dalam reaktor tertutup. Adapun *design* reaktor terdapat pada Gambar 3.1. Jenis reaktor yang digunakan adalah *fixed bed reactor* sehingga di dalam reaktor katalis dalam keadaan tidak bergerak. *Fixed bed*

reactor berfungsi sebagai tempat terjadinya konversi katalitik dan pirolisis plastik. Pada saat pirolisis plastik terjadi dekomposisi termokimia bahan organik sehingga mengalami pemecahan struktur kimia polimer plastik menjadi fase gas akibat pemanasan. Peristiwa pirolisis terjadi pada bagian *chamber reactor*. Sedangkan konversi katalitik terjadi pada bagian *catalyst steam reactor* yang mengarah ke arah kondensor.



Gambar 4. 2 Bentuk sampel limbah plastik polipropilena

Optimasi jumlah katalis pada proses konversi katalitik dalam sintesis bahan bakar cair belum pernah dilakukan sebelumnya sehingga pada penelitian ini dilakukan pengujian optimasi dengan memvariasikan persen massa katalis yaitu tanpa katalis, 10 butir pelet, 20 butir pelet dan 30 butir pelet. Setiap butir pelet dari katalis ini memiliki massa 1,76 gram artinya massa katalis berturut-turut 0 gram, 17,6 gram, 35,2 gram dan 52,8 gram. Sehingga persen massa katalis pada penelitian ini terhadap *feedstock* (plastik) 500 gram berturut-turut sebesar 0%; 3,40%; 6,68% dan 9,55% (b/b).

Dalam penerapan penelitian ini, prinsip yang digunakan adalah destilasi. Penyusunan alat destilasi dan reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.1. Sampel limbah plastik polipropilena dimasukkan ke dalam *chamber reactor* sebagai tempat terjadinya pirolisis akibat pemanasan. Sedangkan katalis juga dimasukkan ke dalam *catalyst steam reactor*. Reaktor dijaga dalam kondisi tertutup rapat sehingga dimungkinkan tidak terjadi kebocoran gas, hal ini dikarenakan dapat menurunkan *yield* produk. Pirolisis plastik dalam reaktor dilakukan pada suhu 300-350°C. Pada temperatur ini limbah plastik polipropilena berubah fase menjadi gas sehingga ikatan polimer propilena menjadi putus. Gas yang dihasilkan kemudian dibawa menuju *catalyst steam* agar terjadi reaksi konversi katalitik. Pada tahap ini ikatan hidrokarbon polimer propilena hasil pirolisis menjadi semakin pendek akibat pemutusan ikatan karbon beta. Gas hidrokarbon hasil reaksi katalitik dikondensasi menjadi bahan bakar cair oleh kondensor.



Gambar 4.3 Produk sintesis bahan bakar cair variasi jumlah katalis [a] 0% (b/b) [b] 3,40% (b/b) [c] 6,58% (b/b) [d] 9,55% (b/b).

Bahan bakar cair yang dihasilkan kemudian ditampung oleh erlenmeyer yang terdapat di bagian bawah sistem alat. Waktu keseluruhan sintesis bahan bakar cair yang dibutuhkan adalah 120 menit tiap 500 gram sampel limbah plastik. Hasil sintesis bahan bakar cair ditunjukkan pada Gambar 4.3. Volume bahan bakar cair yang diperoleh dapat ditunjukkan pada Tabel 4.1. Volume bahan bakar cair terbesar dihasilkan pada bahan bakar cair tanpa katalis dan penggunaan katalis 3,40% (b/b). Hal ini disebabkan laju difusi perengkahan gas reaktan hidrokarbon hasil pirolisisnya lebih cepat karena jumlah katalis yang sedikit.

Tabel 4. 1 Konversi volume bahan bakar cair (BBC) dan *coke*.

Variasi Jumlah Katalis	Volume			
	BBC (mL)	% BBC	<i>Coke</i> (mL)	% <i>Coke</i>
Katalis 0% (b/b)	530	90,60	20	3,42
Katalis 3,40% (b/b)	530	90,60	22	3,76
Katalis 6,68% (b/b)	526	89,91	27	4,62
Katalis 9,55% (b/b)	524	89,57	29	5,00



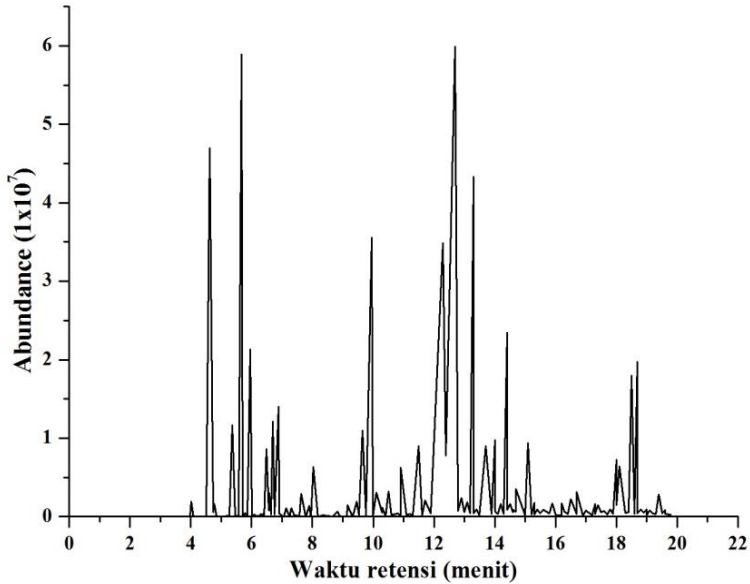
Gambar 4.4 *Coke* (*carbon-residue*)

Selain bahan bakar cair yang telah berhasil disintesis terdapat produk lain berupa pembentukan *coke* di dalam *chamber* reaktor. *Coke* dapat terbentuk karena adanya pemanasan senyawa hidrokarbon pada suhu tinggi secara kontinu yang menyebabkan terjadinya penurunan rasio H/C, sehingga menghasilkan padatan karbon. *Coke* dapat ditunjukkan pada Gambar 4.4. Volume *coke* yang terbentuk berbeda-beda setiap variasi jumlah katalis. Volume *coke* terbesar dihasilkan pada bahan bakar cair dengan katalis 9,55% (b/b). Hal ini dikarenakan laju difusi perengkahan gas hidrokarbon hasil pirolisis yang lebih lambat, sehingga gas pirolisis dikenai pemanasan lebih lama di dalam reaktor akibatnya terjadi penurunan rasio H/C dan terbentuk *coke*. Adapun volume *coke* yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

4.3. Karakterisasi Bahan Bakar Cair

4.3.1 Kromatografi Gas-Spektrometri Massa(KG-SM)

Bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses konversi katalitik dikarakterisasi menggunakan instrumen KG-SM *Agilent Technologies* 7890A GC-5975C MS. Produk bahan bakar cair yang diperoleh masih tidak murni fraksi bensin (C_7 - C_{12}), hal ini ditunjukkan hasil kromatogram bahan bakar cair yang masih mengandung fraksi hidrokarbon rendah (C_3 - C_6) dan fraksi (C_{13} - C_{18}). Hasil karakterisasi diperoleh puncak-puncak kromatogram. Puncak kromatogram bahan bakar cair produk fraksi bensin(C_7 - C_{12}) teramati pada temperatur di bawah 210°C yaitu 20 menit pertama saat pemisahan kromatografi terjadi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Kromatogram bahan bakar cair secara lengkap dapat dilihat pada lembar lampiran. Adapun *yield* hidrokarbon bahan bakar cair setiap variasi jumlah katalis dapat ditunjukkan pada Tabel 4.2.



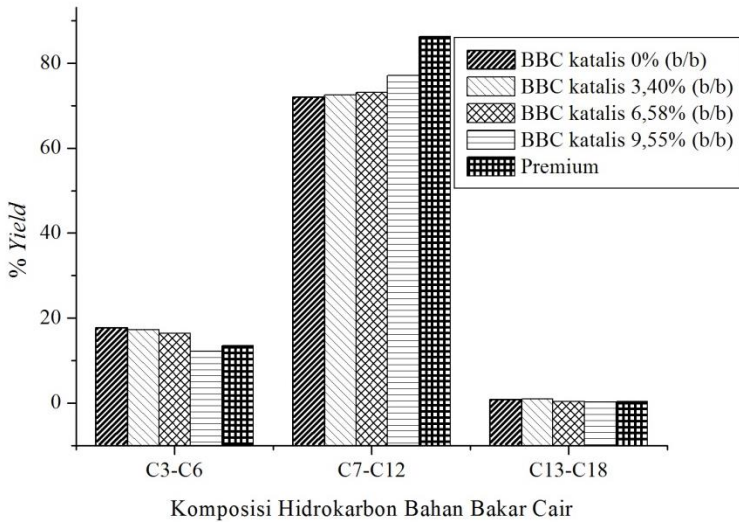
Gambar 4.5 Kromatogram bahan bakar cair penelitian ini.

Tabel 4.2. *Yield* bahan bakar cair.

Komposisi	% <i>Yield</i> Bahan Bakar Cair Berkatalis				% <i>Yield</i> Premium
	0%	3,40%	6,58%	9,55%	
C ₃ -C ₆	17,70	17,23	16,45	12,17	13,44
C ₇ -C ₁₂	72,10	72,49	73,15	77,18	86,27
C ₁₃ -C ₁₈	0,79	0,88	0,32	0,22	0,29

Hasil analisis *yield* bahan bakar cair menunjukkan bahwa adanya peningkatan jumlah katalis yang digunakan terjadi kenaikan *yield* fraksi bensin (C₇-C₁₂) namun sebaliknya terjadi penurunan *yield* fraksi (C₃-C₆) dan *yield* fraksi (C₁₃-C₁₈). Apabila

dibuat hubungan komposisi tiap fraksi dengan besar *yield* setiap variasi jumlah katalis dapat ditunjukkan pada Gambar 4.6.

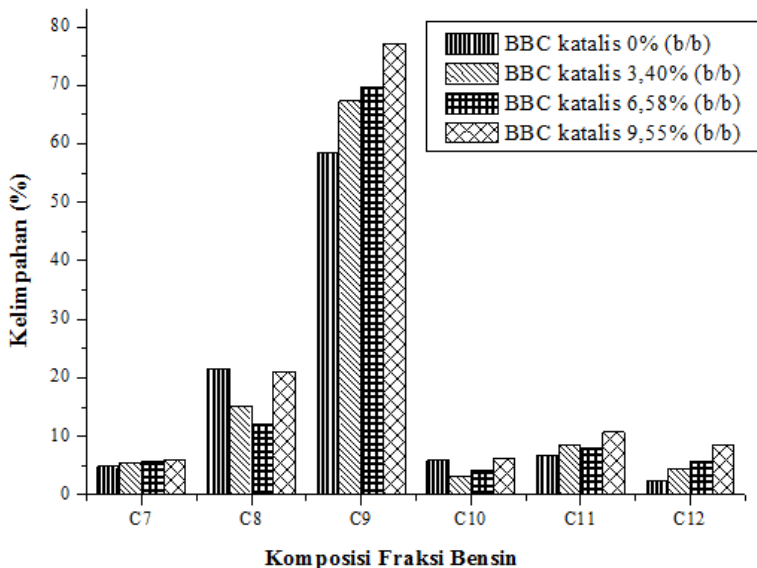


Gambar 4.6 Komposisi fraksi hidrokarbon.

Pada Gambar 4.6 menjelaskan bahwa sintesis bahan bakar cair dengan katalis 9,55% (b/b) telah terjadi reaksi konversi katalitik yang selektif mengarahkan ke produk fraksi bensin (C_7-C_{12}). *Yield* bahan bakar cair fraksi (C_7-C_{12}) untuk katalis 9,55% (b/b) naik 5% dibandingkan dengan bahan bakar cair tanpa katalis namun *yield* bahan bakar cair katalis 9,55% (b/b) fraksi (C_7-C_{12}) belum mencapai *yield* premium komersil yang diinginkan. *Yield* premium komersil 11,77% lebih besar dibandingkan dengan *yield* bahan bakar cair 9,55% (b/b). Peningkatan jumlah katalis yang digunakan dapat meningkatkan *yield* produk fraksi bensin (C_7-C_{12}).

Penurunan fraksi rendah (C_3-C_6) seiring dengan penambahan jumlah katalis membuktikan bahwa pada dasarnya

reaksi konversi katalitik tidak sebatas dengan reaksi pemutusan rantai panjang menjadi rantai pendek namun dalam penerapannya juga dimungkinkan terjadi reaksi isomerisasi, penukaran hidrogen, siklisasi, aromatisasi dan lain sebagainya (Kartina, 2006). *Yield* fraksi (C_3 - C_6) bahan bakar cair berkatalis 9,55% (b/b) turun 31,24% dibandingkan dengan bahan bakar tanpa katalis. Sedangkan pembentukan fraksi (C_{13} - C_{18}) mengalami penurunan setiap penambahan jumlah katalis. Penurunan ini disebabkan oleh berkurangnya jumlah rantai panjang hidrokarbon yang terkandung dalam bahan bakar cair akibat proses konversi yang terjadi. *Yield* fraksi (C_{13} - C_{18}) bahan bakar cair berkatalis 9,55% (b/b) turun 0,57% dibandingkan dengan bahan bakar tanpa katalis. Dengan adanya penurunan *yield* fraksi ini maka bahan bakar cair semakin baik. Sehingga pada penelitian ini semakin bertambahnya jumlah katalis yang digunakan maka semakin menurunkan *yield* fraksi (C_3 - C_6) dan (C_{13} - C_{18}).



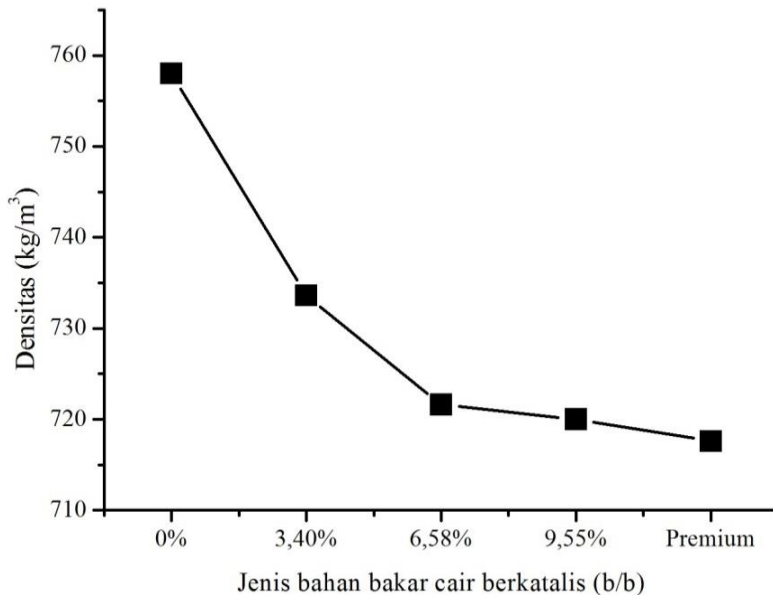
Gambar 4.7 Kelimpahan komposisi fraksi bensin (C_{13} - C_{18}). tiap jenis bahan bakar cair.

Kelimpahan komposisi fraksi bensin (C_7 - C_{12}) setiap variasi jumlah katalis pada proses konversi katalitik limbah plastik polipropilena dapat diamati pada Gambar 4.7. Hasil analisis kelimpahan komposisi fraksi bensin menunjukkan bahwa adanya peningkatan kelimpahan hampir di setiap fraksinya akibat variasi jumlah katalis yang digunakan. Kelimpahan komposisi terbesar didominasi oleh rantai karbon C_9 sebesar 60% untuk setiap variasi jumlah katalis. Hal ini menunjukkan bahwa produk utama reaksi perengkahan bahan bakar cair ini berupa rantai C_9 . Selain itu penggunaan katalis 9,55% (b/b) untuk proses perengkahan katalitik limbah plastik polipropilena mampu meningkatkan kelimpahan komposisi fraksi bensin di setiap rantai karbonnya. Kenaikan kelimpahan fraksi bensin ini diakibatkan oleh bertambahnya sisi aktif katalis karena pertambahan jumlah katalis. Selain itu kenaikan juga dapat disebabkan karena semakin banyak jumlah katalis maka waktu tinggal reaktan gas hidrokarbon saat bereaksi dengan katalis semakin lama sehingga proses perengkahan berjalan optimal.

4.3.2 Densitas

Densitas merupakan perbandingan banyaknya massa dengan volume suatu sampel. Densitas bahan bakar menjadi sifat penting saat diaplikasikan dalam mesin karena dapat mempengaruhi performa bahan bakar. Apabila bahan bakar mempunyai densitas yang terlalu tinggi melebihi ketentuan akan menyebabkan keausan mesin, emisi dan kerusakan pada mesin. Berdasarkan SNI 06-3506-1994 tentang bahan bakar minyak jenis bensin menyatakan bahwa densitas bahan bakar minyak yang diizinkan untuk dipasarkan kepada masyarakat minimal sebesar 715 kg/m^3 dan maksimal sebesar 770 kg/m^3 pada pengukuran suhu 15°C .

Penentuan densitas bahan bakar cair dilakukan menggunakan piknometer. Adapun densitas bahan bakar cair setiap variasi jumlah katalis dapat tunjukkan pada Gambar 4.8. Hasil analisis densitas bahan bakar cair menunjukkan bahwa adanya penurunan densitas seiring bertambahnya jumlah katalis AL-MCM-41 yang digunakan.



Gambar 4.8 Densitas bahan bakar cair.

Dari hasil yang didapatkan densitas tertinggi diperoleh pada bahan bakar cair tanpa menggunakan katalis yaitu sebesar 758 kg/m³. Sedangkan bahan bakar cair sintesis yang memiliki densitas terendah adalah bahan bakar cair dengan katalis 9,55% (b/b) yaitu sebesar 720 kg/m³. Hasil analisis densitas ini menunjukkan bahwa reaksi konversi telah terjadi secara signifikan. Terjadi penurunan densitas bahan bakar cair sebesar

5,01% dibandingkan tanpa katalis. Seluruh densitas bahan bakar cair sintesis telah memenuhi kriteria untuk dapat dipasarkan berdasarkan SNI 06-3506-1994 karena berada pada rentang 715 kg/m³ hingga 770 kg/m³. Namun hasil terbaik ditunjukkan oleh densitas bahan bakar cair dengan katalis 9,55% (b/b) karena densitasnya mendekati densitas bensin komersil berjenis premium dengan selisih 0,33% lebih tinggi. Adapun densitas bensin komersil ini berada pada 717,6 kg/m³.

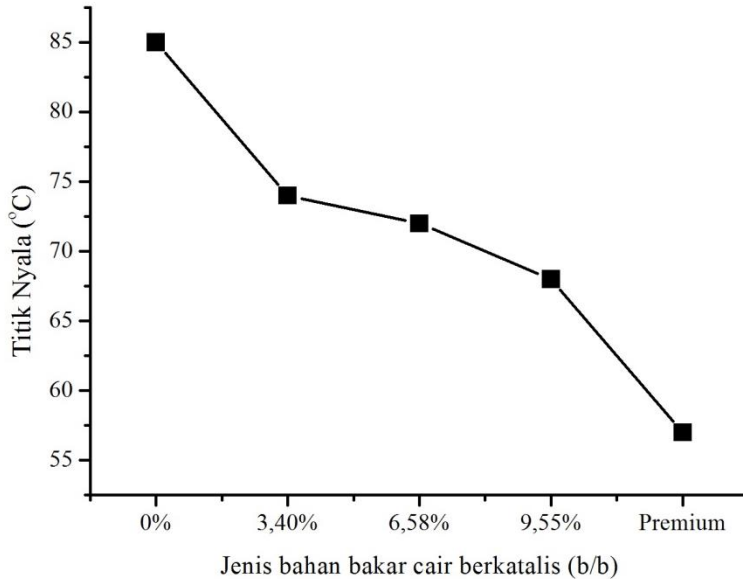
Pada Gambar 4.8 menunjukkan bahwa penurunan densitas ini dikarenakan terdapat peningkatan komposisi senyawa hidrokarbon rantai pendek di dalam bahan bakar cair akibat konversi katalitik. Penambahan jumlah katalis dapat meningkatkan sisi aktif katalis dan sekaligus meningkatkan waktu tinggal reaktan hidrokarbon saat terdifusi di dalam pori katalis sehingga reaksi perengkahan semakin sering terjadi. Akibatnya pemutusan ikatan-ikatan rengkah dari senyawa rantai panjang menjadi senyawa yang lebih pendek semakin meningkat. Semakin besar komposisi rantai pendek hidrokarbon di dalam bahan bakar cair maka semakin kecil nilai densitas bahan bakar cair tersebut.

4.3.3 Titik Nyala

Penentuan titik nyala bahan bakar berkaitan dengan keamanan dalam penyimpanan dan penggunaannya. Bahan bakar dengan titik nyala yang tinggi akan memudahkan penyimpanannya karena bahan bakar tidak mudah terbakar pada suhu kamar. Sementara apabila terlalu rendah maka dapat menyebabkan detonasi di dalam ruang pembakaran.

Hasil pengujian titik nyala bahan bakar dapat ditunjukkan pada Gambar 4.9. Pada pengujian ini menjelaskan bahwa jumlah katalis yang digunakan dalam reaksi perengkahan ini dapat

menpengaruhi titik nyala. Titik nyala mengalami penurunan dengan bertambahnya jumlah katalis yang digunakan.

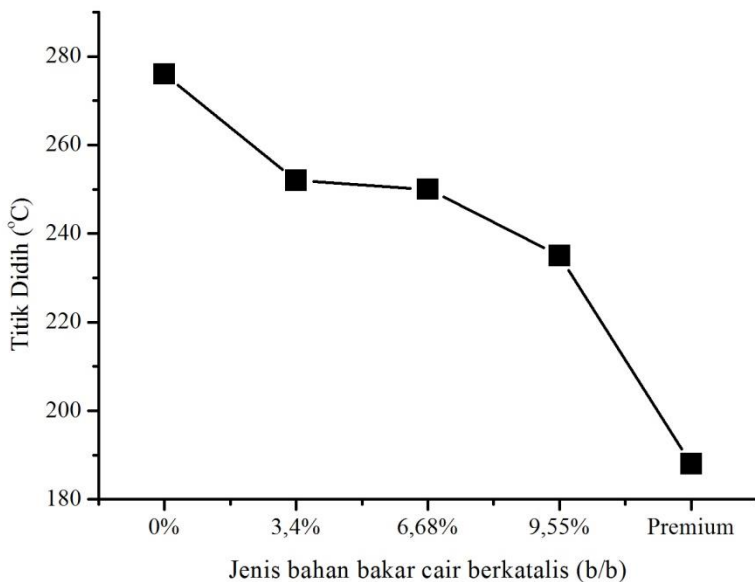


Gambar 4.9 Titik nyala bahan bakar cair.

Titik nyala paling tinggi terdapat pada bahan bakar cair tanpa katalis sebesar 85°C . Sedangkan titik nyala terendah didapatkan pada bahan bakar cair 9,55% (b/b) sebesar 68°C artinya 20% lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar cair tanpa katalis. Penurunan titik nyala bahan bakar cair ini mengindikasikan bahwa terdapat reaksi konversi katalitik yang terjadi pada saat sintesis bahan bakar cair. Semakin banyak jumlah katalis yang digunakan maka reaksi katalitik semakin sering terjadi akibatnya komposisi fraksi rantai pendek yang terbentuk semakin banyak sehingga nilai titik nyala juga semakin kecil. Adapun titik nyala bahan bakar premium sebesar 57°C .

4.3.4 Titik Didih Akhir

Pada ruang bakar mesin terjadi pembakaran bahan bakar yang melalui beberapa proses. Bahan bakar harus mengalami penguapan agar dapat bercampur dengan oksigen di udara. Titik didih merupakan salah satu pertimbangan terhadap kualitas bahan bakar. Bahan bakar yang sulit menguap cenderung menimbulkan *carbon-residue* yang dapat mengotori mesin dan menimbulkan erosi pada injektor bahan bakar. Oleh sebab itu perlu diberikan batasan spesifikasi bahan bakar mengenai titik didih bahan bakar. Adapun batasan tersebut termuat dalam SNI 06-3506-1994 tentang bahan bakar minyak jenis bensin menyatakan bahwa titik didih akhir bahan bakar minyak jenis bensin yang diizinkan untuk dipasarkan kepada masyarakat maksimal sebesar 205°C.



Gambar 4.10 Titik didih akhir bahan bakar cair.

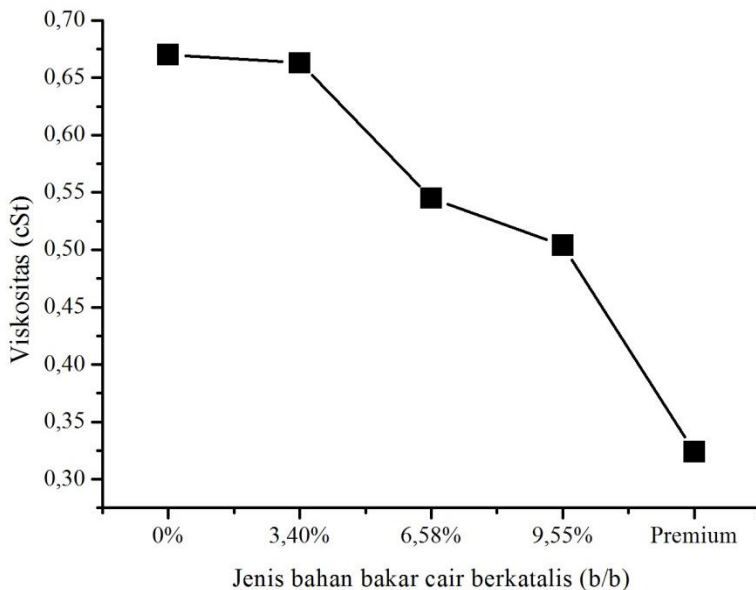
Hasil analisis titik didih akhir bahan bakar cair terjadi kecenderungan penurunan dengan semakin bertambahnya jumlah katalis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.10. Dari hasil pengujian nilai titik didih akhir yang telah dilakukan maka diperoleh nilai terendah sebesar 235°C yaitu untuk bahan bakar cair dengan katalis 9,55%. Nilai tersebut 14,86% lebih rendah dibandingkan titik didih akhir bahan bakar cair tanpa katalis. Sedangkan titik didih akhir bahan bakar cair tanpa katalis merupakan nilai titik didih akhir tertinggi yaitu sebesar 276°C . Sedangkan pengukuran titik didih akhir bensin komersial sebesar 188°C .

Penurunan titik didih ini terdapat keterkaitan yang erat dengan densitas bahan bakar cair masing-masing. Semakin kecil nilai densitas bahan bakar maka titik didih akhir bahan bakar cair juga semakin kecil. Oleh karena itu, pada penelitian ini nilai titik didih akhir bahan bakar cair dengan katalis 9,55% (b/b) paling rendah seiring dengan rendahnya nilai densitas yang dimilikinya. Pada Gambar 4.10 menunjukkan bahwa nilai titik didih akhir seluruh bahan bakar cair berada di luar batas ketentuan standart yang diizinkan sehingga bahan bakar cair hasil sintesis tidak memenuhi baku mutu bahan bakar minyak jenis bensin yaitu maksimal sebesar 205°C .

4.3.5 Viskositas

Viskositas merupakan parameter penting yang dapat mempengaruhi kualitas bahan bakar. Hasil pengujian viskositas bahan bakar dapat ditunjukkan pada Gambar 4.11. Pada Gambar 4.11 menjelaskan bahwa terdapat kecenderungan penurunan nilai viskositas bahan bakar cair terhadap penambahan jumlah katalis. Hasil analisis viskositas menunjukkan bahwa nilai tertinggi terdapat pada bahan bakar cair tanpa katalis yang sebesar 0,670

cSt. Sedangkan nilai terendah viskositas terdapat pada bahan bakar cair sintesis menggunakan katalis 9,55% (b/b) yang sebesar 0,504 cSt dengan 25,10% lebih rendah dibandingkan viskositas bahan bakar cair tanpa katalis. Adanya penurunan viskositas dengan bertambahnya jumlah katalis juga dipengaruhi oleh penurunan nilai densitas. Hal ini dikarenakan densitas berbanding lurus dengan viskositas.



Gambar 4.11 Viskositas bahan bakar cair.

Hasil pengujian viskositas menunjukkan bahwa komposisi hidrokarbon yang terkandung di dalam bahan bakar cair tanpa katalis lebih padat karena adanya rantai panjang yang lebih banyak dibandingkan bahan bakar cair dengan menggunakan katalis. Besarnya penurunan viskositas yang terjadi akibat penambahan jumlah katalis, viskositas seluruh bahan bakar cair sintesis belum mampu mencapai viskositas bensin komersil

berjenis premium yang diinginkan yaitu sebesar 0,324 cSt dengan 35,63% jauh lebih rendah dibandingkan bahan bakar cair berkatalis 9,55% (b/b).

Data pengujian viskositas bahan bakar cair yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan baku mutu yang berlaku, salah satunya adalah baku mutu internasional yang dikeluarkan *Shell Petroleum Canada* tahun 1999 tentang pengujian spesifikasi bahan bakar minyak berjenis bensin tanpa timbal. Berdasarkan data spesifikasi tersebut memiliki batasan terhadap nilai viskositas kinematik yang terukur pada 38°C harus bernilai kurang dari 1 cSt. Sedangkan data viskositas masing-masing bahan bakar cair hasil sintesis menunjukkan bahwa semua bahan bakar cair memenuhi baku mutu viskositas bahan bakar bensin menurut *Shell Petroleum Canada* karena viskositasnya kurang dari 1 cSt.

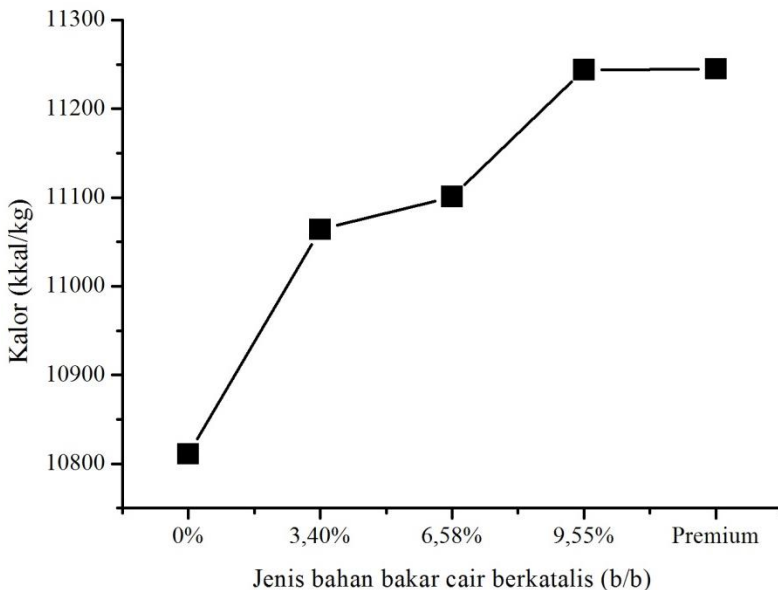
4.3.6 Kalor

Setelah mengetahui besarnya densitas, titik nyala, titik didih akhir, dan viskositas bahan bakar cair yang mendekati karakteristik bensin komersil berjenis premium. Parameter sifat fisik lainnya yang penting diperhatikan adalah nilai kalor bahan bakar. Nilai kalor bahan bakar adalah jumlah energi yang dilepaskan ketika suatu bahan bakar secara sempurna dalam suatu proses aliran tunak dan produk dikembalikan lagi ke keadaan reaktannya. Nilai kalor diukur menggunakan kalorimeter bom. Hasil pengukuran nilai kalor dapat ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Hasil analisis nilai kalor menunjukkan bahwa terdapat peningkatan nilai kalor dengan bertambahnya jumlah katalis yang digunakan dalam sintesis bahan bakar cair seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12.

Tabel 4. 3 Pengujian nilai kalor bahan bakar cair.

Jenis bahan bakar cair	Kalor	
	kcal/kg	MJ/kg
Katalis 0% (b/b)	10.811	45,26
Katalis 3,40% (b/b)	11.064	46,32
Katalis 6,58% (b/b)	11.101	46,48
Katalis 9,55% (b/b)	11.244	47,08
Premium (Mustofa dkk.,2014)	11.245	47,08



Gambar 4. 12 Kalor bahan bakar cair

Nilai kalor tertinggi terdapat pada bahan bakar cair berkatalis 9,55% (b/b) sebesar 11.244 kkal/kg. Nilai kalor ini 4% lebih tinggi dari bahan bakar cair tanpa menggunakan katalis yang hanya mampu menghasilkan nilai kalor 10.811 kkal/kg. Peningkatan nilai kalor bahan bakar cair sintesis ini

dimungkinkan karena komposisi fraksi rantai hidrokarbon yang terkandung di dalam bahan bakar cair. Bahan bakar cair dengan nilai kalor yang lebih tinggi mengindikasikan bahwa komposisi fraksi hidrokarbon rantai pendek lebih banyak jumlahnya, hal ini dikuatkan dengan hasil analisis GC-MS yang menyatakan bahwa jumlah fraksi (C_7 - C_{12}) naik terhadap jumlah katalis yang digunakan.

Nilai kalor bahan bakar cair yang diperoleh juga dibandingkan dengan baku mutu internasional yang dikeluarkan *Canada Hibernia Crude Oil* tentang pengujian spesifikasi bahan bakar minyak berjenis bensin tanpa timbal. Berdasarkan data spesifikasi tersebut memiliki batasan terhadap nilai kalor minimal sebesar 46,1 MJ/kg. Sehingga dapat artikan bahwa semua jenis bahan bakar cair dengan katalis memenuhi baku mutu internasional tersebut seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

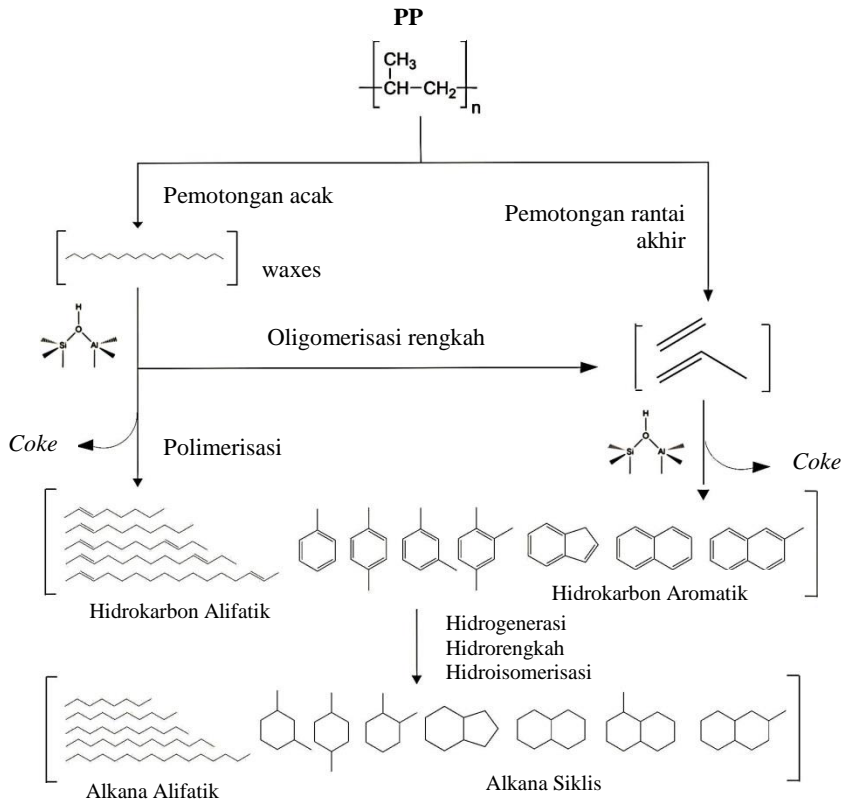
4.4. Proses Konversi

Proses konversi pada penelitian ini terjadi secara termal dan katalitik. Adanya pengaruh katalis mampu meningkatkan karakteristik bahan bakar. Hal ini dibuktikan dengan sintesis bahan bakar cair yang telah dilakukan menghasilkan produk terbaik berupa bahan bakar cair dengan katalis 9,55% (b/b). Seluruh karakteristik bahan bakar cair dengan katalis 9,55% (b/b) unggul dibandingkan karakteristik bahan bakar cair lainnya seperti yang diuraikan penjelasan sebelumnya.

Sintesis bahan bakar cair tanpa katalis dipengaruhi oleh faktor termal melalui perengkahan termal. Tahap pertama perengkahan termal adalah dekomposisi termal dari molekul hidrokarbon menjadi fragmen-fragmen radikal bebas. Pembentukan radikal menyebabkan perengkahan hidrokarbon dimulai. Proses rengkah terjadi pada ikatan beta karbon yang

membawa elektron tak berpasangan sehingga dihasilkan hidrokarbon alifatik berupa olefin.

Pada penelitian ini sintesis bahan bakar cair dengan katalis dipengaruhi oleh peran termal dan katalis secara bersamaan. Pengaruh katalis terjadi melalui reaksi perengkahan katalitik, siklisasi dan aromatisasi olefin serta polimerisasi olefin sehingga menimbulkan coke yang dapat menurunkan aktifitas katalis. Adapun reaksi konversi penelitian ini dapat ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Reaksi konversi katalitik plastik (Zhang dkk.,2016).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan dapat disimpulkan bahwa bahan bakar cair dapat disintesis dengan proses konversi katalitik limbah plastik polipropilena menggunakan katalis Al-MCM-41. Pada penelitian ini diperoleh bahan bakar cair yang mendekati karakteristik bensin komersil yaitu bahan bakar cair dengan katalis 9,55% (b/b). *Yield* produk fraksi bensin (C_7-C_{12}) bahan bakar cair tersebut sebesar 77,18%, densitas sebesar 720 kg/m^3 , titik nyala 68°C , titik didih akhir 235°C , viskositas kinematik sebesar 0,504 cSt dan nilai kalor mencapai 11.244 kkal/kg. Bahan bakar cair dengan katalis 9,55% (b/b) belum dapat diaplikasikan karena nilai titik didih akhir belum memenuhi baku mutu SNI 06-3506-1994 tentang bahan bakar minyak jenis bensin yang berlaku.

5.2. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu perlu dilakukannya penambahan zat aditif bensin agar diperoleh hasil bahan bakar cair yang memenuhi baku mutu yang berlaku.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Achilias, D.S. (2007). *Chemical recycling of plastic waste made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP)*. Journal of Hazardous Materials. 149, 536-542.
- Ajayi, E.O., Sadimenko, A.P., Afolayan, A.J. (2016). *GC-MS Evaluation of Cymbopogon citratus (DC) Stapf Oil Obtained Using Modified Hydrodistillation and Microwave Extraction Methods*. Food Chemistry. 209, 262-266.
- Alock, Harry R. dan Frederick, W. (1990). *Contemporary Polymer Chemistry 2nd Edition*. New York: Prentice Hall.
- Atkins, P. W. (1996). *Physical Chemistry*. Jakarta: Erlangga.
- Bhattacharyya, K. G., Talubdar, A.K., Das, P. dan Sivasanker, S. (2001). *Acetylation of Phenol with Al-MCM-41*. Catalysis Communication. 2, 105-111.
- Carmo M. J., L. K. de Souza, C. F. da Costa, E Longo, J. R. Zamian and G. N. da Rocha Filho. (2009). *Production of biodiesel by esterification of palmitat acid mesoporous aluminosilicate Al-MCM-41*. Journal of Fuel. 88, 461-468.
- Cinara M.R. Prado, Nelson R. Antoniosi Filho. (2009). *Production and Characteization of the Biofuels Obtained by Thermal Cracking and Catalytic*

Cracking of Vegetable Oils. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 86, 338-347.

Cowd, M.A. dan Stark, J.G. (1991). *Kimia Polimer*. Bandung: Prentice Hall.

Cullity, B.D, dan S.R Stock. (2000). *Elements of X-Ray Diffraction Third Edition*. Prentice Hall. Upper Saddle River: New Jersey.

Eimer, Griselda A dan Liliana B Pierella, Gustavo A Monti, Oscar A Anunziata. (2003). *Preparation and Characterization of Aluminium – Containing MCM-41*. *Cataysist Communications*. 4, 118–123.

Endud, S., Hadi dan Halimaton Hamdan. (1998). *Probing The Active Sites of Aluminated Mesoporous Molecular Sieve MCM-41 By Secondary Synthesis In The conversion of Cycloheksanol*. *Mesoporous Molecular Sieve*. 117, 453-459.

Gates, B. C. (1992). *Catalytic Chemistry*. Singapore: John Wiley and Sons Inc.

Georgogianni, K.G., Katsoulidis, A.P., Pomonis, P.J. dan Kontominas, M.G. (2009). *Transesterification of Soybean Frying Oil to Biodiesel Using Heterogeneous Catalysts*. *Fuel Processing Technology*. 90, 671–676.

Gooch, J.W. (2007). *Analysis & Deformulation of Polymeric Materials*. New York: Kluwer Academic Publisher.

- Heftmann, E. (2004). *Chromatography: Fundamentals and Applications of Chromatography and Related Differential Migration Methods - Part A: Fundamentals and Techniques*.
- Hoffmann, E. de dan Stroobant, V. (2013). *Mass Spectrometry: Principles and Applications*. New York: John Wiley & Sons.
- Howe, I., dan Williams, D. H. (1981). *Mass Spectrometry Principles and Applications*. Journal of Mass Spectrometry. 17, 1-54.
- Iliopoulou, E.F., Antonakou, E.V., Karakaolia, S.A., Vasalos, I.A., Lappas, A.A., Triantafyllidis, K.S. (2007). *Catalytic Conversion of Biomass Pyrolysis Products by Mesoporous Materials: Effect of Steam Stability and Acidity of Al-MCM-41 Catalysts*. Chemical Engineering Journal. 134, 51-57.
- Istadi. (2011). *Teknologi Katalis untuk Konversi Energi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Jermy, BR., dan Pandurangan, A. (2005). *Catalytic Application of Al-MCM-41 in The Esterification of Acetic Acid with Various Alcohols*. Applied Catalysis. 288, 25–33.
- Julianti, E. dan M. Nurminah. (2006). *Buku Ajar Teknologi Pengemasan*. Departemen Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. Medan.

- Juwono, Hendro, Triyono, Sutarno, Endang Tri Wahyuni. (2013). The Influence of Pd Impregnation into Al-MCM-41 on the Characters and Activity for Biogasoline Production by Catalytic Hydrocracking of Fames from Nyamplung Seed Oil (*Calophyllum Inophyllum*). Journal Chemical. 171-175.
- Kadir. (2012). *Kajian Pemanfaatan Sampah Plastik Sebagai Sumber Bahan Bakar Cair*. Dinamika Jurnal Ilmiah. 3, 2-5.
- Kartina, S. (2006). *Effect of Temperature and Hydrogen on Palm Oil Cracking over MCM-41/ZSM-5 Composite Catalysts*. Master Thesis Universiti Teknologi Malaysia. Malaysia.
- Lee, Sandra. (2005). *Topics in Current Chemistry: Modern Mass Spectroscopy*. Berlin: Mac Millan Group Meeting.
- Melyna, E. (2013). *Perengkahan sampah plastik (HDPE, PP, PS) menjadi precursor bahan bakar dengan variasi perbandingan bahan baku/katalis H-zeolit*. Skripsi Universitas Riau. Pekanbaru.
- Meziani, J. Mohammed, Jerzy Zajac, Jean-Marc Douillard, Deborah J. Jones, Stanislas Partyka, Jacques Rozière. (2001). *Evaluation of Surface Enthalpy of Porous Aluminosilicates of the MCM-41 Type Using Immersional Calorimetry: Effect of the Pore Size and Framework Si:Al Ratio*. Journal of Colloid and Interface Science. 233, 219-226.

- Nasution, A.S., Sidjabat, O., Morina. (2010). *Proses Pembuatan Bahan Bakar Bensin dan Solar Ramah Lingkungan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi LEMIGAS Kementerian ESDM.
- Nurinawati, S. (2007). *Pembuatan Biodiesel Langsung dari Sumber Bahan Minyak Lemak*. Skripsi Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Onwudili, J. A., Insura, N. & Williams, P. T. (2009). *Composition of products from the pyrolysis of polyethylene and polystyrene in a closed batch reactor: Effects of temperature and residence time*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 86, 293-303.
- Perego, C. dan Perluigi Villa. (1997). *Catalyst Preparation Methods*. Journal of Catalyt. 34, 281-305.
- Prihandana, Rama dan Roy Hendroko. (2006). *Menghasilkan Biodiesel Murah: Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Saifurrizal, M. Ferdi. (2013). *Pengaruh Komposisi Campuran Briket Bottom Ash Batubara dan Tongkol Jagung dengan Variasi Jumlah Perekat terhadap Nilai Kalor*. Skripsi Universitas Jember. Jember.
- Sandi, D. N., Purwanti, E., dan Ediati, R. (2009). *Sintesis dan Karakterisasi Katalis Al-MCM-41, Fe-Al-MCM-41, serta Fe-MCM-41*. Prosiding Skripsi, ITS Surabaya.

- Savidha, R. dan Pandurangan, A. (2004). *Vapour Phase Isopropylation of Phenol Over Zinc and Iron containing Al-MCM-41 Molecular Sieves*. Applied Catalysis. 262, 1-11.
- Sibarani, Kezia L. (2012). *Preparasi, Karakterisasi, dan Uji Aktifitas Katalis Ni-Cr/Zeolit Alam Pada Proses Perengkahan Limbah Plastik Menjadi Fraksi Bensin*. Skripsi Universitas Indonesia. Depok.
- Silaban, J. H. (1993). *Pengaruh Penambahan Kerosin ke Dalam Solar Terhadap Sifat-Sifat Fisika Kimianya*. Skripsi Jurusan Kimia FMIPA UMRI. Pekanbaru.
- Sriningsih, W., Saerodji, M. G., Trisunaryanti, W., Triyono, Armunanto, R., Falah, I. I. (2014). *Fuel production from LDPE plastic waste over natural zeolite supported Ni, Ni-Mo, Co and Co-Mometals*. Procedia Environmental Sciences. 20, 215 – 224.
- Stevens, M.P. (2001). *Kimia Polimer*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Suharto. (2010). *Limbah Kimia dalam Pencemaran Air dan Udara*. Yogyakarta: Andi Media.
- Wanchai, K. dan Chaisuwan, A. (2013). *Catalytic Cracking of Polypropylene Waste Over Zeolite Beta*. Chemistry and Materials Research. 3, 31 – 41.
- Wiwin Sriningsih, Monica Garby Saerodji, Wega Trisunaryanti, Triyono, Ria Armunanto, Iip Izul Falah. (2014). *Fuel Producton from LDPE Plastic Waste over Natural*

Zeolite Supported Ni, Ni-Mo, Co, and Co-Mo Metals.
Procedia Environmental Sciences. 20, 215–224.

Xie, C., Liu, F., Yu, S., Xie, F., Li, L., Zhang, S. & Yang, J. (2008). *Catalytic Cracking of Polypropylene into Liquid Hydrocarbon Over Zr and Mo Modified MCM-41 Mesoporous Molecular Sieve.* Catalysis Communication. 10, 1-5.

Zhang, Xuesong, Hanwu Lei, Lei Zhu, Moriko Qian, Xiaolu Zhu, Joan Wu. (2016). *Enhancement of Jet Fuel Range Alkanes from Co-feeding of Lignocellulosic Biomass with Plastic via Tandem Catalytic Conversions.* Applied Energy. 173. 418-430.

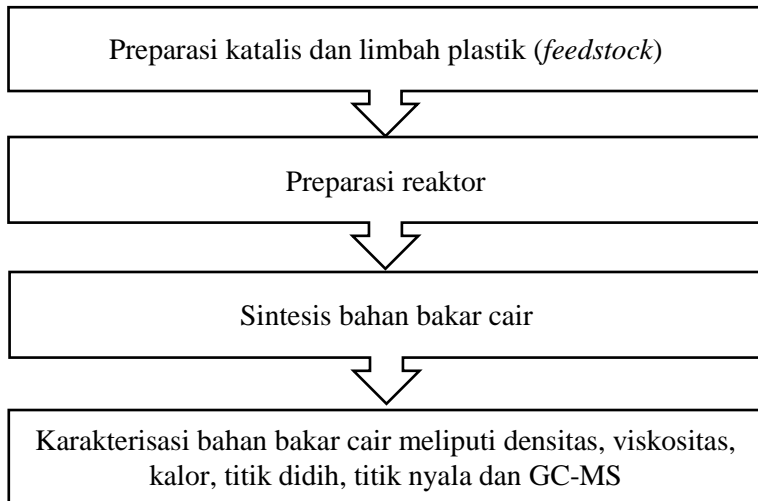
Zhao, S. X., Lu, Q. G., and Millar, J. G. (1996). *Advances in Mesoporous Molecular Sieve MCM-41.* Ind. Eng. Chem. Res. 35, 2075–2090.

[www.etc-cte.ec.gc.ca/databases/Oilproperties/pdf/WEB_Gasoline \(Unleaded\).pdf](http://www.etc-cte.ec.gc.ca/databases/Oilproperties/pdf/WEB_Gasoline(Unleaded).pdf) yang diakses pada tanggal 5 Juni 2017.

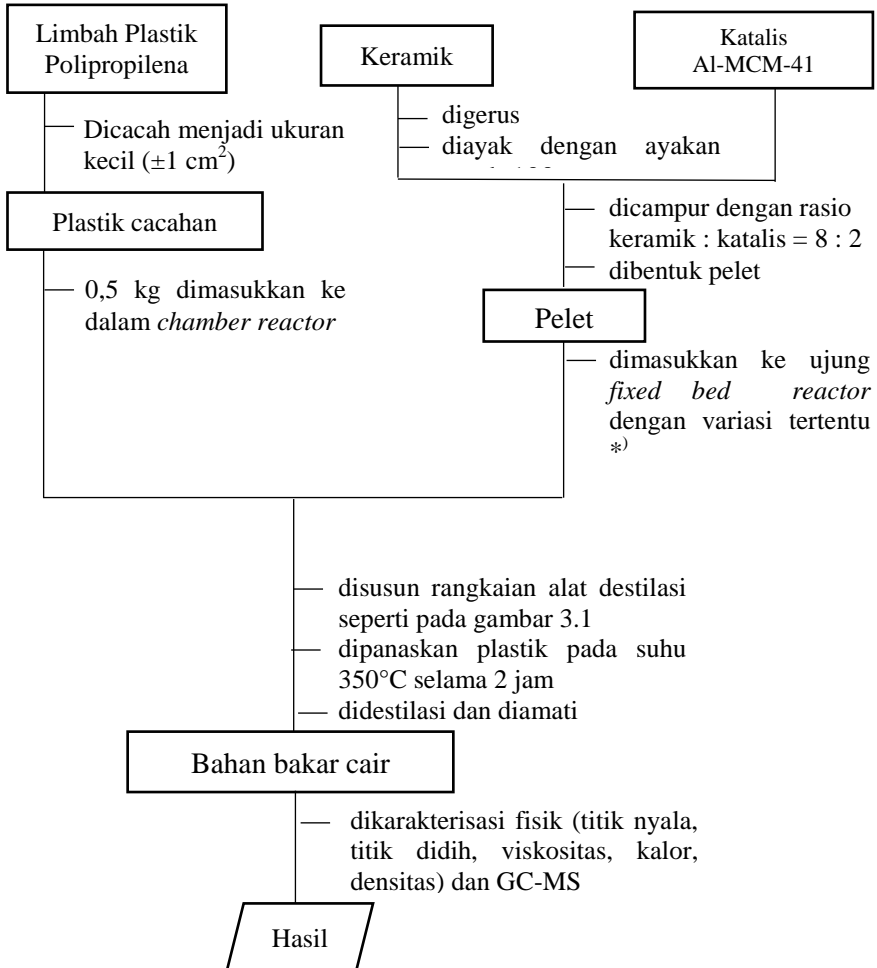
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

A. Langkah Penelitian



B. Skema Kerja



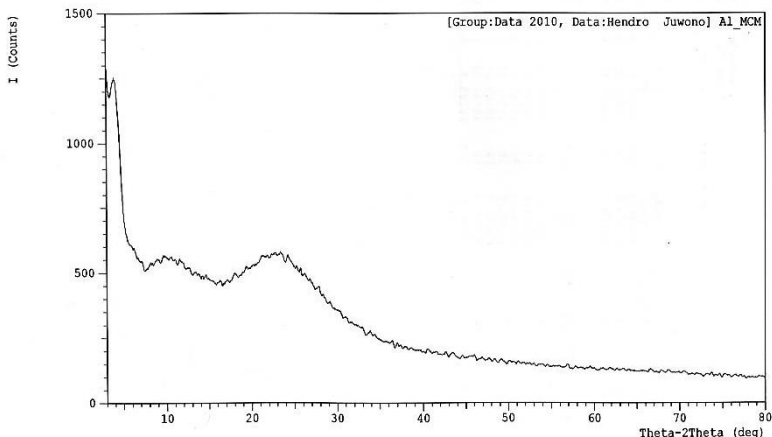
*¹) Variasi katalis 0%; 3,40%; 6,58%; 9,55% (b/b)

C. Hasil Pengukuran Penelitian

C.1. Hasil Karakterisasi XRD Katalis Al-MCM-41

*** Multi Plot ***

File Name : Data 2010\Hendro Juwono
 Sample Name : Al MCM Comment : Al_MCM
 Date & Time : 09-30-10 12:34:13
 Condition
 X-ray Tube : Cu(1.54060 Å) Voltage : 40.0 kV Current : 30.0 mA
 Scan Range : 3.0000 <-> 80.0000 deg Step Size : 0.0200 deg
 Count Time : 0.24 sec Slit DS : 1.00 deg SS : 1.00 deg RS : 0.30 mm



C.2. Hasil Karakterisasi Adsorpsi Desorpsi N₂ Katalis Al-MCM-41

Quantachrome NovaWin2 - Data Acquisition and Reduction
 for NOVA instruments
 ©1994-2006, Quantachrome Instruments
 version 2.2



Analysis	Date:2010/10/28	Report	Date:10/29/2010
Operator:Indra Nafiyanto		Operator:Indra Nafiyanto	
Sample ID: 1	Filename:	C:\QC\data\Physisorb\GSA013 HENDRO JUWONO 281010.qps	
Sample Desc: MCM 41 MODIFIKASI	Comment:	sample sel 95 sudah dikalibrasi	
Sample weight: 0.0645 g	Sample Volume:	0 cc	
Outgas Time: 3.0 hrs	Outgas Temp:	300.0 C	
Analysis gas: Nitrogen	Bath Temp:	77.3 K	
Press. Tolerance:0.1000,100 (ads/des)	Equil time:	60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)
Analysis Time: 401.0 min	End of run:	2010/10/28 18:42:41	Instrument: Nova Station A
Cell ID: 95			

Multi-Point BET

Data Reduction Parameters Data

Adsorbate	Nitrogen	Temperature	77.350K
Molec. Wt.: 28.013 g		Cross Section:	16.200 Å ²
		Liquid Density:	0.808 g/cc

Multi-Point BET Data

Relative Pressure [P/P ₀]	Volume@STP [cc/g]	1/[W/(P ₀ P) - 1]	Relative Pressure [P/P ₀]	Volume@STP [cc/g]	1/[W/(P ₀ P) - 1]
5.86580e-02	153.7051	3.2613e-01	1.96598e-01	200.4679	9.8902e-01
7.20530e-02	159.8185	3.8873e-01	2.19998e-01	206.6109	1.0522e+00
9.79500e-02	169.7950	5.1174e-01	2.46875e-01	214.7449	1.2213e+00
1.23427e-01	178.3181	6.3180e-01	2.73352e-01	223.9370	1.3441e+00
1.49482e-01	185.2851	7.5489e-01	2.95862e-01	234.1623	1.4374e+00
1.70707e-01	192.4606	8.5756e-01			

BET summary

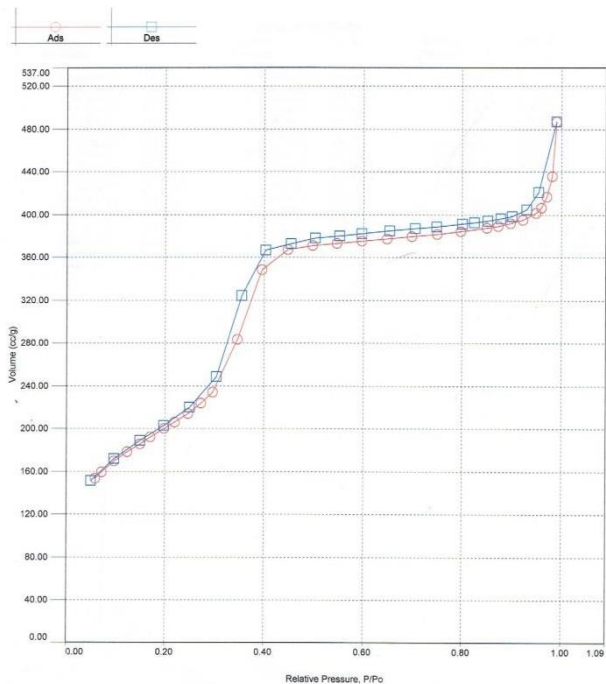
Slope = 4.723
 Intercept = 4.933e-02
 Correlation coefficient, r = 0.999934
 C constant = 96.754
 Surface Area = 729.665 m²/g

Quantachrome NovaWin2 - Data Acquisition and Reduction
for NOVA Instruments
©1994-2006, Quantachrome Instruments
version 2.2

Quantachrome
INSTRUMENTS
Densimetry performance

Analysis	Date: 2010/10/28	Report	Date: 10/29/2010
Operator: Indra Nafiyanto	Filename: C:\Q-Crsta\Physisorb\GSA013 HENDRO JUWONO	Operator: Indra Nafiyanto	281010.qps
Sample ID: 1	Comment: sampel sel 95 sudah dikalibrasi	Sample Volume: 0 cc	
Sample Desc: MCM 41 MODIFIKASI	Outgas Temp: 300.0 C	Bath Temp: 77.3 K	
Sample weight: 0.0645 g	Equil time: 60/60 sec (ads/des)	Equil timeout: 240/240 sec (ads/des)	
Outgas Time: 3.0 hrs	End of run: 2010/10/28 18:42:41	Instrument: Nova Station A	
Analysis gas: Nitrogen			
Press. Tolerance: 0.100/0.100 (ads/des)			
Analysis Time: 401.0 min			
Cell ID: 95			

Isotherm * Linear



C.3. Hasil Karakterisasi ICP Katalis Al-MCM-41

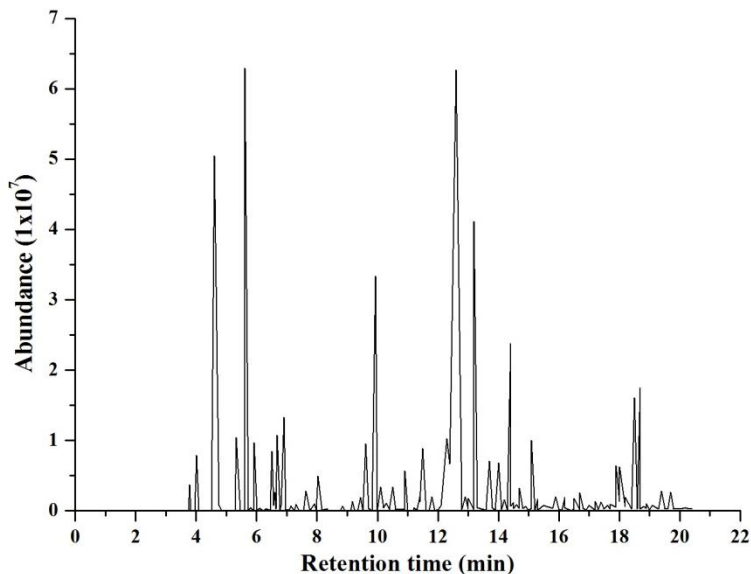
Tabel C.1 Komposisi Al dan Si di dalam katalis Al-MCM-41.

Komposisi	Persen kadar (%)
Al	4,81
Si	81,71

D. Hasil Karakterisasi Bahan Bakar Cair

D.1. Hasil Karakterisasi GC-MS Bahan Bakar Cair

Berikut diberikan kromatogram beserta data kromatogram hasil karakterisasi GC-MS bahan bakar cair setiap variasi jumlah katalis. Kromatogram bahan bakar cair dengan katalis 0% (b/b) ditunjukkan oleh Gambar D.1.



Gambar D. 1 Kromatogram bahan bakar cair katalis 0% (b/b)

Data kromatogram hasil karakterisasi menggunakan GC-MS bahan bakar cair katalis 0% (b/b) ditunjukkan pada Tabel D.1.

Tabel D.1 Data luas area bahan bakar cair dengan katalis 0% (b/b)

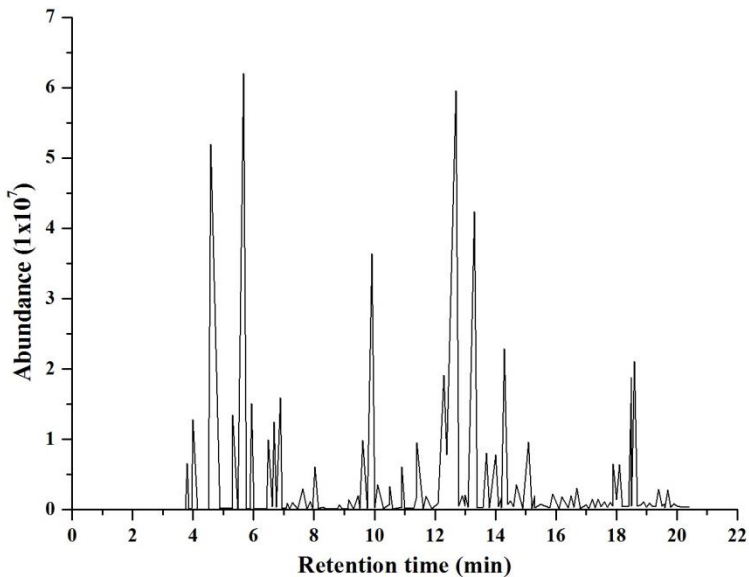
RT	Start time	End time	Luas	Fraksi
4.952	4.876	5.033	91778129	C ₃
5.161	5.105	5.266	190486782	C ₄
5.706	5.593	5.828	1501879668	C ₃

5.858	5.828	5.932	52014767	C ₅
6.391	6.325	6.539	313633427	C ₆
6.675	6.539	6.765	1889192408	C ₆
6.813	6.765	6.880	19189227	C ₆
6.950	6.880	7.044	239652308	C ₆
7.475	7.415	7.521	221670398	C ₆
7.553	7.521	7.599	71884119	C ₆
7.652	7.599	7.711	277366146	C ₇
7.751	7.711	7.769	23490324	C ₇
7.824	7.769	7.965	348959846	C ₇
8.070	7.965	8.158	32273118	C ₆
8.226	8.158	8.274	23032048	C ₇
8.504	8.415	8.546	81184243	C ₇
8.571	8.546	8.668	29297710	C ₇
8.769	8.668	8.825	41551816	C ₇
8.890	8.825	8.932	147698977	C ₇
8.952	8.932	9.042	57713811	C ₇
9.636	9.586	9.749	22080074	C ₇
9.936	9.777	10.076	63416487	C ₈
10.204	10.145	10.273	70286524	C ₈
10.355	10.273	10.499	325154225	C ₈
10.630	10.499	10.730	1107852699	C ₈
10.832	10.730	10.924	146794639	C ₈
10.966	10.924	11.052	39320350	C ₈
11.111	11.052	11.140	24827969	C ₈
11.193	11.140	11.270	107716344	C ₈
11.576	11.504	11.706	203572659	C ₈
11.981	11.884	12.017	77297034	C ₈
12.081	12.017	12.231	342534171	C ₉
12.321	12.231	12.429	112444559	C ₉
12.812	12.429	12.914	1025918957	C ₉
13.132	12.914	13.267	8932719211	C ₉
13.398	13.349	13.445	52940072	C ₉
13.531	13.445	13.610	97657249	C ₉

13.713	13.610	13.838	1405604887	C ₉
14.110	14.000	14.284	269697092	C ₉
14.390	14.284	14.459	246595359	C ₉
14.589	14.512	14.648	53911394	C ₁₀
14.748	14.648	14.832	741320035	C ₁₀
14.869	14.832	14.913	26565604	C ₉
14.953	14.913	15.014	17859247	C ₈
15.072	15.014	15.148	103144074	C ₁₆
15.444	15.327	15.515	280772095	C ₆
15.594	15.515	15.660	54937812	C ₁₀
15.795	15.758	15.831	10810150	C ₇
16.168	16.095	16.318	81484493	C ₉
16.456	16.318	16.499	54032518	C ₆
16.530	16.499	16.631	29166151	C ₁₀
16.778	16.709	16.876	76898145	C ₉
16.944	16.876	16.999	79346112	C ₁₀
17.192	17.074	17.259	40559682	C ₁₀
17.413	17.346	17.499	53655462	C ₁₀
17.595	17.499	17.655	39879327	C ₁₀
17.782	17.655	17.841	44771864	C ₁₆
17.934	17.841	17.985	37268314	C ₁₆
18.073	17.985	18.118	211653176	C ₁₁
18.185	18.118	18.229	256089907	C ₆
18.257	18.229	18.304	108581075	C ₆
18.343	18.304	18.391	53107177	C ₁₆
18.433	18.391	18.492	34894099	C ₁₁
18.587	18.492	18.646	509753554	C ₁₁
18.731	18.646	18.792	525972175	C ₁₁
19.009	18.934	19.079	37890297	C ₁₀
19.177	19.079	19.221	23280876	C ₉
19.414	19.332	19.508	104590887	C ₁₁
19.705	19.639	19.806	87973781	C ₁₁
20.250	20.033	20.313	337078733	C ₁₂
20.408	20.313	20.517	180664172	C ₁₂

20.604	20.517	20.631	30402301	C ₁₀
20.726	20.631	20.832	121302874	C ₁₀
20.991	20.832	21.041	2462465676	C ₈
Jumlah Fraksi		27240463072		

Kromatogram bahan bakar cair menggunakan katalis 3,40% (b/b) ditunjukkan oleh Gambar D.2.



Gambar D.2 Kromatogram bahan bakar cair katalis 3,40 % (b/b)

Data kromatogram hasil karakterisasi menggunakan GC-MS bahan bakar cair katalis 3,40% (b/b) ditunjukkan pada Tabel D.2.

Tabel D.2 Data luas area bahan bakar cair katalis 3,40% (b/b).

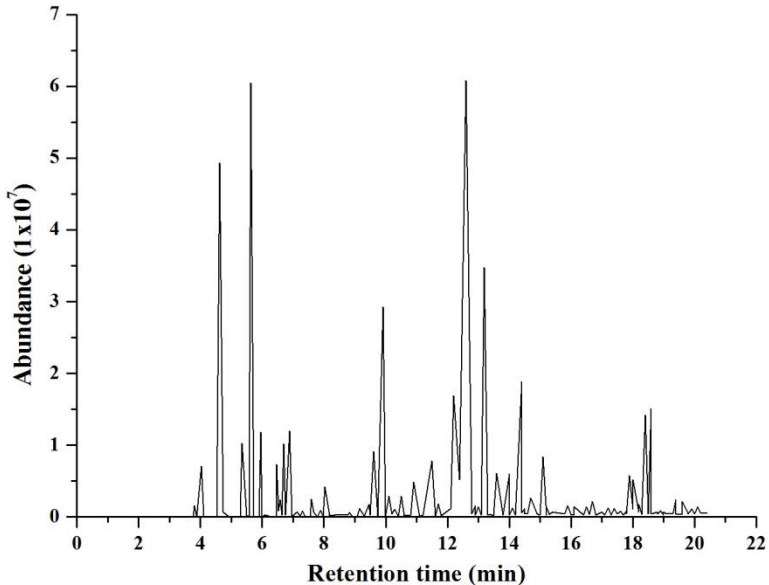
RT	Start time	End time	Luas	Fraksi
4.958	4.884	5.041	149395442	C ₃
5.166	5.113	5.271	307841913	C ₄
5.705	5.604	5.767	1523307108	C ₅

5.792	5.767	5.833	126316649	C ₅
5.863	5.833	5.938	67742411	C ₅
6.396	6.331	6.539	395850155	C ₆
6.676	6.539	6.768	1981769714	C ₆
6.820	6.768	6.888	24895778	C ₆
6.955	6.888	7.050	361484454	C ₆
7.479	7.420	7.525	259793743	C ₆
7.557	7.525	7.603	79166815	C ₆
7.657	7.603	7.713	311793542	C ₇
7.760	7.713	7.773	29263739	C ₇
7.829	7.773	7.972	410820737	C ₇
8.073	7.972	8.158	37721284	C ₆
8.229	8.158	8.277	26966867	C ₇
8.507	8.415	8.549	91158155	C ₇
8.574	8.549	8.665	30667475	C ₈
8.773	8.665	8.828	43302581	C ₇
8.893	8.828	8.935	178460298	C ₇
8.956	8.935	9.048	55823037	C ₇
9.637	9.589	9.756	24558962	C ₇
9.939	9.866	10.079	65774471	C ₈
10.207	10.150	10.276	74814052	C ₈
10.359	10.276	10.501	352956442	C ₈
10.640	10.501	10.739	1318172501	C ₈
10.835	10.739	10.927	156613755	C ₈
10.970	10.927	11.055	42038410	C ₈
11.115	11.055	11.143	27103927	C ₈
11.195	11.143	11.277	113399464	C ₈
11.579	11.506	11.716	233799280	C ₈
11.985	11.889	12.017	73631866	C ₈
12.086	12.017	12.238	398969131	C ₈
12.324	12.238	12.440	126615225	C ₉
12.836	12.440	12.916	1984440456	C ₉
13.174	12.916	13.296	9095122006	C ₉
13.414	13.366	13.460	57812432	C ₉

13.545	13.460	13.625	97526365	C ₉
13.733	13.625	13.845	1588696199	C ₉
14.120	14.008	14.289	302343785	C ₉
14.398	14.289	14.464	322762378	C ₉
14.598	14.521	14.654	66257149	C ₁₀
14.753	14.654	14.838	740345601	C ₉
14.875	14.838	14.918	39572522	C ₉
15.077	15.019	15.147	151773653	C ₁₆
15.448	15.291	15.518	281658109	C ₁₀
15.598	15.518	15.664	75617244	C ₁₀
16.174	16.099	16.326	106161065	C ₁₀
16.459	16.326	16.501	55182717	C ₆
16.531	16.501	16.634	29731312	C ₁₀
16.782	16.712	16.878	85115609	C ₉
16.948	16.878	17.002	89860843	C ₁₀
17.195	17.076	17.259	41734608	C ₈
17.417	17.350	17.497	59524910	C ₉
17.599	17.544	17.661	44919712	C ₁₀
17.785	17.661	17.843	48277279	C ₁₄
17.936	17.843	17.987	36729631	C ₁₄
18.076	17.987	18.121	221999918	C ₈
18.188	18.121	18.232	260674501	C ₁₁
18.263	18.232	18.306	116901551	C ₈
18.346	18.306	18.395	64000499	C ₉
18.437	18.395	18.496	36288685	C ₁₁
18.598	18.496	18.654	619666368	C ₁₁
18.743	18.654	18.803	638911469	C ₁₁
19.014	18.948	19.093	35377692	C ₈
19.183	19.122	19.227	22597964	C ₉
19.418	19.335	19.512	107741998	C ₁₁
19.708	19.643	19.811	88332418	C ₁₁
20.271	20.032	20.329	596208018	C ₁₂
20.428	20.329	20.529	378626969	C ₁₂
20.605	20.529	20.644	38734411	C ₁₇

21.036	20.644	20.840	114083687	C ₁₁
Jumlah Fraksi			28243301116	

Kromatogram bahan bakar cair dengan katalis 6,58% (b/b) ditunjukkan oleh Gambar D.3.



Gambar D.3 Kromatogram bahan bakar cair 6,58% (b/b).

Data kromatogram hasil karakterisasi menggunakan GC-MS bahan bakar cair katalis 6,58% (b/b) ditunjukkan pada Tabel D.3.

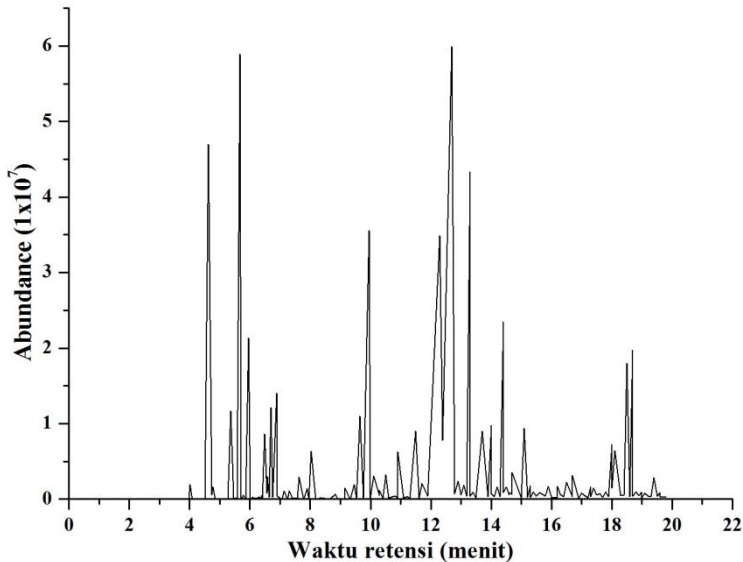
Tabel D.3. Data luas area bahan bakar cair katalis 6,58% (b/b)

RT	Start time	End time	Luas	Fraksi
4.958	4.884	5.026	89613068	C ₃
5.167	5.026	5.369	222491082	C ₄
5.713	5.604	6.032	1557210985	C ₅
6.396	6.332	6.539	340331950	C ₆
6.681	6.539	6.768	1790211672	C ₆

6.817	6.768	6.878	66348998	C ₆
6.953	6.878	7.052	329377805	C ₆
7.102	7.052	7.234	66069740	C ₆
7.382	7.337	7.414	59477725	C ₆
7.477	7.414	7.599	299211600	C ₇
7.654	7.599	7.716	296524158	C ₇
7.826	7.716	7.966	390013212	C ₇
8.071	7.966	8.165	79773668	C ₆
8.227	8.165	8.415	80250399	C ₇
8.505	8.415	8.663	144466202	C ₇
8.769	8.663	8.823	85356708	C ₇
8.891	8.823	9.121	224765096	C ₇
9.636	9.583	9.756	69521427	C ₇
9.936	9.756	10.077	106343223	C ₈
10.202	10.077	10.269	118224265	C ₈
10.353	10.269	10.491	344402640	C ₈
10.624	10.491	10.733	987454563	C ₈
10.830	10.733	10.921	174537389	C ₈
10.963	10.921	11.054	83689012	C ₈
11.190	11.054	11.270	162205636	C ₈
11.574	11.504	11.710	228357551	C ₈
11.980	11.882	12.014	129036728	C ₈
12.078	12.014	12.231	342640039	C ₆
12.322	12.231	12.417	148201203	C ₉
12.480	12.417	12.539	72356159	C ₁₈
12.799	12.539	12.922	1717523123	C ₉
13.164	12.922	13.344	7913379075	C ₉
13.388	13.344	13.440	97161109	C ₉
13.526	13.440	13.597	129512717	C ₉
13.698	13.597	13.828	1213719629	C ₉
14.103	13.991	14.266	281589254	C ₉
14.380	14.266	14.508	336490187	C ₉
14.585	14.508	14.644	101136538	C ₉
14.737	14.644	14.824	632864763	C ₉

14.866	14.824	14.913	87167085	C ₉
14.952	14.913	15.004	77008535	C ₁₁
15.072	15.004	15.288	207755923	C ₈
15.438	15.288	15.513	293113713	C ₁₂
15.588	15.513	15.658	101442754	C ₁₀
15.787	15.658	15.965	121555953	C ₁₀
16.168	16.090	16.334	127023961	C ₁₀
16.453	16.334	16.500	93208211	C ₈
16.527	16.500	16.632	73392297	C ₁₀
16.775	16.632	16.871	120985569	C ₉
16.940	16.871	17.075	122730281	C ₁₀
17.185	17.075	17.254	80733417	C ₁₇
17.412	17.343	17.498	94225614	C ₉
17.593	17.498	17.659	85318857	C ₁₈
17.776	17.659	17.840	86074578	C ₉
17.931	17.840	17.983	77840057	C ₁₀
18.069	17.983	18.119	234875985	C ₆
18.181	18.119	18.390	392748718	C ₁₁
18.431	18.390	18.486	78209949	C ₉
18.579	18.486	18.644	476582629	C ₁₁
18.722	18.644	18.790	482215367	C ₁₁
18.883	18.790	18.942	79308772	C ₁₀
19.002	18.942	19.076	75296962	C ₁₀
19.174	19.076	19.222	67747983	C ₁₂
19.411	19.325	19.504	134552681	C ₁₁
19.548	19.504	19.633	74328995	C ₁₁
19.703	19.633	19.805	118504554	C ₁₁
19.875	19.805	20.028	96309044	C ₁₂
20.256	20.028	20.317	485997204	C ₁₂
20.413	20.317	20.517	315182599	C ₁₂
20.590	20.517	20.640	96620534	C ₁₀
20.724	20.640	20.824	143440014	C ₉
20.973	20.824	21.030	1915528109	C ₉
Jumlah Fraksi			28628867202	

Kromatogram bahan bakar cair dengan katalis 9,55% (b/b) ditunjukkan oleh Gambar D.4.



Gambar D.4 Kromatografi bahan bakar cair katalis 9,55% (b/b) ditunjukkan pada Gambar D.4.

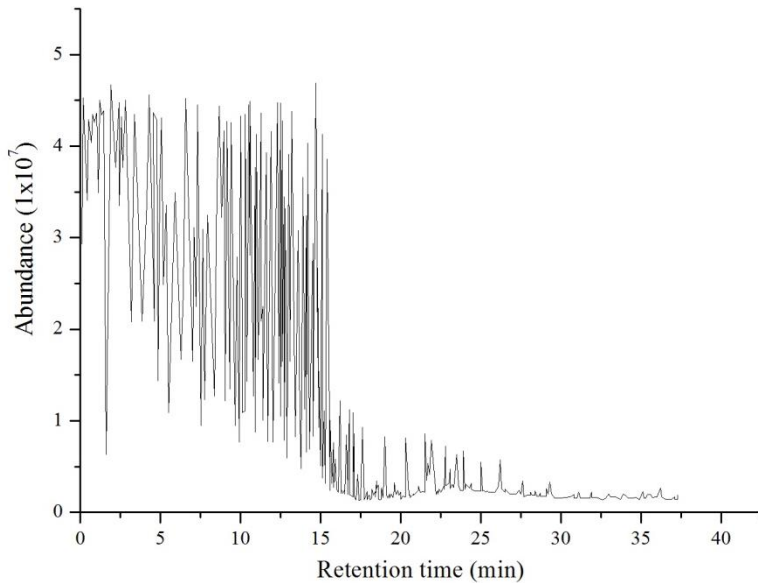
Tabel D.4 Data luas area bahan bakar cair katalis 9,55% (b/b).

RT	Start time	End time	Luas	Fraksi
5.169	4.894	5.365	52517337	C ₄
5.714	5.594	6.029	1351871126	C ₅
6.273	6.207	6.321	8945999	C ₆
6.395	6.321	6.540	333882775	C ₆
6.680	6.540	6.763	1724249989	C ₆
6.816	6.763	6.873	19105139	C ₆
6.952	6.873	7.047	501641199	C ₆
7.101	7.047	7.148	14381611	C ₆
7.292	7.233	7.336	12766046	C ₇
7.381	7.336	7.413	13813308	C ₆

7.476	7.413	7.523	225944010	C ₆
7.553	7.523	7.598	83283901	C ₆
7.654	7.598	7.714	299222595	C ₇
7.825	7.714	7.966	428577396	C ₇
8.070	7.966	8.156	44336650	C ₆
8.226	8.156	8.414	40688888	C ₇
8.504	8.414	8.661	124839206	C ₇
8.768	8.661	8.822	51516311	C ₇
8.891	8.822	9.121	263474496	C ₇
9.177	9.121	9.360	16723158	C ₇
9.634	9.435	9.737	41245528	C ₇
9.938	9.737	10.074	80386741	C ₈
10.204	10.074	10.271	82818507	C ₈
10.356	10.271	10.493	386552992	C ₈
10.631	10.493	10.725	1244527338	C ₈
10.834	10.725	10.925	144775533	C ₈
10.969	10.925	11.057	38638815	C ₈
11.194	11.057	11.276	131187995	C ₈
11.579	11.514	11.781	233662402	C ₈
12.087	11.887	12.221	488667232	C ₉
12.331	12.221	12.438	138543676	C ₉
12.845	12.438	12.928	3820346426	C ₉
13.167	12.928	13.363	8801324421	C ₉
13.414	13.363	13.468	70836708	C ₈
13.549	13.468	13.620	101601758	C ₉
13.727	13.620	13.838	1593794662	C ₉
13.890	13.838	14.004	35488335	C ₈
14.124	14.004	14.277	340228295	C ₉
14.380	14.277	14.525	523561597	C ₉
14.604	14.525	14.660	71335010	C ₉
14.754	14.660	14.833	744752688	C ₁₀
14.883	14.833	15.020	97053827	C ₉
15.098	15.020	15.301	265162686	C ₉
15.452	15.301	15.525	277005725	C ₉

15.602	15.525	15.669	71236091	C ₁₀
15.741	15.669	15.834	60819094	C ₈
15.881	15.834	16.102	88809808	C ₁₀
16.185	16.102	16.348	105898641	C ₁₂
16.465	16.348	16.512	52818457	C ₆
16.540	16.512	16.646	32101079	C ₇
16.790	16.646	16.882	106333721	C ₁₀
16.954	16.882	17.089	105573907	C ₁₀
17.198	17.089	17.267	42446028	C ₁₇
17.303	17.267	17.357	14983192	C ₁₃
17.431	17.357	17.546	74734453	C ₉
17.610	17.546	17.729	75904444	C ₁₀
17.789	17.729	17.850	32706863	C ₉
17.945	17.850	17.997	43953029	C ₁₀
18.085	17.997	18.136	253643138	C ₁₁
18.200	18.136	18.319	385306168	C ₁₁
18.357	18.319	18.407	65580111	C ₉
18.448	18.407	18.502	40189128	C ₁₁
18.601	18.502	18.665	600383166	C ₁₁
18.745	18.665	18.818	598757788	C ₁₁
18.918	18.818	18.969	46594877	C ₁₁
19.019	18.969	19.096	31669300	C ₁₁
19.193	19.096	19.240	22313792	C ₉
19.297	19.240	19.341	22223125	C ₁₇
19.428	19.341	19.522	116771489	C ₁₁
19.565	19.522	19.652	34359905	C ₁₁
19.721	19.652	19.823	87979722	C ₁₁
19.893	19.823	20.060	89613931	C ₁₀
20.295	20.060	20.359	990352196	C ₁₂
20.453	20.359	20.544	643916547	C ₁₂
20.613	20.544	20.671	88315350	C ₁₂
20.748	20.671	20.859	121050978	C ₁₁
20.996	20.859	21.058	2064523670	C ₈
Jumlah Fraksi Total			32577143225	

Kromatogram bahan bakar bensin ditunjukkan oleh Gambar D.5.



Gambar D.5 Kromatografi bahan bakar bensin

Adapun data kromatogram hasil karakterisasi menggunakan GC-MS bahan bakar bensin berjenis premium ditunjukkan pada Tabel D.5.

Tabel D.5 Kromatografi bahan bakar bensin berjenis premium

RT	Start time	End time	Luas	Fraksi
4.258	4.147	4.492	1890366800	C ₆
4.638	4.492	4.730	2575517383	C ₆
4.785	4.730	4.904	2549248598	C ₅
4.943	4.904	5.116	3062771042	C ₆
5.209	5.116	5.290	3159562969	C ₆
5.381	5.290	5.549	3609905783	C ₆
5.809	5.549	6.026	8084692641	C ₆

6.194	6.026	6.265	5221541618	C ₇
6.367	6.265	6.449	3867841489	C ₇
6.629	6.449	6.930	8491419389	C ₇
7.140	6.930	7.575	10650536088	C ₇
7.902	7.575	8.187	9933622027	C ₇
8.268	8.187	8.349	2646291836	C ₈
8.615	8.349	8.726	6305833306	C ₈
8.811	8.726	8.965	2787072158	C ₈
9.143	8.965	9.202	1995798503	C ₈
9.339	9.202	9.642	5445918924	C ₈
9.975	9.642	10.345	11303158373	C ₈
10.414	10.345	10.489	1818066320	C ₉
10.572	10.489	10.758	3976880148	C ₈
10.835	10.758	10.954	1699873540	C ₉
11.128	10.954	11.542	6042314986	C ₉
11.814	11.542	11.955	7112946221	C ₉
12.016	11.955	12.129	2809330957	C ₉
12.235	12.129	12.364	3049115478	C ₉
12.456	12.364	12.681	4375867969	C ₉
12.757	12.681	12.862	1743026256	C ₁₀
13.016	12.862	13.178	3860683089	C ₉
13.275	13.178	13.337	2086368122	C ₉
13.428	13.337	13.488	2957202140	C ₁₀
13.536	13.488	13.695	3490237709	C ₁₀
13.735	13.695	13.828	1181151544	C ₁₀
13.919	13.828	13.992	2878505234	C ₁₀
14.053	13.992	14.215	3800534910	C ₁₀
14.267	14.215	14.319	903996504	C ₁₀
14.399	14.319	14.498	2050732206	C ₁₀
14.648	14.498	14.728	3398056455	C ₁₀
14.986	14.728	15.143	5634119686	C ₁₀
15.203	15.143	15.424	4148201854	C ₁₀

15.456	15.424	15.557	985171095	C ₁₁
15.670	15.557	15.731	1781714062	C ₁₁
15.812	15.731	16.130	5475082815	C ₁₀
16.171	16.130	16.314	1109972147	C ₁₁
16.437	16.314	16.642	2997602086	C ₁₀
16.687	16.642	16.747	1071503833	C ₁₁
16.803	16.747	16.867	522600726	C ₁₂
16.921	16.867	17.028	1391262322	C ₁₂
17.094	17.028	17.245	1527997023	C ₁₂
17.326	17.245	17.399	774962648	C ₁₂
17.460	17.399	17.645	1778244696	C ₁₁
17.717	17.645	17.921	1364749434	C ₁₁
17.959	17.921	18.023	214705315	C ₁₂
18.061	18.023	18.412	407389535	C ₁₂
18.442	18.412	18.688	293395473	C ₁₄
18.792	18.688	18.903	210206015	C ₁₂
18.947	18.903	19.021	209999270	C ₁₂
19.160	19.021	19.405	440657186	C ₁₂
19.442	19.405	19.620	83110635	C ₁₂
19.733	19.620	19.875	158190534	C ₁₅
19.922	19.875	20.152	50785563	C ₁₃
20.226	20.152	20.342	41688771	C ₁₃
Jumlah Fraksi Total			1,85489x10 ¹¹	

D.2. Hasil Pengujian Titik Nyala dan Titik Didih Akhir Bahan Bakar Cair

Jenis bahan bakar cair	Titik nyala (°C)	Titik didih akhir (°C)
Katalis 0% (b/b)	85	276
Katalis 3,40% (b/b)	74	252
Katalis 6,58% (b/b)	72	250
Katalis 9,55% (b/b)	68	235
Premium	57	188

D.3. Hasil Pengujian Nilai Kalor Bahan Bakar Cair

Jenis bahan bakar cair	Kalor	
	kkal/kg	MJ/kg
Katalis 0% (b/b)	10.811	45,26
Katalis 3,40% (b/b)	11.064	46,32
Katalis 6,58% (b/b)	11.101	46,48
Katalis 9,55% (b/b)	11.244	47,08
Premium (Mustofa dkk., 2014)	11.245	47,08

E. Perhitungan

E.1. Variasi Jumlah Katalis

Jumlah katalis yang digunakan pada penelitian ini yaitu 0; 17,6; 35,2; 52,8 gram untuk setiap 500 gram plastik. Adapun perhitungannya sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \% \text{ (b/b) katalis} &= \frac{\text{massa katalis}}{\text{massa plastik}} \times 100\% \\
 &= \frac{17,6 \text{ g}}{500 \text{ g}} \times 100\% \\
 &= 3,40\%
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka dapat diperoleh % katalis setiap produk bahan bakar cair yang ditunjukkan pada Tabel E.1.

Tabel E.1 Variasi jumlah katalis.

Jenis Bahan Bakar Cair	Massa Katalis (g)	Massa Plastik (g)	% Katalis (b/b)
Tanpa Katalis	0	500	0
Jenis 1	17,6	500	3,40
Jenis 2	35,2	500	6,58
Jenis 3	52,8	500	9,55

E.2. Penentuan Densitas Bahan Bakar Cair

$$M_{\text{piknometer}} : 2,119 \times 10^{-2} \text{ kg}$$

$$V_{\text{piknometer}} : 2,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$M_{\text{bahan bakar cair+piknometer}} : 4,014 \times 10^{-2} \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Densitas} &= \frac{M_{\text{bahan bakar cair+piknometer}} - M_{\text{piknometer}}}{V_{\text{piknometer}}} \\
 &= \frac{4,014 \times 10^{-2} \text{ kg} - 2,119 \times 10^{-2} \text{ kg}}{2,5 \times 10^{-5} \text{ m}^3} \\
 &= 758 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

Perhitungan di atas merupakan perhitungan densitas untuk bahan bakar cair dengan katalis 0% (b/b). Dengan cara yang sama maka dapat diperoleh densitas bahan bakar cair untuk setiap variasi jumlah katalis seperti ditunjukkan pada Tabel E.2.

Tabel E.2 Densitas bahan bakar cair (BBC).

Jenis bahan bakar cair (BBC)	$M_{\text{BBC+pikno}}$ (kg)	M_{pikno} (kg)	V_{pikno} (m^3)	ρ (kg/m^3)
Katalis 0% (b/b)	$4,014 \times 10^{-2}$	$2,119 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-5}$	758,0
Katalis 3,40% (b/b)	$3,953 \times 10^{-2}$	$2,119 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-5}$	733,6
Katalis 6,58% (b/b)	$3,923 \times 10^{-2}$	$2,119 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-5}$	721,6
Katalis 9,55% (b/b)	$3,919 \times 10^{-2}$	$2,119 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-5}$	720,0
Premium	$3,854 \times 10^{-2}$	$2,060 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-5}$	717,6

E.3. Penentuan Viskositas Kinematik Bahan Bakar Cair

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{air}} (40^\circ\text{C}) &= 0,658 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 0,658 \text{ cSt} \\
 \rho_{\text{air}} &= 992,20 \text{ kg/m}^3 \\
 t_{\text{air}} &= 3,60 \text{ s} \\
 t_{\text{bahan bakar}} &= 4,90 \text{ s} \\
 \rho_{\text{bahan bakar}} &= 733,60 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Viskositas } (\eta) &= \frac{\eta_{\text{air}} \times t_{\text{bahan bakar}} \times \rho_{\text{bahan bakar}}}{t_{\text{air}} \times \rho_{\text{air}}} \\
 &= \frac{0,658 \text{ cSt} \times 4,90 \text{ s} \times 733,60 \text{ kg/m}^3}{3,60 \text{ s} \times 992,20 \text{ kg/m}^3} \\
 &= 0,663 \text{ cSt}
 \end{aligned}$$

Perhitungan di atas merupakan perhitungan viskositas untuk bahan bakar cair dengan katalis 3,40% (b/b). Apabila

menggunakan cara yang sama maka dapat diperoleh nilai viskositas bahan bakar cair untuk setiap variasi jumlah katalis seperti ditunjukkan pada Tabel E.3.

Tabel E.3 Viskositas bahan bakar cair (BBC).

Jenis bahan bakar cair	t_{BBC1} (s)	t_{BBC2} (s)	t_{BBC3} (s)	$\overline{t_{BBC}}$ (s)	$\overline{t_{air}}$ (s)	ρ_{BBC} (kg/m^3)	η_{BBC} (cSt)
Katalis 0% (b/b)	4,70	4,76	4,92	4,79	3,60	758,0	0,670
Katalis 3,40% (b/b)	4,88	4,91	4,91	4,90	3,60	733,6	0,663
Katalis 6,58% (b/b)	4,01	4,12	4,16	4,10	3,60	721,6	0,545
Katalis 9,55% (b/b)	3,80	3,78	3,80	3,79	3,60	720,0	0,504
Premium	2,55	2,45	2,35	2,45	2,45	717,6	0,324

E.4. Penentuan *Yield* Bahan Bakar Cair

Penentuan *yield* bahan bakar cair ditentukan berdasarkan rasio jumlah luas fraksi target (bensin) dan luas total fraksi. Adapun perhitungan *yield* dapat dilihat sebagai berikut.

$$Yield = \frac{\text{Luas fraksi target}}{\text{Luas fraksi total}} \times \frac{\text{Volume BBC}}{\text{Volume plastik}} \times 100\%$$

$$\text{Luas fraksi } (C_7-C_{12}) = 21679041697$$

$$\text{Luas fraksi total} = 27240463072$$

$$\text{Volume BBC} = 530 \text{ mL}$$

$$\text{Volume plastik} = 585 \text{ mL}$$

$$\begin{aligned} Yield &= \frac{\text{Luas fraksi target}}{\text{Luas fraksi total}} \times \frac{\text{Volume BBC}}{\text{Volume plastik}} \times 100\% \\ &= \frac{21679041697}{27240463072} \times \frac{530 \text{ mL}}{585 \text{ mL}} \times 100\% \\ &= 72,10\% \end{aligned}$$

Perhitungan di atas merupakan perhitungan *yield* untuk komposisi fraksi bensin (C_7-C_{12}) bahan bakar cair dengan katalis 0% (b/b). Dengan cara yang sama maka dapat diperoleh *yield* setiap produk bahan bakar cair seperti ditunjukkan pada Tabel E.4.

Tabel E.4 Persen *yield* bahan bakar cair sintesis.

Jenis Bahan Bakar Cair	Luas Fraksi Total	Luas Fraksi Target	V _{BBC}	Yield (%)
Katalis 0%				
a. (C ₃ -C ₆)	27240463072	5323129946	530	17,70
b. (C ₇ -C ₁₂)		21679041697	530	72,10
c. (C ₁₃ -C ₁₈)		238291429	530	0,79
Katalis 3,40%				
a. (C ₃ -C ₆)	28243301116	5370468183	530	17,23
b. (C ₇ -C ₁₂)		22597317959	530	72,49
c. (C ₁₃ -C ₁₈)		275514974	530	0,88
Katalis 6,57 %				
a. (C ₃ -C ₆)	28628867202	5178422717	526	16,26
b. (C ₇ -C ₁₂)		23212036052	526	72,90
c. (C ₁₃ -C ₁₈)		238408433	526	0,75
Katalis 9,55%				
a. (C ₃ -C ₆)	32577143225	4426791501	524	12,17
b. (C ₇ -C ₁₂)		28070699379	524	77,18
c. (C ₁₃ -C ₁₈)		79652345	524	0,22

Adapun perhitungan persen *yield* untuk bahan bakar bensin komersil berjenis premium sebagai berikut.

$$Yield = \frac{\text{Luas fraksi target}}{\text{Luas fraksi total}} \times 100\%$$

$$\text{Luas fraksi total} = 1,85489 \times 10^{11}$$

$$\text{Luas fraksi (C}_7\text{-C}_{12}) = 1,60013 \times 10^{11}$$

$$Yield = \frac{\text{Luas fraksi target}}{\text{Luas fraksi total}} \times 100\%$$

$$= \frac{1,60013 \times 10^{11}}{1,85489 \times 10^{11}} \times 100\%$$

$$= 86,27\%$$

Apabila digunakan cara yang sama maka dapat diperoleh Tabel E.5.

Tabel E.5 Persen *yield* bahan bakar bensin berjenis premium.

Jenis Bahan Bakar Cair	Luas Fraksi Total	Luas Fraksi Target	V _{BBC}	Yield (%)
Premium				
a. (C ₃ -C ₆)	1,85489 x 10 ¹¹	24932065216	530	13,44
b. (C ₇ -C ₁₂)		1,60013 x 10 ¹¹	530	86,27
c. (C ₁₃ -C ₁₈)		544060341	530	0,29

F. Standar Baku Mutu Bahan Bakar Minyak Berjenis Bensin

F.1. SNI 06-3506-1994

TABEL 1

SPESIFIKASI BENSIN PREMIUM

KARAKTERISTIK	Batasan		Metode Uji
	Min.	Maks.	SPM/SNI/ASTM/IP
Penilaian Ketukan : Angka Oktana Riset	AO	88,0	ASTM D.2699
Kandungan Pb	gr/lit	0,45	ASTM D.2547/D.3341
Distilasi :			ASTM D.86
Teruap sampai 10% vol.	°C	74	
Teruap sampai 50% vol.	°C	88	
Teruap sampai 90% vol.	°C	125	
Titik didih akhir,	°C	180	
Residu,	% vol	205	
Tekanan uap Reid pada 100°F, pas		9,0	ASTM D.323
Getah Purwa,	mg/100 ml	4	ASTM D.381
Periode Induksi	menit	240	ASTM D.525
Kandungan Sulfur,	% berat	0,20	ASTM D.1266
Korosi lempeng Tembaga 3 jam/122°F (50°C), ASTM		No. 1	ASTM D.130
Uji Doktor atau		Negatif	IP.30
Merkaptan sulfur	% berat	0,0020	ASTM D.3227
Warna		Kuning	Visual
Kandungan zat Warna,	gr/100 AG	0,5	Analitik
Bau		dapat dipasarkan	

F.2. Shell Petroleum Canada 1999

Gasoline (Unleaded)

Synonyms:		Automotive Fuel Petrol	Reference ID
For additional fuel specifications refer to ASTM D 4814.			
Data from Shell 1999 were taken from MSDS Number 211-100.			
Equation(s) for Predicting Evaporation $\%Ev = (13.2 + 0.21T)\ln(t)$ Where %Ev = weight percent evaporated; T = surface temperature (°C); t = time (minutes)			ESD 96
Flash Point (°C)		-30	Shell 99a
Flammability Limits in Air (volume %)		1.4 to 7.6	Shell 99a
Ignition Temperature (°C)		280	Shell 99a
Odour Threshold (ppm)		<0.25	Shell 99a
Density (g/mL)	Temperature (°C)	15	0.750 to 0.850 Shell 99a
Kinematic Viscosity (mm ² /s or cSt)	Temperature (°C)	38	<1 Shell 99a
Boiling Point Distribution (weight %)	Boiling Point (°C)		Weight %
		40	26
		60	30
		80	44
		100	70
		120	84
		140	85
		160	88
		180	95
	200	98	
Boiling Point Distribution (°C)	Weight %		Boiling Point (°C)
		25	
		30	
		35	
		40	
		45	
		50	
		55	
		60	
		65	
		70	
	75		

Gasoline (Unleaded)

Boiling Point Distribution (°C)			Reference ID
	Weight %	Boiling Point (°C)	
	80		ESD 94
	85		
	90		
	95		
Boiling Range (°C)			Shell 99a
			35 to 220
Aqueous Solubility (mg/L)			
	Temperature (°C)		
	20 (approx.)	307 (a)	MacLean 89
	22	112 (a)	Suntio 86
	20 (approx.)	261 (b)	MacLean 89
(a) fresh water; (b) salt water			
Acute Toxicity of Water Soluble Fraction (mg/L)			
	Test Organism		
48h EC50	Daphnia magna	5 (a)	MacLean 89
		2 (b)	EETD 89
	Artemia spp.	25 (a)	MacLean 89
		9 (b)	EETD 89
48h LC50	Daphnia magna	50 (a)	MacLean 89
		18 (b)	EETD 89
	Artemia spp.	51 (a)	MacLean 89
		18 (b)	EETD 89
	Rainbow trout larvae	7 (c)	Lockhart 87
		5 (d)	
(a) results based on fluorescence spectroscopy; (b) results based on GC purge-and-trap analysis; (c) closed container; (d) open container			
Threshold Limit Values (ppm)			
	TWA	300	ACGIH 99
	STEL	500	

Source : [www.etc-cte.ec.gc.ca/databases/Oilproperties/pdf/WEB_Gasoline_\(Unleaded\).pdf](http://www.etc-cte.ec.gc.ca/databases/Oilproperties/pdf/WEB_Gasoline_(Unleaded).pdf)

Crude Oil Hibernia

	Whole Crude	Light Naphtha	Medium Naphtha	Heavy Naphtha	Kero	Atm Gas Oil	Light VGO	Heavy VGO	Vacuum Resid	Atm Resid
TBP Temp At Start, °C	Start	10	80	150	200	260	340	450	570	340
TBP Temp At End, °C	End	80	150	200	260	340	450	570	End	End
TBP Temp At Start, °F	Start	55	175	300	400	500	650	850	1050	650
TBP Temp At End, °F	End	175	300	400	500	650	850	1050	End	End
Yield at Start, vol%		2.3	8.0	20.8	30.0	39.5	54.0	73.2	85.8	94.0
Yield at End, vol%		8.0	20.8	30.0	39.5	54.0	73.2	85.8	100.0	100.0
Yield of Cut (vol% of Crude)		4.4	11.5	8.5	9.1	14.8	20.0	13.7	16.7	50.4
Yield of Cut (vol% of Crude)		5.6	12.9	9.2	9.5	14.6	19.1	12.6	14.2	46.0
Gravity, °API	33.5	81.9	54.8	47.3	40.2	33.9	27.3	20.2	10.0	19.6
Specific Gravity	0.86	0.86	0.76	0.79	0.82	0.86	0.89	0.93	1.00	0.94
Sulfur, wt%	0.53	0.00	0.00	0.01	0.05	0.27	0.57	0.91	1.46	0.96
Mercaptan Sulfur, ppm		0	0	0	1					
Nitrogen, ppm	1384	0	0	0	1	56	579	2050	5860	2729
Hydrogen, wt%		16.2	13.9	14.2	13.7	13.2	12.9	12.5		
Viscosity @ 40 °C (104 °F), cSt	6.73	0.48	0.67	1.04	1.72	4.10	19.04	3.05E+02	4.E+05	2.89E+02
Viscosity @ 50 °C (122 °F), cSt	5.17	0.45	0.61	0.92	1.48	3.33	13.42	1.64E+02	1.E+05	1.62E+02
Viscosity @ 100 °C (212 °F), cSt	1.93	0.34	0.43	0.58	0.83	1.49	3.92	1.97E+01	1.E+03	2.16E+01
Viscosity @ 135 °C (275 °F), cSt	1.21	0.30	0.37	0.47	0.64	1.01	2.20	7.95E+00	2.E+02	9.00E+00
Freeze Point, °C	51	-122	-96	-68	-39	-2	30	53	78	63
Freeze Point, °F	125	-188	-141	-90	-39	28	87	128	172	146
Pour Point, °C	7	-128	-101	-71	-42	-7	26	48	35	36
Pour Point, °F	44	-198	-151	-96	-43	20	79	119	95	96
Smoke Point, mm (ASTM)	7	35	32	27	22	17	11	5	2	4
Aniline Point, °C	77	71	53	55	61	70	84	95	106	94
Aniline Point, °F	171	160	127	131	142	159	183	204	222	201
Total Acid Number, mg KOH/g	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cetane Index, ASTM D4737				40	47	56				
Diesel Index	57	131	70	62	57	54	50	41	22	39
Characterization Factor (K Factor)	12.0	12.6	11.7	11.8	11.8	11.8	12.0	12.0	12.1	12.0
Research Octane Number, Clear		71.8	64.1	37.3						
Motor Octane Number, Clear		70.3	62.5							
Paraffins, vol%		84.9	48.8	45.4	38.6					
Naphthenes, vol%		15.1	32.4	39.5	40.9					
Aromatics, vol%		0.0	18.8	14.9	20.0					
Thiophenes, vol%										
Molecular Weight	244	102	115	144	175	226	319	463	848	425
Gross Heating Value, MM BTU/bbl	5.88	4.84	5.37	5.55	5.72	5.87	6.04	6.23	6.50	6.24
Gross Heating Value, kcal/kg	10894	11589	11212	11121	11009	10896	10765	10595	10310	10582
Gross Heating Value, MJ/kg	45.6	48.5	46.9	46.5	46.1	45.6	45.0	44.3	43.1	44.3
Heptane Asphaltenes, wt%	0.1								0.6	0.2
Micro Carbon Residue, wt%	2.6								14.8	5.2
Ramsbottom Carbon, wt%	2.3								13.2	4.6
Vanadium, ppm	1								5	2
Nickel, ppm	1								4	1
Iron, ppm	1								3	1

http://crudemarketing.chevron.com/crude/north_american/hibernia.aspx

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Mas Arif Tri Sujadmiko yang dilahirkan di Sidoarjo pada tanggal 23 Juni 1995. Penulis merupakan anak ketiga dari lima bersaudara. Penulis pernah menempuh pendidikan di SDN Kejapanan I, SMP Walisongo Gempol, dan SMAN 1 Pandaan. Penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (MIPA) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

melalui jalur SNMPTN pada tahun 2013 dan terdaftar sebagai mahasiswa Kimia ITS dengan NRP 1413100008. Penulis aktif berorganisasi selama menempuh pendidikan di ITS. Penulis pernah menjabat sebagai staff Departemen Riset dan Teknologi Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMKA) ITS periode 2014/2015 dan staff ahli Departemen Riset dan Teknologi Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMKA) periode 2015/2016. Penulis menyelesaikan pendidikannya di Jurusan Kimia FMIPA ITS dengan mengambil skripsi yang berjudul “Sintesis Bahan Bakar Cair menggunakan Metode Konversi Katalitik dari Limbah Plastik Polipropilena” yang dibimbing oleh Dr. Hendro Juwono, M.Si. dan Dra. Ita Ulfin, M.Si. Penulis dapat diajak berdiskusi mengenai skripsi maupun topik lainnya dan dapat dihubungi melalui email masariftri23chem@gmail.com.