



SKRIPSI

**PRODUKSI BAHAN BAKAR CAIR DARI LIMBAH
PLASTIK PP DAN KO-REAKTAN BIODIESEL MINYAK
JELANTAH MENGGUNAKAN METODE KONVERSI
KATALITIK**

**RIFALDI
NRP 0121144000033**

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

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



SCRIPT

**PRODUCTION OF LIQUID FUEL FROM PP WASTE AND
CO-REACTANT WASTE COOKING OIL BIODIESEL BY
CATALYTIC CONVERSION METHOD**

**RIFALDI
NRP 0121144000033**

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

**DEPARTMEN OF CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

**PRODUKSI BAHAN BAKAR CAIR DARI LIMBAH
PLASTIK PP DAN KO-REAKTAN
BIODIESEL MINYAK JELANTAH MENGGUNAKAN
METODE KONVERSI KATALITIK**

SKRIPSI

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

Disusun Oleh:

RIFALDI
NRP 01211440000033

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

LEMBAR PENGESAHAN

**PRODUKSI BAHAN BAKAR CAIR DARI LIMBAH
PLASTIK PP DAN KO-REAKTAN
BIODIESEL MINYAK JELANTAH MENGGUNAKAN
METODE KONVERSI KATALITIK**

SKRIPSI

Disusun oleh:

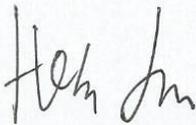
RIFALDI
NRP. 01211440000033

Surabaya, 24 Januari 2018

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



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



Dra. Harmami, MS
NIP 1961216 198803 2 002



Mengetahui,
Kepala Departemen Kimia FIA-ITS

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

PRODUKSI BAHAN BAKAR CAIR DARI LIMBAH PLASTIK PP DAN KO-REAKTAN BIODIESEL MINYAK JELANTAH MENGGUNAKAN METODE KONVERSI KATALITIK

Nama : Rifaldi
NRP : 0121144000033
Departemen : Kimia ITS
Dosen Pembimbing : Dr Hendro Juwono, M.Si
Dra. Harmami., MS

ABSTRAK

Telah dilakukan produksi bahan bakar cair dari limbah plastik PP dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah menggunakan metode konversi katalitik. Perbandingan % volume plastik dengan biodiesel minyak jelantah diterapkan pada volume total 300 mL. Variasi yang digunakan dari plastik 100% hingga 40% sebagai reaktan dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah. Katalis Al-MCM-41 : Keramik (7:3) dikarakterisasi dengan XRD, SEM, dan Adsorpsi – Desorpsi N₂. Puncak XRD menunjukkan keramik tidak merusak struktur kital dari Al-MCM-41. Pada gambar SEM keramik dan Al-MCM-41 bercampur sempurna. Penambahan keramik pada Al-MCM-41 meningkatkan luas permukaan, volume pori, dan diameter pori. Fraksi hidrokarbon (C₇-C₂₀) pada variasi P40 didapatkan 52,72% merupakan variasi optimum karena memiliki nilai kalor lebih tinggi dibandingkan variasi P100. Karakteristik fisik bahan bakar cair yang dihasilkan memiliki densitas 0,7353 g/ml, titik nyala 14,2 °C, nilai kalor 14.474,15 Kal/g. Tidak dihasilkan senyawa aromatik, namun terjadi pembentukan senyawa yang tidak teridentifikasi yang meningkat sebanding dengan kandungan biodiesel jelantah.

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

PRODUCTION OF LIQUID FUEL FROM PP WASTE AND CO-REACTANT WASTE COOKING OIL BIODIESEL BY CATALYTIC CONVERSION METHOD

Name : Rifaldi
NRP : 01211440000033
Department : Kimia ITS
Advisore Lecture : Dr Hendro Juwono, M.Si
Dra. Harmami,MS

ABSTRACT

Liquid fuels production from PP plastik waste and co-reactant of waste crude oil biodiesel using catalytic conversion has been performed. % Volume of plastic with biodiesel of waste cooking oil at a total volume of 300 mL. Variations are used from 100% to 40% plastics as reactants with co-reactants of waste cooking oil biodiesel. Catalyst Al-MCM-41: Ceramics (7: 3) characterized by XRD, SEM, and Adsorption - Desorption N₂. The XRD peak indicates that ceramics do not devastate the crystal structure of Al-MCM-41. In the image of the ceramic SEM and Al-MCM-41 perfectly mixed. The addition of ceramics to Al-MCM-41 increases surface area, pore volume, and pore diameter. The hydrocarbon fraction (C₇-C₂₀) in the P40 variation obtained 52.72% of the optimum variation because it has a higher calorific value than the P100 variation. The physical characteristics of the resulting liquid fuels have a density of 0.7353 g / ml, flash point 14.2 °C, 14.474.15 cal / g caloric. No aromatics are produced, but unidentified compounds has been formed that increases in proportion to the content of waste biodiesel.

Keywords : liquid fuel, catalytic cracking, pp plastik, waste cooking oil biodiesel

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan baik naskah Tugas Akhir yang berjudul **“Produksi Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik PP Dan Ko-Reaktan Biodiesel Minyak Jelantah Menggunakan Metode Konversi Katalitik”**

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, M.Sc selaku Kepala Departemen Kimia FMIPA-ITS atas fasilitas yang telah diberikan hingga naskah Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
3. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberi dukungan, doa, serta semangat yang tiada henti.
4. Teman-teman GALAXY yang selalu memberi semangat, doa, dan dukungan.
5. 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, 4 Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Plastik Polipropilena.....	7
2.2 Perengkahan	7
2.2.1 Perengkahan Termal.....	8
2.2.2 Perengkahan Katalitik	9
2.3 Pirolisis Limbah Plastik Polipropilena (PP)	13
2.4 Minyak Jelantah	13
2.5 Bahan Bakar Cair	15
2.6 Katalis Al-MCM 41 Termodifikasi	15
2.7 Karakterisasi Katalis.....	17

2.7.1 Adsorpsi-desorpsi Nitrogen	17
2.7.2 X- Ray Diffraction (XRD).....	20
2.7.3 Scanning Electron Microscope (SEM)	22
2.7 Karakterisasi Bahan Bakar Cair	23
2.7.1 Gas Chromatography / Mass Spectroscopy (GC/MS)	23
2.7.2 Densitas.....	26
2.7.3 Titik Nyala	27
2.7.4 Nilai Kalor.....	27
BAB III METODE PENELITIAN.....	29
3.1 Alat dan Bahan	29
3.1.1 Alat.....	29
3.1.2 Bahan	29
3.2 Prosedur Penelitian.....	29
3.2.1 Sintesis Bahan Bakar Cair dari Plastik.....	29
3.2.2 Pengolahan Biodiesel dari Minyak Jelantah	30
3.2.3 Persiapan Katalis.....	31
3.2.4 Produksi Bahan Bakar Cair Plastik Ko-reaktan biodiesel minyak jelantah.....	31
3.2.5 Karakterisasi Bahan Bakar Cair	33
3.2.6 Karakterisasi Katalis Al-MCM 41 : Keramik (7 :3)	35
3.2.7 Metode eksperimental dan evaluasi data.....	35
BAB IV PEMBAHASAN.....	37

4.1 Sintesis Bahan Bakar Cair Plastik Ko-reaktan Minyak Jelantah.....	38
4.1.1 Sintesis Bahan Bakar Cair Plastik.....	38
4.1.2 Sintesis Biodiesel melalui Transesterifikasi Minyak Jelantah.....	41
4.1.3 Sintesis Bahan Bakar Cair Plastik Ko-reaktan biodiesel minyak jelantah.....	44
4.2 Karakterisasi Katalis.....	48
4.2.1 Hasil Karakteriasi XRD	48
4.2.2 Hasil Karakteriasi SEM	49
4.2.3 Hasil Karakteriasi Uji Adsorpsi Desorpsi Nitrogen	50
4.3 Karakterisasi Bahan Bakar Cair	52
4.3.2 Uji Densitas.....	52
4.3.3 Uji Titik Nyala	54
4.3.4 Uji Nilai Kalor	56
4.4 Hasil Perengkahan katalitik hidrokarbon	57
4.4.1 % <i>Yield</i> Bahan Bakar Cair (BBC).....	58
4.4.2 Probabilitas Reaksi Perengkahan katalitik Hidrokarbon	61
BAB V KESIMPULAN	65
5.1 Kesimpulan.....	65
5.2 Saran.....	65
DAFTAR PUSTAKA.....	67
LAMPIRAN	73
BIODATA PENULIS.....	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Polipropilena(Calhoun, 2016)	7
Gambar 2.2 Mekanisme reaksi pemindahan Hidrogen pada Karbenium(Le Van Mao et al., 2013).....	12
Gambar 2.3 Reaksi Isomerisasi pada perpindahan Hidrogen(Le Van Mao et al., 2013)	12
Gambar 2.4 Reaksi isomerisasi pada perpindahan Metil(Le Van Mao et al., 2013).....	12
Gambar 2.5 Reaksi pembentukan aromatik (Le Van Mao et al., 2013).....	13
Gambar 2.6 Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah(Maneerung et al., 2016)	14
Gambar 2.7 Kerangka Katalis Al-MCM-41(Naik et al., 2010)...	16
Gambar 2.8 Jenis-jenis kurva adsorpsi (Storck et al., 1998)	18
Gambar 2.9 Grafik Isoterm Adosorpsi Desorpsi Nitrogen Al-MCM-41(Juwono et al., 2017b)	19
Gambar 2.10 Kondisi geometri untuk difraksi dari bidang kisi(Epp, 2016).....	20
Gambar 2.11 (a) Hasil XRD sudut pendek AL- MCM-41 (b) Hasil XRD sudut lebar AL- MCM-41	21
Gambar 2.12 (a) Gambar SEM Al-MCM-41 (b) Gambar SEM MCM-41	23
Gambar 2. 13 Diagram skematik Kromatografi Gas.....	23
Gambar 2.14 Alat bom calorimeter (Chang,2010).....	28
Gambar 4.1 Gelas plastik polipropilena	38
Gambar 4.2 Cacahan limbah plastik.....	39
Gambar 4.3 Skema continous reactor.....	40
Gambar 4.4 Hidrokarbon tahap I hasil perengkahan termal plastik PP	41
Gambar 4.5 Rangkaian refluks sintesis biodiesel.....	42
Gambar 4.6 Pemisahan biodiesel dan gliserol.....	43

Gambar 4.7 Hasil biodiesel	44
Gambar 4.8 (a) Katalis Al-MCM-41 : Keramik (7:3) (b) pellet katalis Al-MCM-41 : Keramik (7:3)	45
Gambar 4. 9 Reaktor perengkahan katalitik plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah	45
Gambar 4.10 (a) Produk cair (b) kokas	47
Gambar 4.11 (a) SAXRD Al-MCM-41 dengan Al-MCM-41 : Keramik (b) WAXRD Al-MCM-41 : keramik.....	48
Gambar 4. 12 (a) SEM Al-MCM-41 (b) SEM Al-MCM-41 : Keramik (7:3)	50
Gambar 4.13 (a) Grafik isoterm Al-MCM-41 referensi (b) Grafik isoterm Al-MCM-41 : Keramik	51
Gambar 4.14 Densitas Produk Bahan Bakar Cair	53
Gambar 4.15 Titik nyala bahan bakar cair	55
Gambar 4.16 Nilai Kalor Bahan Bakar Cair	56
Gambar 4. 17 Kromatogram hasil perengkahan katalitik variasi plastik 80% dengan ko-reaktan jelantah 20%	58
Gambar 4.18 Komposisi hidrokarbon pada setiap variasi	60
Gambar 4.19 Komposisi fraksi bensin pada bahan bakar cair (BBC) hasil Perengkahan	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Sifat dan komposisi asam lemak bebas dari minyak jelantah (Maneerung et al., 2016)	14
Tabel 2. 2 Analisis Adosrpsi dan desorpsi Nitrogen	19
Tabel 4. 1 Data Analisis Uji Adsorpsi Desorpsi Nitrogen	51
Tabel 4. 2 Yield hidrokarbon hasil perengkahan katalitik	59
Tabel 4. 3 Komposisi Terbesar pada variasi P80	62
Tabel 4. 4 Komposisi Terbesar pada variasi P40	63

DAFTAR LAMPIRAN

A.1 Langkah Penelitian	73
B.1 Skema Kerja	74
B.1.1 Sintesis Bahan Bakar Cair dari Plastik	74
B.1.2 Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah	75
B.1.3 Persiapan katalis.....	76
B.1.4 Produksi Bahan Bakar Cair Plastik dengan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Jelantah	77
C. 1 Karakterisasi Katalis Al-MCM-41 : Keramik	78
C.1.1 Hasil Karakterisasi XRD Katalis Al-MCM-41 : Keramik	78
C.1.2 Hasil Karakterisasi Adsorpsi Desorpsi N ₂ katalis Al-MCM-41	79
D. 1 Hasil Pengukuran Volume Bahan Bakar Cair (BBC).....	80
D. 2 Hasil Pengukuran Densitas Bahan Bakar Cair (BBC).....	81
D. 3 Hasil Pengukuran Titik Nyala Bahan Bakar Cair (BBC)	81
D. 4 Hasil Pengukuran Nilai Kalor Bahan Bakar Cair (BBC)	82
D. 5 Hasil karakterisasi Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 100%	82
D. 6 Hasil karakterisasi Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 80% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 20% .	83
D. 7 Hasil karakterisasi Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 60% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 40% .	84
D. 8 Hasil karakterisasi Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 50% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 50% .	85
D. 9 Hasil karakterisasi Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 40% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 60% .	86
E.1 Perhitungan	87
E.1. 1 Jumlah Katalis	87
E.1. 2 Yield Volume dan Kokas Bahan Bakar Cair (BBC) .	88
E.1. 3 Yield Bahan Bakar Cair (BBC).....	89
E.2 Nilai Kalor Bahan Bakar Cair	90

F. 1 Standar Baku Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin	
Premium	92
F.1. 1 HESS MSDS Gasoline All Grades.....	92
F.1. 2 HIBERNIA Petroleum Canada 2016.....	93

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keterbatasan sumber daya fosil mempercepat eksploitasi sumber daya terbarukan untuk menggantikan bahan bakar minyak bumi hidrokarbon (Atsonios et al., 2015). Pemenuhan kebutuhan energi dengan menipisnya sumber daya alam telah mengakibatkan emisi gas rumah kaca (GRK) yang signifikan dan perubahan iklim antropogenik. (Sadef et al., 2016) Hal ini mendorong munculnya kebijakan terhadap energi berkelanjutan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan menghasilkan energi terbarukan dari sumber seperti angin, matahari, panas bumi dan limbah.

Pada tahun 2016 Indonesia menjadi negara penghasil sampah plastik terbesar ke-2 di dunia dengan jumlah sampah plastik sebanyak 187,2 juta ton, setelah Cina dengan jumlah sampah plastik sebanyak 262,9 juta ton. (Nurdianto et al., 2016) Produk plastik memiliki umur yang sangat pendek dan sebagian besar berakhir di tempat pembuangan sampah (Anjument et al., 2016). Limbah plastik memiliki masalah pada lingkungan dan masalah operasional di tempat pembuangan sampah karena laju degradasi yang lambat dan adanya pewarna beracun dan aditif (Demirbas et al., 2015).

Terdapat rute yang optimal untuk mengelola sampah plastik, meliputi mekanik dan daur ulang kimia, serta teknologi konversi menjadi energi (Breyer et al., 2017). Pada rute konversi energi, pirolisis telah mendapat perhatian signifikan karena dilihat dari sisi ekonomi dan manfaat lingkungan (Miandad et al., 2016a). Di antara sampah plastik, tipe plastik polipropilena merupakan limbah plastik yang sering dijumpai yaitu berupa kantong plastik, gelas plastik, ember dan botol.

Konversi polipropilena menjadi bahan bakar cair telah banyak dilakukan pada penelitian sebelumnya melalui perengkahan termal

maupun perengkahan katalitik. Pada perengkahan termal plastik polipropilena menghasilkan campuran yang kandungan utamanya 1-alkena dengan panjang dan stereoisomer yang berbeda tidak bergantung dari struktur asal dari polimer induk yang di pirolisis. Perengkahan termal dari polipropilena diakibatkan oleh mekanisme pemotongan acak atau pemotongan ujung oleh pemindahan Hidrogen intramolekuler. Perengkahan katalitik polipropilena memiliki masa depan yang dapat dikembangkan karena dapat memproduksi bahan bakar cair yang memiliki kualitas lebih tinggi dimana dapat digunakan sebagai bahan bakar kelas premium pada sistem mesin transportasi. Katalis dapat memerankan peran yang sangat besar pada proses termodinamika limbah plastik dalam hal mempromosikan reaksi target, mengurangi temperatur reaksi dan meningkatkan efisiensi sistem pada proses perengkahan. Telah banyak dilakukan penelitian mengenai katalis padatan untuk perengkahan baik dari zeolite ZSM-5, Zeolit-Y dan MCM-41 termodifikasi. Reaksi katalitik pada hidrokarbon hasil produk pirolisis yang terbentuk selama pirolisis dari limbah plastik pada katalis heterogen asam meliputi perengkahan, isomerisasi, oligomerisasi, siklisasi dan reaksi aromatisasi. (Ratnasari et al., 2017)

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh (Bintarasari, 2017), pirolisis limbah plastik polipropilena dengan katalis MCM-41 termodifikasi Al dan keramik didapatkan produk bahan bakar cair pada fraksi gasoline dengan *yield* 71,89%. Bahan bakar cair yang dihasilkan memiliki karakteristik mendekati karakteristik bahan bakar minyak berjenis bensin sesuai baku mutu SNI 06-3506-1994. Bahan bakar cair dari hasil pirolisis plastik yang memiliki kalor tinggi menjadi persoalan sehingga diperlukan adanya tambahan sumber kaya hidrogen dan karbon lain agar didapatkan *yield* aromatik yang tinggi dan berada pada fraksi kerosin agar meningkatkan nilai kalor dari bahan bakar cair yang dihasilkan.

Salah satu sumber karbon dan hidrogen yang menjanjikan adalah minyak jelantah. Minyak goreng bekas (jelantah) merupakan minyak tumbuhan yang sudah digunakan untuk menggoreng. Minyak jelantah merupakan bahan baku yang memiliki biaya produksi yang rendah dan produksi dengan skala besar karena minyak jelantah sendiri merupakan limbah baik dari rumah tangga, restoran dan lain – lain yang diproduksi ketika memasak dan menggoreng makanan pada minyak. Minyak jelantah sendiri memiliki masalah yang signifikan sendiri karena dapat menimbulkan polusi pada sumber air dan tanah sebagai limbah. Penggunaan minyak jelantah sebagai ko-reaktan kurang memungkinkan secara langsung dikarenakan perlu temperatur yang sangat tinggi untuk merubah fase minyak jelantah dari cair menjadi fase gas, sehingga diperlukan konversi minyak jelantah menjadi metil ester asam lemak melalui proses transesterifikasi. Transesterifikasi minyak jelantah memiliki tantangan sendiri karena memiliki karakteristik yang berbeda hasil dari penggunaan memasak sebelumnya yang variatif sehingga perlu dilakukan preparasi terlebih dahulu untuk menghilangkan kandungan pengotor, air, dan asam lemak bebas yang tinggi. Transesterifikasi minyak jelantah paling optimal menggunakan katalis basa homogen dikarenakan memberikan laju reaksi lebih cepat daripada asam homogen atau katalis heterogen dalam transesterifikasi, (Utami and Prasetyoko, 2013)

Konversi metil ester asam lemak menjadi hidrokarbon (C_7 - C_{20}) dengan *hydrocracking* telah dilakukan oleh (Juwono et al., 2017a) dengan katalis Pd/Al-MCM-41. Bahan bakar cair yang dihasilkan berupa fraksi hidrokarbon gasoline (C_7 - C_{12}) dan fraksi kerosin (C_{13} - C_{20}). Katalis disini memiliki peranan penting karena modifikasi dari MCM-41 sangat diperlukan untuk menaikkan sisi keasaman dari MCM-41 sehingga menghasilkan produk sesuai yang ditargetkan dan hasil bahan bakar cair yang lebih banyak.

Proses konversi plastik dengan ko-reaktan metil ester merupakan tantangan baru karena belum pernah dilakukan sebelumnya. Proses perengkahan katalitik plastik polipropilena dengan ko-reaktan minyak jelantah dilakukan dengan penggunaan katalis. Katalis yang digunakan pada penelitian sebelumnya mengenai perengkahan katalitik plastik maupun konversi metil ester asam lemak menjadi hidrokarbon (C_7-C_{20}) merupakan katalis MCM-41 termodifikasi. Pirolisis menggunakan katalis Al-MCM-41 dimana penggunaan katalis Al-MCM-41 juga telah dilaporkan pada penelitian sebelumnya mengenai konversi plastik menjadi hidrokarbon bahan bakar dengan yield aromatik yang besar. (Ratnasari et al., 2017). MCM-41 merupakan katalis yang dikenal memiliki beberapa sisi asam dengan kelebihan pada positas dan porinya karena memiliki ukuran mesopori. Impregnasi logam Al ke dalam MCM-41 meningkatkan jumlah dari sisi asam sehingga mempromosikan MCM-41 sebagai katalis yang potensial pada perengkahan katalitik. Perubahan rasio dari Si/Al yang mengarah pada komponen Al pada struktur katalis juga dapat mempengaruhi reaktifitas dari katalis.

Pada penelitian ini digunakan MCM-41 yang termodifikasi logam Al dengan padatan pendukung keramik sebagai isolator termal dalam proses perengkahan katalitik. Proses konversi ko-reaktan plastik dan metil ester minyak jelantah diharapkan dapat menghasilkan bahan bakar cair dengan hasil range fraksi hidrokarbon (C_7-C_{20}) dengan kandungan aromatic yang tinggi. Oleh karena itu dilakukan variasi ko-reaktan untuk melihat variasi mana yang memberikan yield aromatik terbesar pada fraksi hidrokarbon (C_7-C_{20}) serta kelimpahan fraksi hidrokarbon (C_7-C_{20}).

1.2 Rumusan Masalah

Limbah plastik di Indonesia telah meresahkan karena Indonesia tercatat sebagai penghasil sampah plastik terbesar ke-2 di dunia. Hal ini merupakan salah satu potensi yang besar untuk memanfaatkan limbah plastik tersebut khususnya polipropilena menjadi bahan bakar cair alternatif. Namun penggunaan bahan baku polipropilena memiliki persoalan pada nilai kalor yang tinggi sehingga ditambahkan ko-reaktan yang kaya karbon dan hidrogen. Salah satu sumber yang paling potensial merupakan minyak jelantah yaitu minyak jelantah yang selalu diproduksi dalam jumlah yang besar sebagai limbah. Katalis yang digunakan berupa Al-MCM-41 dengan modifikasi padatan pendukung keramik. Permasalahan yang muncul dalam penelitian ini adalah pengaruh komposisi plastik dengan ko-reaktan minyak jelantah pada yield aromatik terbesar pada fraksi hidrokarbon (C_7-C_{20}) serta kelimpahan fraksi hidrokarbon (C_7-C_{20}).

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini dilakukan produksi bahan bakar cair dari limbah plastik pp dan ko-reaktan 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 (7:3) yang digunakan sebesar 9 gram (0,3% b/v).

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan optimasi ko-reaktan pirolisis plastik dan minyak jelantah pada *yield* hidrokarbon (C_7-C_{20}), rentang fraksi hidrokarbon, kandungan aromatik, dan nilai kalor.

1.5 Manfaat Penelitian

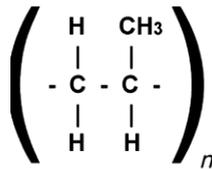
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa

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

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Plastik Polipropilena

Polipropilena banyak digunakan pada lapisan film dikarenakan kekuatan, kekerasan, dan titik leleh yang tinggi. Propilen merupakan polimer yang terdiri atas monomer propilena. Struktur dari propilena ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Struktur Polipropilena (Calhoun, 2016)

Polipropilen merupakan salah satu dari limbah plastik. Limbah plastik ini dapat diolah menjadi bahan bakar minyak dengan menggunakan beberapa metode, seperti *pyrolysis*, *thermal cracking*, *catalytic cracking*, *catalytic degradation*, dan *hydrocracking*. Diantara metode pengolahan plastik menjadi bahan bakar tersebut, pirolisis merupakan salah satu yang paling menjanjikan karena limbah plastik dapat diolah menjadi bahan bakar yang berharga. Pada penelitian yang telah dilakukan bakar cair yang diperoleh dari pirolisis polipropilen tanpa katalis sebanyak 72,06%, dengan menggunakan katalis SiO₂ sebanyak 79,59%, dengan menggunakan katalis zeolit sebanyak 74,76%, dengan menggunakan katalis CaO sebanyak 76,80%, dan dengan menggunakan katalis Fe sebanyak 76,83%. (Bemis et al., 2012)

2.2 Perengkahan

Perengkahan atau pirolisis merupakan dekomposisi termal yang terjadi tanpa adanya oksigen sehingga rantai panjang hidrokarbon yang memiliki massa molekul relatif besar akan putus

menjadi massa molekul relative yang kecil. Pada pirolisis cepat, biomassa dikomposisi sangat cepat untuk menghasilkan sebagian besar uap dan aerosol dan beberapa arang dan gas. Setelah pendinginan dan kondensasi, cairan coklat gelap terbentuk yang memiliki nilai kalor setengah dari bahan bakar konvensional. Hasil yang tinggi dari cair diperoleh dengan biomassa yang memiliki kadar abu rendah. (Bridgwater, 2012)

2.2.1 Perengkahan Termal

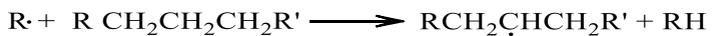
Tahap pertama perengkahan termal adalah pembentukan dua fragmen radikal bebas dari molekul hidrokarbon. Tahap ini disebut sebagai inisiasi yang terjadi melalui pemotongan ikatan C-C homolitik pada sembarang posisi rantai hidrokarbon. Berikut merupakan tahapan inisiasi yang terjadi :



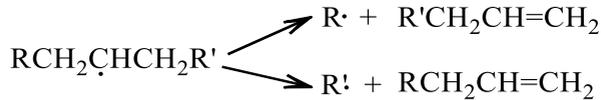
Proses pembentukan radikal – radikal terus berjalan menghasilkan satu olefin dan satu radikal bebas yang baru. Tahap selanjutnya yaitu propagasi. Perengkahan terjadi pada ikatan beta sehingga karbon hasil perengkahan membawa elektron tak berpasangan.



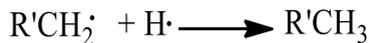
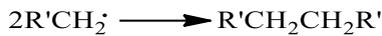
Radikal bebas baru dapat juga bereaksi dengan molekul hidrokarbon lain dengan mengambil satu atom hidrogen. Hidrogen pada posisi tersier lebih mudah diambil daripada posisi sekunder dan primer.



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



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. (Le Van Mao et al., 2013)



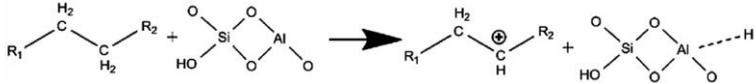
2.2.2 Perengkahan Katalitik

Perengkahan katalitik didefinisikan sebagai proses perengkahan yang dioperasikan pada temperatur 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. (Le Van Mao et al., 2013)

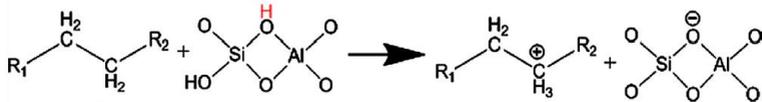
Perengkahan katalitik merupakan reaksi katalis asam heterogen. Perengkahan katalitik terjadi ketika reaktan mencapai sisi aktif pada permukaan katalis. Tahap yang terjadi pada perengkahan katalitik terbagi atas tahap inisiasi yang merupakan pembentukan karbokation. Karbokation memiliki selektifitas yang 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 :

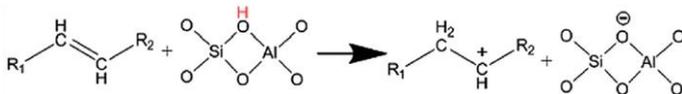
- a. Pengambilan ion hibrida oleh Asam Lewis pada hidrokarbon jenuh



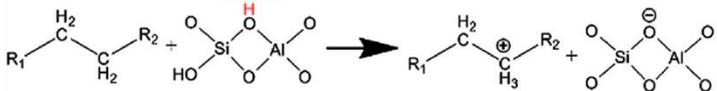
- b. Karbokation oleh asam Bronsted pada hidrokarbon jenuh



- c. Karbokation oleh asam Bronsted pada hidrokarbon tak jenuh



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



Parafin

Situs Asam
Bronsted



Setelah tahap inisiasi, terdapat beberapa kemungkinan transformasi dari karbokation (ion karbonium) yang terbentuk. (Le Van Mao et al., 2013)

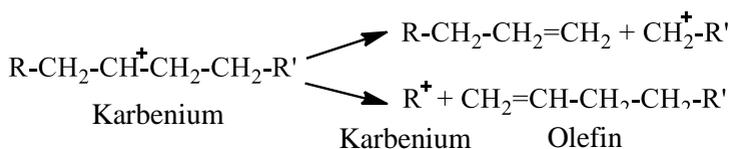
2.2.2.1 Desorpsi Olefin

Ion Karbonium yang terbentuk pada sisi aktif asam (Bronsted/Lewis) mungkin terdesorb sebagai olefin dan

mengembalikan sisi aktif. Jika turunan karbonium dari koordinasipenta ion karbonium, maka hal ini merupakan mekanisme perengkahan Haag-Dessau, juga dikenal sebagai mekanisme perengkahan mono molekuler. Reaksi dilakukan pada temperatur 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 (β)

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



Gambar 2. 2 Pemotongan beta pada dua sisi dari ion karbenium (Le Van Mao et al., 2013)

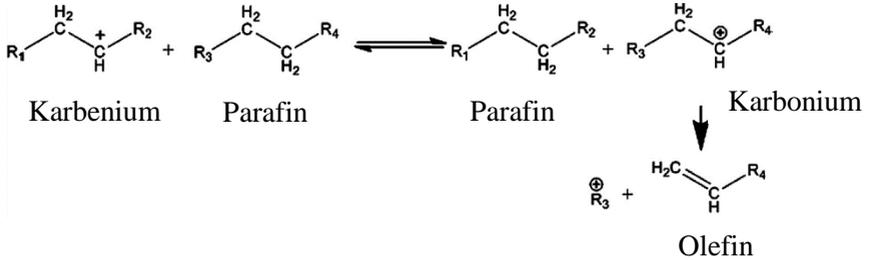
2.2.2.3 Reaksi Lainnya

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- β . Perbedaannya dengan reaksi perengkahan monomolekuler, reaksi bimolekuler terjadi pada temperatur rendah, pada tekanan parsial hidrokarbon rendah, dan menggunakan zeolit

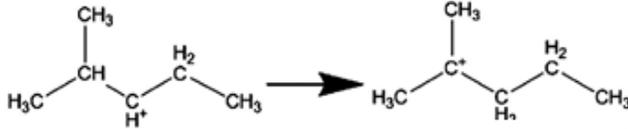
dengan indeks konstrain rendah dan situs asam densitas tinggi seperti Zeolit Y.



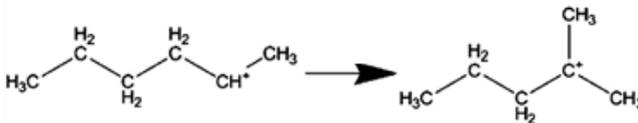
Gambar 2.3 Mekanisme reaksi pemindahan Hidrogen pada Karbenium (Le Van Mao et al., 2013)

b. Isomerisasi

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



Gambar 2.4 Reaksi Isomerisasi pada perpindahan Hidrogen (Le Van Mao et al., 2013)

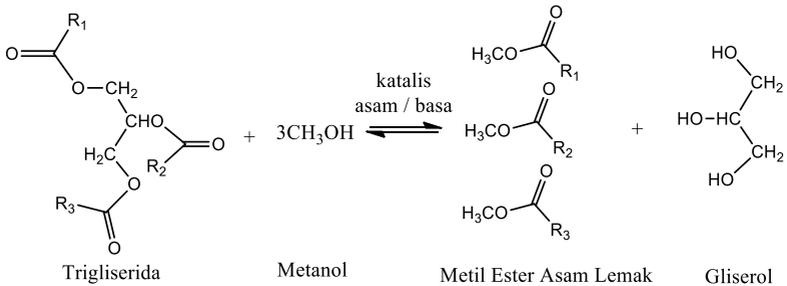


Gambar 2.5 Reaksi isomerisasi pada perpindahan Metil (Le Van Mao et al., 2013)

c. Aromatisasi

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

menyelesaikan masalah yang berhubungan dengan pembuangan minyak jelantah.(Maneering et al., 2016) Proses pembuatan biodiesel melalui transesterifikasi minyak jelantah ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.7 Reaksi transesterifikasi minyak jelantah (Maneering et al., 2016)

Tabel 2.1 Sifat dan komposisi asam lemak bebas dari minyak jelantah (Maneering et al., 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

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. 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, perlakuan 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 Bahan Bakar Cair

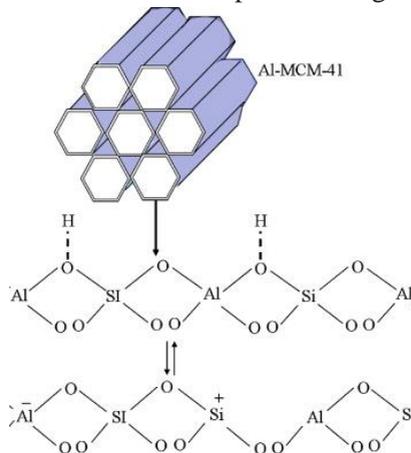
Bahan Bakar cair adalah persenyawaan hidrokarbon yang suhu pengembunannya ada di atas suhu ruangan (*ambient temperature*) (Marsudi, 2005). Senyawa hidrokarbon terdiri atas paraffin (alkana), olefin (alkena), alkuna, naftalena(siklik) , dan aromatik. Bahan bakar cair memiliki sifat-sifat khas yang dapat diuji yaitu densitas relative, nilai kalor, distilasi, tekanan uap, titik nyala, temperatur nyala spontan, viskositas, dan titik tuang. Pada densitas relative memberikan indikasi jenis dari bahan bakar. Pada bahan bakar yang telah diketahui jenisnya, densitas relative merupakan pemeriksaan inspeksi keberadaan kontaminan. Komposisi hidrokarbon pada bahan bakar cair menentukan jenis bahan bakar cair (Goodger, 1975).

2.6 Katalis Al-MCM 41 Termodifikasi

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 et al., 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 *framework*-nya. 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 2.8). 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 2.8 Kerangka Katalis Al-MCM-41(Naik et al., 2010)

Al-MCM-41 adalah katalis yang berguna dalam reaksi organik, 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 et al., 2010)

2.7 Karakterisasi Katalis

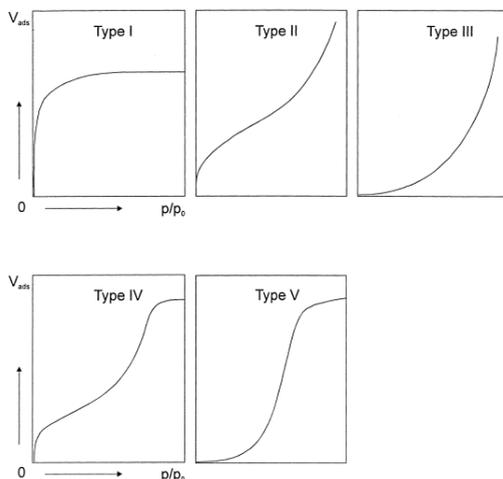
2.7.1 Adsorpsi-desorpsi Nitrogen

Adsorpsi gas nitrogen tepat digunakan untuk analisa material mikropori dan mesopori. Dalam fisiorpsi (adsorpsi fisis), gas inert dengan jumlah tertentu, pada temperatur yang sangat rendah (77K), dan tekanan vakum diadsorb pada permukaan material berpori. Fisiorpsi 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-susbrat. 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 fisiorpsi gas ditunjukkan pada Gambar 2.9. Menurut IUPAC, grafik adsorpsi isothermal dapat diklasifikasikan menjadi enam tipe. Tipe I merupakan tipe yang khas untuk fisisorpsi 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 Didik, 2016)



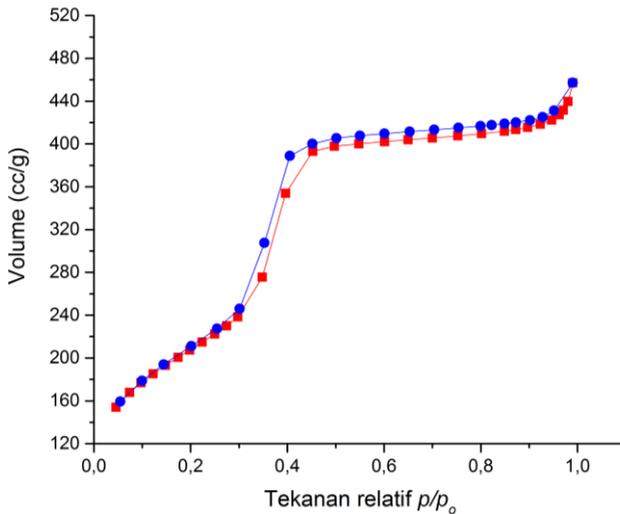
Gambar 2.9 Jenis-jenis kurva adsorpsi (Storck et al., 1998)

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 pada Tabel 2.2. Kemungkinan pengembangan logam Al menenempati pori heksagonal dari MCM-41. Grafik isoterm adsorpsi yang ditunjukkan pada Gambar 2.10 dari Al-MCM-41 mengikuti grafik isotherm tipe IV (Juwono et al., 2017)

Tabel 2.2 Analisis Adosrpsi dan desorpsi Nitrogen (Juwono et al., 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

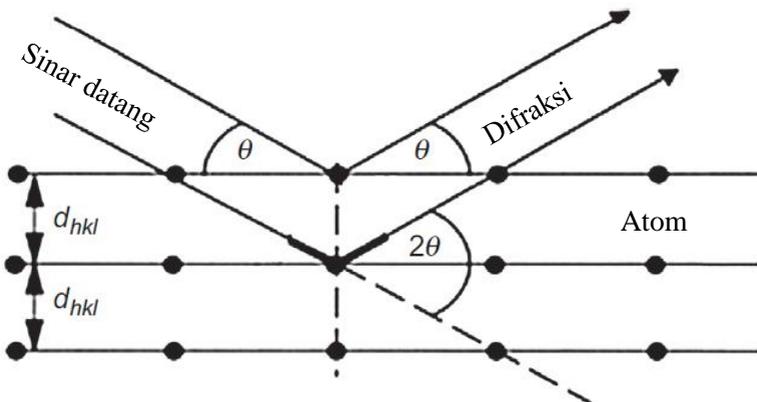


Gambar 2.10 Grafik Isoterm Adosorpsi Desorpsi Nitrogen Al-MCM-41(Juwono et al., 2017b)

2.7.2 X- Ray Diffraction (XRD)

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 fasenya 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).

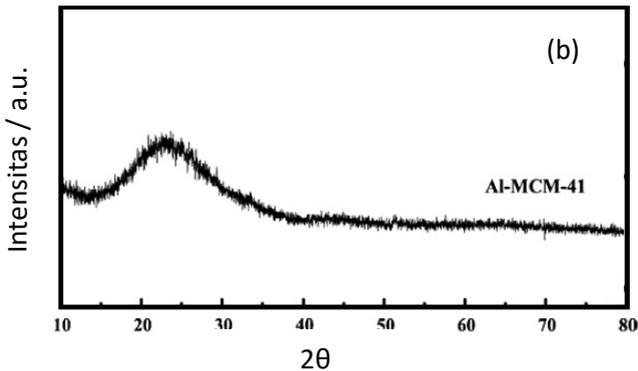
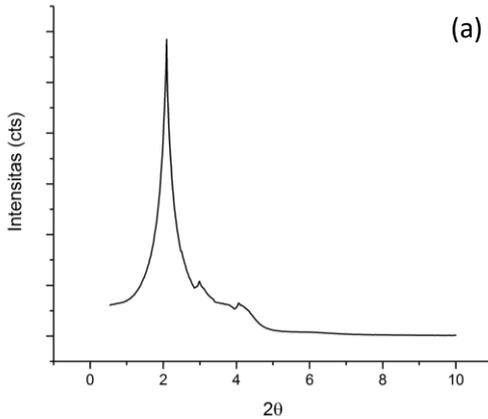
Prinsip dari metode yang digunakan pada difraksi sinar-X melalui bidang periodik atom dan sudut atau energi deteksi dari sinyal difraksi. Interpretasi geometri dari fenomena XRD (interferensi konstruktif) diberikan oleh W.L.Bragg pada Gambar 2.11 memberikan penjelasan lengkap mengenai kondisi geometri untuk difraksi dan penentuan dari hukum Bragg.



Gambar 2.11 Kondisi geometri untuk difraksi dari bidang kisi(Epp, 2016)

$$n\lambda = 2d_{hkl} \sin (\theta) \dots \dots \dots (2.1)$$

Gambar 2.12(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 ($2\theta = 1-5^\circ$) serta puncak Al dengan intensitas yang sangat rendah pada $2\theta = 20^\circ$ (Juwono et al., 2017a).



Gambar 2.12 (a) Hasil XRD sudut pendek AL- MCM-41 (b) Hasil XRD sudut lebar AL- MCM-41

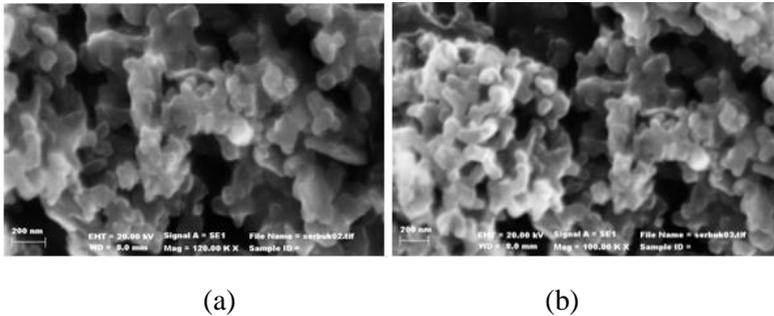
Hasil *XRD* sudut lebar dari Al-MCM-41 memiliki puncak lebar pada sudut $2\theta=22^\circ$ yang mengkonfirmasi fase amorf alami dari siliki yang teratur. (Sohrabnezhad et al., 2018)

2.7.3 Scanning Electron Microscope (SEM)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan mikroskop elektron yang menggunakan sinar elektron terfokus yang bereaksi dengan sampel untuk menghasilkan gambar topologi dan komposisi relatif. Setelah kontak dengan sampel, sinar elektron terfokus akan menghasilkan elektron sekunder (SEs), elektron *backscattered*, dan sinar-X khas, yang mana kemudian dideteksi dengan detektor dan akhirnya ditampilkan di monitor. Komponen utama pada SEM meliputi sumber elektron, kolom yang mengandung lensa elektromagnetik, detektor elektron, dan ruang sampel serta monitor komputer.

Secara umum, terdapat dua tipe interaksi yang dapat terjadi, yaitu elastis dan tidak elastis. Pada interaksi inelastis, SE energi rendah diemisikan dari sampel setelah ditembakkan dengan sinar elektron primer sedangkan pada interaksi elastis energi sebanding dengan inti atom atau elektron. Mode SE merupakan tipe sinyal yang biasa digunakan untuk pengolahan gambar pada SEM. Akibat dari insiden elektron memiliki energi yang relatif rendah, deteksi hanya dapat dicapai pada beberapa nanometer dari permukaan sampel. Dengan demikian, SE relatif akurat untuk menghasilkan kontras topologi dari sampel seperti tekstur permukaan dan kekasaran. SE yang mencapai detektor yang akan menghasilkan gambar, tetapi pada SE yang terhalang akan menghasilkan kontras gelap untuk gambar. Selain itu, elektron tegangan rendah pada sinar primer kemungkinan besar akan menghasilkan SEs dari permukaan sampel paling maksimal, sehingga secara akurat menggambarkan informasi topografi rinci dari sampel (Abd Mutalib et al., 2017).

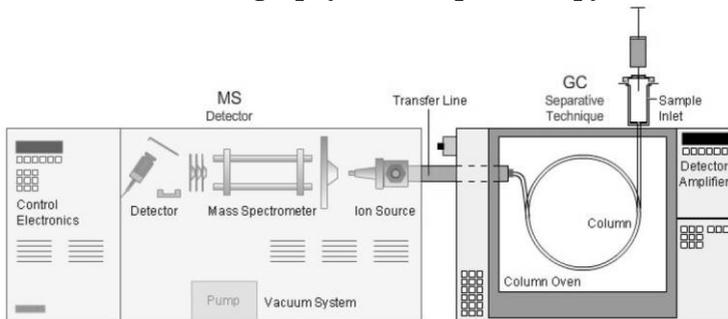
Pada (Juwono et al., 2017b) dilakukan SEM pada material MCM-41 dan Al-MCM-41. Pada Gambar 2.12 (a) menunjukkan morfologi dari Al-MCM-41 kurang heksagonal dibandingkan dengan Gambar 2.12 (b) MCM-41. Hal ini diakibatkan oleh impregnasi Al berlokasi pada pori heksagonal dari MCM-41 tanpa mengganggu kerangka dari MCM-41 sendiri.



Gambar 2.13 (a) Gambar SEM Al-MCM-41 (b) Gambar SEM MCM-41

2.7 Karakterisasi Bahan Bakar Cair

2.7.1 Gas Chromatography / Mass Spectroscopy (GC/MS)



Gambar 2.14 Diagram skematik Kromatografi Gas (Syed Zameer Hussain, 2014)

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. Diagram skematik kromatografi gas ditunjukkan pada Gambar 2.14. Kolom kapiler berisi fase diam; padatan pendukung yang dilapisi dengan cairan yang tidak mudah menguap. Sampel melewati kolom dengan aliran gas helium. Komponen dalam sampel terpisah satu sama lain karena perbedaan waktu untuk melewati kolom. Mass Spectrometry (MS), merupakan detektor untuk GC. 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 (Syed Zameer Hussain, 2014).

2.7.1.1 Komponen Instrumen Kromatografi Gas - MS

Gas pembawa diberikan dari silinder melalui regulator dan tabung ke instrument. Ini biasa dilakukan untuk memurnikan gas dan memastikan pasokan gas yang memiliki kemurnian dan tekanan yang tinggi. Pada bagian injeksi sampel akan divolatilkan dan gas yang dihasilkan masuk ke dalam arus pembawa yang memasuki kolom KG. Kromatografi gas menggunakan fase gerak gas untuk membawa komponen sampel melalui kolom yang berisi dengan lapisan partikel silika atau kolom pipa kapiler yang mengandung fase diam dilapisikan ke dalam dinding dalamnya. Kolom kapiler GC biasanya panjangnya (10-120 m) dengan diameter internal 0,1-0,50 mm, sementara kolom GC dikemas cenderung panjangnya 1-5 meter dengan diameter internal 2 atau 4mm.

Kromatografi gas memiliki oven dengan temperatur yang telah terprogram, temperatur dari kromatografi gas biasanya berkisar dari 5 °C hingga 400 °C tetapi dapat pada temperatur rendah pada -25 °C dengan pendinginan kriogenik.

Pemisahan fasa ion dicapai pada spektrometer massa menggunakan bidang elektrik dan atau magnet untuk ion yang berbeda – beda. Pada sumber ion, produk di ionisasikan untuk dianalisis pada spectrometer massa. Terdapat beberapa tipe yang sangat populer dari analisa massa yang tergabung pada analisis GC-MS dan semuanya berbeda dalam cara mendasar di mana mereka memisahkan spesies berdasarkan muatan. Analisis massa memerlukan tingkat vakum yang tinggi agar dapat beroperasi dalam cara yang dapat diprediksi dan efisien. Sinar ion yang muncul dari penganalisis massa, harus dideteksi dan diubah menjadi sinyal yang bisa digunakan. Detektor adalah elemen penting dari spektrometer massa yang menghasilkan sinyal dari ion yang terbentuk dengan menghasilkan elektron sekunder, yang selanjutnya diperkuat, atau dengan menginduksi arus (yang dihasilkan oleh muatan bergerak).

Parameter MS dapat dipilih dan dikendalikan dari panel ini. Instrumen modern juga memungkinkan untuk mengendalikan parameter MS dari komputer dengan menggunakan perangkat lunak yang dirancang khusus. Fasa gerak yang disebut sebagai gas pembawa, harus bersifat tidak reaktif/ inert secara kimia. Gas yang paling sering digunakan adalah helium serta gas lainnya yang digunakan yaitu argon, nitrogen, dan hidrogen. Gas-gas ini 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. Setelah dipisahkan, sampel akan dilewatkan menuju detektor. Sampel akan terionisasi dan kemudian dipisahkan berdasarkan rasio massa/muatan ion pada masing-masing komponen. Data ini kemudian dikirim ke komputer untuk ditampilkan dan dianalisis. 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 dan Maqbool, n.d.,2014).

2.7.2 Densitas

Densitas diartikan sebagai massa benda dibagi dengan volumenya. Densitas dapat dihitung menggunakan persamaan

$$\text{densitas} = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

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).

2.7.3 Titik Nyala

Titik nyala merupakan temperature 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 mnycabkan lingkaran biru atau api yang membesar sebelum titik nyala sebenarnya, ini bukan titik nyala sebenarnya dan harus diabaikan (ASTMD93-02, 2003).

2.7.4 Nilai Kalor

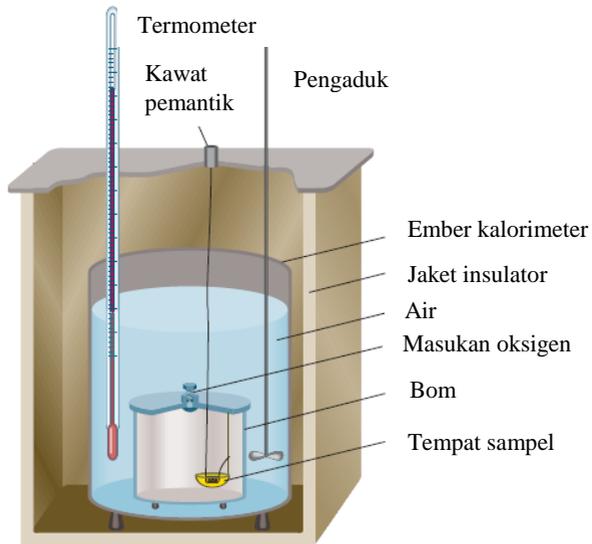
Kalorimetri merupakan studi perpindahan panas selama proses fisika dan kimia. Alat yang digunakan untuk mengukur energi yang ditransfer sebagai panas yaitu kalorimeter. Alat yang paling umum digunakan untuk mengukur ΔU adalah kalorimeter bom adiabatik (Gambar 2.15). Bom direndam dalam bak air yang diaduk, 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).

Perubahan suhu, ΔT , kalorimeter sebanding dengan energi bahwa reaksi melepaskan atau menyerap panas. Karena itu, dengan mengukur ΔT kita bisa menentukan q_V dan menemukan ΔU . (Atkins, 2010) Konversi ΔT ke q_V paling baik diperoleh dengan mengkalibrasi kalorimeter dengan menggunakan energi yang keluarannya telah diketahui sebagai konstanta kalorimeter, konstanta C dalam relasi

$$q = C\Delta T \quad (2.1)$$

$$C = ms \quad (2.2)$$

(Chang,2010)



Gambar 2.15 Alat bom kalorimeter (Chang,2010)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alu dan mortar, *press pellet*, desikator, alat *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Micromeritics TriStar II 3020 Automatic physisorption Analyzer*, *Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer (GC-MS)* jenis GCMS-QP2010S SHIMADZU, reaktor, reaktor katalitik, bom kalorimeter, piknometer 10 mL, cawan penguap, termometer, *freezer*, neraca analitik.

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak jelantah dari Kantin Pusat ITS, limbah plastik polipropilena (PP) dari Tempat Pembuangan Sampah Trowulan Mojokerto, katalis Al-MCM-41 dari penelitian sebelumnya oleh Juwono dkk. (2013), keramik busi, katalis NaOH SAP dari UPT BPPTK LIPI, dan Methanol PA dari Merck.

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Sintesis Bahan Bakar Cair dari Plastik

Sampel pada penelitian ini berupa limbah plastik polipropilena (PP) khususnya kemasan gelas air mineral. Sampel dibersihkan dan dikeringkan kemudin dicacah dalam ukuran kecil (1-2 cm²). Cacahan limbah plastik PP ditimbang dengan berat 500 gram dan disimpan dalam wadah yang kering.

Perengkahan katalitik limbah plastik dilakukan dalam reaktor tertutup. Pada reaktor ini terdapat bagian utama yakni chamber reactor, 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.

Sintesis bahan bakar cair dilakukan dengan prinsip destilasi. Sebanyak 500 g sampel limbah plastik polipropilena (PP) cacahan 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 sistem. Sintesis bahan bakar cair dilakukan hingga didapatkan 2L 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.

Labu leher tiga dirangkai dengan alat refluks. Dimasukkan 0,895 gram (0,5% dari massa minyak jelantah) NaOH dan 51,3 mL (perbandingan mol asam oleat : methanol = 1 : 2) Methanol PA ke dalam labu leher tiga. Larutan kemudian diaduk dengan stirrer pada

kecepatan 400 rpm hingga padatan NaOH larut dalam methanol. 200 mL (179 gram) Minyak jelantah dicampurkan dengan larutan metoksi pada labu leher tiga. Direfluks pada suhu 60 °C dan diaduk dengan distirer kecepatan 800 rpm. Hasil refluks dipindahkan ke corong pisah. Ditunggu selama 1 jam untuk pemisahan biodiesel dan gliserol yang terbentuk. Bagian atas merupakan biodiesel sedangkan bagian bawah merupakan gliserol. Diambil fasa atas yang merupakan biodiesel. 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 dioven pada suhu 80 °C untuk mengaktivasi katalis. Katalis Al-MCM-41 kemudian dimasukkan ke dalam desikator. Katalis Al-MCM-41 dicampurkan dengan serbuk keramik yang telah digerus dan dihancurkan hingga halus. Rasio katalis dan keramik yang digunakan sebesar 7 : 3 (Katalis Al-MCM-41 : Serbuk Keramik) dan dibentuk menjadi pellet dengan press pellet.

3.2.4 Produksi Bahan Bakar Cair Plastik Ko-reaktan biodiesel minyak jelantah

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

Perengkahan katalitik Plastik Ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dilakukan dalam reaktor tertutup. Tipe reaktor yang

digunakan yaitu *continuous reactor*. Pada reaktor ini terdapat bagian utama yakni *chamber reactor* dan *tubular reactor*. *Chamber reactor* berkapasitas 2 L 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.

Produksi bahan bakar cair Plastik Ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dilakukan dengan prinsip destilasi. Sebanyak 120 mL (40% dari volume total 300 mL) bahan bakar cair plastik 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. Hasilnya 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 Bahan Bakar Cair

Karakteristik bahan bakar cair (BBC) sangat penting untuk diketahui guna menentukan keberhasilan perengkahan. Bila BBC yang dihasilkan memiliki karakteristik yang sesuai dengan standar bahan bakar jenis bensin premium, proses perengkahan katalitik berhasil dan produk yang dihasilkan tersebut merupakan BBC dengan fraksi hidrokarbon seperti bensin premium. Ada beberapa parameter pengujian fisik yang digunakan dalam penelitian ini: densitas, titik nyala, dan nilai kalor. Selain pengujian karakter fisik, dilakukan pula pengujian dengan analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GC-MS).

3.2.5.1 Penentuan Densitas Bahan Bakar Cair

Penentuan densitas bahan bakar cair dapat dilakukan dengan piknometer. Piknometer kosong yang telah tercatat volume serta tertimbang massanya diisi dengan sampel bahan bakar cair hingga 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.

3.2.5.2 Penentuan Titik Nyala Bahan Bakar Cair

Sampel produk berupa bahan bakar cair didinginkan pada *freezer* hingga suhu sekitar 5 °C, kemudian dituangkan pada cawan

porselein yang telah didinginkan sebelumnya. Termometer digital disiapkan pada cawan hingga menyentuh bahan bakar cair tetapi tidak menyentuh dasar cawan. Sumber api diberikan dari korek pistol yang terus dipantik pada permukaan sampel. Suhu tercatat merupakan suhu yang terbaca pada termometer saat terjadi nyala pertama setelah dipantik dengan sumber api.

3.2.5.3 Penentuan Kalor Pembakaran Bahan Bakar Cair

Penentuan kalor pembakaran produk bahan bakar cair menggunakan bom kalorimeter. Sebanyak 0,5 gram produk bahan bakar cair dimasukkan ke dalam krusibel dan dimasukkan ke dalam baja bom. Bom ditutup rapat lalu diisi dengan oksigen (O₂) hingga tekanan 30 atm dan dimasukkan ke dalam kalorimeter yang berisi air. Setelah preparasi dilakukan maka proses pembakaran dapat dilakukan dengan mengalirkan listrik ke dalam kalorimeter. Nilai kalor yang terserap oleh kalorimeter ditampilkan pada monitor.

3.2.5.4 Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer (GC-MS)

Bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan dikarakterisasi dengan instrumen GCMS-QP2010S SHIMADZU. Sebanyak 50 mg sampel produk bahan bakar cair dilarutkan dalam 1 mL n-heksana, lalu sampel diinjeksikan ke inlets kromatografi dan diproses. Kolom yang digunakan merupakan tipe kolom AB 5MS dengan panjang 30 meter, ID 0,25 mm, dan film 0,25 um. Gas pembawa Helium. Sistem pengionan pada MS digunakan EI 70 Ev. Metode yang digunakan yaitu injeksi menggunakan mode split. Temperature awal 50 °C ditahan selama 5 menit dan pada temperature akhir 300 °C ditahan selama 15 menit dengan laju pemanasan 5 °C/menit selama 70 menit.

3.2.6 Karakterisasi Katalis Al-MCM 41 : Keramik (7 :3)

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

Cuplikan serbuk X-ray Diffraction (XRD) dianalisa di Departemen Material Metalurgi ITS dengan sumber sinar-X dari Cu K α , yang dioperasikan pada 40 kV dan 40 mA. Hamburan sudut 2θ diubah dari 10⁰ hingga 80⁰.

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

3.2.7 Metode eksperimental dan evaluasi data

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

Massa kokas dihitung melalui massa zat cair dalam *chamber reaktor* setelah proses pirolisis katalitik berakhir.

Yield produk spesifik dihitung berdasarkan persamaan berikut

$$\text{Yield produk} = \frac{\text{Massa Produk}}{\text{massa reaktan}} \times 100\%$$

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB IV PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, dilakukan metode perengkahan untuk mengolah limbah plastik jenis polipropilena (PP) dan minyak jelantah sehingga didapatkan bahan bakar cair (BBC) dengan fraksi hidrokarbon seperti gasolin. Proses perengkahan dapat menghasilkan produk BBC dengan kualitas dan kuantitas yang lebih maksimal bila dalam reaksinya didukung oleh katalis. Hasil perpaduan antara plastik dan minyak jelantah perlu diteliti karena komposisi dua bahan ini sangat berdampak terhadap produk BBC yang terbentuk. Hasil Bahan Bakar Cair yang diperoleh dilakukan uji Fisik berupa titik nyala, densitas dan nilai kalor untuk mengetahui apakah bahan bakar cair yang dihasilkan memiliki karakteristik fisik yang serupa dengan bahan bakar gasolin dengan MSDS gasoline seperti yang ditunjukkan pada Lampiran F.1 dan HIBERNIA *Petroleum Canada* 2016 pada Lampiran F.2.

Uji menggunakan analisis *Gas Chromatography – Mass Spectrometer* (GC-MS) dilakukan untuk mengetahui komponen penyusun pada bahan bakar cair yang dihasilkan. Apabila karakteristik fisik serupa dan komponen yang dihasilkan memenuhi spesifikasi dari bahan bakar jenis premium 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. 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 memiliki nilai kalor yang tinggi.

4.1 Sintesis Bahan Bakar Cair Plastik Ko-reaktan Minyak Jelantah

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.



Gambar 4.1 Gelas plastik polipropilena

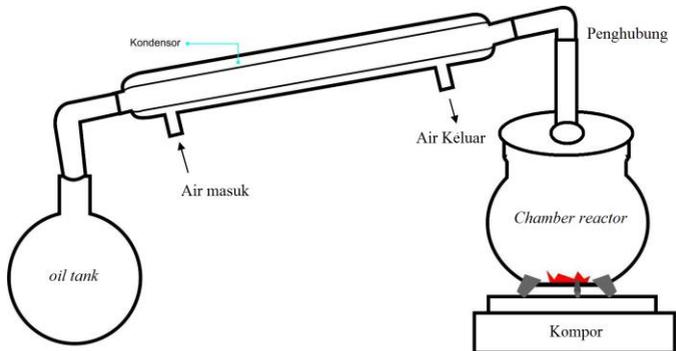
Plastik polipropilena yang digunakan dalam penelitian ini merupakan gelas plastik ukuran 240 ml seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Gelas plastik yang digunakan transparan (tidak berwarna), lentur dan gampang dibengkokkan (fleksibel). Gelas plastik polipropilena dikumpulkan dari tempat pembuangan 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.



Gambar 4.2 Cacahan limbah plastik

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.

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 *continous reactor*

Sintesis bahan bakar cair dilakukan dengan prinsip destilasi. Sebanyak 500 g sampel limbah plastik polipropilena (PP) cacahan 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 sistem. 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 I hasil perengkahan termal plastik PP

4.1.2 Sintesis Biodiesel melalui Transesterifikasi Minyak Jelantah

Sintesis biodiesel dari minyak jelantah diawali dengan preparasi minyak jelantah. Preparasi minyak jelantah ini diawali dengan penyaringan minyak yang bertujuan untuk memisahkan minyak dari pengotor atau endapan. Selanjutnya, minyak dipanaskan untuk menghilangkan kandungan air yang terdapat pada minyak. Tahap selanjutnya adalah pembuatan larutan metoksi. Pembuatan larutan metoksi yaitu NaOH dimasukkan ke dalam larutan metanol dan distirer dengan kecepatan 400 rpm. Pembuatan larutan metoksi ini bertujuan untuk membentuk ion alkoksida sebagai nukleofilik untuk menyerang ikatan karbonil yang terdapat pada trigliserida di minyak. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan biodiesel yaitu minyak jelantah dicampurkan pada larutan metoksi dalam labu leher tiga dan direfluks pada suhu 65 °C selama 60 menit serta 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 metil ester dimana biodiesel terbentuk dan lapisan kedua (fasa bawah) merupakan lapisan gliserol. Pembentukan lapisan ini disebabkan karena adanya perbedaan massa jenis dimana massa jenis biodiesel ($850\text{-}890\text{ kg/m}^3$) 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. Menurut Lopez dkk. (2009), pencucian dengan air hangat berfungsi untuk mencegah presipitasi metil ester jenuh dan pembentukan emulsi. 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 agar didapatkan 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 kemudian menyerang karbonil pada trigliserida. Setelah itu terjadi penataan ulang pada ikatan-ikatan di 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

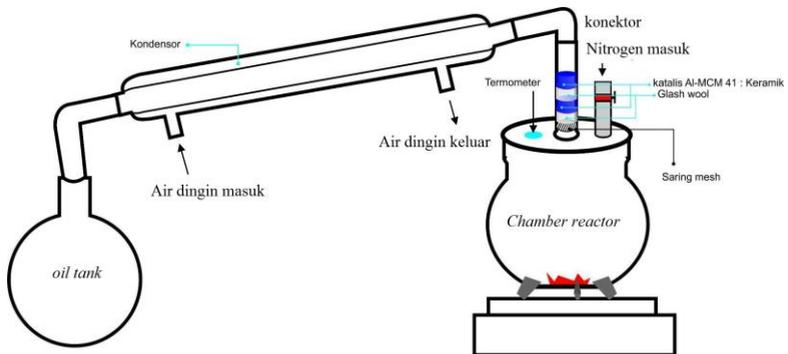
Sampel pada Sintesis Bahan Bakar Cair Plastik Ko-reaktan biodiesel minyak jelantah ini berupa bahan bakar cair plastik dan biodiesel minyak jelantah. Reaktan yang digunakan pada percobaan ini adalah variasi komposisi plastik dengan ko-reaktan metil ester dari hasil transesterifikasi minyak jelantah.

Pada penelitian ini digunakan metode perengkahan katalitik dengan katalis Al-MCM-41. Al-MCM-41 diperoleh dari penelitian sebelumnya oleh Juwono dkk (2013). Katalis Al-MCM-41 berupa serbuk halus berwarna putih. Katalis Al-MCM-41 dicampur dengan busi keramik yang berwarna abu-abu dengan perbandingan 7 : 3 (Al-MCM-41 : Keramik) seperti ditunjukkan pada gambar 4.8(a). Keramik berfungsi sebagai material pendukung untuk memaksimalkan proses perengkahan katalitik. Campuran Al-MCM-41 dan keramik 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 (7:3) (b) *pellet* katalis Al-MCM-41 : Keramik (7:3)

Perengkahan katalitik Plastik Ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dilakukan dalam reaktor tertutup. Tipe reaktor yang digunakan yaitu *continuous reactor*. Reaktor yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.9.



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

Pada reaktor ini terdapat bagian utama yakni *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*. Dialirkan gas nitrogen pada *chamber reactor* untuk menghilangkan gas oksigen pada sistem reaktor sehingga menekan pengotor gas oksigen pada bahan bakar cair yang dihasilkan. Pemanasan dilakukan pada suhu 300 °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. 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).



(a)

(b)

Gambar 4.10 (a) Produk cair (b) kokas

Tabel 4.1 Volume bahan bakar cair (BBC) dan kokas hasil perengkahan limbah plastik PP dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah

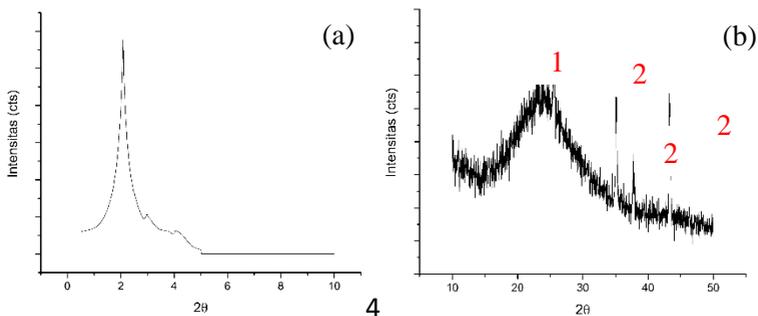
Jenis	Volume BBC (mL)	Prosentase BBC (%)	Volume kokas (mL)	Prosentase kokas
P100	45	15,00%	162	54,00%
P80	100	33,33%	235	78,33%
P60	72	24,00%	220	73,33%
P50	30	10,00%	217	72,33%
P40	38	12,67%	230	76,67%

Hasil bahan bakar cair yang didapatkan menurun dengan naiknya komposisi ko-reaktan biodiesel minyak jelantah hingga komposisi ko-reaktan mencapai 50%. Pada komposisi 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 et al., (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



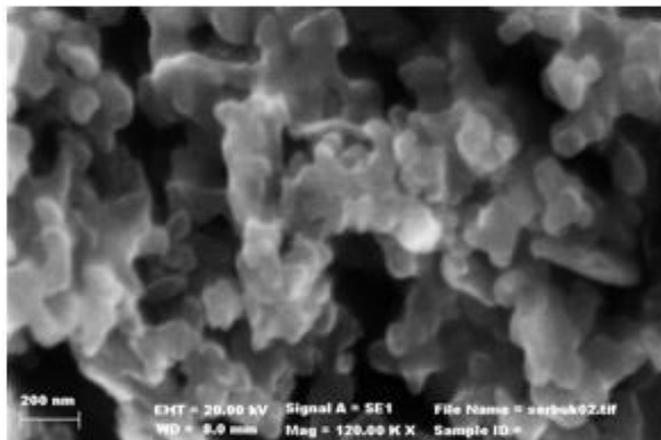
Gambar 4.11 (a) SAXRD Al-MCM-41 dengan Al-MCM-41 : Keramik (b) WAXRD Al-MCM-41 : keramik

Pada SAXRD puncak pada $2\theta=0,5^\circ - 4,9^\circ$ merupakan SAXRD dari penelitian yang dilakukan oleh Juwono et al., (2017b) yang digabungkan dengan XRD Al-MCM-41 : keramik pada $2\theta 5^\circ - 10^\circ$. Puncak yang didapatkan terlihat turun dari puncak sebelumnya, sehingga penggabungan dua XRD ini cocok apabila disatukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11. Apabila digabungkan, puncak Al-MCM-41 tetap ada sehingga tidak merusak struktur heksagonal Al-MCM-41 akibat adanya keramik. Pada 2θ di atas $22,5^\circ$ terlihat puncak alami dari silika. Pada 2θ

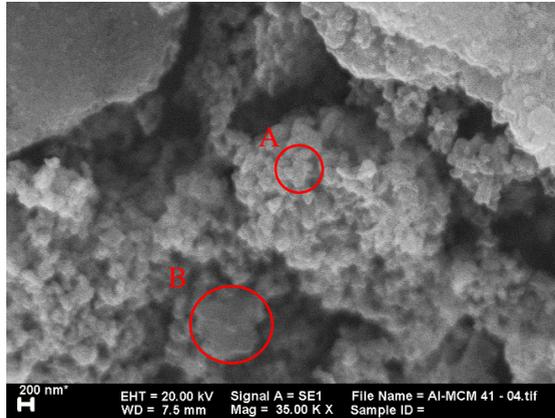
25,5797 seperti ditunjukkan pada nomor 1 di Gambar 4.11 (b) merupakan puncak kristal khas dari Al yang bergeser pada rentang 2θ di atas 20° . Pada 2θ $35,0866^\circ$, $37,7459^\circ$, $43,2584^\circ$ seperti ditunjukkan pada nomor 2 di Gambar 4.11 (b) merupakan puncak kristal khas dari keramik. Hal ini menunjukkan bahwa katalis Al-MCM-41 : keramik (7:3) tidak mengubah struktur kristal dari Al-MCM-41 maupun keramik.

4.2.2 Hasil Karakteriasi SEM

Pada SEM, terlihat Al-MCM-41 menempel pada permukaan keramik. Penampakan Al-MCM-41 ditunjukkan pada A di Gambar 4.12 (b) dan penampakan keramik ditunjukkan pada 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 (7:3), terdapat partikel partikel halus dengan struktur heksagonal menempel pada permukaan keramik yang berfungsi sebagai padatan pendukung.



(a)



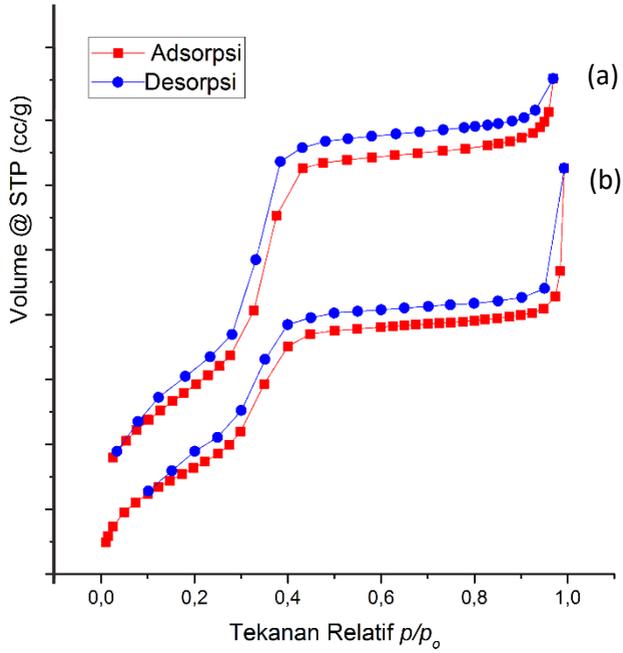
(b)

Gambar 4. 12 (a) SEM Al-MCM-41 (b) SEM Al-MCM-41 :
Keramik (7:3)

4.2.3 Hasil Karakterisasi Uji Adsorpsi Desorpsi Nitrogen

Pada Uji adsorpsi-desorpsi nitrogen yang dilakukan, terlihat grafik isotherm yang didapatkan merupakan grafik isotherm tipe iv. Grafik isotherm ditunjukkan pada Gambar 4.12. Grafik isotherm tipe iv merupakan khas tipe Al-MCM-41. Hal ini membuktikan bahwa adanya keramik dengan rasio massa al mcm-41 : keramik (7 : 3) tidak merubah tipe grafik isotherm dari Al-MCM-41. Luas permukaan yang didapatkan, meningkat dari Al-MCM-41 sintesis oleh Juwono. Hal ini menunjukkan bahwa adanya keramik menambah luas permukaan Al-MCM-41.

Luas permukaan katalis Al-MCM-41 : keramik (7:3) dibandingkan dengan katalis Al-MCM-41 pada penelitian oleh Juwono et al., (2017b), didapatkan bahwa luas permukaan meningkat disebabkan karena bertambahnya luas permukaan dari keramik. Volume pori dan radius rata-rata mengalami kenaikan akibat dari pencampuran dengan keramik karena tarikan dari keramik terhadap katalis Al-MCM-41.



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

Tabel 4.2 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 (7:3)	490,665	0,546	22,22

4.3 Karakterisasi Bahan Bakar Cair

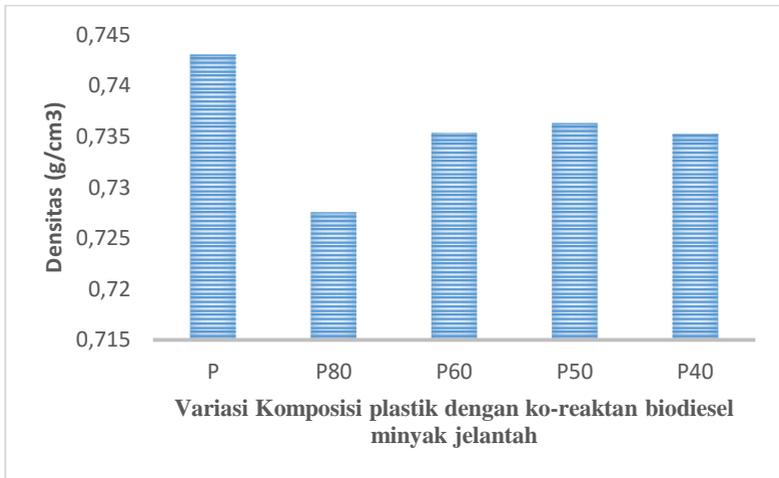
Karakteristik bahan bakar cair (BBC) sangat penting digunakan dalam penentuan keberhasilan perengkahan. Bila karakteristik dari BBC yang dihasilkan memiliki karakteristik yang sesuai dengan standar bahan bakar jenis bensin premium, proses katalitik berhasil dan produk yang dihasilkan merupakan BBC dengan fraksi hidrokarbon seperti bensin premium. Terdapat beberapa parameter pengujian yang dilakukan diantaranya densitas, titik nyala, nilai kalor dan analisis Gas Kromatografi - spektrofotometer massa.

4.3.2 Uji Densitas

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 volume serta massanya diisi dengan sampel bahan bakar cair dingin hingga penuh. Densitas sampel diperoleh dari perbandingan massa sampel dan volume tetap pada piknometer.

Hasil penentuan densitas bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan dengan variasi % volume reaktan plastik dan ko-reaktan minyak jelantah pada gambar 4.13, menunjukkan bahwa densitas pada perbandingan Plastik 20% ; Jelantah 80% memiliki densitas yang paling kecil yaitu pada 0,728 g/cm³. Densitas plastik 100% merupakan densitas tertinggi yang dihasilkan dari variasi ko-reaktan. Hal ini menunjukkan kandungan molekul yang besar pada variasi ini dibandingkan dengan variasi yang lainnya. Pada penambahan %ko-reaktan jelantah yang semakin besar, terjadi penambahan densitas. Namun densitas yang dihasilkan tidak mengikuti trend hingga akhir, dengan semakin banyaknya

kandungan jelantah pada reaktan awal, maka produk yang dihasilkan mengandung senyawa yang tidak diketahui semakin meningkat yang kemungkinannya memiliki mr yang lebih berat namun dengan komposisi fraksi yang beragam sehingga trend densitas tidak beraturan hingga %jelantah 100%.



Gambar 4.14 Densitas Produk Bahan Bakar Cair

Penambahan %ko-reaktan mengakibatkan penurunan komposisi senyawa hidrokarbon fraksi bensin (C7-C12) dan terbentuknya senyawa selain fraksi bensin seperti hidrokarbon rantai pendek (C1-C6) serta senyawa yang tidak teridentifikasi. Dengan adanya fraksi selain fraksi bensin khususnya senyawa tidak teridentifikasi akan berpengaruh terhadap kinerja katalis, karena dapat mendeaktifasi katalis. Akibatnya senyawa hidrokarbon fraksi bensin pun akan semakin menurun. Dengan menurunnya hidrokarbon fraksi bensin maka fraksi selain fraksi bensin yang terbentuk semakin banyak dan meningkatkan densitas dari bahan bakar cair yang dihasilkan.

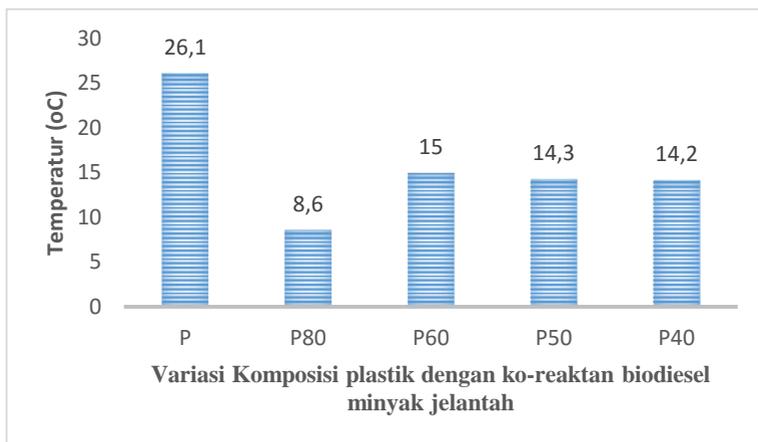
Seluruh bahan bakar cair produk penelitian ini telah memenuhi kriteria berdasarkan MSDS tentang bahan bakar minyak jenis gasolin yang menyatakan bahwa densitas bahan bakar minyak gasolin sebesar $0,70 \text{ g/cm}^3$ dan maksimal sebesar $0,78 \text{ g/cm}^3$ pada pengukuran suhu $15 \text{ }^\circ\text{C}$. Seluruh hasil produk pada masing-masing variasi memiliki memiliki densitas yang sesuai dengan spesifikasi karakteristik bahan bakar minyak jenis bensin berdasarkan MSDS gasolin karena masih berada pada range densitas yang diperbolehkan.

4.3.3 Uji Titik Nyala

Titik nyala merupakan suhu terendah bahan bakar yang apabila dipanaskan akan menguap sehingga uap yang telah bercampur dengan udara pada tekanan normal akan menyala dengan adanya percikan api. Penentuan titik nyala sangat berpengaruh terhadap cara dan tempat penyimpanan bahan bakar karena berhubungan dengan keamanan dan keselamatan. Titik nyala mengindikasikan tinggi rendahnya volatilitas dan kemampuan suatu bahan bakar untuk terbakar. Sampel produk berupa bahan bakar cair didinginkan pada *freezer* hingga suhu sekitar $5 \text{ }^\circ\text{C}$, kemudian dituangkan pada cawan porselein yang telah didinginkan sebelumnya. Termometer digital disiapkan pada cawan hingga menyentuh bahan bakar cair tetapi tidak menyentuh dasar cawan. Sumber api diberikan dari korek pistol yang terus dipantik pada permukaan sampel. Suhu tercatat merupakan suhu yang terbaca pada termometer saat terjadi nyala pertama setelah dipantik dengan sumber api.

Titik nyala pada masing – masing variasi komposisi % volume reaktan dan ko-reaktan ditunjukkan pada Gambar 4.15. Perengkahan plastik tanpa adanya ko-reaktan jelantah menghasilkan BBC dengan titik nyala yang paling tinggi yakni $26,1 \text{ }^\circ\text{C}$. Pada variasi komposisi plastik 80% ; ko-reaktan jelantah 20% menghasilkan BBC dengan titik nyala paling rendah yaitu

8,6°C. Bertambahnya komposisi ko-reaktan jelantah menyebabkan naiknya titik nyala pada BBC dan stabil pada suhu 14 – 15 °C.



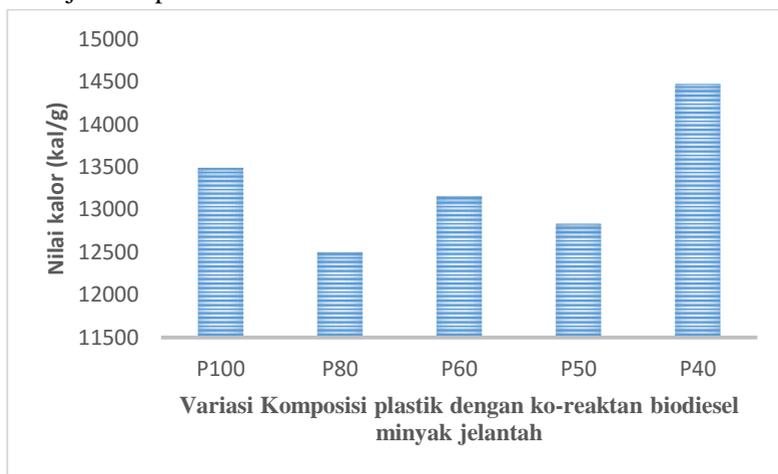
Gambar 4.15 Titik nyala bahan bakar cair

Titik nyala berkaitan dengan komposisi senyawa hidrokarbon rantai pendek yang terkandung. Pada perengkahan katalitik yang maksimal akan terjadi pemutusan ikatan karbon yang tinggi sehingga komposisi senyawa hidrokarbon rantai pendek meningkat. Meningkatnya komposisi senyawa hidrokarbon rantai pendek mengakibatkan semakin kecilnya titik nyala. Titik nyala senyawa hidrokarbon berbanding lurus dengan jumlah karbon penyusunnya. Semakin rendah titik nyala bahan bakar, maka semakin mudah terbakar. Nilai titik nyala yang terlalu rendah dapat menyebabkan timbulnya detonasi berupa ledakan-ledakan kecil yang terjadi sebelum bahan bakar masuk ke dalam ruang pembakaran. Sebaliknya, semakin tinggi titik nyala bahan bakar, maka semakin susah untuk terbakar. Bahan bakar dengan titik nyala tinggi semakin aman dalam penggunaan dan penyimpanan karena tidak akan mudah terbakar pada temperatur kamar. Namun, apabila titik nyala terlalu tinggi maka akan menyebabkan keterlambatan penyalaan apabila diterapkan dalam mesin.

4.3.4 Uji Nilai Kalor

Reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen dari udara menghasilkan energi berupa panas. Besarnya energi yang dilepaskan jika satu satuan bahan bakar terbakar secara sempurna disebut nilai kalor bahan bakar. Data nilai kalor suatu bahan bakar dapat digunakan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan suatu mesin dalam suatu periode pemakaian. Penentuan kalor pembakaran bahan bakar cair dilakukan dengan bom kalorimeter.

Hasil pengukuran nilai kalor bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan plastik dengan ko-reaktan minyak jelantah ditunjukkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Nilai Kalor Bahan Bakar Cair

Variasi komposisi plastik dengan ko-reaktan minyak jelantah yang menghasilkan BBC dengan nilai kalor yang tertinggi sebesar 14.474,15 kal/g pada variasi P40. Sedangkan perengkahan pada variasi P80 menghasilkan BBC dengan nilai kalor yang terendah yakni 9866,125 kal/g. Penambahan komposisi %ko-reaktan minyak jelantah menyebabkan naiknya nilai kalor. Nilai kalor perengkahan plastik tanpa adanya ko-reaktan minyak jelantah

memiliki nilai kalor yang cukup tinggi yaitu sebesar 13.491,56 kal/g karena memiliki kandungan fraksi gasoline terbesar.

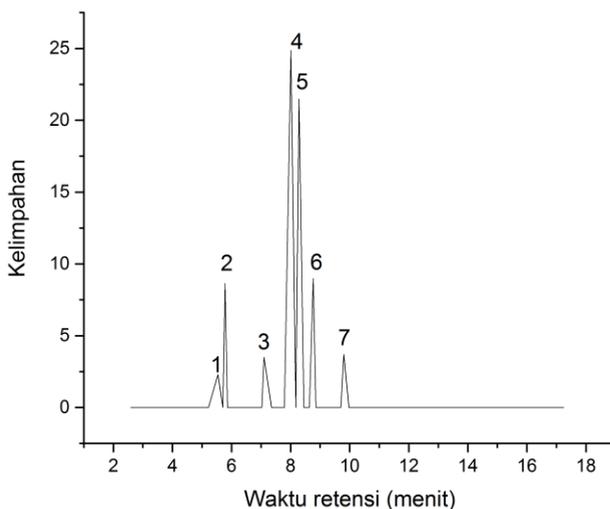
Nilai kalor dapat dikaitkan dengan komposisi senyawa hidrokarbon. Perengkahan tanpa ko-reaktan menghasilkan BBC dengan nilai kalor tinggi karena kandungan fraksi gasoline dari produk BBC paling besar. Namun perengkahan limbah plastik PP dengan ko-reaktan minyak jelantah dengan komposisi yang kecil menghasilkan BBC dengan nilai kalor yang rendah dikarenakan rendahnya fraksi gasolin. Hal ini menunjukkan bahwa ko-reaktan berperan dalam persebaran fraksi. Pada variasi P40 dihasilkan kalor paling tinggi diakibatkan oleh senyawa yang tidak teridentifikasi pada GC-MS dengan kandungan sebesar 41,05%.

Bahan bakar pada umumnya harus mempunyai batas minimal kalor sesuai dengan standar yang berlaku salah satunya yakni standar internasional yang dikeluarkan Hibernia *Petroleum Canada* tahun 2016 HIBER11Z tentang pengujian spesifikasi minyak mentah. BBC pada variasi P100, P60, P50, dan P40 telah memenuhi kriteria HIBER11Z *gasoline* yang memiliki batasan terhadap nilai kalor minimal sebesar 10.347,78 Kkal/kg.

4.4 Hasil Perengkahan katalitik hidrokarbon

Pada penelitian ini digunakan Al-MCM-41 yang berfungsi sebagai katalis dalam proses perengkahan 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..

4.4.1 % Yield Bahan Bakar Cair (BBC)



Gambar 4. 17 Kromatogram hasil perengkahan katalitik variasi P100 (plastik 100% dengan ko-reaktan jelantah 0%)

Bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan katalitik dikarakterisasi dengan instrumen GC-MS-QP2010S SHIMADZU. Berdasarkan analisa, hasil perengkahan limbah plastik PP murni dan dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah pada berbagai variasi persen komposisi tidak hanya menghasilkan fraksi bensin (C_7-C_{12}) saja namun juga menghasilkan fraksi hidrokarbon rantai pendek ($<C_7$) dan senyawa yang tidak teridentifikasi. Kromatogram variasi P100 ditunjukkan pada Gambar 4.17. Puncak kromatogram bahan bakar cair fraksi bensin (C_7-C_{12}) teramati pada temperatur di bawah $122,5\text{ }^\circ\text{C}$ yaitu pada 19,5 menit pertama pada saat pemisahan kromatografi. Kromatogram bahan bakar cair hasil perengkahan semua variasi dapat dilihat lengkap pada lampiran.

% *Yield* hidrokarbon yang didapatkan pada masing – masing variasi ditunjukkan pada Tabel 4.3

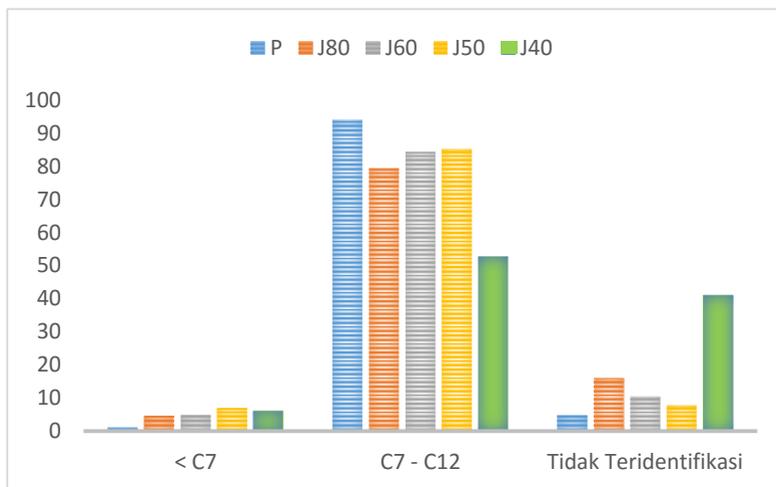
Tabel 4.3 % *Yield* hidrokarbon hasil perengkahan katalitik

Variasi	% <i>Yield</i>		
	< C7	C7 - C12	Tidak teridentifikasi
P100	1,29	93,92	4,82
P80	4,67	79,29	16,05
P60	4,92	84,37	10,49
P50	7,04	85,13	7,83
P40	6,23	52,72	41,05

Yield bahan bakar cair (BBC) pada Tabel 4.3, menunjukkan bahwa penambahan komposisi biodiesel minyak jelantah menaikkan fraksi (<C₇) dan senyawa yang tidak teridentifikasi dibandingkan plastik 100%. *Yield* fraksi bensin paling banyak diperoleh pada variasi plastik 100% yaitu mencapai 98,46%. Hidrokarbon rantai rendah mengalami kenaikan dengan penambahan komposisi jelantah hingga mencapai 7,04% pada variasi komposisi plastik 50% dengan ko-reaktan jelantah 50%. Pada variasi di bawah 50%, terjadi pergeseran produk yang dihasilkan menjadi produk senyawa tidak teridentifikasi yang ditunjukkan menurunnya fraksi hidrokarbon rantai pendek dan fraksi bensin yang diikuti meningkatnya senyawa tidak teridentifikasi mencapai 41,05% pada variasi komposisi plastik 40% dan ko-reaktan jelantah 60%.

Komposisi hidrokarbon penyusun bahan bakar cair pada setiap variasi pada Gambar 4.18 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 senyawa yang tidak teridentifikasi.

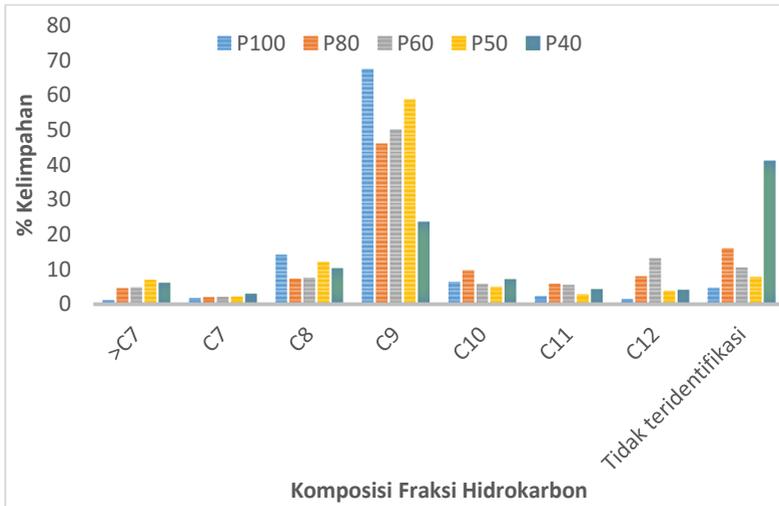


Gambar 4.18 Komposisi hidrokarbon pada setiap variasi

Penambahan ko-reaktan jelantah pada perengkahan katalitik plastik menurunkan fraksi bensin (C_7-C_{12}) yang terbentuk dan meningkatkan fraksi hidrokarbon rantai pendek ($<C_7$) hingga variasi 50% dan meningkatkan senyawa tidak teridentifikasi pada variasi di atas 50%. Hal ini dimungkinkan akibat interaksi antara gas perengkahan jelantah dengan plastik pada komposisi jelantah yang rendah belum terjadi sehingga kecenderungan fraksi ringan plastik dan biodiesel 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 tidak teridentifikasi.

Pada perengkahan katalitik yang dilakukan, didapatkan kandungan terbesar pada fraksi bensin yaitu pada C_7-C_{12} .

Perbandingan terhadap komponen yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 4.19.



Gambar 4.19 Komposisi fraksi bensin pada bahan bakar cair (BBC) hasil Perengkahan

Kelimpahan yang terbesar didapatkan pada kandungan C₉ yaitu sekitar 23,68 – 67,48%. Penambahan jumlah komposisi ko-reaktan biodiesel akan menggeser produk yang terbentuk akibat aromatisasi dan polimerisasi pada karbenium yang terbentuk dari plastik dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah. Produk yang terbentuk berupa senyawa tidak teridentifikasi.

4.4.2 Probabilitas Reaksi Perengkahan katalitik Hidrokarbon

Probabilitas senyawa yang terbentuk akibat perengkahan katalitik hidrokarbon akan membentuk berbagai rantai hidrokarbon antara lain pembentukan olefin melalui pemotongan beta, reaksi perengkahan monomolekuler atau bimolekuler, reaksi pemindahan hidrogen, isomerisasi, aromatisasi dan polimerisasi.

Bahan baku perengkahan pada penelitian ini terdiri atas plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah. Pada hasil

yang didapatkan, terbentuk senyawa yang dari variasi plastik PP murni hingga komposisi 50% dari ko-reaktan biodiesel minyak jelantah berupa rantai hidrokarbon rantai lurus dan siklik. Komposisi pada variasi P80 ditunjukkan pada Tabel 4.4. Kandungan terbesar didapatkan pada rantai C₇ berupa 2,4-Dimetil-1-heptena yang merupakan hasil pemotongan beta dari rantai hidrokarbon baik dari plastik atau biodiesel minyak jelantah. Hal ini sesuai dengan teori perengkahan katalitik yang menyebabkan pembentukan olefin dari karbokation yang terbentuk. (Le Van Mao et al., 2013) Hasil yang didapatkan sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Uyun (2017) yang komponen terbesarnya berupa 2,4-Dimetil-1-heptena. Hasil yang didapatkan merupakan hasil perengkahan katalitik dari plastik polipropilena hingga pada komposisi plastik dengan ko-reaktan 50%.

Tabel 4.4 Komposisi Terbesar pada variasi P80

No	Waktu Retensi (menit)	Senyawa	Prosentase
1	8,292	2,4-Dimetil-1-heptena	16,84
2	8,017	4,4,5-trimetil-2-Heksena	15,42
3	8,783	1,3,5-trimetil-sikloheksana	7,43

Komposisi pada variasi komposisi ko-reaktan biodiesel minyak jelantah pada P40 ditunjukkan pada Tabel 4.5. Kandungan terbesar berupa 1,3,5-trimetil-sikloheksana yang merupakan hasil dari siklisasi karbenium pada proses perengkahan. Pada variasi komposisi ko-reaktan biodiesel minyak jelantah di atas 50% dari terbentuk senyawa tidak teridentifikasi dalam jumlah besar mencapai 41,05%. Kandungan senyawa tidak teridentifikasi masih belum dapat ditentukan karena tidak terdeteksi pada GC-MS. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Bayat dan Sadrameli (2017) perengkahan katalitik metil ester minyak kanola pada suhu 450 °C dengan katalis 4Zn/ZS menghasilkan kandungan aromatik yang tinggi sebesar 42,6% dari total hidrokarbon. Perengkahan katalitik

metil ester dapat membentuk aromatik melalui reaksi diels alder yang diikuti oleh dehidrogenasi.(Seames et al., 2010) Pada perengkahan katalitik dengan jumlah ko-reaktan metil ester minyak jelantah di atas 50% terjadi kemungkinan pembentukan senyawa aromatis dikarenakan terjadi reaksi diels alder antara hasil perengkahan pemotongan beta pada metil ester minyak jelantah dengan olefin hasil rengkah dari plastik polipropilena (Zhang et al., 2016) yang tersedia dalam jumlah yang banyak.

Tabel 4.5 Komposisi Terbesar pada variasi P40

No	Waktu Retensi (menit)	Senyawa	Prosentase
1	8,769	1,3,5-trimetil-sikloheksana	8,39
2	5,779	4-metil- heptane	6,42
3	3,001	2-metil-1-Pentene	4,33

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Telah dilakukan produksi bahan bakar cair dari limbah plastik PP dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah menggunakan metode konversi katalitik. Katalis Al-MCM-41 : Keramik (7:3) dikarakterisasi dengan XRD, SEM, dan Adsorpsi – Desorpsi N₂. Puncak XRD menunjukkan keramik tidak merusak struktur kristal dari Al-MCM-41. Pada gambar SEM keramik dan Al-MCM-41 bercampur sempurna. Penambahan keramik pada Al-MCM-41 meningkatkan luas permukaan, volume pori, dan diameter pori. Tidak dihasilkan senyawa aromatik, namun terjadi pembentukan senyawa tidak teridentifikasi yang meningkat sebanding dengan kandungan biodiesel jelantah. Fraksi hidrokarbon (C₇-C₂₀) pada variasi P40 didapatkan 52,72% merupakan variasi optimum karena memiliki nilai kalor lebih tinggi dibandingkan variasi P100. Karakteristik fisik bahan bakar cair yang dihasilkan memiliki densitas 0,7353 g/ml, titik nyala 14,2 °C, nilai kalor 14.474,15 kal/g.

5.2 Saran

Pada proses perengkahan sangat diperhatikan keselamatan. Kebocoran pada reaktor sangat menjadi perhatian selain itu desain reaktor sangat menjadi penentu produk bahan bakar cair yang dihasilkan. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan mengganti sumber plastik menjadi polistirena dan katalis H-ZSM-5 untuk mendapatkan kandungan aromatik yang tinggi karena bahan baku dan katalis sangat berpengaruh terhadap produk yang dihasilkan.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abd Mutalib, M., Rahman, M.A., Othman, M.H.D., Ismail, A.F., Jaafar, J., 2017. *Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energi-Dispersive X-Ray (EDX) Spectroscopy*, in: *Membrane Characterization*. Elsevier, pp. 161–179. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63776-5.00009-7>
- ASTM, C., n.d. ASTM International, 100 Barr Harbor Dr., PO Box C700, West Conshohocken, PA, 19428-2959, (610) 832-9500.
- Atkins, P., & Paula, J. (2010). *Physical Chemistry, Ninth Edition*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Atsonios, K., Kougioumtzis, M.-A., Panopoulos, K.D., Kakaras, E., 2015. *Alternative thermochemical routes for aviation biofuels via alcohols synthesis: Process modeling, techno-economic assessment and comparison*. *Applied Energy* 138, 346–366.
- Bayat, A., Sadrameli, S.M., 2017. *Production of renewable aromatic hydrocarbons via conversion of canola oil methyl ester (CME) over zinc promoted HZSM-5 catalysts*. *Renewable Energy* 106, 62–67. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.01.014>
- Bemis, R., Jamarun, N., Arief, S., 2012. *Pengolahan Limbah Polipropilen Menjadi Bahan Bakar Cair Melalui Metode Pirolisis*. *Jurnal Riset Kimia* 5, 158.

- Bintarasari, Shelvi I. 2017. *Efisisensi Kinerja Perengkahan Katalitik Limbah Plastik Polipropilena (Pp) Dengan Katalis Al-MCM-41*. Skripsi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Bridgwater, A.V., 2012. *Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading*. *Biomass and Bioenergi* 38, 68–94. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.01.048>
- Calhoun, A., 2016. *Polypropylene*, in: *Multilayer Flexible Packaging*. Elsevier, pp. 35–45. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-37100-1.00003-X>
- Chang, R. (2003). *Kimia Dasar : Konsep-Konsep Inti Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Epp, J., 2016. *X-ray diffraction (XRD) techniques for materials characterization*, in: *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*. Elsevier, pp. 81–124. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100040-3.00004-3>
- Goodger, E.M., 1975. *Hydrocarbon Fuels*. Macmillan Education UK, London. <https://doi.org/10.1007/978-1-349-02652-4>
- Hussain, S.Z., Maqbool, K., 2014. *GC-MS: Principle, Technique and its application in Food Science*. *Int J Curr SCI*. 13: E 116-126
- Juwono, H., Triyono, T., Sutarno, S., Wahyuni, E.T., Harmami, H., Ulfin, I., Kurniawan, F., 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 12, 337–342.

Juwono, H., Triyono, T., Sutarno, S., Wahyuni, E.T., Ulfin, I., Kurniawan, F., 2017b. *Production of Biodiesel from Seed Oil of Nyamplung (Calophyllum inophyllum) by Al-MCM-41 and Its Performance in Diesel Engine*. Indonesian Journal of Chemistry 17, 316. <https://doi.org/10.22146/ijc.24180>

Lopez, J.M., Gomez, A., Aparicio, F., Sached, J. 2009. *Comparison of GHG Emissions from Diesel, Biodiesel and Natural Gas Refuse Trucks of the City of Madrid*. J. Appl. Energy. 86, 610-615

Le Van Mao, R., Yan, H., Muntasar, A., Al-Yassir, N., 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*, in: *New and Future Developments in Catalysis*. Elsevier, pp. 143–173. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53876-5.00007-6>

Maneerung, T., Kawi, S., Dai, Y., Wang, C.-H., 2016. *Sustainable biodiesel production via transesterification of waste cooking oil by using CaO catalysts prepared from chicken manure*. Energi Conversion and Management 123, 487–497. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.06.071>

Marsudi, Ditjeng. 2005. *Pembangkitan Energi Listrik*. Jakarta : Erlangga.

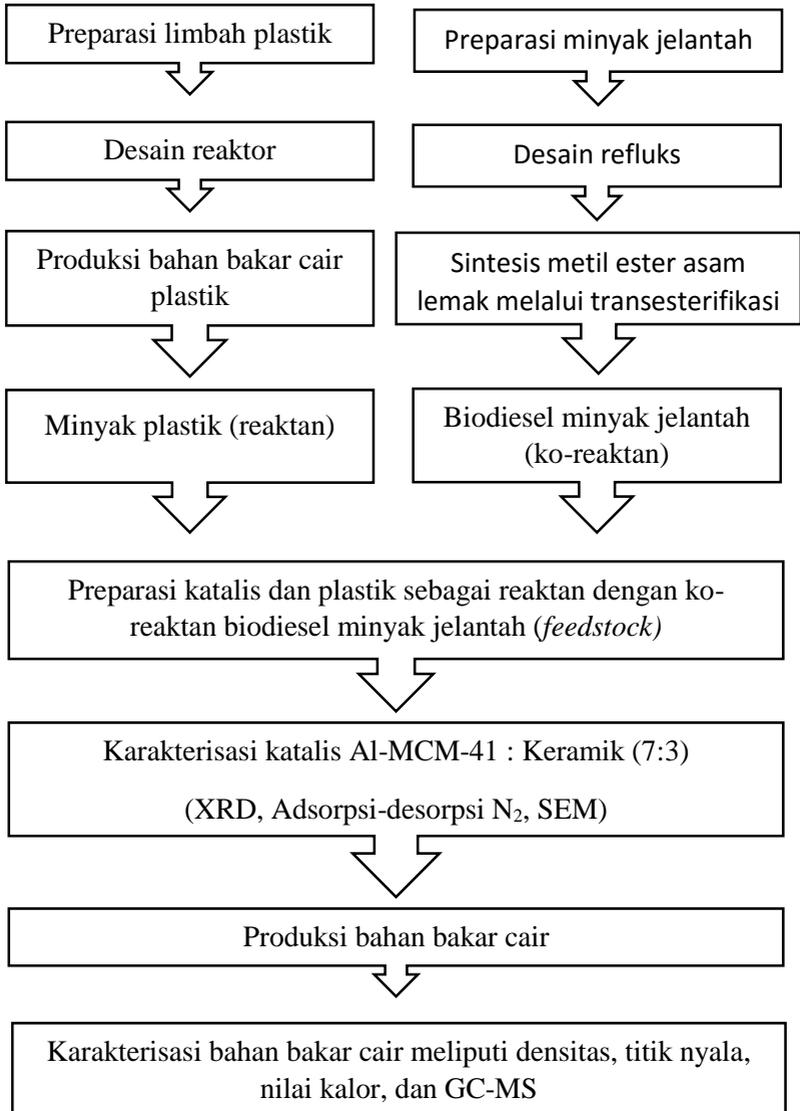
- Meléndez-Ortiz, H.I., Mercado-Silva, A., García-Cerda, L.A., Castruita, G., Perera-Mercado, Y.A., 2013. *Hydrothermal synthesis of mesoporous silica MCM-41 using commercial sodium silicate*. Journal of the Mexican Chemical Society 57, 73–79.
- Naik, S.P., Bui, V., Ryu, T., Miller, J.D., Zmierczak, W., 2010. *Al-MCM-41 as methanol dehydration catalyst*. Applied Catalysis A: General 381, 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2010.04.007>
- Nurdianto, P., Nugraheni, I.K., Ivana, R.T., 2016. *Pengujian Bahan Bakar Biofull Hasil Pirolisis Botol Plastik Pada Sepeda Motor*. Jurnal Elemen 3, 01–06.
- Prasetyoko, D. 2014. *Pentingnya Mengetahui Struktur dan Sifat Bahan*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ratnasari, D.K., Nahil, M.A., Williams, P.T., 2017. *Catalytic pyrolysis of waste plastics using staged catalysis for production of gasoline range hydrocarbon oils*. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 124, 631–637. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.12.027>
- Sadef, Y., Nizami, A.S., Batool, S.A., Chaudary, M.N., Ouda, O.K.M., Asam, Z.Z., Habib, K., Rehan, M., Demirbas, A., 2016. *Waste-to-energy and recycling value for developing integrated solid waste management plan in Lahore*. Energi Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy 11, 569–579. <https://doi.org/10.1080/15567249.2015.1052595>

- Seames, W., Luo, Y., Ahmed, I., Aulich, T., Kubátová, A., Št'ávoová, J., Kozliak, E., 2010. *The thermal cracking of canola and soybean methyl esters: Improvement of cold flow properties*. Biomass and Bioenergi 34, 939–946. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.02.001>
- Sohrabnezhad, S., Jafarzadeh, A., Pourahmad, A., 2018. *Synthesis and characterization of MCM-41 ropes*. Materials Letters 212, 16–19. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2017.10.059>
- Storck, S., Bretinger, H., Maier, W.F., 1998. *Characterization of micro-and mesoporous solids by physisorption methods and pore-size analysis*. Applied Catalysis A: General 174, 137–146.
- Utami, T.P., Prasetyoko, D., 2013. *Sintesis Dan Karakterisasi Biodiesel Dari Minyak Kemiri Sunan (Reutealis Trisperma) Dengan Variasi Konsentrasi Katalis NaOH*. Jurnal MIPA 36.
- Uyun, I.Q., 2017. *Produksi Bahan Bakar Cair Hidrokarbon (C8-C13) dari Limbah Plastik Polipropilena Hasil Konversi Katalitik dengan Variasi Katalis Al-MCM-41*. Skripsi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya
- Zhang, X., Lei, H., Zhu, L., Qian, M., Zhu, X., Wu, J., Chen, S., 2016. *Enhancement of jet fuel range alkanes from co-feeding of lignocellulosic biomass with plastics via tandem catalytic conversions*. Applied Energi 173, 418–430. <https://doi.org/10.1016/j.apenergi.2016.04.071>

<http://www.co.vermilion.il.us/MSDS/EMA/9950allgradesgasoline.pdf>. Diakses pada hari Kamis, tanggal 18 Januari 2018.
Pukul 12:54 WIB.

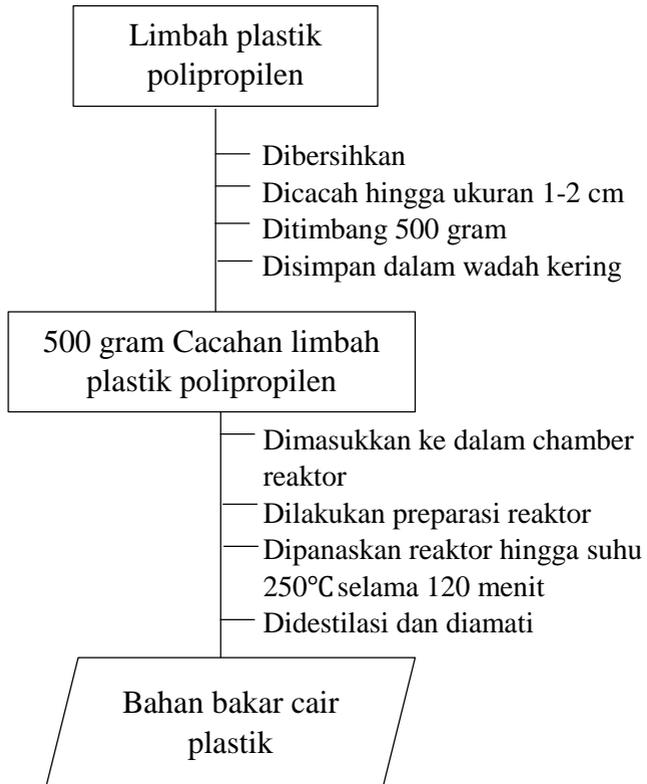
LAMPIRAN

A. 1 Langkah Penelitian

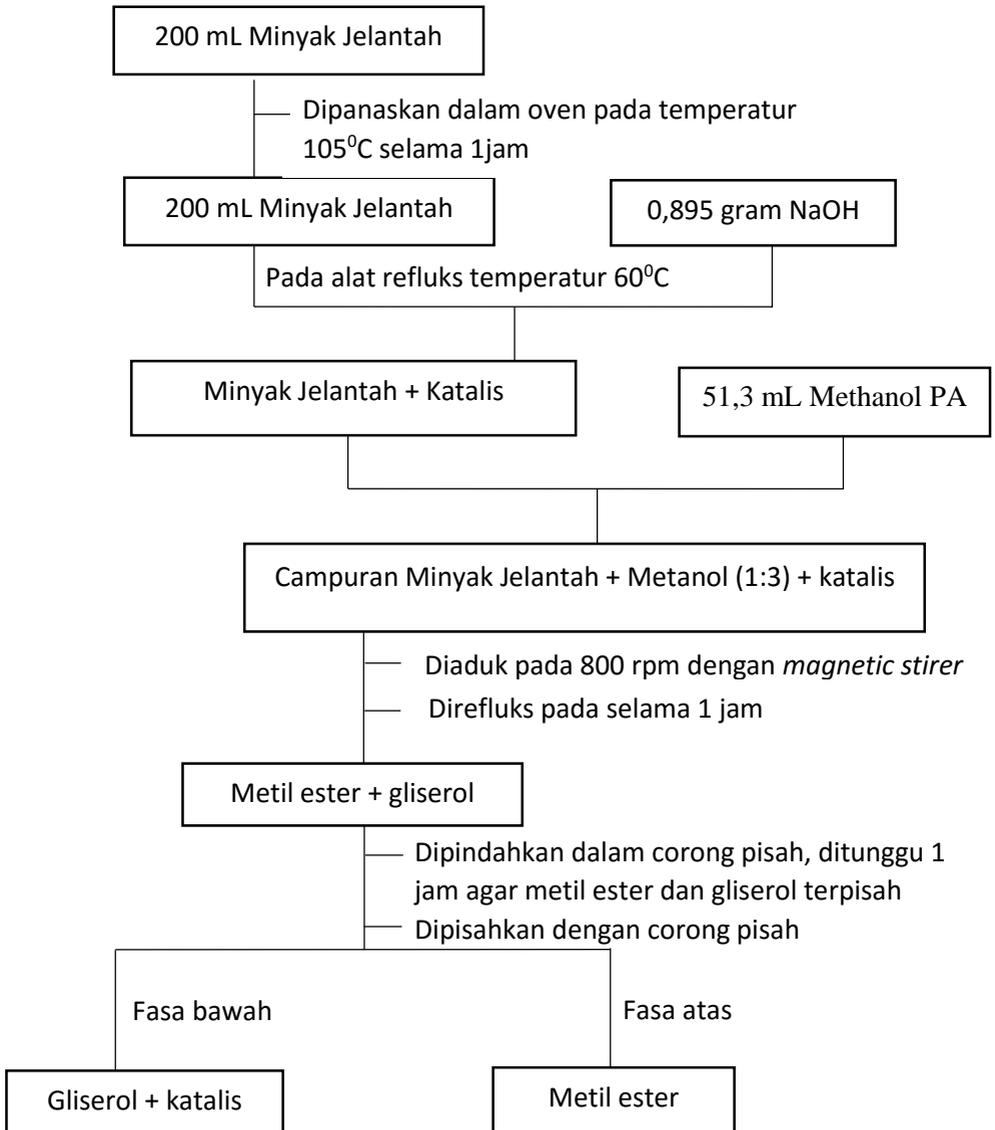


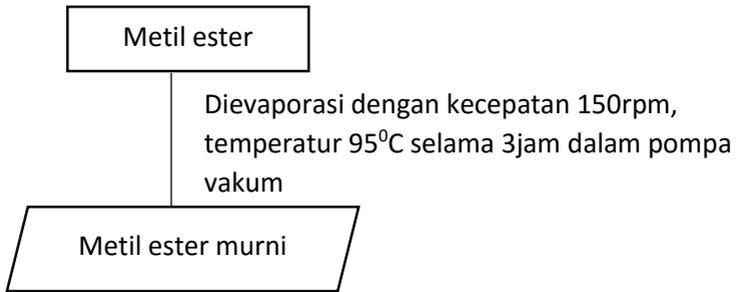
B. 1 Skema Kerja

B.1. 1 Sintesis Bahan Bakar Cair dari Plastik

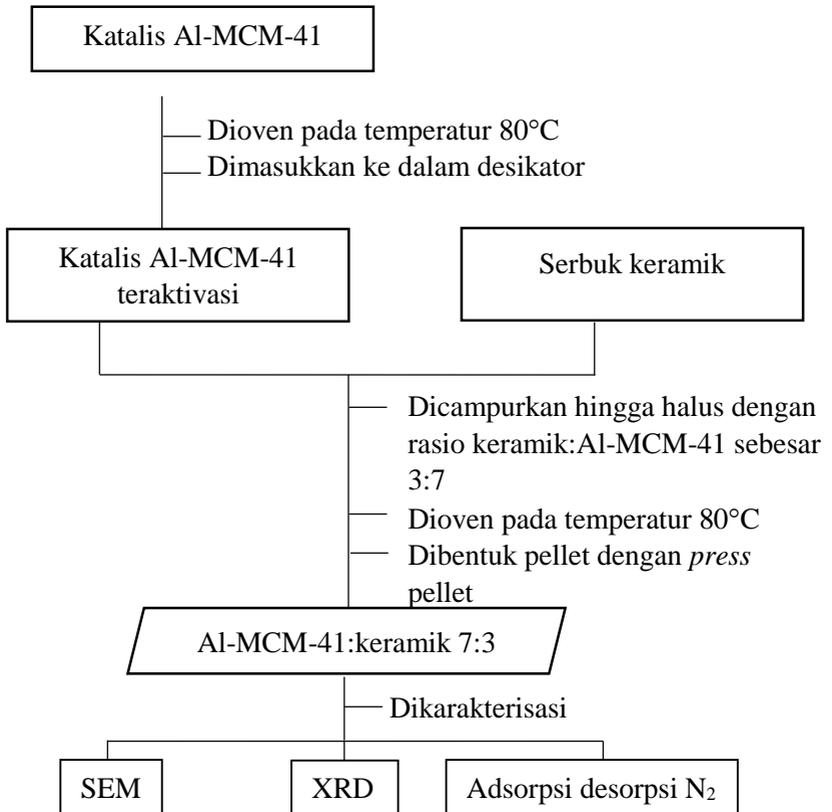


B.1.2 Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah

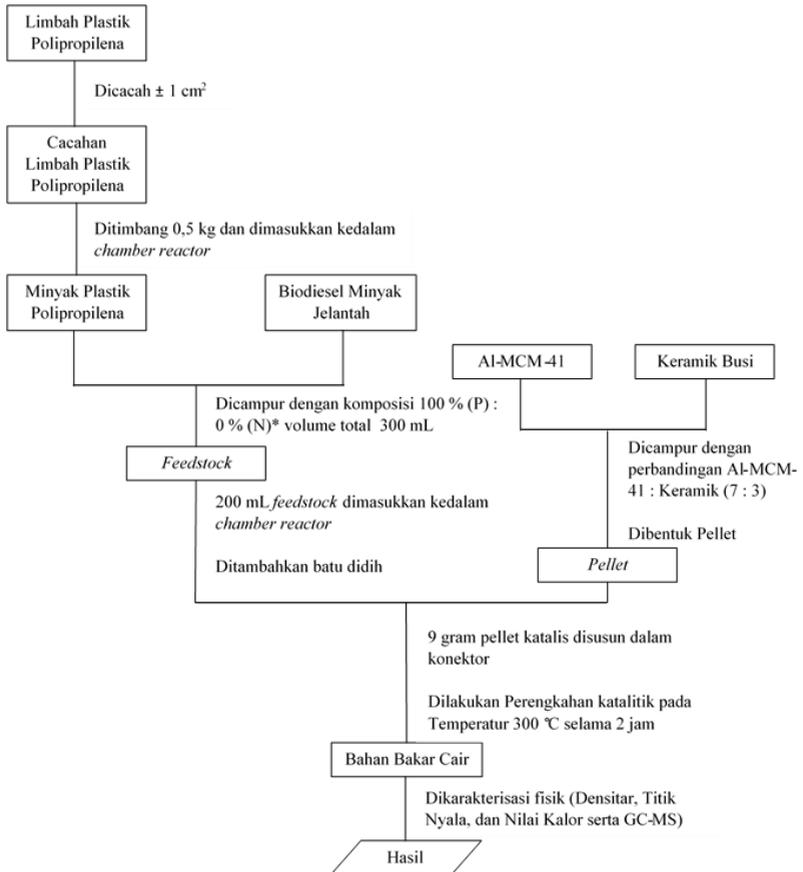




B.1.3 Persiapan katalis



B.1.4 Produksi Bahan Bakar Cair Plastik dengan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Jelantah

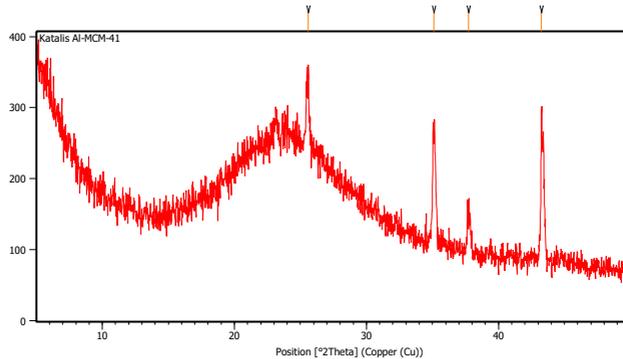


*Variasi Komposisi *feedstock*

- 80 % (P) : 20 % (J)
- 60 % (P) : 40 % (J)
- 50 % (P) : 50 % (J)
- 40 % (P) : 60 % (J)

C. 1 Karakterisasi Katalis Al-MCM-41 : Keramik

C.1.1 Hasil Karakterisasi XRD Katalis Al-MCM-41 : Keramik



Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25.5797	100.27	0.2007	3.48248	48.71
35.0866	152.26	0.2342	2.55763	73.97
37.7459	63.37	0.2007	2.38333	30.78
43.2584	205.84	0.0612	2.08980	100.00

Raw Data Origin PHILIPS-binary (scan) (.RD)
 Scan Axis Gonio
 Start Position [°2Th.] 5.0084
 End Position [°2Th.] 49.9904
 Step Size [°2Th.] 0.0170
 Scan Step Time [s] 10.1500
 Scan Type Continuous
 Offset [°2Th.] 0.0000
 Divergence Slit Type Fixed
 Divergence Slit Size [°] 0.2500
 Specimen Length [mm] 10.00
 Receiving Slit Size [mm] 12.7500
 Measurement Temperature [°C] -273.15
 Anode Material Cu
 K-Alpha1 [Å] 1.54060
 K-Alpha2 [Å] 1.54443
 K-Beta [Å] 1.39225
 K-A2 / K-A1 Ratio 0.50000
 Generator Settings 30 mA, 40 kV
 Diffractometer Type XPert MPD
 Diffractometer Number 1
 Goniometer Radius [mm] 200.00
 Dist. Focus-Diverg. Slit [mm] 91.00
 Incident Beam Monochromator No
 Spinning No

C.1.2 Hasil Karakterisasi Adsorpsi Desorpsi N₂ katalis Al-MCM-41

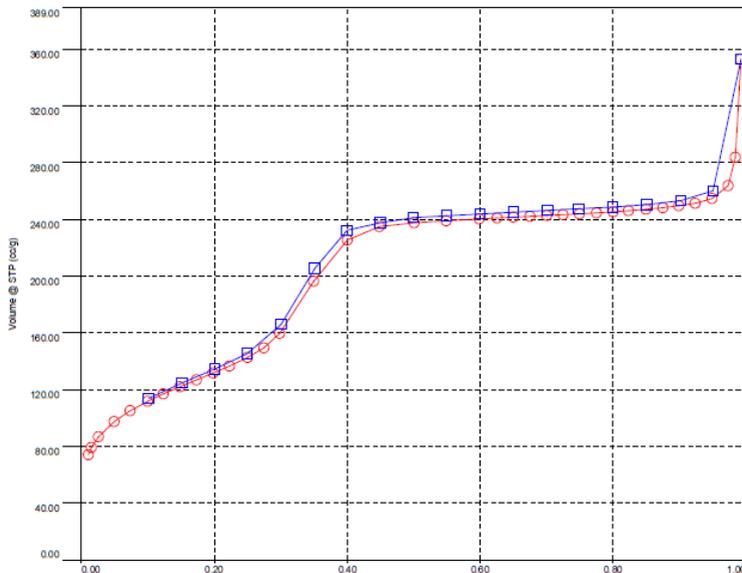
Quantachrome® ASiQwin™ - Automated Gas Sorption Data
Acquisition and Reduction
© 1994-2012, Quantachrome Instruments
version 3.0



Analysis		Report	
Operator:	Lab. Energi ITS	Operator:	Lab. Energi ITS
Sample ID:	EI-632 Al MCM 41	Filename:	iq_phisy_st1_2017_11_04_09_38_08EI-632 Al MCM 41.qps
Sample Desc:		Comment:	
Sample Weight:	0.0897 g	Instrument:	Autosorb IQ Station 1
Approx. Outgas Time:	6.2 hrs	Final Outgas Temp.:	60 °C
Analysis gas:	Nitrogen	Non-ideality:	6.58e-05 1/Torr
Analysis Time:	6:25 hr:min	Bath temp.:	77.35 K
Analysis Mode:	Standard	Cold Zone V:	9.10149 cc
Void/Vol. Mode:	He Measure		

Isotherm : Linear

Data Reduction Parameters			
Adsorbate	Thermal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm
	Nitrogen	Temperature: 77.350K	Liquid Density: 0.808 g/cc
	Molec. Wt.: 28.013	Cross Section: 16.200 Å ²	





Analysis		Report	
Operator: Lab. Energi ITS	Date: 2017/11/04	Operator: Lab. Energi ITS	Date: 2017/11/06
Sample ID: EI-632 AI MCM 41	Filename: iq_phisy_st1_2017_11_04_00_38_08EI-632 AI MCM 41.qps		
Sample Desc:	Comment:		
Sample Weight: 0.0897 g	Instrument: Autosorb IQ Station 1		
Approx. Outgas Time: 6.2 hrs	Final Outgas Temp.: 60 °C	Extended info:	Available
Analysis gas: Nitrogen	Non-ideality: 0.58e-05 1/Torr	CellType:	9mm w/o rod
Analysis Time: 6:25 hr:min	Bath temp.: 77.35 K	VoidVol Remeasure: off	
Analysis Mode: Standard	Cold Zone V: 9.10149 cc	Warm Zone V:	17.5075 cc
VoidVol. Mode: He Measure	Multi-Point BET		

Data Reduction Parameters Data

Adsorbate	Thermal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm
	Nitrogen	Temperature: 77.350K	
	Molec. Wt.: 28.013	Cross Section: 16.209 Å²	Liquid Density: 0.808 g/cc

Multi-Point BET Data

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W((Po/P) - 1)]	Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W((Po/P) - 1)]
4.93607e-02	97.5120	4.2633e-01	1.98306e-01	131.7496	1.5028e+00
7.34694e-02	105.1293	6.0377e-01	2.23090e-01	138.6551	1.6510e+00
9.99403e-02	111.8222	7.9451e-01	2.50225e-01	142.7277	1.8706e+00
1.23339e-01	116.9850	9.6227e-01	2.74624e-01	149.4425	2.0270e+00
1.48231e-01	122.0402	1.1410e+00	2.98460e-01	159.6475	2.1322e+00
1.73345e-01	126.9117	1.3220e+00			

BET summary	
Slope =	7.000
Intercept =	9.790e-02
Correlation coefficient, r =	0.999291
C constant =	72.502
Surface Area =	490.665 m ² /g

D. Hasil Karakterisasi Bahan Bakar Cair (BBC)

D. 1 Hasil Pengukuran Volume Bahan Bakar Cair (BBC)

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

Jenis	Volume BBC (mL)	Prosentase BBC (%)	Volume kokas (mL)	Prosentase kokas
P100	45	15,00%	162	54,00%
P80	100	33,33%	235	78,33%
P60	72	24,00%	220	73,33%
P50	30	10,00%	217	72,33%
P40	38	12,67%	230	76,67%

D. 2 Hasil Pengukuran Densitas Bahan Bakar Cair (BBC)

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

Variasi	Massa piknometer kosong (g)	Massa piknometer +BBC (g)
P100	16,9	24,466
P80	16,8993	24,3075
P60	16,8985	24,386
P50	16,9012	24,3985
P40	16,9003	24,387

D. 3 Hasil Pengukuran Titik Nyala Bahan Bakar Cair (BBC)

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

Variasi	Temperatur (°C)
P	26,1
P80	8,6
P60	15
P50	14,3
P40	14,2

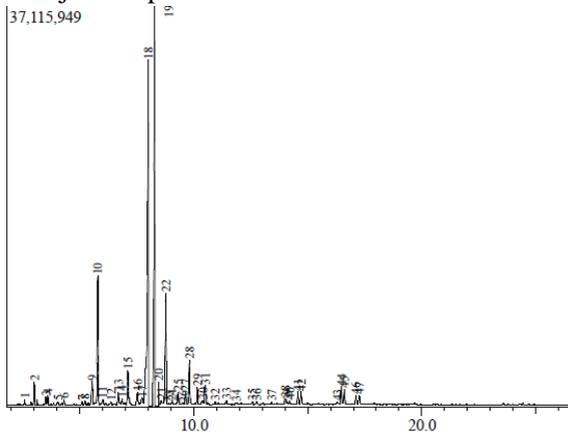
D. 4 Hasil Pengukuran Nilai Kalor Bahan Bakar Cair (BBC)

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

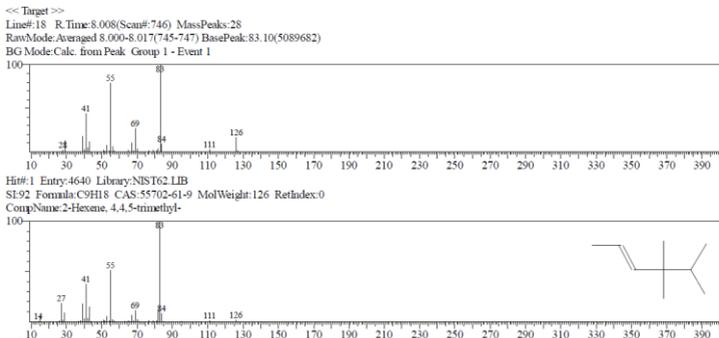
Variasi	Nilai Kalor (Kal/g)
P100	13491,56
P80	9866,125
P60	13162,5
P50	12833,44
P40	14474,15

D. 5 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



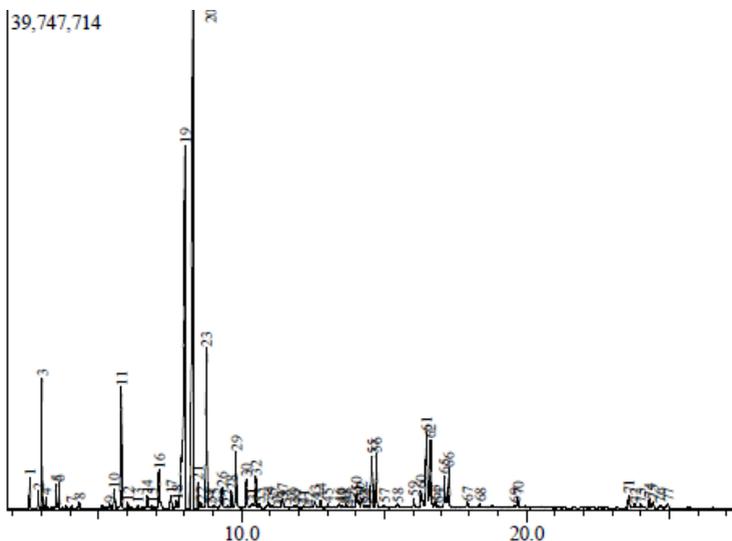
Gambar D. 1 Kromatogram bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan plastik 100%



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

D. 6 Hasil karakterisasi Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 80% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 20%

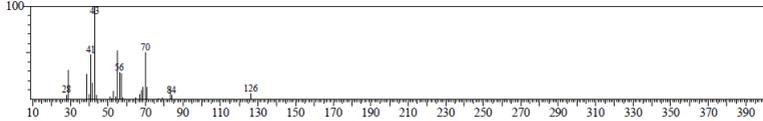
Kromatogram bahan bakar cair hasil perengkahan katalitik plastik 100% ditunjukkan pada Gambar D.2



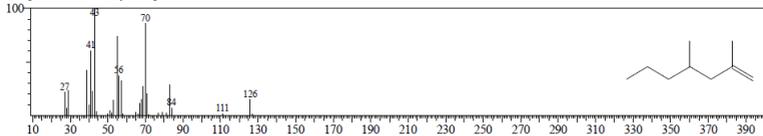
Gambar D. 3 Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 80% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 20%

<< Target >>

Line#: 20 R. Time: 8.292 (Scan#: 780) MassPeaks: 27
RawMode: Averaged 8.283-8.300(779-781) BasePeak: 43.05(5104549)
BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



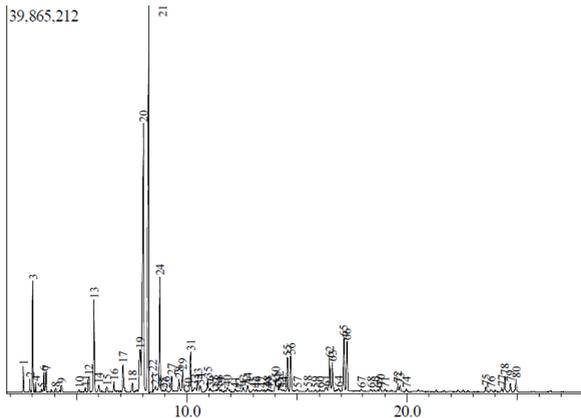
Hit#: 1 Entry: 4662 Library: NIST62.LIB
SI: 90 Formula: C9H18 CAS: 19549-87-2 MolWeight: 126 RetIndex: 0
CompName: 2,4-Dimethyl-1-heptene



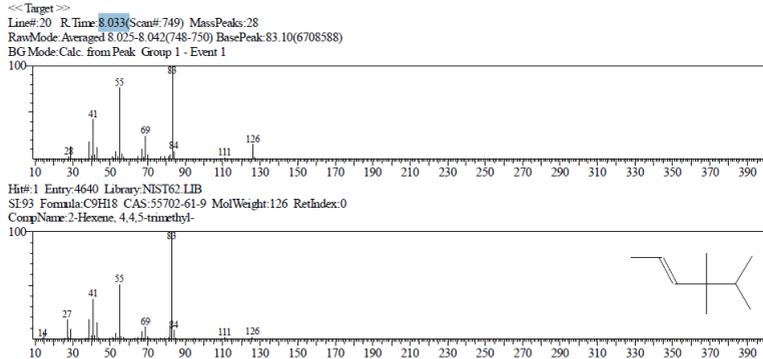
Gambar D. 4 MS Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 80% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 20%

D. 7 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.3



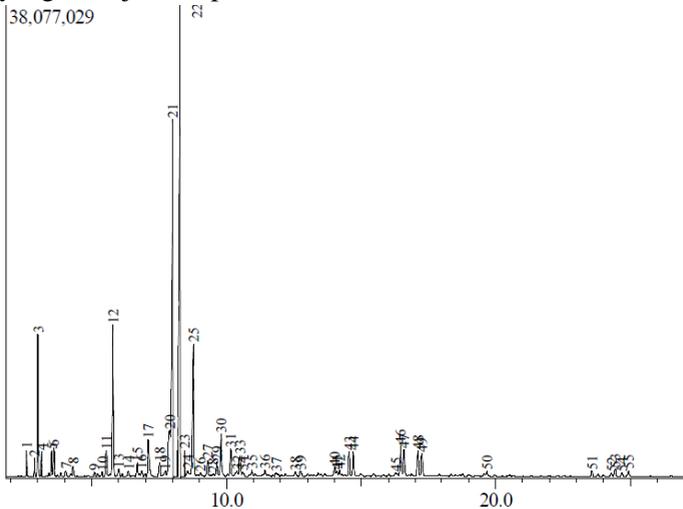
Gambar D. 5 Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 60% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 40%



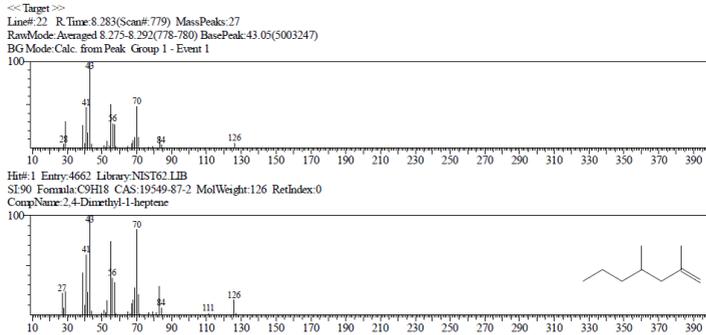
Gambar D. 6 MS Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 60% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 40%

D. 8 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



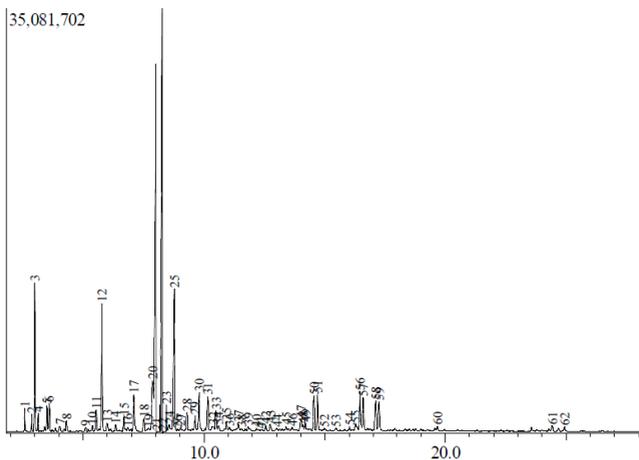
Gambar D. 7 Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 50% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 50%



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

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

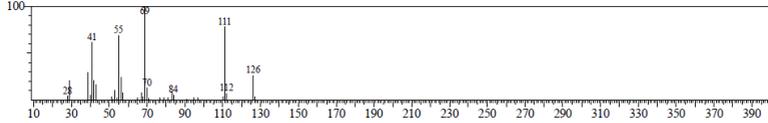
Kromatogram bahan bakar cair hasil perengkahan katalitik plastik 40% ditunjukkan pada Gambar D.5



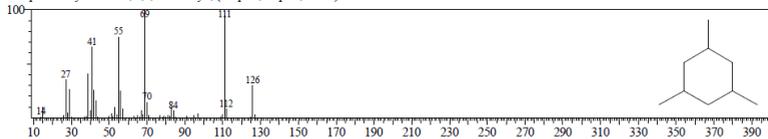
Gambar D.9 Bahan Bakar Cair Perengkahan Katalitik Plastik 40% dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah 60%

<< Target >>

Line# 25 R. Time: 8.767 (Scan# 837) MassPeaks: 33
Raw Mode: Averaged 8.758-8.775(836-838) BasePeak: 69.05(2000935)
BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit# 1 Entry: 2717 Library: NIST12.LIB
SI: 96 Formula: C9H18 CAS: 1795-26-2 MolWeight: 126 RetIndex: 0
CompName: Cyclohexane, 1,3,5-trimethyl-, (1.alpha.,3.alpha.,5.beta.)-



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

E. 1 Perhitungan

E.1. 1 Jumlah Katalis

Jumlah katalis yang digunakan pada penelitian ini 17,6 gram untuk setiap 500 gram plastik polipropilena (PP). Adapun perhitungannya sebagai berikut.

$$\%(\text{b/v})\text{katalis} = \frac{\text{berat katalis}}{\text{volume reaktan}} \times 100\% = \frac{9 \text{ gram}}{300 \text{ ml}} \times 100\% = 3\%$$

E.2 Densitas Bahan Bakar Cair (BBC)

Massa piknometer = 16,9 gram

Massa piknometer + BBC = 24,466 gram

Volume piknometer = 10,182 ml

$$\begin{aligned} \text{Densitas } (\rho) &= \frac{(\text{massa piknometer} + \text{BBC}) - \text{Massa piknometer}}{\text{Volume piknometer}} \\ &= \frac{24,466 \text{ gram} - 16,9 \text{ gram}}{10,182 \text{ ml}} \\ &= 0,743 \text{ gram/ml} \end{aligned}$$

Perhitungan densitas tersebut hasil bahan bakar cair variasi P100. Perhitungan pada masing – masing variasi ditunjukkan pada tabel E.1

Tabel E. 1 Densitas bahan bakar cair masing – masing variasi

Massa piknometer (g)	Massa piknometer+BBC (g)	Massa BBC (g)	Densitas (g/ml)
16,9	24,466	7,566	0,743
16,8993	24,3075	7,4082	0,728
16,8985	24,386	7,4875	0,735
16,9012	24,3985	7,4973	0,736
16,9003	24,387	7,4867	0,735

E.1. 2 Yield Volume dan Kokas Bahan Bakar Cair (BBC)

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

$$Yield = \frac{Volume\ BBC}{Volume\ Plastik\ PP} \times 100\%$$

$$= \frac{162\ ml}{300\ ml} \times 100\% = 54\%$$

Perhitungan di atas merupakan perhitungan *yield* untuk bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan tanpa katalis (TK). Dengan cara yang sama maka dapat diperoleh *yield* volume dan *coke* bahan bakar cair (BBC) setiap variasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel E.2

Tabel E. 2 Yield bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan

Jenis	Volume BBC (mL)	Prosentase BBC (%)	Volume kokas (mL)	Prosentase kokas
P100	45	15,00%	162	54,00%
P80	100	33,33%	235	78,33%
P60	72	24,00%	220	73,33%
P50	30	10,00%	217	72,33%
P40	38	12,67%	230	76,67%

E.1. 3 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.

$$\begin{aligned}
 \text{Yield} &= \% \text{ area} \times \frac{\text{volume BBC}}{\text{Volume reaktan}} \times 100\% \\
 &= 1,29\% \times \frac{45}{300} = 0,1935\%
 \end{aligned}$$

Tabel E. 3 %Yield Hasil Konversi Katalitik Detail Pada masing – masing variasi

			V BBC	Volume awal	% Yield
			(mL)	(mL)	(%)
P	< C7	1,29	45	300	0,1935
	C7 - C12	93,9 2			14,088
	Tidak teridentifikasi	4,82			0,723
J80	< C7	4,67	100	300	1,5566 67

	C7 - C12	79,2 9			26,43
	Tidak teridentifikasi	16,0 5			5,35
J60	< C7	4,92	72	300	1,1808
	C7 - C12	84,3 7			20,248 8
	Tidak teridentifikasi	10,4 9			2,5176
J50	< C7	7,04	30	300	0,704
	C7 - C12	85,1 3			8,513
	Tidak teridentifikasi	7,83			0,783
J40	< C7	6,23	38	300	0,7891 33
	C7 - C12	52,7 2			6,6778 67
	Tidak teridentifikasi	41,0 5			5,1996 67

E. 2 Nilai Kalor Bahan Bakar Cair

E.2.1 Perhitungan Cv

Massa asam benzoate = 1 gram

T awal = 29,5 °C

T akhir = 32,7 °C

Qv = 6318 kal/gram

$$Cv = \frac{Qv}{\Delta T} = \frac{6318 \text{ kal/gram}}{3,2 \text{ } ^\circ\text{C}} = 1974,375 \text{ kal/ } ^\circ\text{C gram}$$

Perhitungan nilai kalor pada penelitian ini menggunakan massa 0,6 gram, maka cv yang digunakan Cv dibagi massa per uji BBC.

Nilai Kalor pada variasi P100

Massa = 0,6043 gram

$$Cv = \frac{1974,375 \text{ kal/gram}}{0,6043 \text{ gram}} = 3267,21 \text{ kal/gram}$$

Suhu Awal = 32,6 °C

Suhu Akhir = 36,7 °C

Sisa kawat = 0 cm

Kalor (Qt) = (Cv x ΔT) – sisa kawat x 2,3 kal/cm

$$= 3267,21 \text{ kal/ } ^\circ\text{C g} \times (36,7 - 32,6) \text{ } ^\circ\text{C} - 0 \times 2,3 \text{ kal/cm}$$

$$= 13.491,56 \text{ kal/g}$$

Tabel E. 4 Nilai Kalor Masing - masing Variasi Bahan Bakar Cair

Jelantah	Massa (g)	Suhu Awal (°C)	Suhu Akhir (°C)	ΔT (°C)	Sisa Kawat (cm)	Cv (kal/ °C g)	Kalor (kal/g)
P100	0,6043	32,6	36,7	4,1	0	3290,625	13491,56
P80	0,6029	30,9	34,7	3,8	0	3290,625	12504,38
P60	0,6089	30,9	34,9	4	0	3290,625	13162,5
P50	0,6045	30,1	34	3,9	0	3290,625	12833,44
P40	0,6061	32,2	36,6	4,4	2	3290,625	14474,15

F. 1 Standar Baku Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Gasolin

F.1. 1 HESS MSDS *Gasoline All Grades*



MATERIAL SAFETY DATA SHEET

Gasoline, All Grades

MSDS No. 9950

ODOR

A strong, characteristic aromatic hydrocarbon odor. Oxygenated gasoline with MTBE and/or TAME may have a sweet, ether-like odor and is detectable at a lower concentration than non-oxygenated gasoline.

ODOR THRESHOLD

	<u>Odor Detection</u>	<u>Odor Recognition</u>
Non-oxygenated gasoline:	0.5 - 0.6 ppm	0.8 - 1.1 ppm
Gasoline with 15% MTBE:	0.2 - 0.3 ppm	0.4 - 0.7 ppm
Gasoline with 15% TAME:	0.1 ppm	0.2 ppm

BASIC PHYSICAL PROPERTIES

BOILING RANGE:	85 to 437 °F (30 to 200 °C)
VAPOR PRESSURE:	6.4 - 15 RVP @ 100 °F (38 °C) (275-475 mm Hg @ 68 °F (20 °C)
VAPOR DENSITY (air = 1):	AP 3 to 4
SPECIFIC GRAVITY (H ₂ O = 1):	0.70 - 0.78
EVAPORATION RATE:	10-11 (n-butyl acetate = 1)
PERCENT VOLATILES:	100 %
SOLUBILITY (H ₂ O):	Non-oxygenated gasoline - negligible (< 0.1% @ 77 °F). Gasoline with 15% MTBE - slight (0.1 - 3% @ 77 °F); ethanol is readily soluble in water

F.1. 2 HIBERNIA Petroleum Canada 2016

HIBER11Z	Whole crude - 200 to 1499	Butane and Lighter - 200 to 60	Lt. Naphtha C5- 165F 60 to 165	Hvy Naphtha 165 - 330F 165 to 330	Kerosene 330 - 480F 330 to 480	Diesel 480 - 650F 480 to 650	Vacuum Gas Oil 650 - 1000F 650 to 1000	Vacuum Residue 1000F+ 1000 to 1499
Cut volume, %	100	1.51	5.68	14.83	14.76	17.03	28.89	17.29
API Gravity,	33.9	121.42	81.02	54.91	43.1	34.04	24.71	12.65
Specific Gravity (60/60F),	0.8555	0.5595	0.6658	0.7591	0.8104	0.8548	0.9058	0.9816
Carbon, wt %		82.43	83.95	85.88	86.21	86.51	86.39	
Hydrogen, wt %		17.57	16.05	14.12	13.77	13.23	12.81	
Pour point, F	37				-62	17	103	103
Neutralization number (TAN), MG/GM	0.095					0.054	0.116	0.212
Sulfur, wt%	0.54			0.0011	0.0213	0.2431	0.6814	1.4428
Viscosity at 20C/68F, cSt	12.49	0.35	0.41	0.75	1.79	6.88	120.83	472934.04
Viscosity at 40C/104F, cSt	6.21	0.3	0.35	0.62	1.31	3.96	40.48	34316.32
Viscosity at 50C/122F, cSt	4.7	0.28	0.32	0.56	1.15	3.16	26.22	11920.94
Mercaptan sulfur, ppm	1			1.5	2.1			
Nitrogen, ppm	1350	0	0	0	0.2	88.5	1196.1	4868
CCR, wt%	2.45					0	0.26	11.9
N-Heptane Insolubles (C7 Asphaltenes), wt%								0.3
Nickel, ppm	1.3					0	0	6.5
Vanadium, ppm	0.7					0	0	3.5
Calcium, ppm	0.5							
Reid Vapor Pressure (RVP) Whole Crude, psi	3.4							
Heat of Combustion (Gross), BTU/lb	19429							
Heat of Combustion (Net), BTU/lb	18222	19288	18852	18626	18567			
Hydrogen Sulfide (dissolved), ppm	0							
Salt content, ptb	0.1							
Paraffins, vol %		100	84.28	51.64	47.08	41.83	26.36	
Naphthenes, vol %		0	14.13	31.88	32.71	34.07	37.12	
Aromatics (FIA), vol %				16.48	16.9			
Distillation type, D-	1160	86	86	86	86	86	1160	1160
ASTM IBP, F	17.9	-127.8	95.9	208.1	363.8	506	690.6	1038.8
5 vol%, F	135.3	-94.6	101.4	213.7	368.2	510.8	695.2	1043.4
10 vol%, F	201.5	-52.1	106	216.6	370.4	512.9	706.3	1055.3
20 vol%, F	306.9	10.5	110.9	223.6	375.5	518.9	728.3	1081.3
30 vol%, F	403.1	29.8	114.6	231.7	381.8	526.3	752.6	1111.3
40 vol%, F	497.7	35.9	117.1	240.8	389.1	535.3	778.5	1145.4
50 vol%, F	597	35.8	121.9	249.1	396.4	543.8	806.4	1183.7
60 vol%, F	705	38.8	129	258.8	405.1	553.8	835.7	1228.7
70 vol%, F	806.7	43.7	134.1	269	414	564.5	865.7	1277.3
80 vol%, F	925.9	47.3	139.3	279.9	423.8	576	897.7	1330.3
90 vol%, F	1082.4	46.1	141.8	291.1	434	587.8	929	1385.2
95 vol%, F	1213.2	46.1	144.4	297.4	439.8	594.4	947.8	1419.1
ASTM EP, F	1401.5	47.2	147	302.5	444.5	605	969.7	1458
Freeze point, F					-48.2	29		
Smoke point, mm						21.3		
Naphthalenes (D1840), vol%						4.4		
Viscosity at 100C/212F, cSt	1.81	0.21	0.23	0.38	0.69	1.44	5.97	316.71
Viscosity at 150C/302F, cSt	1.03	0.17	0.18	0.28	0.47	0.88	2.58	42.23
Cetane Index 1990 (D4737),	33.1	152.4	44.1	29.4	43.8	54.1	56.9	45.5
Cloud point, F						-54	24	
Aniline pt, F					138.2	161.3	191.7	

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Rifaldi yang dilahirkan di Banjarmasin pada tanggal 9 Maret 1996. Penulis merupakan anak pertama dari dua besaudara. Penulis pernah menempuh pendidikan di SD Kartika V-7 Banjarmasin, SMPN 7 Kota Banjarmasin, dan SMAN 7 Banjarmasin. 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 1414100033. Penulis pernah melakukan kerja praktik di Laboratorium Forensik Cabang Surabaya, Sub Bidang Narkoba, Polda Jatim. Penulis menyelesaikan pendidikannya di Jurusan Kimia FMIPA ITS dengan mengambil tugas akhir yang berjudul “Produksi Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik PP Dan Ko-Reaktan Minyak Jelantah Menggunakan Metode Konversi Katalitik Dengan Kolom Termodifikasi”. yang dibimbing oleh Dr. Hendro Juwono, M.Si. Penulis dapat diajak berdiskusi mengenai tugas akhir maupun topik lainnya dan dapat dihubungi melalui email aldirifsrif@gmail.com