



SKRIPSI

**PERENKAHAN KATALITIK DARI LIMBAH
POLISTIREN DENGAN KO-REAKTAN BIODIESEL
MINYAK JELANTAH SERTA UNJUK KERJA PADA
MESIN GASOLIN**

**AHMAD HAWKY DERMAWAN
NRP. 0121154000105**

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

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



SCRIPT

**CATALYTIC CRACKING OF POLYSTYRENE WASTE
WITH WASTE COOKING OIL BIODIESEL AND ITS
PERFORMANCE IN GASOLINE ENGINE**

**AHMAD HAWKY DERMAWAN
NRP. 01211540000105**

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

**CHEMISTRY DEPARTMENT
FACULTY OF SCIENCES
INSTITUTE TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019**

**PERENKAHAN KATALITIK DARI LIMBAH
POLISTIREN DENGAN KO-REAKTAN BIODIESEL
MINYAK JELANTAH SERTA UNJUK KERJA PADA
MESIN GASOLIN**

SKIRPSI

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

Disusun Oleh:

Ahmad Hawky Dermawan
NRP 01211540000105

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

LEMBAR PENGESAHAN

**PERENKAHAN KATALITIK DARI LIMBAH
POLISTIREN DENGAN KO-REAKTAN BIODIESEL
MINYAK JELANTAH SERTA UNJUK KERJA PADA
MESIN GASOLIN**

SKRIPSI

Disusun oleh:

Ahmad Hawky Dermawan
NRP 0121154000105

Surabaya, 16 Juli 2019

Menyetujui,
Dosen Pembimbing



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

Mengetahui
Kepala Departemen Kimia FSAINS



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

*Karya ini kupersembahkan untuk Ayah, Ibu, Mas, Adik
dan seluruh keluarga besar
Dosen pembimbing dan penguji
Tim Qecyl
Teman-teman GOLDSCHMIDT
serta seluruh teman-teman
yang selalu membantu dan memotivasi*

PERENKAHAN KATALITIK DARI LIMBAH POLISTIREN DENGAN KO-REAKTAN BIODIESEL MINYAK JELANTAH SERTA UNJUK KERJA PADA MESIN GASOLIN

Nama : Ahmad Hawky Dermawan
NRP : 0121154000105
Departemen : Kimia ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Hendro Juwono, M.Si

ABSTRAK

Bahan bakar cair dari limbah plastik polistiren (PS) dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah telah berhasil dibuat. Penelitian ini dilakukan dengan metode perengkahan katalitik menggunakan katalis untuk menghasilkan berbagai macam fraksi hidrokarbon. Katalis yang digunakan berupa Pd/Al-MCM-41/keramik yang dikarakterisasi dengan XRD, SEM-EDX, SEM, Adsorpsi-desorpsi N₂, FTIR-Piridin, dan hasil perengkahan dianalisa menggunakan Kromatografi Gas-Spektroskopi Massa (GC-MS). Hasil analisis GC-MS bahan bakar hasil perengkahan menunjukkan bahwa kandungan terbesar pada fraksi hidrokarbon gasolin (C₇-C₁₂). Minyak perengkahan PS/Kat120 memiliki fraksi gasolin terbesar yaitu 85,64 %. Bahan bakar cair hasil perengkahan katalitik ditambahkan bahan bakar jenis Premium dan aditif MTBE untuk mengetahui performa bahan bakar menggunakan mesin gasolin. Karakteristik fisik berupa densitas, titik nyala, nilai kalor, dan angka oktan campuran bahan bakar cair juga diteliti. Campuran bahan bakar cair CPSJ/Kat2 memiliki persen efisiensi termal tertinggi sebesar 26,33% dengan nilai densitas 0,7515 g/ml, titik nyala sebesar -48,7 °C, nilai kalor sebesar 19160,61 kkal/kg, dan angka oktan sebesar 95,6.

Kata Kunci : bahan bakar cair, biodiesel minyak jelantah, limbah plastik PS, perengkahan katalitik, kinerja bahan bakar cair

CATALYTIC CRACKING OF POLYSTYRENE WASTE WITH WASTE COOKING OIL BIODIESEL AND ITS PERFORMANCE IN GASOLINE ENGINE

Name : Ahmad Hawky Dermawan
NRP : 01211540000105
Department : Kimia ITS
Advisore Lecture : Dr. Hendro Juwono, M.Si

ABSTRACT

Liquid fuel from polystyrene (PS) waste plastic and the co-reactant of waste cooking oil has been successfully made. This research was carried out using a catalytic cracking method using a catalyst to produce various kinds of hydrocarbon fractions. The catalysts used were Pd/Al-MCM-41-ceramics characterized by XRD, SEM-EDX, SEM, Adsorption-desorption N₂, FTIR-Piridine, and cracking results analyzed using Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS). The results of GC-MS analysis of cracked fuel showed that the largest content of the gasoline hydrocarbon fraction (C₇-C₁₂). PS/Kat120 cracking oil has the largest gasoline fraction of 85.64%. Liquid fuel produced by catalytic cracking is added with Premium fuel and MTBE additives to determine fuel performance using gasoline engines. Physical characteristics in the form of density, flash point, calorific value, and octane number of a mixture of liquid fuels were also investigated. The mixture of CPSJ / Kat2 liquid fuel has the highest percentage of thermal efficiency of 26.33% with a density value of 0.7515 g / ml, a flash point of -48.7 °C, a heating value of 19160.61 kcal / kg, and an octane number of 95.6.

Keywords : catalytic cracking, liquid fuel, liquid fuel performance, PS plastic waste, waste cooking oil biodiesel

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul **“PERENKAHAN KATALITIK DARI LIMBAH POLISTIREN DENGAN KO-REAKTAN BIODIESEL MINYAK JELANTAH SERTA UNJUK KERJA PADA MESIN GASOLIN”** dapat diselesaikan dengan baik. Tulisan ini terwujud berkat bimbingan, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Hendro Juwono, M.Si, selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama proses penyusunan naskah Skripsi ini.
2. Prof. Dr. Didik Prasetyoko, S.Si, M.Sc selaku Kepala Departemen Kimia FSAINS-ITS atas fasilitas yang telah diberikan hingga naskah Skripsi ini dapat terselesaikan.
3. Dr. Yulfi Zetra, M.Sc, selaku Dosen Wali yang telah memberikan bimbingan selama berada di Departemen Kimia.
4. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberi dukungan, doa, serta semangat yang tiada henti.
5. Teman-teman Qecyl, Squad ISA dan GOLDSCHMIDT yang selalu memberi semangat, doa dan dukungan.
6. Semua pihak yang telah membantu yang tidak mungkin saya sebutkan satu persatu.

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

Surabaya, Juli 2019
Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Polistiren.....	7
2.2 Perengkahan.....	7
2.2.1 Perengkahan Termal.....	7
2.2.2 Perengkahan Katalitik.....	8
2.3 Biodiesel.....	9
2.4 Minyak Jelantah.....	9
2.5 Transesterifikasi.....	11
2.6 Sintesis Pd/Al-MCM-41/keramik.....	12
2.7 Metil Tersier Butil Eter (MTBE).....	13
2.8 Karakterisasi Katalis.....	13
2.8.1 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	13
2.8.2 <i>Scanning Electronic Microscope with Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)</i>	14
2.8.3 Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen.....	16
2.8.4 Penentuan Asam Basa Permukaan Katalis.....	16
2.9 Karakterisasi Bahan Bakar Cair.....	18
2.9.1 <i>Gas Chromatography – Mass Spectroscopy (GC - MS)</i>	18
2.9.2 Densitas.....	19
2.9.3 Titik Nyala.....	19
2.9.4 Nilai Kalor.....	20
2.9.5 Angka Oktan.....	20
2.10 Karakterisasi Performa Bahan Bakar Cair pada Mesin Gasolin.....	21

BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1 Alat dan Bahan	23
3.1.1 Alat.....	23
3.1.2 Bahan.....	23
3.2 Prosedur Penelitian	23
3.2.1 Pembuatan Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik.....	23
3.2.2 Produksi Hidrokarbon dari Pirolisis Limbah Plastik Polistirena.....	23
3.2.3 Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah	24
3.2.4 Preparasi Katalis	24
3.2.5 Produksi Bahan Bakar Cair Plastik Polistiren dengan Ko- reaktan Biodiesel Minyak Jelantah	25
3.2.6 Karakterisasi Katalis Pd/Al-MCM-41	26
3.3 Produksi Campuran Bahan Bakar Cair	26
3.4 Karakterisasi Bahan Bakar Cair.....	27
3.4.1 <i>Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer</i> (GC-MS).....	27
3.4.2 Penentuan Densitas Campuran Bahan Bakar Cair	28
3.4.3 Penentuan Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair.....	28
3.4.4 Penentuan Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair.....	28
3.4.5 Penentuan Angka Oktan Campuran Bahan Bakar Cair.....	28
3.5 Penentuan Performa Campuran Bahan Bakar Cair pada Mesin Gasolin.....	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil Sintesis Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik.....	31
4.2 Produksi Bahan Bakar Cair.....	32
4.2.1 Hasil Produksi Bahan Bakar Cair Plastik.....	33
4.2.2 Hasil Sintesis Biodiesel Minyak Jelantah Melalui Metode Transesterifikasi	36
4.2.3 Hasil Produksi Bahan Bakar Cair dari Limbah Plastik Polistiren dengan Ko-Reaktan Biodiesel Minyak Jelantah.....	38
4.3 Karakterisasi Katalis.....	40
4.3.1 Hasil Karakterisasi XRD	40
4.3.2 Hasil Karakterisasi SEM-EDX	41
4.3.3 Hasil Karakterisasi Adsorpsi – Desorpsi N ₂	43
4.3.4 Keasaman Menggunakan FTIR-Piridin	44

4.4	Analisis Fraksi Hidrokarbon Bahan Bakar Cair dengan GC-MS	46
4.5	Mekanisme Reaksi Perengkahan Plastik Polistiren.....	47
4.6	Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair dan Performa pada Mesin Gasolin	49
4.6.1	Densitas Campuran Bahan Bakar Cair.....	49
4.6.2	Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair	50
4.6.3	Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair	50
4.6.4	Angka Oktan Campuran Bahan Bakar Cair	52
4.6.5	Uji Performa Campuran Bahan Bakar Cair.....	53
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		55
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran.....	55
DAFTAR PUSTAKA		57
LAMPIRAN.....		63
BIODATA PENULIS		89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Reaksi Pembentukan Ion Karbonium.....	9
Gambar 2.2	Reaksi Transesterifikasi dengan Katalis Basa (Maneerung dkk., 2016)	11
Gambar 2.3	Struktur Molekul Metil Tersier Butil Eter (MTBE).....	13
Gambar 2.4	Hasil XRD sudut pendek katalis (Juwono dkk., 2017a)	15
Gambar 2.5	Skema Diagram SEM (Sujatno dkk., 2015).....	15
Gambar 2.6	Klasifikasi adsorpsi-desorpsi IUPAC (Alothman, 2012)	17
Gambar 2.7	Absorbansi FTIR Piridin Katalis Pd/Al-MCM-41	18
Gambar 2.8	Skematik dari GC-MS (Hussain dan Maqbool, 2014).....	19
Gambar 2.9	Skema Bom Kalorimeter	21
Gambar 2.10	Skema Pengujian pada Mesin Gasolin (Topgül, 2015).....	22
Gambar 3.1	Skema Continous Reactor	25
Gambar 4.1	Katalis Al-MCM-41/keramik.....	31
Gambar 4.2	Campuran Larutan PdCl ₂ dan Serbuk Al-MCM- 41/keramik.....	32
Gambar 4.3	Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik	32
Gambar 4.4	Stirofoam / Polistiren	34
Gambar 4.5	Lempengan Limbah Plastik Polistiren	35
Gambar 4.6	Feedstock Minyak Polistiren.....	35
Gambar 4.7	Rangkaian Refluks Sintesis Biodiesel.....	36
Gambar 4.8	Pemisahan Fasa Atas dan Fasa Bawah.....	37
Gambar 4.9	Hasil Biodiesel.....	38
Gambar 4.10	(a) Produk Bahan Bakar Cair (b) Kokas	39
Gambar 4.11	Difaktogram XRD (a) Al-MCM-41/keramik (b) Pd/Al-MCM-41/keramik	41
Gambar 4.12	(a) SEM Al-MCM-41/keramik (Alfian, 2018) (b) SEM Pd/Al-MCM-41/keramik	42

Gambar 4.13 Hasil Karakterisasi EDX Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik.....	43
Gambar 4.14 (a) Grafik isoterm Al-MCM-41/keramik referensi (b) Grafik isoterm Pd/Al-MCM-41/keramik.....	44
Gambar 4.15 Spektra Piridin-FTIR Pd/Al-MCM-41/keramik	45
Gambar 4.16 Reaksi Pemutusan β pada Ion Karbenium (Le Van Mao dkk., 2013)	46
Gambar 4.17 Komposisi Fraksi Gasolin pada Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan	47
Gambar 4.18 Reaksi Pirolisis Polistirena dan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Jelantah (Parejo dkk., 2018)	48
Gambar 4.19 Densitas Campuran Bahan Bakar Cair	49
Gambar 4.20 Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair	51
Gambar 4.21 Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair	51
Gambar 4.22 Angka Oktan Campuran Bahan Bakar Cair	52
Gambar 4.23 Efisiensi Termal Campuran Bahan Bakar Cair	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standar mutu biodiesel (Aziz dkk., 2012).....	10
Tabel 2.2 Sifat dan komposisi asam lemak bebas dari minyak jelantah (Maneerung dkk., 2016)	10
Tabel 3.1 Jenis campuran bahan bakar cair	27
Tabel 4.1 Spesifikasi bahan bakar minyak jenis bensin Premium (SNI 06-3506-1994).....	33
Tabel 4.2 Persentase yield minyak plastik polistiren	35
Tabel 4.3 Volume bahan bakar cair (BBC) dan kokas hasil perengkahan katalitik	40
Tabel 4.4 Data Analisis Uji Adsorpsi Desorpsi Nitrogen	44
Tabel 4.5 Data jumlah sisi aktif asam katalis Pd/Al-MCM- 41/keramik	45
Tabel 4.6 Luas area (%) hidrokarbon hasil perengkahan katalitik	47

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mayoritas limbah plastik di perkotaan dan industri terdiri dari polistirena (PS). Polistirena biasanya digunakan sebagai pembungkus makanan, kemasan pelindung elektronik, dan bahan dari peralatan sehari-hari. Limbah plastik polistirena yang tidak terkendali dapat menimbulkan ancaman yang serius bagi lingkungan, kesehatan dan keselamatan karena sifatnya yang tidak dapat di daur ulang. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengetahui solusi yang memungkinkan untuk mengolah limbah polistirena. Salah satu penelitian yang telah dilakukan yaitu mengubah limbah polistirena menjadi bahan bakar dengan metode pirolisis (Abnisa dkk., 2013).

Konversi polistirena menjadi hirokarbon cair dapat dilakukan dengan proses pirolisis atau perengkahan. Perengkahan merupakan proses penguraian biomasa dengan panas pada suhu diatas 150 °C (Arita dkk., 2015). Reaksi degradasi termokimia tanpa adanya gas oksigen dengan suhu tinggi terjadi pada proses perengkahan. Hasil dari perengkahan diketahui dalam bentuk gas, minyak, dan padatan. Perengkahan dikenal sebagai metode yang ramah lingkungan karena tidak menghasilkan limbah selama proses terjadi (Abnisa dkk., 2013). Jenis plastik dan parameter proses perengkahan seperti jenis reaktor, suhu reaksi, waktu reaksi, dan katalis mempengaruhi kualitas dan kuantitas perengkahan. Terdapat dua macam proses perengkahan yaitu perengkahan dengan suhu tinggi dan perengkahan menggunakan katalis (Ma dkk., 2017).

Katalis MCM-41 dapat digunakan untuk langsung diaplikasikan dalam perengkahan katalitik sebagai katalis tetapi kurang efektif karena keasamannya rendah. Penambahan logam Al ke dalam MCM-41 merupakan modifikasi untuk meningkatkan keasaman total dari MCM-41. Meningkatnya keasaman pada material tersebut mengakibatkan ion logam akan menjadi asam lewis yang berperan sebagai sisi aktif dalam proses perengkahan katalitik (Bhattacharyya dkk., 2001). Penelitian yang telah

dilakukan oleh Serrano (2012), dihasilkan aktivitas perengkahan yang baik pada perengkahan katalitik polipropilen menggunakan katalis Al-MCM-41. Gangguan sterik pada molekul polipropilen dapat dihindari oleh pori yang seragam sehingga didapatkan konversi sebesar 100% (Serrano dkk., 2012). Akan tetapi, selektivitas katalis Al-MCM-41 terhadap hidrokarbon cair (C_7-C_8) hanya mencapai 80%. Keramik yang ditambahkan pada katalis Al-MCM-41 juga dapat meningkatkan luas permukaan pori (Juwono dkk., 2018). Penambahan logam Pd pada MCM-41 membuat rasio Pd/SiO₂ yang baik dan memberikan sifat yang berbeda secara efektif (Lee dkk., 2006). Pada penelitian sebelumnya, impregnasi logam Pd pada Al-MCM-41 menurunkan luas permukaan pori sebesar 18,99% dan meningkatkan radius pori sebesar 0,85% sehingga berpengaruh baik terhadap perengkahan katalitik (Juwono dkk., 2017a).

Karakteristik bahan bakar cair hasil pirolisis limbah plastik dapat ditingkatkan melalui penambahan ko-reaktan ke dalamnya. Minyak jelantah yang diubah menjadi metil ester melalui proses transesterifikasi merupakan salah satu ko-reaktan yang dapat meningkatkan karakteristik bahan cair hasil pirolisis. Keberadaan minyak jelantah cukup melimpah karena minyak jelantah merupakan limbah hasil penggorengan sehari-hari dari rumah tangga hingga rumah makan. Pada penelitian Alfian (2018), perengkahan katalitik bahan bakar cair hasil pirolisis limbah plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah menghasilkan kenaikan fraksi hidrokarbon rantai pendek ($<C_7$) dan fraksi hidrokarbon rantai panjang ($>C_{12}$) seiring penambahan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Rifaldi (2018), perengkahan katalitik limbah polipropilen dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dengan katalis Al-MCM-41/keramik pada jumlah polipropilen sebesar 40% dapat menghasilkan fraksi hidrokarbon (C_7-C_{20}) sebesar 93,31%. Karakteristik dari bahan bakar cair yang diperoleh mendekati karakteristik bahan bakar jenis Premium menurut SNI 06-3506-1994.

Penelitian ini dilakukan perengkahan katalitik limbah plastik polistiren dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah untuk menghasilkan bahan bakar cair dengan fraksi gasolin (C_7-C_{12}). Pengujian dengan *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GC-MS) dilakukan pada bahan bakar cair yang telah diproduksi untuk mengetahui komponen penyusunnya. Kemudian bahan bakar cair hasil perengkahan katalitik dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah ditambahkan dengan bahan bakar premium (RON 88) dan aditif metil tersier butil eter (MTBE) untuk mendapatkan kinerjanya pada mesin *Generator Set* gasolin. Penambahan aditif MTBE dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar cair dalam mesin karena diketahui meningkatkan oksigen dalam bahan bakar (Cataluña dkk., 2011). Pengujian karakterisasi fisik campuran bahan bakar cair yang telah diproduksi dilakukan untuk mengetahui nilai densitas, titik nyala, kalor dan angka oktan dan dibandingkan dengan setiap variasi *feedstock* serta dibandingkan dengan bahan bakar Premium (RON 88). Kinerja campuran bahan bakar cair pada setiap variasi *feedstock* diuji pada genset mesin gasolin untuk mengetahui efisiensi termal (BTE) terhadap Premium (RON 88).

1.2 Rumusan Masalah

Pengganti bahan bakar fosil saat ini sangat diperlukan. Salah satunya yang memiliki potensi besar adalah pengolahan limbah plastik polistiren menjadi bahan bakar cair alternatif. Akan tetapi, permasalahan berupa nilai kalor yang tinggi timbul dari pengolahan limbah plastik, sehingga dibutuhkan ko-reaktan yang kaya karbon dan hidrogen salah satunya minyak jelantah. Ketersediaan minyak jelantah cukup besar karena penggunaan minyak goreng sehari-hari. Konversi limbah plastik polistiren dilakukan dengan tahap pirolisis sedangkan konversi minyak jelantah dilakukan dengan transesterifikasi. Kemudian dilakukan perengkahan katalitik minyak polistiren dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah. Katalis yang digunakan berupa Pd/Al-MCM-41/keramik. Katalis dikarakterisasi dengan XRD, adsorpsi – desorpsi N_2 , SEM-EDX, keasaman menggunakan FTIR-Piridin.

Produk akhir dari perengkahan katalitik bahan baku reaktan dan ko-reaktan berupa bahan bakar cair.

Hasil bahan bakar cair yang didapatkan kemudian diuji dengan analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GC-MS) untuk mengetahui komponen yang terkandung dalam bahan bakar cair yang dihasilkan. Pengujian karakterisasi fisik meliputi densitas, titik nyala, nilai kalor, dan angka oktan (RON) juga dilakukan pada bahan bakar cair yang dihasilkan. Hasil pengujian dibandingkan dengan karakteristik bahan bakar jenis Premium sesuai baku mutu SNI 06-3506-1994. Hasil bahan bakar cair plastik polistiren dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dicampur dengan bahan bakar jenis Premium dan Metil Tersier Butil Eter (MTBE) untuk dilakukan pengujian kinerjanya pada mesin *Generator Set* dengan bahan bakar berbasis gasolin.

Pada penelitian sebelumnya oleh Juwono dkk. (2017), telah dilakukan perengkahan biodiesel minyak nyamplung menggunakan katalis Pd/Al-MCM-41. Berdasarkan hasil karakterisasi FTIR-Piridin katalis Pd/Al-MCM-41, impregnasi Pd meningkatkan keasaman pada katalis Al-MCM-41. Pada penelitian Alfian (2018) telah dilakukan perengkahan katalitik polipropilena dengan ko-reaktan minyak jelantah menggunakan katalis Al-MCM-41/keramik. Campuran bahan bakar cair yang dihasilkan memiliki persen efisiensi termal yang optimal sebesar 27,42% pada mesin. Dari kedua penelitian tersebut perlu diteliti perengkahan katalitik untuk limbah polistiren dan biodiesel minyak jelantah dengan katalis Pd/Al-MCM-41/keramik. Permasalahan yang muncul dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh katalis Pd/Al-MCM-41/keramik terhadap fraksi hidrokarbon serta performa campuran bahan bakar cair pada mesin *Generator Set* dengan bahan bakar berbasis gasolin.

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian ini dilakukan produksi fraksi hidrokarbon dari limbah plastik PS dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah menggunakan metode perengkahan katalitik dengan kolom termodifikasi pada reaktor tertutup dengan suhu 300 °C selama 2 jam. Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik yang digunakan sebesar 9 gram (0,9% b/v). Hasil produksi hidrokarbon selanjutnya

ditambahkan dengan premium dan MTBE serta dilakukan pengujian kinerjanya pada mesin *Generator Set* dengan bahan bakar berbasis gasolin.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh bahan bakar cair hasil perengkahan katalitik dari limbah plastik polistiren dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah yang diharapkan memiliki fraksi hidrokarbon (C_7-C_{12}) dengan kelimpahan terbesar serta performa optimum pada pengujian mesin gasolin dengan penambahan aditif MTBE dan bahan bakar jenis Premium.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa

1. Pengolahan limbah plastik polistiren yang memiliki laju degradasi yang sangat lambat pada alam.
2. Pengolahan limbah minyak goreng yang memiliki harga bahan baku yang murah dan jumlah yang melimpah.
3. Solusi bahan bakar alternatif pengganti bahan bakar fosil yang tidak terbarukan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polistiren

Polistirena merupakan polimerisasi dari stirena yang bersifat keras, kaku dan transparan. Sebagian besar polistirena digunakan pada industri makanan sebagai wadah makanan serta peralatan makan sekali pakai seperti piring dan mangkuk stirofoam. Sifatnya yang ringan, keras, tahan panas, kaku, dan tidak mudah patah menjadi kelebihan polistirena (Damayanthi dan Martini, 2010).

Stirena didapatkan dari etilbenzena yang dihasilkan melalui reaksi antara etilen dan benzena dengan adanya aluminium klorida. Senyawa tersebut lalu didehidrogenasi dan dihasilkan feniletilen atau stirena, dengan struktur kimia $\text{CH}_2=\text{CHC}_6\text{H}_5$. Stirena dipolimerisasi dengan menggunakan inisiator radikal bebas terutama dalam proses suspensi dan dalam jumlah besar.

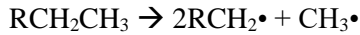
2.2 Perengkahan

Perengkahan merupakan proses pemutusan senyawa kimia yang memiliki rantai panjang ikatan C-C dengan bantuan suhu tinggi (Naimah dan Aidha, 2017). Konversi plastik menjadi bahan bakar hidrokarbon melalui proses perengkahan yaitu pemecahan rantai panjang hidrokarbon yang memiliki berat molekul besar menjadi rantai karbon pendek dengan berat molekul kecil (Wahyudi dkk., 2016). Proses perengkahan dapat dilakukan secara termal, yaitu energi panas yang dipakai untuk mempengaruhi perubahan yang diinginkan, dan secara katalitik yaitu dengan menggunakan katalis untuk menurunkan energi aktivasinya.

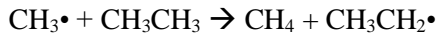
2.2.1 Perengkahan Termal

Perengkahan termal merupakan reaksi dekomposisi hidrokarbon pada kondisi temperatur tinggi. Mekanisme yang berlangsung pada perengkahan termal adalah reaksi radikal bebas. Reaksi tersebut berlangsung cepat sehingga produk yang terbentuk banyak mengandung gas (Trisunaryanti, 2018). Perengkahan termal biasanya melibatkan reaksi sebagai berikut:

1. Reaksi inisiasi, reaksi dimana suatu molekul mengalami pemutusan ikatan karbon-karbon menjadi dua radikal bebas.



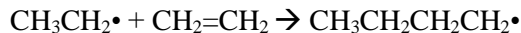
2. Pemindahan hidrogen, reaksi dimana radikal bebas memindah atom hidrogen dari molekul lain.



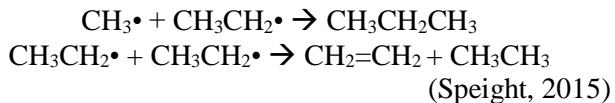
3. Dekomposisi radikal, reaksi dimana radikal bebas terurai menjadi olefin.



4. Penambahan radikal, reaksi dimana radikal bereaksi dengan alkena untuk membentuk radikal bebas tunggal yang lebih besar.



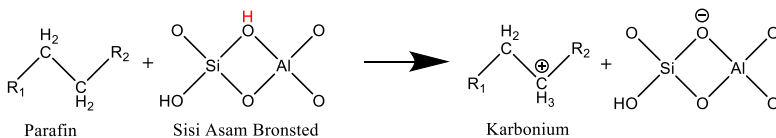
5. Reaksi terminasi, reaksi dimana dua radikal bebas beraksi satu sama lain untuk menghasilkan produk.



2.2.2 Perengkahan Katalitik

Perengkahan katalitik merupakan proses perengkahan yang menggunakan katalis untuk meningkatkan laju reaksi pada penguraian molekul besar menjadi molekul kecil dengan suhu tinggi (Trisunaryanti, 2018). Jenis katalis yang dapat digunakan antara lain silika, alumina, dan zeolit. Proses perengkahan katalitik umumnya menggunakan reaksi ion karbonium. Proton yang dimiliki oleh katalis asam akan ditambahkan ke molekul parafin sehingga terbentuknya ion karbonium (Trisunaryanti, 2018).

Reaksi pembentukan ion karbonium ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Reaksi Pembentukan Ion Karbonium (Le Van Mao dkk., 2013)

Reaksi perengkahan katalitik ditunjukkan oleh pemutusan ikatan C-C parafin menjadi parafin dan olefin yang lebih ringan. Kerusakan ikatan terjadi pada lokasi tertentu pada molekul parafin. Pemutusan ikatan C-C parafin biasanya terjadi pada ikatan β C-C atau pada bagian tengah molekul (Speight, 2015).

2.3 Biodiesel

Biodiesel merupakan metil ester turunan asam lemak ester yang berasal dari lemak hewan dan minyak nabati. Secara kimia, biodiesel dapat diproduksi melalui proses transesterifikasi dengan bantuan katalis homogen basa atau asam. Katalis tersebut bertujuan untuk menurunkan suhu reaksi serta mengatur selektivitas hasil reaksi (Kusuma dkk., 2011). Biodiesel memiliki angka setana yang tinggi dan emisi gas buang yang rendah dibandingkan emisi bahan bakar diesel. Efek pelumasan yang tinggi dari biodiesel dapat memperpanjang umur mesin (Aziz dkk., 2012). Salah satu bahan baku yang dapat digunakan dalam pembuatan biodiesel adalah minyak goreng bekas atau minyak jelantah. Minyak jelantah mengandung asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*, FFA) yang dihasilkan saat pemakaian. Standar mutu biodiesel yang telah ditetapkan ditunjukkan pada Tabel 2.1.

2.4 Minyak Jelantah

Minyak jelantah merupakan minyak limbah yang berasal dari minyak goreng setelah beberapa kali pemakaian rumah tangga. Minyak jelantah mengandung senyawa-senyawa

karsinogenik yang dapat merusak kesehatan manusia (Kadarwati dkk., 2010). Selain dapat merugikan, minyak jelantah juga dapat

Tabel 2.1 Standar mutu biodiesel (Aziz dkk., 2012)

No.	Parameter	Satuan	Nilai	Metode Uji
1	Massa jenis pada 40°C	kg/m ³	850-890	ASTM D 1298
2	Viskositas kinematik pada 40 °C	mm ² /s	2,3-6,0	ASTM D 445
3	Angka setana	-	Min. 51	ASTM D 613
4	Titik nyala	°C	Min. 100	ASTM D 93

Tabel 2.2 Sifat dan komposisi asam lemak bebas dari minyak jelantah (Maneerung dkk., 2016)

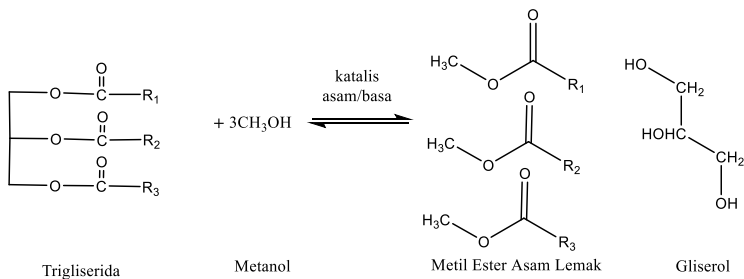
Sifat	Minyak Segar	Minyak Jelantah
Bilangan penyabunan (mg KOH/g)	-	201,5
Bilangan Asam (mg KOH/g)	0,5	1,9
% FFA	0,3	1
% Kandungan Air	0,1	2,6
Densitas pada 15 °C	892	902
Warna	Kuning terang	Kuning gelap
Komposisi % FFA Massa		
Oleat (C ₁₈ H ₃₄ O ₂)	43,9	43,2
Linoleat (C ₁₈ H ₃₂ O ₂)	30,4	30,1
Palmitat (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

dimanfaatkan sebagai bahan bakar alternatif dengan cara mengubahnya menjadi biodiesel. Biodiesel dari minyak jelantah

dibuat melalui proses transesterifikasi. Minyak jelantah memiliki kandungan asam lemak diantaranya oleat 32,192% dan linoleat 5,022% (Hidayati dkk., 2012). Konsentrasi kontaminan yang tinggi seperti asam lemak bebas dan air dalam limbah minyak dapat menurunkan hasil produk biodiesel karena asam lemak dapat bereaksi dengan katalis alkali membentuk sabun. Sifat dan komposisi asam lemak bebas dari minyak jelantah ditunjukkan pada Tabel 2.2.

2.5 Transesterifikasi

Transesterifikasi merupakan tahap konversi trigliserida melalui reaksi dengan alkohol menghasilkan alkil ester dan gliserol. Faktor-faktor yang mempengaruhi transesterifikasi yaitu suhu, kecepatan pengadukan, jenis dan konsentrasi katalis dan perbandingan etanol-asam lemak (Manurung, 2006). Transesterifikasi minyak nabati yang dikatalisis oleh katalis basa merupakan cara konvensional dalam pembuatan biodiesel. Katalis basa yang digunakan seperti NaOH, KOH, atau H_2SO_4 dengan cara dilarutkan dalam metanol (Zuhra dkk., 2015). Reaksi transesterifikasi trigliserida menjadi metil ester ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Reaksi Transesterifikasi dengan Katalis Basa (Maneering dkk., 2016)

Reaksi transesterifikasi sebenarnya berlangsung dalam 3 tahap yaitu sebagai berikut:

1. Reaksi Trigliserida, reaksi trigliserida dengan alkohol dan katalis basa sehingga membentuk produk metil ester dan digliserida.
2. Reaksi Digliserida, reaksi digliserida dengan alkohol dan katalis basa sehingga membentuk produk metil ester dan monogliserida.
3. Reaksi Monogliserida, reaksi monogliserida dengan alkohol dan katalis basa sehingga membentuk produk metil ester dan gliserol.

2.6 Sintesis Pd/Al-MCM-41/keramik

Modifikasi Al-MCM-41 bertujuan untuk meningkatkan keasaman dari katalis tersebut terutama pada reaksi perengkahan yang dapat menghasilkan fraksi hidrokarbon lebih kecil. Keasaman dari katalis Al-MCM-41 dapat ditingkatkan dengan menambahkan konsentrasi logam Al dan menambahkan logam transisi. Salah satu logam transisi yang dapat meningkatkan keasaman yaitu Pd. Logam Pd merupakan logam transisi dengan konfigurasi elektron $4d^8$ yang dapat membentuk senyawa kompleks. Kemampuan katalitik logam palladium dipengaruhi oleh elektron pada orbital d yang berbaur dengan elektron orbital s dan p terdekat yang terdegenerasi. Itu menyebabkan adanya orbital kosong yang dapat digunakan sebagai situs katalitik logam. Dalam mekanisme reaksi perengkahan hidrokarbon, logam cenderung berperan dalam proses dehidrogenasi dan dapat membantu meningkatkan hasil perengkahan karena mekanisme dehidrogenasi memungkinkan terjadinya pemutusan pada ikatan C-C (Dewi dkk., 2016). Sintesis Pd/Al-MCM-41/keramik dilakukan dengan metode impregnasi melalui teknik hidrotermal.

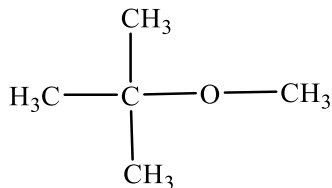
Impregnasi merupakan metode sintesis katalis dengan mengadsorpsi garam prekursor yang mengandung logam aktif didalam larutan ke padatan pengemban. Garam prekursor dalam penelitian ini yaitu $PdCl_2$ yang dilarutkan dalam HCl untuk melarutkan logam Pd agar dapat teremban sempurna pada padatan Al-MCM-41/keramik.

Teknik hidrotermal merupakan teknik untuk memproduksi bahan kimia dengan pelarut air. Teknik hidrotermal menggunakan wadah tertutup (*autoclave*) untuk pemanasan reaktan. Sintesis

hidrotermal dikenal sebagai sintesis kristal pada temperatur dan tekanan tinggi (Ningsih, 2016).

2.7 Metil Tersier Butil Eter (MTBE)

Metil tersier butil eter (MTBE) atau 2-metoksi-2-metil propana memiliki rumus molekul ($C_5H_{12}O$) dengan berat molekul 88,15 mol/g. Gambar 2.3 merupakan struktur Lewis dari MTBE. MTBE merupakan turunan senyawa organik dari senyawa alkana yang tidak berwarna, berbau menyengat dan mudah terbakar. MTBE dibuat melalui reaksi kimia antara isobutil dan metanol. Karakteristik yang dimiliki MTBE yaitu massa jenis sebesar $0,74 \text{ g/cm}^3$, titik nyala pada suhu $-30 \text{ }^\circ\text{C}$, nilai LHV (*low heating value*) sebesar 35.100 kJ/kg. Nilai LHV tersebut lebih kecil bila dibandingkan dengan bensin dengan RON 88 yang memiliki nilai LHV sebesar 44.000 kJ/kg. Nilai angka oktan MTBE berkisar 116-118 (Akhbar, 2013).



Gambar 2.3 Struktur Molekul Metil Tersier Butil Eter (MTBE)

Sumber oksigen pada campuran bahan bakar bensin salah satunya adalah senyawa MTBE. MTBE merupakan penguat oktan yang efektif dan dapat meningkatkan jumlah bensin dengan mengurangi pembentukan dan konversi nafta (Schifter dkk., 2017). Ketukan pada mesin akan berkurang akibat meningkatnya nilai oktan bahan bakar bensin sehingga meningkatkan efisiensi pembakaran (Khalife dkk., 2017).

2.8 Karakterisasi Katalis

2.8.1 X-Ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar-X pada bidang sains digunakan sebagai instrumen untuk menganalisis mineralogi/struktur kristal serta

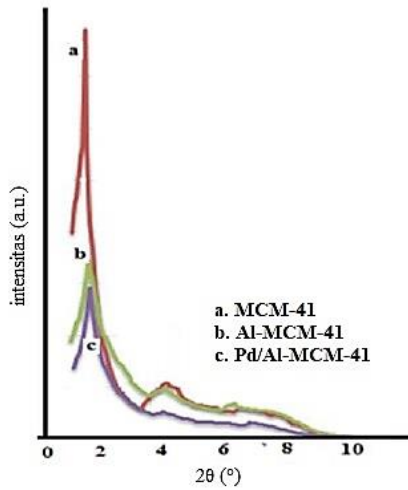
komposisi unsur-unsur kimia suatu bahan. Panjang gelombang sinar-X yang digunakan untuk difraksi sekitar 100 pm atau 1 Angstrom. Energi tinggi dari sinar-x dapat menembus hingga ke bagian dalam material, tidak hanya permukaannya, sehingga dapat memberi informasi struktur susunan atom-atom dari material tersebut secara utuh.

Material kristalin memiliki atom atom penyusun yang bentuknya menyerupai bidang-bidang dengan jarak antar bidang tertentu. Setiap atom dapat memantulkan berkas sinar-x yang disebut sebagai pola difraksi. Pada material amorf tidak terdapat susunan atom-atom yang teratur karena struktur atom - atomnya tersusun acak sehingga amorf tidak dapat menghasilkan pola difraksi.

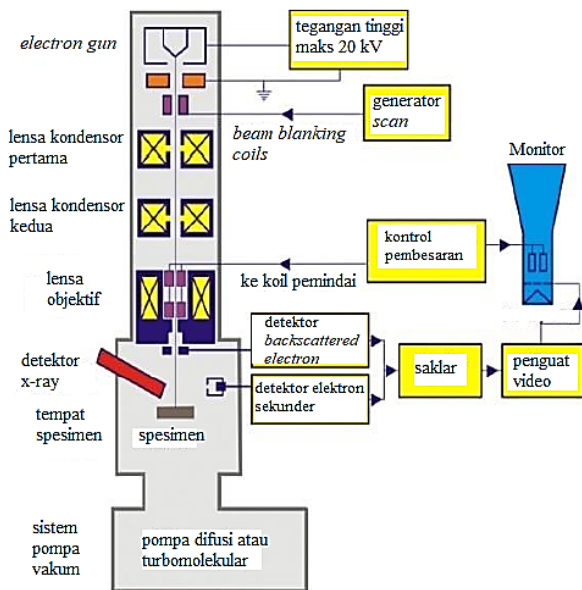
Pada difraktogram XRD, puncak khas dari Al-MCM-41 terdapat pada sudut (2θ) dengan rentang $1-6^\circ$ dengan intensitas sedang sampai tinggi. Intensitas pada sudut $2,23^\circ$ menunjukkan padatan pada bidang (100), dan tiga bidang lainnya antara sudut $4-6^\circ$ yang merefleksikan bidang (110), (200) dan (210) merupakan karakteristik padatan mesopori heksagonal (Zhang dkk., 2016). Pada Gambar 2.4, menunjukkan pola difraksi sudut pendek katalis MCM-41, Al-MCM-41, dan Pd/Al-MCM-41. Terdapat tiga puncak difraksi yang menunjukkan karakteristik dari katalis Al-MCM-41 di $2\theta = 1-5^\circ$ (Juwono dkk., 2017a).

2.8.2 Scanning Electronic Microscope with Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX)

SEM atau *Scanning Electron Microscope*, salah satu jenis mikroskop elektron, digunakan untuk mempelajari permukaan objek padatan. SEM memanfaatkan pancaran elektron energi rendah terfokus dengan cara pemindaian teratur di atas sampel. SEM dapat memberikan informasi struktur permukaan objek serta dapat mengamati struktur secara tiga dimensi. Berkas elektron yang sangat halus membentuk gambar permukaan material pada SEM. Penggunaan SEM bertujuan untuk mengetahui topografi, yaitu tekstur dan sifat permukaan, bentuk, ukuran, morfologi, serta kristalografi dari sampel. Skema diagram SEM ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.4 Hasil XRD sudut pendek katalis (Juwono dkk., 2017a)



Gambar 2.5 Skema Diagram SEM (Sujatno dkk., 2015)

EDX atau *Energy Dispersive X-Ray* berfungsi sebagai pendeteksi komposisi unsur-unsur dengan menggunakan SEM. EDX mampu mendeteksi unsur-unsur yang memiliki nomor atom lebih tinggi dari boron dan unsur-unsur tersebut dapat dideteksi pada konsentrasi paling sedikit 0,1%. Penerapan EDX mencakup evaluasi dan identifikasi material, identifikasi kontaminasi, dan analisis deteksi titik sampai dengan diameter 10 cm (Mutalib dkk., 2017).

2.8.3 Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen

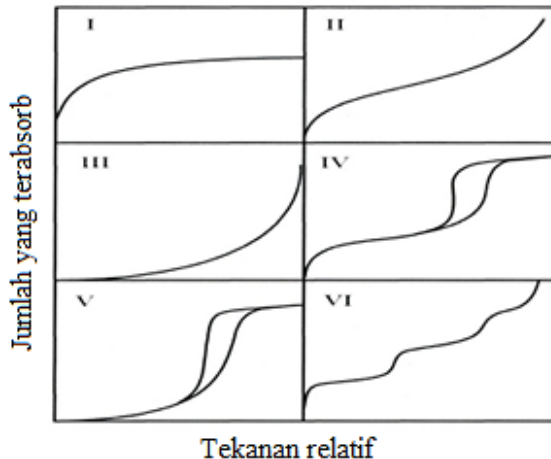
Luas permukaan serta ukuran pori sampel diketahui dengan karakterisasi Nitrogen Adsorpsi-desorpsi. Fenomena adsorpsi molekul gas di permukaan zat padat (melekatnya molekul gas di permukaan zat padat) dijelaskan oleh BET. Luas permukaan yang dimiliki zat padat sangat mempengaruhi kuantitas molekul yang diadsorpsi. Dengan demikian, untuk menentukan luas permukaan zat padat dapat menggunakan BET.

Luas permukaan zat padat dengan massa tertentu akan besar jika zat padat berupa partikel-partikel, jika ukuran partikel makin kecil maka luas permukaan zat padat makin besar. Metode BET memberikan informasi tentang luas permukaan spesifik zat padat. Dengan mendefinisikan luas permukaan spesifik sebagai perbandingan luas total permukaan zat padat terhadap massanya maka luas permukaan spesifik makin besar jika ukuran partikel makin kecil. Pada material berpori, porositas zat padat dapat menentukan luas permukaan spesifik. Dengan kata lain, porositas zat padat dapat ditentukan dengan metode BET.

Klasifikasi adsorpsi isothermal IUPAC ditunjukkan pada Gambar 2.6. Terdapat 6 tipe karakteristik adsorben yaitu mikropori (tipe I), tidak berpori atau makropori (tipe II, III, dan VI), dan mesopori (tipe IV dan V). Histeresis pada tipe IV dan V terklasifikasi dan disetujui bahwa terdapat korelasi antara bentuk *loop* histeresis dan tekstur (seperi distribusi ukuran pori, geometri pori, dan konektivitas) dari material mesopori.

2.8.4 Penentuan Asam Basa Permukaan Katalis

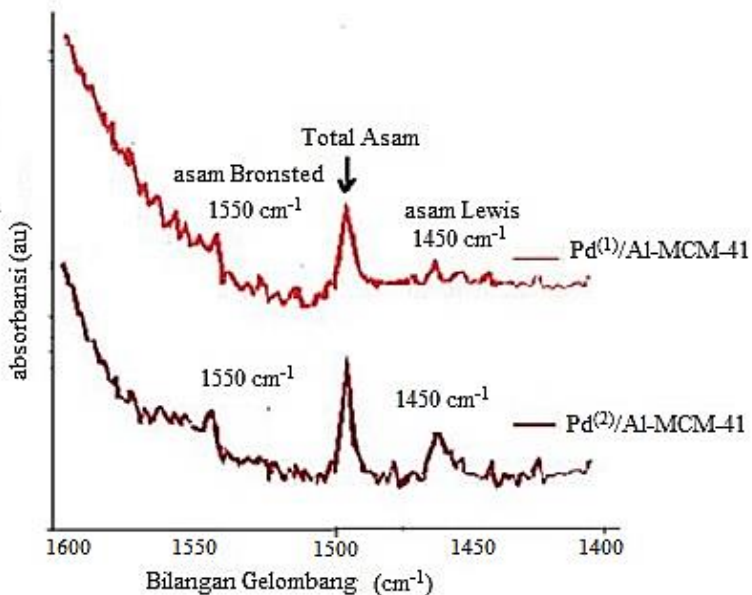
Sifat asam atau basa permukaan yang dimiliki oleh katalis sangat berpengaruh pada berbagai transformasi senyawa organik.



Gambar 2.6 Klasifikasi adsorpsi-desorpsi IUPAC (Alothman, 2012)

Pengertian dari sisi asam adalah sisi dimana senyawa bersifat basa akan teradsorb secara kimia begitu sebaliknya. Asam Bronsted memiliki kecenderungan menyumbang proton dan basa Bronsted cenderung menerima proton. Sedangkan asam Lewis dikenal sebagai aseptor pasangan elektron sementara basa Lewis bertindak sebagai donor pasangan elektron.

Keasaman permukaan katalis dapat ditentukan dengan metode *Fourier Transform Infrared* (FTIR) salah satunya dengan senyawa piridin sebagai basa. Interaksi antara molekul piridin dengan sisi asam Bronsted pada permukaan akan memunculkan pita serapan pada daerah bilangan gelombang $1.540-1.545 \text{ cm}^{-1}$, sedangkan interaksi antara probe molekul dengan sisi asam Lewis permukaan muncul pada serapan bilangan gelombang sekitar $1.440-1452 \text{ cm}^{-1}$ (Prasetyoko dkk., 2016). Juwono dkk (2017) melaporkan bahwa katalis Pd/Al-MCM-41 memiliki dua macam sisi aktif yaitu asam Bronsted dan asam Lewis pada bilangan gelombang 1.550 cm^{-1} dan 1.450 cm^{-1} seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7.



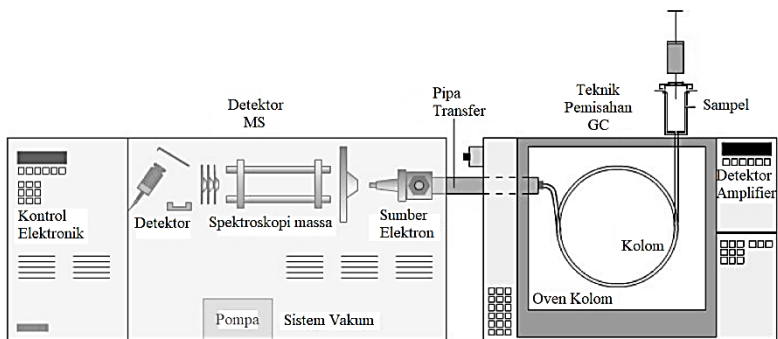
Gambar 2.7 Absorbansi FTIR Piridin Katalis Pd/Al-MCM-41

2.9 Karakterisasi Bahan Bakar Cair

2.9.1 *Gas Chromatography – Mass Spectroscopy* (GC - MS)

Kromatografi Gas (GC) merupakan salah satu jenis kromatografi dimana fase gerakanya adalah gas, pada umumnya gas yang digunakan adalah gas inert seperti nitrogen atau helium, dan fase diamnya adalah cairan lapisan pada padatan pendukung yang disebut kolom. Sampel yang diinjeksikan melewati kolom dengan aliran gas inert, komponen dalam sampel akan terpisah karena perbedaan waktu untuk melewati kolom. Spektrometri Massa (MS), merupakan instrumen untuk mengidentifikasi struktur komponen sampel dengan didapatkan massa relatif molekul komponen dan fragmentasinya. Pada Gambar 2.8 ditunjukkan GC-MS merupakan gabungan metode analisis sampel GC dan MS.

GC akan melakukan pemisahan dan MS sebagai detektor akan menunjukkan fragmentasi dan spektrum massa suatu molekul. Adanya metode ini dapat memberi keuntungan karena senyawa yang akan dipisahkan akan langsung dideteksi strukturnya. Senyawa yang akan dianalisis dengan GC-MS harus dalam keadaan yang mudah menguap dan stabil secara termal. Selain itu, senyawa perlu diderivatisasi sebelum analisis untuk menghilangkan efek adsorpsi yang tidak diinginkan yang akan mempengaruhi kualitas data yang diperoleh (Wu dkk., 2012).



Gambar 2.8 Skematik dari GC-MS (Hussain dan Maqbool, 2014)

2.9.2 Densitas

Densitas atau massa jenis merupakan salah satu sifat fisik bahan bakar cair. Massa jenis sangat berpengaruh pada banyaknya bahan bakar yang dapat diinjeksikan dalam sistem injeksi sehingga sistem pembakaran dapat berjalan baik. Densitas bahan bakar memiliki peran penting dalam desain pipa semprot dikarenakan akan mempengaruhi operasional mesin kedepannya. Bila nilai densitas terlalu tinggi akan berpengaruh terhadap laju alirnya yang berdampak pada keausan hingga kerusakan dalam mesin. Untuk mendapatkan putaran mesin yang cepat maka laju alir bahan bakar juga harus cepat (Sakthivel dkk., 2018).

2.9.3 Titik Nyala

Titik nyala adalah temperatur terendah saat uap dari bahan bakar cair mulai terbakar. Penentuan titik nyala bahan bakar

penting untuk dilakukan karena berhubungan dengan keamanan dan keselamatan dalam penyimpanan dan penanganannya. Nilai titik nyala yang tinggi akan memudahkan penyimpanan bahan bakar, karena bahan bakar tidak akan mudah terbakar pada suhu ruang (Aziz dkk., 2012). Nilai titik nyala yang terlalu rendah dapat menyebabkan ledakan-ledakan kecil karena mudah terbakar. Titik nyala suatu bahan bakar menandakan batas aman terhadap bahaya kebakaran selama penyimpanan, penanganan, dan transportasi. Titik nyala mengindikasikan tinggi rendahnya volatilitas dan kemampuan untuk terbakar dari suatu bahan bakar (Setiawati dan Edwar, 2012).

2.9.4 Nilai Kalor

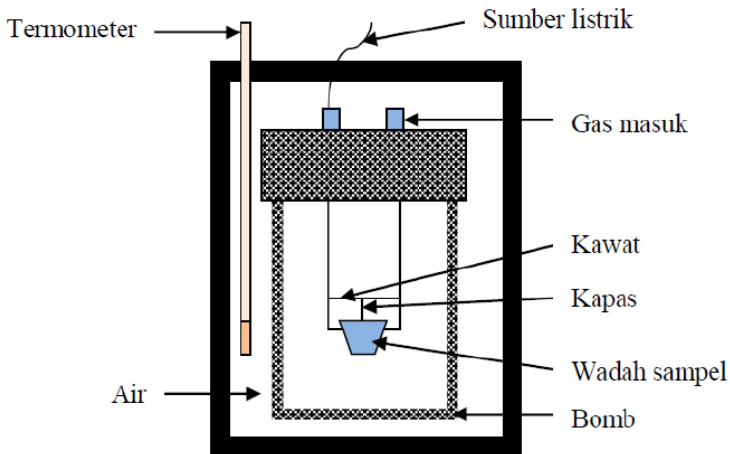
Kalorimetri merupakan studi perpindahan panas selama proses fisika dan kimia. Pengukur panas telah dikembangkan dengan menggunakan beragam peralatan yang disebut kalorimeter. Jumlah energi yang dihasilkan oleh suatu bahan per satuan massa setelah terbakar sempurna ditunjukkan oleh nilai kalor. Semakin tinggi nilai kalor suatu bahan bakar maka energi yang dihasilkan pun akan semakin efisien, karena menghasilkan panas yang lebih besar dengan massa yang sedikit (Irzon, 2012). Aplikasi perangkat bom kalorimeter dapat menentukan nilai kalor pada bahan bakar dan dapat dihitung dengan persamaan (Agrariksa dkk., 2013).

Sistem terisolasi (tidak ada perpindahan energi maupun massa) merupakan prinsip kerja dari bom kalorimeter seperti pada Gambar 2.8. Reaksi yang terjadi di dalam bom kalorimeter akan menghasilkan kalor dan akan diserap oleh air dan bom pada suhu yang sama. Kalor yang dihasilkan ditunjukkan dengan adanya kenaikan suhu air yang terbaca oleh termometer.

2.9.5 Angka Oktan

Research Octane Number (RON) atau angka oktan adalah ukuran standar kinerja bahan bakar. Angka oktan yang tinggi menunjukkan bahwa bahan bakar dapat menahan kompresi yang tinggi sebelum terjadi ketukan. Jumlah oktan pada bahan bakar merupakan parameter penting dalam menentukan kualitas bahan bakar. Kinerja mesin dan emisi gas buang juga dipengaruhi oleh

angka oktan (Teoh dkk., 2018). Pada dasarnya, skala RON didasarkan pada dua hidrokarbon parafin yaitu iso-oktan sebagai



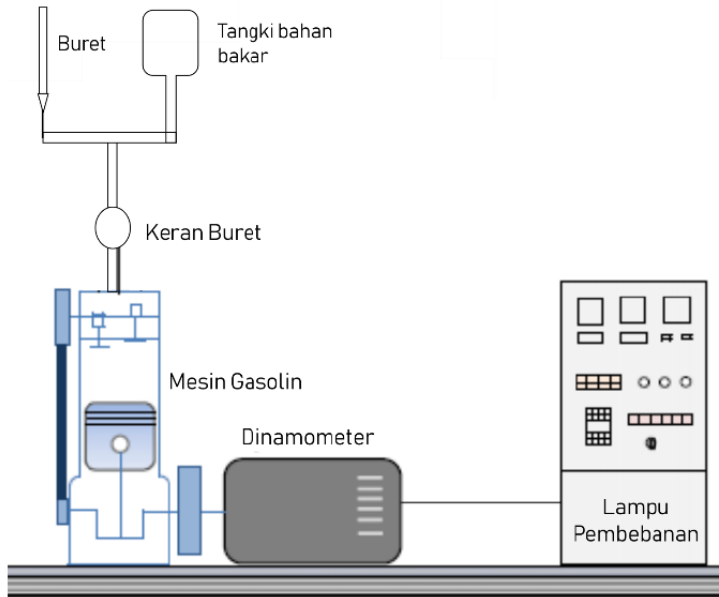
Gambar 2.9 Skema Bom Kalorimeter

nilai 100 dan n-heptana sebagai nilai nol. Dua komponen tersebut disebut referensi primer (PRF) yang menentukan titik tengah dalam skala RON. Selain itu, desain mesin dan rasio kompresi merupakan faktor utama yang menentukan jumlah oktan bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin. Umumnya, bahan bakar berkualitas tinggi memiliki sifat pemanasan cepat, karakteristik pembakaran bersih, anti karat, lapisan karburator, dan ketukan mesin.

2.10 Karakterisasi Performa Bahan Bakar Cair pada Mesin Gasolin

Performa dan efisiensi dari bahan bakar cair penting untuk diuji pada mesin gasolin sebelum diaplikasikan pada kendaraan bermotor. Variabel yang dapat diuji pada performa bahan bakar cair antara lain tenaga putaran mesin, *Brake Spesific Fuel Consumption* (BSFC), *Brake Thermal Efficiency* (BTE), *Brake Spesific Energy Consumption* (BSEC), *Total Heat* (Q_m) dan rasio relatif udara/bahan bakar (Topgül, 2015). Gambar 2.9

menunjukkan skema pengujian bahan bakar cair pada mesin gasolin.



Gambar 2.10 Skema Pengujian pada Mesin Gasolin (Topgül, 2015)

Brake Thermal Efficiency (BTE) adalah efisiensi energi dari suatu bahan bakar menjadi kerja mekanik dalam mesin. Nilai kalor bahan bakar cair dan kemampuan mesin mengoptimasi bahan bakar menjadi daya pada poros mempengaruhi efisiensi pada mesin gasolin. Selain itu, densitas dan kekentalan bahan bakar cair juga mempengaruhi BTE pada mesin pembakaran.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alu dan mortar, oven, *press pellet*, desikator, *chamber reactor*, krusibel, furnace, termometer, neraca analitik, dan mesin generator set gasolin.

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah plastik polistirena (PS), minyak goreng jelantah, katalis Al-MCM-41/keramik diperoleh dari penelitian sebelumnya oleh Juwono dkk. (2013), PdCl₂ dari Sigma-Aldrich, Premium (RON 88), Metil Tersier Butil Eter dari Merck, Nitrogen UHP, dan Metanol p.a. dari Merck, NaOH dari Sigma-Aldrich.

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Pembuatan Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik

Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik dibuat dengan teknik hidrotermal menggunakan metode impregnasi basah (Juwono dkk., 2017b). Pada penelitian ini, metode impregnasi dilakukan dengan teknik hidrotermal menggunakan pelarut HCl. 0,1 gram padatan PdCl₂ dilarutkan dalam 22 mL HCl kemudian larutan PdCl₂ diimpregnasikan ke dalam 7 gram katalis Al-MCM-41/keramik. Pencampuran dilakukan dalam suhu ruang dan diaduk secara merata perlahan selama 6 jam. Reaksi kalsinasi dilakukan menggunakan furnace pada suhu 500 °C selama 1 jam. Katalis dimasukkan dalam reaktor tertutup dan dialiri gas hidrogen selama 2 menit. Selanjutnya reaktor tersebut dipanaskan dalam oven pada suhu 150 °C selama 1 jam. Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik ditampung dalam plastik klip.

3.2.2 Produksi Hidrokarbon dari Pirolisis Limbah Plastik Polistirena

Sampel pada penelitian ini berupa limbah plastik polistirena (PS) bekas berwarna putih. Sampel dipotong dengan ukuran 1-10

cm². Potongan limbah plastik PS kemudian dipanaskan pada baskom aluminium hingga menjadi lempengan. Lempengan limbah plastik PS ditimbang dengan berat 1 kg dan disimpan dalam tempat kering.

Perengkahan termal limbah plastik dilakukan dalam reaktor tertutup. Pada reaktor ini terdapat bagian utama yakni *chamber reactor*, konektor, kondensor, dan labu penampung.

Sebanyak 1 kg sampel limbah plastik PS lempengan dimasukkan ke dalam *chamber reactor*. Konektor disusun sedemikian rupa hingga melekat di sisi atas *chamber reactor*. Reaktor dipanaskan hingga mencapai suhu 300 °C selama 120 menit. Sampel dikonversi menjadi gas dan dialirkan menuju kondensor melalui konektor. Hidrokarbon cair ditampung dalam labu penampung. Hasil dari pirolisis limbah plastik polistiren dapat disebut dengan PS/Ter.

3.2.3 Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah

Minyak goreng dipanaskan hingga mendidih sebanyak 5 kali pemanasan. Setelah menjadi minyak jelantah, minyak tersebut ditampung dalam botol kaca. Proses transesterifikasi dilakukan dengan penambahan 200 mL minyak jelantah ke dalam labu leher tiga setelah itu dipanaskan pada suhu 50 °C, selanjutnya penambahan 51,3 mL metanol dimana telah dilarutkan katalis basa NaOH sebanyak 0,5% (0,895 gram) dari berat minyak jelantah (179 gram) ke dalamnya. Reaksi diaduk dengan magnetic stirrer pada 700 rpm dan suhu dijaga 50 °C selama 2 jam. Hasil transesterifikasi ditempatkan pada corong pisah dan ditunggu hingga 24 jam hingga terbentuk dua lapisan. Biodiesel diperoleh pada lapisan atas.

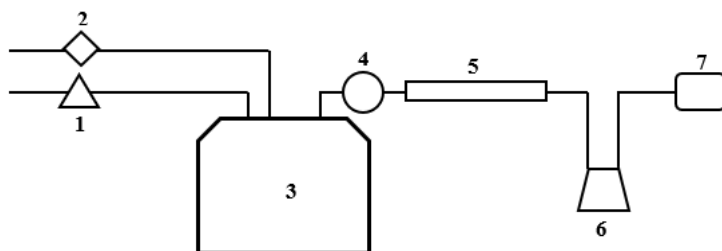
3.2.4 Preparasi Katalis

Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik diaktivasi dengan suhu 100 °C dalam oven. Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik kemudian dimasukkan ke dalam desikator. Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik dibentuk menjadi *pellet* menggunakan *press pellet* sebanyak 10 *pellet* dengan berat masing-masing 0,9 gram.

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

Reaktor diisi dengan minyak dari limbah polistiren dan biodiesel minyak jelantah dengan perbandingan 1 : 1. *Pellet* katalis Pd/Al-MCM-41/keramik dimasukkan ke dalam *tubular reactor*. Pada bagian *tubular reactor* diberi kassa kawat, *glass wool*, ditambahkan 10 *pellet*, dan ditutup *glass wool*. Perengkahan katalitik plastik polistiren dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dilakukan dalam reaktor tertutup. Jenis reaktor yang digunakan yaitu *continuous reactor* yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Pada reaktor ini terdapat bagian utama yakni *chamber reactor* dan *tubular reactor*.

Minyak plastik polistiren sebanyak 500 mL dicampurkan dengan 500 mL biodiesel minyak jelantah. Setelah itu, campuran dimasukkan ke dalam *chamber reactor* dan ditutup dengan *tubular reactor*. *Tubular reactor* disambungkan dengan kondensor dan labu penampung. Hasil perengkahan ditampung dalam labu penampung dan sebagian dipindahkan ke dalam botol vial 10 mL pada waktu 60 menit dan 120 menit untuk pengujian GC-MS. Hasil perengkahan katalitik plastik polistiren dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dapat disebut dengan PSJ/Kat.



Keterangan:

1. Aliran Gas N₂
2. Aliran *Feedstock*
3. Tabung Reaktor
4. Konektor

5. Kondensor
6. Penampung Minyak
7. GC-MS

Gambar 3.1 Skema *Continous Reactor*

Perengkahan katalitik plastik polistiren tanpa penambahan biodiesel minyak jelantah juga dilakukan dengan metode yang sama dan hasilnya dapat disebut dengan PS/Kat. Hasil perengkahan katalitik plastik polistiren dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah pada waktu 60 menit dan 120 menit masing – masing dapat disebut dengan PSJ/Kat60 dan PSJ/Kat120. Hasil perengkahan katalitik plastik polistiren tanpa biodiesel minyak jelantah pada waktu 60 menit dan 120 menit masing – masing dapat disebut dengan PS/Kat60 dan PS/Kat.

3.2.6 Karakterisasi Katalis Pd/Al-MCM-41

Ukuran pori dan porositas katalis dievaluasi menggunakan adsorpsi-desorpsi N_2 (*Micromeritics TriStar II 3020 Automatic physisorption Analyzer*). Katalis Pd/Al-MCM-41 divakum pada $500\text{ }^\circ\text{C}$ selama 1 jam untuk menghilangkan gas yang terkandung di dalamnya. Persamaan Brunauer-Emmett-Teller digunakan untuk menghitung area permukaan dengan menggunakan data adsorpsi yaitu $p/p_0 = 0,05 - 0,25$. Metode *Barret-Joyner-Halenda* (BJH) digunakan untuk mengukur volume pori.

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

Ukuran partikel penyusun, morfologi, dan unsur permukaan sampel dievaluasi menggunakan *Scanning Electron Microscope with Energy Dispersive X-ray* (SEM-EDX).

Keasaman pada permukaan katalis dievaluasi menggunakan *Pyridine-Adsorption Fourier Transform Infrared* (Piridin-FTIR).

3.3 Produksi Campuran Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair yang telah diproduksi melalui perengkahan katalitik minyak plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dicampur dengan bahan bakar Premium (RON 88). Campuran bahan bakar cair kemudian ditambah dengan aditif Metil Teriser Butil Eter (MTBE) dan dihomogenisasi selama 10

menit dengan *stirrer*. Campuran bahan bakar cair dengan variasi volume dapat ditinjau pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jenis campuran bahan bakar cair

Variasi <i>Feedstock</i>	Volume <i>Feedstock</i> (mL)	Volume Premium (mL)	Volume MTBE (mL)	Campuran Bahan Bakar Cair
PSJ/Kat	75	750	18,4	CPSJ/Kat1
	150	750	18,4	CPSJ/Kat2
	225	750	18,4	CPSJ/Kat3
PS/Kat	75	750	18,4	CPS/Kat
Std	-	750	18,4	Std

3.4 Karakterisasi Bahan Bakar Cair

Karakterisasi bahan bakar cair dilakukan pengujian dengan analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GC-MS) untuk mengetahui komposisi fraksi hidrokarbon mirip gasolin. Karakterisasi campuran bahan bakar cair dilakukan dengan analisis karakteristik sifat fisik seperti densitas, titik nyala, nilai kalor dan angka oktan.

3.4.1 *Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer* (GC-MS)

Bahan bakar cair hasil perengkahan dikarakterisasi dengan instrumen GC-MS *Agilent Technologies 7890A GC-5975MS*. Sebanyak 50 mg sampel produk bahan bakar cair dilarutkan dalam 1 mL n-heksana, lalu sampel diinjeksikan ke inlets kromatofragi dan diproses selama 42 menit. *Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer* (GC-MS) dikondisikan sebagai berikut :

1. Inlets: Jumlah suntikan 1 μL , suhu 310 °C, tekanan 13 KPa, dan rasio 66,8.
2. Oven: suhu awal 50 °C selama 5 menit, suhu akhir 300 °C selama 15 menit, dan laju 5 °C/menit.
3. Kolom: tipe Rtx 5 MS, gas helium, dan laju 5 °C/menit.

3.4.2 Penentuan Densitas Campuran Bahan Bakar Cair

Penentuan densitas campuran bahan bakar cair dapat dilakukan dengan piknometer. Piknometer kosong dengan volume 10,182 mL ditimbang massanya menggunakan neraca analitik. Kemudian piknometer diisi dengan campuran bahan bakar cair hingga memenuhi saluran rongga tutup piknometer kemudian ditimbang kembali massanya. Densitas sampel campuran bahan bakar cair diperoleh dari selisih massa piknometer terisi dan piknometer kosong terhadap volume piknometer. Penentuan densitas bahan bakar cair dilakukan pada suhu 15 °C (Juwono dkk., 2019).

3.4.3 Penentuan Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair

Campuran bahan bakar cair dituangkan ke dalam cawan porselen. Termometer digital dipasang di atas cawan porselen hingga menyentuh campuran bahan bakar cair. Sumber api diperoleh dari pemantik api yang dipantik secara terus menerus pada permukaan sampel. Suhu yang tercatat merupakan suhu yang terbaca pada termometer saat terjadi nyala pertama setelah diberikan sumber api (Juwono dkk., 2019).

3.4.4 Penentuan Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair

Penentuan kalor pembakaran produk campuran bahan bakar cair menggunakan bom kalorimeter. Sebanyak 0,1 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 (Juwono dkk., 2019). Nilai kalor yang terserap dihitung menggunakan persamaan.

3.4.5 Penentuan Angka Oktan Campuran Bahan Bakar Cair

Pengujian *Research Octane Number* (RON) campuran bahan bakar cair ini dilakukan menggunakan *Octane Meter* untuk mengetahui standar pengukuran dari performa mesin dan kualitas bahan bakar (Juwono dkk., 2019). Pengujian dilakukan di Laboratorium Energi LPPM ITS. Pengukuran performa campuran

bahan bakar cair dilakukan menggunakan mesin *Generator Set* gasolin untuk mengetahui nilai efisiensi dari campuran bahan bakar cair terhadap pembebanan yang dihasilkan selama proses pembakaran dalam mesin.

3.5 Penentuan Performa Campuran Bahan Bakar Cair pada Mesin Gasolin

Campuran bahan bakar cair kemudian diuji efisiensi yang dihasilkan oleh waktu dengan mengukur waktu pembakaran 20 mL bahan bakar cair terhadap pembebanan yang dihasilkan oleh proses pembakaran dalam satuan watt. Campuran bahan bakar cair diuji pada range 200 watt. Pengujian dilakukan di Departemen Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Industri ITS.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Sintesis Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik

Pada penelitian ini, katalis yang digunakan yaitu katalis Pd/Al-MCM-41/keramik. Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik disintesis melalui katalis Al-MCM-41/keramik dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Juwono dkk (2018). Katalis Al-MCM-41/keramik berupa serbuk berwarna putih dan sedikit abu-abu yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Katalis Al-MCM-41/keramik

Sintesis katalis Pd/Al-MCM-41/keramik menggunakan metode impregnasi basah melalui proses hidrotermal. Larutan HCl digunakan sebagai pelarut serbuk PdCl₂ yang bertujuan untuk melarutkan logam Pd lebih mudah agar logam tersebut dapat masuk pada support dengan baik. Larutan PdCl₂ dan serbuk Al-MCM-41/keramik dicampur dan diaduk selama 6 jam hingga dihasilkan campuran yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Kalsinasi bertujuan untuk mengaktivasi katalis Pd/Al-MCM-41/keramik agar dapat digunakan dalam perengkahan. Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik yang didapatkan berbentuk serbuk berwarna coklat seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Campuran Larutan PdCl_2 dan Serbuk Al-MCM-41/keramik



Gambar 4.3 Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik

4.2 Produksi Bahan Bakar Cair

Pada penelitian ini, limbah plastik jenis polistiren (PS) dan minyak jelantah diolah menjadi bahan bakar cair (BBC) dengan kandungan fraksi hidrokarbon menyerupai gasolin melalui metode perengkahan. Hasil produksi BBC ini diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai pengganti bahan bakar komersil. Fraksi hidrokarbon serta performa BBC perlu diteliti karena berdampak pada efisiensi BBC yang diharapkan dapat menggantikan bahan

bakar komersil jenis Premium. Pengujian karakterisasi fisik yang dilakukan pada hasil BBC berupa nilai densitas, titik nyala, kalor dan angka oktan untuk mengetahui BBC yang dihasilkan memiliki karakteristik yang serupa dengan bahan bakar komersil jenis Premium berdasarkan spesifikasi bahan bakar menurut SNI-06-3506-1994 yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Selain itu, dilakukan uji performa BBC pada mesin gasolin.

Uji menggunakan analisis *Gas Chromatography – Mass Spectrometer* (GC-MS) dilakukan untuk mengetahui komponen penyusun pada BBC yang dihasilkan. Jika karakteristik fisik, komponen dan performa yang dihasilkan BBC memenuhi spesifikasi dari bahan bakar jenis Premium maka BBC ini dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pengganti bahan bakar jenis Premium serta mengatasi masalah pengolahan limbah plastik PS.

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

Sifat	Satuan	Batasan	
		Min	Maks
Angka Oktan	RON	88,0	-
Titik didih akhir	°C	-	205
Densitas Pada 15°C	kg/m ³	715	770
Warna	-	Kuning	
Kandungan Pewarna	g/100L	-	0,5

Permasalahan yang muncul pada penelitian ini berupa pengaruh katalis Pd/Al-MCM-41/keramik terhadap fraksi hidrokarbon serta performa campuran bahan bakar cair pada mesin *Generator Set* dengan bahan bakar berbasis gasolin.

4.2.1 Hasil Produksi Bahan Bakar Cair Plastik

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini berupa limbah stirofoam polistiren (PS). Limbah stirofoam PS biasanya digunakan dalam kemasan alat elektronik sebagai pelindung. Plastik PS yang digunakan dalam penelitian ini berupa stirofoam bekas seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.

Styrofoam yang digunakan berwarna putih dan kaku. Styrofoam dikumpulkan dari tempat sampah di sekitar Departemen Kimia, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Ukuran styrofoam dibuat menjadi 1-10 cm² untuk mempermudah membuat lempengan plastik dengan cara pemanasan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Styrofoam diubah menjadi lempengan plastik agar memperkecil volume limbah sehingga reaktor menampung lebih banyak limbah plastik PS serta mempermudah reaksi perengkahan plastik. Lempengan plastik ditimbang dengan berat 1 kg untuk satu kali proses perengkahan. Pada penelitian ini dilakukan pengolahan plastik menjadi bahan bakar cair dengan perengkahan pertama tanpa katalis yaitu perengkahan termal.

Sintesis bahan bakar cair dilakukan dengan prinsip destilasi. Lempengan limbah plastik PS sebanyak 1 kg dimasukkan ke dalam reaktor. Reaktor dipanaskan hingga mencapai 300 °C selama 2 jam. Sampel dikonversi menjadi gas dan dialirkan menuju kondensor melalui konektor. Hasil berupa gas dikondensasi menjadi bahan bakar cair oleh kondensor. Bahan bakar cair ditampung dalam labu penampung. Tabel 4.2 menunjukkan dua kali reaksi perengkahan plastik didapatkan yield minyak plastik polistiren (PS/Ter) rata-rata sebesar 83,15%. Gambar 4.6 merupakan produk minyak plastik yang didapatkan berupa cairan kuning tua dan berbau menyengat.



Gambar 4.4 Styrofoam / Polistiren



Gambar 4.5 Lempengan Limbah Plastik Polistiren

Tabel 4.2 Persentase yield minyak plastik polistiren

Massa (gr)	Densitas (g/mL)	Volume Plastik PS (mL)	Volume Minyak PS (mL)	Yield (%)	Rata-Rata Yield (%)
999,69	0,865	1155,7	950	82,2	83,15
1131,38	0,865	1307,51	1100	84,1	



Gambar 4.6 *Feedstock* Minyak Polistiren

4.2.2 Hasil Sintesis Biodiesel Minyak Jelantah Melalui Metode Transesterifikasi

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

Tahap selanjutnya adalah pembuatan larutan metoksi. Pembuatan larutan metoksi ini bertujuan untuk membentuk senyawa alkoksida sebagai nukleofilik untuk menyerang ikatan karbonil yang terdapat pada trigiliserida dalam minyak. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan biodiesel yaitu minyak jelantah dicampurkan pada larutan metoksi dalam labu leher tiga, direfluks pada suhu 50 °C selama 120 menit, kemudian distirer dengan kecepatan pengadukan 550 rpm. Rangkaian alat refluks sintesis biodiesel dari minyak jelantah ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Rangkaian Refluks Sintesis Biodiesel

Setelah proses refluks selesai, campuran dipindahkan ke corong pisah untuk memisahkan fase yang terbentuk. Gambar 4.8 merupakan gambar fase yang terpisah pada corong pisah. Lapisan pertama (fase atas) diduga metil ester dimana biodiesel terbentuk

dan lapisan kedua (fase bawah) diduga gliserol. Pembentukan lapisan ini disebabkan karena perbedaan 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, uji nyala dilakukan pada fase atas. Fase atas menyala pada suhu $130\text{ }^\circ\text{C}$ sesuai dengan titik nyala biodiesel.



Gambar 4.8 Pemisahan Fasa Atas dan Fasa Bawah

Biodiesel yang terbentuk berwarna oranye jernih seperti Gambar 4.9. Sintesis biodiesel dengan katalis basa diawali dengan reaksi antara metanol dengan katalis basa menghasilkan ion alkoksida yang berfungsi sebagai nukleofilik. Ion ini akan menyerang gugus karbonil pada rantai minyak dan terjadi penataan ulang pada trigliserida membentuk metil ester dan katalis basa.

Karakterisasi fisik biodiesel seperti densitas, dan titik nyala dilakukan untuk mengetahui diperolehnya biodiesel. Nilai densitas dan titik nyala masing masing adalah $0,88\text{ g/mL}$ dan 130°C . Menurut *Badan Standarisasi Nasional* (2015) bahwa biodiesel memiliki nilai densitas dengan rentang sekitar $0,85\text{ - }0,89\text{ g/mL}$ dan titik nyala mulai dari suhu 100°C . Berdasarkan data uji fisik menunjukkan bahwa telah diperoleh biodiesel dari minyak jelantah.



Gambar 4.9 Hasil Biodiesel

4.2.3 Hasil Produksi Bahan Bakar Cair dari Limbah Plastik Polistiren dengan Ko-Reaktan Biodiesel Minyak Jelantah

Sampel yang digunakan untuk sintesis bahan bakar cair plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah ini berupa bahan bakar cair plastik dan biodiesel minyak jelantah. Reaktan yang digunakan pada percobaan ini adalah minyak plastik polistiren (PS/Ter) dengan ko-reaktan metil ester dari hasil transesterifikasi minyak jelantah. Perengkahan katalitik minyak plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dilakukan dalam reaktor tertutup dimana reaktor yang digunakan adalah *continuous reactor* yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. *Chamber reactor* digunakan sebagai tempat terjadinya proses perengkahan. Reaktan berupa campuran dari minyak polistiren dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dimasukkan pada *chamber reactor*. Gas nitrogen dialirkan pada *chamber reactor* untuk menghilangkan gas oksigen yang ada pada sistem reaktor sehingga menekan pengotor gas oksigen pada bahan bakar cair yang dihasilkan.

Pemanasan dilakukan pada suhu 300 °C selama 120 menit. Pemanasan menyebabkan gerakan antar atom dalam senyawa semakin cepat sehingga ikatan polimer akan mengalami pemutusan. Pemanasan ini akan mengubah fase padat plastik

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 menunjukkan perbedaan fraksi pada produk hasil perengkahan. Fraksi berat akan menjadi kokas di dalam *chamber reactor* sedangkan fraksi ringan akan menekan ke segala arah menuju *tubular reactor*. *Tubular reactor* digunakan sebagai wadah katalis dan tempat terjadinya perengkahan katalitik. Di dalam *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*. Selain itu, *glass wool* juga memiliki sifat isolator panas sehingga tahan terhadap suhu tinggi pada rangkaian reaktor.



Gambar 4.10 (a) Produk Bahan Bakar Cair (b) Kokas

Perengkahan katalitik mengakibatkan terjadinya pemutusan ikatan karbon beta pada fraksi ringan reaktan dan sekaligus berikatan pada sisi aktif katalis. *Tubular reactor* diletakkan pada bagian atas reaktor sehingga gas hasil perengkahan dapat mengalir dengan mudah menuju *tubular reactor* untuk mengalami reaksi katalisis. *Tubular reactor* terhubung langsung dengan kondensor yang mengubah fase gas reaktan menjadi fase cair hasil perengkahan katalitik. Hasil berupa cairan akan tertampung di dalam labu penampung yang terletak di bawah kondensor. Hasil

bahan bakar cair sebagian ditampung dalam vial 10 mL pada waktu 60 menit dan 120 menit untuk pengujian GC-MS. Pengujian GC-MS dilakukan untuk mengetahui konversi fraksi hidrokarbon dengan ditinjau dari lamanya proses perengkahan. Produk hasil perengkahan katalitik dan kokas ditunjukkan pada Gambar 4.10.

Tabel 4.3 Volume bahan bakar cair (BBC) dan kokas hasil perengkahan katalitik

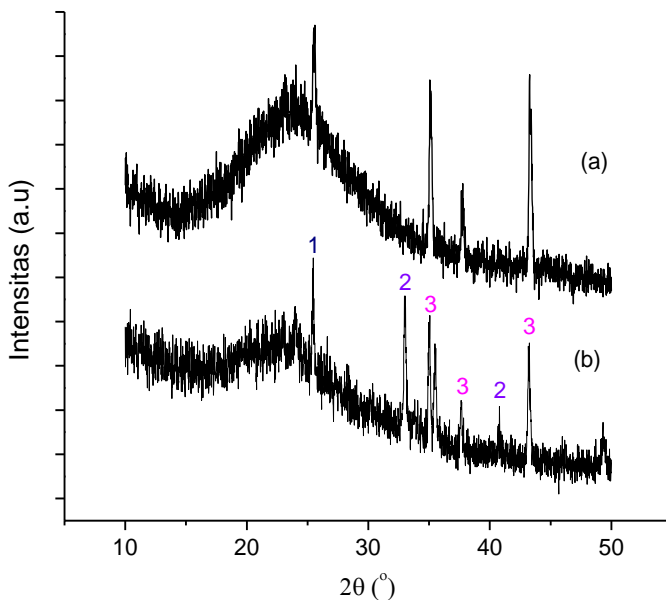
BBC	Volume BBC (mL)	Persentase BBC (%)	Volume Kokas (mL)	Persentase Kokas (%)
PSJ/Kat	893	89,3	21	2,1
PS/Kat	439	87,8	42	8,4

Hasil bahan bakar cair yang didapatkan tidak jauh berbeda dilihat dari persentase BBC yang ditunjukkan pada Tabel 4.3. Pembentukan kokas terjadi karena pengaruh sistem reaktor yang menghambat fraksi hidrokarbon rendah sulit menembus *tubular reactor* sehingga fraksi tersebut kembali ke *chamber reactor* membentuk kokas.

4.3 Karakterisasi Katalis

4.3.1 Hasil Karakterisasi XRD

Hasil karakterisasi XRD katalis Pd/Al-MCM-41/keramik ditunjukkan pada Gambar 4.11 . Hasil menunjukkan pada $2\theta = 25,44^\circ$ seperti pada nomor 1 di Gambar 4.11 merupakan puncak kristal khas dari Al pada rentang 2θ di atas 20° . $2\theta = 33,00^\circ$ dan $40,74^\circ$ merupakan puncak unsur Pd yaitu seperti ditunjukkan pada nomor 2 di Gambar 4.11 sesuai dengan penelitian sebelumnya oleh Juwono (2013). Hal tersebut menunjukkan bahwa adanya logam Pd hasil impregnasi pada Al-MCM-41/keramik. Puncak kristal khas dari keramik ditunjukkan pada nomor 3 di Gambar 4.11 yaitu pada $2\theta = 35,00^\circ, 37,62^\circ, 43,20^\circ, \text{ dan } 49,34^\circ$. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa impregnasi Pd pada katalis Al-MCM-41/keramik berhasil dilakukan.



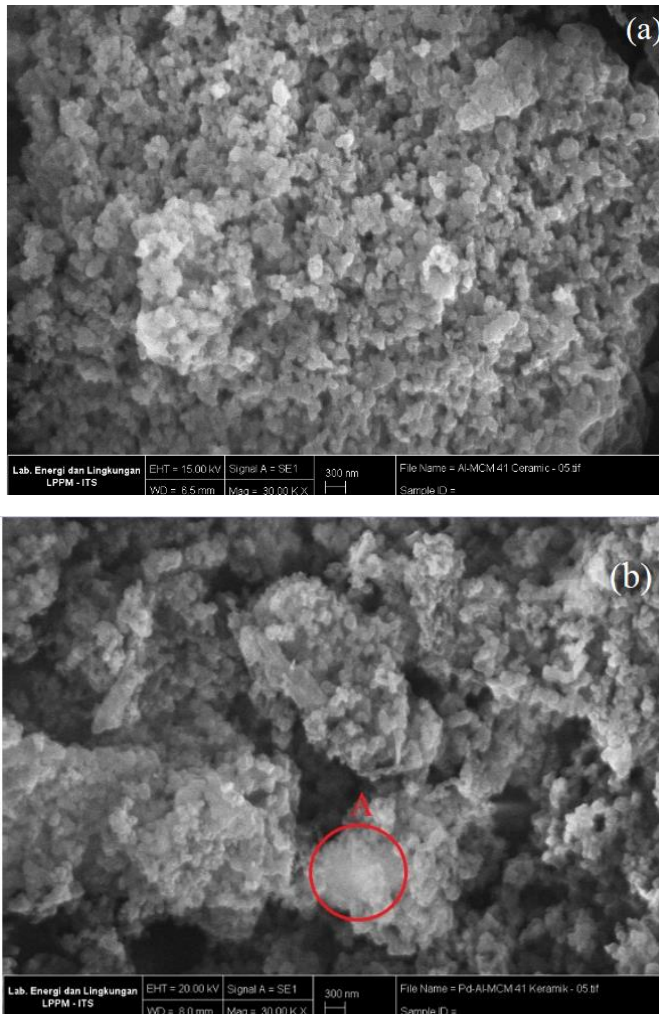
Gambar 4.11 Difaktogram XRD (a) Al-MCM-41/keramik (b) Pd/Al-MCM-41/keramik

4.3.2 Hasil Karakterisasi SEM-EDX

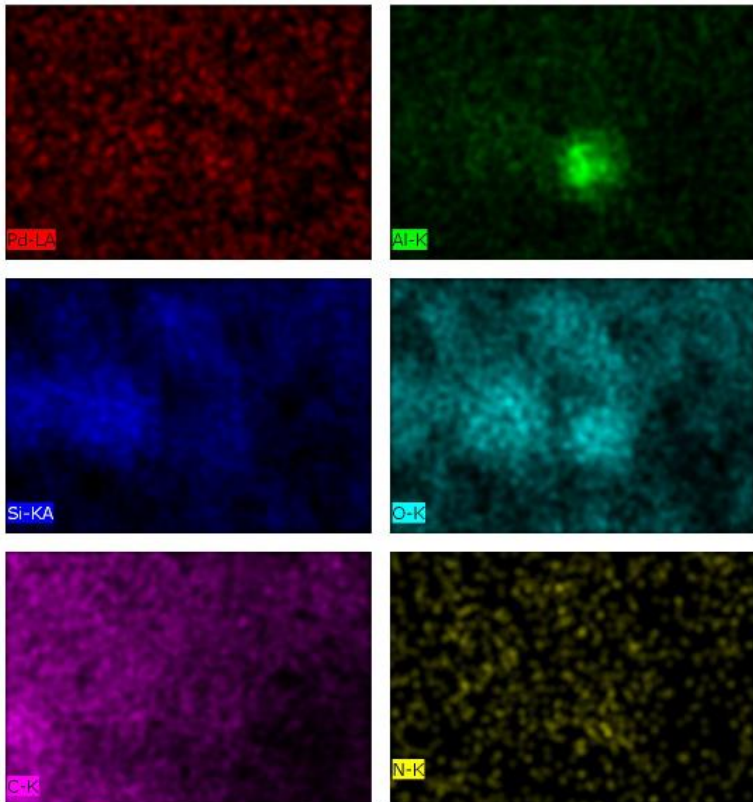
Pada mikrogram SEM katalis Pd/Al-MCM-41/keramik yang ditunjukkan pada Gambar 4.12(b), terlihat gumpalan pada titik A. Impregnasi logam Pd tidak mempengaruhi morfologi MCM-41 sehingga jika dibandingkan dengan katalis Al-MCM-4/keramik yang ditunjukkan pada Gambar 4.12(a) tidak ada kerusakan pada polanya. Logam Pd tidak tampak pada hasil SEM karena penambahan logam Pd hanya 1% (w/w) dari berat Al-MCM-41/keramik. Oleh karena itu, analisis EDX dilakukan untuk mengetahui berapa banyak logam Pd yang masuk.

Pada spektrum EDX yang ditunjukkan Gambar 4.13, teridentifikasi adanya logam Pd yang masuk pada katalis Al-MCM-41/keramik. Komposisi tiap unsur pada katalis Pd/Al-MCM-41/keramik juga didapatkan dari analisis EDX. Unsur O memiliki persentase terbesar yaitu sebesar 94,61% sedangkan

unsur Pd sebesar 0,14%. Terdapat unsur lainnya yaitu Si, C, dan Al masing-masing sebesar 3,4%, 1,42%, dan 0,43%.



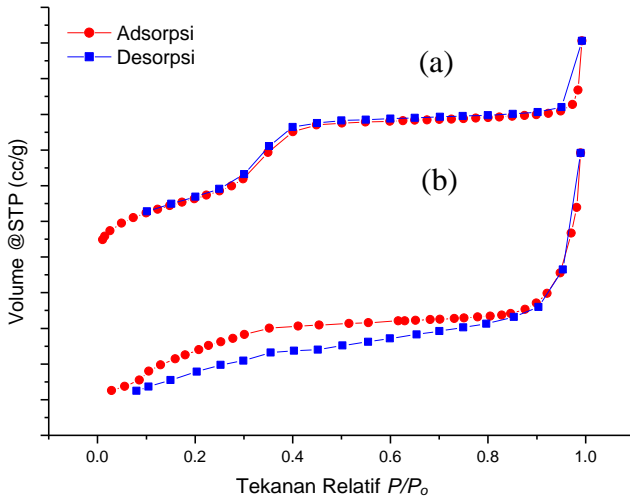
Gambar 4.12 (a) SEM Al-MCM-41/keramik (Alfian, 2018)
(b) SEM Pd/Al-MCM-41/keramik



Gambar 4.13 Hasil Karakterisasi EDX Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik

4.3.3 Hasil Karakterisasi Adsorpsi – Desorpsi N_2

Pengujian adsorpsi-desorpsi nitrogen katalis menghasilkan grafik isoterm tipe IV. Grafik isoterm ditunjukkan pada Gambar 4.14. Grafik isoterm ini merupakan khas Al-MCM-41. Luas permukaan yang didapatkan lebih kecil daripada luas permukaan Al-MCM-41/keramik yang disintesis oleh Juwono dkk (2018). Hal ini menunjukkan bahwa adanya logam Pd dalam katalis yang digunakan mengurangi luas permukaan Al-MCM-41/keramik.



Gambar 4.14 (a) Grafik isoterm Al-MCM-41/keramik referensi
(b) Grafik isoterm Pd/Al-MCM-41/keramik

Tabel 4.4 menunjukkan data analisis uji adsorpsi desorpsi nitrogen. Jika dibandingkan dengan katalis yang disintesis oleh Juwono dkk (2018), katalis Pd/Al-MCM-41/keramik memiliki nilai volume pori dan radius rata-rata pori lebih tinggi karena adanya Pd pada pori yang kecil akibat impregnasi Pd.

Tabel 4.4 Data analisis uji adsorpsi desorpsi nitrogen

Katalis	Luas Permukaan (m ² /g)	Volume Pori (cc/g)	Pori Rata-rata Radi (Å)
Al-MCM-41/keramik	490,66	0,55	22,22
Pd/Al-MCM-41/keramik	48,50	1,64	676,10

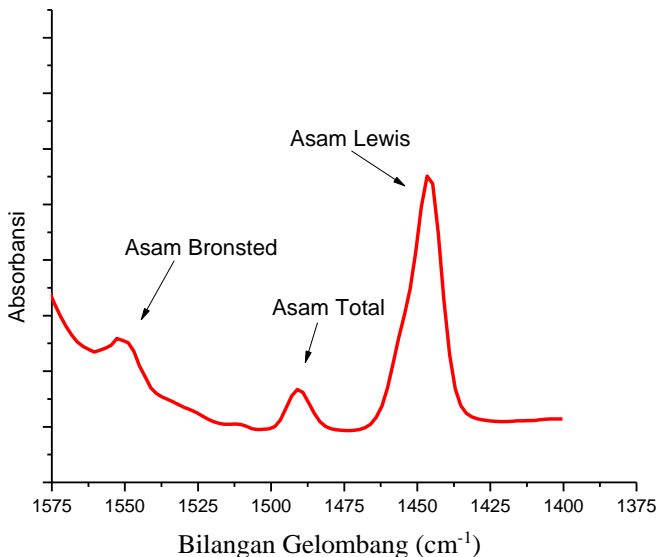
4.3.4 Keasaman Menggunakan FTIR-Piridin

Analisis FTIR dengan senyawa piridin dilakukan untuk menentukan keasaman permukaan katalis Pd/Al-MCM-41/keramik. Spektrum dan data yang ditunjukkan pada Gambar

4.15 dan Tabel 4.5, menunjukkan interaksi antara senyawa piridin dengan sisi aktif katalis Pd/Al-MCM-41/keramik pada bilangan gelombang 1548 cm^{-1} menunjukkan sisi aktif asam Bronsted dengan jumlah 0,0018 mmol/g. Sementara pada bilangan gelombang 1446 cm^{-1} dengan jumlah 0,0153 mmol/g menunjukkan interaksi antara senyawa piridin dengan sisi aktif Pd/Al-MCM-41/keramik yang bersifat asam Lewis (Juwono dkk., 2013).

Tabel 4.5 Data jumlah sisi aktif asam katalis Pd/Al-MCM-41/keramik

Jenis Asam	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Jumlah Asam (mmol/g)
Lewis	1435-1458	0,015381
Bronsted	1531-1556	0,001831

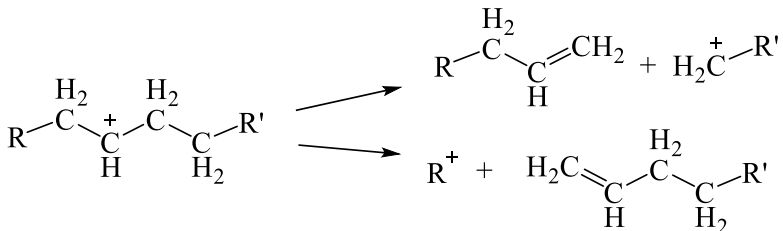


Gambar 4.15 Spektra Piridin-FTIR Pd/Al-MCM-41/keramik

4.4 Analisis Fraksi Hidrokarbon Bahan Bakar Cair dengan GC-MS

Bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan katalitik dikarakterisasi dengan instrumen GC-MS-QP2010S SHIMADZU. Berdasarkan hasil analisa, BBC hasil perengkahan minyak limbah plastik polistiren dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah tidak hanya menghasilkan fraksi gasolin (C_7-C_{12}) melainkan juga terdapat fraksi hidrokarbon rantai pendek ($<C_7$) dan rantai panjang ($>C_{12}$). Kromatogram bahan bakar cair hasil perengkahan dapat dilihat pada Lampiran D.

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa pembentukan fraksi hidrokarbon gasolin (C_7-C_{12}) optimum pada waktu 120 menit. Luas area gasolin paling banyak diperoleh pada variasi polistiren tanpa biodiesel minyak jelantah saat waktu 120 menit perengkahan (PS/Kat120) yaitu 85,64%. Penambahan biodiesel minyak jelantah mengakibatkan pembentukan fraksi $>C_{12}$ pada PSJ/Kat60 sebesar 62,67%. Pada PSJ/Kat120, fraksi $>C_{12}$ berkurang karena adanya pemotongan atau pemutusan β dengan katalis sehingga membentuk fraksi yang lebih pendek. Hal tersebut disebabkan pemutusan β dengan katalis lebih sering terjadi pada waktu 120 menit. Reaksi pemutusan β ditunjukkan pada Gambar 4.16 (Le Van Mao dkk., 2013).



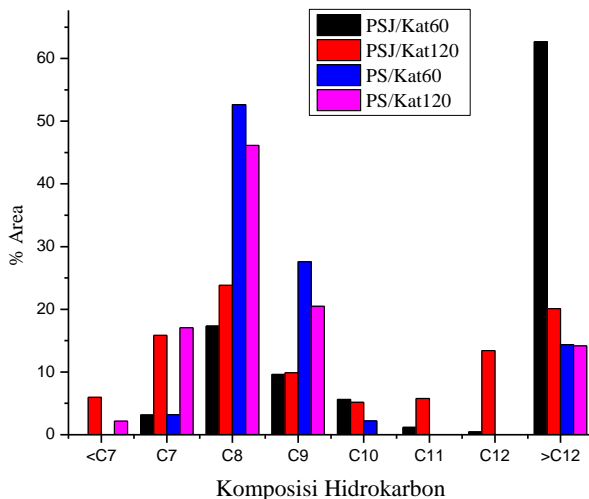
Gambar 4.16 Reaksi Pemutusan β pada Ion Karbenium (Le Van Mao dkk., 2013)

Fraksi dengan kandungan terbesar pada perengkahan katalitik yang telah dilakukan yaitu fraksi gasolin (C_7-C_{12}). Perbandingan terhadap komposisi hidrokarbon yang dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 4.17. Kelimpahan fraksi gasolin yang

terbesar didapatkan pada kandungan C_8 yaitu sekitar 17,32 – 52,63%.

Tabel 4.6 Luas area (%) hidrokarbon hasil perengkahan katalitik

Variasi	Luas area (%) Hidrokarbon		
	< C_7	C_7 - C_{12}	> C_{12}
PSJ/Kat60	0	37,33	62,67
PSJ/Kat120	5,98	73,9	20,12
PS/Kat60	2,15	83,67	14,18
PS/Kat120	0	85,64	14,36

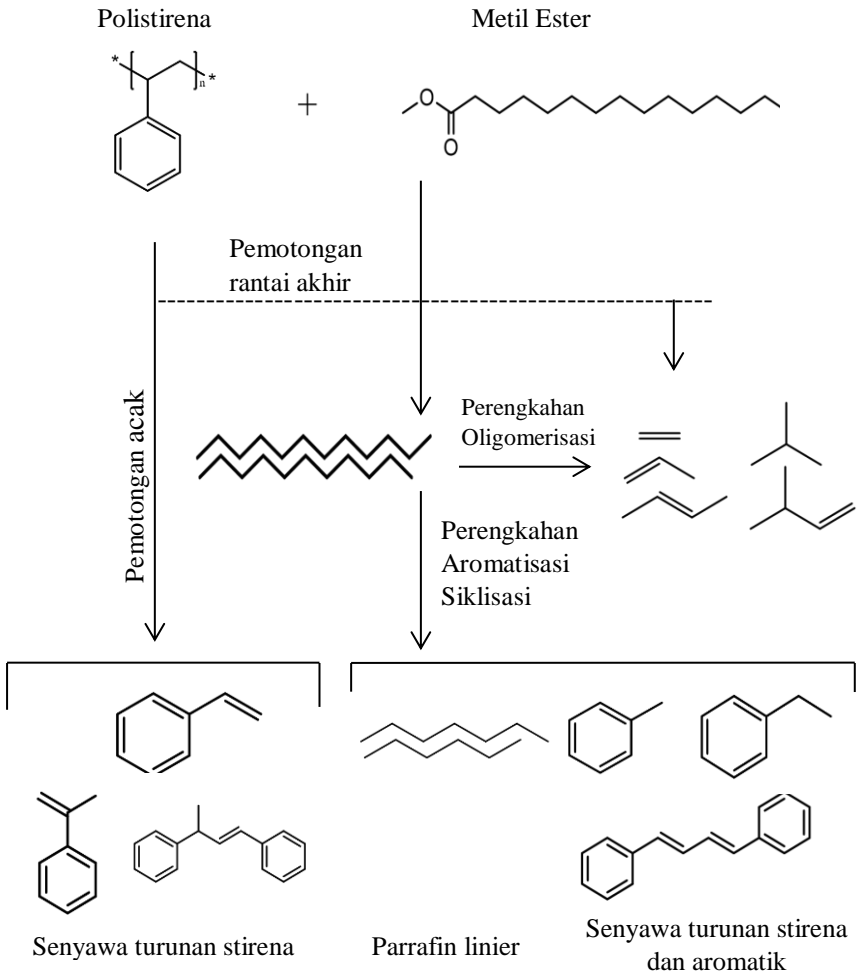


Gambar 4.17 Komposisi Fraksi Gasolin pada Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan

4.5 Mekanisme Reaksi Perengkahan Plastik Polistiren

Mekanisme degradasi termal polistirena pada suhu tinggi menghasilkan rantai radikal yang berakhir dengan pemotongan rantai utama yang diikuti oleh depolimerisasi (Hassan dkk., 2016). Senyawa utama yang terbentuk dari pirolisis polistirena adalah

monomer stirena. α -metilstirena merupakan senyawa turunan stirena yang paling banyak terbentuk pada produk pirolisis. Reaksi



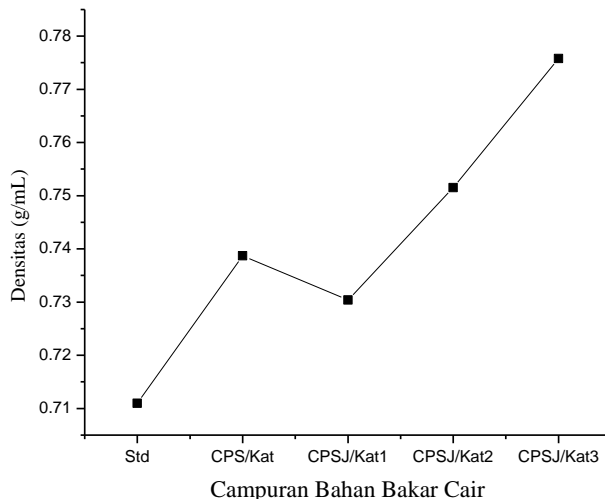
Gambar 4.18 Reaksi Pirolisis Polistirena dan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Jelantah (Parejo dkk., 2018)

antara monomer stirena dan radikal metil dapat membentuk α -metilstirena (Hassan dkk., 2016). Pada penelitian ini, dilakukan perengkahan minyak polistiren dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah. Reaksi pirolisis polistirena dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah ditunjukkan pada Gambar 4.18. Metil ester menunjukkan senyawa dari biodiesel minyak jelantah yang diubah menjadi hidrokarbon rantai panjang melalui reaksi dehidrasi, dekarbonilasi, dan dekarboksilasi (Parejo dkk., 2018).

4.6 Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair dan Performa pada Mesin Gasolin

4.6.1 Densitas Campuran Bahan Bakar Cair

Densitas atau massa jenis suatu sampel menunjukkan perbandingan antara massa persatuan volume. Densitas merupakan sifat khas, sehingga dapat dijadikan salah satu parameter berhasil atau tidaknya suatu bahan bakar cair yang diproduksi. Penentuan densitas dilakukan dengan piknometer



Gambar 4.19 Densitas Campuran Bahan Bakar Cair

pada suhu 15 °C. Piknometer kosong yang telah dicatat massanya dan diketahui volumenya diisi dengan sampel campuran bahan

bakar cair sampai batas, Densitas sampel diperoleh dari perbandingan massa sampel dan volume tetap pada piknometer.

Hasil penentuan densitas campuran bahan bakar cair pada Gambar 4.19, menunjukkan bahwa penambahan jumlah volume PSJ/Kat dalam campuran premium dan MTBE semakin meningkatkan nilai densitas. Hal itu menunjukkan semakin banyak jumlah *feedstock*, semakin besar kandungan molekul pada campuran bahan bakar cair. Sementara itu, nilai densitas pada CPS/Kat sebesar 0,7387 g/mL. Nilai densitas tersebut lebih besar dari nilai densitas dari bahan bakar jenis Premium yaitu sebesar 0,711 g/mL. Hal itu menunjukkan bahwa penambahan *feedstock* tanpa ko-reaktan biodiesel minyak jelantah juga dapat meningkatkan nilai densitas karena terdapat penambahan berat molekul.

4.6.2 Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair

Titik nyala bahan bakar adalah suhu terendah bahan bakar dimana saat dipanaskan akan menguap dan uap yang terbenyuk akan bercampur dengan udara sekitar pada tekanan normal dan menyala dengan adanya percikan api. Penentuan titik nyala sangat berpengaruh terhadap cara dan tempat penyimpanan bahan bakar karena hal tersebut berhubungan dengan keamanan dan keselamatan.

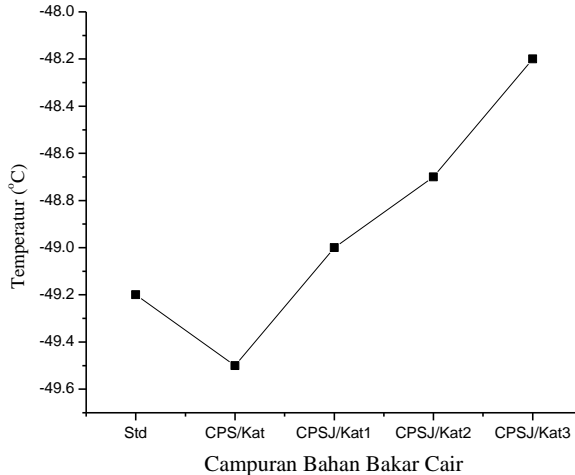
Data titik nyala dari campuran bahan bakar cair ditunjukkan pada Gambar 4.20. Campuran bahan bakar cair CPSJ/Kat memiliki titik nyala yang lebih tinggi dari CPS/Kat karena terdapat komponen biodiesel yang memiliki titik nyala lebih tinggi.

4.6.3 Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair

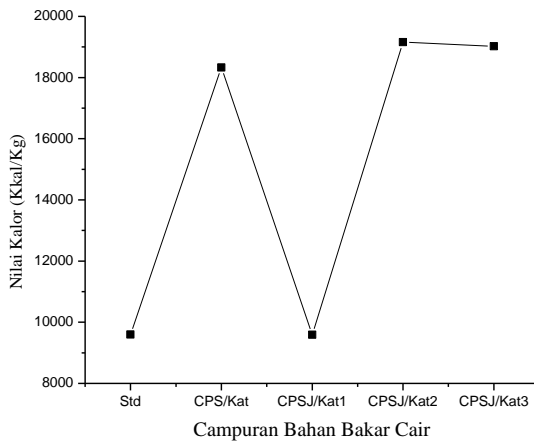
Energi yang dihasilkan atau dilepaskan suatu bahan bakar saat terbakar disebut nilai kalor bahan bakar. Penentuan kalor pembakaran bahan bakar cair dilakukan dengan bom kalorimeter. Hasil pengukuran nilai kalor campuran bahan bakar cair ditunjukkan pada Gambar 4.21.

CPSJ/Kat2 menghasilkan nilai kalor tertinggi sebesar 19.160,61 Kkal/Kg pada jumlah *feedstock* 150 mL. Nilai kalor dari CPSJ/Kat1 memiliki nilai kalor terendah yaitu sebesar 9.593,21

kkal/kg. Berdasarkan Gambar 4.21, nilai kalor CPSJ/Kat2 menjadi nilai kalor yang optimum. Pada CPS/Kat memiliki nilai kalor sebesar 18.328,84 Kkal/Kg. Jika dibandingkan dengan CPSJ/Kat, nilai kalor CPS/Kat lebih besar. Hal itu dapat terjadi karena perbedaan komposisi fraksi hidrokarbon campuran bahan cair.



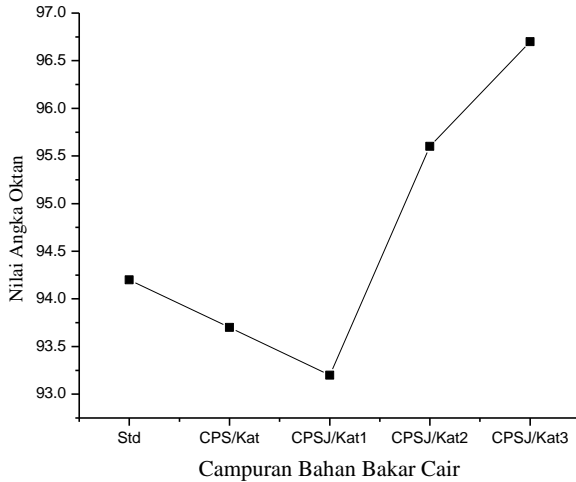
Gambar 4.20 Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair



Gambar 4.21 Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair

4.6.4 Angka Oktan Campuran Bahan Bakar Cair

Penentuan angka oktan campuran bahan bakar cair bertujuan untuk mengetahui kualitas bahan bakar dan kinerjanya pada mesin. Angka oktan yang tinggi menunjukkan bahwa bahan bakar dapat menahan kompresi yang tinggi. Semakin tinggi angka oktan bahan bakar akan menghilangkan ketukan pada mesin.

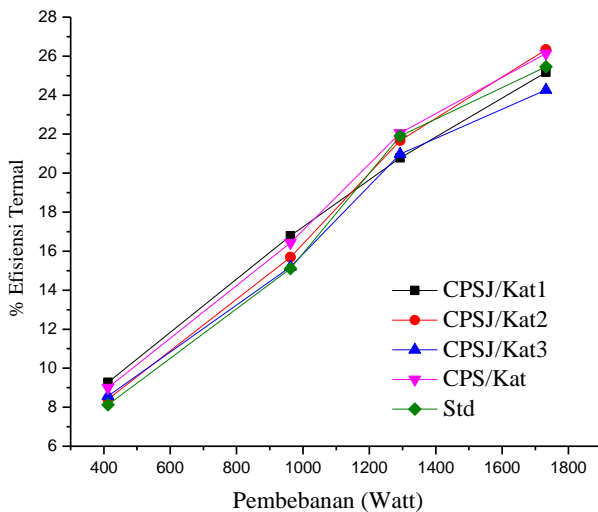


Gambar 4.22 Angka Oktan Campuran Bahan Bakar Cair

Hasil penentuan angka oktan ditunjukkan pada Gambar 4.22. Variasi jumlah minyak perengkahan pada jenis bahan bakar CPSJ/Kat menunjukkan semakin banyak jumlah minyak perengkahan yang ditambahkan semakin tinggi angka oktan yang dihasilkan. CPSJ/Kat3 memiliki angka oktan tertinggi sebesar 96,7. Hal tersebut dikarenakan CPSJ/Kat3 memiliki jumlah terbesar penambahan minyak perengkahan pada campuran bahan bakar cair sehingga kandungan C_8 yang tinggi pada jumlah penambahan minyak perengkahan terbesar mempengaruhi angka oktan. Angka oktan bahan bakar dapat ditentukan oleh kandungan senyawa hidrokarbon dengan jumlah atom C_8 dan isomernya (Trisunaryanti, 2018).

4.6.5 Uji Performa Campuran Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair (BBC) yang akan diuji kinerjanya pada mesin *Generator Set* dengan bahan bakar berbasis gasolin sebelumnya dilakukan pencampuran dengan Premium dan metil tersier butil eter (MTBE). Pengujian ini dilakukan untuk mengukur *Brake Thermal Efficiency* (BTE), yang menyatakan seberapa efisien kalor atau energi panas dikonversi menjadi kerja mekanik pada mesin gasolin.



Gambar 4.23 Efisiensi Termal Campuran Bahan Bakar Cair

Persentase efisiensi termal seluruh campuran bahan bakar cair semakin meningkat seiring peningkatan pembebanan pada mesin gasolin seperti ditunjukkan pada Gambar 4.23. Campuran premium dan MTBE (Std) memiliki persentase efisiensi termal sebesar 25,45% pada pembebanan sebesar 1732,5 watt. Jenis campuran bahan bakar cair CPSJ/Kat2 memiliki persentase efisiensi termal paling tinggi dibandingkan CPSJ/Kat lainnya pada pembebanan yang sama. Efisiensi tersebut dikarenakan nilai kalor optimum terjadi pada jenis campuran bahan bakar cair CPSJ/Kat2. Pada penelitian yang dilakukan oleh Senthur dkk. (2017), efisiensi bahan bakar cair dapat dipengaruhi oleh densitas dan nilai kalor.

Selain itu, angka oktan yang tinggi dapat mempengaruhi kinerja pada campuran bahan bakar cair.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Bahan bakar cair telah berhasil diproduksi dari perengkahan katalitik limbah plastik polistiren dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dengan fraksi hidrokarbon (C_7-C_{12}) sebesar 73,9%. Campuran bahan bakar cair CPSJ/Kat2 memiliki persen efisiensi termal tertinggi sebesar 26,33% pada mesin dengan nilai densitas 0,7515 g/ml, titik nyala sebesar -48,7 °C, nilai kalor sebesar 19160,61 kkal/kg, dan angka oktan sebesar 95,6. Karakteristik campuran bahan bakar cair yang telah diproduksi sesuai dengan SNI 06-3506-1994.

5.2 Saran

Perlu diperhatikan keselamatan saat proses perengkahan. Pada penelitian selanjutnya, diharapkan menggunakan reaktor yang lebih kuat dan tidak mudah bocor pada proses perengkahan.

“Halaman ini 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 Energy-Dispersive X-Ray (EDX) Spectroscopy, in: Membrane Characterization. Elsevier, pp. 161–179.
- Abnisa, F., Wan Daud, W.M.A., Ramalingam, S., Azemi, M.N.B.M., Sahu, J.N., 2013. Co-pyrolysis of Palm Shell And Polystyrene Waste Mixtures To Synthesis Liquid Fuel. *Fuel* 108, 311–318.
- Agrariksa, F.A., Susilo, B., Nugroho, W.A., 2013. Uji Performansi Motor bakar Bensin (On Chassis) Menggunakan Campuran Premium dan Etanol. *J. Keteknikan Pertan. Trop. Dan Biosist.* 1.
- Akhbar, T., 2013. Pengaruh Penambahan Zat Aditif Octane Booster Pada Bahan Bakar Premium Terhadap Kandungan Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor Honda Vario Tecno 110 CC 12.
- Alfian, R., 2018. Performa Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Limbah Plastik Polipropilena dan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Jelantah Pada Mesin Gasolin dengan Aditif Metil Tersier Butil Eter (Skripsi). Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Automatic citation updates are disabled. To see the bibliography, click Refresh in the Zotero tab.
- Arita, S., Assalami, A., Naibaho, D.I., 2015. Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair Dengan Memanfaatkan Limbah Ban Bekas Menggunakan Katalis Zeolit 21, 7.
- Aziz, I., Nurbayti, S., Ulum, B., 2012. Pembuatan produk biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Cara Esterifikasi dan Transesterifikasi. *J. Kim.* Val. 2.
- Bhattacharyya, K.G., Talukdar, A.K., Das, P., Sivasanker, S., 2001. Acetylation of phenol with Al-MCM-41. *Catal. Commun.* 2, 105–111.
- Cataluña, R., Dalávia, D., da Silva, R., Menezes, E., Venturi, V., Wagner, R., 2011. Acceleration Tests Using Gasolines

- Formulated with di-TAE, TAEE and MTBE ethers. *Fuel* 90, 992–996.
- Damayanthi, R., Martini, R., 2010. Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair dengan Memanfaatkan Limbah Ban Bekas Menggunakan Katalis Zeolit Y dan ZSM-5 8.
- Dewi, T.K., Mahdi, M., Novriyansyah, T., 2016. Pengaruh Rasio Reaktan Pada Impregnasi Dan Suhu Reduksi Terhadap Karakter Katalis Kobalt/Zeolit Alam Aktif. *J. Tek. Kim.* 22.
- Hassan, E.B., Elsayed, I., Eseyin, A., 2016. Production High Yields of Aromatic Hydrocarbons Through Catalytic Fast Pyrolysis of Torrefied Wood and Polystyrene. *Fuel* 174, 317–324.
- Hidayati, S., Gultom, N., Eni, H., 2012. Optimasi Produksi Metil Ester Sulfonat Dari Metil Ester Minyak Jelantah. *Reaktor* 14, 165.
- Hussain, S.Z., Maqbool, K., 2014. GC-MS: Principle, Technique and Its Application in Food Science.
- Irzon, R., 2012. Perbandingan Calorific Value Beragam Bahan Bakar Minyak Yang Dipasarkan Di Indonesia Menggunakan Bomb Calorimeter. *J. Geol. Dan Sumberd. Miner.* 22, 217–223.
- Juwono, H., Fauziah, L., Uyun, I.Q., Alfian, R., Suprpto, Ni'mah, Y.L., Ulfin, I., 2018. Catalytic Conversion of Al-MCM-41-Ceramic on Hydrocarbon ($C_8 - C_{12}$) Liquid Fuel Synthesis From Polypropylene Plastic Waste. Presented at the The 3rd International Seminar On Chemistry: Green Chemistry and Its Role for Sustainability, Surabaya, Indonesia, p. 020080.
- Automatic citation updates are disabled. To see the bibliography, click Refresh in the Zotero tab.
- Juwono, H., Triyono, T., Sutarno, S., Wahyuni, E.T., 2013. The Influence Of Pd Impregnation Into Al-Mcm-41 On The Characters And Activity For Biogasoline Production By Catalytic Hydrocracking Of Fames From Nyamplung Seed

- Oil (*Calophyllum Inophyllum*). Indones. J. Chem. 13, 171–175.
- 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. Bull. Chem. React. Eng. Catal. 12, 337.
- 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. Indones. J. Chem. 17, 316–321.
- Kadarwati, S., Susatyó, E.B., Ekowati, D., 2010. Aktivitas Katalis Cr/Zeolit Alam Pada Reaksi Konversi Minyak Jelantah Menjadi Bahan Bakar Cair 8, 8.
- Khalife, E., Tabatabaei, M., Demirbas, A., Aghbashlo, M., 2017. Impacts of additives on performance and emission characteristics of diesel engines during steady state operation. Prog. Energy Combust. Sci. 59, 32–78.
- Kusuma, R.I., Hadinoto, J.P., Ayucitra, A., 2011. Pemanfaatan Zeolit Alam sebagai Katalis Murah dalam Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit 7.
- 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.
- Lee, D., Jung, G.S., Lee, H.C., Lee, J.S., 2006. Methanol synthesis over Pd/SiO₂ with Narrow Pd Size Distribution Prepared by Using MCM-41 as a Support Precursor. Catal. Today, Advances in Catalysis and Catalytic Materials for Energy and Environmental Protection 111, 373–378.
- Ma, C., Yu, J., Wang, B., Song, Z., Xiang, J., Hu, S., Su, S., Sun, L., 2017. Catalytic Pyrolysis Of Flame Retarded High Impact Polystyrene Over Various Solid Acid Catalysts. Fuel Process. Technol. 155, 32–41.

- 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. *Energy Convers. Manag.* 123, 487–497.
- Manurung, R., 2006. Transesterifikasi Minyak Nabati 6.
- Naimah, S., Aidha, N.N., 2017. Karakteristik Gas Hasil Proses Pirolisis Limbah Plastik Polietilena (PE) dengan Menggunakan Katalis Residue Catalytic Cracking (RCC). *J. Kim. Dan Kemasan* 39, 31.
- Prasetyoko, D., Fansuri, H., Ni'mah, Y.L., Fadlan, A., 2016. Karakterisasi Struktur Padatan. Deepublish, Yogyakarta.
- Sakthivel, R., Ramesh, K., Purnachandran, R., Mohamed Shameer, P., 2018. A Review on the Properties, Performance And Emission Aspects Of The Third Generation Biodiesels. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 82, 2970–2992.
- Sanahuja-Parejo, O., Veses, A., Navarro, M.V., López, J.M., Murillo, R., Callén, M.S., García, T., 2018. Drop-in Biofuels From The Co-Pyrolysis Of Grape Seeds And Polystyrene. *Chem. Eng. J.*
- Schifter, I., González, U., Díaz, L., González-Macías, C., Mejía-Centeno, I., 2017. Experimental and Vehicle (On Road) Test Investigations Of Spark-Ignited Engine Performance And Emissions Using High Concentration of MTBE as Oxygenated Additive. *Fuel* 187, 276–284.
- Senthur Prabu, S., Asokan, M.A., Roy, R., Francis, S., Sreelekh, M.K., 2017. Performance, Combustion and Emission Characteristics Of Diesel Engine Fuelled With Waste Cooking Oil Bio-Diesel/Diesel Blends With Additives. *Energy* 122, 638–648.
- Serrano, D.P., Aguado, J., Escola, J.M., 2012. Developing Advanced Catalysts for the Conversion of Polyolefinic Waste Plastics into Fuels and Chemicals. *ACS Catal.* 2, 1924–1941.
- Setiawati, E., Edwar, F., 2012. Teknologi Pengolahan Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas Dengan Teknik Mikrofiltrasi Dan Transesterifikasi Sebagai Alternatif Bahan Bakar Mesin Diesel 11.

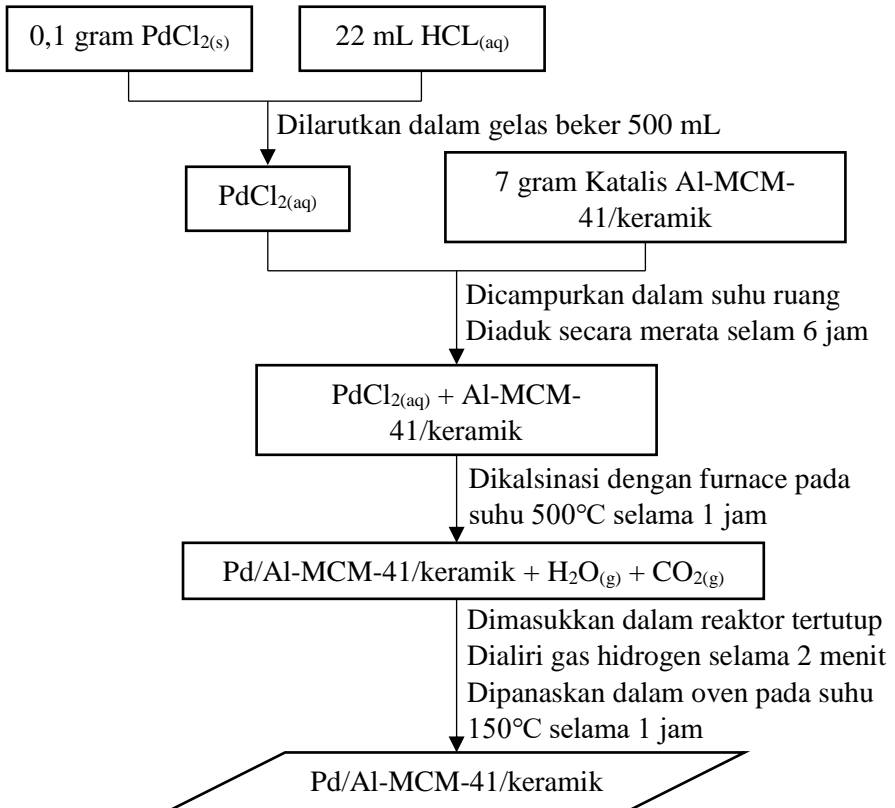
- Speight, J.G., 2015. Fouling in Refineries. Gulf Professional Publishing.
- Sujatno, A., Salam, R., Dimiyati, A., 2015. Studi Scanning Electron Microscopy (Sem) Untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium 9, 7.
- Teoh, Y.H., How, H.G., Yu, K.H., Chuah, H.G., Yin, W.L., 2018. Influence of Octane Number Rating on Performance, Emission and Combustion Characteristics in Spark Ignition Engine.
- Topgül, T., 2015. The Effects of MTBE Blends On Engine Performance And Exhaust Emissions In A Spark Ignition Engine. *Fuel Process. Technol. C*, 483–489.
- Trisunaryanti, W., 2018. Dari Sampah Plastik Menjadi Bensin Solar. UGM PRESS.
- Wahyudi, E., Zultiniar, Z., Saputra, E., 2016. Pengolahan Sampah Plastik Polypropylene (PP) Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Metode Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis Zeolit X. *J. Rekayasa Kim. Lingkung.* 11, 17.
- Wu, S., Lv, G., Lou, R., 2012. Applications of Chromatography Hyphenated Techniques in the Field of Lignin Pyrolysis, in: Davarnejad, R. (Ed.), *Applications of Gas Chromatography*. InTech.
- Zhang, qian, Shi, li, Meng, X., 2016. Removal of Sulfur Compounds in LPG by Heteropoly Acid Modified Al-MCM-41 Mesoporous Molecular Sieve. *RSC Adv* 6.
- Zuhra, Z., Husin, H., Hasfita, F., Rinaldi, W., 2015. Preparasi Katalis Abu Kulit Kerang Untuk Transesterifikasi Minyak Nyamplung Menjadi Biodiesel (Preparation of Cockle Shell Powder Catalyst for Transesterification of Calophyllum inophyllum L. Oil to Biodiesel). *J. Agritech* 35, 69.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

**LAMPIRAN
LAMPIRAN A**

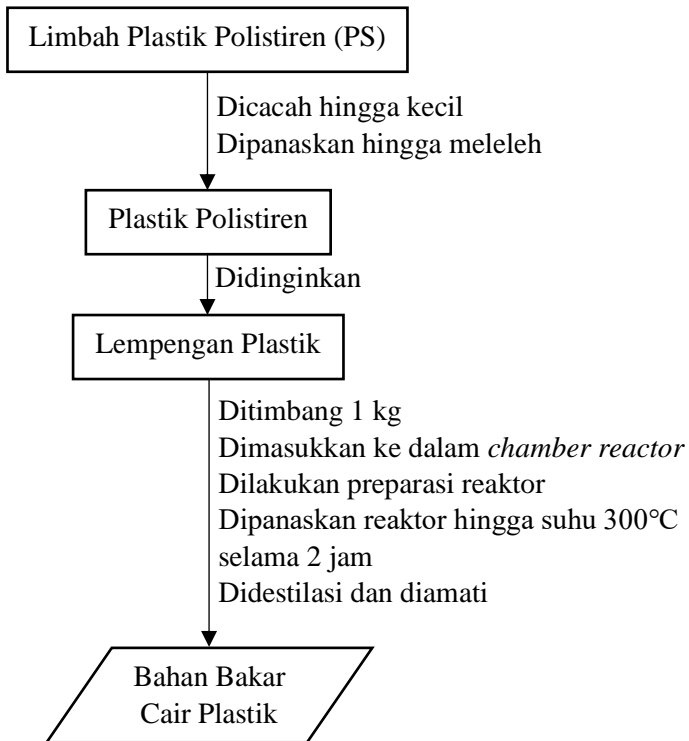
A.1 Prosedur Kerja

A.1.1 Sintesis Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik



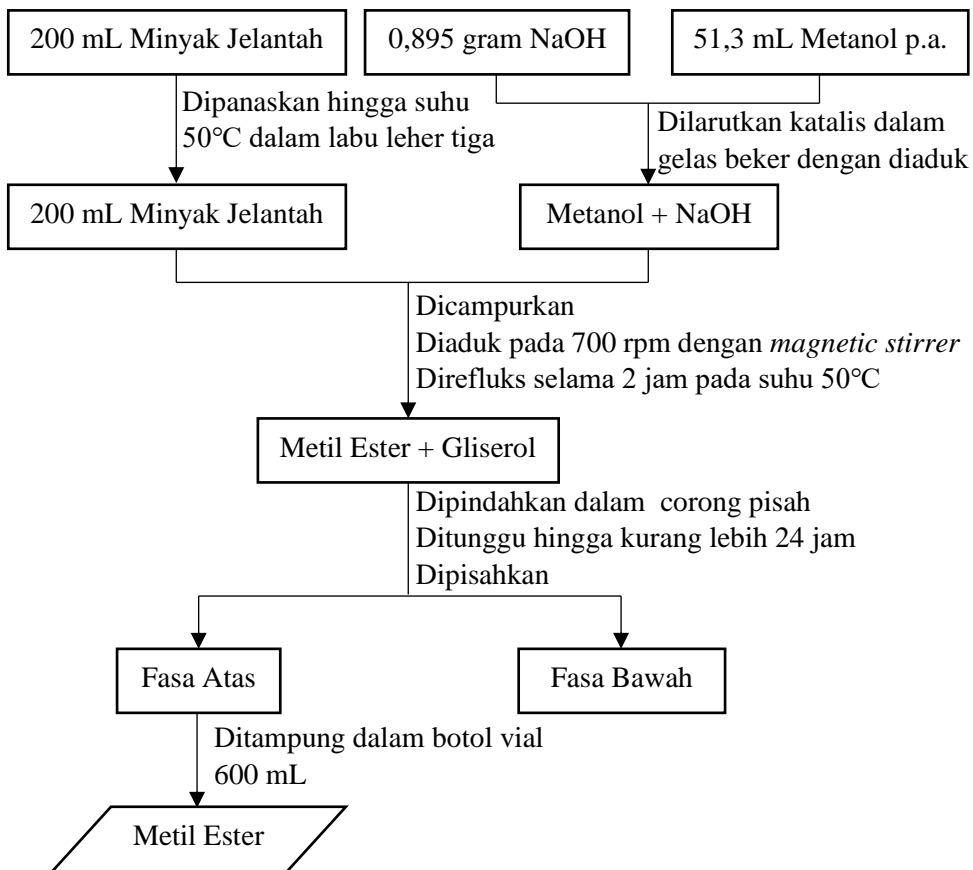
Gambar A.1 Sintesis Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik dengan Metode Impregnasi

A.1.2 Sintesis Bahan Bakar Cair dari Plastik Polistiren



Gambar A.2 Produksi Minyak Polistiren dengan Metode Perengkahan Termal

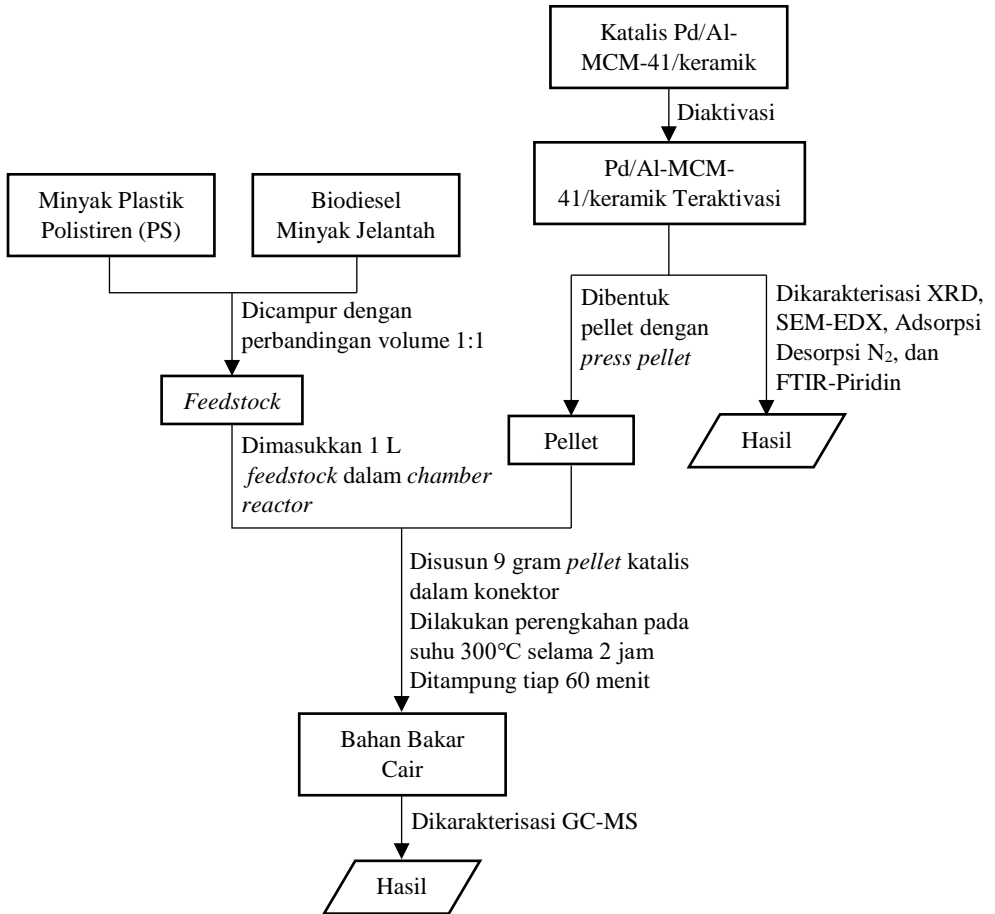
A.1.3 Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah



Gambar A.3 Produksi Biodiesel Minyak Jelantah

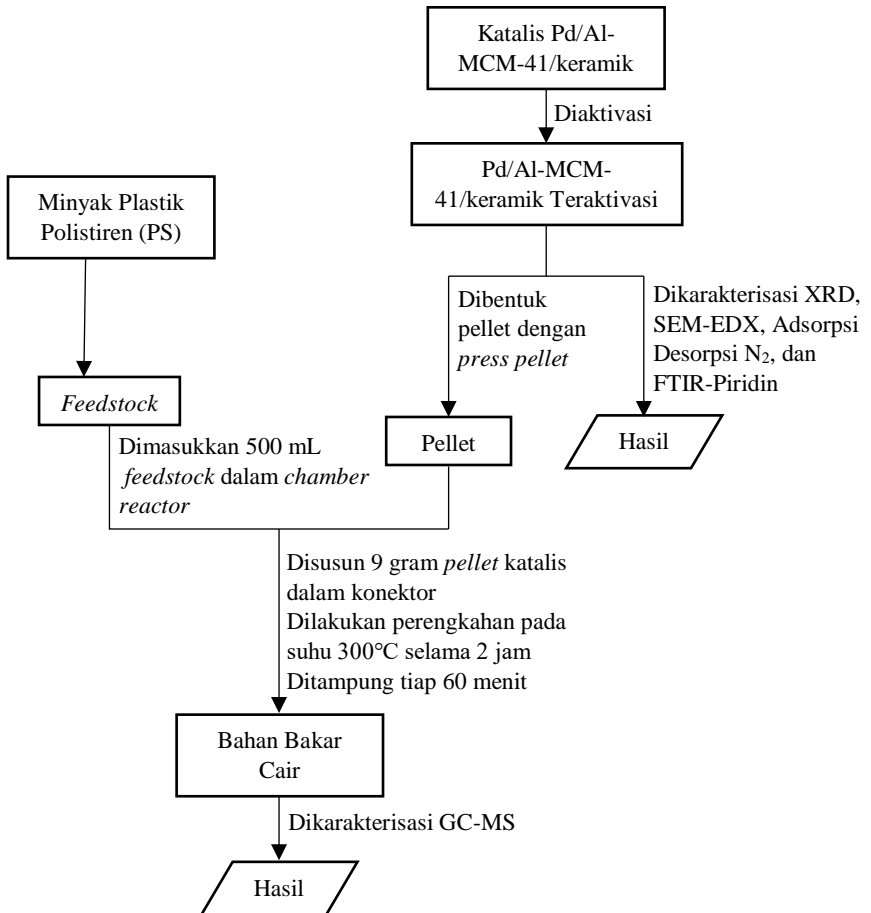
A.1.4 Produksi dan Karakterisasi Bahan Bakar Cair

A.1.4.1 Produksi dan Karakterisasi Bahan Bakar Cair PSJ/Kat

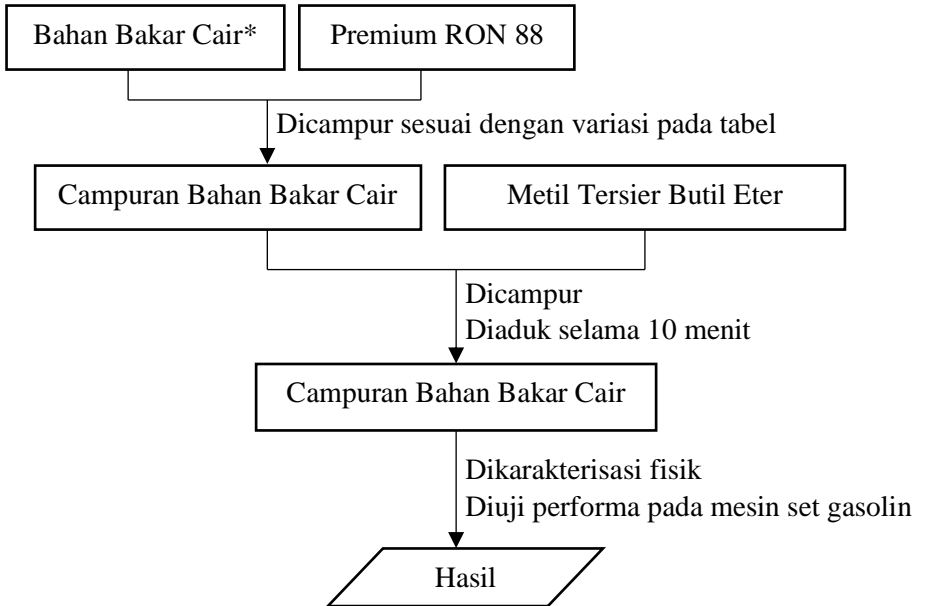


Gambar A.4 Produksi Bahan Bakar Cair Limbah Plastik Polistiren dan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Jelantah dengan Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik

A.1.4.2 Produksi dan Karakterisasi Bahan Bakar Cair PS/Kat



A.1.5 Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair



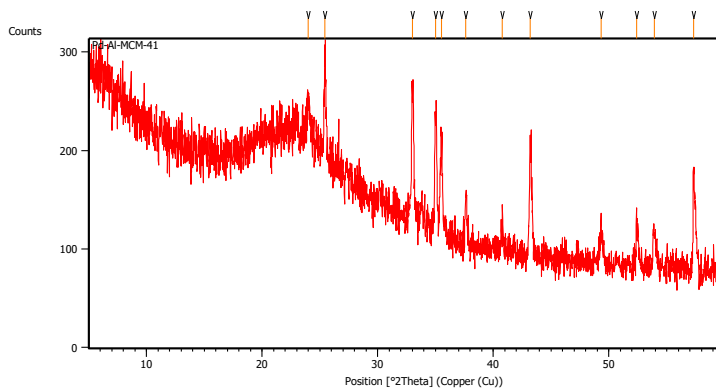
*Komposisi campuran bahan bakar cair

Variasi <i>Feedstock</i>	Volume <i>Feedstock</i> (mL)	Volume Premium (mL)	Volume MTBE (mL)	Campuran Bahan Bakar Cair
PSJ/Kat	75	750	18,4	CPSJ/Kat1
	150	750	18,4	CPSJ/Kat2
	225	750	18,4	CPSJ/Kat3
PS/Kat	75	750	18,4	CPS/Kat

LAMPIRAN B

B.1 Karakterisasi Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik

B.1.1 Hasil Karakterisasi XRD

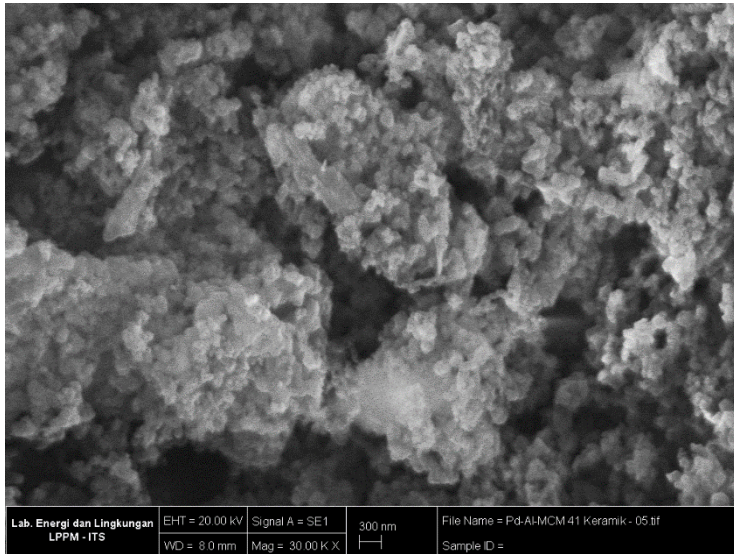


Gambar B.1 Hasil Karakterisasi XRD katalis Pd/Al-MCM-41/keramik

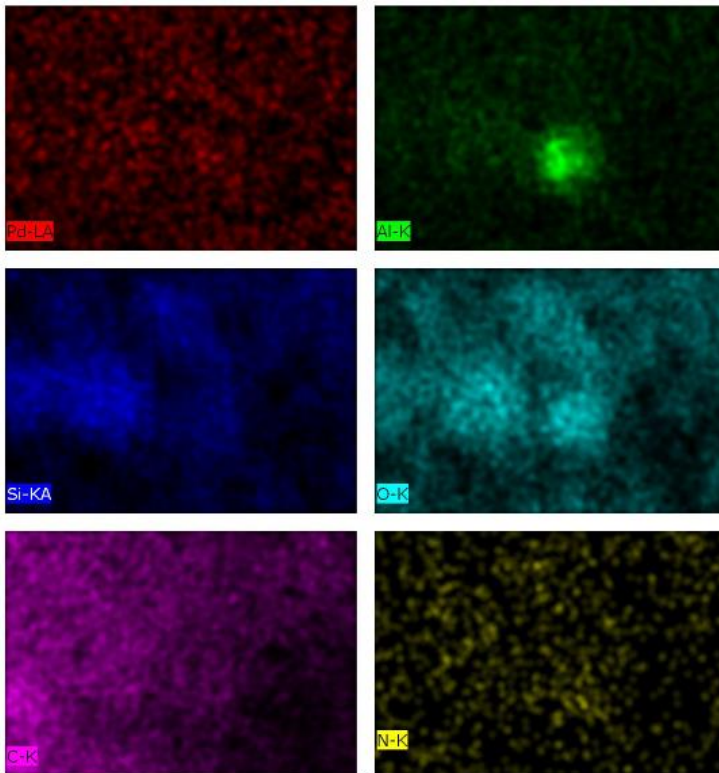
Tabel B.1 Hasil Karakterisasi XRD katalis Pd/Al-MCM-41/keramik

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25,4417	113,83	0,1004	3,50106	87,90
33,0007	129,50	0,1673	2,71437	100,00
35,0067	113,69	0,1673	2,56329	87,79
35,5270	93,14	0,1673	2,52693	71,92
43,2004	120,50	0,2342	2,09421	93,05
57,3251	102,80	0,0816	1,60596	79,38

B.1.2 Hasil Karakterisasi SEM-EDX

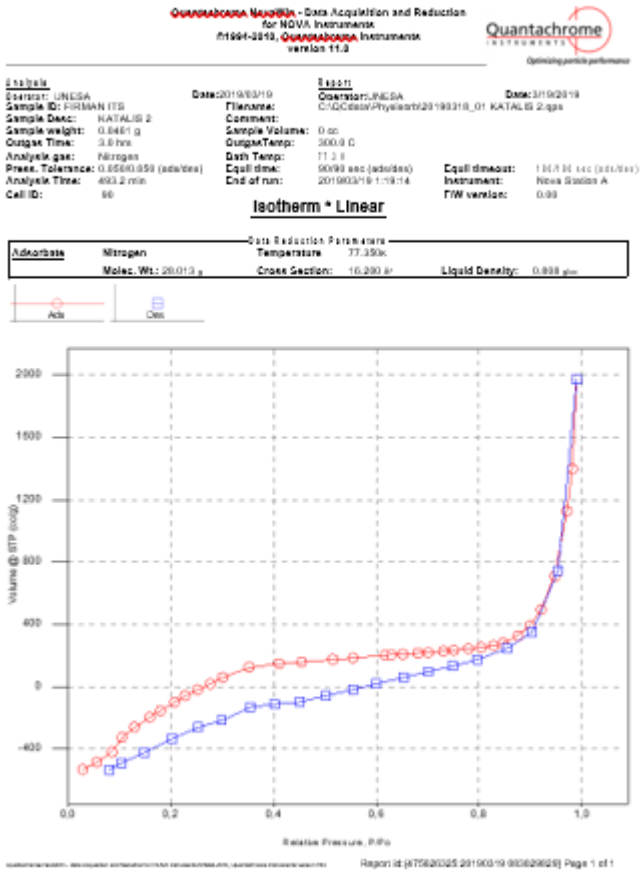


Gambar B.2 Hasil Karakterisasi SEM Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik

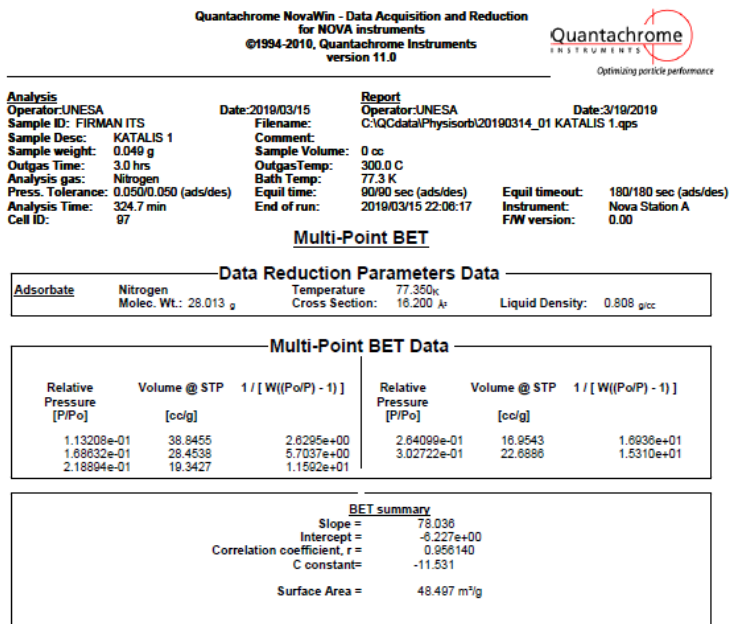


Gambar B.3 Hasil Karakterisasi EDX Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik

B.1.3 Hasil Karakterisasi Adsorpsi – Desorpsi N₂

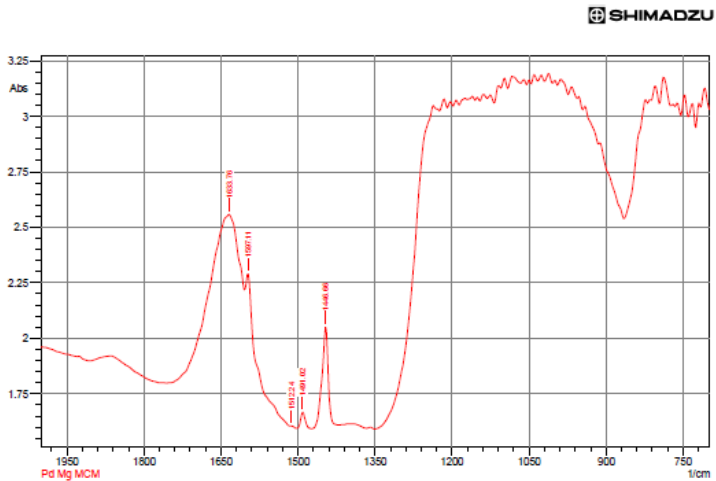


Gambar B.4 Hasil Karakterisasi Adsorpsi Desorpsi N₂ Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik



Gambar B.5 Data Luas Permukaan, Pori, dan Radii Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik

B.1.4 Hasil Karakterisasi Piridin-FTIR



Gambar B.4 Hasil Karakterisasi Piridin-FTIR Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik

Tabel B.2 Jumlah Sisi Aktif Asam Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik

Jenis Asam	Bilangan gelombang (cm^{-1})	Jumlah Asam (mmol/g)
Lewis	1435-1458	0,015381
Bronsted	1531-1556	0,001831

LAMPIRAN C

C.1 Produksi Minyak Polistirena (PS) dari Limbah Plastik Polistirena

Penentuan *yield* minyak PS dan kokas berdasarkan rasio berat dengan massa jenis minyak PS sebesar 0,865 g/ml. Adapun perhitungan *yield* dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Yield minyak PS} &= \frac{\text{massa minyak PS}}{\text{massa limbah PS}} \times 100\% \\ &= \frac{821,75 \text{ g}}{999,69 \text{ g}} \times 100\% \\ &= 82,20\% \end{aligned}$$

Tabel C.1 Data produksi minyak PS dari limbah plastik PS

Massa PS (g)	Minyak PS (mL)	Densitas Minyak PS (g/mL)	Kokas (g)	Minyak PS (%)	Kokas (%)
999,69	950	0,865	87,04	82,20	8,70
1131,38	1100	0,865	86,99	84,10	7,68

C.2 Hasil Konversi Bahan Bakar Cair

Penentuan *yield* volume dan kokas bahan bakar cair ditentukan berdasarkan rasio volume atau kokas produk dengan volume awal. Adapun perhitungan *yield* sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Yield BBC} &= \frac{\text{volume BBC}}{\text{volume Awal}} \times 100\% \\ &= \frac{893 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} \times 100\% \end{aligned}$$

Perhitungan diatas adalah perhitungan *yield* BBC untuk variasi *feedstock* PSJ/Kat. Dengan cara yang sama diperoleh *yield* masing-masing variasi pada tabel C.2.

Tabel C.2 Data hasil konversi bahan bakar cair hasil pirolisis

Variasi <i>Feedstock</i>	Volume BBC (mL)	Volume Kokas (mL)	% BBC	% Kokas
PSJ/Kat	893	21	89,3	2,1
PS/Kat	439	87,8	42	8,4

C.3 Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair

C.3.1 Hasil Karakterisasi Densitas

Massa piknometer = 17,3488 gram

Massa piknometer + BBC = 24,7948 gram

Volume piknometer = 10,195 mL

$$\begin{aligned}
 \text{Densitas } (\rho) &= \frac{(\text{Massa piknometer} + \text{BBC}) - (\text{Massa piknometer})}{\text{Volume piknometer}} \\
 &= \frac{(24,7948 \text{ gram}) - (17,3488 \text{ gram})}{10,195 \text{ mL}} \\
 &= 0,7304 \text{ gram/mL}
 \end{aligned}$$

Perhitungan tersebut merupakan hasil dari campuran bahan bakar cair CPSJ/Kat1. Perhitungan pada masing – masing variasi ditunjukkan pada Tabel E.3

Tabel C.3 Data Pengukuran Densitas Campuran Bahan Cair

Jenis Campuran Bahan Bakar	Massa piknometer (gram)	Massa piknometer + BBC (gram)	Massa BBC (gram)	Densitas (gram/mL)
CPSJ/Kat1	17,3488	24,7948	7,4460	0,7304
CPSJ/Kat2	16,7773	24,4293	7,6520	0,7515
CPSJ/Kat3	17,3488	25,2583	7,9095	0,7758
CPS/Kat	16,7765	24,2980	7,5215	0,7387
Std	16,7764	23,9837	7,2073	0,7078

C.3.2 Hasil Karakterisasi Titik Nyala

Tabel C.4 Data Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair

Campuran Bahan Bakar Cair	Temperatur (°C)
Std	-49,2
CPSJ/Kat1	-49
CPSJ/Kat2	-48,7
CPSJ/Kat3	-48,2
CPS/Kat	-49,5

C.3.3 Hasil Karakterisasi Nilai Kalor

Perhitungan nilai kalor campuran bahan bakar cair CPSJ/Kat, sebagai berikut:

Cv asam benzoat : 1974,375 (kal/°C)

Faktor koreksi sisa kawat : 2,3 kal

$$\begin{aligned} \text{Nilai kalor} &= \frac{(\text{Cv asam benzoat} \times (T_2 - T_1)) + Q_v \text{ sisa kawat}}{\text{berat sampel}} \\ &= \frac{(1974,375 \times (35,9 - 30,3)) + 0}{1,0384} \\ &= 9595,99 \text{ kal/g} \end{aligned}$$

Tabel C.5 Data nilai kalor campuran bahan bakar cair

Campuran Bahan Bakar Cair	Berat sampel (g)	T1 (°C)	T2 (°C)	Sisa kawat	Qv sisa kawat (kal)	Nilai Kalor (kal/g)
Std	1,0384	30	33	0	0	9595,99
CPSJ/Kat1	1,0387	30	33	0	0	9593,21
CPSJ/Kat2	1,0401	30	36	0	0	19160,61
CPSJ/Kat3	1,0477	30	36	0	0	19021,62
CPS/Kat	1,0873	29	35	0	0	18328,84

C.3.4 Hasil Uji Angka Oktan

Tabel C.6 Data angka oktan campuran bahan bakar cair

Campuran Bahan Bakar Cair	Angka Oktan
Std	94,2
CPSJ/Kat1	93,2
CPSJ/Kat2	95,6
CPSJ/Kat3	96,7
CPS/Kat	93,7

C.4 Standar Baku Mutu Bahan Bakar Minyak

SNI 06-3506-1994 merupakan standar baku mutu bahan bakar minyak jenis bensin.

Tabel C.7 SNI 06-3506-1994

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

SNI 7182:2015 merupakan syarat mutu biodiesel

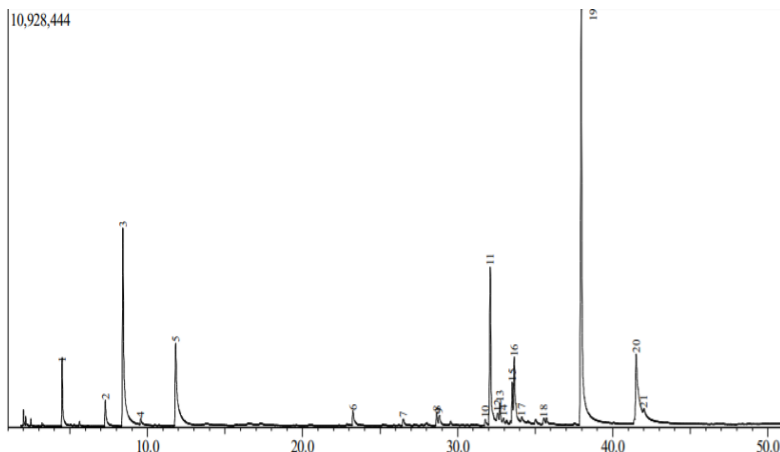
Tabel C.8 SNI 7182:2015

No.	Sifat	Satuan	Batasan	
			Min	Maks
1	Massa jenis pada 40°C	kg/m ²	850	890
2	Viskositas kinematik pada 40°C	mm ² /s (cSt)	2,3	6,0
3	Angka setana		51	
4	Titik nyala	°C	100	
5	Titik kabut	°C		18

LAMPIRAN D

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

D.1.1 Perengkahan PSJ/Kat60



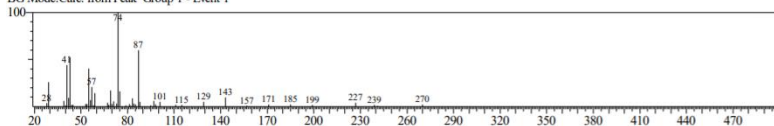
Gambar D.1 Kromatogram GC PSJ/Kat60

<< Target >>

Line#:19 R.Time:37.975(Scan#:4342) MassPeaks:48

RawMode:Averaged 37.967-37.983(4341-4343) BasePeak:73.95(1898772)

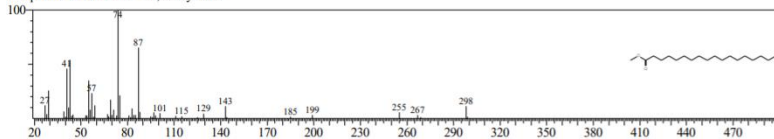
BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#: 1 Entry:10479 Library:NIST12.LIB

SI:95 Formula:C19H38O2 CAS:112-61-8 MolWeight:298 RefIndex:0

CompName:Octadecanoic acid, methyl ester

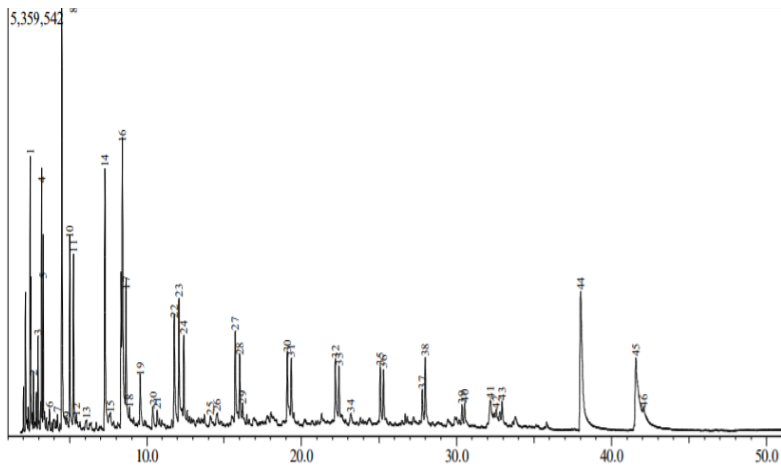


Gambar D.2 Spektrum MS PSJ/Kat60

Tabel D.1 Data Luas Area Bahan Bakar Cair PSJ/Kat60

Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	%Area	Fraksi
1	4,505	4,425	4,908	3,15	C7
2	7,289	7,208	7,625	1,61	C8
3	8,425	8,292	9,258	15,70	C8
4	9,568	9,258	9,775	0,51	C9
5	11,824	11,658	12,642	9,10	C9
6	23,256	23,158	23,592	1,19	C11
7	26,484	26,375	26,692	0,49	C13
8	28,655	28,558	28,742	0,73	C13
9	28,822	28,742	29,075	0,75	C14
10	31,782	31,692	31,958	0,44	C12
11	32,108	31,958	32,458	10,96	C15
12	32,582	32,458	32,658	1,08	C16
13	32,727	32,658	32,875	1,51	C16
14	32,957	32,875	33,058	0,46	C21
15	33,525	33,308	33,575	2,10	C15
16	33,654	33,575	34,042	5,62	C10
17	34,125	34,042	34,408	0,70	C15
18	35,555	35,425	35,692	0,53	C16
19	37,974	37,825	38,992	31,69	C19
20	41,519	41,275	41,925	9,70	C19
21	42,003	41,925	42,492	1,96	C19

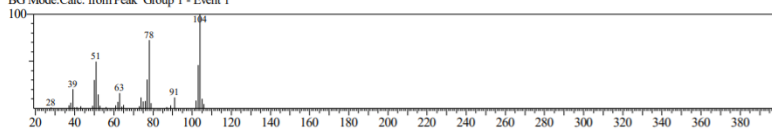
D.1.2 Perengkan PSJ/Kat120



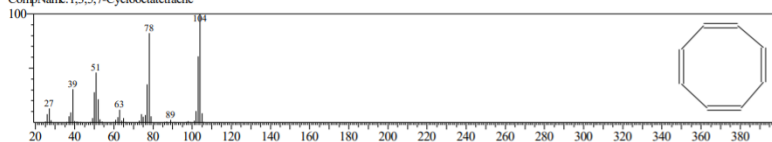
Gambar D.3 Kromatogram GC PSJ/Kat120

<< Target >>

Line#:16 R.Time:8.408(Scan#:794) MassPeaks:33
 RawMode:Averaged 8.400-8.417(793-795) BasePeak:104.00(635738)
 BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#:1 Entry:1412 Library:NIST12.LIB
 SI:94 Formula:C8H8 CAS:629-20-9 MolWeight:104 RetIndex:0
 CompName:1,3,5,7-Cyclooctatetraene



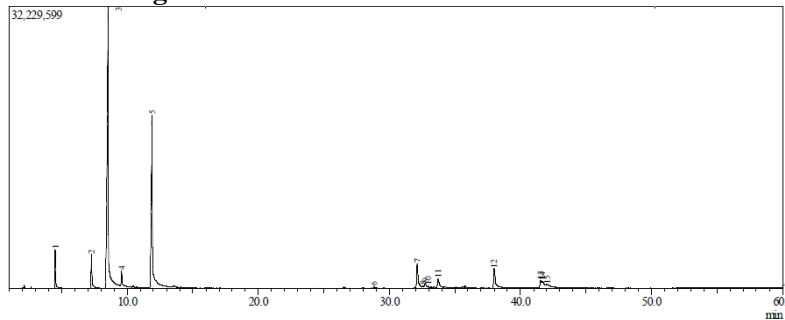
Gambar D.4 Spektrum MS PSJ/Kat120

Tabel D.2 Data Luas Area Bahan Bakar Cair PSJ/Kat120

Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	%Area	Fraksi
1	2,442	2,408	2,625	4,01	C6
2	2,658	2,625	2,725	0,72	C1
3	2,951	2,908	3,075	1,25	C6
4	3,192	3,075	3,242	3,24	C7
5	3,288	3,242	3,458	2,54	C7
6	3,694	3,558	3,792	0,45	C7
7	4,210	4,058	4,325	0,45	C7
8	4,494	4,325	4,758	8,21	C7
9	4,808	4,758	4,925	0,48	C7
10	5,008	4,925	5,192	3,69	C8
11	5,242	5,192	5,375	3,13	C8
12	5,442	5,375	5,575	0,55	C8
13	6,071	5,775	6,142	0,48	C8
14	7,275	7,175	7,475	5,95	C8
15	7,642	7,475	7,725	0,94	C10
16	8,407	8,242	8,542	10,04	C8
17	8,638	8,542	8,792	3,56	C9
18	8,858	8,792	8,925	0,51	C9
19	9,554	9,492	9,758	1,28	C9
20	10,411	10,325	10,592	0,73	C9
21	10,697	10,592	10,792	0,47	C9
22	11,798	11,725	12,025	3,32	C9
23	12,102	12,025	12,258	3,27	C10
24	12,418	12,258	12,558	2,42	C11
25	14,125	13,992	14,458	0,46	C7
26	14,576	14,458	14,708	0,46	C10
27	15,734	15,658	15,958	2,72	C11
28	16,023	15,958	16,142	1,69	C12

29	16,208	16,142	16,392	0,65	C11
30	19,089	18,958	19,275	2,22	C12
31	19,349	19,275	19,475	1,64	C12
32	22,192	22,042	22,358	1,62	C12
33	22,426	22,358	22,525	1,10	C12
34	23,174	23,008	23,342	0,49	C10
35	25,085	24,975	25,208	1,36	C12
36	25,294	25,208	25,458	1,15	C12
37	27,798	27,708	27,908	0,88	C12
38	27,990	27,908	28,242	1,75	C12
39	30,361	30,275	30,458	0,52	C14
40	30,531	30,458	30,808	0,69	C12
41	32,177	32,008	32,375	1,34	C15
42	32,559	32,375	32,725	0,97	C17
43	32,944	32,875	33,142	0,69	C16
44	38,009	37,875	38,592	8,45	C19
45	41,576	41,392	41,992	6,03	C19
46	42,075	41,992	42,508	1,43	C19

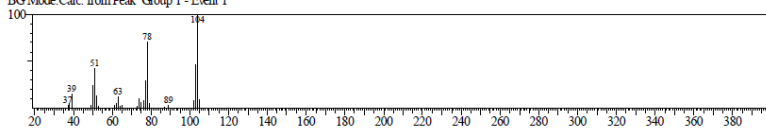
D.1.3 Perengkan PS/Kat60



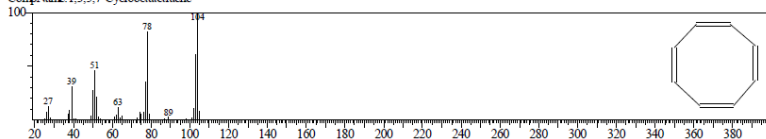
Gambar D.3 Kromatogram GC PS/Kat60

<< Target >>

Line# 3 R_Time: 8.542(Scan# 810) MassPeaks: 26
 RawMode: Averaged 8.533-8.550(809-811) BasePeak: 104.00(7244146)
 BG Mode: Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit# 1 Entry: 1412 Library: NIST12.LIB
 SE: 94 Formula: C₈H₈ CAS: 629-20-9 MolWeight: 104 RefIndex: 0
 CompName: 1,3,5,7-Cyclooctatetraene

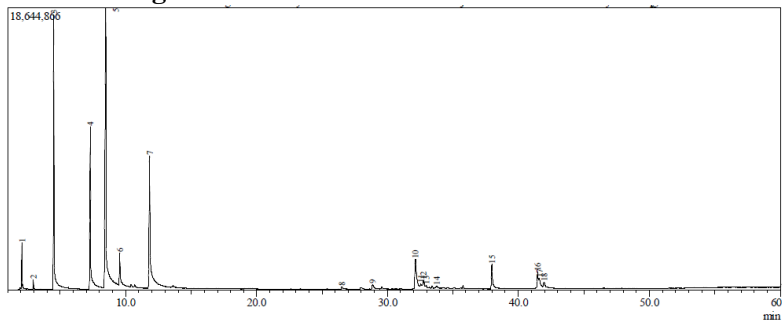


Gambar D.4 Spektrum MS PS/Kat60

Tabel D.3 Data Luas Area Bahan Bakar Cair PS/Kat60

Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	%Area	Fraksi
1	4,495	4,417	4,85	3,2	C7
2	7,278	7,192	7,667	3,51	C8
3	8,542	8,308	10,05	49,13	C8
4	9,564	9,483	9,8	1,44	C9
5	11,887	11,717	12,658	26,15	C9
6	28,851	28,75	29,075	0,29	C14
7	32,125	31,983	32,458	4,65	C15
8	32,589	32,458	32,658	0,51	C16
9	32,741	32,658	32,883	0,87	C16
10	32,96	32,883	33,083	0,34	C17
11	33,709	33,533	34,108	2,22	C10
12	37,991	37,883	38,375	3,86	C19
13	41,543	41,4	41,617	1,13	C19
14	41,666	41,617	41,958	1,82	C19
15	42,029	41,958	42,417	0,89	C19

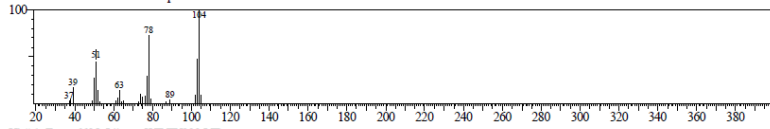
D.1.3 Perengkan PS/Kat120



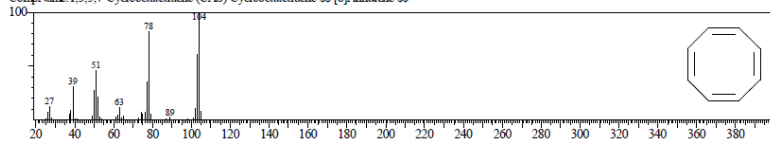
Gambar D.3 Kromatogram GC PS/Kat120

<< Target >>

Line#: 5 R Time: 8.475(Scan#: 802) MassPeaks: 26
 RawMode: Averaged 8.467-8.483(801-803) BasePeak: 104.00(3886693)
 BG Mode Calc. from Peak Group 1 - Event 1



Hit#: 1 Entry: 6635 Library: WILEY729.LIB
 SE95 Formula: C₈H₈ CAS: 629-20-9 MolWeight: 104 RetIndex: 0
 CompName: 1,3,5,7-Cyclooctatetraene (CAS) Cyclooctatetraene S8 [8]-Annulene S8



Gambar D.4 Spektrum MS PS/Kat120

Tabel D.4 Data Luas Area Bahan Bakar Cair PS/Kat120

Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	%Area	Fraksi
1	2,076	2,042	2,308	1,73	C2
2	2,949	2,9	3,108	0,42	C6
3	4,506	4,417	5,092	17,07	C7
4	7,297	7,192	7,733	12,98	C8
5	8,473	8,283	9,4	33,16	C8
6	9,556	9,4	9,975	3,2	C9
7	11,825	11,658	12,608	16,15	C9
8	26,522	26,433	26,667	0,28	C13
9	28,845	28,742	29,075	0,59	C14
10	32,128	31,967	32,467	5,23	C15
11	32,551	32,467	32,667	0,69	C15
12	32,745	32,667	32,892	1,12	C16
13	32,966	32,892	33,1	0,28	C21
14	33,752	33,642	33,958	0,3	C14
15	37,968	37,858	38,317	2,82	C19
16	41,473	41,3	41,542	1,63	C19
17	41,588	41,542	41,867	1,68	C19
18	41,962	41,867	42,175	0,68	C19

LAMPIRAN E

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

Perhitungan efisiensi termal campuran bahan bakar jenis CPSJ/Kat1

$$\text{Daya Power (BHP)} = 2.438 \text{ watt} = 8776,8 \text{ kJ/jam}$$

$$\text{LHV} = 40149 \text{ kJ/jam}$$

$$\text{Laju bahan bakar (M}_{\text{bbc}}) = 0,81 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi } (\eta) &= \frac{\text{BHP}}{\text{M}_{\text{bbc}} \times \text{LHV}} \times 100\% \\ &= \frac{8776,8 \text{ kJ/jam}}{0,81 \text{ kg/jam} \times 40149 \text{ kJ/jam}} \times 100\% \\ &= 27,01 \% \end{aligned}$$

Tabel E.1 Kinerja campuran bahan bakar cair pada mesin gasolin

CPSJ/Kat1										
Beban	Tegangan	Arus (A)	t/20cc bb (sc)	Daya G (Watt)	Daya P (Watt)	Torsi (N-m)	m bb (kg/jam)	Bmep(Pa)	BSFC (kg/w-jam)	Eff (%)
4	220	1,5	116	412,5	468,75	1,31	0,45	12337,47	0,0010	9,27
8	220	3,5	90	962,5	1093,75	3,07	0,58	28787,44	0,0005	16,78
12	220	4,7	83	1292,5	1468,75	4,12	0,63	38657,42	0,0004	20,79
16	220	6,3	75	1732,5	1968,75	5,52	0,70	51817,39	0,0004	25,18
20	220	7,8	65	2145	2437,5	6,83	0,81	64154,87	0,0003	27,01
CPSJ/Kat2										
4	220	1,4	116	385	437,5	1,23	0,47	11514,98	0,0011	8,41
8	220	3	101	825	937,5	2,63	0,54	24674,95	0,0006	15,69
12	220	4,6	91	1265	1437,5	4,03	0,59	37834,92	0,0004	21,68
16	220	6,2	82	1705	1937,5	5,43	0,66	50994,89	0,0003	26,33
20	220	7,8	70	2145	2437,5	6,83	0,77	64154,87	0,0003	28,27
CPSJ/Kat3										
4	220	1,4	122	385	437,5	1,23	0,46	11514,98	0,0010	8,57
8	220	3	101	825	937,5	2,63	0,55	24674,95	0,0006	15,20
12	220	4,7	89	1292,5	1468,75	4,12	0,63	38657,42	0,0004	20,98
16	220	5,9	82	1622,5	1843,75	5,17	0,68	48527,40	0,0004	24,27
20	220	7,5	62	2062,5	2343,75	6,57	0,90	61687,37	0,0004	23,33
CPS/Kat										
4	220	1,4	122	385	437,5	1,23	0,44	11514,98	0,0010	9,00
8	220	3	104	825	937,5	2,63	0,51	24674,95	0,0005	16,44
12	220	4,6	91	1265	1437,5	4,03	0,58	37834,92	0,0004	22,05
16	220	6,2	80	1705	1937,5	5,43	0,66	50994,89	0,0003	26,13
20	220	7,7	68	2117,5	2406,25	6,74	0,78	63332,37	0,0003	27,58
Std										
4	220	1,4	106	385	437,5	593,28	0,48	5571762,60	0,0011	8,12
8	220	3	92	825	937,5	1271,32	0,56	11939491,29	0,0006	15,11
12	220	4,6	87	1265	1437,5	1949,35	0,59	18307219,99	0,0004	21,91
16	220	6,2	75	1705	1937,5	2627,39	0,68	24674948,68	0,0004	25,45
20	220	7,8	68	2145	2437,5	3305,42	0,75	31042677,37	0,0003	29,03

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Ahmad Hawky Dermawan yang dilahirkan di Madiun pada tanggal 27 April 1996. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis pernah menempuh pendidikan di SDS Angkasa 1 Halim, SMPN 128 Jakarta, dan SMAN 67 Jakarta. Penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Kimia Fakultas Sains (FSAINS) Institut Teknologi Sepuluh

Nopember (ITS) melalui jalur Program Kemitraan Mandiri pada tahun 2015 dan terdaftar sebagai mahasiswa Kimia ITS dengan NRP 01211540000105. Penulis pernah melakukan kerja praktik di Laboratorium Instrumen dan Laboratorium Bioteknologi, Balai Besar Riset Pengolahan Produk dan Bioteknologi Kelautan dan Perikanan. Penulis menyelesaikan pendidikannya di Jurusan Kimia FSAINS ITS dengan mengambil skripsi yang berjudul “Perengkahan Katalitik Dari Limbah Polistiren Dengan Ko-Reaktan Biodiesel Minyak Jelantah Serta Unjuk Kerja Pada Mesin Gasolin”, yang dibimbing oleh Dr. Hendro Juwono, M.Si. Penulis dapat diajak berdiskusi mengenai skripsi maupun topik lainnya dan dapat dihubungi melalui email ahmadhawky@gmail.com