



SKRIPSI

PERFORMA BAHAN BAKAR CAIR HASIL PERENGKAHAN LIMBAH PLASTIK POLIPROPILENA DAN KO-REAKTAN BIODIESEL MINYAK JELANTAH PADA MESIN GASOLIN DENGAN ADITIF METIL TERSIER BUTIL ETER

**RIZA ALFIAN
NRP 01211440000058**

**Dosen Pembimbing
Dr. Hendro Juwono, M.Si
Dra. Harmami, MS**

**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS ILMU ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



SCRIPT

PERFORMANCE OF LIQUID FUEL FROM CRACKING RESULT OF POLYPROPYLENE WASTE PLASTIC AND CO-REACTAN WASTE COOKING OIL BIODIESEL IN GASOLINE ENGINE WITH METYL TERTIER BUTYL ETHER ADDITIVES

RIZA ALFIAN
NRP 01211440000058

Advisor Lecture
Dr. Hendro Juwono, M.Si
Dra. Harmami, MS

DEPARTMENT OF CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

**PERFORMA BAHAN BAKAR CAIR HASIL
PERENGIKAHAN LIMBAH PLASTIK POLIPROPILENA
DAN KO-REAKTAN BIODIESEL MINYAK JELANTAH
PADA MESIN GASOLIN DENGAN ADITIF METIL
TERSIER BUTIL ETER**

SKRIPSI

Disusun sebagai syarat memperoleh gelar
Sarjana Sains
Pada
Program Studi S-1 Kimia
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Disusun Oleh:

Riza Alfian
NRP 01211440000058

**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS ILMU ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

PERFORMA BAHAN BAKAR CAIR HASIL PERENGKAHAN LIMBAH PLASTIK POLIPROPILENA DAN KO-REAKTAN BIODIESEL MINYAK JELANTAH PADA MESIN GASOLIN DENGAN ADITIF METIL TERSIER BUTIL ETER

SKRIPSI

Disusun oleh:

Riza Alfian
NRP. 01211440000058

Surabaya, 5 Juni 2018

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

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

Dosen Pembimbing II

Dra. Harmami, MS
NIP 19611216 198803 2 002



*Karya ini kupersembahkan untuk Ibu, Bapak, adik dan Seluruh
Keluarga besar
Dosen pembimbing dan pengudi
Keluarga teman-teman GALAXY 2014
Kamp Ceria serta seluruh teman-teman
yang selalu membantu dan memotivasi*

PERFORMA BAHAN BAKAR CAIR HASIL PERENGKAHAN LIMBAH PLASTIK POLIPROPILENA DAN KO-REAKTAN BIODIESEL MINYAK JELANTAH PADA MESIN GASOLIN DENGAN ADITIF METIL TERSIER BUTIL ETER

**Nama : Riza Alfian
NRP : 0121440000058
Departemen : Kimia ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Hendro Juwono, M.Si
: Dra. Harmami, MS.**

ABSTRAK

Bahan bakar cair dari limbah plastik polipropilena (PP) dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah telah berhasil dibuat. Bahan bakar cair diproduksi menggunakan metode perengkahan katalitik dimana variasi yang digunakan dari plastik 100% hingga 40% sebagai reaktan dan biodiesel minyak jelantah sebagai ko-reaktan. Katalis yang digunakan berupa Al-MCM-41 : Keramik busi (7:3) yang dikarakterisasi dengan XRD, SEM, Adsorpsi-desorpsi N₂, FTIR-Piridin, dan hasil perengkahan diteliti menggunakan Kromatografi Gas-Spektroskopi Massa (MC-MS). Bahan bakar cair yang diperoleh, dicampur dengan Premium dan MTBE dengan variasi volume (10% : 90% dari bahan bakar cair : Premium, 2,5% penambahan MTBE). Performa campuran bahan bakar cair yang diperoleh, dianalisis menggunakan mesin gasolin. Karakteristik fisik berupa densitas, titik nyala dan nilai kalor dari bahan bakar cair sebelum dan sesudah penambahan Premium dan MTBE juga diteliti. Campuran bahan bakar cair dengan variasi CB50 memiliki % efisiensi termal yang optimal sebesar 27,42% pada mesin. Dengan penambahan MTBE dapat meningkatkan karakteristik fisik dari bahan bakar cair. Karakteristik bahan bakar cair yang dihasilkan sesuai dengan standar gasolin komersial.

Kata Kunci : bahan bakar cair, perengkahan katalitik, plastik PP, biodiesel minyak jelantah, performa bahan bakar cair

PERFORMANCE OF LIQUID FUEL FROM CRACKING RESULT OF POLYPROPYLENE WASTE PLASTIC AND CO-REACTANT WASTE COOKING OIL BIODIESEL IN GASOLINE ENGINE WITH METYL TERTIAR BUTYL ETHER ADDITIVES

Name :Riza Alfian
NRP : 0121440000058
Department : Kimia ITS
Advisore Lecture : Dr. Hendro Juwono, M.Si
 : Dra. Harmami, MS.

ABSTRACT

Liquid fuel from Polypropylene (PP) waste plastic and the co-reactant of waste cooking oil has been successfully made. Liquid fuels are produced using a catalytic cracking method where variations are used from 100% to 40% plastic as reactants and biodiesel of cooking oil as co-reactants. The catalysts used were Al-MCM-41: Ceramics (7: 3) characterized by XRD, SEM, N 2 adsorption, FTIR-Pyridine, and cracking results were investigated using Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (MC-MS). Liquid fuel obtained, mixed with Premium and MTBE with volume variation (10%: 90% of liquid fuel: Premium, 2.5% addition MTBE). Performance of the liquid fuel mixture obtained, analyzed using Generator Set (GenSet) engine with gasoline-based fuel. Physical characteristics of density, flash point and calorific value of liquid fuels before and after the addition of RON 88 and MTBE Premiums were also investigated. The liquid fuel mixture with the CB50 variation has an optimum thermal efficiency of 27.42% on the machine. With the addition of MTBE can improve the physical characteristics of liquid fuels. Characteristics of liquid fuels produced in accordance with commercial gasoline standards.

Keywords: liquid fuels, catalytic cracking, PP plastics, cooking oil biodiesel, liquid fuel performance

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan baik naskah Tugas Akhir yang berjudul **'PERFORMA BAHAN BAKAR CAIR HASIL PERENGAHAN LIMBAH PLASTIK POLIPROPILENA DAN KO-REAKTAN BIODIESEL MINYAK JELANTAH PADA MESIN GASOLIN DENGAN ADITIF METIL TERSIER BUTIL ETER'**

Tulisan ini tidak akan terwujud tanpa bantuan, dukungan, doa serta dorongan semangat dari semua pihak. Untuk itu penulis sangat berterima kasih kepada:

1. Dr. Hendro Juwono, M.Si dan Dra. Harmami, MS selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama proses penyusunan naskah Tugas Akhir ini
2. Prof. Dr. Didik Prasetyoko, S.Si, M.Sc selaku Kepala Departemen Kimia FMIPA-ITS atas fasilitas yang telah diberikan hingga naskah Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
3. Dra. Ratna Ediati, MS., Ph.D. selaku Dosen Wali yang telah memberikan bimbingan selama berada di Departemen Kimia.
4. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberi dukungan, doa, serta semangat yang tiada henti.
5. Teman-teman GALAXY dan Kamp Ceria yang selalu memberi semangat,doa, dan dukungan.
6. Semua pihak yang telah membantu yang tidak mungkin saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan naskah Tugas Akhir ini tidak lepas dari kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun yang dapat meningkatkan kualitas dan perbaikan lebih lanjut. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, Juni 2018
Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| ABSTRAK | vi |
| ABSTRACT | vii |
| KATA PENGANTAR..... | viii |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR TABEL | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 4 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 6 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 6 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 6 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 7 |
| 2.1 Plastik Polipropilena..... | 7 |
| 2.2 Perengkahan | 8 |
| 2.2.1 Perengkahan Termal | 9 |
| 2.2.2 Perengkahan Katalitik | 10 |
| 2.3 Pirolisis Limbah Plastik Polipropilena (PP)..... | 15 |
| 2.4 Minyak Jelantah | 16 |
| 2.5 Metil Tersier Butil Eter (MTBE)..... | 18 |
| 2.6 Katalis Al-MCM 41..... | 19 |
| 2.7 Karakterisasi Katalis..... | 20 |
| 2.7.1 Adsorpsi-desorpsi Nitrogen..... | 20 |
| 2.7.2 X- Ray Diffraction (XRD) | 23 |
| 2.7.3 Scanning Electron Microscope (SEM)..... | 26 |
| 2.7.4 Penentuan Asam Basa Permukaan Katalis | 28 |
| 2.8 Karakterisasi Bahan Bakar Cair | 29 |
| 2.8.1 Gas Chromatography / Mass Spectroscopy (GC/MS) | 29 |
| 2.8.2 Densitas | 32 |
| 2.8.3 Titik Nyala..... | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 2.8.4 Nilai Kalor | 32 |
| 2.8.5 Viskositas Kinematik | 34 |
| 2.9 Karakterisasi Performa Campuran Bahan Bakar Cair pada Mesin Gasolin | 34 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 37 |
| 3.1. Alat dan Bahan..... | 37 |
| 3.1.1. Alat | 37 |
| 3.1.2. Bahan..... | 37 |
| 3.2. Prosedur Penelitian | 37 |
| 3.2.1. Sintesis Bahan Bakar Cair dari Limbah Plastik Polipropilena | 37 |
| 3.2.2. Pengolahan Biodiesel dari Minyak Jelantah..... | 38 |
| 3.2.3. Persiapan Katalis | 39 |
| 3.2.4. Produksi Bahan Bakar Cair Plastik Ko-reaktan biodiesel Minyak Jelantah..... | 39 |
| 3.2.5. Karakterisasi Katalis Al-MCM 41 : Keramik busi (7 :3) | 42 |
| 3.2.6. Metode eksperimental dan evaluasi data | 42 |
| 3.3 Produksi Campuran Bahan Bakar Cair | 43 |
| 3.4 Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair | 43 |
| BAB IV PEMBAHASAN | 49 |
| 4.1 Produksi Bahan Bakar Cair | 49 |
| 4.1.1 Sintesis Bahan Bakar Cair Plastik | 50 |
| 4.1.2 Sintesis Biodiesel Minyak Jelantah Melalui Metode Transesterifikasi | 54 |
| 4.1.3 Sintesis Bahan Bakar Cair Plastik Ko-reaktan biodiesel minyak jelantah | 57 |
| 4.2 Karakterisasi Katalis..... | 62 |
| 4.2.1 Hasil Karakteriasi XRD..... | 62 |
| 4.2.2 Hasil Karakteriasi SEM..... | 63 |
| 4.2.3 Hasil Karakteriasi Uji Adsorpsi Desorpsi Nitrogen ... | 64 |
| 4.2.4 Keasaman Menggunakan FTIR-Piridin..... | 66 |

| | |
|--|-----|
| 4.3 Hasil Perengkahan katalitik hidrokarbon | 67 |
| 4.3.1 % <i>Yield</i> Bahan Bakar Cair (BBC) | 68 |
| 4.4 Karakterisasi dan Performa Campuran Bahan Bakar Cair | 71 |
| 4.4.1 Densitas Campuran Bahan Bakar Cair..... | 71 |
| 4.4.2 Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair | 74 |
| 4.4.3 Viskositas Campuran Bahan Bakar Cair | 76 |
| 4.4.4 Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair..... | 77 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 83 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 83 |
| 5.2 Saran..... | 83 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 85 |
| BIODATA PENULIS..... | 135 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Struktur Polipropilena (Calhoun, 2016) | 7 |
| Gambar 2.2 Taktisitas Polipropilena, (A) Isotaktik, (B) Sindiotaktik, (C) Ataktik (Calhoun, 2016) | 8 |
| Gambar 2.3 Reaksi Pemutusan Beta pada Kedua Sisi Radikal Bebas Sekunder (Mao, dkk., 2013) | 10 |
| Gambar 2.4 (a) Reaksi Terminasi 2 Rantai Radikal Hidrokarbon Radikal Membentuk Rantai Hidrokarbon Netral (b) Reaksi Terminasi rantai radikal Hidrokarbon Radikal dengan Hidrogen Radikal Membentuk Rantai Hidrokarbon Netral (Mao, dkk., 2013)..... | 10 |
| Gambar 2.5 Pembentukan Karbokation melalui Pengambilan Ion Hibrida oleh Asam Lewis (Mao, dkk., 2013)..... | 11 |
| Gambar 2.6 Pembentukan Karbokation melalui Pengambilan Ion Hibrida oleh Asam Lewis (Mao, dkk., 2013)..... | 11 |
| Gambar 2.7 Pembentukan Karbokation melalui Pengambilan Ion Hibrida oleh Asam Bronsted (Mao, dkk., 2013) | 12 |
| Gambar 2.8 Reaksi Pembentukan Ion Karbenium dari Ion Karbonium (Mao, dkk., 2013)..... | 12 |
| Gambar 2.9 Reaksi Pemotongan- pada Ion Karbenium (Mao, dkk., 2013)..... | 13 |
| Gambar 2.10 Mekanisme Reaksi Pemindahan Hidrogen pada Karbenium (Mao, dkk., 2013) | 14 |
| Gambar 2.11 Reaksi Isomerisasi pada Perpindahan Hidrogen (Mao, dkk., 2013) | 14 |
| Gambar 2.12 Reaksi Isomerisasi pada Perpindahan Metil (Mao, dkk., 2013)..... | 14 |
| Gambar 2.13 Reaksi Pembentukan Aromatik (Mao, dkk., 2013) | 15 |
| Gambar 2.14 Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah (Maneering dkk., 2016) | 16 |

| | |
|---|-------|
| Gambar 2.15 Struktur Molekul Metil Tersier Butil Eter (MTBE) | 18 |
| | |
| Gambar 2.16 Kerangka Katalis Al-MCM-41 (Naik, dkk., 2010) | 20 |
| Gambar 2.17 Jenis-jenis kurva adsorpsi (Storck, dkk., 1998)..... | 22 |
| Gambar 2.18 Grafik Isoterm Adosorpsi Desorpsi Nitrogen Al-MCM-41 (Juwono, dkk., 2017b)..... | 23 |
| Gambar 2.19 Kondisi geometri untuk difraksi dari bidang kisi(Epp, 2016) | 24 |
| Gambar 2.20 (a) Hasil XRD sudut pendek AL- MCM-41 (b) Hasil XRD sudut lebar AL- MCM-41 | 25 |
| Gambar 2.21 Skema Instrumen SEM (Fatmawati dan Fansuri, 2014)..... | 27 |
| Gambar 2.22 (a) Gambar SEM Al-MCM-41 (b) Gambar SEM MCM-41..... | 28 |
| Gambar 2.23 Absorbansi FTIR Piridin Katalis Al-MCM-41..... | 29 |
| Gambar 2.24 Diagram skematik Kromatografi Gas (Hussain, dkk., 2014)..... | 30 |
| Gambar 2.25 Alat bom kalorimeter(Chang,2010)..... | 33 |
| Gambar 2.26 Skema Pengujian pada Mesin Gasolin (Topgil, 2015)..... | 35 |
| Gambar 3. 1 Reaktor perengkahan katalitik plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah | 40 |
| Gambar 4.1 Gelas plastik polipropilena | 51 |
| Gambar 4.2 Cacahan limbah plastik polipropilena | 52 |
| Gambar 4.3 Skema continous reactor..... | 53 |
| Gambar 4.4 Hidrokarbon tahap 1 hasil perengkahan termal plastik PP..... | 54 |
| Gambar 4.5 Rangkaian refluks sintesis biodiesel..... | 55 |
| Gambar 4.6 Pemisahan biodiesel dan gliserol..... | 56 |
| Gambar 4.7 Hasil biodiesel | 57 |
| Gambar 4.8 (a) Katalis Al-MCM-41 : Keramik busi (7:3) (b) pellet katalis Al-MCM-41 : Keramik busi (7:3)...58 | 58 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4. 9 Reaktor perengkahan katalitik plastik dengan ko- reaktan biodiesel minyak jelantah..... | 59 |
| Gambar 4.10 (a) Produk bahan bakar cair (b) kokas | 60 |
| Gambar 4.11 (a) SAXRD Al-MCM-41 dengan Al-MCM-41 : Keramik busi (b) WAXRD Al-MCM-41 : keramik busi | 63 |
| Gambar 4.12 (a) SEM Al-MCM-41 (b) SEM Al-MCM-41 : Keramik busi (7:3) | 64 |
| Gambar 4.13 (a) Grafik isoterm Al-MCM-41 referensi (b) Grafik isoterm Al-MCM-41 : Keramik busi..... | 65 |
| Gambar 4.14 Spektra Piridin-FTIR Katalis Al-MCM-41 | 67 |
| Gambar 4.15 Komposisi hidrokarbon pada setiap variasi..... | 69 |
| Gambar 4.16 Komposisi fraksi bensin pada bahan bakar cair (BBC) hasil Perengkahan..... | 70 |
| Gambar 4.17 Densitas Produk Bahan Bakar Cair | 73 |
| Gambar 4.18 Titik nyala bahan bakar cair | 75 |
| Gambar 4.19 Nilai Viskositas Bahan Bakar Cair..... | 77 |
| Gambar 4.20 Nilai Kalor Bahan Bakar Cair | 78 |
| Gambar 4.21 Efisiensi Termal Campuran Bahan Bakar Cair (CBBC) pada Mesin gasolin | 81 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1 Sifat dan komposisi asam lemak bebas dari minyak jelantah (Maneerung dkk., 2016) | 17 |
| Tabel 2.2 Analisis Adosrpsi dan desorpsi Nitrogen (Juwono, dkk., 2017)..... | 23 |
| Tabel 3.1 Jenis Campuran Bahan Bakar Cair (CBBC) | 43 |
| Tabel 4.1 Spesifikasi bahan bakar minyak jenis bensin premium (SNI 06-3506-1994) | 50 |
| Tabel 4.2 Volume bahan bakar cair (BBC) dan kokas hasil perengkahan limbah plastik PP dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah..... | 61 |
| Tabel 4.3 Data Analisis Uji Adsorpsi Desorpsi Nitrogen | 66 |
| Tabel 4.4 % Yield hidrokarbon hasil perengkahan katalitik | 68 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|-----|
| LAMPIRAN A | 91 |
| A.1 Skema Kerja..... | 91 |
| A.2 Prosedur Kerja..... | 92 |
| LAMPIRAN B | 99 |
| B.1 Karakterisasi Katalis Al-MCM-41 : Keramik busi Busi (7:3) | 99 |
| LAMPIRAN C | 103 |
| C.1 Karakterisasi Bahan Bakar Cair (PN) | 103 |
| LAMPIRAN D | 107 |
| D.1 Hasil Karakterisasi GC-MS Fraksi Rantai Hidrokarbon dalam Bahan Bakar Cair (PM)..... | 107 |
| LAMPIRAN E..... | 126 |
| E.1 Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair (CBBC) | 126 |
| LAMPIRAN F..... | 129 |
| F.1 Data Performa Jenis Bahan Bakar Cair dalam Generator Set Gasolin | 129 |
| LAMPIRAN G | 133 |
| G.1 Standar Baku Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin | 133 |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Polipropilena (PP) merupakan salah satu jenis plastik yang sering dijumpai di kehidupan sehari-hari dan dimanfaatkan sebagai pembungkus makanan dan minuman, perabot rumah tangga, peralatan mekanik dan lain-lain. Limbah plastik polipropilena tidak dapat didaur ulang karena memiliki laju degradasi yang rendah, yang dapat menciptakan masalah bagi lingkungan seperti polusi air dan tanah (Heydariaraghi, dkk., 2016). Selain itu, polipropilena (PP) memiliki jumlah energi yang besar (46,4 MJ/kg) sehingga dapat diolah sebagai pengganti bahan bakar fosil konvensional (Kalargaris, dkk., 2018).

Konversi polipropilena menjadi bahan bakar dapat dilakukan melalui proses pengolahan seperti *hydrocracking*, gasifikasi, dan pirolisis. Pirolisis merupakan metode konversi yang menggunakan suhu tinggi untuk mengkonversi limbah plastik menjadi minyak (Singh, dkk., 2016). Pirolisis merupakan reaksi degradasi termo kimia pada suhu yang tinggi tanpa adanya gas oksigen. Hasil konversi diketahui dalam bentuk gas, minyak, dan padatan. Kualitas dan jumlah hasil pirolisis bergantung pada jenis bahan baku (jenis plastik) dan parameter proses pirolisis (jenis reaktor, suhu reaksi, waktu reaksi, katalis). Suhu pirolisis merupakan salah satu parameter yang penting karena memiliki dampak yang besar pada perengkahan termal dari polimer. Katalis juga memiliki peran yang besar pada proses pengolahan limbah plastik karena dapat mengarahkan target reaksi, mengurangi suhu reaksi, dan meningkatkan efisiensi proses reaksi (Kalargaris, dkk., 2018). Katalis yang sering digunakan adalah katalis asam yang

berwujud padatan seperti zeolit ZSM-5, Zeolit Y, dan MCM-41 (Ratnasari, dkk., 2017).

Katalis seperti MCM-41 merupakan katalis yang efisien untuk digunakan dalam proses pirolisis dengan bantuan katalis karena MCM-41 termasuk material mesopori dengan bentuk heksagonal yang seragam dan memiliki area permukaan yang lebar. Meskipun demikian, proses perengkahan katalitik poliprolilen (PP) memperoleh hasil konversi yang rendah menggunakan katalis MCM-41 dikarenakan memiliki sisi asam yang rendah (Juwono, dkk., 2017). Setelah penambahan logam Al ke dalam MCM-41, keasamannya meningkat secara signifikan. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh (Serano, dkk., 2012), perengkahan katalitik PP menggunakan katalis Al-MCM 41 menghasilkan aktivitas perengkahan yang baik dikarenakan pori yang seragam yang dapat menghindari gangguan sterik pada molekul PP, sehingga didapatkan konversi sebesar 100%. Namun selektivitas terhadap hidrokarbon cair ($>C_5$) menunjukkan kurang dari 80%.

Penggunaan ko-reaktan ke dalam bahan bakar cair hasil pirolisis limbah plastik polipropilena (PP) dapat meningkatkan karakteristik bahan bakar. Oleh karena itu, bahan bakar cair tersebut digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Salah satu yang dapat digunakan untuk meningkatkan karakteristik bahan bakar cair hasil pirolisis tersebut adalah minyak jelantah yang dirubah terlebih dahulu menjadi metil ester melalui proses transesterifikasi. Minyak jelantah dapat menjadi sumber karbon dan hidrogen bagi bahan bakar cair hasil pirolisis yang dapat membuatnya mendekati karakteristik gasolin. Minyak jelantah sendiri keberadaanya melimpah karena merupakan limbah hasil penggorengan baik itu skala kecil seperti rumah tangga maupun skala besar seperti

restoran. Proses transesterifikasi sendiri membutuhkan suhu yang sangat tinggi untuk mengkonversi minyak jelantah menjadi metil ester asam lemak. Namun sebelum proses konversi, minyak jelantah membutuhkan preparasi terlebih dahulu untuk menghilangkan kandungan pengotor, air, dan asam lemak bebas yang tinggi(Rifaldi, 2018).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh (Bintarasari, 2017), pirolisis limbah plastik polipropilena dengan katalis MCM-41 termodifikasi logam Al dan keramik busi diperoleh bahan bakar cair pada fraksi gasolin dengan *yield* sebesar 71,89%. Karakteristik dari bahan bakar cair yang diperoleh mendekati karakteristik bahan bakar jenis Premium menurut sesuai baku mutu SNI 06-3506-1994.

Gasolin merupakan salah satu fraksi hidrokarbon yang dimanfaatkan secara komersial untuk transportasi. Pada perkembangannya, ditambahkan senyawa teroksigenasi pada gasolin yang tidak hanya mengurangi polusi udara hasil pembakaran, tetapi juga dapat meningkatkan performanya pada mesin kendaraan. Senyawa teroksigenasi memiliki keuntungan berupa dapat meningkatkan bilangan oktan, mengurangi ketukan dalam mesin dari bahan bakar yang tidak mengandung timbal, dapat diproduksi dari bahan baku yang terbarukan, dan mengurangi emisi bahan pembakaran bahan bakar seperti emisi gas karbon monoksida (CO), dan emisi senyawa organik yang volatil (Soheil, dkk., 2012). Senyawa teroksigenasi yang dapat digunakan antara lain Metil Tersier Butil Eter (MTBE), Etanol, Etil Tersier Butil Eter (ETBE), Tersier Amil Metil Eter (TAME) dan Tersier Amil Etil Eter (TAEE) (Dasilva, dkk., 2005).

Metil Tersier Butil Eter (MTBE) merupakan salah satu senyawa teroksigenasi yang sering ditambahkan pada gasolin.

Hal ini dikarenakan rasio bahan bakar dari MTBE cocok dengan gasolin, panas penguapannya yang mendekati nilai dari kalor penguapan dari gasolin. Oleh karena itu, dengan penambahan MTBE dapat meningkatkan nilai oktan / Research Octan Number (RON) dari gasolin karena MTBE memiliki nilai oktan yang tinggi. Untuk memperoleh performa mesin yang tinggi diperlukan ratio kompresi mesin yang tinggi, modifikasi katup mesin dan sistem asupan bahan bakar, atau menggunakan bahan bakar dengan kalor pemanasan yang tinggi selain nilai oktan yang tinggi (Topgül, 2015).

Pada penelitian ini digunakan MCM-41 yang termodifikasi logam Al dengan padatan pendukung keramik busi sebagai isolator termal dalam proses perengkahan katalitik. Hasil konversi ko-reaktan plastik dan metil ester minyak jelantah yang ditambah aditif berupa metil tersier butil eter (MTBE) diharapkan memiliki kinerja yang lebih baik daripada Premium. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan penambahan aditif berupa Metil Tersier Butil Eter (MTBE) pada hidrokarbon hasil konversi ko-reaktan plastik dan metil ester minyak jelantah untuk meningkatkan kinerjanya pada mesin *Generator Set* dengan bahan bakar berbasis gasolin.

1.2 Rumusan Masalah

Pengolahan limbah plastik terutama botol plastik polipropilena menjadi bahan bakar cair alternatif memiliki potensi yang besar sebagai pengganti bahan bakar fosil. Namun, pengolahan dengan bahan baku ini menimbulkan permasalahan berupa nilai kalor yang tinggi, sehingga dibutuhkan ko-reaktan yang kaya karbon dan hidrogen seperti minyak jelantah. Minyak jelantah tersedia dalam jumlah besar

karena merupakan minyak goreng habis pakai. Konversi limbah plastik polipropilena dengan minyak jelantah pada penelitian ini dilakukan dengan tahap pirolisis tanpa katalis pada limbah plastik dan transesterifikasi minyak jelantah. Kemudian dilakukan perengkahan katalitik plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah. Katalis yang digunakan berupa Al-MCM-41 dengan modifikasi padatan pendukung keramik busi. Katalis Al-MCM-41 : keramik busi dikarakterisasi berupa XRD, adosorpsi –desorpsi Nitrogen dan SEM. Bahan baku reaktan dan ko-reaktan diubah menjadi fasa gas kemudian dilewatkan pada katalis sehingga diperoleh produk akhir berupa bahan bakar cair.

Hasil bahan bakar cair yang diperoleh diuji dengan analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometer (GC-MS)* untuk mengetahui komponen yang terkandung dalam bahan bakar cair yang dihasilkan serta pengujian karakterisasi fisik meliputi densitas, titik nyala dan nilai kalor. Hasil pengujian dibandingkan dengan karakteristik bahan bakar jenis premium sesuai baku mutu SNI 06-3506-1994. Apabila produk BBC yang dihasilkan memiliki karakteristik yang sesuai dengan spesifikasi baku mutu SNI 06-3506-1994 maka perengkahan katalitik dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif untuk pengolahan limbah plastik PP dan minyak jelantah. Hasil sintesis bahan bakar cair plastik ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dicampur dengan Premium dan Metil Tersier Butil Eter (MTBE), kemudian diuji kinerjanya pada mesin Generator Set dengan bahan bakar berbasis Gasolin. Permasalahan yang muncul dalam penelitian ini adalah pengaruh penambahan Metil Tersier Butil Eter (MTBE) terhadap kinerja hidrokarbon hasil sintesis bahan bakar cair plastik polipropilena ko-reaktan biodiesel minyak jelantah.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini dilakukan produksi hidrokarbon dari limbah plastik PP 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 300 ml (100% : 0%, 80% : 20%, 60% : 40%, 50% : 50%, 60% : 40%). Katalis Al-MCM-41 : keramik busi (7:3) yang digunakan sebesar 9 gram (0,3% b/v). Hasil produksi hidrokarbon ini selanjutnya dilakukan pengujian performanya pada mesin *Generator Set* dengan bahan bakar berbasis gasolin.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh bahan bakar cair yang memiliki performa (persen efisiensi termal) optimum pada pengujian mesin gasolin dengan penambahan aditif metil tersier butil eter (MTBE).

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa

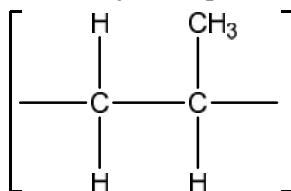
1. Memanfaatkan limbah plastik polipropilena yang memiliki laju degradasi yang sangat lambat pada alam.
2. Memanfaatkan limbah minyak goreng yang memiliki harga bahan baku yang murah dan jumlah yang melimpah
3. Merupakan salah satu solusi bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil yang tidak terbarukan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

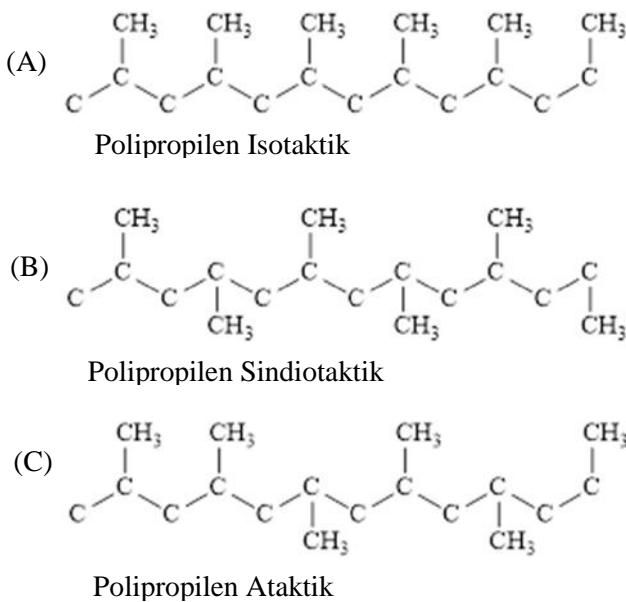
2.1 Plastik Polipropilena

Polipropilena (PP) merupakan salah satu jenis plastik yang sering dijumpai di kehidupan sehari-hari dan dimanfaatkan sebagai pembungkus makanan dan minuman, perabot rumah tangga, peralatan mekanik dan lain-lain. Hal ini dikarenakan kekuatan, kekerasan, dan titik leleh yang tinggi. (Calhoun, 2016). Propilen sendiri memiliki sifat berupa densitas yang rendah, mudah diaplikasikan, sifat mekanik yang menarik, dan tahan terhadap reaksi kimia dan panas yang tinggi (titik lebur > 160°C)(Kalargaris, dkk., 2018). Propilen merupakan polimer yang terdiri atas monomer propilena. Struktur dari propilena ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur Polipropilena (Calhoun, 2016)

Posisi gugus metil pada monomer polipropilena dapat berubah selama proses polimerisasi dan mengakibatkan tipe taktisitas yang berbeda. Taktisitas dari suatu polimer menentukan sifat dari polimer. Distribusi berat molekul, derajat kristalinitas, dan metode polimerisasi juga menentukan sifat dari suatu polimer. Taktisitas polipropilena ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Taktisitas Polipropilena, (A) Isotaktik, (B) Sindiotaktik, (C) Ataktik (Calhoun, 2016)

2.2 Perengkahan

Perengkahan atau pirolisis merupakan proses pemotongan / degradasi molekul polimer rantai panjang secara termal menjadi molekul yang lebih kecil dan kurang kompleks dengan bantuan panas dan tekanan. Proses pirolisis membutuhkan panas yang stabil dan tanpa adanya oksigen. Ada tiga produk utama yang terbentuk selama pirolisis antara lain minyak, gas dan arang / kokas yang berharga bagi industri. (Sharuddin, dkk., 2016)

2.2.1 Perengkahan Termal

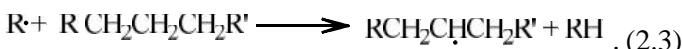
Tahap pertama perengkahan termal adalah pembentukan dua fragmen radikal bebas dari molekul hidrokarbon (Inisiasi), yang terjadi melalui pemotongan ikatan C-C homolitik pada sembarang posisi rantai hidrokarbon. Berikut merupakan tahapan inisiasi yang terjadi :



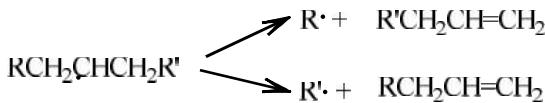
Proses pembentukan radikal – radikal terus berjalan menghasilkan satu olefin dan satu radikal bebas yang baru. Tahap selanjutnya yaitu propagasi. Perengkahan terjadi pada ikatan beta sehingga karbon hasil perengkahan membawa elektron tak berpasangan.



Radikal bebas baru dapat juga bereaksi dengan molekul hidrokarbon lain dengan mengambil satu atom hidrogen. Hidrogen pada posisi tersier lebih mudah diambil daripada posisi sekunder dan primer.

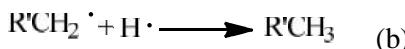


Radikal bebas sekunder dapat merengkah pada kedua sisi dari karbon yang membawa elektron tak berpasangan sesuai dengan hukum pemutusan Beta sehingga menghasilkan produk olefin.



Gambar 2.3 Reaksi Pemutusan Beta pada Kedua Sisi Radikal Bebas Sekunder (Mao, dkk., 2013)

Radikal bebas tidak seperti karbokation yang dapat mengalami isomerisasi melalui perpindahan metil ataupun hidrogen. Perpindahan hidrogen (perpindahan rantai) terjadi apabila satu radikal bebas bereaksi dengan hidrokarbon yang lain. Tahap terakhir yaitu terminasi yang terjadi apabila dua rantai radikal hidrokarbon bereaksi membentuk hidrokarbon netral atau rantai hidrokarbon radikal bereaksi dengan hidrogen radikal menghasilkan rantai hidrokarbon netral (Mao, dkk., 2013).



Gambar 2.4 (a) Reaksi Terminasi 2 Rantai Radikal Hidrokarbon Radikal Membentuk Rantai Hidrokarbon Netral (b) Reaksi Terminasi rantai radikal Hidrokarbon Radikal dengan Hidrogen Radikal Membentuk Rantai Hidrokarbon Netral (Mao, dkk., 2013)

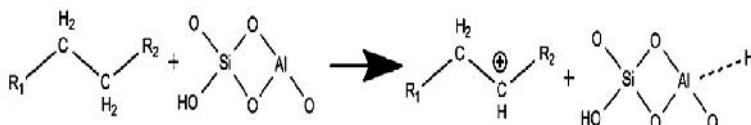
2.2.2 Perengkahan Katalitik

Perengkahan katalitik merupakan proses perengkahan yang dioperasikan pada suhu moderat dengan adanya katalis heterogen. Perengkahan katalis merupakan proses yang fleksibel dengan tujuan utama untuk merengkah dengan bahan baku yang sedikit menjadi cairan dengan jumlah yang banyak.

Gas hidrokarbon ringan juga bisa dapat terbentuk. Produk perengkahan katalitik pada dasarnya sama dengan perengkahan termal namun penggunaan katalis berfungsi untuk meningkatkan efisiensi proses. Adanya katalis dalam proses perengkahan dapat menurunkan energi yang diperlukan dibandingkan tanpa katalis. Katalis dapat mempercepat waktu reaksi dan dapat mengontrol produk yang dihasilkan (Mao, dkk., 2013).

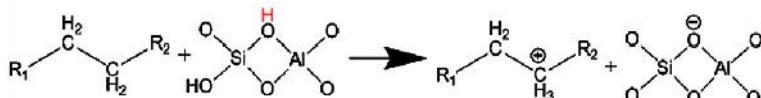
Perengkahan katalitik terjadi ketika reaktan mencapai sisi aktif pada permukaan katalis. Tahap yang terjadi pada perengkahan katalitik terbagi atas tahap inisiasi yang merupakan pembentukan karbokation. Karbokation memiliki selektifitas yang lebih tinggi daripada radikal bebas. Reaksi pembentukan karbokation dibantu oleh katalis asam material berpori seperti zeolite atau silika – alumina. Berikut cara – cara dalam pembentukan karbokation yaitu :

- Pengambilan ion hibrida oleh Asam Lewis pada hidrokarbon jenuh



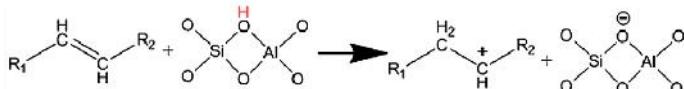
Gambar 2.5 Pembentukan Karbokation melalui Pengambilan Ion Hibrida oleh Asam Lewis (Mao, dkk., 2013)

- Karbokation oleh asam Bronsted pada hidrokarbon jenuh



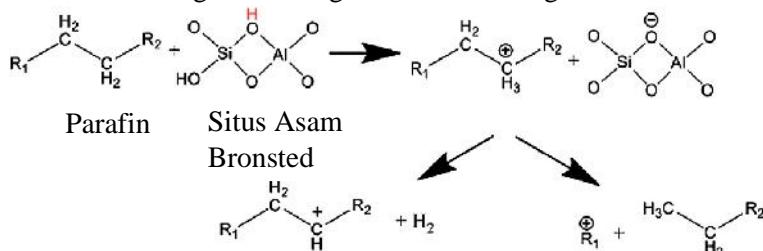
Gambar 2.6 Pembentukan Karbokation melalui Pengambilan Ion Hibrida oleh Asam Lewis (Mao, dkk., 2013)

- c. Karbokation oleh asam Bronsted pada hidrokarbon tak jenuh



Gambar 2.7 Pembentukan Karbokation melalui Pengambilan Ion Hibrida oleh Asam Bronsted (Mao, dkk., 2013)

- d. Ion karbonium juga dapat terkonversi menjadi ion karbenium dengan kehilangan molekul hidrogen.



Gambar 2.8 Reaksi Pembentukan Ion Karbenium dari Ion Karbonium (Mao, dkk., 2013)

Setelah tahap inisiasi, terdapat beberapa kemungkinan transformasi dari karbokation (ion karbonium) yang terbentuk (Mao, dkk., 2013).

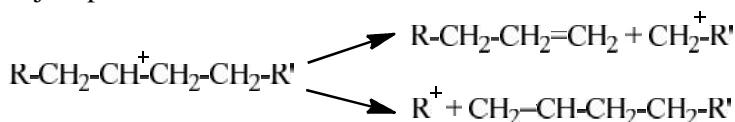
2.2.2.1 Desorpsi Olefin

Ion Karbonium yang terbentuk pada sisi aktif asam (Brønsted/Lewis) mungkin terdesorb sebagai olefin dan mengembalikan sisi aktif. Jika turunan karbonium dari koordinasi penta ion karbonium, maka hal ini merupakan mekanisme perengkahan Haag-Dessau, juga dikenal sebagai

mekanisme perengkahan mono molekuler. Reaksi dilakukan pada suhu tinggi, pada konversi rendah dan tekanan parsial hidrokarbon yang rendah, dan menggunakan zeolite dengan indeks konstrain yang tinggi seperti zeolite ZSM-5.

2.2.2.2 Pemotongan Beta ()

Ion karbenium mengalami perengkahan pemotongan-, mengacu pada pembentukan olefin yang lebih kecil dan ion karbenium yang lebih kecil. Pemotongan- pada C-C dapat terjadi pada sisi lain dari ion karbenium.



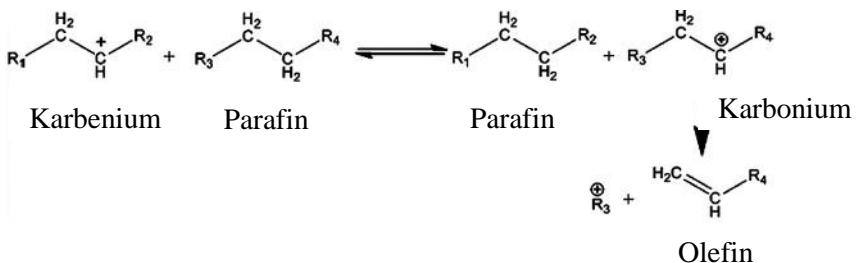
Gambar 2.9 Reaksi Pemotongan- pada Ion Karbenium (Mao, dkk., 2013)

2.2.2.3 Reaksi Lainnya

Ion karbenium yang teradsorb dapat mengalami berbagai tipe reaksi seperti pemindahan hidrogen, isomerisasi, aromatisasi, kristalisasi, polimerisasi dan lain – lain.

a. Pemindahan hidrogen

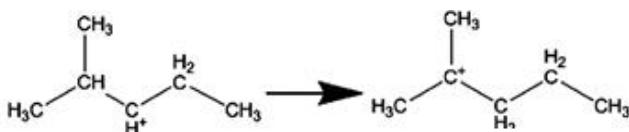
Ion karbenium yang teradsorb dapat berinteraksi dengan molekul paraffin netral melalui pemindahan hidrida. Reaksi bimolekuler ini menyebabkan pembentukan ion karbenium baru, yang mana mengalami perengkahan pemutusan- . Perbedaannya dengan reaksi perengkahan monomolekuler, reaksi bimolekuler terjadi pada suhu rendah, pada tekanan parsial hidrokarbon rendah, dan menggunakan zeolit dengan indeks konstrain rendah dan situs asam densitas tinggi seperti Zeolit Y.



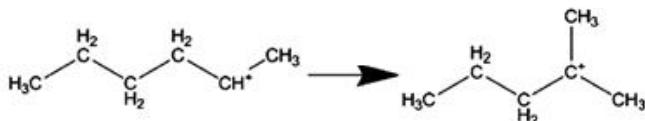
Gambar 2.10 Mekanisme Reaksi Pemindahan Hidrogen pada Karbenium (Mao, dkk., 2013)

b. Isomerisasi

Isomerisasi dari ion karbenium yang teradsorbsi melalui pergeseran hidrida atau pergeseran metil dapat menyebabkan pembentukan ion karbenium yang lebih stabil.



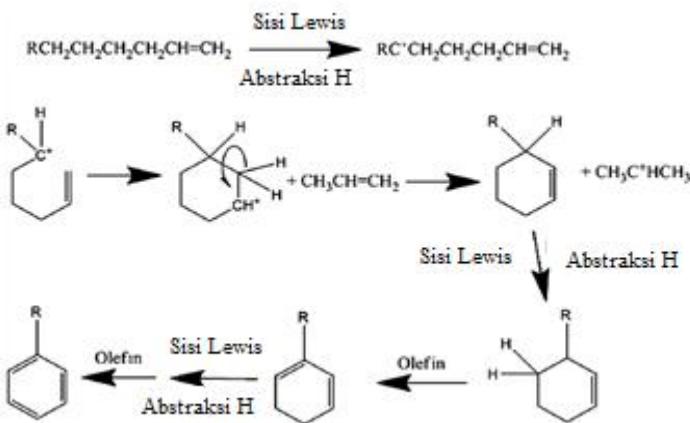
Gambar 2.11 Reaksi Isomerisasi pada Perpindahan Hidrogen (Mao, dkk., 2013)



Gambar 2.12 Reaksi Isomerisasi pada Perpindahan Metil (Mao, dkk., 2013)

c. Aromatisasi

Reaksi aromatisasi dapat terjadi pada ion karbenium teradsorbsi melalui dehidrosilasi paraffin, ketika spesi olefin terbentuk memiliki konfigurasi untuk menghasilkan siklisis.



Gambar 2.13 Reaksi Pembentukan Aromatik (Mao, dkk., 2013)

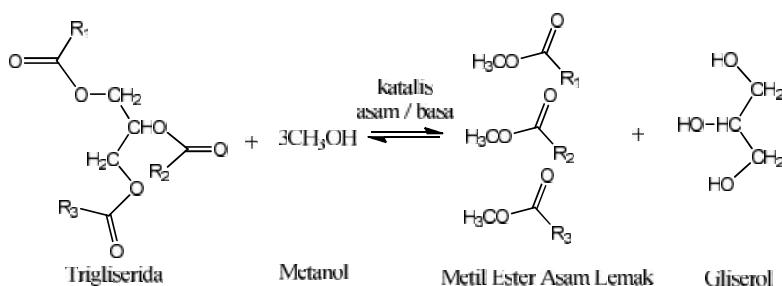
2.3 Pirolisis Limbah Plastik Polipropilena (PP)

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh (Bintarasari,2017) dilakukan pirolisis limbah plastik polipropilena dengan katalis Al-MCM-41 dan tanpa katalis pada suhu 250°C dengan waktu reaksi selama 120 menit. Dihasilkan fraksi $\text{C}_1\text{-}\text{C}_6$ sebesar 19,73%, fraksi $\text{C}_7\text{-}\text{C}_{12}$ sebesar 70,39%, dan fraksi $>\text{C}_{12}$ sebesar 0,50% pada pirolisis plastik tanpa katalis. Pada pirolisis dengan katalis Al-MCM-41 3,52% (b/b) dihasilkan fraksi $\text{C}_1\text{-}\text{C}_6$ sebesar 17,43%, fraksi $\text{C}_7\text{-}\text{C}_{12}$ sebesar 71,89%, dan fraksi $>\text{C}_{12}$ sebesar 0,62%. Pirolisis yang dilakukan menghasilkan fraksi $\text{C}_7\text{-}\text{C}_{12}$ paling besar yang merupakan fraksi gasoline. Penggunaan katalis Al-MCM-41

menunjukkan selektivitas fraksi gasoline yang besar berdasarkan perbandingan dengan pirolisis yang dilakukan tanpa katalis (Bintarasari, 2017).

2.4 Minyak Jelantah

Minyak jelantah yang diperoleh dari limbah rumah tangga akibat aktivitas rumah tangga atau dari restoran, dapat menjadi pertimbangan sebagai pengganti yang potensial dari lemak hewan yang dapat dikonsumsi dan minyak dari tumbuhan yang digunakan untuk meproduksi biodiesel karena dapat digunakan untuk mengurangi biaya bahan baku sehingga dapat secara efektif menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan pembuangan minyak jelantah.(Maneerung dkk., 2016) Proses pembuatan biodiesel melalui transesterifikasi minyak jelantah ditunjukkan pada Gambar 2.14. Namun, perlu dicatat bahwa tantangan utama untuk biodiesel yang diproduksi dari limbah minyak goreng adalah konsentrasi kontaminan yang tinggi seperti asam lemak bebas dan air dalam limbah minyak.



Gambar 2.14 Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah
(Maneerung dkk., 2016)

Tabel 2.1 Sifat dan komposisi asam lemak bebas dari minyak jelantah (Maneerung dkk., 2016)

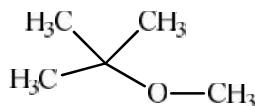
| Sifat | Minyak Fresh | Minyak Jelantah |
|--|---------------|-----------------|
| Bilangan penyabunan (mg KOH/.g) | - | 201,5 |
| Bilangan Asam (mg KOH/g) | 0,5 | 1,9 |
| %FFA | 0,3 | 1 |
| % Kandungan Air | 0,1 | 2,6 |
| Densitas pada 15 °C (g/cm ³) | 892 | 902 |
| Warna | Kuning terang | Kuning gelap |
| Komposisi %FFA Massa | | |
| Oleat ($C_{18}H_{34}O_2$) | 43,9 | 43,2 |
| Linoleat ($C_{18}H_{32}O_2$) | 30,4 | 30,1 |
| Palmitat ($C_{16}H_{32}O_2$) | 20,3 | 19,4 |
| Linolenat ($C_{18}H_{30}O_2$) | 4,8 | 4,7 |
| Stearat ($C_{18}H_{36}O_2$) | 2,9 | 2,6 |
| Rata-rata massa molar | 993,5 | 989,3 |

Asam lemak bebas ini dapat bereaksi dengan katalis alkali membentuk sabun yang tidak diinginkan karena sabun bisa menurunkan hasil biodiesel dan menghambat pemisahan produk biodiesel dari gliserol. Oleh karena itu, perakuan awal

limbah minyak dengan Konsentrasi kontaminan yang tinggi mungkin perlu dilakukan untuk mencegah terbentuknya sabun selama transesterifikasi reaksi. Sifat dan komposisi asam lemak bebas dari minyak jelantah ditunjukkan pada Tabel 2.1.

2.5 Metil Tersier Butil Eter (MTBE)

Senyawa eter dan alkohol dapat ditambahkan ke gasolin untuk meningkatkan bilangan oktan dan mengurangi permasalahan polusi udara akibat pembakaran gasolin yang mengandung senyawa logam seperti Tetra Etil Lead (TEL), Tetra Metil Lead (TML), dan metilcyclopentadienyl manganese tricarbonil (MMT). Senyawa teroksigenasi ini dapat menggantikan posisi alkil timbal dan senyawa logam pada gasolin. Senyawa teroksigenasi yang sering digunakan adalah metil tersier butil eter (MTBE). MTBE dipilih sebagai aditif yang paling efektif terhadap gasolin karena sifat fisik, kimia, dan termalnya menyerupai gasolin, khususnya titik didih dari MTBE yang masuk ke rentang titik didih gasolin yang menunjukkan karakteristik *antiknock* yang paling rendah (Hamid, dkk., 2004). Struktur Lewis dari metil tersier butil eter (MTBE) ditunjukkan oleh Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Struktur Molekul Metil Tersier Butil Eter (MTBE)

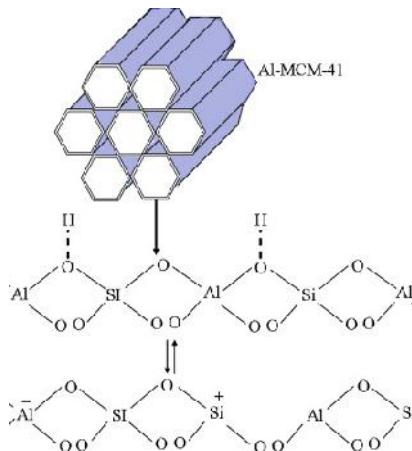
MTBE memiliki karakteristik massa jenis sebesar 0,74 g/cm³, memiliki titik nyala pada suhu -30°C. MTBE memiliki nilai LHV (*low heating value*) yang cukup rendah yaitu pada 35.100 kj/kg lebih kecil dibandingkan bensin dengan RON 88

yang memiliki nilai sebesar 44.000 kj/kg. Nilai RON MTBE berkisar 116-118 (Topgül, 2015).

2.6 Katalis Al-MCM 41

MCM-41 memiliki susunan heksagonal satu dimensi mesopori dengan diameter sekitar 2 – 10 nm, memiliki pori yang homogen, permukaan area yang luas, dan stabilitas thermal yang baik, yang mana membuatnya banyak digunakan dalam aplikasi katalisis, penyerapan molekul organik yang besar, pemisahan kromatografik dan lain-lain.(Meléndez-Ortiz dkk., 2013)

MCM-41 murni memiliki keasaman yang rendah, tetapi keasaman dapat ditingkatkan melalui inkorporasi dengan ion logam seperti aluminium, titanium, dan zirconium ke dalam struktur *frameworknya*. Fungsionalisasi gugus hidroksil pada permukaan dalam silika mesopori dengan silan yang mengandung gugus asam menyediakan metode alternatif untuk meningkatkan keasaman dalam silika mesopori. Keasaman yang dihasilkan oleh penggabungan logam biasanya berhubungan sifat alami dari ikatan kimia yang dihasilkan oleh ion logam dalam kerangka silika. Bila kation trivalen seperti Al^{3+} menggantikan Si^{4+} , *framework* memiliki muatan negatif yang bisa berikatan dengan proton untuk membentuk situs asam Bronsted (Gambar 2.16). Kerangka ekstra spesies Al^{3+} juga dapat menjadi sumber keasaman lewis pada struktur. Ion mesopori yang tergabung dalam ion logam merupakan kandidat katalis asam untuk beberapa reaksi organik.



Gambar 2.16 Kerangka Katalis Al-MCM-41 (Naik, dkk., 2010)

Al-MCM-41 adalah katalis yang berguna dalam reaksi organic. Kerangka aluminosilikat di dinding strukturnya tidak tidak memiliki urutan jarak pendek yang serupa dengan zeolit, dan karenanya strukturnya bersifat amorf. Tingkat kondensasi dari aluminosilikat dalam rangka hasil Al-MCM-41 hanya untuk batas terbatas selama sintesis dan kalsinasi, yang menurun baik keasaman dan stabilitas hidrotermal Al-MCM-41. Beberapa upaya sedang dilakukan untuk memperbaiki keasaman dan hidrotermal stabilitas silika mesopori untuk aplikasi dalam katalisis (Naik, dkk., 2010).

2.7 Karakterisasi Katalis

2.7.1 Adsorpsi-desorpsi Nitrogen

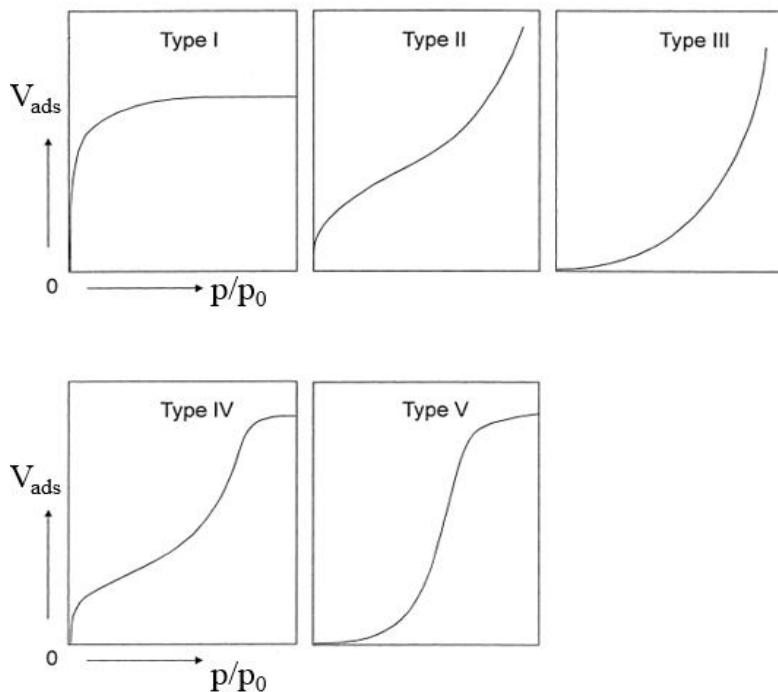
Adsorpsi gas nitrogen tepat digunakan untuk analisa material mikropori dan mesopori. Dalam fisiorsipsi (adsorpsi fisis), gas inert dengan jumlah tertentu, pada suhu yang sangat

rendah (77K), dan tekanan vakum diadsorb pada permukaan material berpori. Fisiorsipsi ini tidak tergantung pada sifat dari sampel, tetapi hanya tergantung pada luas permukaan dan struktur pori. Luas permukaan material yang dianalisa (sampel) diukur dari jumlah molekul yang terdeposit (teradsorp) di monolayer. Sedangkan ukuran pori ditentukan oleh tekanan kondensasi (tekanan penguapan) gas dalam pori-pori. Molekul-molekul gas pada layer pertama (monolayer) biasanya teradsorp karena adanya gaya tarik molekul gas-subsbrat. Sedangkan molekul gas pada fase multilayer teradsorp karena gaya tarik antar molekul-molekul gas. Dari analisa ini diperoleh luas area spesifik total, distribusi ukuran meso-mikropori, dan volume total meso-mikropori.

Data keluaran dari analisa ini adalah grafik adsorpsi-desorpsi isothermal. Tipe – tipe grafik adsorpsi-desorpsi isothermal dalam fisiorsipsi gas ditunjukkan pada Gambar 2.20. Menurut IUPAC, grafik adsorpsi isothermal dapat diklasifikasikan menjadi enam tipe. Tipe I merupakan tipe yang khas untuk fisiorsipsi gas pada padatan mikropori dan kemisorpsi isothermal. Tipe I mengikuti adsorpsi isothermal Langmuir. Tipe II merupakan tipe yang biasanya terlihat pada padatan non pori, adsorpsinya multilayer. Tipe III merupakan grafik khas untuk uap, misalnya air pada padatan hidrofobik karbon aktif. Gaya kohesi yang kuat terjadi antara molekul-molekul yang teradsorp. Tipe IV mirip dengan tipe II pada tekanan rendah, tetapi memperlihatkan loop histerisis yang disebabkan oleh kondensasi kapiler dalam mesopori pada tekanan tinggi. Tipe IV merupakan khas untuk material mesopori. Tipe V juga has untuk uap seperti tipe III (mirip dengan tipe III pada tekanan rendah), tetapi terlihat adanya loop histerisis yang disebabkan oleh kondensasi kapiler pada

mesopori pada tekanan tinggi. Tipe IV mempunyai grafik isothermal seperti anak tangga, biasanya terlihat untuk adsorpsi nitrogen pada karbon tertentu (Prasetyoko, 2014).

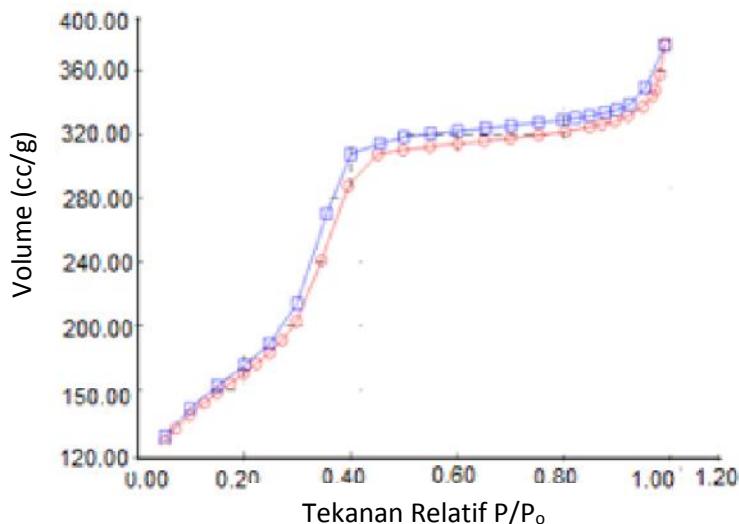
Katalis MCM-41 merupakan salah satu material mesopori. Modifikasi MCM-41 dengan Al menunjukkan pengurangan dari luas permukaan, volume pori dan radius pori seperti yang ditunjukkan Tabel 2.2. Kemungkinan pengembunan logam Al menenempati pori heksagonal dari MCM-41. Grafik isoterm adsorpsi yang ditunjukkan pada Gambar 2.18 dari Al-MCM-41 mengikuti grafik isotherm tipe IV (Juwono, dkk., 2017b).



Gambar 2.17 Jenis-jenis kurva adsorpsi (Storck, dkk., 1998)

Tabel 2.2 Analisis Adosrpsi dan desorpsi Nitrogen (Juwono, dkk., 2017)

| No | Katalis | Luas permukaan (m^2/g) | Volume Pori (cc/g) | Radius Pori Rata-rata (Å) |
|----|-----------|----------------------------|--------------------|---------------------------|
| 1 | MCM-41 | 561,08 | 0,53 | 15,17 |
| 2 | Al-MCM-41 | 419,93 | 0,50 | 15,12 |

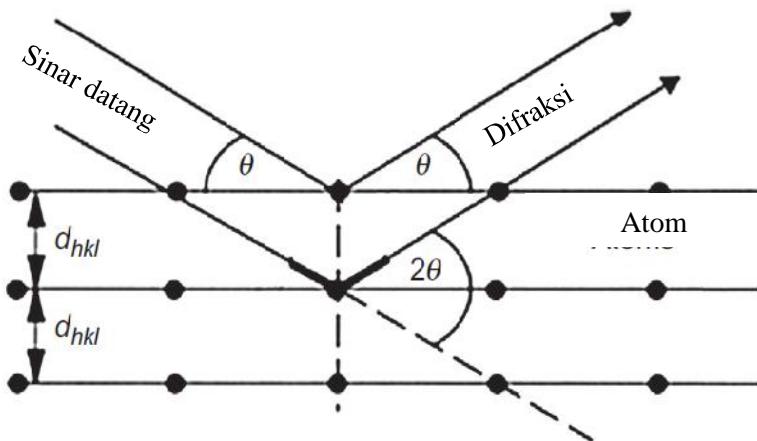


Gambar 2.18 Grafik Isoterm Adosorpsi Desorpsi Nitrogen Al-MCM-41 (Juwono, dkk., 2017b)

2.7.2 X- Ray Diffraction (XRD)

Secara umum, XRD digunakan untuk karakterisasi *fingerprint* material kristal dan menentukan strukturnya. Sampel kristal yang dianalisa dapat berupa serbuk, padatan,

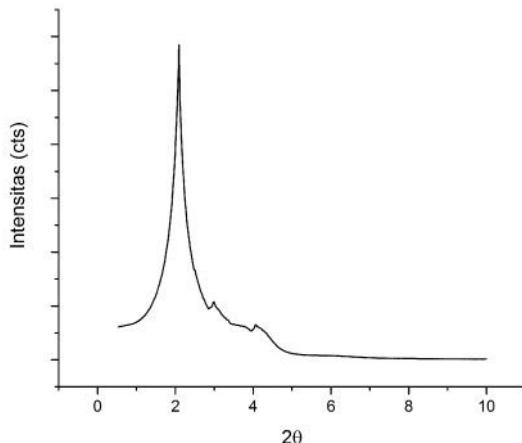
film atau pita. Setiap kristal memiliki karakter khusus pada pola XRD untuk identifikasi *fingerprint*. Hasil analisa berupa kristalografi sinar X padatan atom yang terbentuk dalam kristal, jarak antar atom, sudut ikat yang terbentuk dan lain sebagainya (Panda, dkk., 2003).



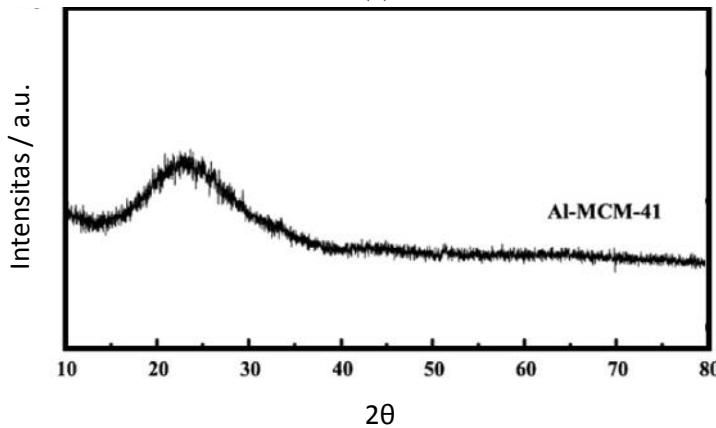
Gambar 2.19 Kondisi geometri untuk difraksi dari bidang kisi(Epp, 2016)

Ketika foton sinar-X mencapai material, beberapa tipe interaksi dapat terjadi akibat perbedaan absorpsi dan efek penghamburan. Penghamburan elastik (koheren) yang juga disebut sebagai hamburan Rayleigh terjadi antara foton dan elektron diantara nucleus atom. Energi dari gelombang hamburan tidak dirubah dan dipertahankan hubungan fasanya pada gelombang yang terbentuk. Konsekuensinya, foton sinar-X mengenai semua atom dari volume yang disinari terhamburkan pada semua arah. Akibat dari sifat periodik struktur kristalin, konstruktif dan destruktif radiasi hamburan

yang akan dihasilkan menunjukkan fenomena karakterisasi difraksi yang dapat dipelajari untuk mengetahui struktur Kristal dari suatu material (Epp, 2016).



(a)



(b)

Gambar 2.20 (a) Hasil XRD sudut pendek AL- MCM-41 (b)
Hasil XRD sudut lebar AL- MCM-41

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 2.19 memberikan penjelasan lengkap mengenai kondisi geometri untuk difraksi dan penentuan dari hukum Bragg.

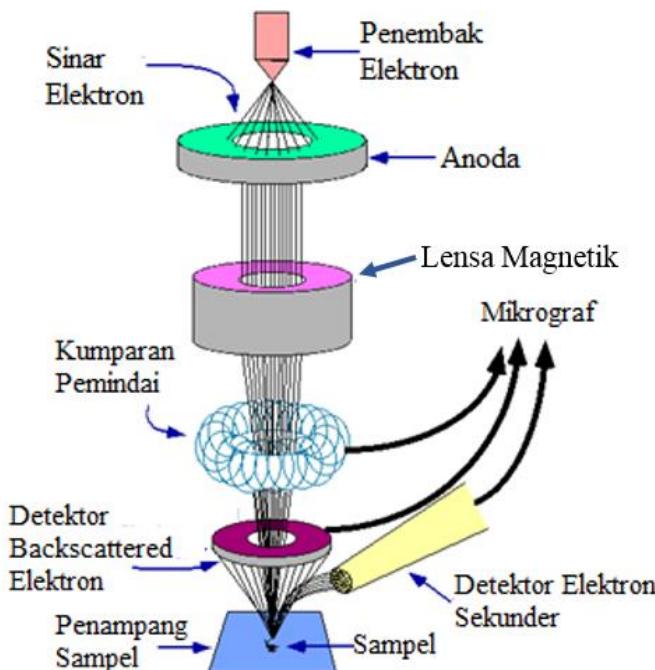
Gambar 2.20(a) menunjukkan pola *XRD* sudut pendek Al-MCM-41. Terdapat tiga puncak difraksi yang berbeda (100), (110), dan (200) yang merupakan karakteristik sudut khas dari katalis Al-MCM-41 ($2 = 1-5^\circ$) serta puncak Al dengan intensitas yang sangat rendah pada $2 = 20^\circ$ (Juwono, dkk., 2017a). Hasil *XRD* sudut lebar dari Al-MCM-41 memiliki puncak lebar pada sudut $2 = 22^\circ$ yang mengkonfirmasi fase amorf alami dari siliki yang teratur. (Sohrabnezhad dkk., 2018)

2.7.3 Scanning Electron Microscope (SEM)

Morfologi permukaan suatu sampel kristal dapat diketahui menggunakan analisis *Scanning Electron Microscop* (*SEM*). Proses kerja dari analisis ini adalah dengan menembakkan elektron dari sumber (*electron gun*) ke spesimen, kemudian elektron tersebut akan berinteraksi dengan atom yang berada di permukaan spesimen sehingga akan mengemisi sinyal yang berisi informasi tentang topografi permukaan sampel, komposisi dan sifat-sifat lainnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.21 (Gedde U.W., 1995).

Terdapat tiga detektor yang digunakan dalam SEM yaitu detektor elektron sekunder (SE), *backscattered electron* (BSE), dan sinyal sinar X (EDS atau WDS). Detektor SE digunakan untuk pembentukan gambar permukaan sampel dengan hasil resolusi yang lebih tinggi. Detektor BSE dapat

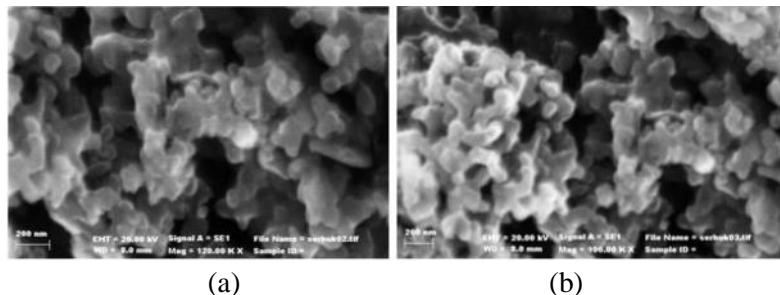
memberikan informasi tentang distribusi unsur yang berbeda dalam sampel. Pemancaran sinyal sinar X (EDS) dapat menghapus berkas elektron dari sampel yang menyebabkan elektron dengan energi yang lebih tinggi mengisi sel dan melepaskan energi. Karakteristik sinar X ini digunakan untuk mengidentifikasi dan mengukur komposisi kelimpahan elemen dalam sampel (Fansuri, 2010).



Gambar 2.21 Skema Instrumen SEM (Fatmawati dan Fansuri, 2014)

Juwono dkk (2017b) melakukan uji SEM pada material MCM-41 dan Al-MCM-41. Gambar 2.22 menunjukkan

morfologi dari Al-MCM-41 kurang heksagonal dibandingkan dengan MCM-41. Hal ini diakibatkan oleh impregnasi Al berlokasi pada pori heksagonal dari MCM-41 tanpa mengganggu kerangka dari MCM-41 sendiri.



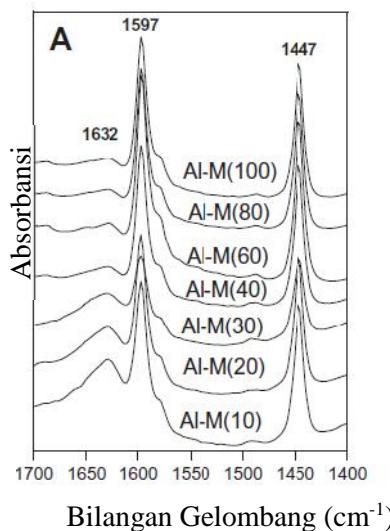
Gambar 2.22 (a) Gambar SEM Al-MCM-41 (b) Gambar SEM MCM-41

2.7.4 Penentuan Asam Basa Permukaan Katalis

Sifat asam/basa permukaan yang dimiliki oleh katalis sangat berpengaruh pada berbagai transformasi senyawa organik. Pengertian dari sisi asam adalah sisi dimana senyawa bersifat basa akan teradsorp secara kimia begitu sebaliknya. Asam Bronsted memiliki kecenderungan menyumbang proton dan basa Bronsted cenderung menerima proton. Sedangkan asam Lewis dikenal sebagai aseptor pasangan elektron sementara basa Lewis bertindak sebagai donor pasangan elektron.

Keasaman permukaan katalis dapat ditentukan dengan metode *Fourier Transform Infrared* (FTIR) salah satunya dengan senyawa piridin sebagai basa. Interaksi antara molekul piridin dengan sisi asam Bronsted pada permukaan akan memunculkan pita serapan pada daerah bilangan gelombang

1.540-1.545 cm^{-1} , sedangkan interaksi antara probe molekul dengan sisi asam Lewis permukaan muncul pada serapan bilangan gelombang sekitar 1.440-1.452 cm^{-1} (Prasetyoko, dkk., 2016). Vaschetto dkk (2014) melaporkan bahwa katalis Al-MCM-41 memiliki dua macam sisi aktif yaitu asam Lewis seperti ditunjukkan pada Gambar 2.23. menunjukkan spektra pada bilangan gelombang 1.477 cm^{-1} menunjukkan asam Lewis dari alumunium oksida.



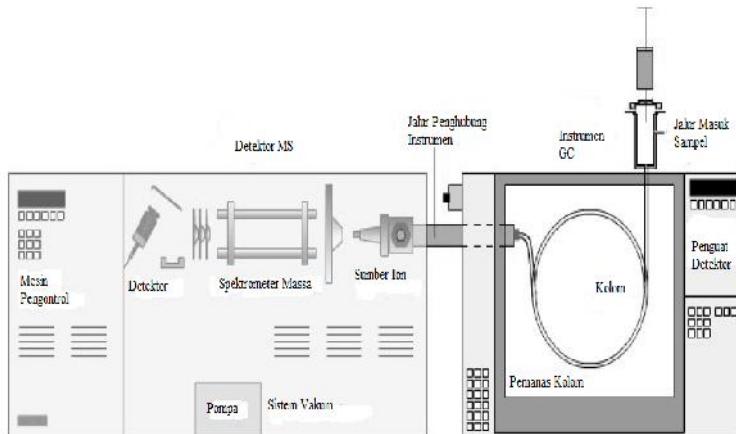
Gambar 2.23 Absorbansi FTIR Piridin Katalis Al-MCM-41

2.8 Karakterisasi Bahan Bakar Cair

2.8.1 Gas Chromatography / Mass Spectroscopy (GC/MS)

Kromatografi Gas (GC), adalah jenis kromatografi di mana fase gerak adalah gas, biasanya gas inert seperti helium atau nitrogen, dan fase diam adalah cairan lapisan mikroskopis atau polimer pada padatan pendukung yang inert dalam kaca

atau tabung logam yang disebut kolom. Kolom kapiler berisi fase diam; padatan pendukung yang dilapisi dengan cairan yang tidak mudah menguap.



Gambar 2.24 Diagram skematik Kromatografi Gas (Hussain, dkk., 2014)

Sistematika penggunaan instrumen GC-MS ditunjukkan pada Gambar 2.24. 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. Hal ini sering disertai dengan saringan molekuler untuk memurnikan gas sebelum digunakan. 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.

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.

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).

2.8.2 Densitas

Densitas diartikan sebagai massa benda dibagi dengan volumenya. Nilai densitas merupakan indikator keberadaan zat-zat pengotor pada bahan bakar. 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 , 2012).

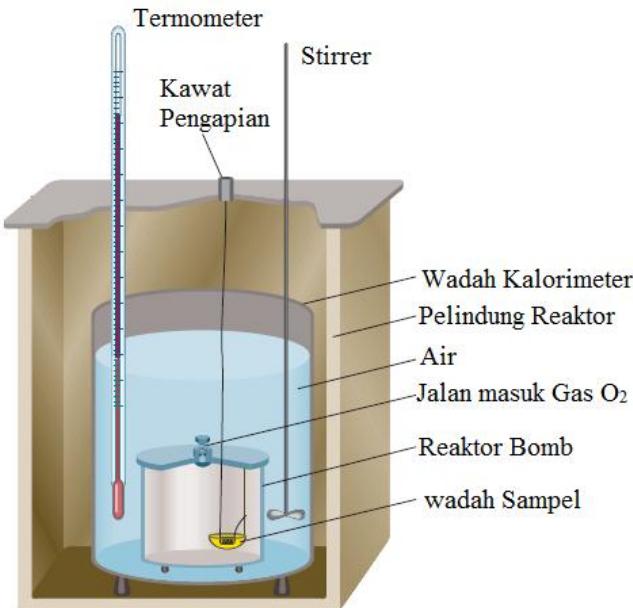
2.8.3 Titik Nyala

Titik nyala merupakan suhu terendah pada tekanan barometrik sebesar 101,3 kPa (760mmHg) dimana penerapan dari pengapian menyebabkan uap specimen menyala sesuai kondisi uji yang ditentukan. Spesimen uji dianggap nyala ketika nyala api muncul dan menyebar sendiri secara instan di seluruh permukaan spesimen uji. Bila sumber pengapian merupakan nyala api dan menyebabkan lingkaran biru atau api yang membesar sebelum titik nyala sebenarnya, ini bukan titik nyala sebenarnya dan harus diabaikan. Nilai densitas bahan bakar cair jenis gasolin berdasarkan standar ASTM D 1480.

2.8.4 Nilai Kalor

Kalorimetri merupakan studi perpindahan panas selama proses fisika dan kimia. Alat yang digunakan untuk mengukur energy yang ditransfer sebagai panas yaitu kalorimeter. Alat yang paling umum digunakan untuk mengukur U adalah kalorimeter bom adiabatik (Gambar

2.25). 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. Pengaturan ini memastikan sifat adiabatik bahwa tidak ada kehilangan panas dari kalorimeter ke sekeliling (bak air).



Gambar 2.25 Alat bom kalorimeter(Chang,2010)

Perubahan suhu, T , kalorimeter sebanding dengan energi bahwa reaksi melepaskan atau menyerap panas. Karena itu, dengan mengukur T kita bisa menentukan q_V dan menemukan U (Atkins, 2010). Konversi T ke q_V paling baik diperoleh dengan mengkalibrasi kalorimeter dengan

menggunakan energy yang keluarannya telah diketahui sebagai konstanta kalorimeter, konstanta C dalam relasi

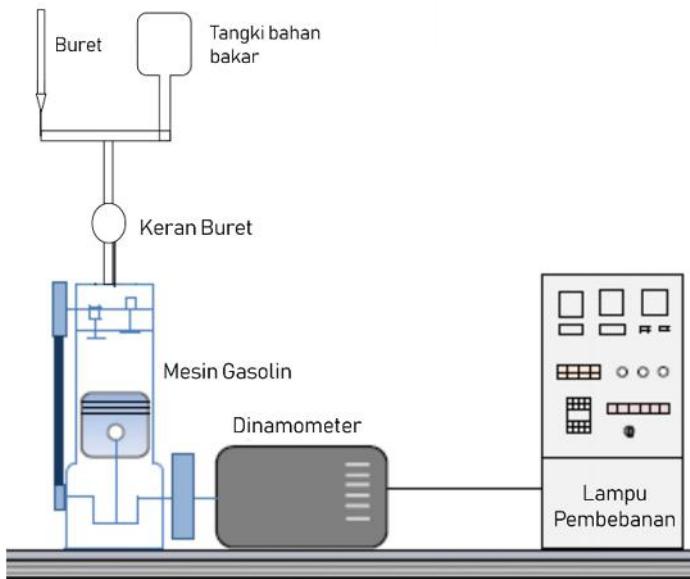
(Chang,2010)

2.8.5 Viskositas Kinematik

Viskositas merupakan sebuah pengukuran hambatan saat suatu cairan mengalir sehingga viskositas merupakan salah satu karakteristik dari semua cairan (Viswanath, dkk., 2007). Viskositas mempunyai peranan penting dalam proses penginjeksian bahan bakar cair. Viskositas yang terlalu rendah menyebabkan kebocoran pada pompa injeksi sedangkan jika terlalu tinggi akan mempengaruhi kerja cepat alat injeksi dan mempersulit pengabutan bahan bakar (Hardjono, 2001).

2.9 Karakterisasi Performa Campuran Bahan Bakar Cair pada Mesin Gasolin

Pengujian bahan bakar cair pada mesin gasolin sangat diperlukan untuk mengetahui performa maupun efisiensi dari bahan bakar cair tersebut saat diaplikasikan pada kendaraan bermotor. Variabel yang dapat diuji pada performa bahan bakar cair antara lain tenaga putaran mesin, *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC), *Brake Thermal Efficiency* (BTE), *Brake Specific Energy Consumption* (BSEC), *Total Heat* (Q_{in}) dan rasio relatif udara/bahan bakar (Topgül, 2015). Skema Pengujian bahan bakar cair pada mesin gasolin ditunjukkan pada Gambar 2.26.



Gambar 2.26 Skema Pengujian 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. Selain itu pada beberapa penelitian BTE pada mesin pembakaran dipengaruhi oleh densitas dan kekentalan bahan bakar cair.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODE 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, 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, viskometer Ostwald, bom calorimeter, piknometer 10 mL, cawan penguap, termometer, *stopwatch*, Generator Set.

3.1.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak jelantah, limbah plastik polipropilena (PP), katalis Al-MCM-41 dari penelitian sebelumnya oleh Juwono dkk. (2013), keramik busi busi, 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. Sintesis Bahan Bakar Cair dari Limbah Plastik Polipropilena

Sampel pada penelitian ini berupa limbah plastik polipropilena (PP) khususnya kemasan gelas air mineral. Sampel dibersihkan dan dikeringkan kemudian dipotong dengan ukuran kecil ($1-2 \text{ cm}^2$). Potongan limbah plastik PP ditimbang dengan berat 500 gram dan disimpan dalam wadah yang kering.

Sintesis bahan bakar cair dilakukan dengan prinsip destilasi. Perengkahan katalitik limbah plastik dilakukan dalam reaktor tertutup. Pada reaktor ini terdapat bagian utama yakni *chamber reactor* (Penampung limbah plastik), konektor, kondensor, dan labu penampung produk. *Chamber reactor* berkapasitas 2 L digunakan sebagai tempat terjadinya proses pirolisis atau perengkahan. Sampel limbah plastik polipropilena (PP) yang sudah dicacah, dimasukkan ke dalam *chamber reactor* 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 120 menit. Sampel dikonversi menjadi gas dan dialirkan menuju kondensor melalui konektor. Hasilnya dikondensasi menjadi bahan bakar cair oleh kondensor. Bahan bakar cair ditampung dalam *oil tank* yang berada di bagian bawah sistem. Sintesis bahan bakar cair dilakukan hingga didapatkan 2 L bahan bakar cair plastik.

3.2.2. 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 stirrer pada kecepatan 400 rpm hingga padatan NaOH larut dalam metanol. 200 mL (179 gram). Minyak jelantah dicampurkan dengan larutan metoksi pada labu leher tiga. Campuran direfluks pada suhu 60°C dan diaduk menggunakan stirrer 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.

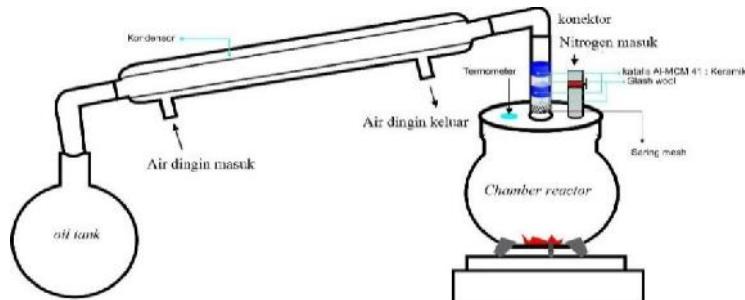
3.2.3. Persiapan Katalis

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 busi yang telah dihancurkan hingga halus. Rasio komposisi katalis dan keramik busi yang digunakan sebesar 7:3 (Katalis Al-MCM-41 : Serbuk Keramik busi) dan dibentuk menjadi pelet dengan *press pellet* dengan diameter 1 cm dan tebal 1 cm.

3.2.4. Produksi Bahan Bakar Cair Plastik Ko-reaktan biodiesel Minyak Jelantah

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

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



Gambar 3. 1 Reaktor perengkahan katalitik plastik dengan 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 *chamber reactor* dan *tubular reactor*. *Chamber reactor* berkapasitas 400 mL digunakan sebagai tempat terjadinya proses pirolisis atau perengkahan. *Tubular reactor* digunakan sebagai wadah katalis dan tempat terjadinya perengkahan katalitik. *Tubular reactor* diletakkan pada atas reaktor sehingga gas hasil perengkahan dapat mengalir dengan mudah menuju *tubular reactor* untuk mengalami reaksi katalisis. *Tubular reactor* terhubung langsung dengan kondensor yang mengkondensasi 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 120 mL (40% dari volume total 300 mL) dicampurkan dengan 180 mL (60% dari volume total 300 mL) biodiesel minyak jelantah dimasukkan ke dalam *chamber reactor*. Konektor disusun sedemikian rupa hingga melekat pada sisi atas chamber reactor. Reaktor dipanaskan hingga mencapai suhu 300°C dengan total proses reaksi selama 120 menit.. Sampel dikonversi menjadi gas dan dialirkan menuju kondensor melalui konektor. Gas yang terbentuk dikondensasi menjadi bahan bakar cair oleh kondensor. Bahan bakar cair ditampung dalam *oil tank* yang berada di bagian bawah sistem. Dalam penelitian ini Sintesis bahan bakar cair Plastik Ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dilakukan dengan variasi perbandingan % volume bahan bakar cair plastik dengan biodiesel minyak jelantah dengan volume total 300 mL. Variasi pertama (P100) dilakukan perengkahan katalitik dengan reaktan bahan bakar cair plastik 100% dan biodiesel minyak jelantah 0%. Variasi kedua (P80) dilakukan perengkahan katalitik dengan reaktan bahan bakar cair plastik 80% dan biodiesel minyak jelantah 20%. Variasi ketiga (P60) dilakukan perengkahan katalitik dengan reaktan bahan bakar cair plastik 60% dan biodiesel minyak jelantah 40. Variasi keempat (P50) dilakukan perengkahan katalitik dengan reaktan bahan bakar cair plastik 50% dan biodiesel minyak jelantah 50%. Variasi kelima (P40) dilakukan perengkahan katalitik dengan reaktan bahan bakar cair plastik 40% dan biodiesel minyak jelantah 60%.

3.2.5. Karakterisasi Katalis Al-MCM 41 : Keramik busi (7:3)

Sifat tekstur katalis dievaluasi menggunakan adsorpsi-desorpsi N₂ (*Micromeritics TriStar II 3020 Automatic physisorption Analyzer*). Katalis Al-MCM 41 : Keramik busi (7:3) 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).

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

Ukuran partikel dan morfologi permukaan sampel dievaluasi menggunakan *scanning electron microscope* (SEM, FEI Quanta 200 F).

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

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 nyamplung pada pirolisis katalitik bertingkat.

Yield produk spesifik dihitung berdasarkan persamaan berikut

$$\text{Yield produk} = \frac{V_t}{V_i} \times \frac{P}{r} \times 100\%.... (3.1)$$

3.3 Produksi Campuran Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair hasil sintesis menggunakan metode perengkahan katalitik minyak plastik PP 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 Feedstock | % Feedstock (v/v) | % Premium RON 88 (v/v) | % MTBE (v/v) | Campuran BBC (CBBC) |
|-----------------|-------------------|------------------------|--------------|---------------------|
| PM100 | 10 | 90 | 2,45 | CB100 |
| PM80 | 10 | 90 | 2,45 | CB80 |
| PM60 | 10 | 90 | 2,45 | CB60 |
| PM50 | 10 | 90 | 2,45 | CB50 |
| PM40 | 10 | 90 | 2,45 | CB40 |
| PM100 | 10 | 90 | - | TCB100 |

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 minyak plastik PP dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah. Ada beberapa parameter pengujian fisik yang digunakan antara lain densitas, titik nyala, viskositas dan nilai kalor.

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. *GasChromatograph-Mass Spectrophotometer (GC-MS)* dikondisikan sebagai berikut:

1. Inlets

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

2. Oven

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

3. Kolom

- Tipe : AB 5MS
- Gas : Helium
- Aliran gas : 0,51 mL/menit

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. Penentuan Densitas campuran bahan bakar cair diperoleh menggunakan Persamaan (3.2)

$$\rho_b = \frac{\frac{M}{V_t} - \frac{p}{p}}{\frac{+b}{p} - \frac{-M}{p}} \dots (3.2)$$

$\text{bb} = \text{Kg/m}^3$

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 Viskositas Kinematik Campuran Bahan Bakar Cair

Penentuan viskositas kinematik campuran bahan bakar cair dapat dilakukan dengan viskosimeter Ostwald. Viskosimeter Ostwald diisi dengan sampel dan dikondisikan

agar sampel dapat terhisap hingga melewati batas atas kapiler pengukuran. Kemudian dicatat waktu yang diperlukan oleh sampel tersebut untuk mengalir dari batas atas hingga batas bawah kapiler. Lalu dilakukan perhitungan viskositas dengan membandingkannya terhadap zat pembanding yakni aquades. Pengujian viskositas bahan bakar cair dilakukan pada suhu kamar 30°C. Nilai viskositas kinematik campuran bahan bakar cair diperoleh menggunakan Persamaan (3.3).

$$\eta_b = \eta_a \frac{t_b \cdot \rho_b}{t_a \cdot \rho_a} \dots \dots \dots \quad (3.3)$$

Keterangan : η_b = Viskositas kinematik bahan bakar cair
 η_a = Viskositas kinematik aquades
 t_b = Waktu alir campuran bahan bakar cair
 t_0 = Waktu alir aquades
 ρ_b = Densitas campuran bahan bakar cair
 ρ_0 = Densitas aquades

3.4.5 Penentuan Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair

Penentuan nilai kalor campuran bahan bakar cair menggunakan bom kalorimeter. Sebanyak 0,6 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 preparsi dilakukan maka proses pembakaran dapat dilakukan dengan mengalirkan listrik ke dalam kalorimeter. Nilai kalor yang terserap oleh kalorimeter ditampilkan pada monitor.

3.5 Uji 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 pembebahan yang dihasilkan selama proses pembakaran dalam mesin. Pengujian dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Departemen Teknik Mesin Industri ITS.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Produksi Bahan Bakar Cair

Pada penelitian ini, limbah plastik jenis polipropilena (PP) dan minyak jelantah diolah menjadi bahan bakar cair (BBC) dengan kandungan fraksi hidrokarbon menyerupai gasolin melalui metode perengkahan. Hasil produksi bahan bakar cair (BBC) ini dapat dimanfaatkan sebagai pengganti bahan bakar komersil seperti Premium. Pemanfaatan hasil produksi bahan bakar cair (BBC) ini perlu diteliti karena kandungan fraksi hidrokarbon serta performa bahan bakar cair (BBC) berdampak pada efisiensi bahan bakar cair (BBC) yang diharapkan dapat menggantikan bahan bakar komersil jenis Premium. Hasil bahan bakar cair (BBC) yang diperoleh dilakukan uji fisik berupa titik nyala, densitas, dan nilai kalor untuk mengetahui apakah bahan bakar cair (BBC) yang dihasilkan memiliki karakteristik yang serupa dengan bahan bakar komersil jenis Premium berdasarkan spesifikasi bahan bakar menurut SNI-06-3506-1994 seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1. Selain itu, dilakukan uji performa bahan bakar cair (BBC) yang diperoleh pada mesin gasolin.

Uji menggunakan 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 plastik polipropilena.

Tabel 4.1 Spesifikasi bahan bakar minyak jenis bensin premium (SNI 06-3506-1994)

| No | Sifat | Satuan | Batasan | |
|----|--------------------|-------------------|---------|------|
| | | | Min | Maks |
| 1 | Angka Oktana | RON | 88,0 | - |
| 2 | Titik didih akhir | °C | - | 205 |
| 3 | Densitas Pada 15°C | kg/m ³ | 715 | 770 |
| 4 | Warna | | Kuning | |
| 5 | Kandungan Pewarna | gr/100L | - | 0,5 |

Permasalahan yang muncul pada penelitian ini berupa variasi komposisi antara plastik dengan ko-reaktan minyak jelantah yang memenuhi spesifikasi dari bahan bakar jenis Premium dan performa bahan bakar cair (BBC) yang dihasilkan terhadap mesin gasolin.

4.1.1 Sintesis Bahan Bakar Cair Plastik

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini berupa limbah gelas plastik polipropilena (PP). Limbah plastik PP berupa gelas plastik merupakan hal yang lumrah dikarenakan kegunaannya yang praktis dan harganya yang murah. Plastik polipropilena yang digunakan dalam penelitian ini merupakan gelas plastik ukuran 240 mL seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



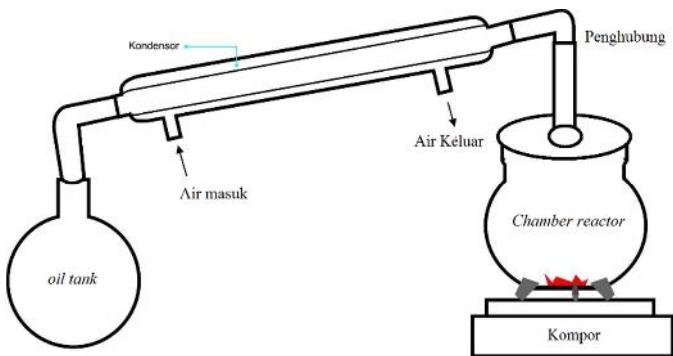
Gambar 4.1 Gelas plastik polipropilena

Gelas plastik yang digunakan transparan (tidak berwarna), lentur dan gampang dibengkokkan (fleksibel). Gelas plastik polipropilena dikumpulkan dari tempat pembuangan akhir (TPA) Trowulan, Mojokerto. Pada TPA dilakukan pengolahan pada gelas plastik hingga menjadi cacahan. Ukuran cacahan gelas plastik beragam dengan ukuran rata-rata 1-2 cm² seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Gelas akua dibentuk menjadi cacahan agar memperkecil ukuran limbah sehingga dapat masuk reaktor dengan mudah serta mempermudah reaksi perengkahan plastik. Cacahan plastik ditimbang dengan berat 500 gram untuk satu kali proses perengkahan. 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* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Cacahan limbah plastik polipropilena

Perengkahan katalitik limbah plastik dilakukan dalam reaktor tertutup. Pada reaktor ini terdapat bagian utama yakni chamber reaktor, konektor, kondensor, dan labu penampung. *Chamber reactor* berkapasitas 2 L digunakan sebagai tempat terjadinya proses pirolisis atau perengkahan. Konektor digunakan sebagai penghubung chamber 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 di dalam *oil tank* yang terletak di bawah kondensor.



Gambar 4.3 Skema *continuous reactor*

Sintesis bahan bakar cair dilakukan dengan prinsip destilasi. Cacahan sampel limbah plastik polipropilena (PP) sebanyak 500 mg dimasukkan ke dalam *chamber reactor*. Konektor disusun sedemikian rupa hingga melekat pada sisi atas *chamber reactor*. Reaktor dipanaskan hingga mencapai suhu 250°C dengan total proses reaksi selama 120 menit. Sampel dikonversi menjadi gas dan dialirkan menuju kondensor melalui konektor. Hasilnya dikondensasi menjadi bahan bakar cair oleh kondensor. Bahan bakar cair ditampung dalam *oil tank* yang berada di bagian bawah reaktor. Pada satu kali reaksi perengkahan plastik dalam waktu 120 menit didapatkan sekitar 600 mL bahan bakar cair minyak plastik. Produk minyak plastik ditunjukkan pada Gambar 4.4. Minyak plastik yang didapatkan berupa cairan kuning jernih yang dapat menyala pada suhu ruang.



Gambar 4.4 Hidrokarbon tahap 1 hasil perengkahan termal plastik PP

4.1.2 Sintesis Biodiesel Minyak Jelantah Melalui Metode Transesterifikasi

Sintesis biodiesel dari minyak jelantah diawali dengan preparasi minyak jelantah. Preparasi ini diawali dengan penyaringan minyak jelantah yang bertujuan untuk memisahkan minyak dari pengotor atau endapan. Selanjutnya, minyak dipanaskan untuk menghilangkan / mengurangi kandungan air yang terdapat pada minyak jelantah.

Tahap selanjutnya adalah pembuatan larutan metoksi. Larutan metoksi dibuat dengan mereaksikan NaOH yang dimasukkan ke dalam larutan metanol p.a. dan distirer dengan kecepatan 400 rpm. Pembuatan larutan metoksi ini bertujuan untuk membentuk senyawa 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, kemudian distirer dengan kecepatan pengadukan 800 rpm. Gambar 4.5. merupakan rangkaian alat refluks sintesis biodiesel dari minyak jelantah.



Gambar 4.5 Rangkaian refluks sintesis biodiesel

Setelah proses refluks selesai, campuran di pindahkan ke corong pisah untuk memisahkan fasa yang terbentuk. Gambar 4.6. merupakan Gambar fasa yang terpisah pada corong pisah. Lapisan pertama (fasa atas) merupakan lapisan terduga metil ester dimana biodiesel terbentuk dan lapisan kedua (fasa bawah) merupakan lapisan terduga gliserol. Pembentukan lapisan ini disebabkan karena adanya perbedaan massa jenis dimana massa jenis biodiesel ($850-890 \text{ kg/m}^3$) lebih rendah dibanding massa jenis gliserol (1260 kg/m^3).

Setelah dipisahkan dari corong pisah, biodiesel dicuci dengan air hangat hingga warna air tidak keruh kembali. Biodiesel kemudian ditambahkan natrium sulfat (Na_2SO_4). Penambahan ini bertujuan untuk menarik sisa air yang masih tersisa pada biodiesel. Setelah itu, biodiesel dievaporasi dengan evaporator untuk menghilangkan pelarut lain dan diperoleh biodiesel yang murni.



Gambar 4.6 Pemisahan biodiesel dan gliserol

Biodiesel yang terbentuk berwarna kuning jernih seperti Gambar 4.7. Sintesis biodiesel dengan katalis basa diawali dengan reaksi antara metanol dengan katalis basa menghasilkan ion alkoksida yang berfungsi sebagai nukleofilik. Ion ini akan menyerang gugus karbonil pada rantai minyak dan terjadi penataan ulang pada trigliserida membentuk metil ester dan katalis basa.



Gambar 4.7 Hasil biodiesel

4.1.3 Sintesis Bahan Bakar Cair Plastik Ko-reaktan biodiesel minyak jelantah

Sampel yang digunakan Sintesis Bahan Bakar Cair Plastik Ko-reaktan biodiesel minyak jelantah ini berupa bahan bakar cair plastik dan biodiesel minyak jelantah. Reaktan yang digunakan pada percobaan ini adalah variasi komposisi plastik dengan ko-reaktan metil ester dari hasil transesterifikasi minyak jelantah.

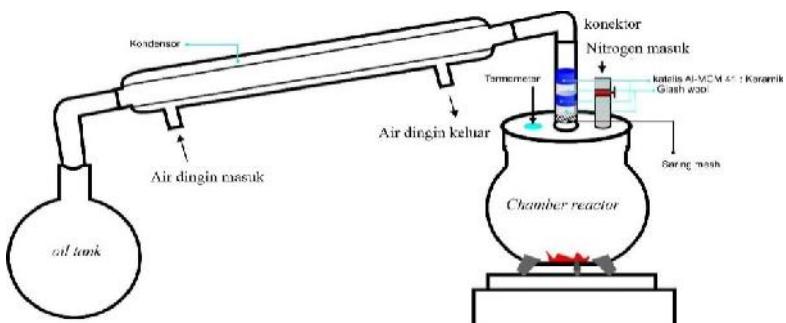
Pada penelitian ini digunakan metode perengkahan katalitik dengan katalis Al-MCM-41. Al-MCM-41 diperoleh dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Juwono dkk (2013). Katalis Al-MCM-41 berupa serbuk halus berwarna putih. Katalis Al-MCM-41 dicampur dengan keramik busi yang berwarna abu-abu dengan perbandingan 7 : 3 (Al-MCM-41 : Keramik busi) seperti ditunjukkan pada Gambar 4.8(a). Keramik busi berfungsi sebagai material pendukung untuk meningkatkan kinerja proses perengkahan katalitik. Campuran Al-MCM-41 dan keramik busi dibentuk menjadi butir *pellet* dengan massa total 9 gram (3% b/b dari reaktan) seperti

ditunjukkan pada Gambar 4.8(b). Kinerja katalis lebih maksimal dengan bentuk *pellet* yang tidak terlalu padat dan rapat sehingga reaktan dan katalis dapat berinteraksi dengan baik.



Gambar 4.8 (a) Katalis Al-MCM-41 : Keramik busi (7:3) (b)
pellet katalis Al-MCM-41 : Keramik busi (7:3)

Perengkahan katalitik minyak plastik Ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dilakukan dalam reaktor tertutup dimana reaktor yang digunakan adalah *continuous reactor*. Reaktor yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.9. Bagian utama dari reaktor ini berupa *chamber reactor* dan *tubular reactor*. *Chamber reactor* berkapasitas 540 mL digunakan sebagai tempat terjadinya proses pirolisis atau perengkahan. Reaktan, berupa campuran dari plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dimasukkan pada *chamber reactor*. Gas nitrogen dialirkan pada *chamber reactor* untuk menghilangkan gas oksigen yang mungkin ada pada sistem reaktor sehingga menekan pengotor gas oksigen pada bahan bakar cair yang dihasilkan.



Gambar 4. 9 Reaktor perengkahan katalitik plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah

Pemanasan dilakukan pada suhu $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan waktu reaksi selama 120 menit. Pemanasan pada *chamber reactor* 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 pada *chamber reactor* akan mengalir menuju *tubular reactor* sedangkan fraksi yang lebih berat akan tetap berada pada *chamber reactor*. Terbentuknya produk yang berbeda ini menunjukkan perbedaan fraksi pada produk hasil perengkahan. Fraksi yang berat akan tetap berada pada *chamber reactor* menjadi kokas sedangkan fraksi ringan akan menekan ke segala arah salah satunya menuju ke *tubular reactor*. *Tubular reactor* digunakan sebagai wadah katalis dan tempat terjadinya perengkahan katalitik. *Tubular reactor* disusun dengan komposisi bertingkat dengan 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.



(a)



(b)

Gambar 4.10 (a) Produk bahan bakar cair (b) kokas

Pengisian *glass wool* pada *tubular reactor* tidak dimampatkan agar masih menyisakan ruang untuk gas hasil perengkahan plastik untuk menuju katalis serta keluar dari *tubular reactor* kemudian masuk pada kondensor. Pada perengkahan katalitik terjadi pemutusan ikatan karbon beta pada reaktan fase gas berupa fraksi ringan hasil perengkahan dari *chamber reactor* dengan berikatannya pada sisi aktif katalis Al-MCM-41. *Tubular reactor* diletakkan pada atas

reaktor sehingga gas hasil perengkahan dapat mengalir dengan mudah menuju *tubular reactor* untuk mengalami reaksi katalisis. *Tubular reactor* terhubung langsung dengan kondensor yang mengkondensasi hasil perengkahan katalitik. Hasil kondensasi berupa cairan akan tertampung di dalam *oil tank* yang terletak di bawah kondensor. Produk hasil perengkahan katalitik dan kokas masing – masing variasi ditunjukkan pada gambar 4.10 (a) dan (b).

Tabel 4.2 Volume bahan bakar cair (BBC) dan kokas hasil perengkahan limbah plastik PP dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah

| Jenis | Volume BBC (mL) | Prosentase BBC (%) | Volume kokas (mL) | Prosentase kokas |
|-------|-----------------|--------------------|-------------------|------------------|
| PM100 | 45 | 15,00% | 162 | 54,00% |
| PM80 | 100 | 33,33% | 235 | 78,33% |
| PM60 | 72 | 24,00% | 220 | 73,33% |
| PM50 | 30 | 10,00% | 217 | 72,33% |
| PM40 | 38 | 12,67% | 230 | 76,67% |

Hasil bahan bakar cair yang didapatkan menurun dengan naiknya komposisi ko-reaktan biodiesel minyak jelantah hingga komposisi ko-reaktan mencapai 50%. Penurunan volume bahan bakar cair hasil perengkahan limbah plastik PP dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dapat dilihat pada Tabel 4.2. Penurunan ini disebabkan terbentuknya fraksi hidrokarbon yang lebih ringan ($<C_7$) yang lebih besar pada variasi *feedstock* PM50 sehingga jumlah bahan bakar cair yang dihasilkan menurun. Pada komposisi ko-reaktan di atas 50% terbentuk fraksi fraksi hidrokarbon yang lebih berat

sehingga jumlah bahan bakar cair yang didapatkan meningkat. Kokas yang dihasilkan variatif dikarenakan sistem reaktor yang memungkinkan menghambat fraksi fraksi hidrokarbon ringan hasil perengkahan termal sulit menembus *tubular reactor* sehingga fraksi yang telah mencapai *tubular reactor* dapat kembali lagi menuju *chamber reactor*. 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. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian berupa kokas pada komposisi ko-reaktan biodiesel minyak jelantah yang dominan dapat meningkatkan kokas.

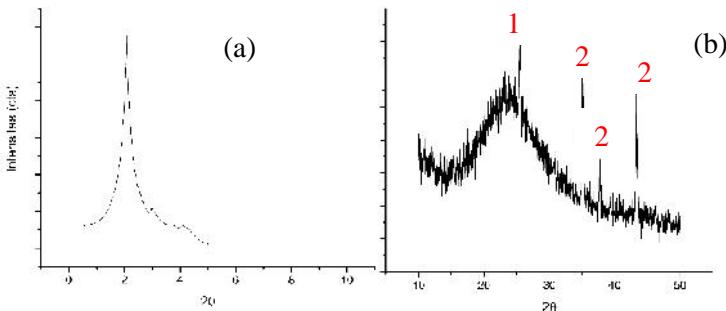
4.2 Karakterisasi Katalis

4.2.1 Hasil Karakterisasi XRD

Pada SAXRD puncak pada $2\theta = 0,5^\circ - 4,9^\circ$ merupakan SAXRD dari penelitian yang dilakukan oleh (Juwono dkk., 2017b) yang digabungkan dengan XRD Al-MCM-41 : keramik busi 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 4.11.

Apabila digabungkan, puncak Al-MCM-41 tetap ada sehingga tidak merusak struktur heksagonal Al-MCM-41 akibat adanya keramik busi. 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 4.11 (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 nomor 2 di Gambar 4.11 (b) merupakan puncak kristal khas dari keramik busi. Hal ini menunjukkan bahwa katalis Al-MCM-41

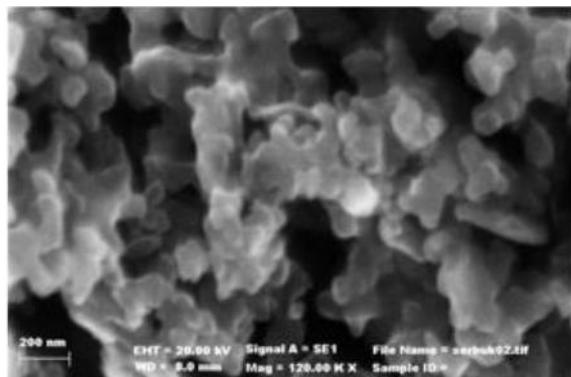
: keramik busi (7:3) tidak mengubah struktur kristal dari Al-MCM-41 maupun keramik busi.



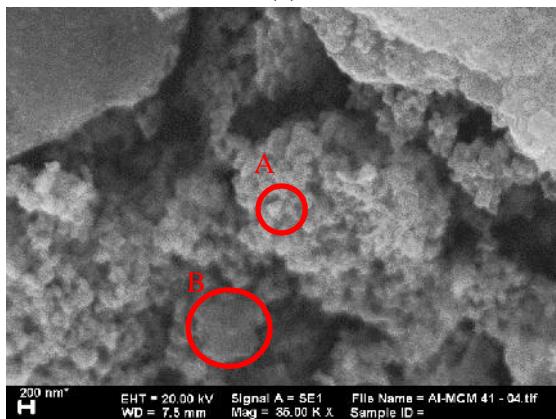
Gambar 4.11 (a) SAXRD Al-MCM-41 dengan Al-MCM-41 : Keramik busi (b) WAXRD Al-MCM-41 : keramik busi

4.2.2 Hasil Karakteriasi SEM

Pada mikrogram SEM, terlihat Al-MCM-41 menempel pada permukaan keramik busi. Penampakan Al-MCM-41 ditunjukkan pada titik A di Gambar 4.12 (b) dan penampakan keramik busi ditunjukkan pada titik B di Gambar 4.12 (b). Pada Al-MCM-41 murni, terlihat permukaan yang halus berupa aglomerasi dari padatan dengan struktur heksagonal, sedangkan pada variasi Al-MCM-41: keramik busi (7:3), terdapat partikel-partikel halus dengan struktur heksagonal dari Al-MCM-41 menempel pada permukaan keramik busi yang berfungsi sebagai padatan pendukung.



(a)



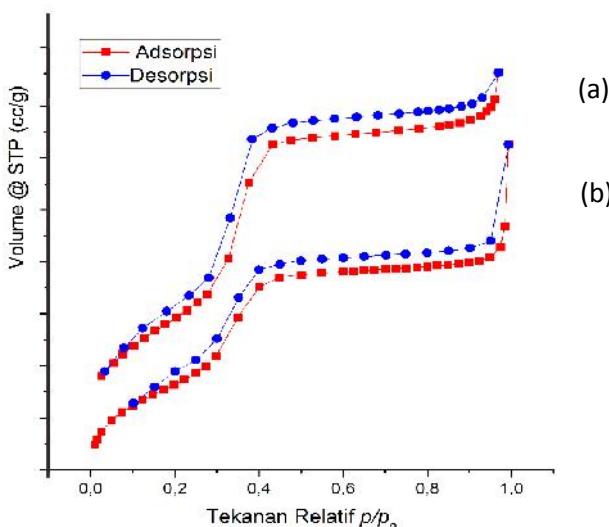
(b)

Gambar 4.12 (a) SEM Al-MCM-41 (b) SEM Al-MCM-41 : Keramik busi (7:3)

4.2.3 Hasil Karakteriasi Uji Adsorpsi Desorpsi Nitrogen

Pada Uji adsorpsi-desorpsi nitrogen yang dilakukan, grafik isotherm yang didapatkan termasuk grafik isotherm tipe iv. Grafik isotherm ditunjukkan pada Gambar 4.13. Grafik isotherm ini merupakan khas tipe Al-MCM-41. Hal ini

membuktikan bahwa adanya keramik busi dalam Al-MCM-41 yang digunakan dengan rasio massa Al-MCM-41 : keramik busi (7 : 3) tidak merubah tipe grafik isotherm dari Al-MCM-41 sendiri. Luas permukaan yang didapatkan lebih besar daripada luas permukaan Al-MCM-41 sintesis oleh (Juwono, dkk., 2017b). Hal ini menunjukkan bahwa adanya keramik busi dalam katalis yang digunakan menambah luas permukaan Al-MCM-41.



Gambar 4.13 (a) Grafik isoterme Al-MCM-41 referensi (b)
Grafik isoterme Al-MCM-41 : Keramik busi

Luas permukaan katalis Al-MCM-41 : keramik busi (7:3) dibandingkan dengan katalis Al-MCM-41 pada penelitian oleh Juwono dkk (2017b), didapatkan bahwa luas permukaan

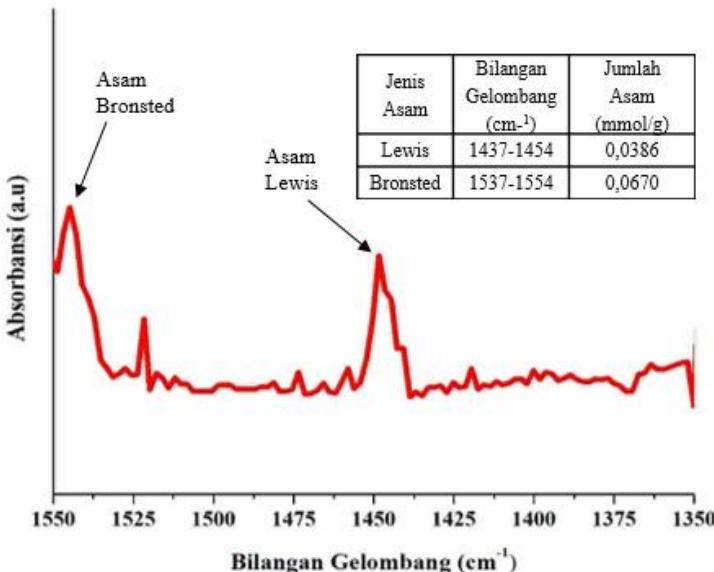
meningkat disebabkan karena bertambahnya luas permukaan dari keramik busi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.3. Volume pori dan radius rata-rata mengalami kenaikan akibat dari pencampuran dengan keramik busi karena tarikan dari keramik busi terhadap katalis Al-MCM-41.

Tabel 4.3 Data Analisis Uji Adsorpsi Desorpsi Nitrogen

| No. | Katalis | Luas Permukaan (m^2/g) | Volume Pori (cc/g) | Pori Rata-rata Radi (Å) |
|-----|--------------------------------|----------------------------|--------------------|-------------------------|
| 1 | Al-MCM-41 | 419,93 | 0,50 | 15,12 |
| 2 | Al-MCM-41 : Keramik busi (7:3) | 490,665 | 0,546 | 22,22 |

4.2.4 Keasaman Menggunakan FTIR-Piridin

Analisis FTIR dengan senyawa piridin digunakan untuk menentukan keasaman permukaan katalis Al-MCM-41. Spektrum yang ditunjukkan pada Gambar 4.14, menunjukkan interaksi antara senyawa piridin dengan sisi aktif katalis Al-MCM-41 pada bilangan gelombang 1537-1554 cm^{-1} menunjukkan sisi aktif Asam Bronsted dengan jumlah 0,0670 mmol/g. Sementara pada bilangan gelombang 1437-1454 cm^{-1} dengan jumlah 0,0386 mmol/g menunjukkan interaksi antara senyawa piridin dengan sisi aktif Al-MCM-41 yang bersifat asam Lewis (Juwono, dkk., 2017b).



Gambar 4.14 Spektra Piridin-FTIR Katalis Al-MCM-41

4.3 Hasil Perengkahan katalitik hidrokarbon

Pada penelitian ini Al-MCM-41 berfungsi sebagai katalis dalam proses perengkahan minyak plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah. Perengkahan katalitik ini menggunakan mekanisme karbokation. Katalis yang bersifat asam akan menambahkan proton ke dalam rantai hidrokarbon fasa gas hasil perengkahan atau menarik ion hidrida dari rantai hidrokarbon sehingga terbentuk ion karbonium. Apabila telah terbentuk karbonium pada rantai hidrokarbon maka akan terjadi pemotongan ikatan karbon beta. Salah satu ikatan pada posisi beta dari karbon bermuatan positif akan putus secara heterolitik sehingga menghasilkan satu olefin dan karbokation yang lain.

4.3.1 % Yield Bahan Bakar Cair (BBC)

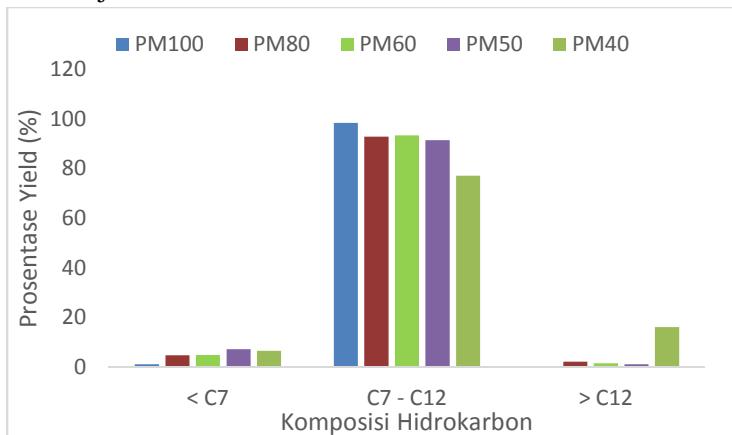
Bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan katalitik dikarakterisasi dengan instrumen GC-MS-QP2010S SHIMADZU. Berdasarkan hasil analisa, bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan minyak limbah plastik PP murni dan dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah pada berbagai variasi persen komposisi tidak hanya menghasilkan fraksi gasolin (C_7 - C_{12}) saja namun juga menghasilkan fraksi hidrokarbon lain seperti hidrokarbon rantai pendek ($<C_7$) dan rantai panjang ($>C_{12}$). Kromatogram bahan bakar cair hasil perengkahan semua variasi dapat dilihat lengkap pada lampiran. % Yield hidrokarbon yang didapatkan pada masing – masing variasi ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Yield bahan bakar cair (BBC) pada Tabel 4.4, menunjukkan bahwa terjadi kenaikan fraksi hidrokarbon rantai pendek ($<C_7$) dan fraksi hidrokarbon rantai panjang ($>C_{12}$) seiring penambahan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah pada berbagai variasi dibanding plastik 100%. Yield fraksi gasolin paling banyak diperoleh pada variasi plastik 100% yaitu mencapai 98,46%.

Tabel 4.4 % Yield hidrokarbon hasil perengkahan katalitik

| Variasi | % Yield Hidrokarbon | | |
|----------------------------|---------------------|----------------|------------|
| | $< C_7$ | $C_7 - C_{12}$ | $> C_{12}$ |
| Plastik 100% | 1,29 | 98,46 | - |
| Plastik 80% ; Jelantah 20% | 4,85 | 92,86 | 2,3 |
| Plastik 60% ; Jelantah 40% | 4,92 | 93,48 | 1,55 |
| Plastik 50% ; Jelantah 50% | 7,31 | 91,5 | 1,19 |
| Plastik 40% ; Jelantah 60% | 6,69 | 77,14 | 16,17 |
| Prosentase yield Premium | 13,44 | 84,46 | 2,10 |

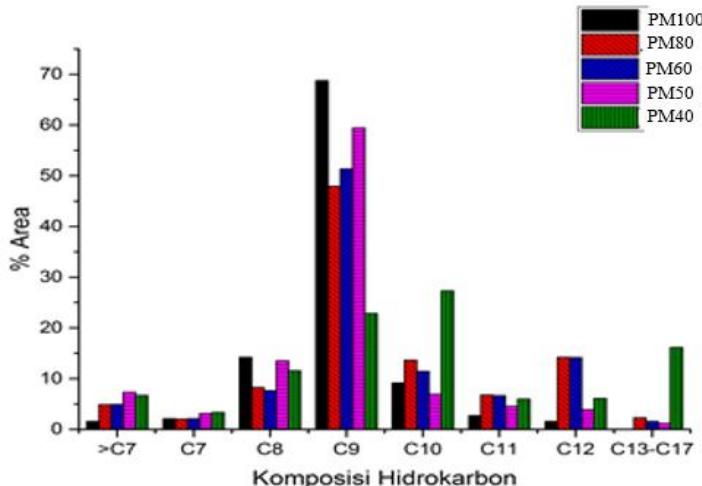
Hidrokarbon rantai rendah mengalami kenaikan dengan penambahan komposisi jelantah hingga mencapai 7,31% pada variasi komposisi plastik 50% dengan ko-reaktan jelantah 50%. Pada variasi di bawah 50%, terjadi pergeseran produk yang dihasilkan, dimana pembentukan fraksi hidrokarbon rantai panjang ($>C_{12}$) mengalami peningkatan *yield* yang sangat besar yaitu 16,17 %, yang pada variasi dengan penambahan ko-reaktan minyak jelantah yang lebih kecil, fraksi hidrokarbon rantai panjang ($>C_{12}$) berkisar 1,19 – 2,3% saja.



Gambar 4.15 Komposisi hidrokarbon pada setiap variasi

Komposisi hidrokarbon penyusun bahan bakar cair pada setiap variasi pada Gambar 4.15 menunjukkan bahwa variasi komposisi plastik 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.

Penambahan ko-reaktan jelantah pada perengkahan katalitik plastik menurunkan fraksi gasolin (C_7-C_{12}) yang terbentuk dan meningkatkan fraksi hidrokarbon rantai pendek ($<C_7$) hingga variasi 50% dan meningkatkan fraksi hidrokarbon rantai panjang pada variasi di atas 50%. Hal ini dimungkinkan akibat interaksi antara gas hasil perengkahan jelantah dengan plastik pada komposisi biodiesel minyak jelantah yang rendah masih rendah sehingga kecenderungan fraksi ringan plastik dan jelantah terdorong lebih kuat ke *tubular reactor* sehingga terbentuk fraksi hidrokarbon rantai pendek yang lebih besar. Pada komposisi jelantah yang tinggi terjadi interaksi antara plastik dan ko-reaktan jelantah yang membentuk senyawa *bulky* berupa aromatik pada rantai panjang hidrokarbon ($>C_{12}$).



Gambar 4.16 Komposisi fraksi bensin pada bahan bakar cair (BBC) hasil Perengkahan

Pada perengkahan katalitik yang dilakukan, didapatkan kandungan terbesar pada fraksi gasolin yaitu pada C₇-C₁₂. Perbandingan terhadap komponen yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 4.16. Kelimpahan yang terbesar didapatkan pada kandungan C₉ yaitu sekitar 22,86 – 68,75%. Penambahan jumlah komposisi ko-reaktan biodiesel akan menggeser produk yang terbentuk menjadi hidrokarbon rantai panjang.

4.4 Karakterisasi dan Performa Campuran Bahan Bakar Cair

Karakteristik bahan bakar cair (BBC) sangat penting digunakan dalam penentuan keberhasilan proses perengkahan. Bila karakteristik dari BBC yang dihasilkan memiliki karakteristik yang sesuai dengan standar bahan bakar jenis Premium, proses katalitik berhasil dan produk yang dihasilkan merupakan bahan bakar cair (BBC) dengan fraksi hidrokarbon Premium. Terdapat beberapa parameter pengujian yang dilakukan diantaranya densitas, titik nyala, viskositas, nilai kalor, dan performa campuran bahan bakar cair (CBBC) pada mesin gasolin.

4.4.1 Densitas Campuran Bahan Bakar Cair

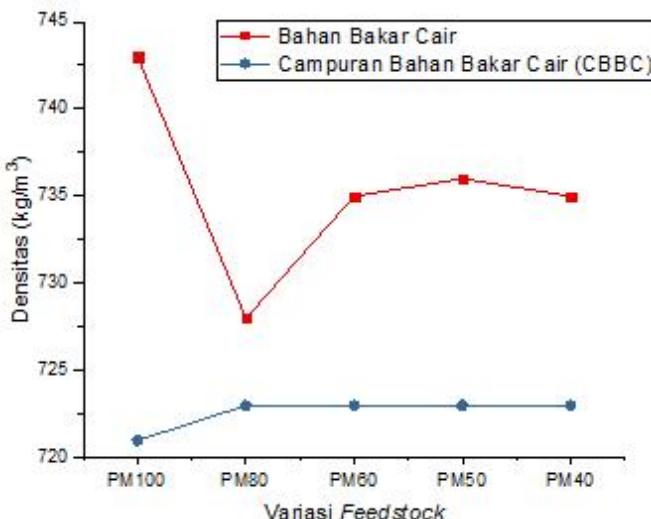
Densitas atau massa jenis suatu sampel menunjukkan perbandingan antara massa persatuan volume. Densitas merupakan sifat khas, sehingga akan berbeda dengan zat lainnya sehingga dapat dijadikan sebagai salah satu parameter berhasil atau tidaknya suatu bahan bakar cair yang diproduksi harus memenuhi baku mutu densitas standar. Penentuan densitas dilakukan dengan piknometer pada suhu 15°C. Piknometer kosong yang telah tercatat massanya dan diketahui volumenya diisi dengan sampel bahan bakar cair (BBC) sampai

batas. Densitas sampel diperoleh dari perbandingan massa sampel dan volume tetap pada piknometer. Campuran bahan bakar cair (CBBC) dilakukan perlakuan yang sama untuk mengetahui densitasnya.

Hasil penentuan densitas bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan dengan variasi % volume reaktan plastik dan ko-reaktan minyak jelantah pada Gambar 4.17, menunjukkan bahwa densitas pada perbandingan Plastik : Jelantah (80%:20%) memiliki densitas yang paling kecil yaitu pada 728 kg/m^3 . Densitas plastik 100% merupakan densitas tertinggi yang dihasilkan dari variasi ko-reatan sebesar 743 kg/m^3 . Hal ini menunjukkan kandungan molekul yang besar pada variasi plastik 100% dibandingkan dengan variasi yang lainnya. Pada penambahan %ko-reaktan biodiesel minyak jelantah yang semakin besar, terjadi penambahan densitas dikarenakan semakin tinggi %ko-reaktan biodiesel minyak jelantah yang ditambahkan, berat molekul (M_r) dari senyawa penyusun bahan bakar cair (BBC) semakin besar.

Densitas campuran bahan bakar cair (CBBC) mengalami kenaikan seiring penambahan %ko-reaktan biodiesel minyak jelantah. Densitas campuran bahan bakar cair (CBBC) pada variasi *feedstock* CB60 memiliki densitas yang paling besar yaitu $723,38 \text{ kg/m}^3$. Densitas dari campuran bahan bakar cair (CBBC) secara keseluruhan lebih rendah dari pada densitas dari bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan. Rendahnya densitas campuran bahan bakar cair (CBBC) ini disebabkan penambahan Premium yang memiliki densitas yang lebih rendah. MTBE sebagai aditif yang digunakan juga dapat mempengaruhi densitas campuran bahan bakar cair (CBBC) karena MTBE dapat larut sempurna dalam bahan bakar Premium sehingga dapat menurunkan densitas dari

campuran bahan bakar cair (CBBC) meskipun memiliki densitas sebesar 744 Kg/m^3 (Topgül, 2015).



Gambar 4.17 Densitas Produk Bahan Bakar Cair

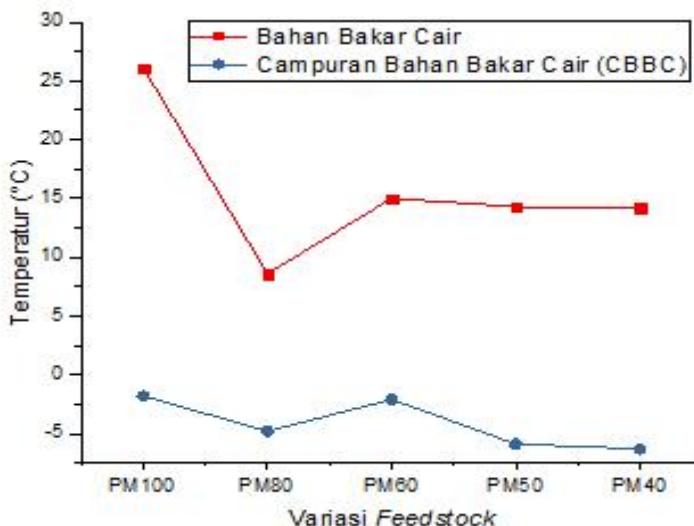
Seluruh bahan bakar cair dan campuran bahan bakar cair (CBBC) produk penelitian ini telah memenuhi kriteria berdasarkan SNI 06-3506-1994 tentang bahan bakar minyak jenis Premium yang menyatakan bahwa densitas bahan bakar minyak yang diizinkan untuk dipasarkan kepada masyarakat minimal sebesar 715 kg/m^3 dan maksimal sebesar 770 kg/m^3 pada pengukuran suhu 15°C karena masih berada pada range densitas yang diperbolehkan.

4.4.2 Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair

Titik nyala bahan bakar adalah suhu terendah bahan bakar dimana saat dipanaskan akan menguap dan uap yang terbentuk akan bercampur dengan udara sekitar pada tekanan normal dan menyala dengan adanya percikan api. Penentuan titik nyala sangat berpengaruh terhadap cara dan tempat penyimpanan bahan bakar karena hal tersebut berhubungan dengan keamanan dan keselamatan. Pengukuran titik nyala dilakukan terhadap bahan bakar cair hasil perengkahan katalitik minyak plastik PP dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah serta campuran bahan bakar cair (CBBC). Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan Premium dan MTBE terhadap densitas bahan bakar cair hasil perengkahan.

Untuk mengetahui pengaruh penambahan Premium dan MTBE pada densitas bahan bakar cair, Premium diuji titik nyalanya terlebih dahulu. Titik nyala Premium diperoleh sebesar $-5,8^{\circ}\text{C}$. Titik nyala pada masing – masing variasi komposisi %volume reaktan dan ko-reaktan ditunjukkan pada Gambar 4.18. Perengkahan plastik tanpa adanya ko-reaktan biodiesel minyak jelantah menghasilkan bahan bakar cair dengan titik nyala yang paling tinggi yakni $26,1^{\circ}\text{C}$. Pada variasi PM80 menghasilkan bahan bakar cair dengan titik nyala paling rendah pada $8,6^{\circ}\text{C}$. Bertambahnya komposisi ko-reaktan biodiesel minyak jelantah menyebabkan naiknya titik nyala pada bahan bakar cair. Sementara pada campuran bahan bakar cair (CBBC), variasi *feedstock* CB100 menghasilkan titik nyala tertinggi sebesar $-1,8^{\circ}\text{C}$. Sedangkan pada variasi *feedstock* CB40 menghasilkan titik nyala terendah dari campuran bahan bakar cair (CBBC), yaitu sebesar $-6,3^{\circ}\text{C}$. Tren

perubahan titik nyala dari campuran bahan bakar cair menyerupai tren titik nyala dari bahan bakar cair hasil perengkahan.



Gambar 4.18 Titik nyala bahan bakar cair

Titik nyala berkaitan dengan komposisi senyawa hidrokarbon rantai pendek yang terkandung. Meningkatnya komposisi senyawa hidrokarbon rantai pendek mengakibatkan semakin kecilnya titik nyala. Sebaliknya, bila senyawa hidrokarbon rantai pendek yang dihasilkan semakin menurun maka semakin titik nyalanya akan semakin tinggi.

Berdasarkan Gambar 4.18, terjadi penurunan titik nyala bahan bakar cair terhadap campuran bahan bakar cair. Hal ini disebabkan adanya Premium yang menjadi komponen terbesar dan penambahan MTBE yang juga mempengaruhi

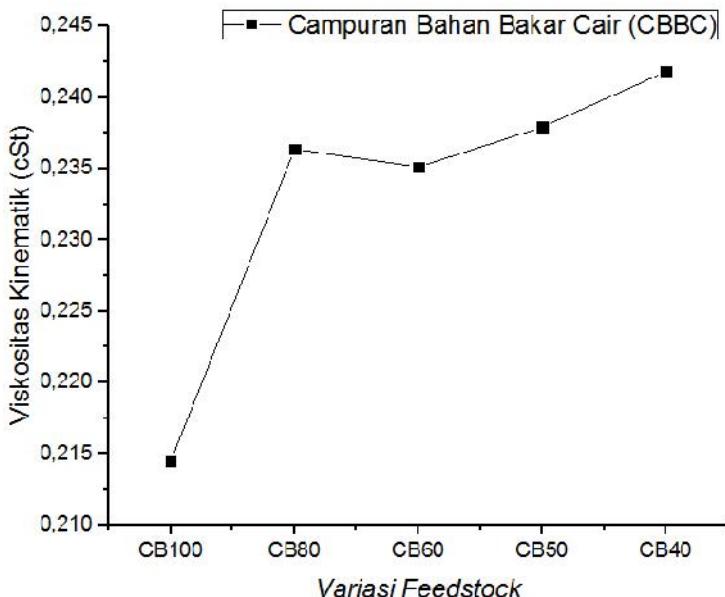
rendahnya titik nyala campuran bahan bakar cair karena titik nyala dari MTBE sebesar -43°C.

4.4.3 Viskositas Campuran Bahan Bakar Cair

Viskositas suatu bahan bakar berkaitan dengan kekentalan bahan bakar itu sendiri. Viskositas yang terlalu rendah dapat mengakibatkan kebocoran pada jalur injeksi bahan bakar, sedangkan jika terlalu tinggi dapat mengakibatkan tersumbatnya jalur injeksi bahan bakar dan mempersulit pengabutan bahan bakar (Hardjono,2001). Sehingga viskositas merupakan salah satu indikator fisik suatu bahan bakar. Hasil pengujian viskositas ditunjukkan pada Gambar 4.19.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, nilai viskositas bahan bakar cair (BBC) + Premium + metil tersier butil eter (MTBE) mengalami peningkatan seiring penambahan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah. Nilai viskositas tertinggi sebesar 0,242 cSt pada variasi CB40. Sementara viskositas dari Premium sebesar 0,275 cSt. Nilai viskositas tertinggi dari campuran bahan bakar cair (BBC) yang lebih rendah diakibatkan adanya pengaruh kandungan bahan bakar cair (BBC) hasil proses perengkahan maupun metil tersier butil eter (MTBE) pada campuran bahan bakar cair (BBC) meskipun kandungan Premium memiliki kandungan yang paling dominan dalam campuran tersebut.

Nilai viskositas dari semua campuran bahan bakar cair (BBC) memenuhi nilai viskositas gasolin yang diperbolehkan menurut ASTM D 445 dimana nilainya adalah < 1,17 cSt.



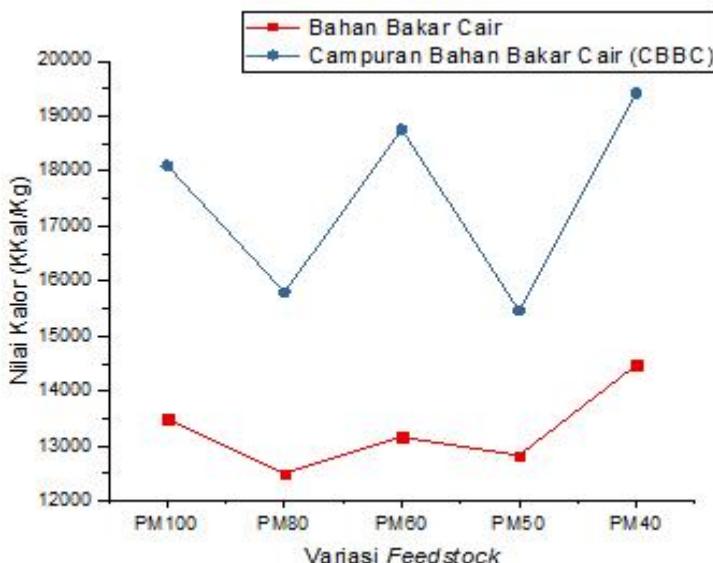
Gambar 4.19 Nilai Viskositas Bahan Bakar Cair

4.4.4 Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair

Energi yang dihasilkan / dilepaskan suatu bahan bakar saat terbakar disebut nilai kalor bahan bakar. Penentuan kalor pembakaran bahan bakar cair dilakukan dengan bom kalorimeter. 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 4.20.

Variasi komposisi plastik dengan ko-reaktan minyak jelantah yang menghasilkan BBC dengan nilai kalor yang tertinggi sebesar 14.474,15 Kkal/Kg pada variasi Plastik : Jelantah (40% : 60%). Nilai kalor dari variasi Plastik : Jelantah (80% : 20%) memiliki nilai kalor terendah, yaitu sebesar

12.504 Kkal/Kg. Berdasarkan Gambar 4.20, seiring penambahan komposisi %ko-reaktan biodiesel minyak jelantah menyebabkan nilai kalor bahan bakar cair hasil perengkahan mengalami kenaikan.



Gambar 4.20 Nilai Kalor Bahan Bakar Cair

Campuran bahan bakar cair (CBBC) pada masing-masing variasi *feedstock* berdasarkan Gambar 4.20 memiliki nilai kalor yang lebih tinggi daripada nilai kalor bahan bakar cair hasil perengkahan. Nilai kalor yang lebih besar ini diakibatkan penambahan Premium dan aditif metil tersier butil eter (MTBE). Campuran bahan bakar cair (CBBC) pada variasi *feedstock* CB100 mengalami peningkatan nilai kalor sebesar 34,14% terhadap nilai kalor bahan bakar cair hasil perengkahan variasi Plastik : Jelantah (100% : 0%). Campuran bahan bakar

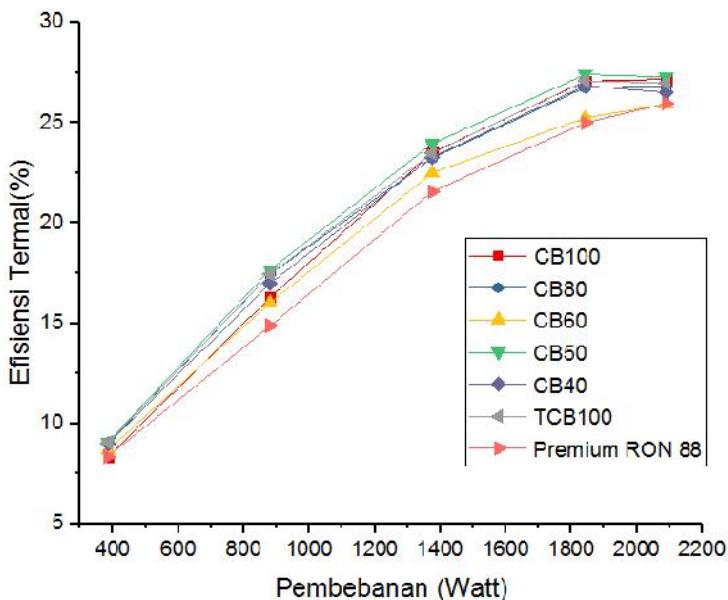
cair (CBBC) pada variasi *feedstock* CB40 memiliki nilai kalor tertinggi sebesar 19.456 Kkal/Kg dan variasi variasi *feedstock* CB50 memiliki nilai kalor terendah yaitu sebesar 15.465 Kkal/Kg. Nilai kalor variasi TCB100 (Plastik : Jelantah (100% : 0%) + Premium) memiliki nilai kalor sebesar 10.200,93 Kkal/Kg, lebih rendah daripada nilai kalor campuran bahan bakar cair pada variasi *feedstock* CB100. Hal ini menunjukkan penambahan MTBE dapat meningkatkan nilai kalor bahan bakar cair. Pada penelitian yang dilakukan oleh (AnishRaman, dkk, (2014), penambahan MTBE pada gasolin meningkatkan % efisiensi termal dari gasolin sebesar 2,4%.

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 maupun campuran bahan bakar cair (CBBC) telah memenuhi kriteria nilai kalor gasolin yang memiliki nilai kalor minimal sebesar 10.105,90 Kkal/Kg.

4.3.6 Uji Performa Campuran Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair (BBC) yang akan diuji kenerjanya pada mesin *Generator Set* dengan bahan bakar berbasis gasolin sebelumnya dilakukan pencampuran dengan Premium dan metil tersier butil eter (MTBE). Komposisi campuran bahan bakar cair berupa 10% bahan bakar cair hasil konversi : 90 % Premium RON 88 dan aditif metil tersier butil eter (MTBE) sebesar 2,45% dalam volume 205 mL. Pengujian ini dilakukan untuk mengukur *Brake Termal Efficiency* (BTE), yang menyatakan seberapa efisien kalor / energi panas dikonversi menjadi kerja mekanik pada mesin gasolin.

Persefisiensi termal seluruh campuran bahan bakar cair (CBBC) semakin meningkat seiring peningkatan pembebangan pada mesin gasolin seperti ditunjukkan pada Gambar 4.21. Premium RON 88 memiliki persen efisiensi termal sebesar 25,97% pada pembebangan maksimum sebesar 2090 Watt. Semua Campuran bahan bakar cair memiliki persen efisiensi termal yang lebih besar daripada persen efisiensi termal Premium pada pembebangan yang sama. Campuran bahan bakar cair (CBBC) dengan variasi *feedstock* CB50 memiliki persen efisiensi termal bahan bakar terbesar sebesar 27,42% pada pembebangan 1843 Watt. Peningkatan nilai persen efisiensi termal ini disebabkan oleh peningkatan viskositas dari campuran bahan bakar cair tersebut. Namun pada variasi CB40, % efisiensi termal campuran bahan bakar cair lebih rendah 0,77% daripada % efisiensi termal variasi CB50 pada pembebangan yang sama. Hal ini disebabkan pada variasi CB40 terjadi peningkatan fraksi hidrokarbon ($>C_{12}$) yang drastis yaitu 16,17% yang berpengaruh pada viskositas campuran bahan bakar cair tersebut, dimana viskositas variasi *feedstock* CB40 lebih tinggi daripada CB50. Pada penelitian yang dilakukan oleh Senthur dkk (2017), persen efisiensi termal campuran bahan bakar cair biodiesel dengan diesel dipengaruhi oleh viskositas dan nilai kalor. Selain viskositas, fraksi hidrokarbon ($<C_7$) dari variasi *feedstock* PM50 memiliki komposisi terbesar diantara variasi *feedstock* hasil perengkahan lainnya yaitu 7,31%.



Gambar 4.21 Efisiensi Termal Campuran Bahan Bakar Cair (CBBC) pada Mesin gasolin

Pengaruh penambahan MTBE sebagai aditif bahan bakar cair dapat diketahui melalui perbandingan persen efisiensi termal dari campuran bahan bakar cair CB100 dengan bahan bakar cair TCB100 (tanpa penambahan MTBE). Variasi CB100 dan TCB100 mengalami kenaikan persen efisiensi termal seiring naiknya pembebahan pada mesin. Variasi TCB100 memiliki persen efisiensi termal sebesar 26,98% pada pembebahan maksimum 2090 Watt. Penambahan MTBE pada variasi *feedstock* CB100 meningkatkan persen efisiensi termal sebesar 0,74%. (Topgül, 2015) melaporkan penambahan aditif MTBE sebesar 10% pada bahan bakar jenis gasolin dapat meningkatkan persen efisiensi termal bahan bakar tersebut.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Telah diproduksi bahan bakar cair dari limbah plastik Polipropilen dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah melalui metode konversi katalitik menggunakan katalis Al-MCM-41 : Keramik busi (7:3) dengan kolom termodifikasi. Campuran bahan bakar cair dengan komposisi 10% bahan bakar cair hasil konversi : 90 % Premium RON 88 dan aditif metil tersier butil eter (MTBE) sebesar 2,45% dalam volume 205 mL dilakukan uji performa pada mesin gasolin. Campuran bahan bakar cair pada variasi *feedstock* CB50 memiliki persen efisiensi termal tertinggi sebesar 27,42%, dengan nilai densitas sebesar 722,55 Kg/m³, titik nyala sebesar -5,9°C, viskositas sebesar 0,238 cst, dan nilai kalor sebesar 15.465,94 Kkal/Kg. Karakteristik bahan bakar cair dan campuran bahan bakar cair (CBBC) yang diproduksi sesuai dengan SNI 06-3506-1994. Penambahan aditif MTBE meningkatkan kinerja (persen efisiensi termal) dari campuran bahan bakar cair (CBBC) CB100 sebesar 0,74% terhadap variasi TCB100 dan 4,66% terhadap Premium RON 88 pada pembebanan maksimum 2090 Watt.

5.2 Saran

Pada proses perengkahan sangat diperhatikan keselamatan. Pada penelitian selanjutnya diharapkan perengkahan pada satu variasi feedstock dan variabel lain seperti temperatur perengkahan, apabila hasil perengkahan diaplikasikan pada mesin untuk mengetahui kinerja bahan bakar hasil perengkahan dengan pencampuran bahan bakar komersial.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- AnishRaman, C.; Varatharajan, Dr. K.; Abinesh, P.; Venkatachalapathi, Dr. N.;, 2014. Analysis of Mtbe as an Oxygenate Additive to Gasoline. *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, Volume 4, pp. 712-718.
- Atsonios, Konstantinos; Kougioumtzis, Michael-Alexander; Panopoulos, Kyriakos D.; Kakaras, Emmanuel;, 2015. Alternative Thermochemical Routes for Aviation Biofuels Via Alcohols Synthesis: Process Modeling, Techno-Economic Assessment and Comparison. *Applied Energy*, Volume 138, pp. 346-336.
- Bintarasari, S. I., 2017. *Efisisensi Kinerja Perengkahan Katalitik Limbah Plastik Polipropilena (Pp) Dengan Katalis Al-MCM-41*, Surabaya: Skripsi Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Calhoun, A., 2016. Polypropylene. Dalam: *Plastics Design Library (PDL) Handbook Series*. Oxford: Elsevier, pp. 35-45.
- Dasilva, R.; Cataluna, R.; Menezes, E.; Samios, D.; Piatnicki, C.;, 2005. Effect of additives on the antiknock properties and Reid vapor pressure of gasoline. *Fuel*, Volume 84, pp. 951-959.
- Fansuri, H., 2010. *Buku Panduan Pelatihan Instrumen Laboratorium Energi dan Rekayasa ITS*. Surabaya: ITS Press.
- Fatmawati, Anif; Fansuri, Hamzah;; 2014. Amobilisasi Kation Logam Berat Cr³⁺ pada Geopolimer Berbahan Baku

- Abu Layang PT. IPMOMI. *Jurnal Sains POMITS*, Volume 1, pp. 1-8.
- Gedde U.W., 1995. *Polimer Physics*. First Edition penyunt. London: Chapman & Hall.
- Hamid, Halim; Ali, Mohammad Ashraf;, 2004. *Handbook of MTBE and Other Gasoline Oxygenates*. New York: Marcel Dekker, Inc..
- Hardjono, A., 2001. *Teknologi Minyak Bumi*. Yogyakarta: Gadjah Mada Univercity Press.
- Heydariaraghi, Mojtaba; Ghorbanian, Sohrabali; Hallajisani, Ahmad; Salehpour, Alireza;; 2016. Fuel Properties of the Oils Produced from the Pyrolysis of Commonly-Used Polymers: Effect of Fractionating Column. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Volume 121, pp. 307-317.
- Hussain, Syed Zameer; Maqbool, Khushnuma;, 2014. GC-MS: Principle, Technique and its application in Food Science. *International Journal of Current Science*, Volume 13, pp. 116-126.
- Juwono, Hendro; , Triyono; , Sutarno; Wahyuni, Endang Tri; Ulfin, Ita; Kurniawan, Fredy;, 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*, Volume 17, pp. 316-321.
- Juwono, Hendro; Triyono; Sutarno; Wahyuni, Endang Tri; Harmami; Ulfin, Ita; Kurniawan, Fredy;, 2017a. Production of Hydrocarbon (C7-C20) from Hydrocracking of Fatty Acid Methyl Esters on Pd/Al-MCM-41 Catalyst. *Bulletin of Chemical*

- Reaction Engineering & Catalysis*, Volume 12, pp. 337-342.
- Kalargaris, Ioannis; Tian, Gouhong; Gu, Sai;; 2018. Experimental Characterisation of a Diesel Engine Running on Polypropylene Oils Produced at Different Pyrolysis Temperatures. *Fuel*, Volume 211, pp. 797-803.
- Mao, Raymond Le Van; Yan, HaiTao; Muntasar, Abdualhafed; Al-Yassir, Nabil, 2013. Blending of Non-Petroleum Compounds with Current Hydrocarbon Feeds to Use in the Thermo-Catalytic Steam-Cracking Process for the Selective Production of Light Olefins. Dalam: *New and Future Developments in Catalysis*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, pp. 143-173.
- Naik, Sajo P.; Bui, Vy; Ryu, Taegong; Miller, Jan D.; Zmierczak, Włodzimierz;, 2010. Al-MCM-41 as methanol dehydration catalyst. *Applied Catalysis A: General*, Volume 381, pp. 183-190.
- Nurdianto, Purnomo; Nugraheni, Ika Kusuma; Ifana, Reza Taufiqi;, 2016. Pengujian Bahan Bakar Biofuel Hasil Pirolisis Botol Plastik pada Sepeda Motor. *Jurnal Elemen*, Volume 3, pp. 1-6.
- Oguzhan, D., 2011. The Influence of n-Butanol/Diesel Fuel Blends Utilization on a Small Diesel Engine Performance and Emissions. *Fuel*, Volume 90, pp. 2467-2472.
- Panda, R.N.; Hsieh, M.F.; Chung, R.J.; Chin, T.S.;, 2003. FTIR, XRD, SEM and Solid State NMR Investigations of Carbonate-Containing Hydroxyapatite Nano-Particles Synthesized by

- Hydroxide-gel Technique. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, Volume 64, pp. 193-199.
- Prasetyoko Didik, F. H. N. Y. L. ,. F. A., 2016. *Karakterisasi Struktur Padatan*. Sleman: DEEPUBLISH.
- Prasetyoko, Didik; Fansuri, Hamzah; Ni'mah, Yatim Lailun; Fadlan, Arif;, 2016. *Karakterisasi Struktur Padatan*. Yogyakarta: Deepublish.
- Prasetyoko, D., 2014. *Pentingnya Mengetahui Struktur dan Sifat Bahan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- 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*, Volume 124, pp. 631-637.
- Senthur Prabu, S.; Asokan, M.A.; Roy, Rahul; Francis, Steff; Sreelekh, M.K.,; 2017. Performance, Combustion and Emission Characteristics of Diesel Engine Fuelled with Waste Cooking Oil Bio-diesel/Diesel Blends with additives. *Energy*, Volume 122, pp. 638-648.
- Serano, D.P.; Aguado, J.; Escola, J.M.,; 2012. Developing Advanced Catalysts for the Conversion of Polyolefinic Waste Plastics into Fuels and Chemicals. *ACS Catalysis*, Volume 2, pp. 1924-1941.
- Sharuddin, Shafferina Dayana Anuar; Abnisa, Faisal; Wan Daud, Wan Mohd Ashri; Aroua, Mohamed Kheireddine;, 2016. A Review on Pyrolysis of Plastic Wastes. *Energy Conversion and Management*, Volume 115, pp. 308-326.

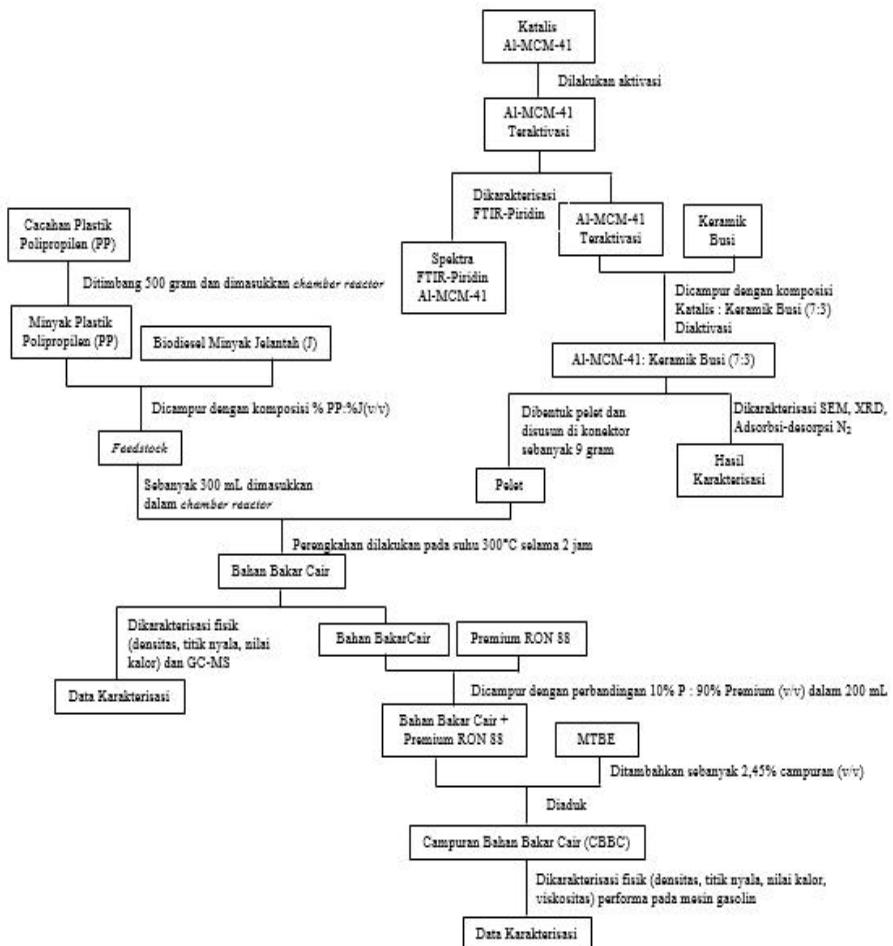
- Shikui, Wu; Kaixiong, Wu; Lusen, Jiang; Li, Wang;; 2014. *The Co-Cracking Experiment and Application Route of Waste Plastics and Heavy Oil.* s.l., AASRI Procedia.
- Singh, Rohit Kumar; Ruj, Biswajit;, 2016. Time and Temperature Depended Fuel Gas Generation from Pyrolysis of Real World Municipal Plastic Waste. *Fuel*, Volume 174, pp. 164-171.
- Skoog, Douglas A.; Holler, F. James; Crouch, Stanley R.;, 2007. *Principles of Instrumental Analysis*. Belmont USA: Thomson Brookes/Cole.
- Soheil, Babazadeh Shayan; Morteza, Seyedpour Seyed; Fathollah, Ommi;, 2012. Effect of Oxygenates Blending with Gasoline to Improve Fuel Properties. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, Volume 25, pp. 792-797.
- Storck, Sebastian; Brettinger, Helmut; Maier, Wilhelm F.;, 1998. Characterization of Micro and Mesoporous Solids by Physisorption Methods and Pore-size Analysis. *Applied Catalysis A : General*, Volume 174, pp. 137-146.
- Syed Zameer Hussain, K. M., 2014. GC-MS: Principle, Technique and its application in Food Science. *INT J CURR SCI*, Volume 13, pp. 116-126.
- Topgül, T., 2015. The Effects of MTBE Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in a Spark Ignition Engine. *Fuel Processing Technology*, Volume 138, pp. 483-489.
- Topgül, T., 2015. The Effects of MTBE Blends on Engine Performance and Exhaust Emissions in a Spark

Ignition Engine. *Fuel Processing Technology*,
Volume 138, pp. 483-489.

Viswanath, Dabir S.; Ghosh, Tushar K.; Prasad, Dasika H.L.;
Dutt, Nidamarty V.K.; Rani, Kalipatnapu Y.; 2007.
*Viscosity of Liquids: Theory, Estimation,
Experiment, and Data.* AA Dordrecht, The
Netherlands: Springer.

LAMPIRAN A

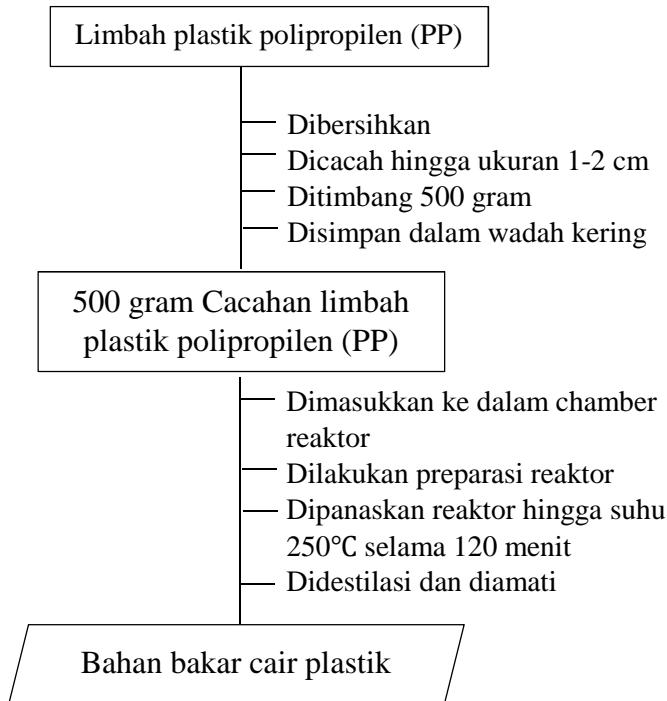
A.1 Skema Kerja



Gambar A.1 Skema Kerja Produksi Bahan Bakar Cair & Kinerja pada Mesin Gasolin

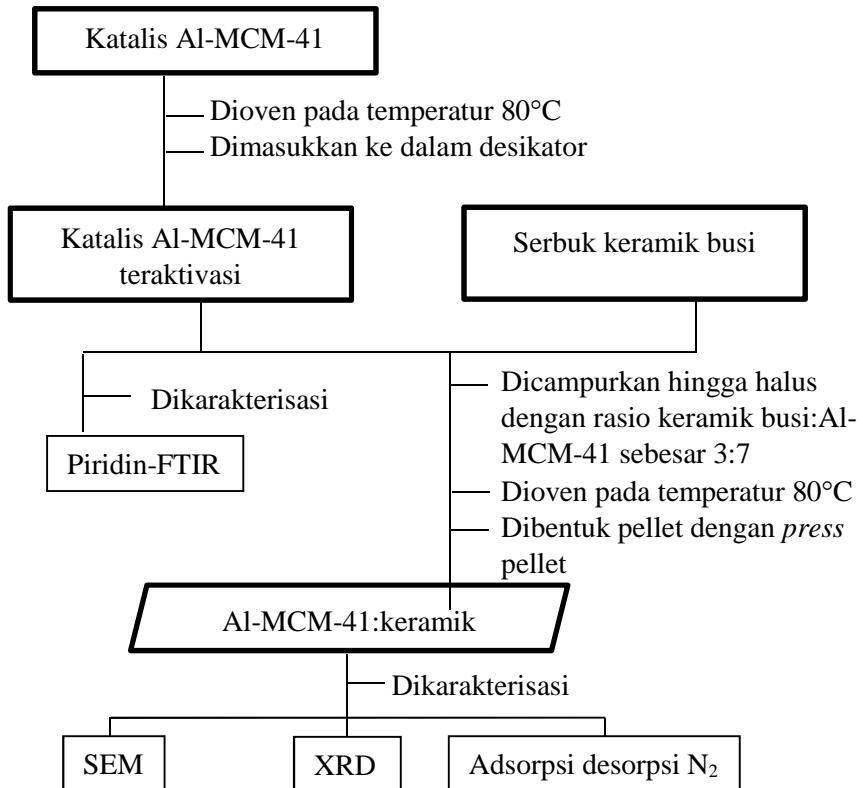
A.2 Prosedur Kerja

A.2.1 Sintesis Bahan Bakar Cair dari Plastik



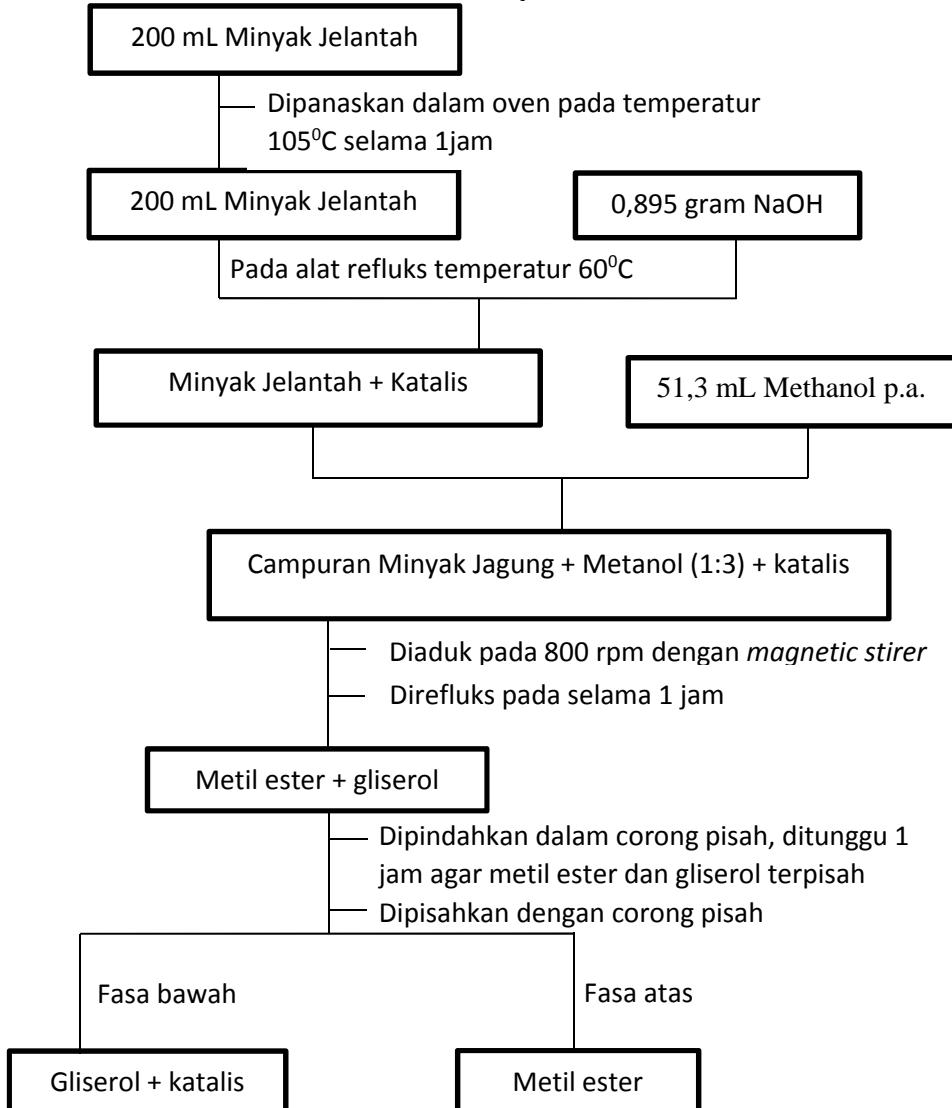
Gambar A.2 Produksi Minyak Polipropilen dengan Metode Perengkahan Termal

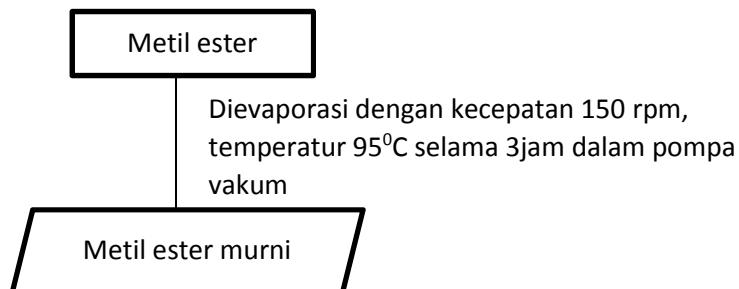
A.2.2 Persiapan katalis



Gambar A.3 Aktivasi dan Karakterisasi Katalis Al-MCM-41 : Keramik busi Busi

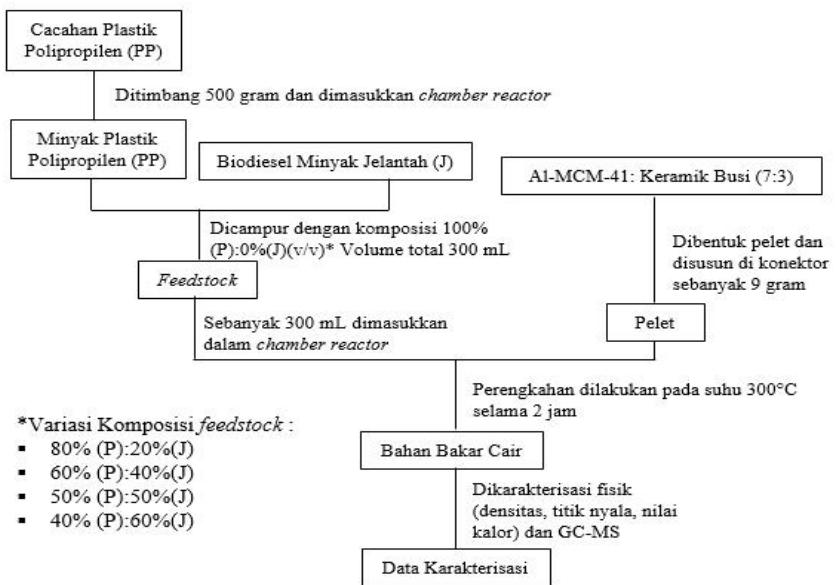
A.2.3 Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah





Gambar A.4 Produksi Biodiesel Minyak Jelantah

A.2.4 Produksi dan Karakterisasi Bahan Bakar Cair



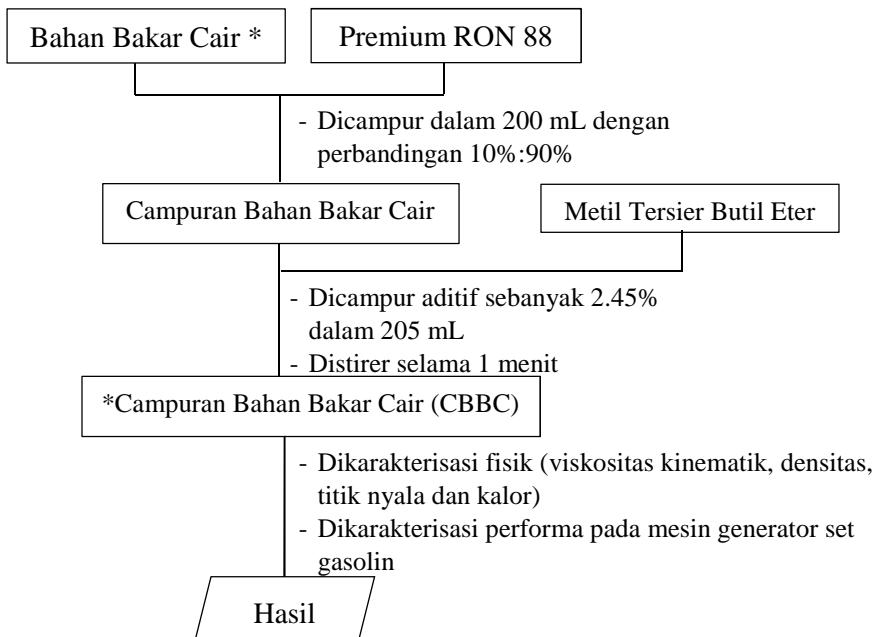
Gambar A.5 Produksi Bahan Bakar Cair Limbah Plastik Polipropilen dan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Jelantah (PM)

Tabel A.1 Variasi *Feedstock* Limbah Plastik Polipropilen dan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Jelantah

| Variasi <i>Feedstock</i> | Bahan Bakar Cair (PM) |
|--------------------------|-----------------------|
| 100 % (P) : 0 % (J) | PM100 |
| 80 % (P) : 20 % (J) | PM80 |
| 60 % (P) : 40 % (J) | PM60 |
| 50 % (P) : 50 % (J) | PM50 |
| 40 % (P) : 60 % (J) | PM40 |

Keterangan : Variabel (P) : Polipropilen, Variabel (J) : Biodiesel minyak jelantah, Variabel (PM) : Bahan bakar cair konversi polipropilen (P) dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah (J)

A.2.5 Produksi dan Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair



Gambar A.6 Produksi Campuran Bahan Bakar Cair (CBBC)

Tabel A.2 Komposisi Campuran Bahan Bakar Cair (CBBC)

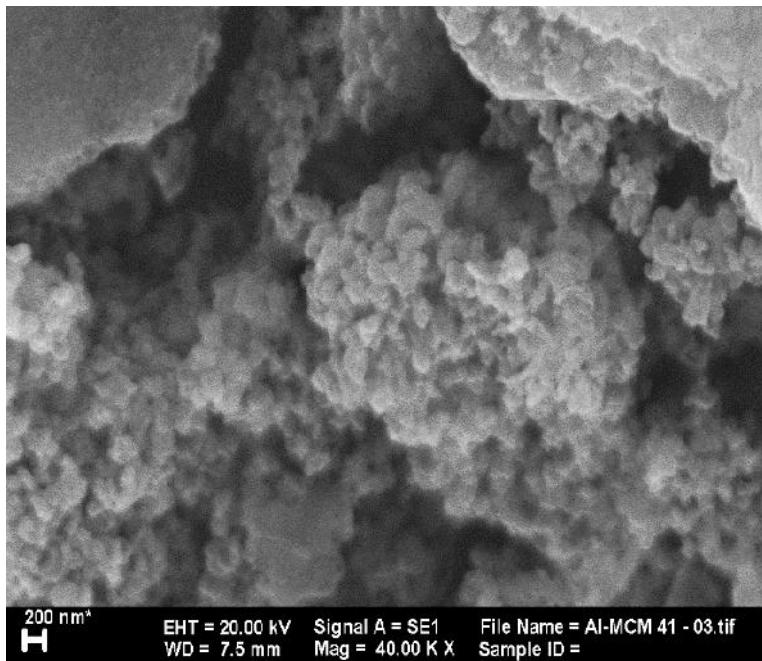
| Jenis Feedstock | % Feedstock (v/v) | % Premium RON 88 (v/v) | % MTBE (v/v) | Campuran BBC (CBBC) |
|-----------------|-------------------|------------------------|--------------|---------------------|
| PM100 | 10 | 90 | 2,45 | CB100 |
| PM80 | 10 | 90 | 2,45 | CB80 |
| PM60 | 10 | 90 | 2,45 | CB60 |
| PM50 | 10 | 90 | 2,45 | CB50 |
| PM40 | 10 | 90 | 2,45 | CB40 |
| PM100 | 10 | 90 | - | TCB100 |

Keterangan : CB merupakan Campuran bahan bakar cair terdiri dari 10 % (PM) : 90 % (Premium) dalam 200 mL dan ditambahkan Metil Tersier Butil Eter sebesar 2,45% dalam 205 mL, variabel (C) : Campuran, variabel (PM): bahan bakar cair hasil perengkahan, variabel (T): tanpa penambahan MTBE

LAMPIRAN B

B.1 Karakterisasi Katalis Al-MCM-41 : Keramik busi Busi (7:3)

B.1.1 Hasil Karakterisasi SEM



Gambar B.1 Hasil Karakterisasi SEM Katalis Al-MCM-41:
Keramik busi Busi (7:3)

B.1.2 Hasil Karakterisasi Adsorpsi – Desorpsi N₂

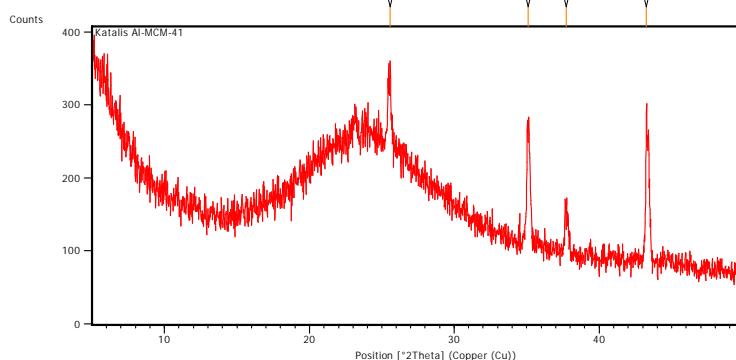


Gambar B.2 Hasil Karakterisasi Adsorpsi Desorpsi Nitrogen Katalis Al-MCM-41: Keramik busi Busi (7:3)

| QuantaChrome® ASiQwin™ Automated Gas Sorption Data | | | | | |
|---|---|---|---|--|--|
| Acquisition and Reduction | | | | | |
| © 1994-2012, QuantaChrome Instruments version 3.0 | | | | | |
| Analysis: Operator: Lab. Energ ITS Sample ID: CI-632 Al MCM 41 Sample Desc: Sample Weight: 0.0391 g Apparatus Outgas Time: 0 hrs Analysis Type: Nitrogen Analysis Time: 02:26 min Analysis Mode: Standard VoidVol. Mode: He Measure | Date: 2017/11/04 File Name: iq_phay_stl_2017_11_04_09_30_00CI-632 Al MCM 41.qps Comment: Instrument: Autosorb iQ Station 1 Final Outgas Temp.: 6.59e-05 °Torr Non-ideality: 1.13e-05 Bath temp.: 17.30 K Cold Zone V: 0.10140 cc Warm Zone V: 17.5075 cc | Report: Operator: Lab. Energ ITS Date: 2017/11/06 File Name: iq_phay_stl_2017_11_04_09_30_00CI-632 Al MCM 41.qps Comment: Instrument: Autosorb iQ Station 1 Final Outgas Temp.: 6.59e-05 °Torr Non-ideality: 1.13e-05 Bath temp.: 17.30 K Extended info: Available Cell type: 0mm w/c rod VoidVol Remeasure: off Warm Zone V: 17.5075 cc | Multi-Point BET | Data Reduction Parameters Data | |
| Absorbance | Thermal Transpiration: on Nitrogen Moles. Wt.: 28.013 | bft. mol. diameter (D): 3.56 Å Temperature: 77.300K Cross Section: 16.200 Å | bft. cell stem diam. (d): 4.0000 mm Liquid Density: 0.806 g/cc | Multi-Point BET Data | |
| Relative Pressure [P/P ₀] | Volume @ S.I.P. [cc/g] | 1 / [W((P/P₀) - 1)] | Relative Pressure [P/P ₀] | Volume @ S.I.P. [cc/g] | 1 / [W((P/P₀) - 1)] |
| 4.02007e-02 7.34904e-02 9.89403e-02 1.19336e-01 1.43221e-01 1.73235e-01 | 07.6120 105.1283 111.0222 118.9811 122.0402 128.9117 | 4.2832e-01 6.0377e-01 7.9451e-01 9.8774e-01 1.1410e+00 1.3220e+00 | 4.08286e-01 2.23100e-01 2.50225e-01 7.44744e-01 2.80460e-01 | 131.7106 130.0251 142.7277 149.4574 159.6475 | 1.5028e+00 1.2810e+00 1.3708e+00 7.4711e+00 2.1322e+00 |
| BET summary | | | | | |
| Slope = 7.000 Intercept = 9.441e-17 Correlation coefficient, r = 0.999291 C constant = 72.602 Surface Area = 480.685 m ² /g | | | | | |

Gambar B.3 Data Luas Permukaan, Pori dan Radii Katalis Al-MCM-41 : Keramik busi Busi (7:3)

B.1.3 Hasil Karakterisasi XRD

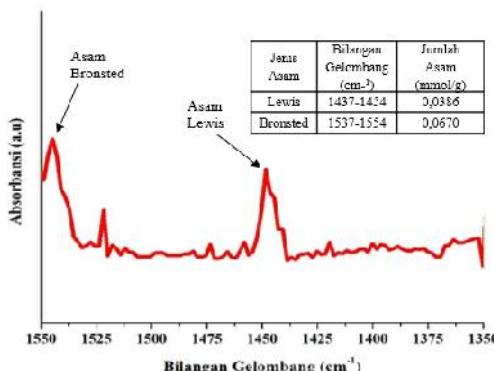


Gambar B.4 Hasil Karakterisasi XRD Katalis Al-MCM-41: Keramik busi Busi (7:3)

Tabel B.1 Hasil Karakterisasi XRD Katalis Al-MCM-41:Keramik busi Busi (7:3)

| Pos. [$^{\circ}$ 2Th.] | Height [cts] | FWHM Left [$^{\circ}$ 2Th.] | d-spacing [Å] | Rel. Int. [%] |
|----------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|------------------|
| 25,58 | 100,27 | 0,20 | 3,48 | 48,71 |
| 35,09 | 152,26 | 0,23 | 2,56 | 73,97 |
| 37,75 | 63,37 | 0,2 | 2,38 | 30,78 |
| 43,26 | 205,84 | 0,06 | 2,09 | 100 |

B.1.4 Hasil Piridin-FTIR Al-MCM-41



Gambar B.5 Hasil Karakterisasi Piridin-FTIR Katalis Al-MCM-41: Keramik busi Busi (7:3)

Tabel B.1 Jumlah Sisi Aktif Asam Katalis Al-MCM-41

| Jenis Asam | Bilangan gelombang (cm^{-1}) | Jumlah Asam (mmol/g) |
|------------|---|----------------------|
| Lewis | 1437-1454 | 0,0386 |
| Bronsted | 1537-1554 | 0,0670 |

LAMPIRAN C

C.1 Karakterisasi Bahan Bakar Cair (PN)

C.1.1 Hasil Konversi BBC

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

$$\begin{aligned} Yield &= \frac{V_t}{V_t - F_t} \times 100\% \\ &= \frac{4}{3} \times 100\% = 15\% \end{aligned} \quad (\text{C.1})$$

Perhitungan di atas merupakan perhitungan *yield* untuk bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan PM100. 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(%) |
|-------|-----------------|--------------------|-------------------|---------------------|
| PM100 | 45 | 15,00% | 162 | 54,00% |
| PM80 | 100 | 33,33% | 235 | 78,33% |
| PM60 | 72 | 24,00% | 220 | 73,33% |
| PM50 | 30 | 10,00% | 217 | 72,33% |
| PM40 | 38 | 12,67% | 230 | 76,67% |

C.1.2 Hasil Pengukuran Densitas Bahan Bakar Cair (BBC)

Massa piknometer = 16,9 gram

Massa piknometer + BBC = 24,466 gram

Volume piknometer = 10,182 mL

$$\text{Densitas ()} = \frac{(m_p + B_p) - M_{pi}}{V_t} \quad (\text{C.2})$$

$$= \frac{24,49 g - 1,9 g}{10,182 m}$$

$$= 0,743 \text{ gram/mL}$$

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

Tabel C.2 Data Pengukuran Massa Bahan Bakar Cair (BBC)

| Variasi | Massa piknometer kosong (g) | Massa piknometer +BBC (g) | Massa BBC (g) | Densitas (g/ml) |
|---------|-----------------------------|---------------------------|---------------|-----------------|
| PM100 | 16,9 | 24,466 | 7,566 | 0,743 |
| PM80 | 16,8993 | 24,3075 | 7,4082 | 0,728 |
| PM60 | 16,8985 | 24,386 | 7,4875 | 0,735 |
| PM50 | 16,9012 | 24,3985 | 7,4973 | 0,736 |
| PM40 | 16,9003 | 24,387 | 7,4867 | 0,735 |

C.1.3 Hasil Pengukuran Titik Nyala Bahan Bakar Cair (BBC)

Tabel C.3 Data Titik Nyala Bahan Bakar Cair (BBC)

| Variasi | Temperatur (°C) |
|---------|-----------------|
| PM100 | 26,1 |
| PM80 | 8,6 |
| PM60 | 15 |
| PM50 | 14,3 |
| PM40 | 14,2 |

C.1.4 Hasil Pengukuran Nilai Kalor Bahan Bakar Cair (BBC)

Tabel C.4 Data Nilai Kalor Bahan Bakar Cair (BBC)

| Variasi | Nilai Kalor (KKal/Kg) |
|---------|-----------------------|
| PM100 | 13491,56 |
| PM80 | 12504,37 |
| PM60 | 13162,5 |
| PM50 | 12833,44 |
| PM40 | 14474,15 |

C.1.5 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.

$$\begin{aligned} \text{Yield} &= \% a \times \frac{v_t}{V_t} \times \frac{B}{r} \times 100\% \quad (\text{C.3}) \\ &= 1,29\% \times \frac{4}{3} = 0,1935\% \end{aligned}$$

Perhitungan di atas merupakan perhitungan yield untuk tiap fraksi bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan PM100. Setiap variasi feedstock dapat ditentukan yield volume BBC dan kokas menggunakan cara yang sama, seperti yang ditunjukkan pada Tabel C.5

Tabel C.5 % Yield Hasil Konversi Katalitik Detail Pada masing – masing variasi *feedstock*

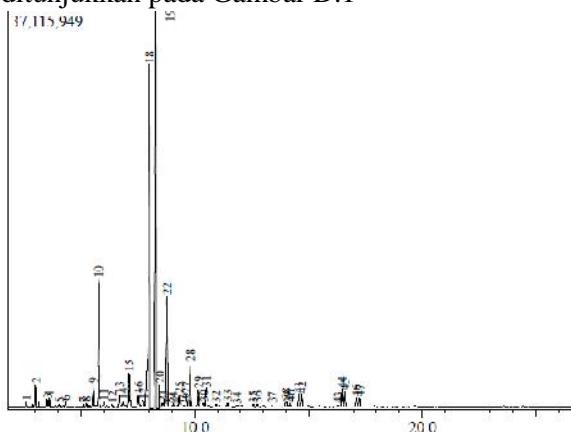
| Variasi Feedstock | Fraksi | % Area | V BBC (mL) | Volume awal (mL) | % Yield (%) |
|-------------------|----------|--------|------------|------------------|-------------|
| PM100 | < C7 | 1,29 | 45 | 300 | 0,1935 |
| | C7 - C12 | 98,46 | | | 14,769 |
| | > C12 | - | | | - |
| PM80 | < C7 | 4,85 | 100 | 300 | 1,617 |
| | C7 - C12 | 92,86 | | | 30,953 |
| | > C12 | 2,3 | | | 0,767 |
| PM60 | < C7 | 4,92 | 72 | 300 | 1,64 |
| | C7 - C12 | 93,48 | | | 31,16 |
| | > C12 | 1,55 | | | 0,517 |
| PM50 | < C7 | 7,31 | 30 | 300 | 0,731 |
| | C7 - C12 | 91,5 | | | 9,15 |
| | > C12 | 1,19 | | | 0,119 |
| PM40 | < C7 | 6,69 | 38 | 300 | 0,8474 |
| | C7 - C12 | 77,14 | | | 9,771 |
| | > C12 | 16,17 | | | 2,048 |

LAMPIRAN D

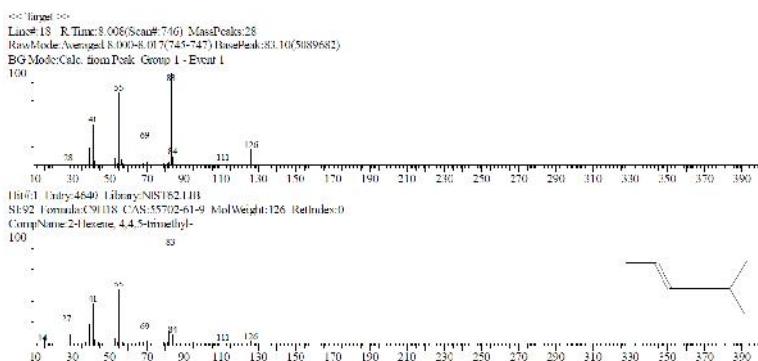
D.1 Hasil Karakterisasi GC-MS Fraksi Rantai Hidrokarbon dalam Bahan Bakar Cair (PM)

D.1.1 Hasil karakterisasi Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 100%

Berdasarkan hasil analisis dengan instrumen GC-MS GCMS-QP2010S SHIMADZU diperoleh kromatogram bahan bakar cair hasil perengkahan katalitik plastik 100% yang ditunjukkan pada Gambar D.1



Gambar D.1 Kromatogram bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan plastik 100%



Gambar D.2 MS bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan plastik 100%

Tabel D.1 Data Luas Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan Plastik 100%

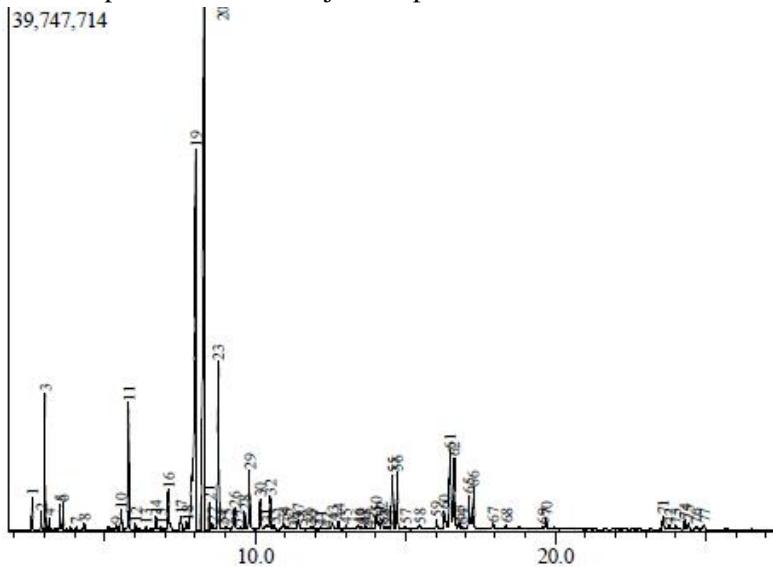
| Peak | Waktu Retensi | Waktu Awal | Waktu Akhir | % Area | Fraksi |
|------|---------------|------------|-------------|--------|--------|
| 1 | 2,586 | 2,450 | 2,717 | 0,33 | C4 |
| 2 | 3,002 | 2,942 | 3,092 | 0,96 | C6 |
| 3 | 3,503 | 3,467 | 3,542 | 0,39 | C7 |
| 4 | 3,596 | 3,542 | 3,683 | 0,64 | C7 |
| 5 | 4,040 | 3,950 | 4,133 | 0,29 | C7 |
| 6 | 4,306 | 4,258 | 4,408 | 0,45 | C7 |
| 7 | 5,096 | 4,942 | 5,167 | 0,29 | C8 |
| 8 | 5,224 | 5,167 | 5,275 | 0,28 | C8 |
| 9 | 5,537 | 5,433 | 5,625 | 2,29 | C8 |
| 10 | 5,781 | 5,708 | 5,858 | 8,64 | C8 |
| 11 | 6,001 | 5,917 | 6,075 | 0,52 | C8 |
| 12 | 6,358 | 6,233 | 6,433 | 0,41 | C8 |

| | | | | | |
|----|--------|--------|--------|-------|-----|
| 13 | 6,685 | 6,608 | 6,800 | 1,20 | C8 |
| 14 | 6,849 | 6,800 | 6,917 | 0,59 | C8 |
| 15 | 7,101 | 7,025 | 7,358 | 3,49 | C9 |
| 16 | 7,524 | 7,358 | 7,600 | 1,31 | C9 |
| 17 | 7,728 | 7,600 | 7,792 | 1,00 | C9 |
| 18 | 8,008 | 7,792 | 8,175 | 24,88 | C9 |
| 19 | 8,283 | 8,175 | 8,450 | 21,47 | C9 |
| 20 | 8,458 | 8,450 | 8,467 | 0,28 | C5 |
| 21 | 8,565 | 8,467 | 8,633 | 0,75 | C9 |
| 22 | 8,767 | 8,633 | 8,858 | 8,98 | C9 |
| 23 | 8,907 | 8,858 | 8,967 | 0,26 | C9 |
| 24 | 9,033 | 8,967 | 9,183 | 0,54 | C9 |
| 25 | 9,301 | 9,183 | 9,367 | 1,28 | C9 |
| 26 | 9,512 | 9,450 | 9,567 | 0,27 | C9 |
| 27 | 9,636 | 9,567 | 9,700 | 1,15 | C9 |
| 28 | 9,801 | 9,700 | 9,975 | 3,70 | C10 |
| 29 | 10,154 | 10,092 | 10,225 | 1,36 | C10 |
| 30 | 10,393 | 10,225 | 10,433 | 0,64 | C9 |
| 31 | 10,493 | 10,433 | 10,567 | 1,58 | C10 |
| 32 | 10,935 | 10,717 | 11,000 | 0,36 | C10 |
| 33 | 11,426 | 11,342 | 11,492 | 0,32 | C10 |
| 34 | 11,865 | 11,767 | 11,983 | 0,35 | C7 |
| 35 | 12,559 | 12,475 | 12,658 | 0,33 | C10 |
| 36 | 12,754 | 12,658 | 12,892 | 0,34 | C10 |
| 37 | 13,407 | 13,300 | 13,458 | 0,27 | C10 |
| 38 | 14,011 | 13,925 | 14,058 | 0,54 | C10 |
| 39 | 14,102 | 14,058 | 14,150 | 0,28 | C11 |
| 40 | 14,200 | 14,150 | 14,250 | 0,32 | C11 |
| 41 | 14,549 | 14,475 | 14,625 | 1,06 | C11 |

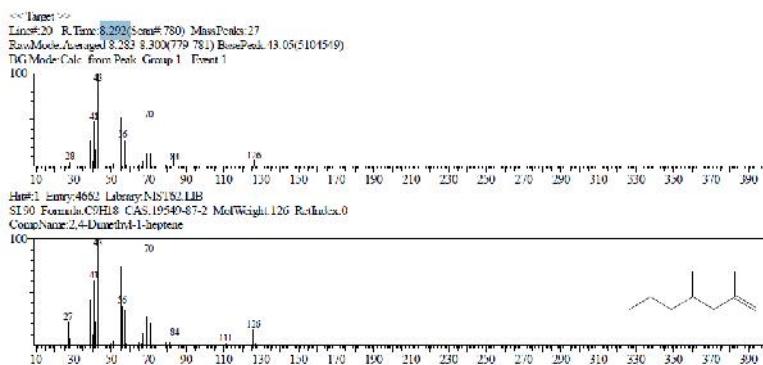
| | | | | | |
|----|--------|--------|--------|------|-----|
| 42 | 14,700 | 14,625 | 14,792 | 1,03 | C11 |
| 43 | 16,274 | 16,192 | 16,375 | 0,34 | C10 |
| 44 | 16,459 | 16,375 | 16,525 | 1,50 | C9 |
| 45 | 16,588 | 16,525 | 16,692 | 1,23 | C9 |
| 46 | 17,096 | 16,958 | 17,158 | 0,78 | C12 |
| 47 | 17,245 | 17,158 | 17,392 | 0,76 | C12 |

D.1.2 Hasil karakterisasi Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 80% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 20%

Kromatogram bahan bakar cair hasil perengkahan katalitik plastik 100% ditunjukkan pada Gambar D.2



Gambar D.3 Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 80% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 20%



Gambar D.4 MS Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 80% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 20%

Tabel D.2 Data Luas Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan Plastik 80% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 20%

| Puncak | Waktu Retensi | Waktu Awal | Waktu Akhir | % Area | Fraksi |
|--------|---------------|------------|-------------|--------|--------|
| 1 | 2,592 | 2,467 | 2,717 | 0,88 | C5 |
| 2 | 2,879 | 2,717 | 2,933 | 0,48 | C6 |
| 3 | 3,008 | 2,933 | 3,100 | 3,00 | C6 |
| 4 | 3,143 | 3,100 | 3,183 | 0,31 | C6 |
| 5 | 3,510 | 3,442 | 3,550 | 0,70 | C7 |
| 6 | 3,607 | 3,550 | 3,700 | 0,82 | C7 |
| 7 | 4,049 | 3,967 | 4,142 | 0,21 | C7 |
| 8 | 4,315 | 4,267 | 4,425 | 0,31 | C7 |
| 9 | 5,391 | 5,283 | 5,450 | 0,23 | C8 |
| 10 | 5,546 | 5,450 | 5,633 | 1,09 | C8 |
| 11 | 5,789 | 5,633 | 5,883 | 4,84 | C8 |

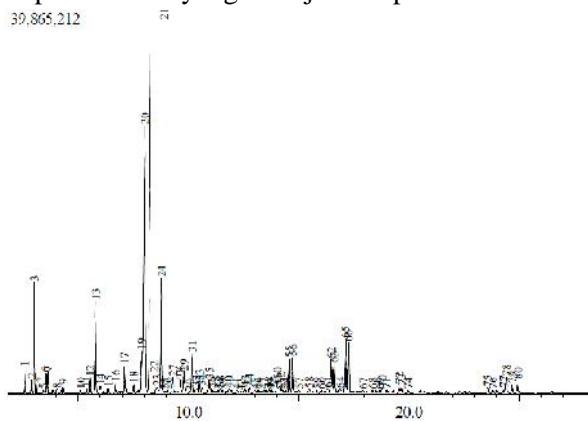
| | | | | | |
|----|--------|--------|--------|-------|-------|
| 12 | 6,010 | 5,883 | 6,092 | 0,40 | C8 |
| 13 | 6,369 | 6,250 | 6,450 | 0,27 | C8 |
| 14 | 6,696 | 6,617 | 6,808 | 0,71 | C8 |
| 15 | 6,860 | 6,808 | 6,933 | 0,22 | C8 |
| 16 | 7,111 | 7,042 | 7,317 | 2,22 | C9 |
| 17 | 7,534 | 7,317 | 7,608 | 0,80 | C9 |
| 18 | 7,736 | 7,608 | 7,800 | 0,61 | C9 |
| 19 | 8,017 | 7,800 | 8,183 | 15,42 | C9 |
| 20 | 8,292 | 8,183 | 8,458 | 16,84 | C9 |
| 21 | 8,467 | 8,458 | 8,517 | 0,25 | Boran |
| 22 | 8,574 | 8,517 | 8,650 | 0,49 | C8 |
| 23 | 8,783 | 8,650 | 8,875 | 7,43 | C9 |
| 24 | 8,924 | 8,875 | 8,992 | 0,20 | C9 |
| 25 | 9,046 | 8,992 | 9,200 | 0,38 | C9 |
| 26 | 9,315 | 9,200 | 9,392 | 1,23 | C9 |
| 27 | 9,525 | 9,467 | 9,575 | 0,22 | C9 |
| 28 | 9,648 | 9,575 | 9,708 | 0,94 | C9 |
| 29 | 9,813 | 9,708 | 9,983 | 2,88 | C10 |
| 30 | 10,169 | 10,100 | 10,242 | 1,39 | C10 |
| 31 | 10,407 | 10,242 | 10,442 | 0,60 | C9 |
| 32 | 10,506 | 10,442 | 10,575 | 1,58 | C10 |
| 33 | 10,617 | 10,575 | 10,725 | 0,32 | C10 |
| 34 | 10,949 | 10,725 | 11,008 | 0,61 | C10 |
| 35 | 11,068 | 11,008 | 11,183 | 0,36 | C10 |
| 36 | 11,300 | 11,183 | 11,342 | 0,22 | C10 |
| 37 | 11,436 | 11,342 | 11,500 | 0,69 | C10 |
| 38 | 11,547 | 11,500 | 11,675 | 0,24 | C12 |
| 39 | 11,843 | 11,783 | 11,892 | 0,26 | C9 |
| 40 | 11,930 | 11,892 | 12,008 | 0,20 | C10 |

| | | | | | |
|----|--------|--------|--------|------|------|
| 41 | 12,185 | 12,008 | 12,250 | 0,31 | C12 |
| 42 | 12,383 | 12,325 | 12,483 | 0,18 | C10 |
| 43 | 12,570 | 12,483 | 12,650 | 0,47 | C10 |
| 44 | 12,769 | 12,650 | 12,908 | 0,61 | C10 |
| 45 | 13,028 | 12,908 | 13,100 | 0,36 | C9 |
| 46 | 13,420 | 13,317 | 13,475 | 0,34 | C12 |
| 47 | 13,526 | 13,475 | 13,592 | 0,21 | C11 |
| 48 | 13,667 | 13,592 | 13,775 | 0,39 | C10 |
| 49 | 13,816 | 13,775 | 13,925 | 0,18 | C6Br |
| 50 | 14,028 | 13,925 | 14,075 | 0,88 | C10 |
| 51 | 14,114 | 14,075 | 14,167 | 0,46 | C10 |
| 52 | 14,215 | 14,167 | 14,267 | 0,50 | C10 |
| 53 | 14,301 | 14,267 | 14,367 | 0,25 | C11 |
| 54 | 14,408 | 14,367 | 14,483 | 0,22 | C11 |
| 55 | 14,573 | 14,483 | 14,650 | 2,57 | C11 |
| 56 | 14,724 | 14,650 | 14,808 | 2,51 | C11 |
| 57 | 15,009 | 14,883 | 15,167 | 0,40 | C9 |
| 58 | 15,490 | 15,308 | 15,558 | 0,39 | C11 |
| 59 | 16,039 | 15,892 | 16,100 | 0,58 | C10 |
| 60 | 16,287 | 16,208 | 16,408 | 1,34 | C10 |
| 61 | 16,490 | 16,408 | 16,558 | 4,13 | C12 |
| 62 | 16,620 | 16,558 | 16,733 | 3,32 | C12 |
| 63 | 16,783 | 16,733 | 16,842 | 0,39 | C12 |
| 64 | 16,897 | 16,842 | 16,967 | 0,22 | C12 |
| 65 | 17,117 | 16,967 | 17,167 | 1,65 | C12 |
| 66 | 17,268 | 17,167 | 17,408 | 2,20 | C12 |
| 67 | 17,914 | 17,792 | 18,033 | 0,44 | C11 |
| 68 | 18,351 | 18,283 | 18,433 | 0,31 | C12 |
| 69 | 19,585 | 19,450 | 19,625 | 0,19 | C11 |

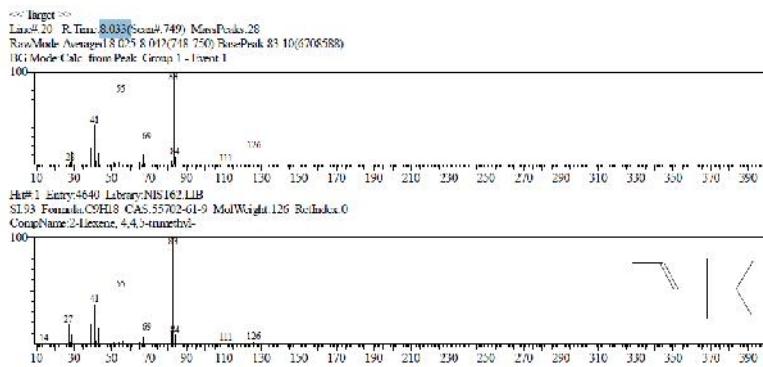
| | | | | | |
|----|--------|--------|--------|------|-----|
| 70 | 19,685 | 19,625 | 19,892 | 0,66 | C13 |
| 71 | 23,576 | 23,442 | 23,717 | 0,64 | C17 |
| 72 | 23,796 | 23,717 | 23,917 | 0,31 | C17 |
| 73 | 24,005 | 23,917 | 24,075 | 0,25 | C12 |
| 74 | 24,293 | 24,225 | 24,367 | 0,44 | C17 |
| 75 | 24,433 | 24,367 | 24,525 | 0,34 | C12 |
| 76 | 24,685 | 24,592 | 24,775 | 0,21 | C12 |
| 77 | 24,937 | 24,775 | 25,033 | 0,31 | C12 |
| | | | 100,00 | | |

D.1.3 Hasil karakterisasi Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 60% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 40%

Kromatogram bahan bakar cair hasil perengkahan katalitik plastik 60% yang ditunjukkan pada Gambar D.5



Gambar D.5 Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 60% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 40%



Gambar D.6 MS Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 60% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 40%

Tabel D.1.3 Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 60% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 40%

| Puncak | Waktu Retensi | Waktu Awal | Waktu Akhir | % Area | Fraksi |
|--------|---------------|------------|-------------|--------|--------|
| 1 | 2,591 | 2,425 | 2,725 | 0,90 | C5 |
| 2 | 2,878 | 2,725 | 2,950 | 0,43 | C6 |
| 3 | 3,007 | 2,950 | 3,050 | 3,13 | C6 |
| 4 | 3,142 | 3,108 | 3,183 | 0,30 | C6 |
| 5 | 3,410 | 3,375 | 3,475 | 0,16 | C6 |
| 6 | 3,509 | 3,475 | 3,550 | 0,65 | C7 |
| 7 | 3,606 | 3,550 | 3,692 | 0,79 | C7 |
| 8 | 4,046 | 3,967 | 4,133 | 0,27 | C7 |
| 9 | 4,313 | 4,267 | 4,425 | 0,40 | C7 |
| 10 | 5,105 | 4,992 | 5,183 | 0,19 | C8 |
| 11 | 5,388 | 5,275 | 5,450 | 0,29 | C8 |

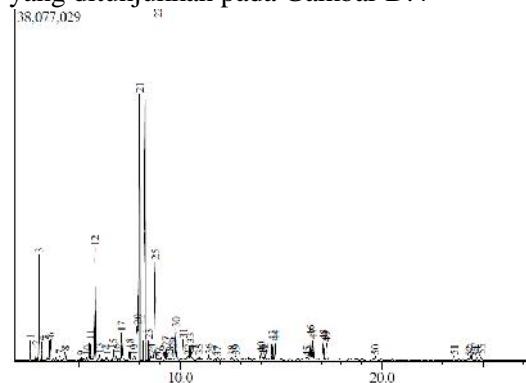
| | | | | | |
|----|--------|--------|--------|-------|-------|
| 12 | 5,545 | 5,450 | 5,633 | 1,05 | C8 |
| 13 | 5,787 | 5,633 | 5,875 | 4,56 | C8 |
| 14 | 6,006 | 5,875 | 6,083 | 0,51 | C8 |
| 15 | 6,366 | 6,258 | 6,433 | 0,35 | C8 |
| 16 | 6,694 | 6,625 | 6,808 | 0,68 | C8 |
| 17 | 7,107 | 7,033 | 7,375 | 1,87 | C9 |
| 18 | 7,528 | 7,375 | 7,600 | 0,64 | C9 |
| 19 | 7,884 | 7,783 | 7,933 | 3,36 | C9 |
| 20 | 8,031 | 7,933 | 8,150 | 18,00 | C9 |
| 21 | 8,275 | 8,150 | 8,442 | 17,06 | C9 |
| 22 | 8,450 | 8,442 | 8,508 | 0,28 | Boran |
| 23 | 8,575 | 8,508 | 8,692 | 0,69 | C8 |
| 24 | 8,779 | 8,692 | 8,875 | 6,56 | C9 |
| 25 | 8,926 | 8,875 | 8,992 | 0,21 | C9 |
| 26 | 9,041 | 8,992 | 9,108 | 0,26 | C9 |
| 27 | 9,310 | 9,183 | 9,383 | 1,10 | C9 |
| 28 | 9,645 | 9,567 | 9,717 | 0,85 | C9 |
| 29 | 9,807 | 9,717 | 9,983 | 1,52 | C10 |
| 30 | 10,042 | 9,983 | 10,100 | 0,17 | C10 |
| 31 | 10,169 | 10,100 | 10,242 | 2,21 | C10 |
| 32 | 10,356 | 10,242 | 10,450 | 0,66 | C10 |
| 33 | 10,504 | 10,450 | 10,567 | 0,71 | C10 |
| 34 | 10,612 | 10,567 | 10,717 | 0,45 | C10 |
| 35 | 10,949 | 10,717 | 11,008 | 0,99 | C10 |
| 36 | 11,063 | 11,008 | 11,175 | 0,35 | C10 |
| 37 | 11,323 | 11,275 | 11,375 | 0,19 | C10 |
| 38 | 11,439 | 11,375 | 11,500 | 0,37 | C10 |
| 39 | 11,553 | 11,500 | 11,667 | 0,24 | C9O |
| 40 | 11,839 | 11,767 | 11,900 | 0,35 | C9 |

| | | | | | |
|----|--------|--------|--------|------|-------|
| 41 | 12,180 | 12,008 | 12,250 | 0,36 | C10 |
| 42 | 12,384 | 12,325 | 12,483 | 0,18 | C10 |
| 43 | 12,571 | 12,483 | 12,667 | 0,40 | C10 |
| 44 | 12,765 | 12,667 | 12,908 | 0,52 | C10 |
| 45 | 13,031 | 12,908 | 13,100 | 0,32 | C10 |
| 46 | 13,158 | 13,100 | 13,208 | 0,18 | C10 |
| 47 | 13,415 | 13,300 | 13,475 | 0,29 | C12 |
| 48 | 13,662 | 13,583 | 13,725 | 0,29 | C10 |
| 49 | 13,742 | 13,725 | 13,842 | 0,16 | C9 |
| 50 | 14,027 | 13,917 | 14,075 | 0,89 | C11 |
| 51 | 14,108 | 14,075 | 14,167 | 0,42 | C11 |
| 52 | 14,214 | 14,167 | 14,267 | 0,50 | C10 |
| 53 | 14,297 | 14,267 | 14,358 | 0,17 | C11 |
| 54 | 14,402 | 14,358 | 14,475 | 0,18 | C11 |
| 55 | 14,569 | 14,475 | 14,642 | 2,05 | C11 |
| 56 | 14,722 | 14,642 | 14,800 | 2,06 | C11 |
| 57 | 15,013 | 14,892 | 15,142 | 0,36 | C12 |
| 58 | 15,487 | 15,308 | 15,558 | 0,35 | C11 |
| 59 | 15,835 | 15,717 | 15,900 | 0,21 | C11 |
| 60 | 16,033 | 15,900 | 16,092 | 0,23 | C11 |
| 61 | 16,339 | 16,208 | 16,392 | 0,51 | C18Cl |
| 62 | 16,478 | 16,392 | 16,542 | 2,05 | C12 |
| 63 | 16,606 | 16,542 | 16,725 | 1,70 | C12 |
| 64 | 16,888 | 16,825 | 16,983 | 0,26 | C12 |
| 65 | 17,123 | 16,983 | 17,192 | 3,28 | C12 |
| 66 | 17,271 | 17,192 | 17,425 | 3,01 | C12 |
| 67 | 17,904 | 17,783 | 17,958 | 0,24 | C11 |
| 68 | 18,355 | 18,258 | 18,450 | 0,25 | C12 |
| 69 | 18,673 | 18,567 | 18,725 | 0,19 | C10 |

| | | | | | |
|----|--------|--------|--------|--------|-----|
| 70 | 18,781 | 18,725 | 18,900 | 0,27 | C12 |
| 71 | 18,996 | 18,900 | 19,050 | 0,19 | C12 |
| 72 | 19,578 | 19,467 | 19,625 | 0,47 | C10 |
| 73 | 19,674 | 19,625 | 19,792 | 0,42 | C10 |
| 74 | 19,962 | 19,792 | 20,075 | 0,22 | C12 |
| 75 | 23,575 | 23,508 | 23,717 | 0,32 | C17 |
| 76 | 23,801 | 23,717 | 23,917 | 0,19 | C18 |
| 77 | 24,293 | 24,125 | 24,358 | 0,25 | C17 |
| 78 | 24,434 | 24,358 | 24,592 | 0,94 | C12 |
| 79 | 24,685 | 24,592 | 24,817 | 0,57 | C12 |
| 80 | 24,937 | 24,817 | 25,075 | 0,75 | C12 |
| | | | | 100,00 | |

D.1.4 Hasil karakterisasi Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 50% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 50%

Kromatogram bahan bakar cair hasil perengkahan katalitik P50 yang ditunjukkan pada Gambar D.4



Gambar D.7 Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 50% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 50%



Gambar D.8 MS Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 50% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 50%

Tabel D.4 Hasil karakterisasi Bahan Bakar Cair Perengkahan
Katalitik Plastik 50% dengan ko-reaktan biodiesel
minyak jelantah 50%

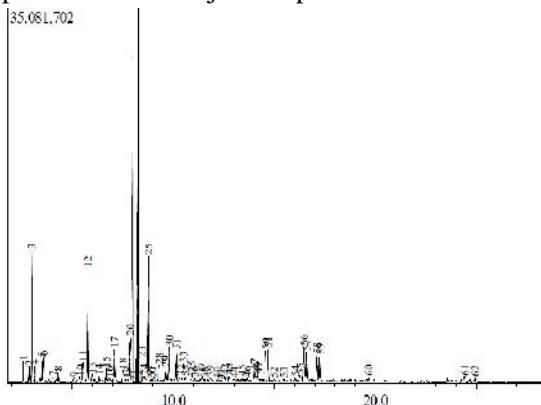
| Puncak | Waktu Retensi | Waktu Awal | Waktu Akhir | % Area | Fraksi |
|--------|---------------|------------|-------------|--------|--------|
| 1 | 2,590 | 2,525 | 2,700 | 0,85 | C5 |
| 2 | 2,875 | 2,808 | 2,950 | 0,63 | C6 |
| 3 | 3,004 | 2,950 | 3,050 | 4,69 | C6 |
| 4 | 3,139 | 3,050 | 3,183 | 0,87 | C6 |
| 5 | 3,506 | 3,467 | 3,542 | 0,90 | C7 |
| 6 | 3,601 | 3,542 | 3,692 | 1,26 | C7 |
| 7 | 4,042 | 3,925 | 4,142 | 0,41 | C7 |
| 8 | 4,309 | 4,267 | 4,400 | 0,54 | C7 |
| 9 | 5,100 | 5,025 | 5,167 | 0,25 | C8 |
| 10 | 5,384 | 5,275 | 5,442 | 0,30 | C8 |
| 11 | 5,541 | 5,442 | 5,617 | 1,84 | C8 |
| 12 | 5,785 | 5,617 | 5,875 | 7,95 | C8 |
| 13 | 6,002 | 5,875 | 6,083 | 0,51 | C8 |
| 14 | 6,363 | 6,250 | 6,425 | 0,32 | C8 |
| 15 | 6,690 | 6,617 | 6,800 | 0,92 | C8 |
| 16 | 6,854 | 6,800 | 6,917 | 0,33 | C8 |
| 17 | 7,103 | 7,033 | 7,317 | 2,64 | C9 |
| 18 | 7,525 | 7,425 | 7,600 | 0,90 | C9 |
| 19 | 7,730 | 7,600 | 7,792 | 0,58 | C9 |
| 20 | 7,891 | 7,792 | 7,925 | 4,33 | C9 |
| 21 | 8,008 | 7,925 | 8,175 | 15,10 | C9 |
| 22 | 8,283 | 8,175 | 8,450 | 21,19 | C9 |
| 23 | 8,458 | 8,450 | 8,517 | 0,36 | Boran |
| 24 | 8,570 | 8,517 | 8,642 | 0,61 | C8 |

| | | | | | |
|----|--------|--------|--------|------|------|
| 25 | 8,771 | 8,642 | 8,875 | 8,39 | C9 |
| 26 | 9,035 | 8,875 | 9,125 | 0,54 | C9 |
| 27 | 9,305 | 9,125 | 9,375 | 1,20 | C9 |
| 28 | 9,500 | 9,375 | 9,575 | 0,27 | C8 |
| 29 | 9,639 | 9,575 | 9,725 | 0,96 | C9 |
| 30 | 9,804 | 9,725 | 9,958 | 2,70 | C10 |
| 31 | 10,160 | 10,092 | 10,233 | 1,51 | C10 |
| 32 | 10,396 | 10,233 | 10,442 | 0,48 | C11 |
| 33 | 10,498 | 10,442 | 10,558 | 1,22 | C10 |
| 34 | 10,608 | 10,558 | 10,717 | 0,27 | C6Br |
| 35 | 10,942 | 10,850 | 11,008 | 0,31 | C10 |
| 36 | 11,432 | 11,358 | 11,492 | 0,32 | C10 |
| 37 | 11,846 | 11,767 | 11,892 | 0,24 | C8 |
| 38 | 12,563 | 12,475 | 12,642 | 0,29 | C10 |
| 39 | 12,759 | 12,642 | 12,875 | 0,37 | C10 |
| 40 | 14,017 | 13,917 | 14,067 | 0,57 | C11 |
| 41 | 14,105 | 14,067 | 14,150 | 0,24 | C10 |
| 42 | 14,206 | 14,150 | 14,258 | 0,25 | C11 |
| 43 | 14,558 | 14,483 | 14,633 | 1,46 | C11 |
| 44 | 14,710 | 14,633 | 14,808 | 1,43 | C11 |
| 45 | 16,279 | 16,200 | 16,383 | 0,35 | C11 |
| 46 | 16,470 | 16,383 | 16,533 | 1,99 | C9 |
| 47 | 16,597 | 16,533 | 16,708 | 1,62 | C9 |
| 48 | 17,105 | 17,033 | 17,175 | 1,44 | C12 |
| 49 | 17,252 | 17,175 | 17,358 | 1,35 | C12 |
| 50 | 19,669 | 19,617 | 19,767 | 0,29 | C13 |
| 51 | 23,568 | 23,500 | 23,658 | 0,30 | C17 |
| 52 | 24,285 | 24,208 | 24,358 | 0,24 | C17 |
| 53 | 24,425 | 24,358 | 24,508 | 0,46 | C12 |

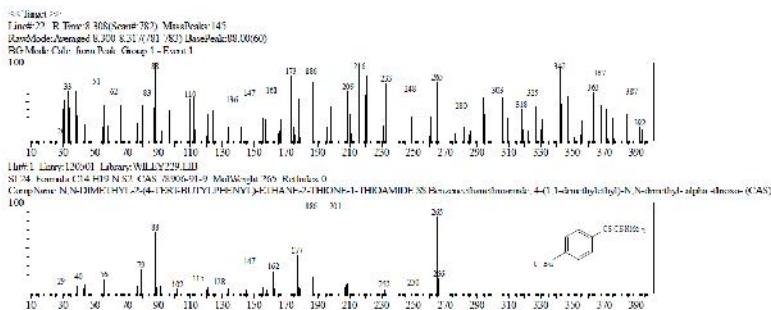
| | | | | | |
|----|--------|--------|--------|------|-----|
| 54 | 24,679 | 24,600 | 24,767 | 0,27 | C12 |
| 55 | 24,929 | 24,800 | 25,017 | 0,39 | C12 |
| | | | 100,00 | | |

D.1.5 Hasil karakterisasi Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 40% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 60%

Kromatogram bahan bakar cair hasil perengkahan katalitik plastik 40% ditunjukkan pada Gambar D.9



Gambar D.9 Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 40% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 60%



Gambar D.10 MS Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 40% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 60%

Tabel D.5 Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 40% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 60%

| Puncak | Waktu Retensi | Waktu Awal | Waktu Akhir | % Area | Fraksi |
|--------|---------------|------------|-------------|--------|--------|
| 1 | 2,587 | 2,417 | 2,725 | 0,74 | C5 |
| 2 | 2,873 | 2,725 | 2,933 | 0,58 | C6 |
| 3 | 3,001 | 2,933 | 3,092 | 4,33 | C6 |
| 4 | 3,136 | 3,092 | 3,183 | 0,58 | C6 |
| 5 | 3,502 | 3,433 | 3,542 | 0,94 | C7 |
| 6 | 3,599 | 3,542 | 3,683 | 1,15 | C7 |
| 7 | 4,038 | 3,942 | 4,133 | 0,40 | C7 |
| 8 | 4,306 | 4,258 | 4,425 | 0,59 | C7 |
| 9 | 5,094 | 4,942 | 5,167 | 0,27 | C8 |
| 10 | 5,380 | 5,267 | 5,442 | 0,38 | C8 |
| 11 | 5,535 | 5,442 | 5,617 | 1,51 | C8 |
| 12 | 5,779 | 5,708 | 5,858 | 6,42 | C8 |

| | | | | | |
|----|--------|--------|--------|-------|---------|
| 13 | 5,997 | 5,858 | 6,083 | 0,65 | C8 |
| 14 | 6,355 | 6,233 | 6,425 | 0,45 | C8 |
| 15 | 6,684 | 6,600 | 6,800 | 0,99 | C8 |
| 16 | 6,848 | 6,800 | 6,917 | 0,28 | C8 |
| 17 | 7,099 | 7,025 | 7,317 | 2,56 | C9 |
| 18 | 7,519 | 7,317 | 7,592 | 0,93 | C9 |
| 19 | 7,724 | 7,675 | 7,783 | 0,31 | C9 |
| 20 | 7,881 | 7,783 | 7,925 | 4,53 | C9 |
| 21 | 8,050 | 7,925 | 8,175 | 14,75 | Bulky |
| 22 | 8,308 | 8,175 | 8,433 | 16,34 | C10bulk |
| 23 | 8,441 | 8,433 | 8,500 | 0,33 | Boran |
| 24 | 8,562 | 8,500 | 8,633 | 0,60 | C8 |
| 25 | 8,769 | 8,633 | 8,858 | 8,39 | C9 |
| 26 | 8,910 | 8,858 | 8,983 | 0,23 | C9 |
| 27 | 9,032 | 8,983 | 9,175 | 0,41 | C9 |
| 28 | 9,301 | 9,175 | 9,367 | 1,35 | C9 |
| 29 | 9,635 | 9,558 | 9,700 | 1,06 | C9 |
| 30 | 9,798 | 9,700 | 9,958 | 2,54 | C10 |
| 31 | 10,155 | 10,083 | 10,225 | 2,02 | C10 |
| 32 | 10,386 | 10,225 | 10,433 | 0,73 | C11 |
| 33 | 10,492 | 10,433 | 10,550 | 1,24 | C10 |
| 34 | 10,603 | 10,550 | 10,708 | 0,46 | C6Br |
| 35 | 10,936 | 10,708 | 11,000 | 0,83 | C10 |
| 36 | 11,056 | 11,000 | 11,158 | 0,36 | C10 |
| 37 | 11,425 | 11,350 | 11,492 | 0,59 | C10 |
| 38 | 11,543 | 11,492 | 11,658 | 0,27 | C7 |
| 39 | 11,833 | 11,767 | 11,883 | 0,32 | C9 |
| 40 | 12,172 | 12,083 | 12,242 | 0,26 | C14 |

| | | | | | |
|----|--------|--------|--------|--------|-----|
| 41 | 12,360 | 12,242 | 12,442 | 0,22 | C19 |
| 42 | 12,558 | 12,442 | 12,633 | 0,46 | C10 |
| 43 | 12,752 | 12,633 | 12,875 | 0,56 | C10 |
| 44 | 13,018 | 12,875 | 13,083 | 0,32 | C13 |
| 45 | 13,403 | 13,292 | 13,467 | 0,38 | C10 |
| 46 | 13,655 | 13,567 | 13,775 | 0,36 | C10 |
| 47 | 14,011 | 13,908 | 14,058 | 0,81 | C10 |
| 48 | 14,099 | 14,058 | 14,150 | 0,41 | C11 |
| 49 | 14,201 | 14,150 | 14,258 | 0,46 | C11 |
| 50 | 14,555 | 14,450 | 14,633 | 2,10 | C11 |
| 51 | 14,707 | 14,633 | 14,783 | 2,03 | C11 |
| 52 | 14,992 | 14,867 | 15,133 | 0,28 | C9 |
| 53 | 15,471 | 15,333 | 15,542 | 0,23 | C11 |
| 54 | 16,023 | 15,917 | 16,083 | 0,22 | C10 |
| 55 | 16,269 | 16,183 | 16,383 | 0,61 | C10 |
| 56 | 16,464 | 16,383 | 16,533 | 2,49 | C9 |
| 57 | 16,595 | 16,533 | 16,708 | 1,96 | C12 |
| 58 | 17,102 | 16,958 | 17,167 | 1,79 | C12 |
| 59 | 17,251 | 17,167 | 17,350 | 1,73 | C12 |
| 60 | 19,662 | 19,608 | 19,758 | 0,29 | C13 |
| 61 | 24,419 | 24,350 | 24,500 | 0,34 | C12 |
| 62 | 24,919 | 24,775 | 25,058 | 0,28 | C12 |
| | | | | 100,00 | |

LAMPIRAN E

E.1 Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair (CBBC)

E.1.1 Hasil Karakterisasi Titik Nyala CBBC

Tabel E.1 Data Titik Nyala Campuran Bahan Bakar

| Jenis Bahan Bakar | Titik Nyala |
|-------------------|-------------|
| Premium | -5,8 |
| CB100 | -1,8 |
| CB80 | -4,8 |
| CB60 | -2,1 |
| CB50 | -5,9 |
| CB40 | -6,3 |
| TCB100 | -5,2 |

E.1.2 Hasil Karakterisasi Nilai Kalor CPN

Tabel E.2 Data Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair

| Campuran bahan bakar cair | Kalor (KKal/Kg) |
|---------------------------|-----------------|
| Premium | 9.871,88 |
| CB100 | 18.098,44 |
| CB80 | 15.795,00 |
| CB60 | 18.756,56 |
| CB50 | 15.465,94 |
| CB40 | 19.414,69 |
| TCB100 | 10.200,93 |

E.1.3 Hasil Karakterisasi Densitas CBBC

Massa piknometer = 16,898 gram

Massa piknometer + BBC = 24,388 gram

Volume piknometer = 10,182 mL

$$\begin{aligned}
 \text{Densitas} (\rho) &= \frac{(m - p) + B}{V_l u - M_p} \quad (\text{E.1}) \\
 &= \frac{2,3 \text{ g} - 1,8 \text{ g}}{1,1 \text{ mL}} \\
 &= 0,736 \text{ gram/mL}
 \end{aligned}$$

Perhitungan densitas tersebut hasil bahan bakar cair variasi 100 % (P) : 0 % (J), Perhitungan pada masing – masing variasi ditunjukkan pada Tabel E.3

Tabel E.3 Data Pengukuran Densitas Campuran Bahan Bakar Cair

| Jenis Bahan Bakar | Massa piknometer kosong (gram) | Massa piknometer + CBBC (gram) | Massa CBBC (gram) | Densitas (g/mL) |
|-------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------|-----------------|
| CB100 | 16,899 | 24,284 | 7,385 | 0,725 |
| CB80 | 16,900 | 24,244 | 7,345 | 0,721 |
| CB60 | 16,901 | 24,256 | 7,357 | 0,723 |
| CB50 | 16,900 | 24,267 | 7,366 | 0,723 |
| CB40 | 16,900 | 24,257 | 7,357 | 0,723 |
| Premium RON 88 | 16,898 | 24,428 | 7,359 | 0,723 |
| TCB100 | 16,899 | 24,428 | 7,529 | 0,739 |

E.1.4 Hasil Karakterisasi Viskositas Kinematik CBBC

Diketahui η_C = Viskositas kinematik bahan bakar cair

η_0 = Viskositas kinematik aquades

t_C = Waktu alir campuran bahan bakar cair

t_0 = Waktu alir aquades

ρ_C = Densitas campuran bahan bakar cair

ρ_0 = Densitas aquades

$$V \quad \eta_C = \eta_a \frac{t_C, \rho_C}{t_a, \rho_a} \quad (\text{C.2})$$

$$= 0,658 c \quad \frac{1,4 \text{ s} \times 725,26 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{3,14 \text{ s} \times 996,44 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$= 0,215 c.$$

Tabel E.4 Data Pengukuran Viskositas Kinematik Campuran Bahan Bakar Cair (CPN)

| Campuran Bahan Bakar Cair (CBBC) | t Alir PM (s) | Densitas PM (kg/m^3) | Viskositas Kinematik Air (cSt) | t Alir Air (s) | Densitas Air (kg/m^3) | Viskositas Kinematik CBBC (cSt) |
|----------------------------------|---------------|--|--------------------------------|----------------|---|---------------------------------|
| CB100 | 1,400 | 721,33 | 0,658 | 3,14 | 986,44 | 0,215 |
| CB80 | 1,54 | 722,510 | 0,658 | 3,14 | 986,44 | 0,236 |
| CB60 | 1,53 | 723,384 | 0,658 | 3,14 | 986,44 | 0,235 |
| CB50 | 1,55 | 722,550 | 0,658 | 3,14 | 986,44 | 0,238 |
| CB40 | 1,575 | 722,697 | 0,658 | 3,14 | 986,44 | 0,242 |
| Premium | 1,76 | 735,700 | 0,658 | 3,14 | 986,44 | 0,275 |
| TCPN0 | 1,761 | 739,48 | 0,658 | 3,14 | 996,44 | 0,274 |

LAMPIRAN F

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

Perhitungan persen efisiensi termal campuran bahan bakar cair jenis CB100

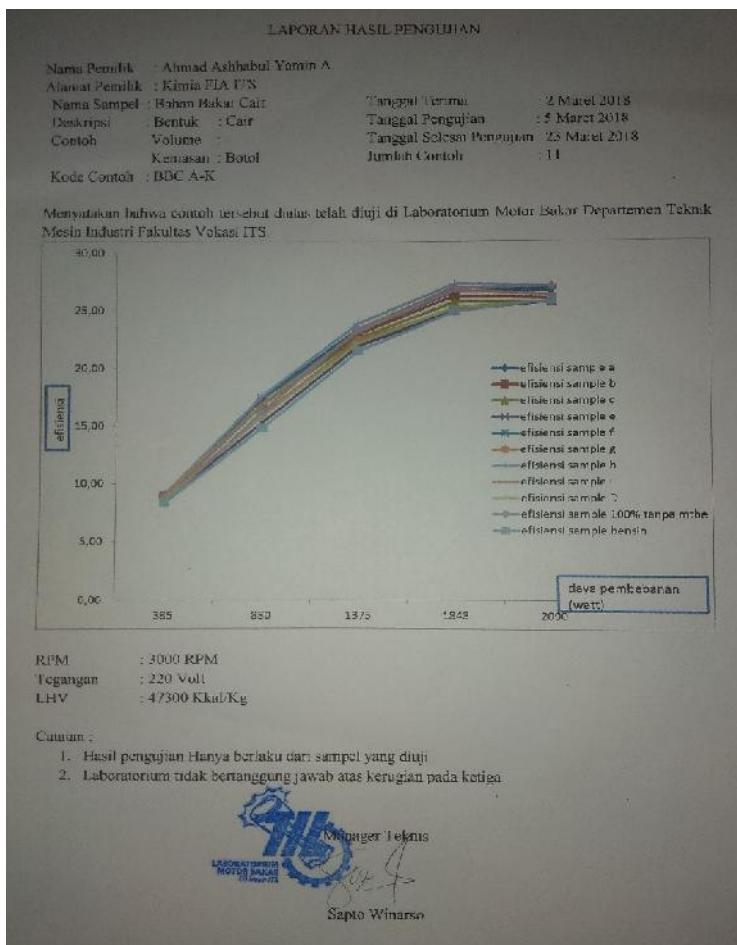
Diketahui : Daya Power (BHP) = 2.375 watt = 8.550 kJ/jam

$$LHV = 47.300 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Laju bahan bakar (M}_{bbc}\text{)} = 0,66 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Effisiensi } (\eta) &= \frac{B}{M_b} \cdot \frac{\left(\frac{k}{k}\right)}{\left(\frac{k}{j_a}\right) \times L} \times \left(\frac{k}{k}\right) \times 100 \% \quad (\text{F.1}) \\ &= \frac{8}{0,6} \cdot \frac{\left(\frac{k}{k}\right)}{\left(\frac{k}{j_a}\right) \times 4} \times \left(\frac{k}{k}\right) \times 100 \% \\ &= 27,18 \% \end{aligned}$$

Gambar F.1 Hasil Pengujian Kinerja Campuran Bahan Bakar Cair



Tabel F.1 Kinerja Campuran Bahan Bakar Cair pada Mesin Gasolin

| CB100 | | | | | | | | | |
|-------|--------------|----------|-------------------|---------------|---------------|-------------|---------------|-----------------|---------|
| Beban | Tegangan (V) | Arus (A) | t/20cc bb (sc) | Daya G (Watt) | Daya P (Watt) | Torsi (N-m) | m bb (kg/jam) | BSFC (kg/w-jam) | Eff (%) |
| 4 | 220 | 1,40 | 129,62 | 385 | 438 | 1,23 | 0,40 | 0,0009 | 8,33 |
| 8 | 220 | 3,20 | 110,96 | 880 | 1000 | 2,80 | 0,47 | 0,0005 | 16,29 |
| 12 | 220 | 5,00 | 102,5 | 1375 | 1563 | 4,38 | 0,51 | 0,0003 | 23,51 |
| 16 | 220 | 6,70 | 88,07 | 1843 | 2094 | 5,87 | 0,59 | 0,0003 | 27,07 |
| 18 | 220 | 7,60 | 77,96 | 2090 | 2375 | 6,66 | 0,66 | 0,0003 | 27,18 |
| CB80 | | | | | | | | | |
| 4 | 220 | 1,40 | 140,9 | 385 | 438 | 1,23 | 0,37 | 0,0008 | 9,02 |
| 8 | 220 | 3,20 | 119,18 | 880 | 1000 | 2,80 | 0,44 | 0,0004 | 17,44 |
| 12 | 220 | 5,00 | 101,64 | 1375 | 1563 | 4,38 | 0,51 | 0,0003 | 23,24 |
| 16 | 220 | 6,70 | 87,38 | 1843 | 2094 | 5,87 | 0,60 | 0,0003 | 26,77 |
| 18 | 220 | 7,60 | 77,19 | 2090 | 2375 | 6,66 | 0,67 | 0,0003 | 26,82 |
| CB60 | | | | | | | | | |
| 4 | 220 | 1,40 | 135,69 | 385 | 438 | 1,23 | 0,38 | 0,0009 | 8,67 |
| 8 | 220 | 3,20 | 109,73 | 880 | 1000 | 2,80 | 0,47 | 0,0005 | 16,03 |
| 12 | 220 | 5,00 | 98,56 | 1375 | 1563 | 4,38 | 0,53 | 0,0003 | 22,50 |
| 16 | 220 | 6,70 | 82,52 | 1843 | 2094 | 5,87 | 0,63 | 0,0003 | 25,25 |
| 18 | 220 | 7,60 | 74,7 | 2090 | 2375 | 6,66 | 0,70 | 0,0003 | 25,93 |

| CB50 | | | | | | | | | |
|----------------|-----|------|--------|------|------|------|------|--------|-------|
| 4 | 220 | 1,40 | 140,68 | 385 | 438 | 1,23 | 0,37 | 0,0008 | 9,08 |
| 8 | 220 | 3,20 | 116,14 | 880 | 1000 | 2,80 | 0,43 | 0,0004 | 17,66 |
| 12 | 220 | 5,00 | 101,9 | 1375 | 1563 | 4,38 | 0,50 | 0,0003 | 23,95 |
| 16 | 220 | 6,70 | 87,67 | 1843 | 2094 | 5,87 | 0,58 | 0,0003 | 27,42 |
| 18 | 220 | 7,60 | 76,3 | 2090 | 2375 | 6,66 | 0,66 | 0,0003 | 27,28 |
| CB40 | | | | | | | | | |
| 4 | 220 | 1,40 | 141,85 | 385 | 438 | 1,23 | 0,37 | 0,0008 | 9,00 |
| 8 | 220 | 3,20 | 120,71 | 880 | 1000 | 2,80 | 0,45 | 0,0004 | 16,99 |
| 12 | 220 | 5,00 | 104,77 | 1375 | 1563 | 4,38 | 0,51 | 0,0003 | 23,29 |
| 16 | 220 | 6,70 | 89,51 | 1843 | 2094 | 5,87 | 0,59 | 0,0003 | 26,85 |
| 18 | 220 | 7,60 | 78,51 | 2090 | 2375 | 6,66 | 0,68 | 0,0003 | 26,51 |
| TCB100 | | | | | | | | | |
| 4 | 220 | 1,40 | 141,68 | 385 | 438 | 1,23 | 0,37 | 0,0008 | 9,03 |
| 8 | 220 | 3,20 | 119,77 | 880 | 1000 | 2,80 | 0,44 | 0,0004 | 17,45 |
| 14 | 220 | 5,00 | 103,14 | 1375 | 1563 | 4,38 | 0,51 | 0,0003 | 23,49 |
| 16 | 220 | 6,70 | 88,8 | 1843 | 2094 | 5,87 | 0,59 | 0,0003 | 27,10 |
| 18 | 220 | 7,60 | 77,98 | 2090 | 2375 | 6,66 | 0,67 | 0,0003 | 26,98 |
| Premium RON 88 | | | | | | | | | |
| 4 | 220 | 1,40 | 133,47 | 385 | 438 | 1,23 | 0,40 | 0,0009 | 8,35 |
| 8 | 220 | 3,20 | 104,07 | 880 | 1000 | 2,80 | 0,51 | 0,0005 | 14,87 |
| 12 | 220 | 5,00 | 96,56 | 1375 | 1563 | 4,38 | 0,55 | 0,0004 | 21,56 |
| 16 | 220 | 6,70 | 83,53 | 1843 | 2094 | 5,87 | 0,64 | 0,0003 | 25,00 |
| 18 | 220 | 7,60 | 76,51 | 2090 | 2375 | 6,66 | 0,70 | 0,0003 | 25,97 |

LAMPIRAN G

G.1 Standar Baku Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin

G.1.1 SNI 06-3506-1994

| No | Sifat | Satuan | Batasan | |
|----|--------------------|-------------------|---------|------|
| | | | Min | Maks |
| 1 | Angka Oktana | RON | 88,0 | |
| 2 | Titik didih akhir | °C | | 205 |
| 3 | Densitas Pada 15°C | kg/m ³ | 715 | 770 |
| 4 | Warna | | Kuning | |
| 5 | Kandungan Pewarna | gr/100L | | 0,5 |

G.1.2 Spesifikasi Bahan Bakar Cair Jenis Gasoline Standar ASTM Berdasar Jurnal (Ahmad dkk., 2017)

| NO | Karakteristik | Metode | Gasolin |
|----|---|----------------------------|-----------|
| 1 | Densitas @ 15°C (g/cm ³) | ASTM D 1480 | 0,72-0,78 |
| 2 | Viskositas Kinematik @ 40°C (mm ² /s) | ASTM D 445 | < 1.17 |
| 3 | Nilai kalor (kkal/kg) | ASTM D 4809-13/IP 12 | 10.150,95 |
| 4 | Titik Nyala °C | ASTM D 93 | < 42 |

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Riza Alfian yang dilahirkan di Tulungagung pada tanggal 26 April 1996. Penulis merupakan anak pertama dari dua besaudara. Penulis pernah menempuh pendidikan di SDN 2 Jarakan, SMPN 1 Kauman, dan SMAN 1 Boyolangu. Penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Kimia Fakultas Ilmu Alam (FIA) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) melalui jalur SNPMTN pada tahun 2014

dan terdaftar sebagai mahasiswa Kimia ITS dengan NRP 01211440000058. Penulis pernah melakukan kerja praktik di Laboratorium Forensik POLRI Cabang Surabaya, Sub Bidang Narkoba. Penulis menyelesaikan pendidikannya di Jurusan Kimia FMIPA ITS dengan mengambil tugas akhir yang berjudul “Performa Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Limbah Plastik Polipropilena dan Ko-Reaktan Biodiesel Minyak Jelantah pada Mesin Gasolin dengan Aditif Metil Tersier Butil Eter”, yang dibimbing oleh Dr. Hendro Juwono, M.Si. Penulis dapat diajak berdiskusi mengenai tugas akhir maupun topik lainnya dan dapat dihubungi melalui email riza798@gmail.com