



SKRIPSI

**PENENTUAN KARAKTERISTIK SERTA
PERFORMA BAHAN BAKAR CAIR FRAKSI
HIDROKARBON (>C₁₂) HASIL PERENKAHAN
KATALITIK CAMPURAN BODIESEL MINYAK
JELANTAH DAN LIMBAH POLISTIRENA**

**ARDITA ELLIYANTI
NRP. 0121154000026**

**Dosen Pembimbing
Dr. Hendro Juwono, M.Si**

**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS SAINS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**



SCRIPT

**DETERMINATION CHARACTERISTIC AND
PERFORMANCE OF LIQUID FUEL HIDROCARBON
FRACTION (>C₁₂) RESULTS OF CATALYTIC
CRACKING OIL WASTE BIODIESEL MIXTURE
AND POLYSTYRENE WASTE**

**ARDITA ELLIYANTI
NRP. 0121154000026**

**Advisor lecturer
Dr. Hendro Juwono, M. Si**

**CHEMISTRY DEPARTMENT
FACULTY OF SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

**PENENTUAN KARAKTERISTIK SERTA PERFORMA
BAHAN BAKAR CAIR FRAKSI HIDROKARBON (>C12)
HASIL PERENKAHAN KATALITIK CAMPURAN
BIODIESEL MINYAK JELANTAH DAN LIMBAH
POLISTIRENA**

SKRIPSI

Disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan mata kuliah skripsi
program S-1 Departemen Kimia
Fakultas Sains
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

Ardita Elliyanti
NRP. 0121154000026

**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS SAINS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

LEMBAR PENGESAHAN

**PENENTUAN KARAKTERISTIK SERTA PERFORMA
BAHAN BAKAR CAIR FRAKSI HIDROKARBON (>C12)
HASIL PERENKAHAN KATALITIK CAMPURAN
BODIESEL MINYAK JELANTAH DAN LIMBAH
POLISTIRENA**

SKRIPSI

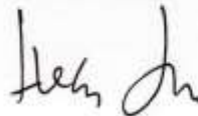
Disusun oleh:

Ardita Eliyanti
NRP. 0121154000026

Surabaya, 11 Juli 2019

Menyetujui,

Dosen Pembimbing



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

Mengetahui,
Kepala Departemen Kimia FS ITS



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

**PENENTUAN KARAKTERISTIK SERTA PERFORMA
BAHAN BAKAR CAIR FRAKSI HIDROKARBON (>C₁₂)
HASIL PERENKAHAN KATALITIK CAMPURAN
BIODIESEL MINYAK JELANTAH DAN LIMBAH
POLISTIRENA**

Nama : Ardita Elliyanti
NRP. : 0121154000026
Departemen : Kimia FS ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Hendro Juwono, M. Si

ABSTRAK

Bahan bakar cair dari limbah polistirena dan biodiesel minyak jelantah telah berhasil diperoleh melalui perengkahan katalitik menggunakan katalis Al-MCM-41/Keramik. Struktur, morfologi, keasaman, dan porositas katalis dipelajari dengan XRD, SEM-EDX, FTIR Piridin, dan adsorpsi-desorpsi gas N₂. Produk perengkahan katalitik dianalisis menggunakan kromatografi gas-spektroskopi massa (GC-MS). Yield terbesar diperoleh pada variasi *feedstock* 57 % (P) : 43 % (M) dengan jumlah fraksi hidrokarbon (< C₇) sebesar 0,77 %, fraksi hidrokarbon (C₈ - C₁₂) sebesar 42,19 %, dan fraksi hidrokarbon (> C₁₂) sebesar 57,04 % selang waktu perengkahan 2 jam. Data karakterisasi fisik berupa densitas, titik nyala, nilai kalor, dan RON telah diamati. Performa bahan bakar cair yang dicampur dengan bahan bakar komersial, Premium (RON 88), dan aditif metil tersier butil eter (MTBE) dengan perbandingan 225 (mL) : 750 (mL) : 18,25 (mL) menghasilkan efisiensi termal pada mesin generator set gasolin sebesar 28,22% di pembebanan 2118 Watt. Berdasarkan penelitian ini seluruh variasi *feedstock* menghasilkan bahan bakar cair yang sesuai dengan SNI 06-3506-1994 tentang mutu bahan bakar minyak jenis bensin.

Kata Kunci: Perengkahan Katalitik, Limbah Polistirena, Bahan Bakar Cair

**DETERMINATION CHARACTERISTIC AND
PERFORMANCE OF LIQUID FUEL HIDROCARBON
FRACTION (>C₁₂) RESULTS OF CATALYTIC
CRACKING OIL WASTE BIODIESEL MIXTURE AND
POLYSTYRENE WASTE**

Name : Ardita Elliyanti
NRP. : 0121154000026
Department : Kimia FS ITS
Advisor Lecturer : Dr. Hendro Juwono, M. Si

ABSTRACT

Liquid fuel from polystyrene waste and cooking oil waste biodiesel was successfully obtained through catalytic cracking using Al-MCM-41/Ceramic. The structure, morphology, acidity, and porosity of the catalyst were studied by XRD, SEM-EDX, Piridine FTIR, and N₂ gas adsorption-desorption. The products of catalytic cracking were analyzed using gas chromatogram-mass spectroscopy (GC-MS). The highest yield was obtained at feedstock variations of 57% (P): 43% (M) with the number of hydrocarbon fractions (< C₇) is 0.77%, hydrocarbon fraction (C₈ - C₁₂) is 42.19%, and hydrocarbon fraction (> C₁₂) is 57.04% in the cracking time 2 hours. Physical characteristics were reported in the form of density, flash point, heating value, and RON respectively. The performance of liquid fuels with commercial fuels, Premium (RON 88), and additives of methyl tertiary butyl ether (MTBE) comparisons of 225 (mL): 750 (mL): 18.25 (mL) respectively produce thermal efficiency on engine use gasoline generator sets is 28.22% at the load of 2118 Watts. Based on this research, all variations of feedstock produce liquid fuels that are in accordance with SNI 06-3506-1994 concerning the quality of gasoline fuel types.

Keywords : Catalytic Cracking, Polystyrene Waste, Liquid Fuel

*Karya ini saya persembahkan kepada
Ibu, Ayah, Kakak, serta keluarga saya tercinta
Guru-guru beserta Dosen yang telah membimbing dan mengajar saya
Teman-teman tersayang*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil'aalamiin. Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga naskah yang berjudul **“Penentuan Karakteristik serta Performa Bahan Bakar Cair Fraksi Hidrokarbon (>C12) Hasil Perengkahan Katalitik Campuran Biodiesel Minyak Jelantah dan Limbah Polistirena”** dapat diselesaikan dengan baik. Tulisan ini tidak akan terwujud dengan baik tanpa bantuan dan dukungan dari semua pihak. Untuk itu saya sangat berterima kasih kepada:

1. Dr. Hendro Juwono, M.Si, selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama proses penyusunan naskah Skripsi ini.
2. Prof. Dr. Didik Prasetyoko, S.Si, M.Sc selaku Kepala Departemen Kimia FMIPA-ITS atas fasilitas yang telah diberikan hingga naskah Skripsi ini dapat terselesaikan.
3. Dra. Ita Ulfin, M.Si. selaku Kepala Laboratorium Instrumentasi dan Sains Analitik Departemen Kimia yang telah memberikan fasilitas selama pengerjaan skripsi ini.
4. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberi dukungan, doa, serta semangat yang tiada henti.
5. Tim Qecyl yang telah menemani, memberi perhatian, dukungan, membagi pikiran dan bantuan serta menyemangati selama kuliah dan pengerjaan skripsi.
6. Teman-teman Kimia 2015 atas kebersamaan dalam susah dan senang selama masa kuliah

Saya menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan naskah Skripsi ini tidak lepas dari kekurangan. Oleh karena itu, saya terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun. Semoga Skripsi ini memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, 11 Juli 2019
Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I LATAR BELAKANG	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Polistirena	5
2.1.1 <i>Styrofoam</i>	6
2.2 Minyak Jelantah	7
2.3 Perengkahan	8
2.3.1 Perengkahan Termal	8
2.3.2 Perengkahan Katalitik	10
2.4 Katalis Al-MCM-41	11
2.5 Metil Tersier Butil Eter (MTBE)	13
2.6 Karakterisasi Katalis	14
2.6.1 X-Ray Diffraction (XRD)	14
2.6.2 Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)	15
2.6.3 Pyridine-Adsorption Fourier Transform Infra Red (Adsorpsi Piridin-FTIR)	17
2.6.4 Adsorpsi Desorpsi Nitrogen	18
2.7 Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair	20
2.7.1 Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer (GC-MS)	20
2.7.2 Densitas	22
2.7.3 Nilai Kalor	22

2.7.4	Titik Nyala	23
2.8	<i>Research Octane Number</i> (RON) Campuran Bahan Bakar Cair	24
2.9	Performa Efisiensi Termal Campuran Bahan Bakar Cair	25
BAB III METODOLOGI		27
3.1	Alat dan Bahan	27
3.1.1	Alat.....	27
3.1.2	Bahan	27
3.2	Prosedur Penelitian.....	27
3.2.1	Persiapan Katalis	27
3.2.2	Karakteristik Katalis Al-MCM 41/Keramik	28
3.2.3	Sintesis Bahan Bakar Cair dari Limbah Plastik Polistiren	28
3.2.4	Pengolahan Biodiesel dari Minyak Jelantah	29
3.2.5	Produksi Bahan Bakar Cair Plastik Ko-reaktan Biodiesel Minyak Jelantah	30
3.2.6	Metode Eksperimental dan Evaluasi Data	32
3.3	Produksi Campuran Bahan Bakar Cair	32
3.4	Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair	33
3.4.1	Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer (GC-MS)	33
3.4.2	Penentuan Densitas Campuran Bahan Bakar Cair	33
3.4.3	Penentuan Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair.....	34
3.4.4	Penentuan Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair.....	34
3.5	Uji RON dan Performa Campuran Bahan Bakar Cair	35
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		37
4.1	Hasil Karakterisasi Katalis	37
4.1.1	Hasil Karakterisasi XRD	37
4.1.2	Hasil Karakterisasi SEM-EDX	38
4.1.3	Hasil Karakterisasi FTIR-Piridin.....	40
4.1.4	Hasil Karakterisasi Adsorpsi-Desorpsi N ₂	41
4.2	Produksi Bahan Bakar Cair	43
4.2.1	Sintesis Bahan Bakar Cair	44
4.2.2	Sintesis Biodiesel Minyak Jelantah Melalui Metode Transesterifikasi	47

4.2.3 Sintesis Bahan Bakar Cair Plastik Ko-reaktan Biodiesel Minyak Jelantah	49
4.3 Hasil Perengkahan Katalitik Hidrokarbon Bahan Bakar Cair	52
4.4 Hasil Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair	54
4.4.1 Densitas Campuran Bahan Bakar Cair	54
4.4.2 Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair	56
4.4.3 Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair	58
4.4.4 Proses Perengkahan Katalitik	60
4.5 Uji RON Campuran Bahan Bakar Cair	61
4.6 Performa Campuran Bahan Bakar Cair	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	75
BIODATA PENULIS	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur (a) Stirena, (b) Polistirena	5
Gambar 2. 2 Reaksi Pembentukan Polistirena (Harper, 2003).....	6
Gambar 2. 3 Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah (Rukmini, 2007).....	8
Gambar 2. 4 Ilustrasi Pengembangan Al pada MCM-41 (Naik dkk., 2010).....	12
Gambar 2. 5 Kerangka Katalis Al-MCM-41 (Naik dkk., 2010) .	12
Gambar 2. 6 Struktur Metil Tersier Butil Eter (MTBE)	13
Gambar 2. 7 Prinsip Kerja Hukum Bragg's (Lamas dkk., 2017)	14
Gambar 2. 8 Diagram Skema SEM-EDX (Goldstein dkk., 2003	16
Gambar 2. 9 Skema interaksi piridin dengan (a) asam Lewis, (b) asam Bronsted (Zaki dkk., 2001)	17
Gambar 2. 10 Jenis-Jenis Kurva Adsorpsi (Storck dkk., 1998) ..	19
Gambar 2. 11 Diagram Skematik Kromatografi Gas (Hussain dkk., 2014).....	21
Gambar 2. 12 Alat bom kalorimeter (Chang, 2010)	24
Gambar 2. 13 Skema Pengujian Efisiensi Termal pada Mesin Gasolin (Topgöl, 2015).....	25
Gambar 3. 1 Reaktor perengkahan katalitik plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah.....	30
Gambar 4. 1 (a) SAXRD Al-MCM-41 dengan Al-MCM-41/Keramik (b) WAXRD Al-MCM-41/Keramik.....	37
Gambar 4. 2 (a) SEM Al-MCM-41 (b) SEM Al-MCM-41/Keramik	38
Gambar 4. 3 (a) EDX Al-MCM-41 (b) EDX Al-MCM-41/Keramik	39
Gambar 4. 4 Spektra Piridin-FTIR Katalis Al-MCM-41/Keramik	41
Gambar 4. 5 (a) Grafik isoterm Al-MCM-41 referensi (b) Grafik isoterm Al-MCM-41/Keramik	42

Gambar 4. 6 Polistirena Foam (<i>Styrofoam</i>)	44
Gambar 4. 7 Lempengan Limbah Plastik <i>Styrofoam</i>	45
Gambar 4. 8 Hidrokarbon tahap 1 hasil perengkahan termal plastik PS.....	46
Gambar 4. 9 Rangkaian refluks sintesis biodiesel	47
Gambar 4. 10 Pemisahan biodiesel dan gliserol	48
Gambar 4. 11 (a) Katalis Al-MCM-41/Keramik (b) pellet katalis Al-MCM-41/Keramik	50
Gambar 4. 12 (a) Produk bahan bakar cair (b) kokas	51
Gambar 4. 13 Fraksi hidrokarbon pada setiap variasi.....	54
Gambar 4. 14 Densitas Produk Bahan Bakar Cair.....	55
Gambar 4. 15 Nilai Kalor Bahan Bakar Cair	57
Gambar 4. 16 Titik nyala bahan bakar cair.....	59
Gambar 4. 17 Kemungkinan reaksi perengkahan katalitik limbah plastik PS (Sanahuja dkk., 2018).....	61
Gambar 4. 18 Research Octane Number (RON) bahan bakar cair	62
Gambar 4. 19 Brake Thermal Efficiency (BTE) bahan bakar cair	63

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jenis Campuran Bahan Bakar Cair (CBBC).....	32
Tabel 3. 2 Kondisi Instrumen GC-MS.....	34
Tabel 4. 1 Data Analisis SEM-EDX.....	40
Tabel 4. 2 Perhitungan Keasaman Katalis Al-MCM-41/Keramik	41
Tabel 4. 3 Data Analisis Uji Adsorpsi Desorpsi Nitrogen	43
Tabel 4. 4 Volume campuran BBC dan kokas hasil perengkahan limbah plastik PS dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah	52
Tabel 4. 5 %Yield hidrokarbon hasil perengkahan katalitik	53

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Plastik banyak digunakan oleh masyarakat saat ini untuk berbagai keperluan. Salah satunya, penggunaan plastik sebagai bahan kemasan suatu produk. Plastik merupakan suatu polimer sintetik yang berasal dari minyak bumi dan gas alam. Plastik memiliki keunggulan yaitu sifatnya yang kuat, tahan lama dan fleksibel. Jenis polimer plastik yang banyak digunakan sebagai bahan kemasan suatu produk adalah polistirena. Polistirena banyak digunakan karena sifatnya yang tidak berwarna (transparan), dan ringan (Chao dkk., 1982). Penggunaan polistirena banyak dijumpai di masyarakat sebagai kemasan makanan dan perabotan rumah tangga, salah satu jenisnya adalah foam polistirena (*styrofoam*). *Styrofoam* dihasilkan dari campuran 90-95% polistirena dan 5-10% gas seperti n-butana atau n-pentana. *Styrofoam* yang dihasilkan tidak dapat didaur ulang karena laju degradasi yang rendah sehingga memberikan dampak yang buruk seperti polusi air dan tanah (Heydariaraghi dkk., 2016).

Proses perengkahan limbah polistirena merupakan salah satu cara untuk menangani limbah plastik. Proses perengkahan ada dua macam yaitu proses perengkahan menggunakan suhu tinggi (*thermal cracking*) dan proses perengkahan menggunakan katalis (*catalytic cracking*). Telah dilakukan proses perengkahan katalitik yang mengubah limbah polistirena menjadi hidrokarbon yang selektif (Lin dan White, 2011). Hasil konversi diketahui dalam bentuk gas, minyak, dan padatan. Kualitas dan jumlah hasil perengkahan bergantung pada jenis bahan baku (jenis plastik) dan parameter proses pirolisis. Parameter yang berpengaruh diantaranya jenis reaktor, suhu reaksi, waktu reaksi, katalis.

Perengkahan katalitik memerlukan katalis karena dapat mengarahkan target reaksi, mengurangi suhu reaksi, dan

meningkatkan efisiensi proses reaksi (Zhao dkk., 2018). Katalis Al-MCM-41 kurang efektif untuk diaplikasikan dalam perengkahan katalitik karena keasaman yang rendah diantaranya hanya memiliki sisi asam Lewis dan tidak ada sisi asam Bronsted (Endud dkk, 1998). Modifikasi untuk meningkatkan keasaman dari MCM-41 telah dilakukan Bintarasari (2017) dengan proses impregnasi serbuk keramik untuk perengkahan katalitik limbah polipropilena menjadi bahan bakar cair yang memiliki persen *yield* bahan bakar cair 71,90% pada fraksi gasolin.

Penggunaan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah pada perengkahan katalitik limbah polipropilena dapat meningkatkan karakteristik bahan bakar (Alfian, 2018). Namun, bahan bakar cair yang diperoleh memiliki fraksi hidrokarbon ($<C_7$), sehingga diperlukan alternatif *feedstock* sebagai sumber perengkahan katalitik. Fraksi hidrokarbon ($>C_{12}$) aromatik merupakan sumber limbah polistirena, sehingga kebolehdjian memperoleh fraksi hidrokarbon ($>C_{12}$) lebih besar menggunakan limbah polistirena (Sarker dkk., 2012).

Penambahan zat aditif Metil Tersier Butil Eter (MTBE) mampu meningkatkan kinerja bahan bakar cair dalam mesin gasolin. Aditif MTBE sebagai sumber oksigen dapat meningkatkan karakteristik fisik dan efisiensi termal (BTE) campuran bahan bakar cair pada mesin generator set gasolin. Hal ini sesuai dengan penelitian Alfian (2018) yang berhasil meningkatkan kinerja dari campuran 10% bahan bakar cair dengan 90% Premium RON (*Research Octane Number*) sebesar 0,74% pada penambahan MTBE 2,45%. MTBE juga cocok untuk meningkatkan nilai RON pada mesin gasolin (Topgül, 2015).

Berdasarkan uraian di atas, maka dalam penelitian ini dilakukan konversi limbah polistirena dan metil ester minyak jelantah untuk melihat peran metil ester menjadi jelantah terhadap fraksi hidrokarbon rantai panjang ($>C_{12}$) dengan variasi *feedstock* yang melibatkan dua faktor yakni panas dan katalis. Panas digunakan untuk mengubah limbah polistirena menjadi fasa gas

kemudian dilewatkan pada katalis Al-MCM-41/Keramik. Hasil konversi kemudian ditambah aditif MTBE untuk meningkatkan kinerja pada mesin gasolin. Selanjutnya produk yang dihasilkan dilakukan pengujian yaitu nilai kalor, densitas, titik nyala, dan analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GC-MS), RON, dan efisiensi termal (BTE) bahan bakar cair untuk mengetahui pengaruh *feedstock* dalam performa bahan bakar cair. Hasil pengujian dibandingkan dengan SNI 06-3506-1994 tentang mutu bahan bakar minyak jenis bensin.

1.2 Rumusan Masalah

Produk bahan bakar cair telah dihasilkan oleh Alfian (2018) dari limbah plastik polipropilen dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah melalui metode konversi katalitik menggunakan katalis Al-MCM-41/Keramik. Variasi *feedstock* CB50 memiliki persen efisiensi termal tertinggi. Karakteristik bahan bakar cair dan campuran bahan bakar cair (CBBC) yang diproduksi sesuai dengan SNI 06-3506-1994.

Penggunaan polipropilena memiliki persoalan pada nilai kalor yang rendah, sehingga perlu digunakan *feedstock* limbah foam polistirena (*styrofoam*) sebagai sumber yang potensial dalam proses perengkahan katalitik. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian tentang proses perengkahan foam polistirena (*styrofoam*) dengan variasi *feedstock* limbah polistirena dan biodiesel minyak jelantah. Penentuan karakteristik dan performa bahan bakar cair produk perengkahan katalitik diamati sesuai SNI 06-3506-1994.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan performa bahan bakar cair fraksi hidrokarbon ($>C_{12}$) hasil perengkahan katalitik biodiesel minyak jelantah dengan limbah polistirena.

1.4 Batasan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan produksi hidrokarbon dari limbah polistirena dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah menggunakan metode konversi katalitik dengan kolom termodifikasi pada reaktor tertutup dengan suhu 300 °C selama 2 jam. Variasi yang dilakukan pada penelitian ini merupakan komposisi perbandingan % volume plastik dengan biodiesel minyak jelantah dengan total volume 1000 ml (50% : 50%, 57% : 43%, 67% : 33%). Katalis Al-MCM-41/Keramik yang digunakan sebesar 9 gram. Hasil yang diperoleh hidrokarbon ini selanjutnya dilakukan pengujian performanya pada mesin *Generator Set* dengan bahan bakar berbasis gasolin.

1.5 Manfaat Penelitian

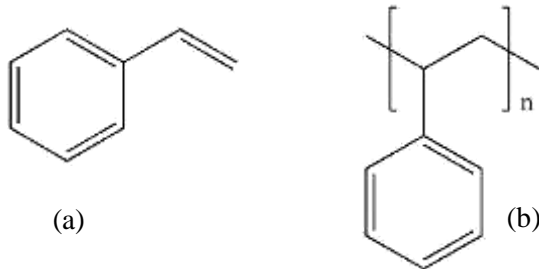
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa

1. Memanfaatkan limbah plastik polistirena yang memiliki laju degradasi yang sangat lambat pada alam.
2. Memanfaatkan limbah minyak goreng yang memiliki harga bahan baku yang murah dan jumlah yang melimpah.
3. Mengembangkan ilmu pengetahuan tentang alternatif biofuel sebagai energi terbarukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

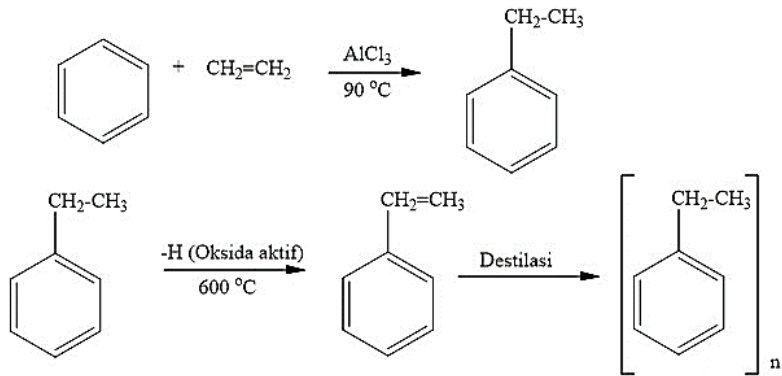
2.1 Polistirena

Polistirena adalah molekul yang terbentuk dari monomer stirena, hidrokarbon cair yang dibuat secara komersial dari minyak bumi dan memiliki berat molekul yang ringan. Polistirena merupakan polimer hidrokarbon parafin yang terbentuk dengan cara reaksi polimerisasi (Chao dkk., 1982). Pada suhu ruangan, polistirena biasanya bersifat termoplastik padat, dapat mencair di suhu yang lebih tinggi. Struktur polistirena dapat disajikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Struktur (a) Stirena, (b) Polistirena

Polistirena banyak digunakan sebagai pelapis pada kawat atau kabel, pembungkus peralatan rumah tangga, barang pencetak, dan mainan anak dari plastik. Polistirena berbentuk padatan murni yang tidak berwarna, bersifat ringan, keras, tahan panas, agak kaku, tidak mudah patah, memiliki kestabilan dimensi yang tinggi, dan sangat mudah terbakar. Pada suhu 600 °C stirena disuling dengan cara destilasi maka didapatkan polistirena (Harper, 2003). Proses reaksi pembentukan polistirena dapat disajikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Reaksi Pembentukan Polistirena (Harper, 2003)

Bila ditinjau dari faktor alam atau lingkungan, limbah polistirena berbahaya karena apabila limbah tersebut terus menumpuk dan tidak ada upaya untuk mendaur ulang, maka akan menimbulkan tumpukan limbah yang sulit untuk diurai. Limbah polistirena dapat dikonversi menjadi bahan bakar alternatif melalui perengkahan katalitik dengan jumlah produk dan efisiensi yang banyak. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan proses koprolysis limbah polistirena dan biji anggur dalam reaktor fixed-bed menghasilkan peningkatan fase organik dari bio-oil sebesar 80% untuk diaplikasikan sebagai bahan bakar *drop-in* (Sanahuja dkk., 2018).

2.1.1 Styrofoam

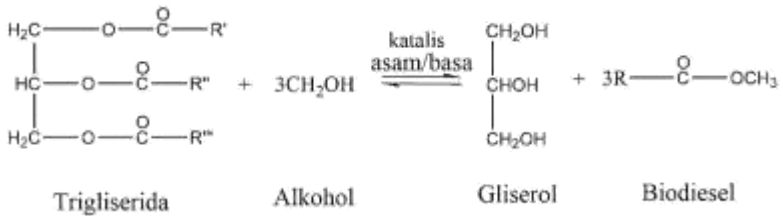
Styrofoam berasal dari kata *styrene* (bahan dasar plastik) dan *foam* (busa). *Styrofoam* merupakan nama dagang yang telah dipatenkan oleh perusahaan *Dow Chemical*. Penggunaan *styrofoam* untuk digunakan sebagai insulator pada bahan konstruksi bangunan, bukan sebagai kemasan pangan. *Styrofoam* dihasilkan dari campuran 90-95% polistirena dan 5-10% gas seperti n-butana atau n-pentana (Wagner, 2010).

Pembentukan *styrofoam* berasal dari monomer stirena melalui polimerisasi suspensi di tekanan dan suhu yang tinggi, setelahnya di hembuskan udara kedalam menggunakan CFC (*Cloro Fluro Carbon*) sebagai *blowing agent*. *Styrofoam* tersusun dari beberapa butiran dengan kerapatan yang rendah sehingga memiliki massa yang ringan. *Styrofoam* mudah larut dalam pelarut hidrokarbon aromatic dan berklor seperti benzena., tahan terhadap asam, mampu menahan panas, dan mempunyai titik leleh di suhu 102 – 106 °C (Wagner, 2010).

Limbah *styrofoam* merupakan limbah yang susah untuk menanggulanginya karena limbahnya memakan ruang yang besar dan bahan dasarnya (stirena dan CFC) yang membahayakan sehingga tidak ada mikroorganismenya yang dapat menguraikannya. Pemanfaatan limbah *styrofoam* sebagai membran komposit polistirena tersulfonasi dapat diterapkan pada sel bahan bakar dengan penambahan 3% dan 6% polietilen glikol (Rachmat dkk., 2011).

2.2 Minyak Jelantah

Minyak jelantah adalah minyak bekas pemakaian kebutuhan rumah tangga, namun masih potensial digunakan sebagai penghasil biodiesel (Tamrin, 2013). Minyak jelantah dapat digunakan untuk memproduksi biodiesel sehingga dapat menyelesaikan masalah pembuangan minyak jelantah (Rukmini, 2007). Proses pembuatan biodiesel melalui transesterifikasi minyak jelantah ditunjukkan pada Gambar 2.3. Minyak jelantah memiliki beberapa kelebihan diantaranya kandungan energi yang besar, kondisi dalam fase cair sehingga pembakaran relatif mudah, dan potensi kalor yang tinggi, tidak mudah meledak sehingga aman dalam penyimpanan (Hutomo, 2013).



Gambar 2. 3 Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah (Rukmini, 2007)

Pemanfaatan biodiesel minyak jelantah dan limbah plastik polipropilen melalui proses koversi katalitik menggunakan katalis asam menghasilkan campuran bahan bakar cair sebesar 33,33% dengan performa efisiensi termal pada mesin gasolin sebesar 27,42% di pembebanan maksimum 2090 Watt. (Alfian, 2018).

2.3 Perengkahan

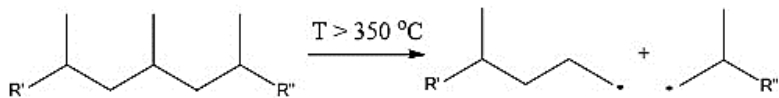
Perengkahan atau yang biasa disebut pirolisis merupakan proses pemecahan hidrokarbon rantai panjang menjadi hidrokarbon yang lebih sederhana (rantai pendek) (Sibarani, 2012). Proses ini berfungsi untuk memperbaiki susunan rantai bahan bakar cair yang bernilai rendah dan berharga seperti bensin. Proses perengkahan dapat berlangsung secara termal, yaitu pemakaian panas untuk mempengaruhi perubahan yang diinginkan, dan perengkahan katalitik yang menggunakan katalis asam atau basa untuk menurunkan energi aktifasinya (Trisunaryanti dkk., 2000). Kedua jenis perengkahan ini mempengaruhi produk akhir bahan bakar cair.

2.3.1 Perengkahan Termal

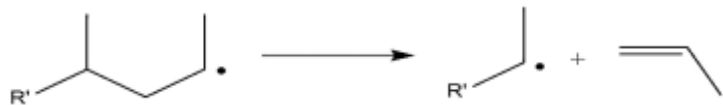
Perengkahan termal dapat memecah molekul besar polimer pada temperatur tinggi menjadi molekul yang lebih kecil. Proses ini menghasilkan fragmen-fragmen radikal bebas dan akan mengalami oligomerasi (Sibarani, 2012). Proses perengkahan termal di temperatur $> 350\text{ }^\circ\text{C}$ terjadi pelelehan plastik dan berubah

menjadi gas. Gas akan tertampung di kondensor dan didinginkan menghasilkan cairan. Cairan tersebut menjadi bahan bakar cair berupa bensin (Syamsiro dkk., 2014). Adapun mekanisme termal dapat dipaparkan dalam tahapan berikut :

Tahap 1 : Inisiasi pembentukan radikal bebas



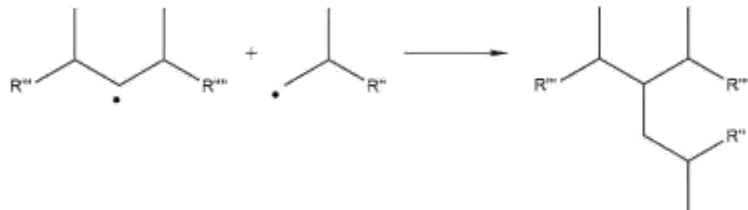
Tahap 2 : Pemotongan pada posisi beta membentuk alkena (olefin) dan radikal baru



Tahap 3 : Radikal pada tahap 2 menyerang polimer lain dan membentuk alkana (parafin) dan radikal baru



Tahap 4 : Polimerisasi membentuk oligomer



(Sibarani, 2012)

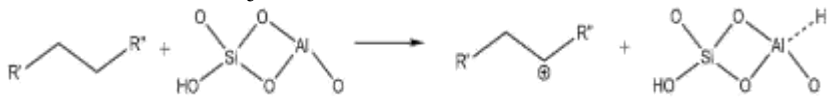
2.3.2 Perengkahan Katalitik

Perengkahan katalitik merupakan proses perengkahan menggunakan panas dan katalisator untuk mengubah distilat menjadi bensin (Satterfield, 1980). Katalis bisa menurunkan energi aktivasi dan mempercepat waktu reaksi sehingga bisa mengontrol produk yang dihasilkan (Mao dkk., 2013). Perengkahan katalitik terjadi apabila rektan mencapai sisi aktif pada permukaan katalis.

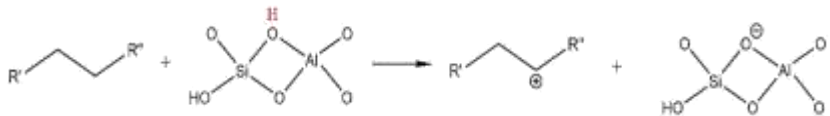
Proses perengkahan katalitik diawali dengan tahap inisiasi pembentukan karbokation yang memiliki selektifitas lebih tinggi daripada radikal bebas. Proses tahap pertama ini dibantu dengan katalis asam material berpori seperti zeolit. Fungsi katalis asam adalah memindahkan atom hidrogen ke struktur hidrokarbon bersama dengan sepasang elektron yang terikat dengannya sehingga atom karbon bermuatan positif atau ion yang terbentuk disebut sebagai ion karbonium (karakbokation) (Mao dkk., 2013).

Setelah tahap inisiasi, terdapat beberapa kemungkinan transformasi dari karbokation (ion karbonium) yang terbentuk (Mao dkk., 2013). Mekanisme perengkahan melalui ion karbonium akan menghasilkan berbagai macam produk karena intermediet karbonium mengalami berbagai reaksi samping seperti isomerisasi, siklisasi, dan aromatisasi (Sibarani, 2012). Adapun tahapan proses pembentukan karbokation sebagai berikut:

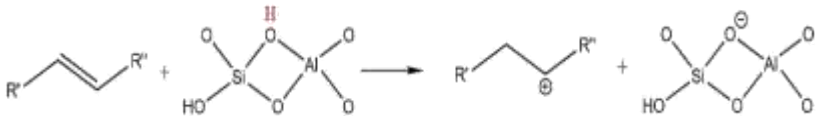
- i. Pengambilan ion hibrida oleh Asam Lewis pada hidrokarbon jenuh



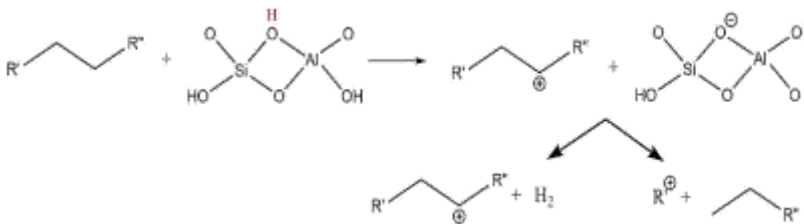
- ii. Karbokation oleh Asam Bronsted pada hidrokarbon jenuh



iii. Karbokation oleh Asam Bronsted pada hidrokarbon tak jenuh



iv. Ion karbonium terkonversi menjadi ion karbenium dengan lepasnya atom hydrogen



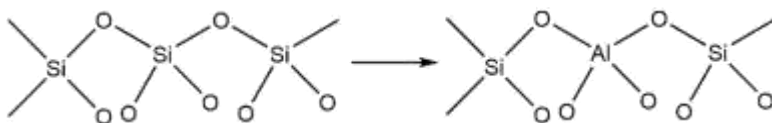
(Mao dkk., 2013)

2.4 Katalis Al-MCM-41

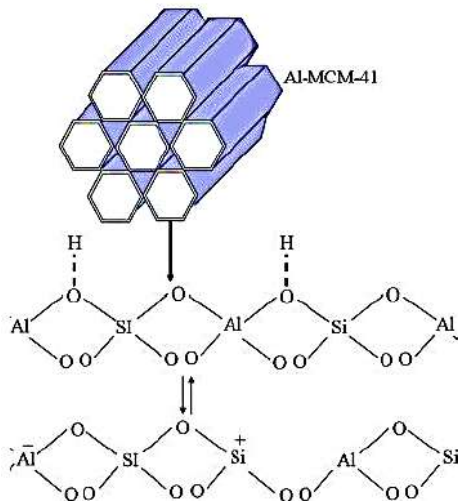
Material berpori sering digunakan sebagai template katalis karena memiliki ketahanan termal yang baik, ukuran pori yang seragam, dan ukuran partikel yang dapat disesuaikan (Gibson, 2014). Salah satu contoh material ini adalah Mobile Composition of Matter-41 (MCM-41). MCM-41 merupakan padatan mesopori yang teratur dan seragam, serta kisi heksagonal seperti sarang lebah (Corma dkk., 1997). Material ini cocok digunakan dalam proses perengkahan katalitik karena penyerapan molekul organik yang besar, namun MCM-41 hanya mengandung sisi asam Lewis lemah dan tidak ada sisi asam Bronsted sehingga untuk meningkatkan aktivitas katalis perlu ditambahkan kation logam sebagai sisi asam Bronsted seperti aluminium, titanium, paladium ke dalam struktur *frameworknya* (Antonakou dkk., 2006).

Beberapa upaya telah dilakukan untuk meningkatkan keasaman dan hidrotermal stabilitas silika mesopori MCM-41

diantaranya penambahan aluminium (Al) yang disisipkan ke dalam kerangka mesopori. Masuknya logam Al ke dalam struktur mesopori MCM-41 meningkatkan sifat keasamannya yaitu sisi asam Bronsted. Katalis Al-MCM-41 dapat digunakan untuk mengkatalisis reaksi perengkahan (Wang dan Wang, 2011). Material Al-MCM-41 memiliki ukuran pori sebesar $0,78 \text{ cm}^3/\text{g}$ dan luas permukaan sebesar $877 \text{ m}^2/\text{g}$ (Naik dkk., 2010). Adapun struktur kerangkakatalis Al-MCM-41 dan pengembangan logam Al pada MCM-41 dapat diilustrasikan :



Gambar 2. 4 Ilustrasi Pengembangan Al pada MCM-41 (Naik dkk., 2010)

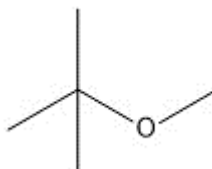


Gambar 2. 5 Kerangka Katalis Al-MCM-41 (Naik dkk., 2010)

Katalis Al-MCM-41 telah diketahui memiliki kemampuan dalam proses perengkahan senyawa-senyawa dengan berat molekul besar (Kresge dkk., 1992). Penelitian yang dilaporkan Garcia dkk (2005) melakukan produksi biofuel dengan katalis H-ZSM-5/MCM-41 dengan yield tertinggi diesel 26,53%, kerosin 19,26%, dan gasolin 6,41%. Katalis komposit tersebut mengarah ke fraksi diesel dan kerosin.

2.5 Metil Tersier Butil Eter (MTBE)

Metil Tersier Butil Eter (MTBE) merupakan senyawa organik turunan senyawa alkana, berbau menyengat, dan mudah terbakar. Pembuatan metil tersier butil eter dengan bahan baku metanol dan isobutilena merupakan reaksi esterifikasi. Dalam aplikasinya MTBE memiliki nilai LHV (Low Heating Value) yang cukup rendah yaitu 35.100 Kj/kg lebih kecil dibandingkan bensin dengan RON 88 yang memiliki nilai sebesar 44.000 Kj/kg dengan nilai RON berkisar 116-118 (Topgül, 2015). Struktur Lewis MTBE ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Struktur Metil Tersier Butil Eter (MTBE)

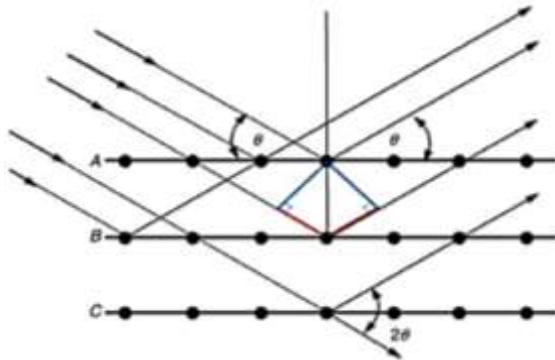
Sumber cahaya memancarkan sinar polikromatik yang merupakan kumpulan dari beberapa spektrum warna dengan panjang gelombang yang berbeda-beda. Sinar polikromatik ini akan diubah menjadi sinar monokromatik oleh monokromator. Warna yang memiliki energi setara dengan energi minimum elektron untuk tereksitasi akan diserap oleh sampel. Elektron yang tereksitasi semakin lama akan kehilangan energinya sehingga

elektron akan kembali ke keadaan dasar (*ground state*). Energi yang dilepaskan elektron saat tereksitasi setara dengan energi yang diterima. Energi ini diterjemahkan oleh detektor menjadi panjang gelombang warna komplementer (Khalife dkk., 2017).

2.6 Karakterisasi Katalis

2.6.1 X-Ray Diffraction (XRD)

XRD merupakan instrumen yang digunakan untuk mengetahui ciri utama kristal, penentuan struktur dan kristalinitas. Prinsip dari *X-ray Diffraction* (XRD) adalah difraksi gelombang sinar X yang mengalami penghamburan (*scattering*) setelah bertumbukan dengan atom kristal yang diilustrasikan pada Gambar 2.7 (Lamas dkk., 2017). Bila seberkas sinar-X di jatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Semakin banyak bidang kristal dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya.



Gambar 2. 7 Prinsip Kerja Hukum Bragg's (Lamas dkk., 2017)

XRD mengikuti Hukum Bragg yang didefinisikan sebagai berikut

$$n \lambda = 2d \sin \Theta \quad (2.1)$$

Keterangan:

n = orde bias (0, 1, 2, 3,.....)

λ = panjang gelombang sinar-X (nm)

d = jarak antara dua bidang kisi (cm)

θ = sudut antara sinar datang dengan bidang normal

Prinsip dari metode yang digunakan pada difraksi sinar-X melalui bidang periodik atom dan sudut atau energi deteksi dari sinyal difraksi. Interpretasi geometri dari fenomena *XRD* (interferensi konstruktif) diberikan oleh W.L.Bragg pada Gambar 2.7 memberikan penjelasan lengkap mengenai kondisi geometri untuk difraksi dan penentuan dari hukum Bragg.

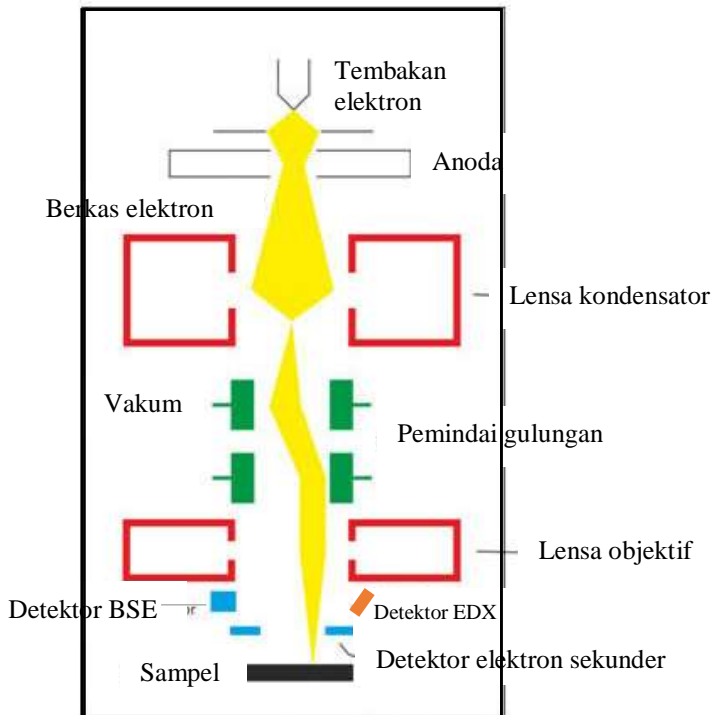
2.6.2 Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX) merupakan metode untuk menggambarkan permukaan suatu bahan dengan resolusi yang tinggi. Resolusi yang tinggi pada SEM-EDX dihasilkan dari penggunaan elektron dalam menggambarkan permukaan bahan (Larry dan Hanke, 2001). SEM-EDX termasuk mikroskop elektron yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya. SEM-EDX digunakan untuk mengamati material dalam daerah makro dan submicron, mempelajari permukaan sel (atau struktur renik lainnya), dan obyek diamati secara tiga dimensi (Goldstein dkk., 2003).

Gambar pada SEM dibentuk dari berkas elektron yang halus dan difokuskan pada permukaan material. SEM tidak memiliki lensa obyektif, lensa intermediet, dan lensa proyektor untuk memperbesar gambar. Maka, perbesaran dihasilkan dari perbandingan luas area material yang di-*scan* terhadap luas area

layar monitor. Untuk meningkatkan perbesaran pada SEM dapat dilakukan dengan men-*scan* berkas elektron terhadap luas permukaan material yang cukup sempit (Larry dan Hanke, 2001)

Tujuan penggunaan SEM-EDX adalah untuk mengamati dan mempelajari topografi, yaitu tekstur atau sifat-sifat permukaan suatu obyek, bentuk, ukuran, dan susunan partikel penyusun obyek yang berada pada permukaan sampel, komposisi unsur dan senyawa yang menyusun sampel, mendapatkan informasi kristalografi dan susunan atom dalam sampel (Larry dan Hanke, 2001). Diagram skematik SEM-EDX dapat dilihat pada Gambar 2.8.

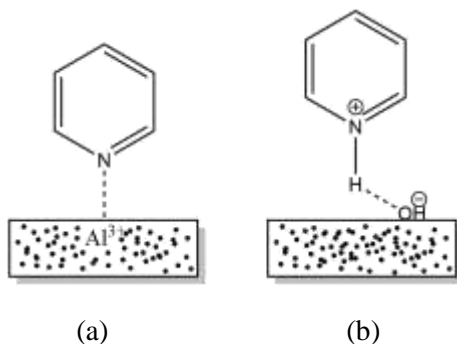


Gambar 2. 8 Diagram Skema SEM-EDX (Goldstein dkk., 2003)

2.6.3 Pyridine-Adsorption Fourier Transform Infra Red (Adsorpsi Piridin-FTIR)

Fourier Transform Infra Red (FTIR) merupakan instrumen untuk mengukur resapan radiasi infra merah pada berbagai panjang gelombang. Penentuan keasaman katalis dapat menggunakan metode adsorpsi piridin FTIR. Pada metode ini diperlukan fragmen pelacak seperti NH_3 , piridin, NO , CO , CH_3CN , astitril, dan benzena untuk berinteraksi dengan sisi katalitik suatu katalis. Pada penelitian ini digunakan piridin karena berperan sebagai basa Lewis yang lebih selektif daripada NH_3 dan NO , serta lebih kuat teradsorpsi daripada CO dan CH_3CN (Zaki dkk., 2001).

Pada prinsipnya, piridin akan mengadsorpsi permukaan katalis yang bersifat asam, semakin banyak piridin yang teradsorpsi, maka intensitas spektrum semakin tinggi. Piridin-FTIR digunakan untuk mengetahui interaksi piridin dengan kation logam yang memiliki orbital kosong (sisi asam Lewis) dan interaksi piridin dengan proton pembentuk ion piridium (asam Bronsted) yang dapat diilustrasikan pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Skema interaksi piridin dengan (a) asam Lewis, (b) asam Bronsted (Zaki dkk., 2001)

Pada umumnya, pita serapan adsorpsi piridin berada pada bilangan gelombang 1700-1270 cm^{-1} . Pita adsorpsi asam Lewis berada pada bilangan gelombang 1440-1460 cm^{-1} , sedangkan asam Brønsted pada bilangan gelombang 1550-1545 cm^{-1} dan 1640 cm^{-1} . Contoh spektra adsorpsi piridin FTIR dapat dilihat pada Gambar 2.8 yang menunjukkan adanya sisi asam Lewis pada bilangan gelombang 1451 cm^{-1} dan asam Brønsted pada bilangan gelombang 1542 cm^{-1} (Kemnitz dkk., 2002). Perhitungan asam Lewis dan asam Bronsted tercantum pada persamaan (2.2):

$$\text{Keasaman} = \frac{\text{Luas Area} \times \text{Luas Pellet}}{1,42 \times \text{Massa Sampel}} \times 0,001 \quad (2.2)$$

2.6.4 Adsorpsi Desorpsi Nitrogen

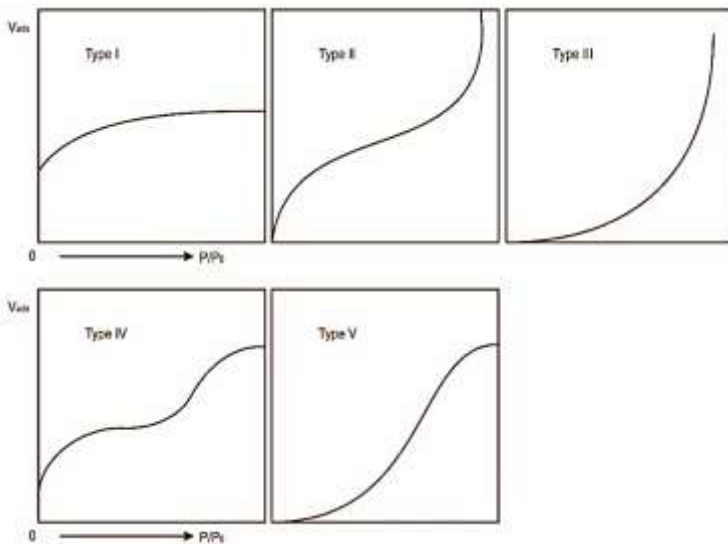
Adsorpsi-desorpsi Nitrogen memiliki tujuan untuk mengetahui luas permukaan dan mengetahui ukuran pori pada sampel. BET menjelaskan fenomena adsorpsi molekul gas di permukaan zat padat (melekatnya molekul gas di permukaan zat padat). Kuantitas molekul gas yang diadsorpsi bergantung pada luas permukaan yang dimiliki zat padat tersebut. Dengan demikian, BET dapat digunakan untuk menentukan luas permukaan zat padat (Storck dkk, 1998).

Luas permukaan untuk zat padat dengan massa tertentu makin besar jika ukuran partikel makin kecil apabila zat padat berupa partikel. Hal ini sesuai dengan luas permukaan sebagai perbandingan luas total permukaan zat padat terhadap massanya. Metode BET memberikan informasi tentang luas permukaan spesifik zat padat. Metode ini dapat digunakan untuk memperkirakan ukuran rata-rata partikel zat padat. Untuk material berpori, luas permukaan spesifik ditentukan oleh porositas zat padat, sehingga metode BET juga dapat digunakan untuk menentukan porositas zat padat (Storck dkk, 1998).

Luas permukaan diukur dengan menghitung jumlah molekul yang menempel pada lapisan pertama. Tipe kurva isotherm dapat ditunjukkan pada Gambar 2.10. Sebagai contoh

kurva isotherm tipe I lebih menjelaskan pada jenis/ukuran mikropori (Zeolit, SiO_2 , dan karbon). Kurva isotherm tipe IV lebih cocok untuk menjelaskan jenis/ukuran mesopori (MCM-41). Metode penentuan distribusi ukuran mesopori dari isotherm adsorpsi yang biasa digunakan adalah berdasarkan model BJH (Barret, Joyner, and Halenda) (Storck dkk, 1998).

Modifikasi MCM-41 dengan Al menunjukkan pengurangan dari luas permukaan, volume pori dan radius pori. Kemungkinan pengembananan logam Al menenempati pori heksagonal dari MCM-41. Grafik isotherm adsorpsi yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 dari Al-MCM-41 mengikuti grafik isotherm tipe IV (Juwono, dkk., 2017b).



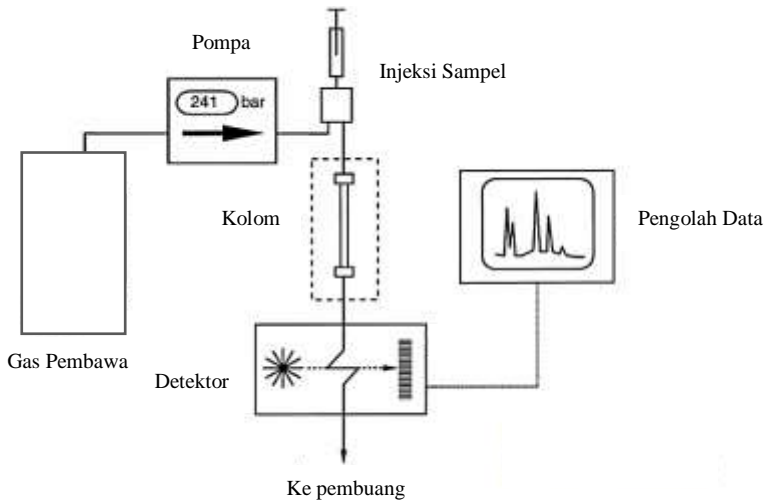
Gambar 2. 10 Jenis-Jenis Kurva Adsorpsi (Storck dkk., 1998)

2.7 Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair

2.7.1 Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer (GC-MS)

Gas Chromatography - Mass Spectroscopy (GC-MS) merupakan instrumen untuk memisahkan komponen suatu campuran, mengidentifikasi, penentuan kuantitas senyawa yang telah dipisahkan. Prinsip GC-MS adalah pemisahan dua fasa, dimana komponen-komponen sampel yang telah menjadi uap terfraksinasi dalam kolom akibat proses partisi fasa gerak dan fasa diam. Fasa diamnya berupa padatan dan berupa cairan yang disupport pada suatu matriks padatan inert, sedangkan fasa geraknya berupa gas. Gas pembawa ini berupa gas inert seperti N₂, H₂, Ar, dan He (Stashenko dan Martinez, 2014).

Sistematika penggunaan instrumen GC-MS ditunjukkan pada Gambar 2.11. Sampel melewati kolom dengan aliran gas helium. Gas helium sebagai fase gerak ditahan di tangki bertekanan dan menggunakan regulator tekanan, alat ukur, dan *flow meter* untuk mengendalikan laju alir gas. Kecepatan alir biasanya berkisar antara 25-150 mL / menit dengan kolom penuh dan 1-25 mL / menit untuk kolom kapiler tubular terbuka, dan diasumsikan konstan jika tekanan inlet konstan. Sampel yang dimasukkan diubah menjadi uap. Sampel cair diinjeksikan menggunakan alat suntik mikro yang dikalibrasi untuk menyuntikkan sampel melalui septum dan ke dalam port sampel yang dipanaskan sekitar 50 °C di atas titik didih sampel sehingga sampel mudah menguap. Setelah sampel diinjeksikan, kemudian dibawa ke kolom oleh fase gerak. Suhu kolom merupakan variabel penting, sehingga oven dilengkapi dengan termostat yang mengendalikan suhu sampai sepersepuluh derajat. Titik didih sampel dan jumlah pemisahan yang diperlukan menentukan suhu sampel yang harus dijalankan. Karena fase gerak yang membawa sampel dilewatkan melalui fase diam di kolom, komponen yang berbeda dari sampel dipisahkan (Hussain dkk., 2014).



Gambar 2. 11 Diagram Skematik Kromatografi Gas (Hussain dkk., 2014)

Komponen dalam sampel terpisah satu sama lain karena perbedaan waktu untuk melewati kolom. Aliran gas muncul dari gas kromatografi masuk melalui katup ke dalam tabung. Aliran gas ini masuk ke dalam ruang ionisasi spektrometer massa (MS). Sampel yang keluar dari kolom GC terfragmentasi oleh ionisasi dan fragmen tersebut diurutkan berdasarkan massa untuk membentuk pola fragmentasi sesuai dengan rasio massa muatan (m/z). Seperti waktu retensi (RT), pola fragmentasi untuk komponen tertentu pada sampel unik sehingga dapat digunakan sebagai karakteristik mengidentifikasi komponen tersebut (Hussain dkk., 2014).

Komputer yang terhubung dengan GC-MS memiliki perpustakaan sampel untuk membantu menganalisis data ini. Data untuk GC-MS ditampilkan dalam beberapa cara. Salah satunya adalah kromatogram ion total, yang meringkas kelimpahan ion

total di setiap spektrum dan menyusunnya sebagai fungsi waktu. Cara lain yang dapat digunakan yaitu spektrum massa pada waktu tertentu dalam kromatogram untuk mengidentifikasi komponen tertentu yang dielusi pada saat itu. Spektrum massa ion yang dipilih dengan massa tertentu untuk mengisi rasio, disebut kromatogram massa (Hussain, dkk., 2014).

2.7.2 Densitas

Densitas atau berat persatuan volume sesuatu zat dapat diukur yang dimiliki bahan bakar cair. Tujuan pengukuran densitas untuk mengetahui indikator keberadaan zat pengotor pada bahan bakar. Apabila nilai densitas melebihi standar maka perlu dilakukan pemurnian kembali. Nilai densitas yang tinggi maka memiliki kandungan panas yang rendah. Nilai densitas bahan bakar cair jenis gasolin berdasarkan standar ASTM D 1480. Untuk mendapatkan putaran mesin yang cepat maka laju alir bahan bakar juga harus cepat (Sakthivela dkk., 2018). Jika massa jenis melebihi ketentuan sebaiknya tidak digunakan dan memerlukan perlakuan pemurnian kembali karena apabila digunakan akan meningkatkan keausan mesin dan menyebabkan kerusakan mesin (Setiawati dan Edwar , 2012).

2.7.3 Nilai Kalor

Nilai kalor merupakan suatu angka yang menyatakan jumlah panas yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar dengan udara / oksigen. Nilai kalor berbanding terbalik dengan dengan berat jenis (densitas). Pada volume yang sama, semakin besar berat jenis suatu minyak, semakin kecil nilai kalornya, demikian juga sebaliknya semakin rendah berat jenis semakin tinggi nilai kalornya. Nilai kalor atas untuk bahan bakar cair ditentukan dengan pembakaran dengan oksigen bertekanan pada bom kalorimeter.

Prinsip kerja dari *bomb calorimeter* yaitu bekerja pada sistem terisolasi (tidak ada perpindahan baik energi maupun massa). Bom direndam dalam bak air yang diaduk, dan

keseluruhan perangkat merupakan kalorimeter. Kalorimeter juga direndam dalam air luar. Air di kalorimeter dan bak luar dipantau dan disesuaikan dengan suhu yang sama. Perubahan suhu, ΔT , kalorimeter sebanding dengan energi bahwa reaksi melepaskan atau menyerap panas. Karena itu, dengan mengukur ΔT kita bisa menentukan q_V dan menemukan ΔU (Atkins, 2010).

Persamaan nilai kalor sebagai berikut :

$$q_{reaksi} = q_{air} + q_{bom} \quad (2.3)$$

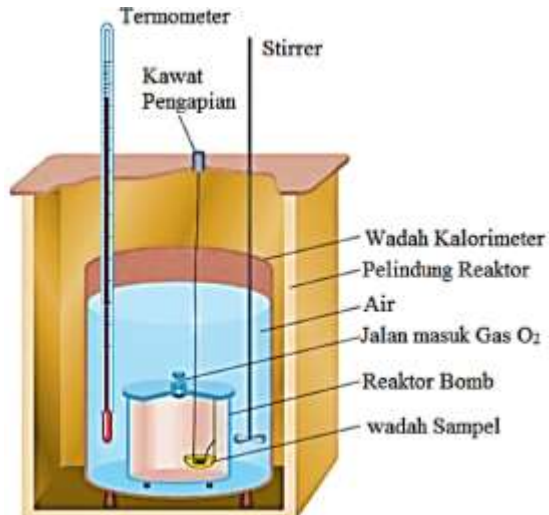
$$q_{reaksi} = (m \times c \times \Delta T) + (C_{bom} \times \Delta T) \quad (2.4)$$

Nilai kalor dari bahan bakar minyak umumnya berkisar 10.160 – 11.000 Kkal / kg. Nilai kalori dari bensin yang memiliki angka oktan 90-96 berkisar 10.500 Kkal/kg. Nilai kalori diperlukan karena dapat digunakan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar minyak yang dibutuhkan untuk suatu mesin dalam suatu periode (Saifurrizal, 2013). Alat bom kalorimeter terdapat pada Gambar 2.12.

2.7.4 Titik Nyala

Titik nyala adalah suatu angka yang menyatakan suhu terendah dari bahan bakar minyak dimana akan timbul penyalaan api sesaat ketika permukaan minyak didekatkan pada nyala api. Tujuan mengetahui titik nyala digunakan untuk keamanan dan penimbunan minyak dan pengangkutan bahan bakar minyak terhadap kebakaran. Semakin rendah titik nyala bahan bakar, maka semakin mudah terbakar. Titik nyala suatu bahan bakar menandakan batas aman terhadap bahaya kebakaran selama penyimpanan, penanganan, dan transportasi. Titik nyala mengindikasikan tinggi rendahnya volatilitas dan kemampuan suatu bahan bakar terbakar (Setiawati dan Edwar, 2012). Bahan bakar dengan titik nyala yang rendah akan mempermudah

penyalaan apabila diterapkan dalam mesin (Prihandana dan Roy, 2006).



Gambar 2. 12 Alat bom kalorimeter (Saifurrizal, 2013)

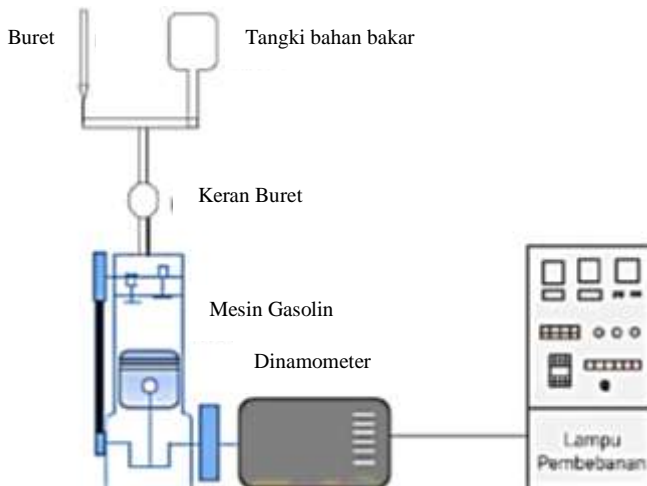
2.8 *Research Octane Number (RON) Campuran Bahan Bakar Cair*

Angka oktan bensin dapat dinyatakan dalam tiga jenis, yaitu Angka Oktan Riset (*Reserch Octane Number- RON*), Angka Oktan Motor (*Motor Octane Number*) dan Distribusi Angka Oktan (*Octane Number Distribution*). Bensin yang baik mempunyai nilai RON dan MON yang tinggi, sensitivitas yang rendah dan distribusi angka oktan yang homogen. RON ditentukan menggunakan *test engine* dengan variasi *compression ratio*. Semakin tinggi nilai oktan, maka semakin kecil hasil ledakan dini (*pre-ignition*). Motor dengan rasio kompresi rendah dapat menggunakan bahan bakar dengan angka oktan lebih rendah, tetapi motor kompresi tinggi

harus menggunakan bahan bakar oktan tinggi untuk menghindari pengapian sendiri dan ketukan (Utut, 2013).

2.9 Performa Efisiensi Termal Campuran Bahan Bakar Cair

Performa bahan bakar cair berfungsi mengetahui efisiensi kerja dalam sistem pembakaran mesin. Variabel yang dapat diuji pada performa bahan bakar cair antara lain tenaga putaran mesin, *Brake Spesific Fuel Consumption* (BSFC), *Brake Thermal Eficiency* (BTE), *Brake Spesific Energy Consumption* (BSEC), *Total Heat* dan rasio relatif udara/bahan bakar (Topgül, 2015). Ilustrasi pengujian performa efisiensi termal bahan bakar cair terdapat pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Skema Pengujian Efisiensi Termal pada Mesin Gasolin (Topgül, 2015)

Brake Thermal Efficiency (BTE) adalah efisiensi dari energi dari suatu bahan bakar menjadi kerja mekanik dalam mesin. Efisiensi pada mesin gasolin dipengaruhi oleh nilai kalor bahan bakar cair dan kemampuan mesin mengoptimasi bahan bakar menjadi daya pada poros. Pada dasarnya efisiensi termal pada setiap bahan bakar akan semakin berkurang dengan bertambahnya kecepatan putaran dari mesin gasolin karena banyak bahan bakar akan dikonversi menjadi gas buang (Ashok dkk., 2017).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alu dan mortar, *Thermo Scientific Precision High Performance Lab Oven 605*, *press pellet*, desikator, *magnetic stirrer*, alat *X-Ray Diffraction (XRD)*, Micromeritics TriStar II 3020 Automatic physisorption Analyzer, *Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer (GC-MS)* jenis Agilent Technologies 7890A GC-5975C MS, FTIR-Piridin, Reaktor Pirolisis, Reaktor *Cracking*, bom calorimeter, piknometer 10 mL, cawan penguap, termometer, *stopwatch*, Generator Set, dan RON.

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak jelantah, limbah polistirena, katalis Al-MCM-41 dari penelitian sebelumnya oleh Juwono dkk., (2013), keramik, katalis NaOH SAP dari UPT BPPTK LIPI, Metanol p.a. dari Merck, Premium. Metil Tersier Butil Eter (MTBE) dari Merck.

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Persiapan Katalis

Katalis Al-MCM-41 diaktivasi pada oven dengan suhu 80°C. Katalis Al-MCM-41 kemudian dimasukkan ke dalam desikator. Katalis Al-MCM-41 yang teraktivasi dicampurkan dengan keramik yang telah dihancurkan hingga halus. Rasio komposisi katalis dan keramik yang digunakan sebesar 7:3 (Katalis Al-MCM-41/Keramik) dan dibentuk menjadi pelet dengan *press pellet* dengan diameter 1 cm dan tebal 1 cm.

3.2.2 Karakteristik Katalis Al-MCM 41/Keramik

Pola Serbuk *X-ray Diffraction* (XRD) dianalisa di Departemen Teknik Material ITS dengan sumber sinar-X dari Cu K α , yang dioperasikan pada 30 kV dan 40 mA. Hamburan sudut 2 θ diubah dari 10° hingga 80°.

Ukuran partikel dan morfologi permukaan sampel dievaluasi menggunakan *scanning electron microscope*. Kelimpahan pada komposisi sampel dianalisis menggunakan Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX). (SEM, FEI Quanta 200 F).

Keasaman dari permukaan katalis Al-MCM-41/Keramik dianalisa menggunakan *Pyridine-Adsorption Fourier Transform Infra Red (FTIR-Pyridine)*.

Sifat tekstur katalis dievaluasi menggunakan adsorpsi-desorpsi N₂ (*Micromeritics TriStar II 3020 Automatic physisorption Analyzer*). Katalis Al-MCM 41/Keramik di vakum pada 300°C selama 1 jam untuk menghilangkan gas yang terandung di dalamnya. Persamaan Brunauer-Emmett-Teller digunakan untuk menghitung area permukaan dengan menggunakan data adsorpsi yaitu $p/p_0 = 0,05 - 0,25$. Volume pori diukur melalui metode Barrett-Joyner-Halenda (BJH).

3.2.3 Sintesis Bahan Bakar Cair dari Limbah Plastik Polistirena

Sampel pada penelitian ini berupa limbah plastik polistirena khususnya kemasan gabus. Sampel dibersihkan dan dikeringkan kemudian dipotong dengan ukuran kecil (1-2 cm²). Potongan limbah polistirena ditimbang dengan berat 500 gram dan disimpan dalam wadah yang kering.

Perengkahan katalitik limbah plastik dilakukan dalam reaktor tertutup. Pada reaktor ini terdapat bagian utama yakni tabung reaktor, konektor, kondensor, dan labu penampung minyak. Tabung reaktor berkapasitas 2 L digunakan sebagai tempat terjadinya proses pirolisis atau perengkahan. Sampel limbah

plastik polistirena yang sudah dicacah, dimasukkan ke dalam tabung reaktor sebanyak 500 g. Konektor disusun sedemikian rupa hingga melekat pada sisi atas *chamber reactor*. Reaktor dipanaskan hingga mencapai suhu 250°C dengan total proses reaksi selama 150 menit. Sampel dikonversi menjadi gas dan dialirkan menuju kondensator melalui konektor. Hasilnya dikondensasi menjadi bahan bakar cair oleh kondensator. Bahan bakar cair ditampung dalam labu penampung minyak yang berada di bagian bawah sistem. Sintesis bahan bakar cair dilakukan hingga didapatkan 2 L bahan bakar cair plastik.

3.2.4 Pengolahan Biodiesel dari Minyak Jelantah

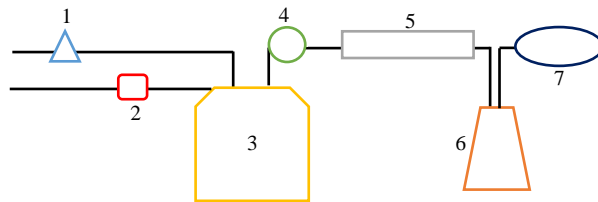
Sampel pada Pengolahan biodiesel ini berupa minyak jelantah khususnya minyak jelantah dari bekas penggorengan ayam tepung. Minyak jelantah disaring untuk memisahkan pengotor. Minyak plastik yang telah bebas dari pengotor diukur volume 200 mL dan disimpan dalam wadah yang kering. Minyak dipanaskan dalam oven pada suhu 105 °C selama 1 jam. Kemudian ditutup rapat dengan plastik wrap.

Pengolahan minyak jelantah menjadi biodiesel menggunakan reaktor refluks dimana labu leher tiga sebagai tempat reaksi pembuatan biodiesel dirangkai dengan alat refluks. 0,895 gram (0,5% dari massa minyak jelantah) NaOH dan 51,3 mL (perbandingan mol asam oleat : metanol = 1 : 2). Metanol p.a. dimasukkan ke dalam labu leher tiga. Larutan kemudian diaduk dengan kecepatan 400 rpm hingga padatan NaOH larut dalam methanol 200 mL (179 gram). Minyak jelantah dicampurkan dengan larutan metoksi pada labu leher tiga. Campuran direfluks pada suhu 60°C dan diaduk dengan kecepatan 800 rpm. Hasil refluks dipindahkan ke corong pisah. Proses pemisahan ditunggu selama 1 jam sampai terbentuk 2 fasa. Bagian atas merupakan biodiesel, sedangkan bagian bawah merupakan gliserol. Fasa atas yang merupakan biodiesel diambil. Biodiesel tersebut kemudian

dievaporasi dengan kecepatan rotasi 150 rpm, suhu evaporasi 95°C, dan waktu evaporasi 3 jam dalam pompa vakum.

3.2.5 Produksi Bahan Bakar Cair Plastik Ko-reaktan Biodiesel Minyak Jelantah

Perengkahan katalitik plastik ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dilakukan dalam reaktor tertutup seperti Gambar 3.1. Tipe reaktor yang digunakan yaitu *continuous reactor*. Bagian utama dari reaktor ini antara lain aliran gas N₂, aliran sampel, tabung reaktor, konektor kondensor, penampung minyak, dan GC/MS.



Keterangan :

- 1: Aliran Gas N₂
- 2: Aliran Sampel / *Feedstock*
- 3: Tabung Reaktor
- 4: Konektor
- 5: Kondensor
- 6: Penampung Minyak
- 7: GC/MS

Gambar 3. 1 Reaktor perengkahan katalitik plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah

Sampel pada tahapan ini berupa bahan bakar cair plastik dan biodiesel minyak jelantah. Katalis Al-MCM-41 : Keramik (7:3) ditimbang 9 gram dan dibentuk menjadi *pellet* dengan *press pellet* menjadi 10 pellet. Pellet yang terbentuk dimasukkan ke dalam tabung reaktor. Pada bagian tabung reaktor diberi kassa kawat dan

glass wool dan ditambahkan 5 pellet, kemudian *glass wool*, dan ditambahkan 5 pellet, *glass wool* dan ditutup dengan kassa kawat.

Gas nitrogen dialirkan pada tabung reaktor untuk menghilangkan gas oksigen yang mungkin ada pada sistem reaktor. Tabung reaktor berkapasitas 2 mL digunakan sebagai tempat terjadinya proses pirolisis atau perengkahan. Tabung reaktor digunakan sebagai wadah limbah polistirena, katalis dan tempat terjadinya perengkahan katalitik. Konektor diletakkan pada atas tabung reaktor sehingga gas hasil perengkahan dapat mengalir dengan mudah menuju kondensor untuk mengalami reaksi katalisis. Konektor terhubung langsung dengan kondensor yang mengkonsdensasi hasil perengkahan katalitik. Hasil kondensasi berupa cairan akan tertampung di dalam oil tank yang terletak di bawah kondensor.

Sintesis bahan bakar cair Plastik Ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dilakukan dengan prinsip destilasi. Bahan bakar cair plastik sebanyak 500 mL (50% dari volume total 1000 mL) dicampurkan dengan 500 mL (50% dari volume total 1000 mL) biodiesel minyak jelantah dimasukkan ke dalam tabung reaktor. Konektor disusun melekat pada sisi atas tabung reaktor. Reaktor dipanaskan hingga mencapai suhu 300 °C dengan total proses reaksi selama 150 menit dan dimasukkan gas N₂ selama 30 detik. Sampel dikonversi menjadi gas dan dialirkan menuju kondensor melalui konektor. Gas yang terbentuk dikonsdensasi menjadi bahan bakar cair oleh kondensor. Bahan bakar cair ditampung dalam penampung minyak yang berada di bagian bawah sistem. Dalam penelitian ini sintesis bahan bakar cair polistirena dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dilakukan dengan variasi perbandingan % volume bahan bakar cair plastik dengan biodiesel minyak jelantah dengan volume total 1000 mL. Variasi pertama (P50) dilakukan perengkahan katalitik dengan reaktan bahan bakar cair plastik 50% dan biodiesel minyak jelantah 50%. Variasi kedua (P57) dilakukan perengkahan katalitik dengan reaktan bahan bakar

cair plastik 57% dan biodiesel minyak jelantah 43%. Variasi ketiga (P67) dilakukan perengkahan katalitik dengan reaktan bahan bakar cair plastik 67% dan biodiesel minyak jelantah 33%. Ketiga variasi ini dianalisis menggunakan GC/MS untuk mengetahui komponen penyusun senyawa bahan bakar cair.

3.2.6 Metode Eksperimental dan Evaluasi Data

Desain eksperimental gabungan digunakan untuk optimalisasi kondisi proses dan hasil produk bahan bakar cair Plastik Ko-reaktan biodiesel minyak jelantah pada pirolisis katalitik bertingkat.

Yield produk spesifik dihitung berdasarkan Persamaan (3.1),

$$Yield \text{ produk} == \frac{Volume \text{ Produk}}{Volume \text{ Reaktan}} \times 100\% \dots \quad (3.1)$$

3.3 Produksi Campuran Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair hasil sintesis menggunakan metode perengkahan katalitik limbah polistirena dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dari variasi *feedstock* masing-masing dicampur dengan Premium RON 88 dan diaduk menggunakan stirrer agar homogen. Kemudian ditambahkan MTBE sebanyak 2,45 % volume campuran Bahan bakar cair hasil sintesis dan Premium RON 88 dan diaduk kembali. Campuran bahan bakar cair (CBBC) pada variasi *feedstock* dapat ditinjau pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Jenis Campuran Bahan Bakar Cair (CBBC)

Jenis <i>Feedstock</i>	% BBC (mL)	% Premium RON 88 (mL)	% MTBE (mL)	Campuran BBC
P50	225	750	18,375	CB50
P57	225	750	18,375	CB57
P67	225	750	18,375	CB67

3.4 Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair

Karakteristik bahan bakar cair (BBC) sangat penting untuk diketahui guna menentukan keberhasilan perengkahan. Analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GC-MS) digunakan untuk mengetahui komposisi fraksi hidrokarbon yang ada pada bahan bakar cair mirip dengan fraksi hidrokarbon jenis gasolin. Karakteristik fisik diperlukan untuk mengetahui pengaruh penambahan MTBE pada bahan bakar cair hasil perengkahan katalitik limbah polistirena dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah. Parameter pengujian fisik yang digunakan antara lain densitas, nilai kalor, dan titik nyala.

3.4.1 Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer (GC-MS)

Bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan dikarakterisasi dengan instrumen *Gc-Ms Agilent Technologies 7890A GC-5975MS*. Sebanyak 50 mg sampel produk bahan bakar cair dilarutkan dalam 1 mL n-heksana, lalu sampel diinjeksikan ke inlets kromatografi dan diproses selama 42 menit. GC-MS dikondisikan pada Tabel 3.2.

3.4.2 Penentuan Densitas Campuran Bahan Bakar Cair

Penentuan densitas campuran bahan bakar cair dapat dilakukan dengan piknometer. Piknometer kosong yang telah tercatat volume serta tertimbang massanya diisi dengan sampel bahan bakar cair hingga memenuhi saluran rongga tutup piknometer kemudian ditimbang kembali massanya. Densitas sampel bahan bakar cair diperoleh dari perbandingan massa sampel (diperoleh dari selisih massa piknometer terisi dan piknometer kosong) terhadap volume piknometer. Penentuan densitas bahan bakar cair dilakukan pada suhu 15°C menggunakan Persamaan (3.2).

$$\rho_{bb} = \frac{Massa_{piknometer+bb} - Massa_{piknometer}}{Volume_{piknometer}} \dots \quad (3.2)$$

Tabel 3. 2 Kondisi Instrumen GC-MS

Inlets	
Jumlah Suntikan	1 μ L
Suhu	250°C
Tekanan	15,26 Psi
Ratio	100 : 1
Oven	
Suhu Awal	50°C
Suhu Akhir	250°C
<i>Hold Time</i>	1,8 menit
Laju	5°C/menit
Kolom	
Gas	Helium
Aliran Gas	0,51 mL/menit

3.4.3 Penentuan Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair

Sampel produk berupa campuran bahan bakar cair dituangkan ke dalam cawan penguap. Termometer dipasang di atas cawan penguap hingga menyentuh bahan bakar cair. Sumber api diperoleh dari pemantik api yang dipantik secara terus menerus pada permukaan sampel. Suhu yang tercatat merupakan suhu yang terbaca pada termometer saat terjadi nyala pertama setelah diberikan sumber api.

3.4.4 Penentuan Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair

Penentuan nilai kalor campuran bahan bakar cair menggunakan bom kalorimeter. Sebanyak 1,1 gram campuran bahan bakar cair dimasukkan 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.

3.5 Uji RON dan Performa Campuran Bahan Bakar Cair

Pengujian performa campuran bahan bakar cair ini dilakukan menggunakan mesin *Generator Set* (Gen Set) untuk mengetahui nilai efisiensi dari campuran bahan bakar cair terhadap pembebanan yang dihasilkan selama proses pembakaran dalam mesin. Pengujian dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Departemen Teknik Mesin Industri ITS.

Pengujian Research Octane Number (RON) campuran bahan bakar cair ini dilakukan menggunakan *Octane Meter* untuk mengetahui standar pengukuran dari performa mesin dan kualitas bahan bakar. Pengujian dilakukan di Laboratorium Energi LPPM ITS.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

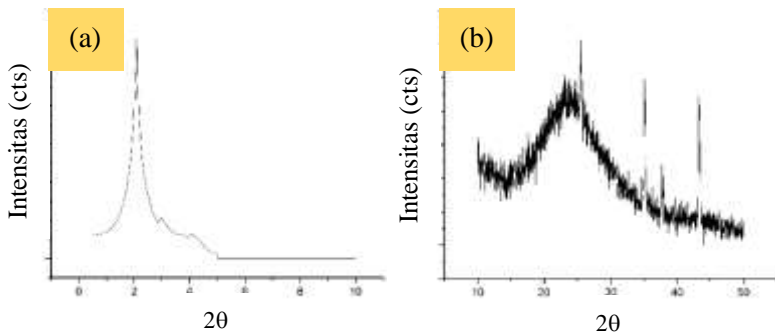
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Karakterisasi Katalis

4.1.1 Hasil Karakterisasi XRD

Pada SAXRD puncak pada $2\theta = 0,5^\circ - 4,9^\circ$ merupakan puncak khas yang diperoleh dari penelitian Juwono, dkk., (2017b) yang digabungkan dengan XRD Al-MCM-41 : keramik pada $2\theta 5^\circ - 10^\circ$. Puncak yang didapatkan terlihat turun dari puncak sebelumnya, sehingga penggabungan dua XRD ini cocok apabila disatukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.

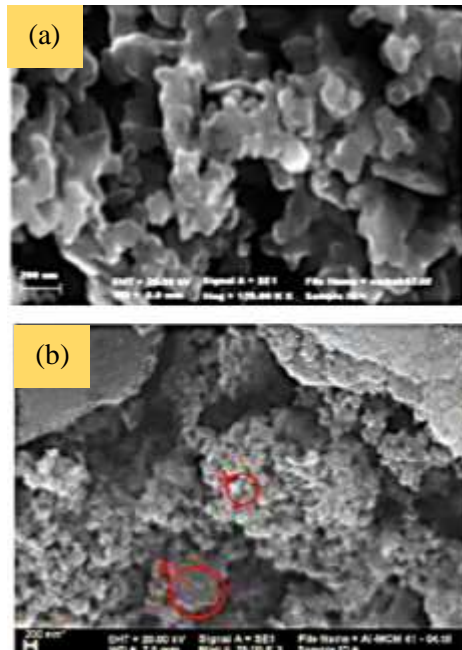
Jika digabungkan, puncak Al-MCM-41 tetap ada, sehingga tidak merusak struktur heksagonal Al-MCM-41 akibat adanya keramik. Pada 2θ di atas $22,5^\circ$ terlihat puncak alami dari silika. Pada $2\theta = 25,5797^\circ$ seperti ditunjukkan pada nomor 1 di Gambar 4.10 (b) merupakan puncak kristal khas dari Al yang bergeser pada rentang 2θ di atas 20° . Pada $2\theta = 35,0866^\circ$; $37,7459^\circ$; $43,2584^\circ$ seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1 (b) merupakan puncak kristal khas dari keramik. Hal ini menunjukkan bahwa katalis Al-MCM-41/Keramik tidak mengubah struktur kristal dari Al-MCM-41 maupun keramik.



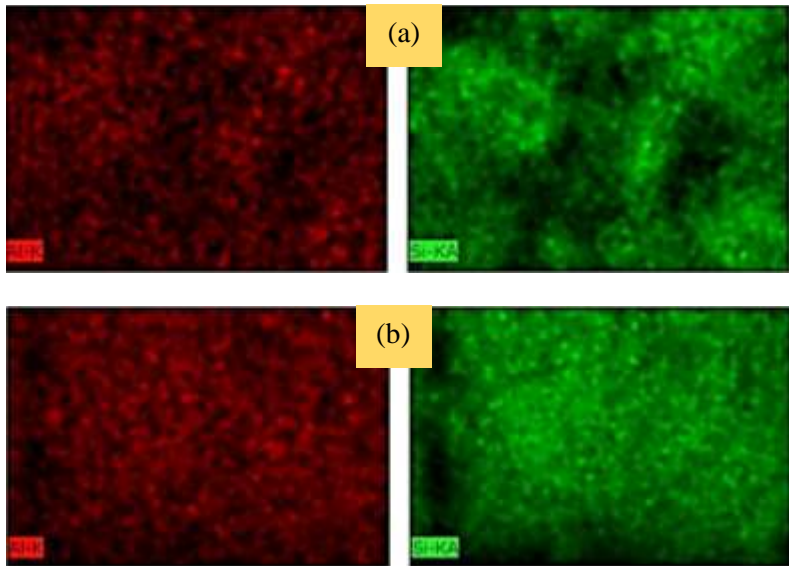
Gambar 4. 1 (a) SAXRD Al-MCM-41 dengan Al-MCM-41 : Keramik (b) WAXRD Al-MCM-41 : keramik

4.1.2 Hasil Karakterisasi SEM-EDX

Pada mikrogram SEM, terlihat Al-MCM-41 menempel pada permukaan keramik. Penampakan Al-MCM-41 ditunjukkan pada titik A di Gambar 4.2 (b) dan penampakan keramik ditunjukkan pada titik B di Gambar 4.2 (b). Pada Al-MCM-41 murni, terlihat permukaan yang halus berupa aglomerasi dari padatan dengan struktur heksagonal, sedangkan pada variasi Al-MCM-41/Keramik, terdapat partikel-partikel halus dengan struktur heksagonal dari Al-MCM-41 menempel pada permukaan keramik yang berfungsi sebagai padatan pendukung.



Gambar 4. 2 (a) SEM Al-MCM-41 (b) SEM Al-MCM-41/Keramik



Gambar 4. 3 (a) EDX Al-MCM-41 (b) EDX Al-MCM-41/Keramik

Hasil analisis EDX memberikan informasi mengenai kelimpahan komposisi katalis tersebut diperlihatkan dalam Tabel 4.1. Dari hasil karakterisasi diketahui bahwa unsur pembentuk dari katalis Al-MCM-41 dengan komposisi kimia yang paling tinggi adalah atom O sebesar 49,18 %berat dan karbon sebesar 47,92 %berat. Atom silika sebesar 2,62 %berat, dan unsur-unsur kimia lain dalam jumlah tidak lebih dari 1 %berat yakni aluminium dan nitrogen. Sedangkan, hasil yang diperoleh untuk katalis Al-MCM-41/Keramik, unsur tertingginya adalah atom O sebesar 68,90 %berat, karbon sebesar 20,21 %berat, silika sebesar 10,16 %berat dan unsur kimia yang lain dalam jumlah tidak lebih dari 1 %berat yakni aluminium dan nitrogen.

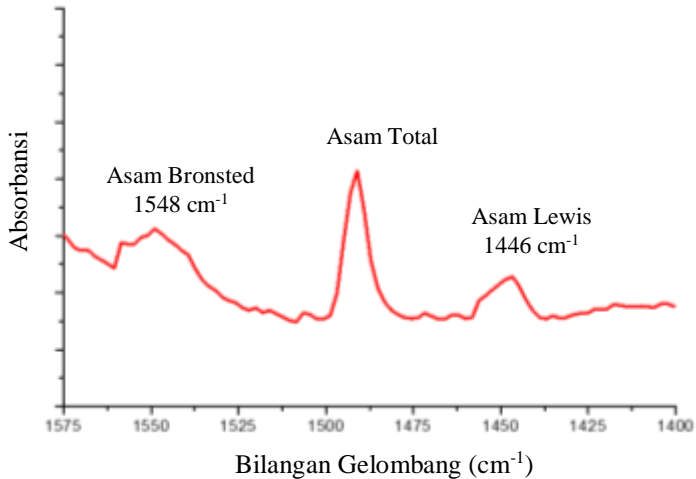
Penambahan keramik dapat meningkatkan komposisi silika dan aluminium (Juwono dkk., 2017b). Bertambahnya komposisi kedua logam tersebut dapat digunakan untuk selektivitas katalis. Katalis dengan selektivitas tinggi dibutuhkan untuk proses reaksi perengkahan katalitik yang memiliki produk lebih dari satu dan produk samping (Lin dkk., 1997).

Tabel 4. 1 Data Analisis SEM-EDX

Katalis Al-MCM-41		Katalis Al-MCM-41/Keramik	
Atom	Persen Berat (%berat)	Atom	Persen Berat (%berat)
Oksigen	49,18	Oksigen	68,90
Karbon	47,92	Karbon	20,21
Silika	2,62	Silika	10,16
Aluminium	0,27	Aluminium	0,73
Nitrogen	0	Nitrogen	0

4.1.3 Hasil Karakterisasi FTIR-Piridin

Analisis FTIR dengan senyawa piridin digunakan untuk menentukan keasaman permukaan katalis Al-MCM-41/Keramik . Spektrum yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 dengan data perhitungan keasaman pada Tabel 4.2 yang menunjukkan interaksi antara senyawa piridin dengan sisi aktif katalis Al-MCM-41/Keramik pada bilangan gelombang 1.533-1.558 cm^{-1} menunjukkan sisi aktif asam Bronsted dengan jumlah 0,0311 mmol/g. Sementara pada bilangan gelombang 1.431-1.460 cm^{-1} dengan jumlah 0,0342 mmol/g menunjukkan interaksi antara senyawa piridin dengan sisi aktif Al-MCM-41/Keramik yang bersifat asam Lewis (Juwono dkk., 2017).



Gambar 4. 4 Spektra Piridin-FTIR Katalis Al-MCM-41/Keramik

Sisi asam Bronsted berperan lebih besar dalam perengkahan katalitik (Windarti dan Suseno, 2004). Keasaman zeolit dapat bertambah akibat kenaikan rasio Si/Al yang dapat dihubungkan dengan data EDX pada Tabel 4.1.

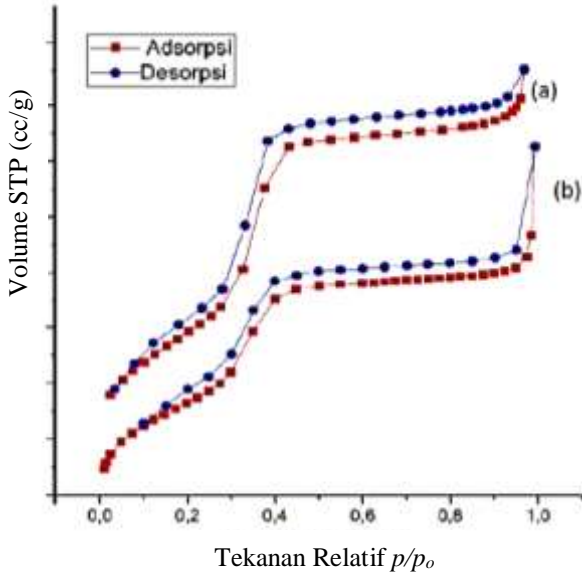
Tabel 4. 2 Perhitungan Keasaman Katalis Al-MCM-41/Keramik

Jenis Asam	Bil. Gelombang (cm ⁻¹)	Jumlah Asam (mmol/g)
Lewis	1437-1454	0,0342
Bronsted	1537-1554	0,0311

4.1.4 Hasil Karakterisasi Adsorpsi-Desorpsi N₂

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa grafik isotherm dari campuran Al-MCM-41/Keramik. Katalis Al-MCM-41/Keramik tidak merubah sifat khas dari Al-MCM-41. Hasil BET juga

diperoleh informasi bahwa luas permukaan katalis Al-MCM-41/Keramik meningkat daripada Al-MCM-41 murni yang disintesis oleh Juwono dkk., (2017). Hal ini menunjukkan bahwa penambahan keramik dapat meningkatkan luas permukaan Al-MCM-41.



Gambar 4. 5 (a) Grafik isotherm Al-MCM-41 referensi (b) Grafik isotherm 5Al-MCM-41/Keramik

Luas permukaan katalis Al-MCM-41/Keramik dibandingkan dengan katalis Al-MCM-41 pada penelitian Juwono dkk., (2017), didapatkan bahwa luas permukaan meningkat karena bertambahnya luas permukaan dari keramik seperti Tabel 4.3. Volume pori dan radius rata-rata mengalami kenaikan akibat dari pencampuran dengan keramik karena tarikan dari keramik terhadap katalis Al-MCM-41.

Tabel 4. 3 Data Analisis Uji Adsorpsi Desorpsi Nitrogen

No.	Katalis	Luas Permukaan (m ² /kg)	Volume Pori (cc/g)	Pori Rata- rata Radi (Å)
1.	Al-MCM-41	419,93	0,50	15,12
2.	Al-MCM-41/Keramik	490,665	0,546	22,22

4.2 Produksi Bahan Bakar Cair

Pada penelitian ini, dilakukan perengkahan limbah polistirena dan minyak jelantah yang diolah menjadi bahan bakar cair dengan kandungan fraksi hidrokarbon menyerupai gasolin. Proses perengkahan dibantu dengan katalis Al-MCM-41/Keramik dengan tipe pori mesopori untuk memperoleh produk BBC dengan kualitas, kuantitas, dan selektifitas yang tinggi. Produksi BBC ini perlu diteliti sebab fraksi hidrokarbon dan performa BBC memiliki dampak pada efisiensi BBC yang diharapkan dapat menggantikan bahan bakar komersil jenis premium. Untuk mengetahui komposisi yang menghasilkan BBC dengan jumlah lebih banyak serta sesuai spesifikasi dari BBC gasolin, dilakukan variasi komposisi terhadap minyak limbah polistirena dan ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung pada proses perengkahan. Hasil perengkahan campuran bahan bakar cair dengan premium dan MTBE diuji fisik berupa titik nyala, densitas, RON, dan kalor untuk mengetahui komposisi campuran BBC tersebut sesuai dengan SNI-06-3506-1994 seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Analisis *Gas Chromatography – Mass Spectrometer* (GC-MS) dilakukan untuk mengetahui komponen penyusun pada bahan bakar cair (BBC) yang dihasilkan. Apabila karakteristik fisik bahan bakar cair (BBC) serupa, komponen yang dihasilkan memenuhi spesifikasi dari bahan bakar jenis Premium, serta permorma yang

lebih baik dari bahan bakar cair (BBC) daripada Premium terhadap mesin gasolin maka hasil dari bahan bakar cair ini dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pengganti bahan bakar jenis premium serta mengatasi masalah pengolahan limbah polistirena.

4.2.1 Sintesis Bahan Bakar Cair

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini berupa limbah polistirena foam (*styrofoam*). Limbah polistirena berupa *styrofoam* yang merupakan limbah yang banyak ditemukan sebagai tambahan keamanan barang rumah tangga pecah belah yang praktis dan murah. *Styrofoam* yang digunakan dalam penelitian ini adalah gabus dengan ukuran 1 M x 2 M x 2 M dari tempat pembuangan sampah Departemen Kimia ITS yang ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Polistirena Foam (*Styrofoam*)

Styrofoam yang digunakan berwarna putih, padatan, dan ringan. *Styrofoam* dikumpulkan dari tempat pembuangan akhir (TPA) Departemen Kimia ITS. Ukuran styrofoam yang didapatkan beragam dan dilakukan pencacahan secara manual. Rata-rata cacahan *styrofoam* berukuran rata-rata 2-5 cm². *Styrofoam* dibentuk menjadi cacahan agar memperkecil ukuran limbah sehingga dapat masuk ke reaktor dengan mudah dan mempermudah reaksi perengkahan plastik. Cacahan plastik

ditimbang rata-rata 15-17 gram kemudian dimasukkan ke gelas beaker 250 mL. Gelas beaker tersebut dipanaskan dengan pemanas listrik dan ditunggu hingga leleh. Apabila *styrofoam* sudah leleh ditekan hingga membentuk lempengan yang ditunjukkan pada Gambar 4.7. Ditunggu lempengan hingga dingin, kemudian diambil dan ditimbang. Pada penelitian ini dilakukan pengolahan plastik menjadi bahan bakar cair dengan perengkahan pertama tanpa katalis. Konversi awal yang dilakukan menggunakan perengkahan termal. Sintesis bahan bakar minyak plastik dilakukan dalam reaktor jenis *continuous reactor*.



Gambar 4. 7 Lempengan Limbah Plastik Styrofoam

Perengkahan katalitik limbah plastik dilakukan dalam reaktor tertutup. Pada reaktor ini terdapat bagian utama yakni tabung reaktor, konektor, kondensor, dan penampung minyak. Tabung reaktor berkapasitas 2 L digunakan sebagai tempat terjadinya proses pirolisis atau perengkahan. Konektor digunakan sebagai penghubung tabung reaktor dengan kondensor. Kondensor berfungsi sebagai perubah fasa gas ke fasa cair dengan temperatur rendah. Labu penampung berfungsi untuk menampung hasil sintesis bahan bakar cair dari plastik. Konektor diletakkan pada atas reaktor sehingga gas hasil perengkahan dapat mengalir dengan

mudah menuju kondensor untuk mengalami perubahan fase gas menjadi fase cair. Hasil kondensasi berupa cairan akan tertampung yang terletak di bawah kondensor.

Sintesis bahan bakar cair dilakukan dengan prinsip destilasi. Sebanyak 1100 gram sampel limbah PS cacahan dimasukkan ke dalam tabung reaktor. Konektor disusun sedemikian rupa hingga melekat pada sisi atas chamber reaktor. Reaktor dipanaskan hingga mencapai temperatur 270 °C dengan total proses reaksi selama 120 menit. Sampel dikonversi menjadi gas dan dialirkan menuju kondensor melalui konektor. Hasilnya dikondensasi menjadi bahan bakar cair. Bahan bakar cair ditampung dalam penampung minyak yang berada di bagian bawah sistem. Pada satu kali reaksi perengkahan plastik dalam waktu 120 menit didapatkan sekitar 1000 mL bahan bakar cair minyak plastik. Produk minyak plastik ditunjukkan pada Gambar 4.8. Minyak plastik yang didapatkan berupa cairan kuning jernih yang dapat menyala pada suhu ruang.



Gambar 4. 8 Hidrokarbon tahap 1 hasil perengkahan termal plastik PS

4.2.2 Sintesis Biodiesel Minyak Jelantah Melalui Metode Transesterifikasi

Sintesis biodiesel minyak jelantah digunakan metode transesterifikasi dengan bantuan katalis basa yaitu NaOH. Transesterifikasi bertujuan untuk mengubah trigliserida menjadi metil ester. Minyak jelantah dipreparasi terlebih dahulu meliputi penyaringan dan pemanasan. Penyaringan bertujuan untuk memisahkan minyak jelantah dari pengotor dan residu. Minyak jelantah yang telah disaring kemudian dipanaskan dengan tujuan untuk menghilangkan air.

Pembuatan larutan metoksi bertujuan untuk membentuk ion alkoksida sebagai nukleofilik untuk menyerang ikatan karbonil yang terdapat pada trigliserida di minyak. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan biodiesel yaitu minyak jelantah dicampurkan pada larutan metoksi dalam labu leher tiga, direfluks pada suhu 65°C selama 60 menit dengan kecepatan pengadukan 800 rpm. Gambar 4.9 merupakan rangkaian alat refluks sintesis biodiesel dari minyak jelantah.



Gambar 4. 9 Rangkaian refluks sintesis biodiesel

Setelah proses refluks selesai, campuran dipindahkan ke corong pisah untuk memisahkan fasa yang terbentuk. Gambar 4.10 merupakan gambar fasa yang terpisah pada corong pisah. Fasa atas merupakan lapisan metil ester dimana biodiesel terbentuk dan fasa bawah merupakan lapisan gliserol. Adanya pembentukan lapisan dikarenakan perbedaan massa jenis antara biodiesel (0,850-0,890 g/mL) dan gliserol (1,260 g/mL).

Biodiesel yang sudah dipisahkan, kemudian dicuci dengan air hangat hingga warna air tidak keruh kembali. Pencucian berfungsi mencegah presipitasi metil ester jenuh dan pembentukan emulsi. Biodiesel di evaporasi untuk menghilangkan pelarut lain dan diperoleh biodiesel yang murni. Biodiesel yang terbentuk berwarna kuning jernih memiliki karakteristik fisik berupa densitas 0,886 g/mL, viskositas kinematik 4,357 cSt, titik nyala 130°C yang sesuai dengan SNI 04-7182-2006 (Rukmini, 2007).



Gambar 4. 10 Pemisahan biodiesel dan gliserol

4.2.3 Sintesis Bahan Bakar Cair Plastik Ko-reaktan Biodiesel Minyak Jelantah

Sampel yang digunakan sintesis BBC berupa limbah polistirena dan biodiesel minyak jelantah. Reaktan yang digunakan pada percobaan ini adalah variasi komposisi limbah polistirena dengan metil ester dari hasil transesterifikasi minyak jelantah.

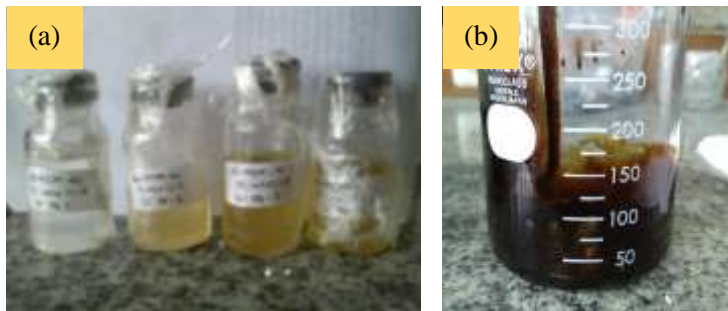
Pada penelitian ini digunakan metode perengkahan katalitik dengan katalis Al-MCM-41. Al-MCM-41 diperoleh dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Juwono dkk (2013). Katalis Al-MCM-41 berupa serbuk halus berwarna putih. Katalis Al-MCM-41/Keramik ditunjukkan pada Gambar 4.10 (a). Keramik berfungsi sebagai material pendukung untuk meningkatkan kinerja proses perengkahan katalitik. Katalis Al-MCM-41/Keramik dibentuk menjadi butir *pellet* dengan massa total 9 gram seperti ditunjukkan pada Gambar 4.11 (b). Kinerja katalis lebih maksimal dengan bentuk *pellet* yang tidak terlalu padat dan rapat sehingga reaktan dan katalis dapat berinteraksi dengan baik.

Perengkahan katalitik plastik polistirena dan biodiesel minyak jelantah dilakukan dalam reaktor tertutup dimana reaktor yang digunakan adalah *continuous reactor*. Tabung reaktor berkapasitas 2 L digunakan sebagai tempat terjadinya proses pirolisis atau perengkahan. Reaktan, berupa campuran dari plastik dengan biodiesel minyak jelantah dimasukkan pada tabung reaktor. Gas nitrogen dialirkan pada tabung reaktor untuk menghilangkan gas oksigen yang ada pada sistem reaktor sehingga menekan pengotor gas oksigen pada bahan bakar cair yang dihasilkan.



Gambar 4. 11 (a) Katalis Al-MCM-41/Keramik (b) Pellet katalis Al-MCM-41/Keramik

Pemanasan dilakukan pada suhu 300 °C dengan waktu reaksi selama 120 menit. Pemanasan pada tabung reaktor menyebabkan gerakan antar atom dalam senyawa semakin cepat sehingga ikatan polimer akan mengalami pemutusan. Pemanasan ini akan mengubah fase plastik dari padat menjadi gas. Selanjutnya gas yang terbentuk akibat pemanasan akan mengalir menuju kondensor sedangkan fraksi yang lebih berat akan tetap berada pada tabung reaktor. Terbentuknya produk yang berbeda ini menunjukkan perbedaan fraksi pada produk hasil perengkahan. Fraksi yang berat akan tetap berada pada tabung reaktor menjadi kokas sedangkan fraksi ringan akan menekan ke segala arah salah satunya menuju ke kondensor. Penyusunan katalis disusun dengan komposisi bertingkat yang terdiri dari urutan *glass wool*, katalis, *glass wool*, katalis dan *glass wool*. *Glass wool* digunakan sebagai penahan agar katalis tidak bergerak dari *tubular reactor*. *Glass wool* sendiri memiliki sifat isolator panas sehingga tahan terhadap suhu tinggi pada rangkaian reaktor.



Gambar 4. 12 (a) Produk bahan bakar cair (b) Kokas

Pengisian *glass wool* tidak dimampatkan agar masih menyisakan ruang untuk gas hasil perengkahan plastik, kemudian masuk pada kondensor. Pada perengkahan katalitik terjadi pemutusan ikatan karbon beta pada reaktan fase gas berupa fraksi ringan hasil perengkahan dari tabung reaktor dengan berikatannya pada sisi aktif katalis Al-MCM-41. Hasil kondensasi berupa cairan akan tertampung di dalam penampung minyak yang terletak di bawah kondensor. Produk hasil perengkahan katalitik dan kokas masing – masing variasi ditunjukkan pada Gambar 4.12 (a) dan (b).

Hasil BBC yang didapatkan bertambah seiring naiknya komposisi ko-reaktan biodiesel minyak jelantah yang paling baik berada pada komposisi P57. Penurunan volume bahan bakar cair hasil perengkahan limbah PS dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dapat dilihat pada Tabel 4.4. Penurunan ini disebabkan terbentuknya fraksi hidrokarbon yang lebih ringan ($<C_7$) yang lebih besar untuk variasi *feedstock* P50, sehingga jumlah bahan bakar cair yang dihasilkan menurun. Pada komposisi ko-reaktan di atas 50% terbentuk fraksi hidrokarbon yang lebih berat, sehingga jumlah BBC yang didapatkan meningkat. Kokas yang dihasilkan variatif dikarenakan sistem reaktor yang memungkinkan menghambat fraksi hidrokarbon ringan hasil perengkahan termal sulit menembus kondensor sehingga fraksi yang ringan dapat

kembali lagi menuju tabung reaktor. Menurut penelitian dari Zhang, dkk., (2016) komposisi biomassa yang lebih dominan pada perengkahan ko-reaktan dapat meningkatkan jumlah kokas yang dihasilkan serta menurunkan bahan bakar cair yang dihasilkan.

Tabel 4. 4 Volume campuran BBC dan kokas hasil perengkahan limbah plastik PS dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah

Jenis	Volume BBC (mL)	Prosentase BBC (%)	Volume kokas (mL)	Prosentase kokas (%)
P50	646	64,6	234	23,4
P57	804	80,4	71	7,1
P67	716	71,6	159	15,9

4.3 Hasil Perengkahan Katalitik Hidrokarbon Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan katalitik dikarakterisasi dengan instrumen GC-MS-QP2010S SHIMADZU. Berdasarkan hasil analisa, BBC hasil perengkahan katalitik minyak limbah PS dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah pada berbagai variasi persen komposisi tidak hanya menghasilkan fraksi gasolin (C_8-C_{12}) saja namun juga menghasilkan fraksi hidrokarbon lain yaitu hidrokarbon rantai pendek ($<C_7$) dan rantai panjang ($>C_{12}$). Kromatogram bahan bakar cair hasil perengkahan semua variasi dapat dilihat lengkap pada lampiran.

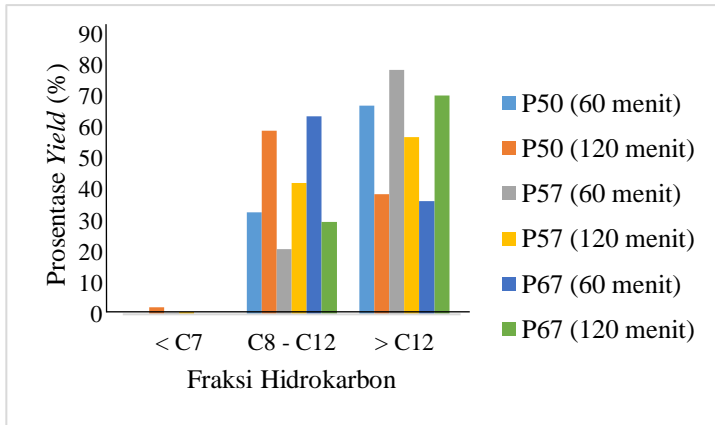
Pengambilan sampel untuk analisis GC-MS dilakukan modifikasi campuran bahan bakar saat perengkahan katalitik 60 menit dan 120 menit. *Yield* bahan bakar cair (BBC) pada Tabel 4.5 menunjukkan bahwa terjadi kenaikan fraksi gasolin ($C_8 - C_{12}$) dan fraksi hidrokarbon rantai pendek ($>C_7$) seiring penambahan waktu perengkahan dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah pada berbagai variasi. Terjadi penurunan fraksi gasolin ($C_8 - C_{12}$) untuk

variasi P67 seiring penambahan waktu perengkahan. Hal ini dimungkinkan karena reaksi antara gas hasil perengkahan plastik PS dengan biodiesel jelantah yang lebih rendah sehingga kecenderungan reaksi menjadi jenuh seiring penambahan waktu perengkahan terdorong lebih kuat membentuk fraksi hidrokarbon rantai panjang.

Tabel 4. 5 % *Yield* hidrokarbon hasil perengkahan katalitik

Feedstock	Waktu	% <i>Yield</i>		
		<C ₇	C ₈ -C ₁₂	>C ₁₂
P50	60 menit	0	32,86	67,14
	120 menit	2,32	59,1	38,58
P57	60 menit	0,48	20,99	78,53
	120 menit	0,77	42,19	57,04
P67	60 menit	0	63,61	36,39
	120 menit	0	29,68	70,32

Komposisi hidrokarbon penyusun bahan bakar cair pada setiap variasi pada Gambar 4.13 menunjukkan bahwa variasi komposisi plastik PS dengan ko-reaktan jelantah memiliki *range* hidrokarbon yang khas, sehingga dapat disesuaikan dengan produk yang diinginkan berupa fraksi hidrokarbon rantai pendek, fraksi bensin, atau fraksi hidrokarbon rantai panjang. Pada perengkahan katalitik yang dilakukan, semakin bertambahnya waktu perengkahan akan mengurangi komposisi fraksi hidrokarbon rantai panjang (>C₁₂).



Gambar 4. 13 Fraksi hidrokarbon pada setiap variasi

4.4 Hasil Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair

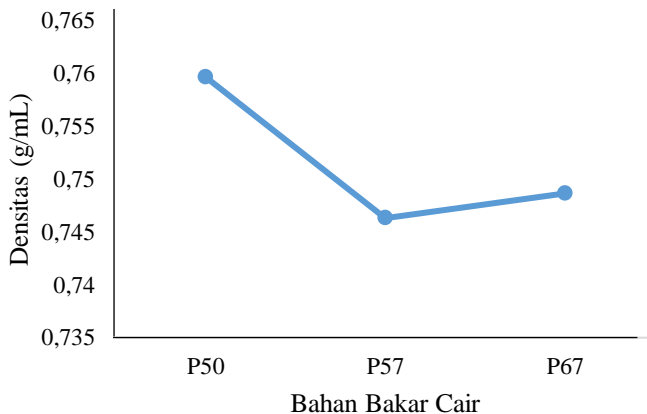
Terdapat beberapa parameter pengujian bahan bakar hidrokarbon cair, antara lain: analisis dengan menggunakan densitas, nilai kalor, dan titik nyala.

4.4.1 Densitas Campuran Bahan Bakar Cair

Densitas atau massa jenis suatu sampel menunjukkan perbandingan antara massa persatuan volume. Densitas satu zat akan berbeda dengan zat yang lainnya. Pengujian densitas produk bahan bakar cair dalam penelitian ini penting untuk mengetahui pengaruhnya terhadap karakteristik pembakaran ataupun hubungannya dengan keefektifan katalis terhadap perengkahan limbah plastik PS. Penentuan densitas bahan bakar cair dapat dilakukan dengan piknometer. Piknometer kosong yang telah tercatat volume serta tertimbang massanya diisi dengan sampel bahan bakar cair hingga penuh kemudian ditimbang kembali massanya. Densitas sampel bahan bakar cair diperoleh dari perbandingan massa sampel (diperoleh dari selisih massa piknometer terisi dan piknometer kosong) terhadap volume

piknometer. Penentuan densitas bahan bakar cair dilakukan pada Temperatur 15°C. Campuran bahan bakar cair (CBBC) dilakukan perlakuan yang sama untuk mengetahui densitasnya.

Densitas campuran bahan bakar cair dengan volume total 1000 mL memiliki komposisi 225 mL bahan bakar cair, 750 mL bahan bakar premium dan 18,375 mL MTBE. Hasil penentuan densitas bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan dengan variasi % volume reaktan plastik dan ko-reaktan minyak jelantah pada Gambar 4.14, menunjukkan bahwa densitas pada perbandingan Plastik : Jelantah (50%:50%) memiliki densitas yang paling besar yaitu pada 0,759 g/mL. Densitas plastik 57% merupakan densitas terendah yang dihasilkan dari variasi ko-reaktan sebesar 0,746 g/mL. Terjadi peningkatan untuk variasi Plastik : Jelantah (67%:33%) yang memiliki densitas 0,748 g/mL.



Gambar 4. 14 Densitas Produk Bahan Bakar Cair

Hal ini menunjukkan hidrokarbon rantai $> C_{12}$ berkontribusi secara dominan dalam penentuan densitas bahan bakar cair dikarenakan, hidrokarbon $> C_{12}$ merupakan fraksi utama dari

produk BBC yang dihasilkan. Semakin meningkat senyawa hidrokarbon $> C_{12}$ semakin rendah densitasnya. BBC dengan densitas rendah menunjukkan hasil perengkahan yang lebih baik.

Seluruh campuran bahan bakar cair produk penelitian ini telah memenuhi kriteria berdasarkan SNI 06-3506-1994 tentang bahan bakar minyak jenis Premium yang menyatakan bahwa densitas bahan bakar minyak yang diizinkan untuk dipasarkan kepada masyarakat minimal sebesar 0,715 g/mL dan maksimal sebesar 0,770 g/mL pada pengukuran suhu 15°C karena masih berada pada range densitas yang diperbolehkan.

4.4.2 Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair

Nilai kalor bahan bakar menyatakan energi berupa yang dihasilkan atau dilepaskan bahan bakar saat terbakar. Data nilai kalor suatu bahan bakar dapat digunakan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan suatu mesin dalam suatu periode pemakaian. Penentuan kalor pembakaran bahan bakar cair dilakukan dengan bom kalorimeter. Nilai kalor diukur menggunakan instrumen bomb kalorimeter IKA C200. Hasil pengukuran nilai kalor bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan plastik dengan ko-reaktan minyak jelantah dan campuran bahan bakar cair (BBC) ditunjukkan pada Gambar 4.15.

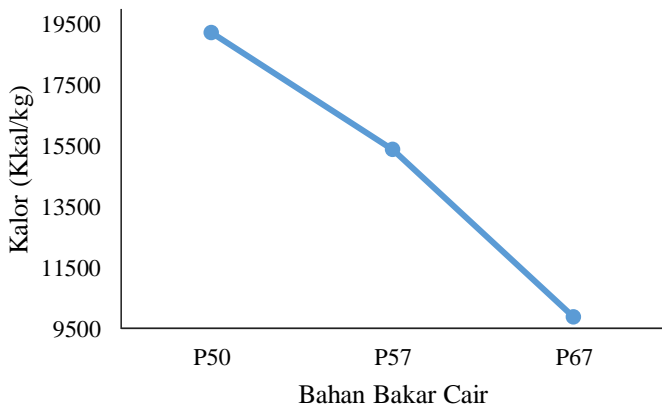
Hasil kalor campuran bahan bakar cair perengkahan Plastik : Jelantah (50%:50%) menunjukkan nilai kalor tertinggi yaitu 19226,473 Kkal/kg. Nilai kalor plastik 67% merupakan nilai kalor terendah sebesar 9875,144 Kkal/kg. Terjadi peningkatan untuk variasi Plastik : Jelantah (57%:43%) yang memiliki nilai kalor 15380,126 Kkal/kg.

Semakin besar komposisi ko-reaktan dalam *feedstock* mengakibatkan hasil bahan bakar cair mempunyai nilai kalor yang semakin menurun, dikarenakan perengkahan lebih mudah terjadi pada polistirena dibandingkan dengan iodiesel minyak jelantah, sehingga produk akhir yang dihasilkan mengalami peningkatan komposisi senyawa hidrokarbon rantai pendek. Semakin

meningkat komposisi senyawa hidrokarbon rantai pendek $< C_7$, semakin besar pula nilai kalornya.

Penambahan aditif MTBE dapat meningkatkan nilai kalor pada bahan bakar cair dikarenakan meningkatnya jumlah kandungan oksigen dalam bahan bakar cair, sehingga dapat berpengaruh pada efisiensi pembakaran BBC untuk mesin gasolin (Cataluna dkk., 2011). Penelitian yang telah dilakukan Jeevakrishnan, dkk., (2017), penambahan MTBE pada mesin gasolin meningkatkan % efisiensi termal sebesar 3,0%.

Bahan bakar pada umumnya harus memenuhi batas minimal kalor sesuai dengan standar yang berlaku salah satunya standar ASTM D 4809-13/IP 12 tentang pengujian spesifikasi minyak mentah. Seluruh BBC hasil perengkahan telah memenuhi kriteria nilai kalor gasolin yang memiliki nilai kalor minimal sebesar 10.105,90 Kkal/kg.



Gambar 4. 15 Nilai Kalor Bahan Bakar Cair

4.4.3 Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair

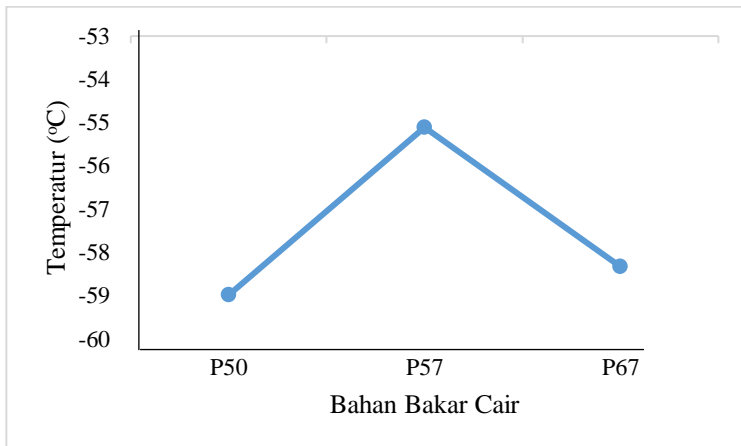
Titik nyala campuran bahan bakar cair dengan volume total 1000mL memiliki komposisi 225 mL bahan bakar cair, 750 mL bahan bakar premium dan 18,375 mL Metil Tersier Butil Eter (MTBE). Pengukuran titik nyala dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan premium dan MTBE terhadap bahan bakar cair perengkahan katalitik plastik PS dengan ko-reaktan minyak jelantah. Sampel produk berupa campuran bahan bakar cair dituangkan ke dalam cawan penguap. Termometer digital dipasang di atas cawan penguap hingga menyentuh bahan bakar cair. Sumber api dari pemantik api yang dinyalakan pada sampel. Suhu yang tercatat adalah suhu pada termometer saat terjadi nyala pertama setelah diberikan sumber api. Campuran bahan bakar cair akan dikondisikan pada suhu terendah menggunakan penangas es kering. Penangan es mampu mencatatkan suhu terendah hingga -60,0 °C.

Titik nyala pada masing - masing variasi komposisi % volume reaktan dan ko-reaktan ditunjukkan pada Gambar 4.16. Campuran bahan bakar cair Plastik 57% memiliki titik nyala tertinggi pada suhu -55,112 °C. Campuran bahan bakar cair Plastik 50% memiliki titik nyala terendah pada suhu -58,988 °C. Terjadi kenaikan pada campuran bahan bakar cair Plastik 67% menjadi -58,332 °C. Kenaikan dan penurunan temperatur titik nyala berkaitan dengan hasil perengkahan katalitik komposisi senyawa fraksi hidrokarbon yang terkandung.

Premium (RON 88) berpengaruh dalam penentuan titik nyala campuran bahan bakar cair. Telah diuji dengan thermometer digital titik nyala premium pada suhu -59,7 °C. Titik nyala campuran bahan bakar cair cenderung menurun dengan penambahan bahan bakar komersial seperti diesel (Atabani dan César, 2014). Hal ini berkaitan dengan pembentukan titik uap bahan bakar cair yang cukup kaya, sehingga dapat menimbulkan api apabila diberi percikan api. Aditif MTBE juga memiliki

pengaruh terhadap penurunan titik nyala dikarenakan memiliki titik nyala yang sangat rendah pada suhu $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Hal ini dapat terjadi berhubungan dengan komposisi utama BBC yang merupakan senyawa hidrokarbon $> \text{C}_{12}$. Semakin meningkatnya senyawa hidrokarbon $> \text{C}_{12}$, semakin tinggi titik nyala BBC. Semakin rendah titik nyala bahan bakar, maka semakin mudah terbakar. Nilai titik nyala yang terlalu rendah dapat menyebabkan timbulnya detonasi berupa ledakan-ledakan kecil yang terjadi sebelum bahan bakar masuk ke dalam ruang pembakaran. Sebaliknya, semakin tinggi titik nyala bahan bakar, maka semakin susah untuk terbakar. Bahan bakar dengan titik nyala tinggi semakin aman dalam penggunaan dan penyimpanan karena tidak akan mudah terbakar pada temperatur kamar. Namun, apabila titik nyala terlalu tinggi maka akan menyebabkan keterlambatan penyalaan apabila diterapkan dalam mesin.



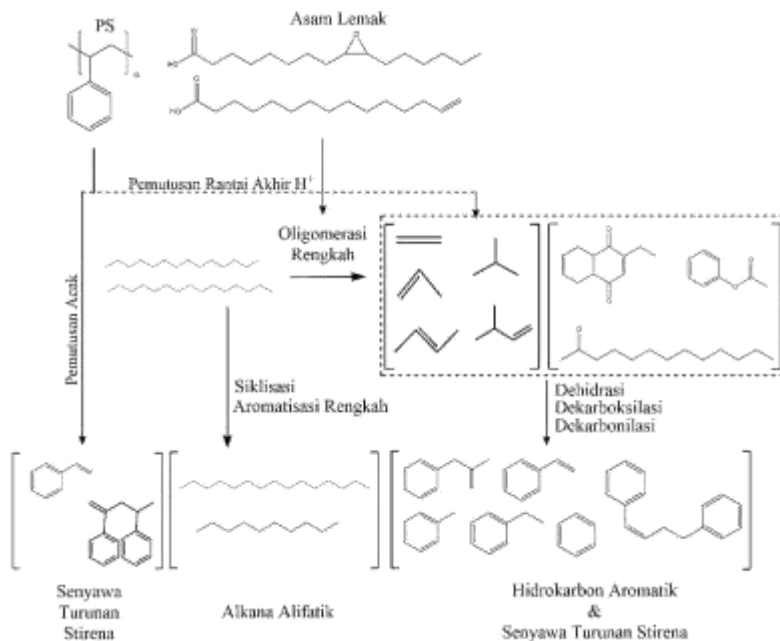
Gambar 4. 16 Titik nyala bahan bakar cair

4.4.4 Proses Perengkahan Katalitik

Perengkahan katalitik limbah PS mengubah beberapa senyawa fraksi berat menjadi fraksi ringan. Proses perengkahan bisa secara perengkahan termal dengan panas, atau secara katalitik dengan katalis asam untuk menurunkan energi aktivasi. Pada penelitian ini proses perengkahan terjadi secara katalitik. Pada penelitian ini sintesis bahan bakar hidrokarbon dengan katalis dipengaruhi oleh peran termal dan katalis secara bersamaan. Tahap pertama perengkahan termal adalah dekomposisi termal dari molekul hidrokarbon menjadi fragmen-fragmen bebas.

Katalis Al-MCM-41/Keramik digunakan untuk proses perengkahan katalitik pada penelitian ini. Proses ini akan membentuk senyawa intermediet berupa ion karbonium dan pemutusan pada posisi beta. Mekanisme perengkahan melalui ion karbonium akan menghasilkan berbagai macam produk akibat intermediet karbonium dari reaksi samping isomerisasi, aromatisasi, dan siklisasi (Sibarani, 2012).

Proses perengkahan katalitik polistirena terdiri dari dua rute utama, yaitu pemotongan acak dan pemotongan rantai akhir (Zhang dkk., 2016). Mekanisme pemotongan acak sebagian besar menghasilkan senyawa turunan stirena, sedangkan mekanisme pemotongan rantai akhir akan menghasilkan H_2 dan radikal bebas yang ditransformasikan menjadi hidrokarbon rantai panjang dan senyawa hidrokarbon aromatik. Hidrokarbon rantai panjang akan dihasilkan melalui reaksi dehidrasi, dekarbonilasi, dan dekarboksilasi (Sanahuja dkk. 2018). Kemungkinan reaksi pada proses perengkahan katalitik dijelaskan oleh Sanahuja dkk, (2018) tercantum pada Gambar 4.17.



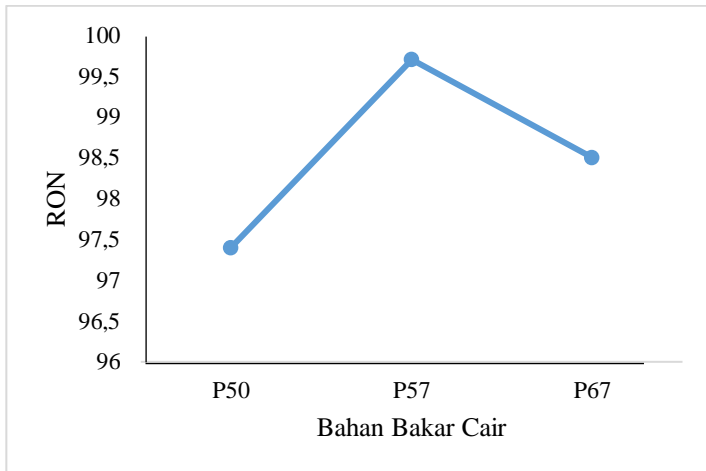
Gambar 4. 17 Kemungkinan reaksi perengkahan katalitik limbah plastik PS (Sanahuja dkk., 2018)

4.5 Uji RON Campuran Bahan Bakar Cair

RON campuran bahan bakar cair dengan volume total 1000mL memiliki komposisi 225 mL bahan bakar cair, 750 mL bahan bakar premium dan 18,375 mL MTBE. Bensin yang baik mempunyai nilai RON yang tinggi dan distribusi angka oktan yang homogen. RON ditentukan menggunakan *test engine* dengan variasi *compression ratio*. Semakin tinggi nilai oktan, semakin kecil hasil ledakan dini (*pre-ignition*).

Pengujian RON campuran bahan bakar cair ini dilakukan menggunakan *Octane Meter* untuk mengetahui standar

pengukuran dari performa mesin dan kualitas bahan bakar. Hasil pengujian RON dapat ditunjukkan pada Gambar 4.17. Data tersebut menunjukkan nilai RON terbesar ada pada variasi P57 sebesar 99,7. Terjadi penurunan 1,2 untuk variasi P67 menjadi 98,5. Sedangkan hasil terkecil ada pada P50 sebesar 97,4. Hal ini dapat berkaitan dengan komposisi utama BBC yang merupakan senyawa hidrokarbon $>C_{12}$. Semakin meningkatnya senyawa hidrokarbon $> C_{12}$, semakin tinggi pula nilai RON.



Gambar 4. 18 *Research Octane Number* (RON) bahan bakar cair

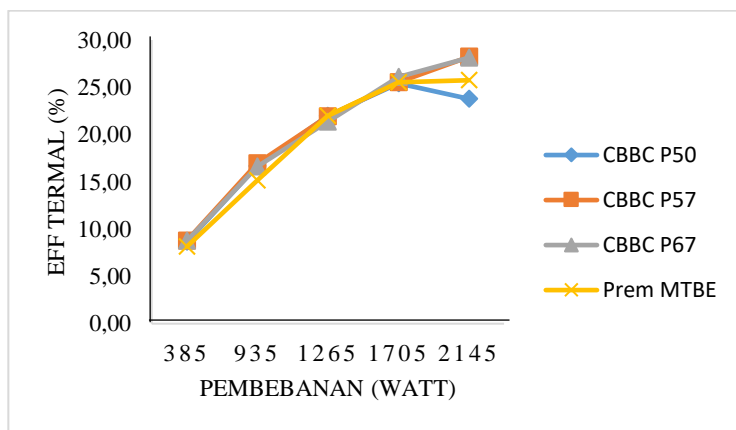
4.6 Performa Campuran Bahan Bakar Cair

Mesin generator set gasolin digunakan untuk mengukur parameter *brake thermal efficiency* (BTE) yang menyatakan konversi energi panas menjadi energi mekanik pada mesin gasoline. Karakteristik viskositas, densitas dan nilai kalor yang telah diketahui sebelumnya pada campuran bahan bakar cair sangat berpengaruh terhadap kinerja campuran bahan bakar cair.

Persen efisiensi termal campurannya bahan bakar cair semakin meningkat seiring dengan meningkatnya pembebanan (Watt) pada

mesin gasolin seperti ditunjukkan pada Gambar 4.19. Persen efisiensi termal premium RON 88 dan MTBE pada pembebanan 2145 Watt diketahui sebesar 25,75 %.

Campuran bahan bakar cair dengan variasi *feedstock* P57 memiliki efisiensi termal terbesar sebesar 28,22% pada pembebanan 2118 Watt. Namun, pada variasi P50, persen efisiensi termal campuran bahan bakar cair lebih rendah 1,95% daripada persen efisiensi termal variasi Premium dan MTBE pada pembebanan 2118 Watt. Peningkatan nilai persen efisiensi termal ini disebabkan oleh komposisi utama BBC yang merupakan senyawa hidrokarbon $> C_{12}$. Hasil persen efisiensi termal juga dipengaruhi oleh peningkatan nilai RON dari campuran bahan bakar cair tersebut. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Arisandi dkk. (2012), persen efisiensi termal campuran bahan bakar cair biodiesel dengan diesel dipengaruhi oleh RON. Semakin besar nilai RON, semakin besar efisiensi termal BBC. Hasil pengujian persen efisiensi termal menunjukkan bahwa campuran bahan bakar cair dapat digunakan sebagai alternatif menggantikan bahan bakar gasolin.



Gambar 4. 19 *Brake Thermal Efficiency* (BTE) bahan bakar cair

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian mengenai penentuan karakteristik dan performa BBC fraksi hidrokarbon ($>C_{12}$) hasil perengkahan katalitik biodiesel minyak jelantah dengan limbah polistirena, maka dapat disimpulkan % *yield* terbesar diperoleh pada variasi *feedstock* P57. Karakterisasi dan performa BBC yaitu densitas, titik nyala, nilai kalor, dan RON pada variasi tersebut menunjukkan nilai yang optimum. Berdasarkan penelitian ini seluruh variasi *feedstock* menghasilkan bahan bakar cair yang sesuai dengan SNI 06-3506-1994 tentang mutu bahan bakar minyak jenis bensin.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya diharapkan memperoleh produk perengkahan katalitik dengan fraksi hidrokarbon ($>C_{12}$) dengan performa pada mesin generator set gasolin perlu digunakan sumber *feedstock* yang lain.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Alfian, R., 2018, “Performa Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Limbah Plastik Polipropilena Dan Ko-Reaktan Biodiesel Minyak Jelantah Pada Mesin Gasolin Dengan Aditif Metil Tersier Butil Eter”, Surabaya : Skripsi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Antonakou, E, Lappas, A, Nilsen, M. H., Bouzga, A., dan Stocker, M., 2006, “Evaluation of various types of Al-MCM-41 materials as catalysts in biomass pyrolysis for the production of bio-fuels and chemicals Fuel”, *Biofuel Research Journal*, **85**:2202-2212.
- Arisandi, M., Darmanto, dan Priangkoso T., 2012, “Analisa Pengaruh Bahan Dasar Pelumas Terhadap Viskositas Pelumas dan Konsumsi Bahan Bakar”, *Jurnal Momentum*, **8**:56-61.
- Ashok, B., Nanthagopal, K., dan Vignesh, D. S., 2017, “Calophyllum Inophyllum Methyl Ester Biodiesel Blend as an Alternate Fuel for Diesel Engine Applications”, *Alexandria Engineering Journal*, **57**:1239-1247.
- Atabani, A. E dan César, A. S., 2014, “Calophyllum Inophyllum. – A Prospective Non-Edible Biodiesel Feedstock. Study of Biodiesel Production, Properties, Fatty Acid Composition, Blending and Engine Performance”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **37**:644–655.
- Atkins, P., dan Paula, J., 2010, “Physical Chemistry Ninth Edition”, New York : W.H. Freeman and Company.
- Bintarasari S. I., 2017, “Efisisensi Kinerja Perengkahan Katalitik Limbah Plastik Polipropilena (PP) Dengan Katalis Al-MCM-41”, Surabaya : Skripsi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Cataluña, R., Dalávia, D., Silva, R., Menezes, E., Venturi, V., dan Wagner, R., 2011, “Acceleration Tests Using Gasolines Formulated with di-TAE, TAEE and MTBE Ethers”, *Fuel*, **90**:992–996.

- Chao, Bownell, L.E., Young, E.H., dan Perry, R.H., 1982, "Catalytic Hydrogenation of Glucose to Produce Sorbitol", *US patent 4322569*.
- Corma, A., Kan, Q., Navarro, M., Pariente, J., dan Rey, F., 1997, "Synthesis of MCM-41 with Different Pore Diameters without Addition of Auxiliary Organics", *Chemical Material*, **9**:2123-2126.
- Endud, S., Hadi, N., dan Hamdan, H, 1998, "Probing The Active Sites of Aluminated Mesoporous Molecular Sieve MCM-41 by Secondary Synthesis in the Conversion of Cycloheksanol. Mesoporous Molecular Sieve", *Studies in Surface Science and Catalysis*, **117**:453-459.
- Garcia, R., Serrano, D., dan Otero, D., 2005, "Catalytic Cracking of HDPE Over Hybrid Zeolitic-Mesoporous Materials", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **74**:379-386.
- Gibson, L. T., 2014, "Mesosilica Materials and Organic Pollutant Adsorption: Part a Removal From Air", *Chemical Society Reviews*, **43**:5163-5172.
- Goldstein, J. I., Newbury, D. E., Echlin, P., Joy, D.C., Lyman, C. E., Lifshin, E., Sawyer, L. C., dan Michael, J.R., 2003, "Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis: A text for biologists, materials scientists, and geologists (3rd Ed.)", New York : Plenum Press.
- Harper, Charles A., 2003, "Plastics Materials and Processes: A Concise Encyclopedia", USA : John Wiley & Sons, Inc.
- Heydariaraghi, M., Ghorbanian, S., Hallajisani, A., dan Salehpour, A., 2016, "Fuel Properties of the Oils Produced from the Pyrolysis of Commonly-Used Polymers: Effect of Fractionating Column", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **121**:307-317.
- Hussain, S. Z., dan Maqbool, K., 2014, "GC-MS : Principle, Technique and its application in Food Science", *International Journal of Current Science*, **13**:116-126.

- Hutomo, S.G., 2013, “Pengaruh Pencampuran Minyak Tanah Dengan Berbagai Persentase Pada Proses Pembakaran Jelantah”, Yogyakarta : Skripsi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Janabadra Yogyakarta.
- Jeevakrishnan, S., Jegan, R., Saravanakumar, B., 2017, “Performance and Emission Analysis on Compression Ignition Engine Using MTBE and TBA”, *International Research Journal of Advance Engineering and Science*, **2**:31-35
- Juwono, H., Triyono, S., dan Wahyuni, E. T., 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*, **13**:171-175.
- Juwono, H., Triyono, T., Sutarno, S., Wahyuni, E.T., Harmami, H., Ulfen, I., dan Kurniawan, F, 2017, “Production of Hydrocarbon (C7-C20) from Hydrocracking of Fatty Acid Methyl Esters on Pd/Al-MCM-41 Catalyst”, *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, **12**:337–342.
- Juwono, H.; , Triyono S., Wahyuni, E.T.; Ulfen, I. dan Kurniawan, F., 2017b, “Production of Biodiesel from Seed Oil of Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) by Al-MCM-41 and Its Performance in Diesel Engine”, *Indonesian Journal of Chemistry*, **17**:316-321.
- Khalife, E., Tabatabaei, M., Demirbas, A., dan Aghbashlo, M., 2017, “Impacts of Additives on Performance and Emission Characteristics of Diesel Engines During Steady State Operation”, *Progress in Energy and Combustion Science*, **59**:32-78.
- Kemnitz, E., Zhu, Y. dan Adamczyk, B., 2002, “Enhanced Lewis Acidity by Aliovalent Cation Doping in Metal Fluorides”, *Journal of Fluorine Chemistry*, **114**:163-170.

- Kresge, C., Leonowicz, M., Roth, W., Vartuli, J., dan Beck, J. 1992, "Ordered Mesoporous Molecular Sieves Synthesized by a Liquid-Crystal Template Mechanism", *Nature*, **359**:710-712.
- Lamas, D. G., Neto, M. O., Kellermann, G. K., dan Craievich, A. F., 2017, "X-Ray Diffraction and Scattering by Nanomaterials", Sao Paulo : Matthew Deans.
- Larry D., dan Hanke P.E., 2001, "Handbook of Analytical Methods for Materials", Plymouth : Materials Evaluation and Engineering, Inc.
- Lin, R., dan White, R.L., 1997, "Acid-catalyzed cracking of polystyrene", *Journal of Applied Polymer Sciences*, **63**:1287-1298.
- Mao, R. L. V., Yan, H. T., Muntasar, A. dan Al-Yassir, N., 2013, "Hydrocarbon Feeds to Use in the Thermo-Catalytic Steam-Cracking Process for the Selective Production of Light Olefins", *New and Future Developments in Catalyst 1st Edition*, 143-173.
- Naik, S. P., Bui, V., Ryu, T., Miller, J. D., dan Zmierczak, W., 2010, "Al-MCM-41 as Methanol Dehydration Catalyst", *Applied Catalysis A: General*, **381**:183-190.
- Prihandana, R dan Roy, H, 2006, "Menghasilkan Biodiesel Murah: Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM", Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Rachmat, S.D., Pramono, E., Crysandi, R., dan Hartini, 2018, "Pemanfaatan Polistirena Limbah Bungkus Makanan Dan Zeolit Alam Sebagai Membran Komposit Polistirena Tersulfonasi/Kitosan Vanilin/Zeorlit Untuk Aplikasi Membran Polimer Elektrolit Dalam Sel Bahan Bakar (Fuel Cell)", Surakarta : PKM Penelitian Universitas Negeri Surakarta.
- Ratnasari, Devy K., Nahil, Mohamad A., Williams, Paul T., 2017, "Catalytic Pyrolysis of Waste Plastics Using Staged Catalysis for Production of Gasoline Range Hydrocarbon Oils", *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **124**:631-637.

- Rukmini, A., 2007, “Regenerasi Minyak Goreng Bekas Dengan Arang Sekam Menekan Kerusakan Organ Tubuh”, *Seminar Nasional Teknologi 2007 (SNT 2007)*, ISSN: 1978-9777.
- Saifurrizal, M. F., 2013, “Pengaruh Komposisi Campuran Briket Bottom Ash Batubara dan Tongkol Jagung dengan Variasi Jumlah Perikat terhadap Nilai Kalor”, *Jember : Skripsi Universitas Jember*.
- Sakthivela, R., Ramesh, K., Purnachandrana, R., dan Shameera, P. M., 2018, “A Review On the Properties, Performance and Emission Aspects of the Third Generation Biodiesels”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **82**:2970–2992.
- Sanahuja-Parejo, O., Veses, A., Navarro, M.V., Lopez, J.M., Murillo, R., Callen, M.S., dan Garcia, T., 2018, “Drop-in Biofuels from the Co-Pyrolysis of Grape Seeds and Polystyrene”, *Journal Chemical Engineering*, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.183>.
- Sarker, M., Rashid, M. M., Rahman, M. S., Molla, M., 2012, “Polystyrene (PS) Waste Plastic Conversion Into Aviation/Kerosene Category of Fuel by Using Fractional Column Distillation Process”, *International Journal of Energy and Environment*, **3**:871-880.
- Satterfield, C., 1980, “Heterogenous Catalysis in Particles”, New York : Mc. Graw-Hill Book Co.
- Setiawati, E., dan Edwar, F., 2012, “Teknologi Pengolahan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Teknik Mikrofiltrasi dan Transesterifikasi sebagai Alternatif Bahan Bakar Mesin Diesel”, *Jurnal Riset Industri*, **6**:117-127.
- Sibarani, K. L., 2012, “Preparasi, Karakterisasi, dan Uji Aktifitas Katalis Ni-Cr/Zeolit Alam pada Proses Perengkahan Limbah Plastik Menjadi Fraksi Bensin”, Jakarta : Skripsi Universitas Indonesia.

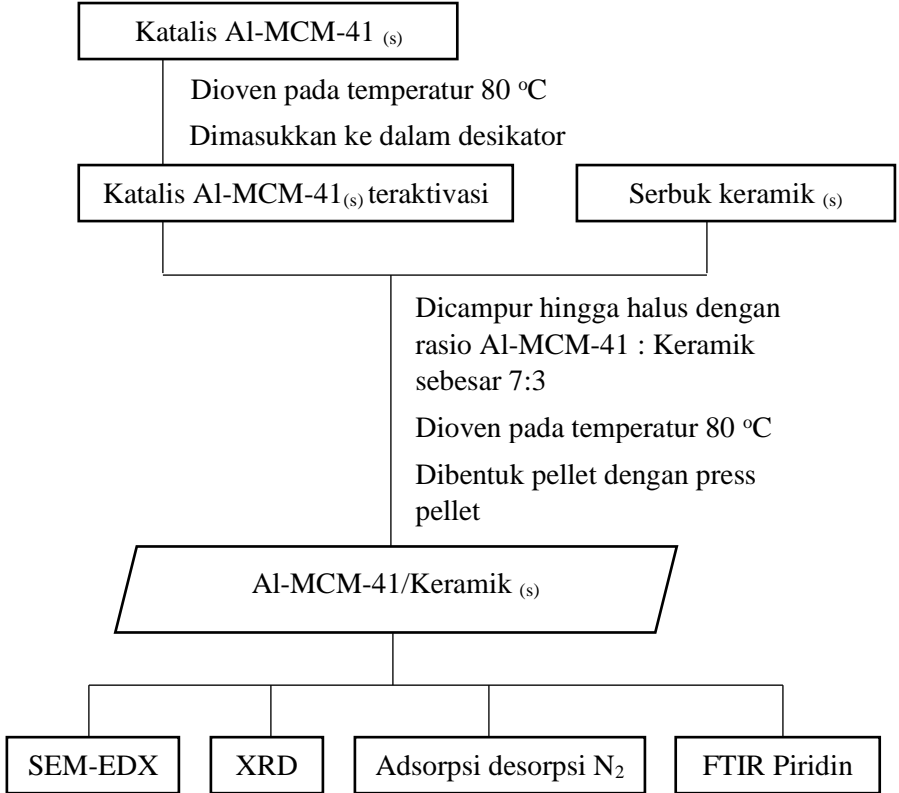
- Stashenko, E dan Martínez, J. R, 2014, “Gas Chromatography-Mass Spectrometry Advances in Gas Chromatography Xinghua Guo, *IntechOpen*, DOI: 10.5772/57492.
- Storck, S., Bretinger, H., dan Maier, W.F., 1998, “Characterization of Micro-and Mesoporous Solids by Physisorption Methods and Pore-Size Analysis”, *Applied of Catalysis Generation*, **174**:137-146.
- Syamsiro, M., Cheng, S., Hu, W., Saptoadi, H., Pratama, N. N., dan Trisunaryanti, W., 2014, “Liquid and Gaseous Fuels from Waste Plastics by Sequential Pyrolysis and Catalytic Reforming Processes over Indonesian Natural Zeolite Catalysts”, *Waste Tech* **2**:44-51.
- Tamrin, 2013, “Gasifikasi Minyak Jelantah Pada Kompor Bertekanan”, *Jurnal Teknik Pertanian Universitas Lampung* **2**:115-122.
- Topgül, T., 2015, “The Effects of MTBE Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in a Spark Ignition Engine”, *Fuel Processing Technology*, **138**:483-489.
- Trisunaryanti W., Bambang S., dan Nazarudin, 2000, “Determination of an Indonesian Natural Zeolite by Acids and Hydrothermal”, *Prosiding Seminar Nasional, FMIPA-UGM, Yogyakarta*.
- Bintarasari S. I., 2017, “Efisiensi Kinerja Perengkahan Katalitik Limbah Plastik Polipropilena (PP) Dengan Katalis Al-MCM-41”, Surabaya : Skripsi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Utut W., 2013, “Nilai Kalor Minyak Nabati dari Buah Kepayang”, Jakarta : Skripsi Universitas Gunadarma.
- Wagner, J. R., 2010, “Multilayer Flexibel Packaging”. Burlington: Elsevier.
- Wang, J. L., Wang, L. L., 2011, “Catalytic Pyrolysis of Municipal Plastic Waste to Fuel with Nickel Loaded Silica-Alumina Catalysts”, *Energy Sources*, **33**:1940–1948.
- Zaki M.I., Hasan M.A., Al-Sagheer F.A. dan Pasupulety L., 2001, “In Situ FTIR Spectra of Pyridine Adsorbed on SiO₂- Al₂O₃,

- TiO₂, ZrO₂, dan CeO₂ : General Considerations for the Identification of Acid Sites on Surfaces of Finely Divided Metal Oxides”, *Colloids and Surfaces A : Physicochemical and Engineering Aspects*, **190**:261-274.
- Zhang, X., Lei, H., Zhu, L., Qian, M., Zhu, X., dan Wu, J., 2016, “Enhancement of Jet Fuel Range Alkanes from Co-Feeding of Lignocellulostic Biomass with Plastic via Tandem Catalytic Conversions”, *Applied Energy*, **173**:418-430.
- Zhao, Y., Wanga, Y., Duana, D., Ruana, R., Fana, L., Zhou, Y., Daia, L., dan Liu, Y., 2018, “Fast microwave-assisted ex-catalytic co-pyrolysis of bamboo and polypropylene for bio-oil production”, *Bioresource Technology*, **249**:69–75.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

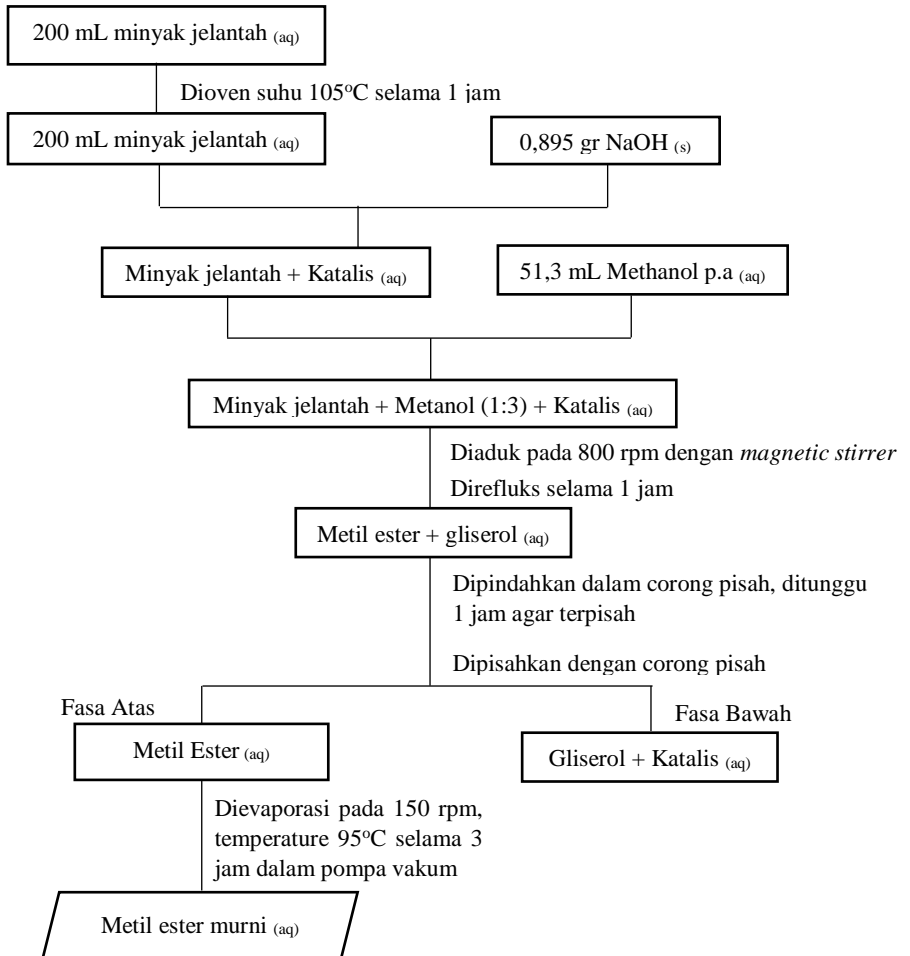
LAMPIRAN A

A.1. Diagram Alir Penelitian Preparasi Katalis



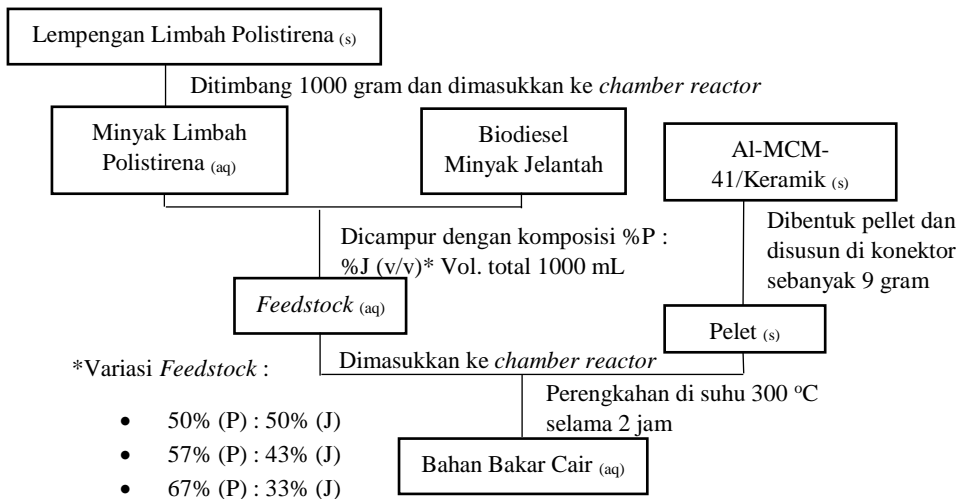
Gambar A.1 Diagram Alir Prosedur Preparasi Katalis

A.2. Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah



Gambar A.2 Diagram Alir Prosedur Sintesis Biodiesel Minyak Jelantah

A.3. Produksi dan Karakterisasi Bahan Bakar Cair

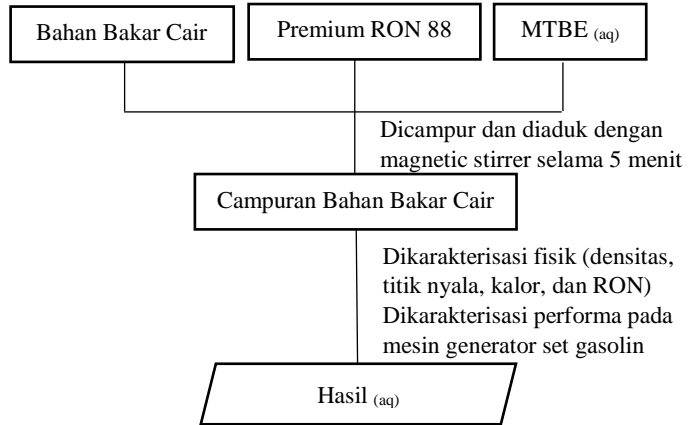


Gambar A.3 Diagram Alir Prosedur Produksi dan Karakterisasi BBC

Tabel A. 1 Variasi *Feedstock* Limbah Plastik Polistirena dan Ko-Reaktan Biodiesel Minyak Jelantah

Variasi <i>Feedstock</i>	Bahan Bakar Cair (BBC)
50% (P) : 50% (J)	P50
57% (P) : 43% (J)	P57
67% (P) : 33% (J)	P67

A.4. Produksi dan Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair



Gambar A.4 Diagram Alir Prosedur Produksi dan Karakterisasi CBBC

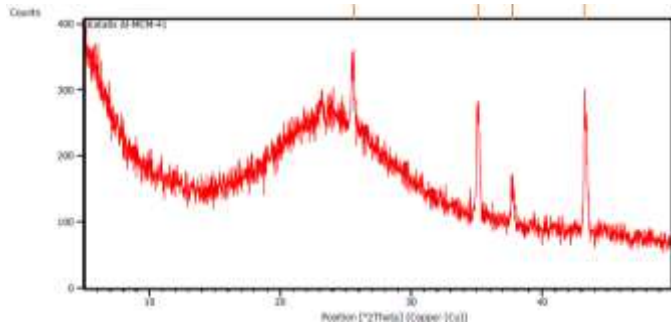
Tabel A. 2 Komposisi Campuran Bahan Bakar Cair

Jenis Feedstock	Feedstock (mL)	Premium RON 88 (mL)	MTBE (mL)	Campuran BBC (CBBC)
P50	225	750	18,375	CB50
P57	225	750	18,375	CB57
P67	225	750	18,375	CB67

LAMPIRAN B

B.1. Hasil Karakterisasi Katalis

Karakterisasi SEM-EDX Katalis Al-MCM-41/Keramik

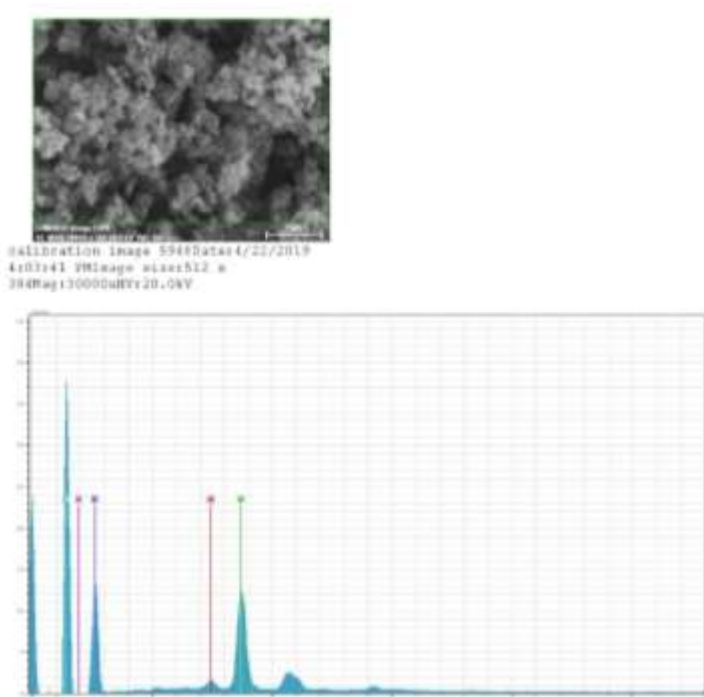


Gambar B. 1 Hasil Karakterisasi XRD Katalis Al-MCM-41/Keramik

Tabel B. 1 Hasil Karakterisasi XRD Katalis Al-MCM-41/Keramik

Pos [$^{\circ}2\theta$.]	Height [cts]	FWHM Left [$^{\circ}2\theta$.]	d-spacing [\AA]	Rel. Int. [%]
25,58	100,27	0,2	3,48	48,71
35,09	152,26	0,23	2,56	73,49
37,75	63,37	0,2	2,38	30,78
43,26	205,84	0,06	2,09	100

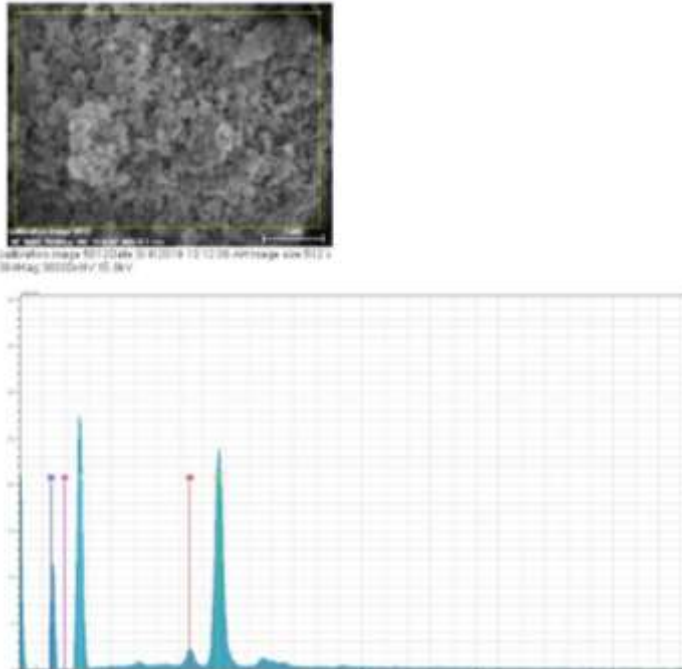
B.2. Karakterisasi SEM-EDX Katalis Al-MCM-41



Atom	Nomor Atom	Persen Berat (%berat)	Atom C (%atom)	Error (%)
O	8	54,51	49,18	17,3
Si	14	5,10	2,62	0,2
C	6	39,87	47,92	12,6
Al	13	0,51	0,27	0,1
Total		100,0	100,0	100,0

Gambar B. 2 Hasil Karakterisasi SEM-EDX Katalis Al-MCM-41

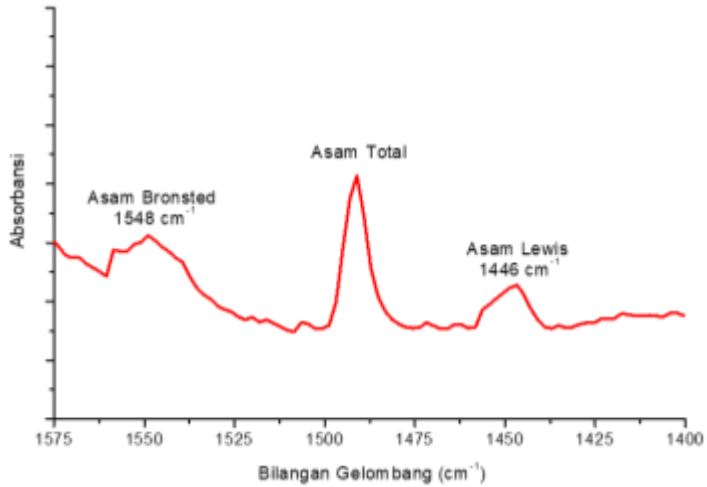
B.3. Karakterisasi SEM-EDX Katalis Al-MCM-41/Keramik



Atom	Nomor Atom	Persen Berat (% berat)	Atom C (% atom)	Error (%)
O	8	66,80	68,90	21,4
Si	14	17,29	10,16	0,7
C	6	14,71	20,21	5,5
Al	13	1,19	0,73	0,1
Total		100,0	100,0	100,0

Gambar B. 3 Hasil Karakterisasi SEM-EDX Katalis Al-MCM-41/Keramik

B.4. Karakterisasi FTIR Piridin Katalis Al-MCM-41/Keramik

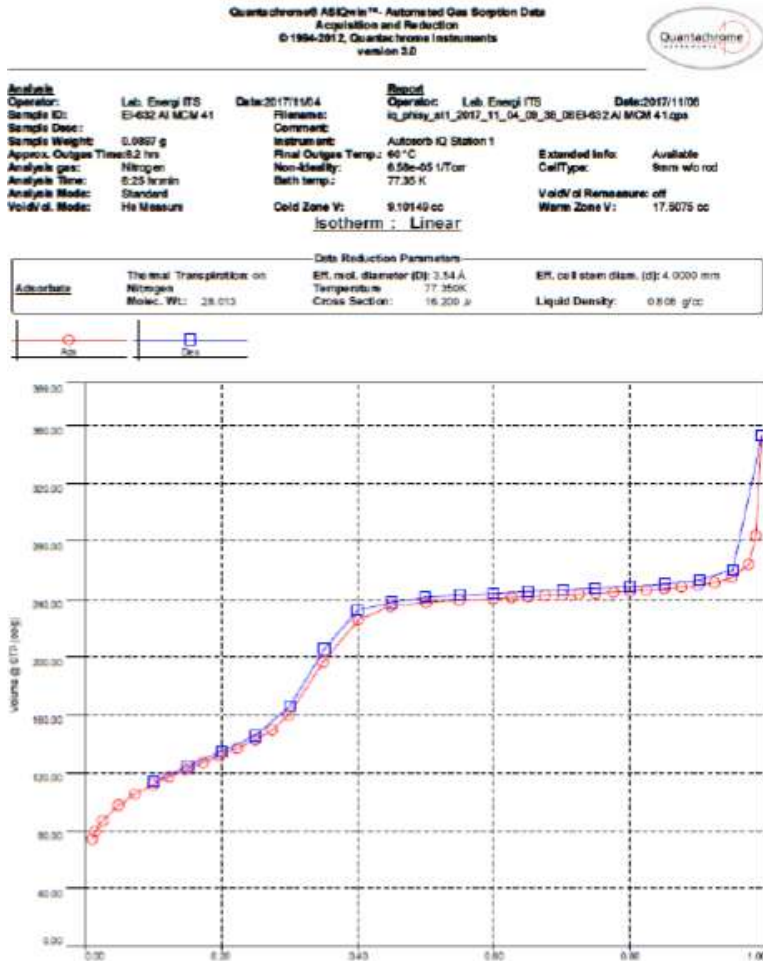


Gambar B. 4 Hasil Karakterisasi FTIR-Piridin Al-MCM-41/Keramik

Tabel B. 2 Perhitungan Keasaman Katalis Al-MCM-41/Keramik

Jenis Asam	Bil. Gelombang (cm ⁻¹)	Jumlah Asam (mmol/g)
Lewis	1437-1454	0,0342
Bronsted	1537-1554	0,0311

B.5. Karakterisasi Adsorpsi – Desorpsi N₂ Katalis Al-MCM-41/Keramik



Gambar B. 5 Hasil Karakterisasi Adsorpsi – Desorpsi N₂ Katalis Al-MCM-41/Keramik

LAMPIRAN C

C.1. Hasil Karakterisasi Bahan Bakar Cair Hasil Konversi BBC

Penentuan *yield* volume dan kokas bahan bakar cair ditentukan berdasarkan rasio volume atau kokas produk dan volume plastik polistirena (*feed*). Adapun perhitungan *yield* dapat dilihat sebagai berikut.

$$Yield = \frac{Volume\ BBC}{Volume\ Feedstock} \times 100\% \quad (C.1)$$

$$= \frac{646\ mL}{1000\ mL} \times 100\% = 64,6\%$$

Perhitungan di atas merupakan perhitungan *yield* untuk bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan P50. Setiap variasi *feedstock* dapat ditentukan *yield* volume BBC dan kokas menggunakan cara yang sama, seperti yang ditunjukkan pada Tabel C.1

Tabel C. 1 Data Pengukuran Volume Bahan Bakar Cair (BBC)

Jenis	Volume BBC (mL)	Prosentase BBC (%)	Volume kokas (mL)	Prosentase kokas (%)
P50	646	64,6	234	23,4
P57	804	80,4	71	7,1
P67	716	71,6	159	15,9

C.2. Yield Bahan Bakar Cair (BBC)

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

$$\begin{aligned} \text{Yield} &= \frac{\% \text{ Area Fraksi Hidrokarbon}}{\% \text{ Area Fraksi Total}} \times 100 \\ &= \frac{32,84 \%}{100 \%} \times 100\% = 32,84 \% \end{aligned}$$

Tabel C. 2 % Yield Hasil Konversi Katalitik Detail Masing-Masing *Feedstock*

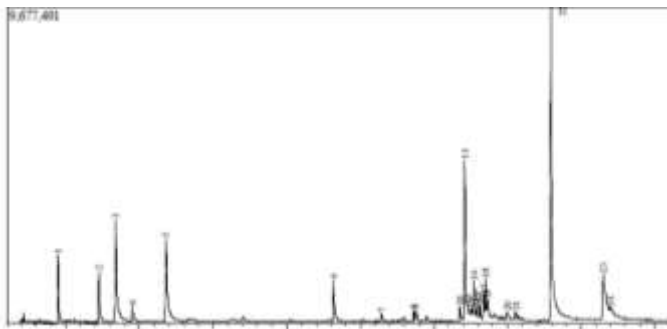
Variasi Waktu Perengkahan	Variasi Fraksi Hidrokarbon	% Area	% Yield
50 % (P) : 50 % (J)			
60 menit	<C7	0	0
	C8 – C12	32,86	32,86
	>C12	67,14	67,14
120 menit	<C7	2,32	2,32
	C8 – C12	59,1	59,1
	>C12	38,58	38,58
57 % (P) : 43 % (J)			
60 menit	<C7	0,48	0,48
	C8 – C12	20,99	20,99
	>C12	78,53	78,53
120 menit	<C7	0,77	0,77
	C8 – C12	42,19	42,19
	>C12	57,04	57,04
67 % (P) : 33 % (J)			
60 menit	<C7	0	0
	C8 – C12	63,61	63,61
	>C12	36,39	36,39
120 menit	<C7	0	0
	C8 – C12	29,68	29,68
	>C12	70,32	70,32

LAMPIRAN D

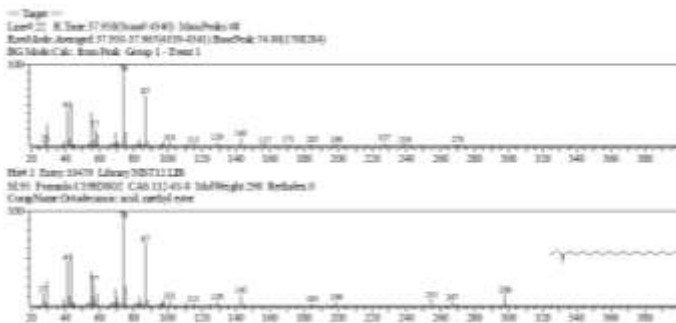
D.1. Hasil Karakterisasi Bahan Bakar Cair

Hasil Karakterisasi GC-MS Fraksi Rantai Hidrokarbon dalam Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik P50 Waktu 60 Menit

Berdasarkan hasil analisis dengan instrumen GC-MS GCMS-QP2010S SHIMADZU diperoleh kromatogram BBC hasil perengkahan katalitik P50 yang ditunjukkan pada Gambar D.1



Gambar D. 1 Kromatogram Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan P50 Waktu 60 Menit

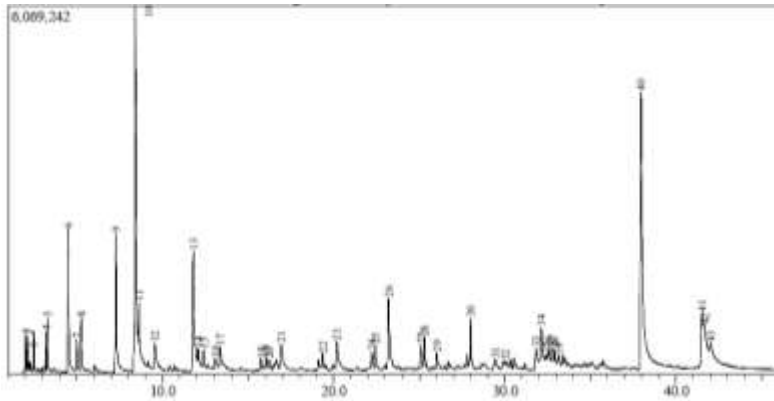


Gambar D. 2 MS Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan P50 Waktu 60 Menit

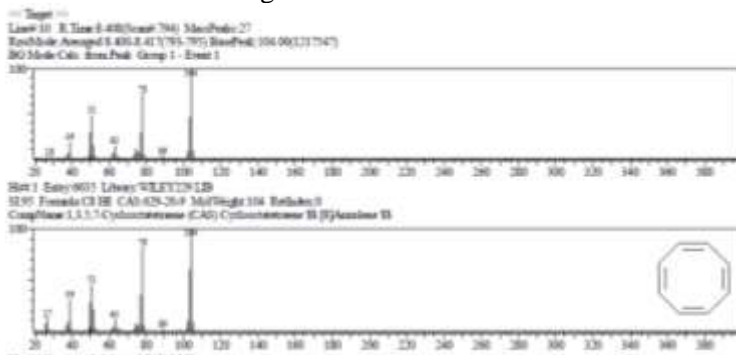
Tabel D. 1 Data Luas Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan P50 Waktu 60 Menit

Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	% Area	Fraksi
1	4,888	4,425	4,717	3,25	C7
2	7,267	7,192	7,542	3,18	C8
3	8,401	8,283	8,833	8,33	C8
4	9,547	9,475	9,742	0,96	C9
5	11,803	11,708	12,308	9,21	C9
6	23,188	23,092	23,500	3,66	C11
7	26,441	26,350	26,592	0,59	C13
8	28,632	28,525	28,717	0,69	C13
9	28,791	28,717	28,983	0,89	C14
10	31,571	31,667	31,925	1,30	C12
11	32,096	31,925	32,233	12,52	C15
12	32,275	32,233	32,350	1,14	C11
13	32,562	32,350	32,633	1,88	C16
14	32,727	32,633	32,858	3,46	C16
15	32,945	32,858	33,042	1,28	C17
16	33,133	33,042	33,275	1,03	C16
17	33,391	33,275	33,442	1,41	C17
18	32,971	33,442	33,575	2,30	C15
19	35,544	33,575	33,875	1,81	C10
20	34,971	34,875	35,250	0,90	C16
21	35,544	35,417	35,658	0,72	C16
22	37,959	37,808	38,533	30,02	C19
23	41,507	41,375	41,925	8,05	C19
24	41,999	41,925	42,925	1,40	C19

D.2. Hasil Karakterisasi GC-MS Fraksi Rantai Hidrokarbon dalam Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik P50 Waktu 120 Menit



Gambar D. 3 Kromatogram Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan P50 Waktu 120 Menit



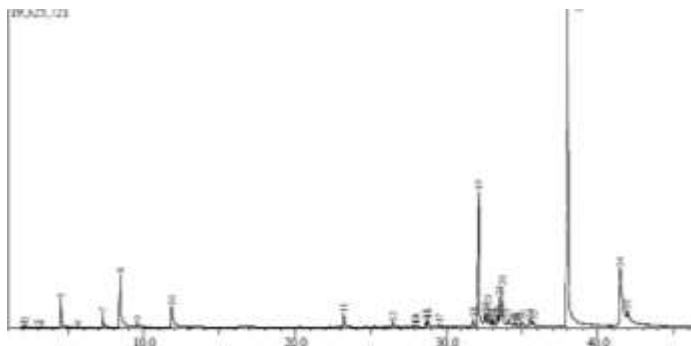
Gambar D. 4 MS Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan P50 Waktu 120 Menit

Tabel D. 2 Data Luas Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan P50 Waktu 120 Menit

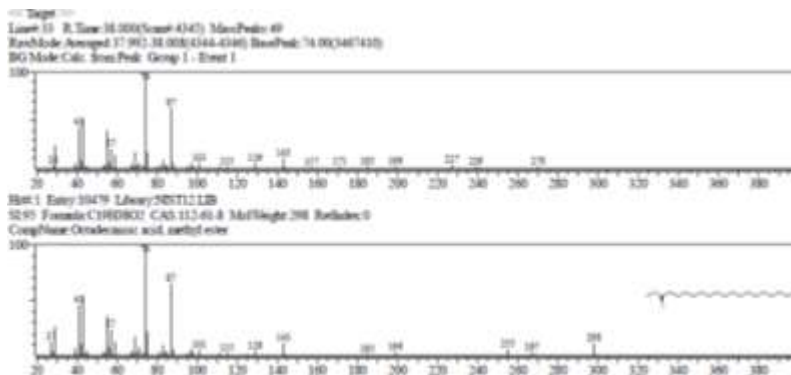
Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	% Area	Fraksi
1	2,009	1,975	2,100	0,67	C3
2	2,148	2,100	2,200	0,61	C5
3	2,450	2,375	2,550	1,04	C6
4	3,186	3,150	3,242	0,68	C7
5	3,282	3,242	3,350	0,89	C7
6	4,487	4,408	4,742	4,32	C7
7	5,000	4,917	5,117	0,84	C8
8	5,236	5,117	5,383	1,40	C8
9	7,265	7,183	7,500	4,92	C8
10	8,410	8,250	8,575	15,26	C8
11	8,628	8,575	8,800	2,40	C9
12	9,551	9,475	9,758	1,49	C9
13	11,797	11,717	12,025	6,45	C9
14	12,090	12,025	12,258	1,18	C11
15	12,408	12,258	12,558	0,80	C12
16	13,067	12,975	13,217	0,55	C8
17	13,365	13,217	13,525	0,90	C8
18	15,743	15,667	15,850	0,53	C11
19	16,021	15,850	16,142	0,64	C12
20	16,218	16,142	16,383	0,53	C11
21	16,921	16,850	17,167	1,53	C9
22	19,363	19,192	19,492	0,67	C12
23	20,177	20,108	20,508	1,98	C10
24	22,212	22,125	22,350	0,73	C12

25	22,441	22,350	22,592	0,91	C12
26	23,192	23,092	23,517	4,37	C11
27	25,095	25,008	25,225	0,99	C14
28	25,303	25,225	25,450	1,13	C12
29	26,016	25,933	26,133	0,60	C13
30	27,994	27,908	28,200	1,96	C12
31	29,436	29,283	29,592	0,60	C14
32	29,998	29,817	30,100	0,64	C12
33	31,806	31,700	31,950	1,40	C12
34	32,122	31,950	32,342	3,61	C15
35	32,403	32,342	32,467	0,72	C17
36	32,537	32,467	32,675	1,36	C17
37	32,765	32,675	32,875	1,24	C16
38	32,926	32,875	33,075	0,91	C13
39	33,156	33,075	33,292	0,58	C16
40	37,959	37,825	38,375	18,86	C19
41	41,527	41,400	41,617	3,39	C19
42	41,675	41,617	41,933	3,93	C19
43	42,010	41,933	42,308	1,80	C19

D.3. Hasil Karakterisasi GC-MS Fraksi Rantai Hidrokarbon dalam Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik P57 Waktu 60 Menit



Gambar D. 5 Kromatogram Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan P57 Waktu 60 Menit



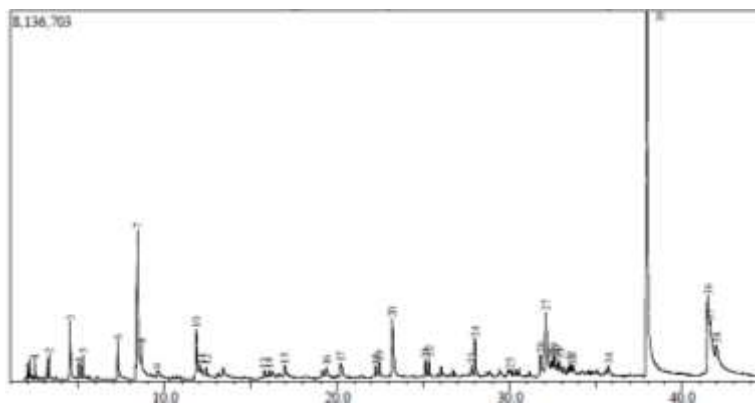
Gambar D. 6 MS Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan P57 Waktu 60 Menit

Tabel D. 3 Data Luas Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan P57 Waktu 60 Menit

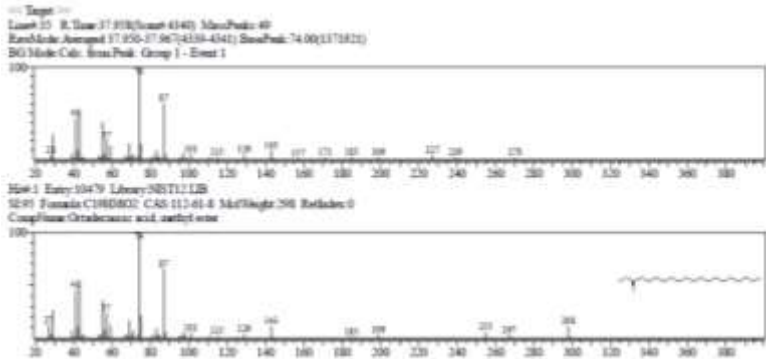
Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	% Area	Fraksi
1	2,019	1,975	2,117	0,07	C5
2	2,155	2,117	2,308	0,21	C3
3	2,961	2,917	3,042	0,06	C6
4	3,202	3,167	3,258	0,05	C7
5	4,502	4,425	4,775	2,07	C7
6	5,616	5,550	5,742	0,13	C6
7	7,284	7,183	7,542	1,32	C8
8	8,418	8,283	8,942	6,42	C8
9	9,564	9,483	9,783	0,48	C9
10	11,823	12,342	12,342	3,51	C9
11	23,195	23,100	23,517	1,62	C11
12	26,447	26,333	26,667	0,62	C13
13	27,892	27,817	27,950	0,11	C14
14	27,996	27,950	28,117	0,17	C20
15	28,637	28,525	28,725	0,62	C13
16	28,795	28,725	29,025	0,85	C14
17	29,525	29,408	29,692	0,27	C15
18	31,749	31,667	31,933	0,82	C12
19	32,130	31,667	32,450	14,35	C15
20	32,562	32,450	32,650	1,80	C16
21	32,729	32,650	32,858	2,42	C16
22	32,959	32,858	33,067	0,91	C17
23	33,145	33,067	33,317	0,82	C16
24	33,405	33,317	33,450	0,89	C17
25	33,517	33,405	33,575	2,19	C14

26	33,643	33,575	33,917	4,70	C10
27	34,089	33,917	34,317	1,33	C15
28	34,508	34,317	34,592	0,40	C16
29	34,675	34,592	34,742	0,09	C14
30	34,980	34,900	35,192	0,46	C16
31	35,528	35,400	35,667	0,92	C16
32	35,730	35,667	35,908	0,39	C17
33	38,004	37,833	38,600	34,75	C19
34	41,483	41,275	41,875	11,76	C19
35	41,974	41,875	42,350	2,41	C19

D.4. Hasil Karakterisasi GC-MS Fraksi Rantai Hidrokarbon dalam Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik P57 Waktu 120 Menit



Gambar D. 7 Kromatogram Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan P57 Waktu 120 Menit



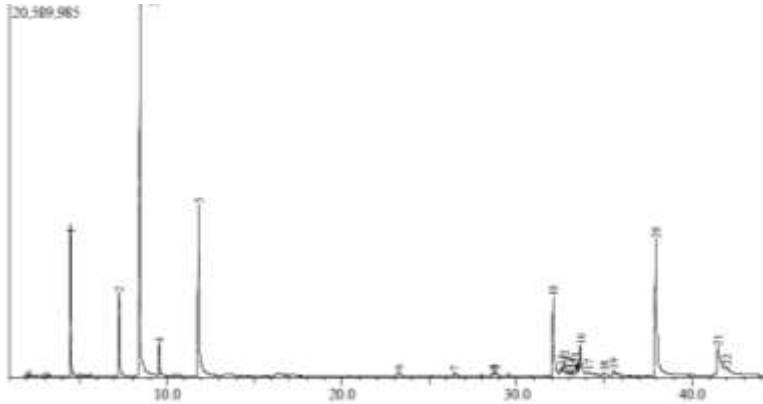
Gambar D. 8 MS Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan P57 Waktu 120 Menit

Tabel D. 4 Data Luas Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan P57 Waktu 120 Menit

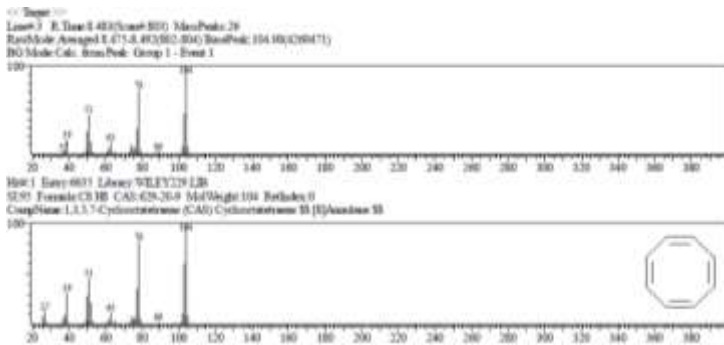
Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	% Area	Fraksi
1	2,448	2,300	2,550	0,76	C6
2	3,289	3,250	3,358	0,56	C7
3	4,497	4,425	4,733	2,45	C7
4	5,011	4,942	5,142	0,56	C8
5	5,246	5,142	5,392	0,87	C8
6	7,276	7,175	7,492	1,89	C8
7	8,409	8,258	8,583	9,13	C8
8	8,635	8,583	8,800	2,00	C9
9	9,559	9,942	9,775	0,64	C9
10	11,813	11,725	12,050	4,01	C9
11	12,103	12,050	12,267	0,94	C11
12	12,422	12,267	12,567	0,64	C10

13	15,758	15,683	15,883	0,53	C11
14	16,046	15,883	16,167	0,61	C12
15	16,947	16,858	17,192	1,12	C9
16	19,378	19,208	19,500	0,60	C12
17	20,192	20,117	20,500	1,37	C10
18	22,223	22,133	22,367	0,64	C12
19	22,451	22,367	22,575	0,74	C12
20	23,187	23,100	23,525	4,78	C11
21	25,103	25,000	25,242	0,93	C12
22	25,314	25,242	25,458	0,94	C12
23	27,810	27,750	27,925	0,55	C12
24	27,999	27,925	28,192	1,97	C12
25	30,017	29,800	30,100	0,83	C18
26	31,775	31,683	31,950	1,94	C12
27	32,108	31,950	32,350	5,89	C15
28	32,403	32,350	32,467	0,93	C17
29	32,543	32,467	32,667	1,82	C13
30	32,752	32,667	32,867	1,45	C15
31	32,933	32,867	33,083	1,05	C12
32	33,530	33,475	33,608	0,59	C15
33	33,670	33,608	33,883	0,73	C10
34	35,737	35,675	35,917	0,61	C17
35	37,962	37,842	38,542	28,00	C19
36	41,498	41,300	41,567	5,63	C19
37	41,599	41,567	41,908	7,54	C19
38	41,987	41,908	42,442	3,75	C19

D.5. Hasil Karakterisasi GC-MS Fraksi Rantai Hidrokarbon dalam Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik P67 Waktu 60 Menit



Gambar D. 9 Kromatogram Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan P67 Waktu 60 Menit

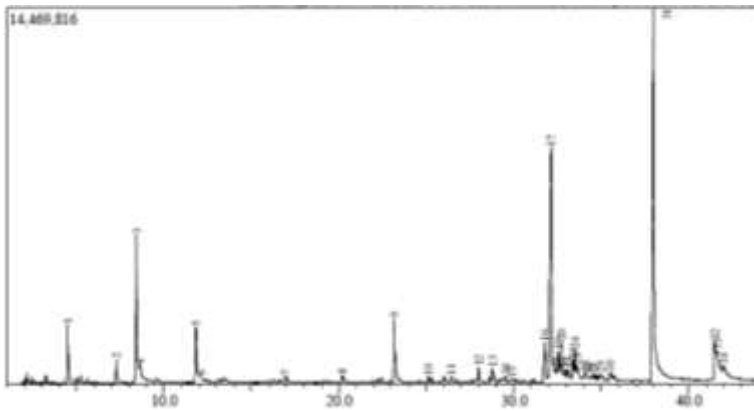


Gambar D. 10 MS Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan P67 Waktu 60 Menit

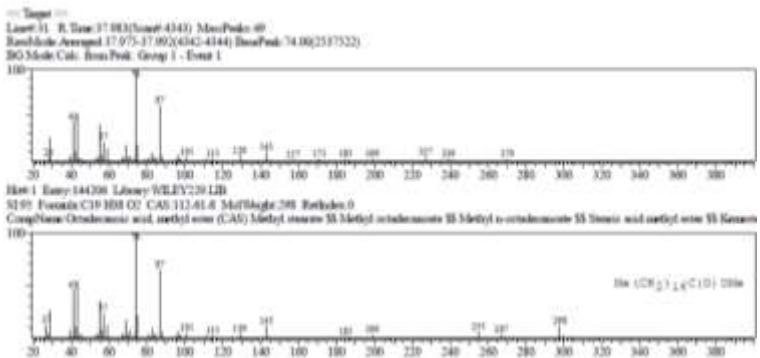
Tabel D. 5 Data Luas Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan P67 Waktu 60 Menit

Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	% Area	Fraksi
1	4,496	4,408	4,842	7.20	C7
2	7,276	7,175	7,675	5.05	C8
3	8,483	8,275	9,108	30.64	C8
4	9,557	9,475	9,858	1.99	C9
5	11,826	11,658	12,442	14.18	C9
6	23,244	23,142	23,508	0.49	C11
7	26,460	26,342	26,692	0.43	C13
8	28,647	28,525	28,725	0.35	C13
9	28,808	28,725	29,042	0.52	C14
10	32,102	31,942	32,442	7.35	C15
11	32,544	32,442	32,642	1.03	C16
12	32,733	32,642	32,858	1.40	C16
13	32,950	32,858	33,058	0.51	C17
14	33,141	33,058	33,275	0.44	C16
15	33,394	33,275	33,458	0.78	C17
16	33,648	33,458	33,975	4.05	C10
17	34,121	33,975	34,342	0.40	C15
18	34,992	34,908	35,458	0.28	C16
19	35,551	35,458	35,675	0.50	C16
20	37,962	37,808	38,658	14.59	C19
21	41,513	41,308	41,908	6,16	C19
22	42,019	41,908	42,492	1,65	C19

D.6. Hasil Karakterisasi GC-MS Fraksi Rantai Hidrokarbon dalam Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik P67 Waktu 120 Menit



Gambar D. 11 Kromatogram Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan P67 Waktu 120 Menit



Gambar D. 12 MS Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan P67 Waktu 120 Menit

Tabel D. 6 Data Luas Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan P67 Waktu 120 Menit

Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	% Area	Fraksi
1	4,498	4,433	4,800	2,76	C7
2	7,278	7,200	7,517	1,37	C8
3	8,422	8,258	8,600	9,56	C8
4	8,635	8,600	8,950	1,39	C9
5	11,813	11,725	12,067	4,86	C9
6	12,108	12,067	12,292	0,53	C10
7	16,953	16,892	17,183	0,49	C9
8	20,188	20,083	20,417	0,58	C10
9	23,176	23,083	23,517	4,36	C11
10	25,097	25,008	25,242	0,31	C14
11	26,433	26,333	26,617	0,39	C13
12	27,987	27,925	28,117	0,68	C12
13	28,787	28,708	29,008	1,00	C14
14	29,517	29,467	29,683	0,34	C15
15	29,895	29,775	30,092	0,37	C10
16	31,749	31,658	31,942	2,72	C12
17	32,139	31,942	32,358	17,17	C15
18	32,405	32,358	32,450	0,69	C14
19	32,553	32,450	32,650	2,63	C16
20	32,732	32,650	32,867	3,01	C16
21	32,956	32,867	33,042	0,98	C17
22	33,141	33,042	33,300	0,96	C16
23	33,406	33,300	33,450	1,18	C17
24	33,511	33,450	33,575	1,66	C15

25	33,634	33,575	33,892	1,58	C14
26	34,099	34,025	34.,167	0,56	C15
27	34,225	34,167	34,317	0,36	C14
28	34,505	34,317	34,600	0,47	C16
29	34,987	34,900	35,175	0,48	C16
30	35,525	35,375	35,667	0,73	C16
31	37,980	37,817	38,650	27,58	C19
32	41,500	41,350	41,575	2,92	C19
33	41,617	41,575	41,908	3,76	C19
34	42,006	41,908	42,317	1,54	C19

LAMPIRAN E

E.1. Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair (CBBC) Hasil Pengukuran Densitas CBBC

Massa piknometer = 17,2526 gram

Massa piknometer + BBC = 24,9971 gram

Volume piknometer = 10,195 mL

$$\begin{aligned}
 \text{Densitas } (\rho) &= \frac{(\text{massa piknometer} + \text{BBC}) - \text{Massa piknometer}}{\text{Volume piknometer}} \\
 &= \frac{24,9971 \text{ gram} - 17,2526 \text{ gram}}{10,195 \text{ mL}} \\
 &= \frac{7,7445 \text{ gram}}{10,195 \text{ mL}} \\
 &= 0,759637 \text{ gram/mL}
 \end{aligned}$$

Perhitungan pada masing – masing variasi ditunjukkan pada tabel E.2

Tabel E. 1 Hasil Pengukuran Densitas Campuran Bahan Bakar Cair (CBBC)

Variasi	Massa Piknometer kosong (g)	Massa Piknometer + BBC (g)	Massa BBC (g)	Densitas (g/mL)
P50	17,2526	24,9971	7,7445	0,7596
P57	17,3485	24,9943	7,6085	0,7462
P67	17,3485	25,0169	7,6324	0,7486

E.2. Hasil Pengukuran Nilai Kalor CBBC

Tabel E. 2 Data Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair (CBBC)

Variasi	Nilai Kalor (Kkal/kg)
P50	19226,47
P57	15380,12
P67	9875,14

E.3. Hasil Pengukuran Titik Nyala CBBC

Tabel E. 3 Data Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair (CBBC)

Variasi	Temperatur (°C)
P50	-58,988
P57	-55,112
P67	-58,332

LAMPIRAN F

F.1. Data RON dan Performa Jenis Campuran Bahan Bakar Cair dalam Generator Set Gasolin

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Adita Elliyani
 Alamat Pemilik : Departemen KIMIA FIA ITS
 Nama Contoh : Premium + MTBE +Cracking Polistirena Tanggal Terima : 04 Mar 2019
 Deskripsi : Bentuk : Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 05 Mar 2019
 Contoh : Volume : - Tanggal Selesai Pengujian : 05 Mar 2019
 Kode Contoh : EI-131 Jumlah Contoh : 10

Meryatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi & Lingkungan – LPPM ITS.

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	RON PREM M1	Oktane Number	94,2	-	Oktane/Cetane Meter
2	RON A1		93,2	-	
3	A2		95,6	-	
4	A3		96,7	-	
5	B1		95,5	-	
6	B2		95,9	-	
7	B3		97,4	-	
8	D1		93,7	-	
9	D2		91	-	
10	E1		92,2	-	

Suhu : 25,1 °C
 Humidty : 56%
 Analis : EWY
 Sampling : dilakukan oleh Pelanggan

Catatan:
 1. Hasil pengujian hanya berlaku untuk sampel yang diuji.
 2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
 3. Laporan hasil pengujian hanya boleh diperbanyak secara insub.

Kepala Laboratorium Energi dan Lingkungan
 Koordinator Teknis

Dr. Ir. Euslanta, DEA
 NIP. 19620820 198903 1 004

Yita Yuliana, S.Si
 NIP. 1990201822404

FMS/EL-ITG/01 Laporan Hasil Pengujian Twr/Rev./TP.01/2004/018

Beban	Tegangan (V)	Arus (A)	t/20cc bb (sc)	Daya G (Watt)	Daya P (Watt)	Torsi (N-m)	m bb (kg/jam)	Bmep(Pa)	BSFC (kg/w-jam)	Eff (%)
Sampel P50										
4	220	1,40	120,04	385	438	1,23	0,46	11515	0,0010	8,64
8	220	3,00	108	825	938	2,63	0,51	24675	0,0005	16,66
12	220	4,60	93	1265	1438	4,03	0,59	37835	0,0004	22,00
16	220	6,10	81	1678	1906	5,34	0,68	50172	0,0004	25,41
20	220	7,70	60,09	2118	2406	6,74	0,91	63332	0,0004	23,79
Sampel P67										
4	220	1,40	120,07	385	438	1,23	0,45	11515	0,0010	8,77
8	220	3,00	106	825	938	2,63	0,51	24675	0,0005	16,59
12	220	4,50	91	1238	1406	3,94	0,59	37012	0,0004	21,37
16	220	6,10	82	1678	1906	5,34	0,66	50172	0,0003	26,10
20	220	7,70	70	2118	2406	6,74	0,77	63332	0,0003	28,13
Sampel P57										
4	220	1,40	120,05	385	438	1,23	0,45	11515	0,0010	8,80
8	220	3,00	108	825	938	2,63	0,50	24675	0,0005	16,96
12	220	4,60	91	1265	1438	4,03	0,59	37835	0,0004	21,91
16	220	6,10	80	1678	1906	5,34	0,67	50172	0,0004	25,55
20	220	7,70	70	2118	2406	6,74	0,77	63332	0,0003	28,22

LAMPIRAN G

G.1. Standar Baku Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin

SNI 06-3506-1994

No.	Sifat	Satuan	Batasan	
			Min	Maks
1.	Angka Oktan	RON	88,0	-
2.	Titik didih	°C	-	205
3.	Densitas pada 15°C	g/mL	0,715	0,770
4.	Warna		Kuning	
5.	Kandungan pewarna	gr/100L	-	0,5

G.2. Spesifikasi Bahan Bakar Cair Jenis Gasolin

NO.	Karakteristik	Metode	Gasolin
1.	Densitas @ 15 °C (g/mL)	ASTM D 1480	0,72 – 0,78
2.	Nilai Kalor (Kkal/kg)	ASTM D 4809-13/IP 12	10.150,95
3.	Titik Nyala °C	ASTM D 93	< 42

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 1 Desember 1996 dan merupakan anak bungsu dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SMAN 1 Surabaya, SMPN 4 Surabaya, dan SD Kertajaya Surabaya. Penulis diterima di Departemen Kimia FS Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya pada tahun 2015 yang terdaftar dengan NRP 01211540000026. Selama kuliah, penulis aktif sebagai staf departemen SOSMAS HIMKA-ITS periode 2016/2017, dan ketua departemen SOSMAS HIMKA-ITS periode 2017/2018. Selain mengikuti kegiatan organisasi, penulis juga aktif mengikuti kepanitiaan acara di ITS seperti Chemistry Week. Penulis juga aktif mengikuti beberapa pelatihan pengembangan diri dan keprofesian seperti LKMM PRA TD FMIPA ITS 2015, LKMM TD HIMKA-ITS 2016, Pelatihan Elemen Pengader ITS, dan Pelatihan ISO 9001:2015, ISO 45001:2018, ISO 17025:2017. Di Departemen Kimia ITS, Penulis mengambil bidang Instrumentasi dan Sains Analitik dalam menyelesaikan Skripsi jenjang S1 di bawah bimbingan Bapak Dr. Hendro Juwono, M. Si. Segala kritik dan saran bagi Penulis atas naskah ini dapat dihubungi melalui arditaelliyantii@gmail.com.