



**SKRIPSI**

**PENGARUH PERBEDAAN KATALIS TERHADAP  
PEMBENTUKAN FRAKSI HIDROKARBON HASIL  
PERENKAHAN CAMPURAN LIMBAH POLISTIREN  
(PS) DENGAN KO-REAKTAN BIODIESEL MINYAK  
JELANTAH**

**FIRMAN SATRIA PAMUNGKAS  
NRP. 0121154000034**

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

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



**SCRIPT**

**THE EFFECT OF CATALYST DIFFERENCES ON  
FORMATION OF HYDROCARBON FRACTION FROM  
CRACKING PRODUCT OF MIXED POLYSTYRENE (PS)  
WITH CO-REACTANT OF WASTE COOKING OIL  
BIODIESEL**

**FIRMAN SATRIA PAMUNGKAS  
NRP. 0121154000034**

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

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

**PENGARUH PERBEDAAN KATALIS TERHADAP  
PEMBENTUKAN FRAKSI HIDROKARBON HASIL  
PERENKAHAN CAMPURAN LIMBAH POLISTIREN  
(PS) DENGAN KO-REAKTAN BIODIESEL MINYAK  
JELANTAH SKRIPSI**

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

Disusun Oleh

**Firman Satria Pamungkas**  
**NRP. 0121154000034**

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



**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH PERBEDAAN KATALIS TERHADAP  
PEMBENTUKAN FRAKSI HIDROKARBON HASIL  
PERENKAHAN CAMPURAN LIMBAH POLISTIREN  
(PS) DENGAN KO-REAKTAN BIODIESEL MINYAK  
JELANTAH**

**SKRIPSI**

**Disusun oleh:**

**Firman Satria Pamungkas**  
**NRP. 0121540000034**

Surabaya, 11 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**

# **Pengaruh Perbedaan Katalis Terhadap Pembentukan Fraksi Hidrokarbon Hasil Perengkahan Campuran Limbah Polistiren (PS) dengan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Jelantah**

**Nama** : Firman Satria Pamungkas  
**NRP** : 0121154000034  
**Departemen** : Kimia ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Hendro Juwono, M.Si

## **ABSTRAK**

Bahan bakar cair dari limbah plastik polistiren dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah telah berhasil diperoleh. Katalis yang digunakan dalam proses perengkahan katalitik yaitu katalis Al-MCM-41/keramik dan katalis Pd/Al-MCM-41/keramik. Morfologi dan komposisi unsur diamati dengan SEM EDX, struktur kristal diamati dengan XRD, luas permukaan dan volume pori dianalisis dengan adsorpsi-desorpsi N<sub>2</sub> yang masing-masing dihitung dengan metode BET dan BJH, keasaman ditentukan dengan FTIR-Piridin, dan ketahanan suhu dianalisis dengan DTA. Hasil perengkahan katalitik diselidiki menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy* (GC-MS). Karakterisasi katalis menunjukkan bahwa keasaman Al-MCM-41/keramik menurun karena rasio Si/Al menurun, luas permukaan menurun, dan volume pori meningkat setelah impregnasi Pd. SEM EDX menunjukkan bahwa komposisi unsur karbon pada permukaan katalis Pd/Al-MCM-41/keramik lebih kecil dibandingkan dengan katalis Al-MCM-41/keramik. Hasil karakterisasi GC-MS terhadap bahan bakar cair dari perengkahan katalitik menggunakan katalis Pd/Al-MCM-41/keramik, memiliki persentase *yield* sebesar 89% dan fraksi gasolin (C<sub>7</sub>-C<sub>12</sub>) sebesar 74,9% pada perengkahan selama 120 menit.

**Kata Kunci:** bahan bakar cair, perengkahan katalitik, limbah plastik PS, biodiesel minyak jelantah, fraksi hidrokarbon

# **The Effect Of Catalyst Differences On Formation of Hydrocarbon Fraction From Cracking Product Of Mixed Polystyrene (PS) with Co-Reactant Of Waste Cooking Oil Biodiesel**

**Name** : Firman Satria Pamungkas  
**NRP** : 0121154000034  
**Department** : Chemistry ITS  
**Advisor** : Dr. Hendro Juwono, M.Si

## **ABSTRACT**

Liquid fuel from polystyrene plastic wastes and co-reactant biodiesel from waste cooking oil have been successfully obtained. The catalyst used in the catalytic cracking process is Al-MCM-41/ceramic and Pd-Al-MCM-41/ceramic catalysts. Morphology and elemental composition observed by SEM EDX, the crystal structure observed by XRD, the surface area and pore volume analysed by N<sub>2</sub> adsorption-desorption which were calculated using BET and BJH method, respectively, the acidity that determined by pyridine and FTIR, and temperature resistance analyzed by DTA. The liquid fuel were investigated using Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS). The characterization of catalyst showed that the acidity of Al-MCM-41/ceramic was reduce because the ratio of Si/Al was decrease, surface area was decrease, and pore volume was increase after Pd impregnation. SEM EDX shows that the composition of the carbon element on the surface of the Pd/Al-MCM-41/ceramic catalyst is smaller compared to the Al-MCM-41/ceramic catalyst. The results of GC-MS characterization of liquid fuels from catalytic cracking using Pd/Al-MCM-41/ceramic catalysts, have a yield percentage of 89% and gasoline fraction (C<sub>7</sub>-C<sub>12</sub>) of 74.9% in cracking for 120 minutes.

**Keywords:** liquid fuel, catalytic cracking, PS plastic waste, waste cooking oil biodiesel, hydrocarbon fraction

*Karya ini kupersembahkan untuk Bapak, Ibu, Mbak, Mas, Adik  
dan Seluruh keluarga besar  
Dosen pembimbing dan penguji  
Teman-teman GOLDSCHMIDT 2015  
Keluarga Qecyil  
Keluarga Villager  
Tim Gerilya  
serta seluruh teman-teman  
yang selalu membantu, memotivasi, dan memberi semangat*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan baik naskah Skripsi yang berjudul **“PENGARUH PERBEDAAN KATALIS TERHADAP PEMBENTUKAN FRAKSI HIDROKARBON HASIL PERENKAHAN CAMPURAN LIMBAH POLISTIREN (PS) DENGAN KO-REAKTAN BIODIESEL MINYAK JELANTAH”**.

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

1. Dr. Hendro Juwono, M.Si selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan serta semangat selama proses penyusunan naskah Skripsi ini.
2. Prof. Dr. Didik Prasetyoko, S.Si, M.Sc., selaku Ketua Jurusan Kimia atas fasilitas yang telah diberikan hingga naskah Skripsi ini dapat terselesaikan.
3. Kedua orangtua dan keluarga yang selalu memberi semangat dan dukungan yang tiada henti
4. Teman-teman GOLDSCHMIDT dan Tim “Qecyil” yang selalu berjuang bersama yaitu Anasun, Ardita, dan Hawcek.
5. Tim gerilya yang selalu memberi semangat dan kerjasama yang luar biasa hingga berkualitas tanpa batas.
6. Semua pihak yang telah membantu yang tidak mungkin saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan naskah Skripsi ini tidak lepas dari kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk dapat meningkatkan kualitas dan perbaikan lebih lanjut.

Surabaya, 11 Juli 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	ii
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR LAMPIRAN .....	xi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Katalis Al-MCM-41 .....	7
2.2 Sintesis Pd/Al-MCM-41/Keramik .....	7
2.3 Polistiren .....	8
2.4 Biodiesel.....	10
2.5 Esterifikasi-Transesterifikasi.....	10
2.6 Minyak Jelantah .....	11
2.7 Perengkahan .....	12
2.7.1 Perengkahan Termal .....	13
2.7.2 Perengkahan Katalitik .....	15
2.8 Karakterisasi Katalis .....	17
2.8.1 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	17
2.8.2 <i>Scanning Electronic Microscope (SEM) EDX</i> .....	20
2.8.3 <i>Differential Thermal Analysis (DTA)</i> .....	22
2.8.4 Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen.....	24
2.8.5 Penentuan Asam Basa Permukaan Padatan .....	26
2.9 Karakterisasi Bahan Bakar Cair .....	27
2.9.1 <i>Gas Chromatography – Mass Spectroscopy (GC-MS)</i> .....	27
BAB III METODE PENELITIAN .....	33
3.1 Alat dan Bahan.....	33
3.1.1 Alat.....	33
3.1.2 Bahan .....	33
3.2 Prosedur Penelitian .....	33

3.2.1	Pembuatan Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik.....	33
3.2.2	Karakterisasi Katalis Al-MCM-41/keramik dan Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik.....	34
3.2.3	Produksi Bahan Bakar Cair dari Limbah Plastik Polistiren .....	34
3.2.4	Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah .....	35
3.2.5	Produksi Bahan Bakar Cair Minyak Plastik Polistiren dengan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Jelantah .....	35
3.2.6	Hasil <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometer</i> (GC-MS) .....	37
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1	Hasil Sintesis Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik.....	39
4.2	Hasil Karakterisasi Katalis.....	42
4.2.1	Hasil Karakterisasi XRD.....	42
4.2.2	Hasil Karakterisasi SEM-EDX .....	43
4.2.3	Hasil Karakterisasi Adsorpsi Desorpsi Nitrogen .....	46
4.2.4	Hasil Karakterisasi Keasaman Menggunakan FTIR-Piridin.....	48
4.2.5	Hasil Karakterisasi DTA.....	50
4.3	Hasil Sintesis Bahan Bakar Cair .....	51
4.3.1	Hasil Perengkahan Bahan Baku Limbah Plastik Polistiren (PS).....	51
4.3.2	Hasil Sintesis Ko-Reaktan Biodiesel Minyak Jelantah .....	53
4.3.3	Produksi Bahan Bakar Cair dari Limbah Polistiren dengan Ko-Reaktan Biodiesel Minyak Jelantah .....	56
4.4	Analisa Fraksi Hidrokarbon Bahan Bakar Cair Menggunakan GC-MS .....	60
4.4.1	Persentase Fraksi Hidrokarbon Bahan Bakar Cair (BBC).....	60
4.5	Mekanisme Reaksi Perengkahan Plastik Polistiren (PS) .....	61
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN.....	63
5.1	Kesimpulan .....	63
5.2	Saran .....	63
	DAFTAR PUSTAKA.....	65
	BIODATA PENULIS.....	101

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kode plastik berbahan baku polistirena (Homan, 2011).....	9
Gambar 2.2	Analisis TGA pada bahan baku limbah plastik (Miandad dkk., 2017). ....	9
Gambar 2.3	Produksi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi (Haryanto dkk., 2015).....	11
Gambar 2.4	Kondisi geometri untuk difraksi dari bidang kisi (Epp, 2016).....	18
Gambar 2.5	Difraktogram XRD katalis Al-MCM-41 dan Pd/Al-MCM-41 (Juwono dkk., 2013).....	19
Gambar 2.6	Difraktogram XRD katalis Al-MCM-41:Keramik (7:3) (Alfian, 2018) .....	20
Gambar 2.7	<i>Scanning Electron Microscope</i> (SEM) di laboratorium RCA (Egerton, 2005). ....	20
Gambar 2.8	Mikrograf SEM katalis (a) Al-MCM-41 (b) Pd/Al-MCM-41 (Juwono dkk., 2013).....	22
Gambar 2.9	Blok diagram DTA (“Principle of Differential Thermal Analysis (DTA): Hitachi High-Technologies GLOBAL,” n.d.) .....	23
Gambar 2.10	Prinsip pengukuran DTA (“Principle of Differential Thermal Analysis (DTA): Hitachi High-Technologies GLOBAL,” n.d.) .....	24
Gambar 2.11	Jenis-jenis grafik adsorpsi isoterm (Adamson dan Gast, 1997). ....	25
Gambar 2.12	Instrumen GC-MS Varian Saturn CP-3800/22000MS (LTSIT, 2016).....	27
Gambar 2.13	Flame Ionization Detector (Skoog dkk., 2014). ...	29
Gambar 2.14	Sel Thermal Conductivity Detectors (Skoog dkk., 2014). ....	30
Gambar 3.1	Skema <i>Continuous Reactor</i> . ....	36
Gambar 4.1	Katalis Al-MCM-41/Keramik .....	40
Gambar 4.2	Campuran larutan PdCl <sub>2</sub> dan serbuk Al-MCM-41/Keramik.....	40
Gambar 4.3	Hasil kalsinasi katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik .	41
Gambar 4.4	Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik.....	41

Gambar 4.5	Hasil XRD katalis (a) Al-MCM-41/Keramik (Alfian, 2018) (b) Pd/Al-MCM-41/Keramik.....	42
Gambar 4.6	SEM Al-MCM-41:Keramik (7:3) (Alfian, 2018).	43
Gambar 4.7	Mikrogram SEM (a) Katalis Al-MCM-41/Keramik (b)Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik .....	44
Gambar 4.8	SEM-EDX (a) Logam Al pada katalis Al-MCM-41/keramik (b) Logam Al pada katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik dan (c) Logam Pd pada katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik. ....	45
Gambar 4.9	Grafik isotherm (a) Al-MCM-41/keramik (b) Pd/Al-MCM-41/Keramik .....	47
Gambar 4.10	Spektrum FTIR-Piridin katalis .....	48
Gambar 4.11	Analisa termal pada katalis dengan DTA.....	51
Gambar 4.12	Limbah Polistiren .....	51
Gambar 4.13	<i>Feedstock</i> minyak polistiren (PS) .....	52
Gambar 4.14	Campuran metanol dan katalis NaOH.....	53
Gambar 4.15	Pemanasan minyak jelantah pada suhu 50°C. ....	54
Gambar 4.16	Campuran minyak jelantah dengan campuran metanol dan katalis NaOH .....	54
Gambar 4.17	Pemisahan fasa atas dan fasa bawah .....	55
Gambar 4.18	Biodiesel minyak jelantah .....	55
Gambar 4.19	Rangkaian <i>pellet</i> katalis pada kawat kasa .....	57
Gambar 4.20	Bahan bakar cair hasil perengkahan dengan (a) Katalis Al-MCM-41/Keramik (b) Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik.....	58
Gambar 4.21	Kokas hasil perengkahan dengan (a) Katalis Al-MCM-41/Keramik (b) Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik.....	59
Gambar 4.22	Reaksi perengkahan polistirena dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah (Sanahuja-Parejo dkk., 2018).....	62

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi asam lemak minyak jelantah .....	12
Tabel 2.2	Pengaruh impregnasi Pd terhadap luas permukaan, volume pori dan rata-rata jari-jari pori .....	26
Tabel 2.3	Distribusi produk dari reaksi <i>hydrocracking</i> katalitik .....	31
Tabel 3.1	Kondisi instrumen GC-MS .....	37
Tabel 4.1	Komposisi tiap unsur pada katalis hasil EDX .....	46
Tabel 4.2	Data analisis adsorpsi desorpsi nitrogen .....	47
Tabel 4.3	Keasaman katalis dengan FTIR-Piridin .....	49
Tabel 4.4	Komposisi Si dan Al pada katalis .....	50
Tabel 4.5	Persentase <i>yield</i> minyak plastik polistiren .....	52
Tabel 4.6	Karakterisasi fisik biodiesel minyak jelantah .....	56
Tabel 4.7	Volume bahan bakar cair (BBC) dan kokas hasil perengkahan limbah plastik PS dengan ko-reaktan biodiesel .....	59
Tabel 4.8	Persentase fraksi hidrokarbon hasil perengkahan .....	60

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A .....	71
A.1 Prosedur Kerja .....	71
LAMPIRAN B .....	76
B.1 Karakterisasi Katalis Al-MCM-41/Keramik .....	76
B.2 Karakterisasi Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik .....	84
LAMPIRAN C .....	92
C.1 Hasil Karakterisasi Bahan Bakar Cair .....	92
LAMPIRAN D .....	93
D.1 Hasil Karakterisasi GC-MS Fraksi Rantai Hidrokarbon dalam Bahan Bakar Cair .....	93

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Plastik berasal dari minyak bumi sehingga plastik perlu dikembalikan ke bentuk minyak untuk kebutuhan bahan bakar minyak didunia. Bahan bakar minyak yang dihasilkan dari plastik memiliki kalor yang tinggi setara dengan bahan bakar fosil seperti bensin dan solar sehingga sangat efektif sebagai sumber bahan bakar alternatif (Iswadi dkk., 2017). Sampah plastik tidak bisa dimusnahkan dengan cara pembakaran karena kurang efektif dan hasil samping dari pembakaran dapat mencemari lingkungan seperti emisi gas buang ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ) dan beberapa pencemar lainnya. Salah satu tindakan yang dilakukan untuk mengatasi masalah limbah plastik yaitu mendaur ulang limbah plastik menjadi barang barang yang dapat digunakan kembali. Langkah mendaur ulang limbah plastik tersebut belum efektif karena hanya 4% yang dapat didaur ulang, dan masih banyak limbah plastik yang menggunung di tempat pembuangan akhir (Qurratul, 2017). Permasalahan dalam mengolah limbah plastik dapat diatasi dengan membuat inovasi, salah satunya yaitu mengolah limbah plastik polistiren menjadi bahan bakar alternatif.

Polistirena (PS) adalah senyawa polimer termoplastik dengan rantai hidrokarbon linear. Limbah polistirena terdegradasi lambat sekitar 20 hingga 30 tahun (Sogancioglu dkk., 2017). Masalah yang terdapat pada limbah polistirena yaitu terdapat bahan aditif seperti stabilisator dan pewarna. Zat aditif itu dapat berisi berbagai racun terutama cadmium dan timbal. Plastik dapat mencapai sekitar 28% dari total cadmium dalam limbah padat pada perkotaan dalam studi di tempat pembuangan akhir (Sogancioglu dkk., 2017). Mendaur ulang polistirena sangat dibutuhkan dan jalan yang hemat biaya serta ramah lingkungan dalam mengolah plastik. Daur ulang plastik PS akan membantu mempertahankan sumber minyak/petroleum karena PS merupakan produk yang didasari oleh petroleum. Perlakuan termal dari limbah plastik polistirena menunjukkan sebuah pilihan yang berguna untuk

mengurangi banyaknya limbah pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) (Sogancioglu dkk., 2017). Perlakuan termal tersebut dapat menghasilkan bahan bakar cair yang digunakan sebagai sumber bahan bakar alternatif.

Penggunaan ko-reaktan biodiesel ke dalam bahan bakar cair dari limbah polistiren dapat meningkatkan fraksi hidrokarbon rantai panjang, sehingga dapat meningkatkan daya tahan bahan bakar dalam kendaraan. Biodiesel itu sendiri umumnya berasal dari minyak tumbuhan atau minyak nabati dan juga dari lemak hewan yang diperoleh melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi. Minyak ini juga dapat diproduksi dengan memanfaatkan limbah rumah tangga yaitu minyak jelantah. Minyak tersebut berasal dari minyak penggorengan yang digunakan berulang kali. Walaupun minyak tersebut dapat digunakan berulang kali, minyak tersebut dapat bersifat karsinogenik berdasarkan komposisi kimianya. Zat tersebut akan menyebabkan penyakit kanker pada pengonsumsi makanan yang digoreng menggunakan minyak tersebut. Minyak jelantah umumnya berasal dari limbah minyak seperti minyak jagung, minyak samin, minyak sayur, dan lain sebagainya. Minyak jelantah memiliki potensi yang cukup besar untuk dikembangkan menjadi bahan bakar biodiesel karena memiliki asam lemak yang tinggi (Adhari dkk., 2016). Pada campuran ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dan limbah polistiren dilakukan proses perengkahan katalitik dengan katalis MCM-41. Perengkahan katalitik lebih efisien dibandingkan dengan perengkahan termal karena proses tersebut hanya membutuhkan energi yang cukup rendah akibat adanya katalis.

Salah satu katalis yang dapat digunakan untuk perengkahan katalitik pada limbah polistiren dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah yaitu Al-MCM-41. Al-MCM-41 merupakan katalis mesopori yang memiliki keasaman yang tinggi dan efektif dalam perengkahan katalitik karena adanya logam aluminium yang dapat meningkatkan keasaman. Keasaman tersebut dapat mempengaruhi fraksi hidrokarbon pada hasil perengkahan katalitik. Nilai keasaman juga dapat ditingkatkan yaitu dengan meningkatkan komposisi logamnya. Keramik

merupakan sumber logam Al yang dapat meningkatkan keasaman Al-MCM-41. Selain itu, keramik juga dapat meningkatkan volume pori katalis Al-MCM-41 karena ada gaya tarik padat-padat antara permukaan katalis dan keramik (Nugroho, 2018). Penambahan logam transisi juga dapat meningkatkan keasaman. Salah satu logam yang digunakan dalam penelitian ini yaitu logam Paladium (Pd). Kemampuan katalitik logam Pd dipengaruhi oleh elektron pada orbital d yang berbaur dengan elektron orbital s dan p terdekat yang terdegenerasi. Orbital kosong pada logam Pd dapat digunakan sebagai situs katalitik logam (Dewi dan Novriyansyah, 2016).

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh Juwono dkk. (2013), katalis Pd/Al-MCM-41 digunakan sebagai produksi hidrokarbon ( $C_8-C_{20}$ ) dari katalitik *hydrocracking* biodiesel dari minyak biji nyamplung. Fraksi hidrokarbon ( $C_8-C_{20}$ ) yang diperoleh dari perengkahan katalitik dengan katalis Pd/Al-MCM-41 utamanya melimpah pada fraksi hidrokarbon  $C_{12}$  ke bawah dibandingkan dengan katalis Al-MCM-41 yang kelimpahan fraksi hidrokarbonnya diatas  $C_{12}$  dan terdapat alkohol. Impregnasi logam Pd pada katalis Al-MCM-41 dapat meningkatkan selektivitas katalis dan lebih efisien dalam proses perengkahan katalitik.

Berdasarkan uraian di atas, maka dalam penelitian ini dilakukan perbandingan fraksi hidrokarbon dari hasil perengkahan campuran limbah polistiren dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah menggunakan katalis Al-MCM-41/keramik dan katalis Pd/Al-MCM-41/keramik. Pengaruh tersebut diperoleh dari hasil evaluasi melalui karakterisasi pada kedua katalis menggunakan XRD, SEM-EDX, DTA, FTIR-Piridin dan Adsorpsi-Desorpsi  $N_2$  serta GC-MS pada hasil perengkahan tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian Juwono dkk. (2017) telah dilakukan perengkahan pada biodiesel minyak Nyamplung menggunakan katalis Pd/Al-MCM-41 menghasilkan fraksi hidrokarbon ( $C_7-C_{20}$ ). Berdasarkan hasil karakterisasi adsorpsi-desorpsi  $N_2$  katalis Pd/Al-MCM-41 menunjukkan bahwa masuknya logam Pd ke dalam Al-

MCM-41 dapat menurunkan luas permukaan dan volume pori. Selain itu, penelitian Juwono dkk. (2017) menjelaskan bahwa perengkahan katalitik terjadi pada pori, tidak pada permukaan katalis.

Penelitian sebelumnya oleh Alfian (2018), dilakukan perengkahan katalitik limbah plastik polipropilen dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah (1:1) dengan katalis Al-MCM-41/keramik. Berdasarkan data adsorpsi-desorpsi N<sub>2</sub> katalis Al-MCM-41/keramik bahwa adanya keramik dapat meningkatkan luas permukaan karena adanya tarikan pada permukaan katalis pada logam Al. Selain itu, volume pori juga meningkat. Katalis lebih selektif karena volume pori meningkat sehingga terdapat banyak sisi aktif pada pori katalis yang menyebabkan hidrokarbon yang melewati katalis dapat bereaksi dengan baik ketika perengkahan terjadi pada pori katalis. Namun, pada kedua penelitian tersebut belum meneliti tentang perengkahan katalitik campuran limbah polistiren (PS) dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah serta penggunaan katalis Pd/Al-MCM-41/keramik dalam perengkahan katalitik tersebut. Oleh karena itu, permasalahan yang muncul dalam penelitian ini yaitu bagaimana pengaruh perbedaan katalis terhadap fraksi hidrokarbon hasil perengkahan limbah polistiren dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh perbedaan katalis Al-MCM-41/keramik dengan Pd/Al-MCM-41/keramik terhadap pembentukan fraksi hidrokarbon pada hasil perengkahan campuran limbah polistiren dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah.

### **1.4 Batasan Penelitian**

Produksi bahan bakar cair dari campuran limbah plastik polistiren dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah hasil perengkahan katalitik penelitian ini dilakukan pada suhu 300°C selama 2 jam dengan variasi jenis katalis yaitu katalis Al-MCM-

41/keramik dan katalis Pd/Al-MCM-41/keramik. Bahan bakar yang diperoleh kemudian dianalisis dengan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry*(GC-MS) untuk mengetahui prosentase perengkahan katalitik pada fraksi hidrokarbon rantai rendah ( $<C_7$ ), fraksi gasolin ( $C_7$ - $C_{12}$ ) dan fraksi hidrokarbon rantai panjang ( $>C_{12}$ ).

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa

1. Memanfaatkan limbah minyak goreng dan limbah plastik sebagai sumber bahan bakar alternatif dalam mengurangi penggunaan bahan bakar fosil
2. Memberikan informasi mengenai pengaruh logam transisi pada katalis Al-MCM-41/keramik terhadap hasil perengkahan katalitik
3. Mengembangkan IPTEK tentang bahan bakar alternatif

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Katalis Al-MCM-41**

Al-MCM-41 merupakan padatan mesopori yang memiliki struktur yang teratur dengan rongga yang seragam, membentuk susunan heksagonal, luas permukaan spesifik yang luas/besar ( $1000 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ ) serta stabilitas termal yang baik (Sandi dkk., 2010). Sebagai katalis heterogen, Al-MCM-41 memiliki pori-pori yang luas ( $15\text{-}100\text{\AA}$ ) sehingga baik digunakan sebagai katalis. Katalis tersebut juga memiliki sisi asam bronsted karena adanya logam Aluminium (Al) yang tersubstitusi dan sisi asam Lewis dari MCM-41 itu sendiri. Keasaman pada katalis Al-MCM-41 dapat mempengaruhi hasil perengkahan dan reaksi lainnya. Kuatnya sisi asam dapat dipengaruhi oleh kandungan logam yang bervalensi 3 seperti logam Al. Keasaman katalis dapat diuji dengan adsorpsi piridin yang jumlah piridin teradsorpsi diamati melalui teknik spektroskopi inframerah pada daerah  $1700\text{-}1400 \text{ cm}^{-1}$  (Khalifah dan Prasetyoko, 2008).

#### **2.2 Sintesis Pd/Al-MCM-41/Keramik**

Tujuan dari modifikasi Al-MCM-41 yaitu meningkatkan keasaman dari katalis tersebut terutama untuk 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 dan Novriyansyah, 2016). Sintesis Pd/Al-MCM-41/keramik dilakukan dengan metode impregnasi melalui teknik hidrotermal.

Impregnasi merupakan metode sintesis katalis dengan mengadsorpsi garam precursor yang mengandung logam aktif didalam larutan ke padatan pengemban. Garam prekursor dalam penelitian ini yaitu  $\text{PdCl}_2$  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 *aqueous*. Prinsip teknik hidrotermal yaitu pemanasan reaktan dalam sistem tertutup dengan medium air sehingga tekanan dan suhu meningkat dengan cepat. Sintesis oksida logam dengan hidrotermal dapat terjadi melalui dua tahap. Tahap pertama yaitu hidrolisis dari larutan garam menghasilkan logam hidroksida. Selama tahap kedua hidroksida akan terhidrasi menghasilkan oksida logam yang diinginkan. Teknik ini dapat mengontrol produk dari ukuran, distribusi bentuk, dan kristalinitas oksida logam.

### 2.3 Polistiren

Polistiren merupakan senyawa polimer aromatik yang disintesis dari monomer stiren. Umumnya polistiren tak berwarna, lebih padat/keras daripada jenis plastik yang lain. Sebagai polimer thermoplastik, polistirena berwujud padat pada keadaan dalam suhu ruang tetapi akan mengalir jika dipanaskan pada suhu diatas  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , keadaan tersebut dapat disebut dengan *glass transition temperature*. *Glass transition temperature* merupakan keadaan transisi reversibel dimana suatu bahan amorf yang bersifat keras dan mudah rapuh diubah menjadi kental dan seperti karet. Polistiren memiliki kode plastik dengan nomor daur ulang enam (Gambar 2.1) yang umumnya dipakai sebagai bahan tempat makan *styrofoam*, tempat minum sekali pakai, tempat CD, karton tempat telur, dan produk plastik lainnya (Homan, 2011). Polistiren dapat terdekomposisi pada suhu tinggi daripada jenis plastik yang lainnya karena sifatnya yang sangat padat/keras dan memiliki

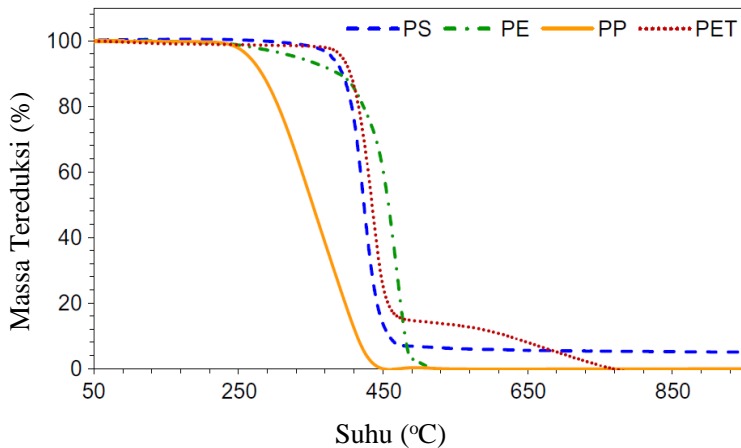


gugus aromatik yang membuatnya susah terdekomposisi pada suhu rendah.



Gambar 2.1 Kode plastik berbahan baku polistirena (Homan, 2011)

Bahan baku polistiren juga menunjukkan (Gambar 2.2) satu tahap dekomposisi yang dimulai pada suhu 330 °C, sementara dekomposisi 50% nya terjadi lebih lanjut dalam peningkatan suhu 100 °C dan mencapai dekomposisi maksimum 95% pada suhu sekitar 470 °C (Miandad dkk., 2017).



Gambar 2.2 Analisis TGA pada bahan baku limbah plastik (Miandad dkk., 2017)

Berdasarkan penelitian sebelumnya mengenai pengolahan polistirena, telah didapatkan bahan bakar cair kualitas tinggi dari pencampuran limbah polistirena dengan kulit kelapa yang dipirolisis (Abnisa dkk., 2013).

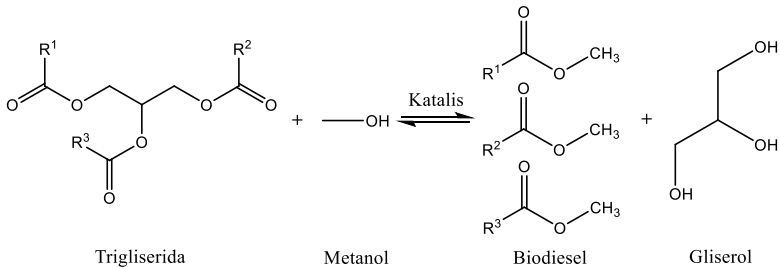
## 2.4 Biodiesel

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternative untuk mesin diesel. Bahan bakar ini ramah lingkungan dan dapat diperbaharui. Bahan bakar ini dibuat dari bahan organik yaitu minyak tumbuhan atau lemak hewan atau minyak nabati melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi. Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar memiliki banyak keuntungan antara lain bersifat terbarukan dan ramah lingkungan (mengurangi emisi kendaraan), mampu melumasi mesin sekaligus sebagai bahan bakar sehingga dapat meningkatkan umur kendaraan, aman untuk disimpan dan ditransportasikan karena bahan bakar ini bersifat tidak beracun dan *biodegradable* dan dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil (Adhari dkk., 2016).

Minyak nabati merupakan sumber utama dalam pembentukan biodiesel yang dapat ditemukan pada beberapa tanaman. Di Indonesia, terdapat 50 spesies tanaman yang dapat menghasilkan biodiesel, contoh yang populer adalah sawit, kelapa, jarak pagar, dan kapuk atau randu (Hendra dkk., 2018). Bahan-bahan nabati dapat menghasilkan minyak mentah atau yang memiliki kelimpahan senyawa trigliserida sehingga viskositas dinamik sangat tinggi (Hendra dkk., 2018). Maka dari itu, minyak tersebut memerlukan proses yang dapat merubahnya menjadi biodiesel, salah satunya dengan proses esterifikasi dan transesterifikasi.

## 2.5 Esterifikasi-Transesterifikasi

Biodiesel dapat diproduksi melalui dua reaksi yaitu esterifikasi dan transesterifikasi. Reaksi esterifikasi dapat dilakukan dengan menggunakan katalis asam. Reaksi transesterifikasi merupakan reaksi utama dalam pembuatan biodiesel dengan menggunakan katalis basa. Dalam reaksi yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, trigliserida dalam minyak jelantah bereaksi dengan alkohol (dipercepat oleh katalis) dan menghasilkan biodiesel atau FAME (Fatty Acid Methyl Ester) yang dapat digunakan sebagai energi alternatif pengganti solar serta hasil samping berupa gliserin (Haryanto dkk., 2015).



Gambar 2.3 Produksi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi (Haryanto dkk., 2015)

Transesterifikasi merupakan tipe reaksi kesetimbangan reversibel, sehingga dapat mempercepat tercapainya keadaan kesetimbangan tersebut dengan penambahan katalis (Ningtyas dkk., 2013). Walaupun proses transesterifikasi sangat mudah dan cepat serta hanya dibutuhkan komposisi alkohol yang sedikit, pemilihan proses dalam pembuatan biodiesel perlu dilihat dari jumlah asam lemak bebas/*Free Fatty Acid* (FFA) dalam bahan bakunya. Kadar FFA diperbolehkan dalam katalis basa adalah  $< 1\%$  atau setara dengan 2 mg KOH/g sampel (Arita dkk., 2013). Kenaikan nilai FFA menunjukkan minyak mengalami kerusakan akibat hidrolisa (Silalahi dkk., 2017). Berdasarkan penelitian Laila dan Oktavia (2017), apabila didapatkan nilai FFA lebih dari 2%, maka perlu dilakukan proses esterifikasi yang bertujuan untuk mengurangi nilai FFA dari minyak kelapa.

## 2.6 Minyak Jelantah

Minyak goreng bekas (Minyak Jelantah) merupakan limbah rumah tangga yang utamanya sangat melimpah pada industri pangan dan restoran. Minyak ini umunya berasal dari hasil penggorengan sebanyak 4-7 kali. Minyak goreng bekas lebih kental dibandingkan dengan minyak segar disebabkan oleh pembentukan dimer dan polimer asam dan gliserid di dalam minyak goreng bekas karena pemanasan sewaktu digunakan. Proses penggorengan menyebabkan sebagian ikatan rangkap pada minyak goreng menjadi jenuh (ikatan tunggal). Minyak yang tinggi

kandungan LTJ (Lemak Tak Jenuh) memiliki nilai tambah hanya pada gorengan pertama saja, sementara yang tinggi ALJ (Asam Lemak Jenuh) bisa lebih lama lagi, meskipun pada akhirnya akan rusak juga (Arman, 2010). Minyak jelantah merupakan minyak nabati turunan dari minyak kelapa sawit (*palm oil*) dimana dapat dihasilkan dari inti kelapa sawit (Umami, 2015). Minyak jelantah memiliki potensi yang cukup besar untuk dikembangkan menjadi bahan bakar biodiesel karena memiliki asam lemak yang tinggi (Adhari dkk., 2016). Komposisi asam lemak minyak jelantah dari minyak goreng sawit ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi asam lemak minyak jelantah

Kriteria	Satuan	Nilai
Asam Palmitat	wt%	21,47
Asam Stearat	wt%	13
Asam Oleat	wt%	28,64
Asam Linoleat	wt%	13,58
Asam Linoleneat	wt%	1,59
Asam Miristat	wt%	3,21
Asam Laurat	wt%	1,1
Lain-lain	wt%	9,34

(Adhari dkk., 2016)

## 2.7 Perengkahan

Perengkahan atau Pirolisis merupakan proses dekomposisi suatu senyawa organik seperti limbah plastik dengan pemecahan struktur senyawa menjadi fase gas melalui proses pemanasan dimana sedikit ada oksigen atau zat lainnya. Proses ini umumnya membutuhkan suhu melebihi titik didih air (>100 °C), seperti limbah plastik polistirena dibutuhkan suhu sekitar 400 °C untuk mengalami dekomposisi. Suhu pirolisis sangat penting karena jenis kelimpahan relatif produk pirolisis dari bahan polimer tergantung pada suhu pirolisis (Choi dan Kim, 2018). Prosesnya dapat dilakukan menggunakan beberapa reaktor yaitu *tube* reaktor, *rotary kiln* reaktor, *microwave* reaktor, *fixed bed* reaktor, *semi*

*batch* reaktor, dan *batch* reaktor. Salah satu reaktor yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *chamber reactor*.

Terdapat berbagai metode pirolisis seperti ko-pirolisis dan pirolisis katalitik. Ko-pirolisis merupakan proses perengkahan termal ringan dan sarana penting untuk memperoleh bahan bakar karbon rendah dan bahan kimia bernilai tinggi secara langsung dari bahan baku (Zhao dkk., 2018). Pirolisis katalitik merupakan salah satu solusi untuk meningkatkan minyak biotradisional dari pirolisis biomassa dengan cepat menjadi bahan bakar bio cair berkualitas lebih baik dalam hal nilai kalor, komponen oksigen, viskositas dan stabilitas (Pattiya, 2018).

Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Shafaghat dkk. (2018), diperoleh hidrokarbon dengan berat 5,86% dari pirolisis katalitik poplar kuning menggunakan HY dan 1% Ni/HZSM-5 sebagai katalis, penelitian lainnya juga oleh Miandad dkk. (2018), diperoleh minyak cair 32% berat dari pirolisis katalitik dengan katalis alumina yang teraktivasi, 26 % kalsium hidroksida yang aktif , 22% zeolit alami, dan 20% zeolit sintesis serta diperoleh minyak cair 40% tanpa katalis.

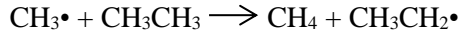
### **2.7.1 Perengkahan Termal**

Proses perengkahan termal merupakan proses pemecahan rantai hidrokarbon panjang menjadi hidrokarbon yang lebih kecil melalui pemanasan yang bersuhu tinggi. Perengkahan termal membutuhkan suhu operasi yang tinggi yaitu 850°C, selain itu jenis bahan baku yang digunakan akan menentukan jenis produk yang dihasilkan (Tambun dkk., 2016). Perengkahan termal menyebabkan putusnya ikatan sigma pada karbon-karbon sehingga molekul terpecah menjadi fragmen-fragmen radikal bebas. Reaksi yang terjadi pada proses ini disebut dengan homolitik fision dan memproduksi alkena yang menjadi bahan dasar untuk memproduksi polimer (Trisunaryanti, 2018). *Thermal cracking* dari molekul parafin umumnya akan menghasilkan rantai dengan ukuran molekul yang lebih rendah yang umumnya masuk dalam golongan parafin dan olefin (Faris, 2013). Perengkahan termal umumnya melibatkan reaksi kimia berikut (Speight, 2015):

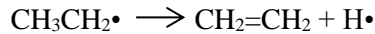
1. Reaksi inisiasi, dimana suatu molekul mengalami pemutusan ikatan karbon-karbon (daripada pemutusan ikatan hidrogen karbon yang lebih kuat secara termodinamik) menjadi dua radikal bebas



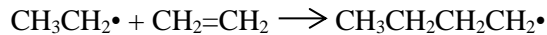
2. Abstraksi hidrogen, dimana radikal bebas mengabstraksi atom hidrogen dari molekul lain



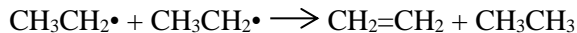
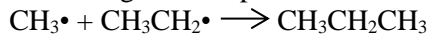
3. Dekomposisi radikal, dimana radikal bebas terurai menjadi olefin



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



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



Pada perengkahan termal, naften dengan cincin aromatik tunggal lebih stabil dibandingkan parafin dan olefin, meskipun pada temperatur tinggi akan dihasilkan pembukaan cincin. Pada reaksi dehidrogenasi dapat terjadi pembentukan cincin aromatik tak jenuh atau senyawa aromatik. Pada reaksi polimerisasi akan menghasilkan olefin atau senyawa dengan berat molekul sangat tinggi. Perengkahan lanjutan akan menghasilkan etena dan propena (Faris, 2013).

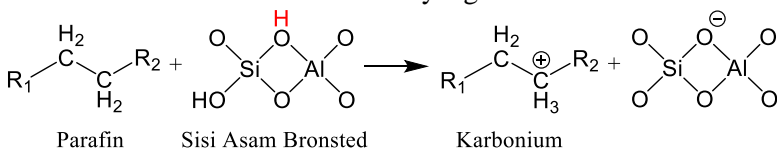
Proses perengkahan termal dapat mendegradasi polimer-polimer selulosa, dan lignin serta zat-zat ekstraksi pada serbuk kayu bulian untuk menghasilkan cairan hasil perengkahan, cairan hasil perengkahan ini akan di dimanfaatkan menjadi bahan bakar minyak atau menjadi bahan kimia yang dapat di dimanfaatkan (Hakim dkk., 2017).

### 2.7.2 Perengkahan Katalitik

Proses perengkahan minyak nabati seperti minyak jelantah membutuhkan banyak energi untuk mengubah molekul besar menjadi polimer sederhana. Katalis akan mengurangi kebutuhan energi dalam perengkahan. Katalis dapat mempersingkat waktu reaksi dan menghasilkan produk yang berkualitas. Umumnya katalis yang digunakan dalam proses perengkahan yaitu katalis heterogen. Katalis tersebut sangat efisien karena mudah dipisahkan dari produk dan dapat diperoleh kembali dari reaktor perengkahan. Dalam proses perengkahan minyak nabati dengan berbagai macam katalis akan menghasilkan berbagai jenis biofuel yang komposisinya dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya waktu reaksi, suhu reaksi, laju alir umpan, dan katalis (Nurjannah dkk., 2010). Luas permukaan katalis yang digunakan dalam perengkahan katalitik berkisar antara 300 m<sup>2</sup>/gram hingga 700 m<sup>2</sup>/gram (Faris, 2013). Dilakukan menggunakan katalis dengan luas permukaan spesifik yang tinggi (300 hingga 700 m<sup>2</sup>/g), memiliki sifat asam dan stabil pada temperatur tinggi.

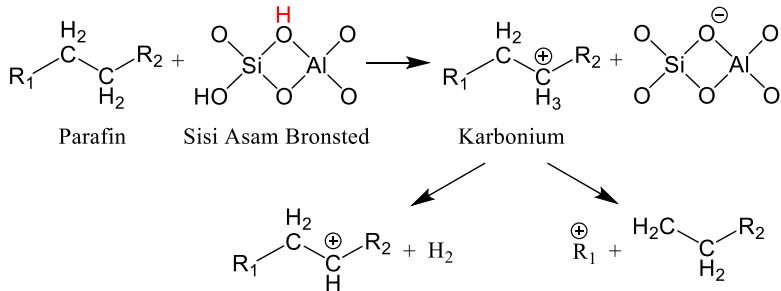
Reaksi katalitik berlangsung melalui tiga langkah, yaitu inisiasi (pembentukan karbokation), propagasi, dan pemutusan (desorpsi produk dan pemulihan situs aktif) (Le Van Mao dkk., 2013). Langkah inisiasi melibatkan pembentukan karbokation melalui interaksi hidrokarbon teradsorpsi dengan situs aktif. Terdapat beberapa jalur reaksi inisiasi dan umum digunakan dalam literatur (Le Van Mao dkk., 2013),

- 1) Ion karbonium dapat dibentuk melalui abstraksi ion hidrida oleh situs Brönsted yang kuat.

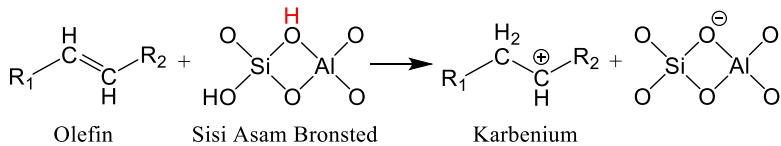


Selain jalur karbonium, perengkahan parafin dapat dimulai dengan keadaan transisi ion karbonium. Ikatan C-C dapat diprotonasi oleh situs asam Brönsted membentuk ion karbonium *pentacoordinated*, yang dapat membelah untuk

menghasilkan parafin yang lebih kecil dan ion karbenium. Ion karbenium juga dapat diperengkan menjadi ion karbenium dengan hilangnya molekul hidrogen.

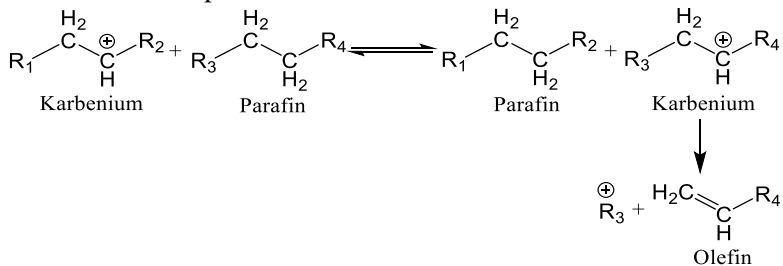


2) Selain itu, pembentukan ion karbenium awal melalui protonasi spesies olefinik telah diusulkan (Le Van Mao dkk., 2013).



Terdapat beberapa kemungkinan pembentukan senyawa lain dari ion karbenium setelah proses inisiasi. Ion karbenium yang teradsorpsi dapat melalui beberapa jenis reaksi seperti transfer hidrogen, isomerisasi, aromatisasi, siklisasi, polimerisasi, dan lain-lain (Le Van Mao dkk., 2013).

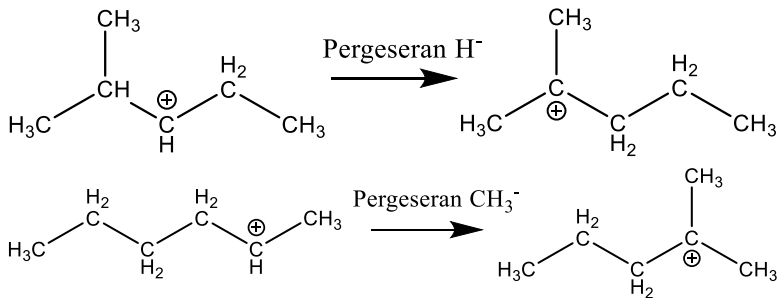
1. Ion karbenium yang teradsorpsi dapat berinteraksi dengan molekul parafin netral melalui transfer hidrida.





Reaksi bimolekul ini akan mengarah pada pembentukan ion karbenium baru, yang selanjutnya akan mengalami perengkahan celah  $\beta$ . Berbeda dengan reaksi perengkahan monomolekul, reaksi bimolekul lebih disukai pada suhu rendah dan di bawah tekanan parsial hidrokarbon yang tinggi.

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



Mekanisme dasarnya adalah pada pembentukan muatan elektrik suatu molekul yang disebabkan oleh keasaman padatan katalis. Pada produksi gasolin, dilaporkan penggunaan katalis pada perengkahan minyak bumi menghasilkan angka oktan yang tinggi (Faris, 2013).

## 2.8 Karakterisasi Katalis

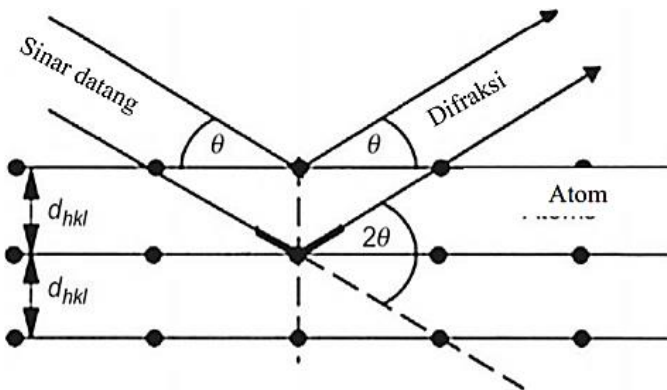
### 2.8.1 X-Ray Diffraction (XRD)

Difraksi sinar-X (XRD) adalah teknik analisis cepat yang terutama digunakan untuk identifikasi fase bahan kristal dan dapat memberikan informasi tentang dimensi unit sel. Bahan yang dianalisis adalah tanah halus, dihomogenisasi, dan komposisi curah rata-rata ditentukan. Max von Laue, pada tahun 1912, menemukan bahwa zat kristalin bertindak sebagai kisi difraksi tiga dimensi untuk panjang gelombang sinar-X mirip dengan jarak bidang dalam kisi kristal. Karakterisasi X-Ray Diffraction (XRD) dapat digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan kristanilitas dari

padatan yang telah disintesis. Penentuan padatan yang tidak diketahui sangat penting untuk studi dalam geologi, ilmu lingkungan, ilmu material, teknik dan biologi.

Terdapat beberapa cara kerja XRD yaitu ketika foton sinar-X mencapai material, beberapa tipe interaksi dapat terjadi akibat perbedaan absorpsi dan efek penghamburan. Penghamburan elastik (koheren) yang juga disebut sebagai hamburan Rayleigh terjadi antara foton dan elektron diantara nucleus atom. Energi dari gelombang hamburan tidak dirubah dan dipertahankan hubungan fasenya pada gelombang yang terbentuk. Konsekuensinya, foton sinar X mengenai semua atom dari volume yang disinari terhamburkan pada semua arah. Akibat dari sifat periodik struktur kristalin, konstruktif dan destruktif radiasi hamburan Atom yang akan dihasilkan menunjukkan fenomena karakterisasi difraksi yang dapat dipelajari untuk mengetahui struktur Kristal dari suatu material (Epp, 2016).

Prinsip dari metode yang digunakan pada difraksi sinarX melalui bidang periodik atom dan sudut atau energi deteksi dari sinyal difraksi. Interpretasi geometri dari fenomena XRD (interferensi konstruktif) diberikan oleh W.L.Bragg pada Gambar 2.4 memberikan penjelasan lengkap mengenai kondisi geometri untuk difraksi dan penentuan dari hukum Bragg.



Gambar 2.4 Kondisi geometri untuk difraksi dari bidang kisi (Epp, 2016)

XRD mengikuti Hukum Bragg yang didefinisikan sebagai berikut

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

Keterangan:

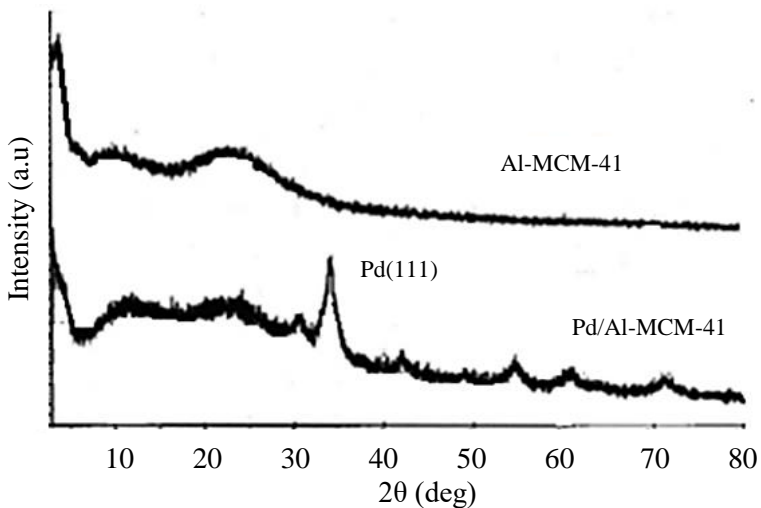
$n$  = orde bias (0, 1, 2, 3,.....)

$\lambda$  = panjang gelombang sinar-X (nm)

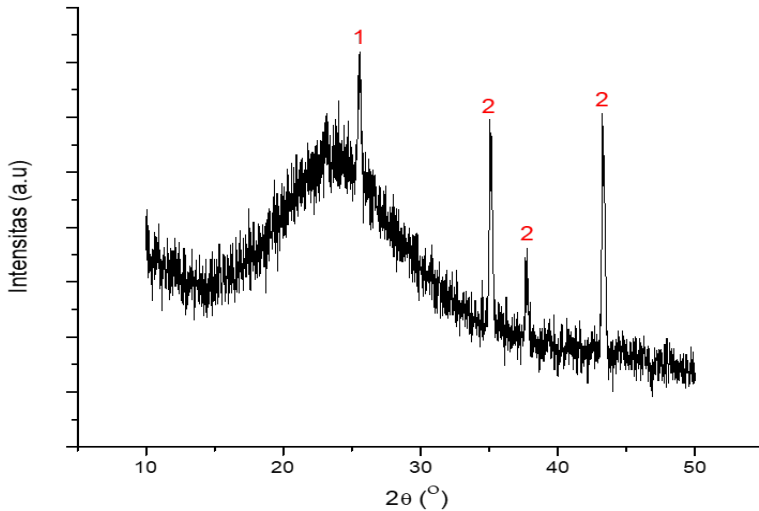
$d$  = jarak antara dua bidang kisi (cm)

$\theta$  = sudut antara sinar datang dengan bidang normal

Pada penelitian sebelumnya oleh Juwono dkk. (2013) telah dilakukan uji XRD pada katalis Al-MCM-41 dan Pd/Al-MCM-41 dimana terdapat puncak khas Pd pada  $2\theta$   $34^\circ$ ,  $42^\circ$ ,  $55^\circ$ ,  $61^\circ$  dan terjadi penurunan intensitas puncak khas Al-MCM-41 oleh logam Pd pada  $2\theta$  sekitar  $20^\circ$  yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Penelitian lain mengenai katalis Al-MCM-41 oleh Alfian (2018) telah dilakukan uji XRD pada katalis Al-MCM-41/Keramik dimana terdapat puncak khas Al pada  $2\theta$   $26^\circ$  dan puncak keramik busi pada  $2\theta$   $35^\circ$ ,  $38^\circ$ ,  $43^\circ$  yang ditunjukkan pada Gambar 2.6.



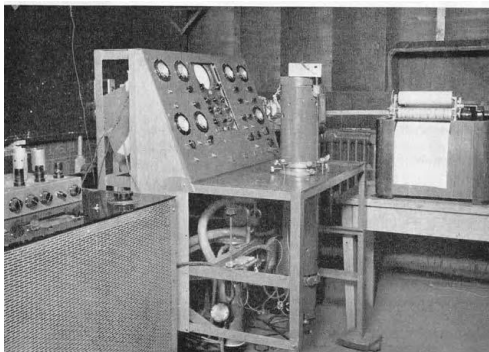
Gambar 2.5 Difraktogram XRD katalis Al-MCM-41 dan Pd/Al-MCM-41 (Juwono dkk., 2013)



Gambar 2.6 Difraktogram XRD katalis Al-MCM-41:Keramik (7:3) (Alfian, 2018)

### 2.8.2 Scanning Electronic Microscope (SEM) EDX

*Scanning Electron Microscope* (SEM) didasarkan oleh emisi sekunder dari electron yang dikembangkan di Laboratorium RCA di New Jersey (Gambar 2.7), saat kondisi masa perang.



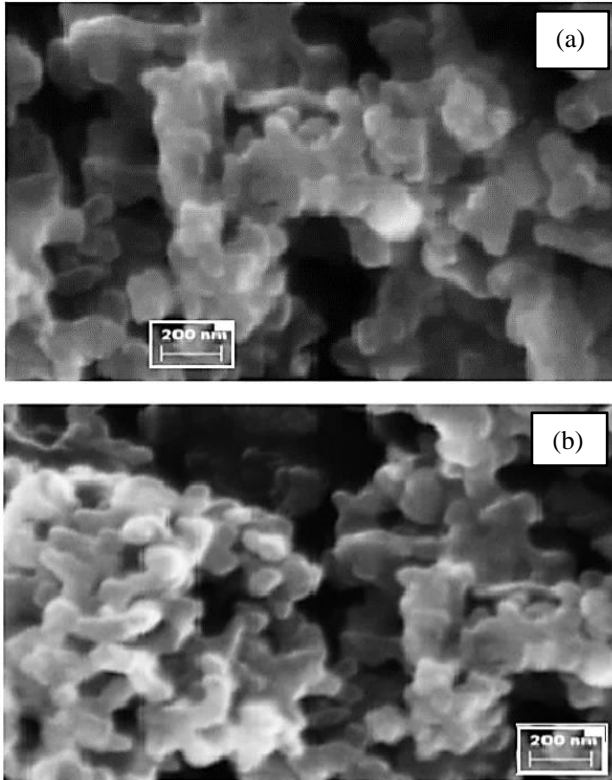
Gambar 2.7 *Scanning Electron Microscope* (SEM) di laboratorium RCA (Egerton, 2005)

SEM menggunakan elektron untuk memotret sampel dalam mode yang serupa dengan mikroskop optik. Beberapa prototipe awal menggunakan sumber elektron medan emisi, sedangkan model selanjutnya menggunakan sumber filamen yang dipanaskan, elektron yang difokuskan ke spesimen oleh lensa elektrostatik (Egerton, 2005). Terdapat tiga detektor yang digunakan dalam SEM yaitu detektor elektron sekunder (SE), *backscattered electron* (BSE), dan sinyal sinar X (EDS atau WDS). Detektor SE digunakan untuk pembentukan gambar permukaan sampel dengan hasil resolusi yang lebih tinggi. Detektor BSE dapat memberikan informasi tentang distribusi unsur yang berbeda dalam sampel. Pemancaran sinyal sinar X (EDS) dapat menghapus berkas elektron dari sampel yang menyebabkan elektron dengan energi yang lebih tinggi mengisi sel dan melepaskan energi.

SEM, disertai dengan analisis sinar-X, dianggap sebagai pendekatan analisis permukaan yang relatif cepat, murah, dan pada dasarnya tidak merusak. Ini sering digunakan untuk mengobservasi masalah analitik pada permukaan sebelum melanjutkan ke teknik yang lebih peka pada permukaan dan terspesialisasi. *Energy X-Ray Analyzer Dispersive Energy* (EDX atau EDA) juga digunakan untuk memberikan identifikasi unsur dan informasi komposisi kuantitatif. Analisis sinar-X karakteristik (analisis EDX atau EDS) yang dipancarkan dari sampel memberikan informasi unsur yang lebih kuantitatif. Analisis sinar-X semacam itu dapat dibatasi pada volume analisis sekecil 1 mikron kubik.

Keuntungan utama dari SEM yaitu dapat membentuk foto elektron-opak cuplikan tanpa membutuhkan persiapan spesimen yang sulit. Maka dari itu, SEM dipilih untuk karakterisasi bahan secara langsung daripada *Transmission Electron Microscope* (TEM). Tujuan penggunaan SEM untuk mengamati dan mempelajari topografi, yaitu sifat-sifat permukaan suatu objek, bentuk, morfologi, ukuran, dan susunan partikel objek yang berada pada permukaan cuplikan, komposisi unsur dan senyawa yang menyusun cuplikan, mendapatkan data informasi kristalografi dan susunan atom dalam cuplikan.

Juwono dkk. (2013) melakukan uji SEM pada katalis Al-MCM-41 dan Pd/Al-MCM-41. Pada Gambar 2.8(a) menunjukkan morfologi Al-MCM-41 berbentuk heksagonal. Impregnasi logam Pd tidak merubah struktur Al-MCM-41 dan tidak merusak strukturnya yang ditunjukkan pada Gambar 2.8 (b).

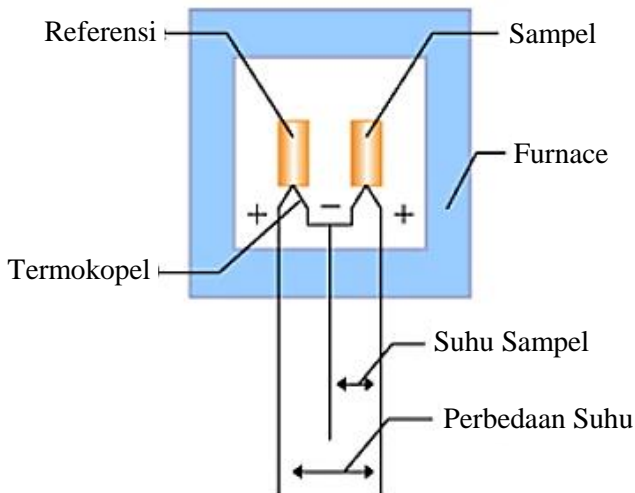


Gambar 2.8 Mikrograf SEM katalis (a) Al-MCM-41 (b) Pd/Al-MCM-41 (Juwono dkk., 2013)

### **2.8.3 Differential Thermal Analysis (DTA)**

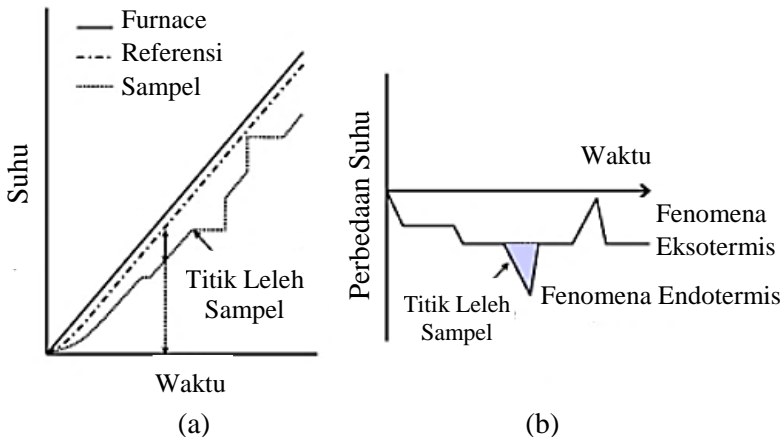
*Differential Thermal Analysis* (DTA) merupakan Suatu teknik di mana perbedaan suhu antara sampel dan bahan referensi dipantau terhadap waktu atau suhu sementara suhu sampel dalam

atmosfer tertentu. Prinsip metode ini mirip dengan analisis termal, tetapi dalam analisis termal diferensial, perbedaan suhu antara sampel dan bahan referensi selama laju pemanasan konstan diukur (Daněk, 2006). Cara kerja DTA yaitu sampel dan referensi ditempatkan secara simetris di tungku. Tungku dikendalikan di bawah program suhu dan suhu sampel dan referensi diubah. Selama proses ini, termokopel diferensial diatur untuk mendeteksi perbedaan suhu antara sampel dan referensi. Juga, suhu sampel terdeteksi dari termokopel di sisi sampel ditunjukkan pada Gambar 2.9. Hal-hal yang tidak berubah dalam kisaran suhu pengukuran (biasanya  $\alpha$ -alumina) digunakan sebagai referensi. Ketika pemanasan tungku dimulai, referensi dan sampel mulai memanaskan dengan sedikit penundaan tergantung pada kapasitas panas masing-masing, dan akhirnya memanaskan sesuai dengan suhu tungku.  $\Delta T$  berubah hingga kondisi statis tercapai setelah pemanasan dimulai, dan setelah mencapai stabilitas, mencapai jumlah yang sesuai dengan perbedaan kapasitas panas antara sampel dan referensi. Sinyal pada keadaan statis dikenal sebagai garis dasar.



Gambar 2.9 Blok diagram DTA (“Principle of Differential Thermal Analysis (DTA): Hitachi High-Technologies GLOBAL,” n.d.)

Ketika suhu naik dan mencair terjadi dalam sampel, misalnya, kenaikan suhu berhenti seperti yang ditunjukkan pada grafik (a) dan  $\Delta T$  meningkat ditunjukkan pada Gambar 2.10. Ketika pencairan berakhir, kurva suhu dengan cepat kembali ke garis dasar. Pada titik ini, sinyal  $\Delta T$  mencapai puncaknya, seperti yang ditunjukkan pada grafik (b). Dari ini, kita dapat mendeteksi suhu transisi sampel dan suhu reaksi dari sinyal  $\Delta T$  (sinyal DTA). Dalam grafik (b), perbedaan suhu karena perubahan endotermik sampel ditunjukkan sebagai arah negatif dan perbedaan suhu karena perubahan eksotermik sampel ditunjukkan sebagai arah positif.



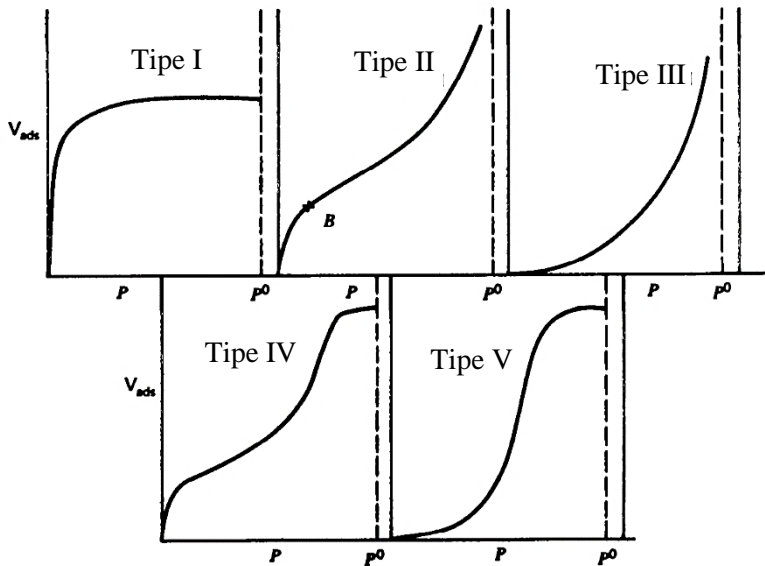
Gambar 2.10 Prinsip pengukuran DTA (“Principle of Differential Thermal Analysis (DTA): Hitachi High-Technologies GLOBAL,” n.d.)

#### 2.8.4 Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen

Adsorpsi gas nitrogen tepat digunakan untuk analisa material mikropori dan mesopori. Dalam fisisorpsi (adsorpsi fisis), gas inert dengan jumlah tertentu, pada suhu yang sangat rendah (77K), dan tekanan vakum diadsorb pada permukaan material berpori. Fisisorpsi ini tidak tergantung pada sifat dari sampel, tetapi hanya tergantung pada luas permukaan dan struktur pori. Luas



permukaan material yang dianalisa (sampel) diukur dari jumlah molekul yang terdeposit (teradsorp) di monolayer. Sedangkan ukuran pori ditentukan oleh tekanan kondensasi (tekanan penguapan) gas dalam pori-pori. Molekul-molekul gas pada layer pertama (monolayer) biasanya teradsorp karena adanya gaya tarik antar molekul gas-susbrat. Sedangkan molekul gas pada fase multilayer teradsorp karena gaya tarik antar molekul-molekul gas. Dari analisis ini diperoleh luas area spesifik total, distribusi ukuran meso-mikropori, dan volume total meso-mikropori.



Gambar 2.11 Jenis-jenis grafik adsorpsi isotherm (Adamson dan Gast, 1997)

Data keluaran dari mesopori ini adalah grafik adsorpsi-desorpsi mesopori. Tipe – tipe grafik adsorpsi-desorpsi isothermal dalam fisorpsi gas ditunjukkan pada Gambar 2.11. Menurut IUPAC, grafik adsorpsi isothermal dapat diklasifikasikan menjadi enam tipe. Tipe I merupakan tipe yang khas untuk fisorpsi gas pada padatan mikropori dan kemisorpsi isothermal. Tipe I mengikuti adsorpsi isothermal Langmuir. Tipe II merupakan tipe

yang biasanya terlihat pada padatan non pori, adsorpsinya multilayer. Tipe III merupakan grafik khas untuk uap, misalnya air pada padatan hidrofobik yaitu karbon aktif. Gaya kohesi yang kuat terjadi antara molekul-molekul yang teradsorp. Tipe IV mirip dengan tipe II pada tekanan rendah, tetapi memperlihatkan *loop* histerisis yang disebabkan oleh kondensasi kapiler dalam mesopori pada tekanan tinggi. Tipe IV merupakan khas untuk material mesopori. Tipe V juga has untuk uap seperti tipe III (mirip dengan tipe III pada tekanan rendah), tetapi terlihat adanya *loop* histerisis yang disebabkan oleh kondensasi kapiler pada mesopori pada tekanan tinggi.

Dari penelitian sebelumnya oleh Juwono dkk. (2013) dilakukan uji adsorpsi desorpsi nitrogen pada katalis Al-MCM-41 dan Pd/Al-MCM-41. Luas permukaan dan volume pori pada katalis Al-MCM-41 menurun karena impregnasi logam Pd yang dapat dilihat melalui Tabel 2.2. Akan tetapi, radius pori meningkat sedikit karena terdapat pori kecil dari impregnasi Pd.

Tabel 2.2 Pengaruh impregnasi Pd terhadap luas permukaan, volume pori dan rata-rata jari-jari pori

Katalis	Luas Permukaan (m <sup>2</sup> /g)	Volume Pori (cc/g)	Rata-Rata Jari-jari Pori (Å)
Al-MCM-41	419,934	0,501	15,121
Pd/Al-MCM-41	340,154	0,441	15,249

(Juwono dkk., 2013)

### 2.8.5 Penentuan Asam Basa Permukaan Padatan

Sifat asam/basa pada permukaan yang dimiliki oleh katalis sangat berpengaruh pada berbagai transformasi senyawa organik. Dalam penentuan keasaman dari suatu katalis dapat ditinjau melalui sisi asam Bronsted dan asam Lewis. 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  $1.440-1.452\text{ cm}^{-1}$  (Prasetyoko dkk., 2016). Puncak pada bilangan gelombang  $1496\text{ cm}^{-1}$  merupakan pita adsorpsi gabungan sisi asam Lewis dan sisi asam Bronsted (Sandi dkk., 2010).

## 2.9 Karakterisasi Bahan Bakar Cair

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

Instrumen *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) merupakan instrumen yang dapat menganalisa suatu senyawa yang memiliki konsentrasi kecil hingga  $<1\text{ ng/g}$ . GC-MS digunakan untuk identifikasi secara kualitatif dan pengukuran kuantitatif dari komponen individual dalam senyawa campuran kompleks yang mudah menguap (volatil) (LTSIT, 2016). Salah satu jenis instrumen GC-MS yaitu GC-MS Varian Saturn CP-3800/22000MS ditunjukkan pada Gambar 2.12.



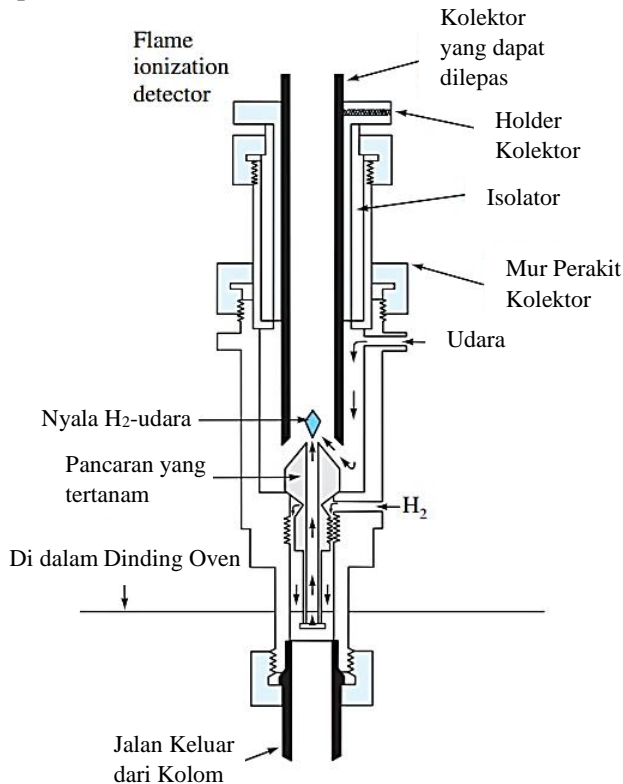
Gambar 2.12 Instrumen GC-MS Varian Saturn CP-3800/22000MS (LTSIT, 2016)

Kromatografi gas (GC) merupakan kromatografi dimana terdapat fase gerak berupa gas, umumnya yang digunakan yaitu gas inert seperti nitrogen atau helium dan fase diamnya berupa cairan tidak mudah menguap yang melapisi sebuah padatan atau berupa polimer padatan pendukung pada sebuah kolom. Sampel akan terpisah pada kolom didasari oleh lamanya waktu aliran gas pembawa. Instrumen ini memisahkan komponen campuran dalam suatu waktu dan spektrometer massa menunjukkan informasi yang membantu identifikasi struktur tiap komponen (Kitson dkk., 1996). Instrumen ini, awalnya sampel yang dianalisa akan dipisahkan dengan GC dan dilanjutkan pada MS. Pada kromatografi gas terdapat empat jenis detektor pada umumnya sering digunakan yaitu *Flame Ionization Detector (FID)*, *Thermal Conductivity Detectors (TCD)*, *Electron Capture Detectors (ECD)*, dan *Mass Spectrometry Detectors*.

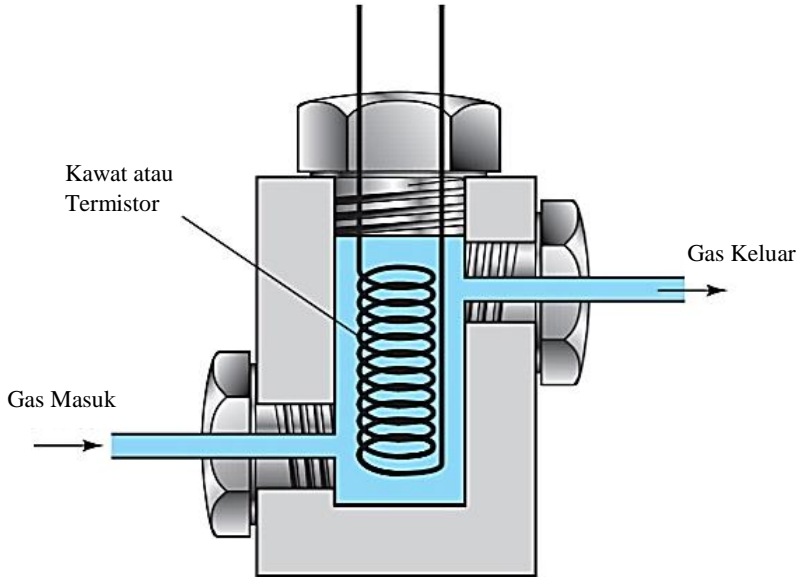
*Flame Ionization Detector (FID)* merupakan detektor yang paling sering digunakan dan diaplikasikan. Pada detektor ini yang ditunjukkan pada Gambar 2.13, efluen dari kolom diarahkan ke nyala api udara atau hidrogen yang kecil. Sebagian besar senyawa organik akan menghasilkan ion dan elektron ketika pirolisis pada suhu nyala udara atau hidrogen. Senyawa tersebut akan dideteksi dengan memonitor arus yang dihasilkan dengan mengumpulkan ion dan elektron. Keuntungan dari detektor ini yaitu apabila arus pada fase gerak dirubah, hanya berpengaruh sedikit terhadap respon detektor. Detektor ini dapat mendeteksi gugus fungsi seperti karbonil, alkohol, halogen dan amina. FID memiliki sensitivitas yang besar ( $\sim 10^{-13}$  g/s) rentang respon linear yang besar ( $\sim 10^7$ ) dan kebisingan yang rendah.

*Thermal Conductivity Detectors (TCD)* merupakan detektor yang terdiri dari sumber yang dipanaskan dengan listrik yang suhunya tergantung pada konduktivitas termal gas di sekitarnya pada daya listrik konstan. Sumber yang dipanaskan dapat berupa platina halus, emas, atau kawat tungsten, atau termistor kecil sebagai alternatif. Hambatan listrik pada elemen ini tergantung pada konduktivitas termal gas. Gambar 2.14

menunjukkan pandangan *cross-sectional* dari salah satu elemen sensitif terhadap suhu dalam TCD. Pasangan referensi terletak di depan ruang injeksi sampel dan pasangan sampel tepat di luar kolom. Deteksi oleh konduktivitas termal kurang memuaskan dengan gas pembawa yang konduktivitasnya sangat mirip dengan sebagian besar komponen sampel. TCD memiliki sensitivitas relatif rendah ( $\sim 10^8$  g/s solut/mL gas pembawa). Keuntungan dari TCD adalah kesederhanaannya, rentang dinamis liniernya yang besar, respons umumnya terhadap spesies organik dan anorganik, dan karakternya yang tidak merusak yang memungkinkan pengumpulan zat terlarut setelah deteksi.



Gambar 2.13 *Flame Ionization Detector* (Skoog dkk., 2014)



Gambar 2.14 Sel *Thermal Conductivity Detectors* (Skoog dkk., 2014)

*Electron Capture Detectors* (ECD) merupakan detektor yang sering digunakan untuk sampel lingkungan yang mengandung halogen. Pada detektor ini, sampel eluat dari kolom dilewatkan melalui pemancar radioaktif  $\beta$  umumnya nikel-63. Sebuah elektron dari emitor menyebabkan ionisasi gas pembawa (Nitrogen) dan produksi semburan elektron. Senyawa halogen, peroksida, quinon, dan gugus nitro terdeteksi dengan sensitivitas tinggi. Detektor tidak sensitif terhadap kelompok fungsional seperti amina, alkohol, dan hidrokarbon. Detektor penangkap elektron sangat sensitif dan memiliki keuntungan tidak mengubah sampel secara signifikan.

Dalam GC-MS, umumnya MS digunakan sebagai detector dari hasil pemisahan GC. Spektroskopi massa (MS) merupakan teknik analisis instrumental untuk membantu identifikasi dan elucidasi struktur molekul senyawa murni berdasarkan massa

molekul relatif ionnya/ion fragmennya. Prinsip kerja MS yaitu menghasilkan berkas sinar kation dari suatu zat menjadi bentuk spektrum massa ( $m/z$ ), mendeteksi sekaligus mencatat nilai massa relative ( $m/z$ ) dan kelimpahan isotopnya (%) atau intensitasnya.

Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Juwono dkk. (2013), dilakukan analisis GC-MS pada bahan bakar cair dari hasil perengkahan katalitik minyak *nyamplung* dengan katalis Al-MCM-41 dan dengan Pd/Al-MCM-41. Diperoleh data bahwa perengkahan minyak *nyamplung* menggunakan katalis Pd/Al-MCM-41 menghasilkan fraksi hidrokarbon gasolin ( $C_8-C_{12}$ ) lebih tinggi dibandingkan menggunakan katalis Al-MCM-41 yang ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Distribusi produk dari reaksi *hydrocracking* katalitik

Senyawa/Molekul	Al-MCM-41 (%)	Pd/Al-MCM-41 (%)
Hidrokarbon C8	1,26	-
Hidrokarbon C9	-	5,14
Hidrokarbon C10	-	10,94
Hidrokarbon C11	47,56	17,62
Hidrokarbon C12	33,93	62,25
Hidrokarbon C13-C20	14,33	4,05
Alkohol C15-C19	2,92	-

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1 Alat dan Bahan**

#### **3.1.1 Alat**

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alu dan mortar, oven, *furnace*, *press pellet*, vial 10 mL, vial 600 mL, erlenmeyer 400 ml, gelas beker 50 mL, gelas beker 500 mL, gelas beker 1 L, desikator, alat *X-Ray Diffraction* (XRD), *SEM Zeiss Bruker 129 eV*, *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GC-MS) jenis *GCMS-QP2010S SHIMADZU* (Kolom Rtx 5 MS), *chamber reactor*, cawan porselin, termometer, dan neraca analitik.

#### **3.1.2 Bahan**

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak bekas penggorengan pada rumah tangga, limbah plastik polistiren (PS), katalis Al-MCM-41 diperoleh dari penelitian sebelumnya oleh Juwono dkk. (2013), padatan PdCl<sub>2</sub> dari Sigma, larutan HCl dari Merck, Nitrogen UHP, Hidrogen UHP dan Metanol p.a. dari Merck.

### **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., 2017). Pada penelitian ini, metode impregnasi dilakukan dengan teknik hidrotermal menggunakan pelarut HCl. Padatan PdCl<sub>2</sub> sebanyak 0,1 gram dilarutkan dengan 22 mL HCl dan 2 mL aquades dalam gelas beker 50 mL. Selanjutnya larutan PdCl<sub>2</sub> dicampurkan dengan 7 gram katalis Al-MCM-41/keramik dalam gelas beker 500 mL. Pencampuran dilakukan dalam suhu ruang dan diaduk secara merata perlahan selama 6 jam. 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 pada suhu 150°C

selama 1 jam. Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik ditampung dalam plastik klip.

### **3.2.2 Karakterisasi Katalis Al-MCM-41/Keramik dan Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik**

Ukuran pori dan porositas katalis dianalisa menggunakan adsorpsi-desorpsi  $N_2$  (*Micromeritics TriStar II 3020 Automatic physisorption Analyzer*). Katalis Al-MCM-41/keramik divakum pada  $300^\circ\text{C}$  selama 1 jam untuk menghilangkan gas yang terkandung di dalamnya. Persamaan Brunauer-Emmett-Teller digunakan untuk menghitung area permukaan dengan menggunakan data adsorpsi yaitu  $p/p^0 = 0,05-0,25$ . Volume pori diukur melalui metode *Barret-Joyner-Halenda* (BJH).

Pola serbuk *X-ray Diffraction* (XRD) dianalisa di Departemen Material Metalurgi ITS dengan sumber sinar-X dari Cu  $K_\alpha$ , yang dioperasikan pada 40kV dan 30 mA. Hamburan sudut  $2\theta$  diubah dari  $5^\circ$  hingga  $60^\circ$ . Ukuran partikel penyusun dan morfologi permukaan sampel dianalisa menggunakan *Scanning Electron Microscope* EDX (SEM-EDX, Bruker). Ketahanan terhadap suhu perengkahan pada katalis dianalisa dengan *Differential Thermal Analysis* (DTA). Keasaman pada permukaan katalis dianalisa menggunakan *Pyridine-Adsorption Fourier Transform Infrared* (Piridin-FTIR).

### **3.2.3 Produksi Bahan Bakar Cair dari Limbah Plastik Polistiren**

Sampel pada penelitian ini yaitu limbah plastik polistiren (PS) berupa *styrofoam* berwarna putih dan ringan. Sampel dipotong hingga kecil ( $1-3\text{ cm}^2$ ). Potongan sampel tersebut dilelehkan hingga membentuk lempengan plastik berwarna coklat muda. Lempengan tersebut ditimbang dengan berat 1 kg dan dimasukkan dalam *chamber reactor*.

Sintesis bahan bakar cair dilakukan dengan prinsip destilasi. Proses perengkahan dilakukan dalam reaktor tertutup yaitu *continous reactor* yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Pada

reaktor ini terdapat bagian utama yaitu *chamber reactor*, konektor, kondensor, dan labu penampung.

*Chamber reactor* digunakan untuk tempat proses perengkahan. Sebanyak 1 kg lempengan plastik polistiren (PS) dimasukkan dalam *chamber reactor*. Konektor dipasang hingga melekat pada sisi atas *chamber reactor*. Reaktor dipanaskan hingga suhu 300°C dengan lama proses perengkahan selama 2 jam. Sampel direngkah menjadi gas dan dialirkan menuju kondensor melalui konektor. Gas tersebut diperengkahan menjadi hidrokarbon cair berupa minyak plastik polistiren melalui proses kondensasi. Minyak plastik PS ditampung dalam erlenmeyer dan labu penampung.

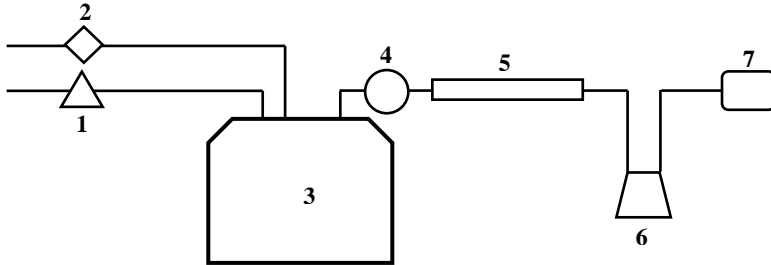
### **3.2.4 Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah**

Minyak jelantah yang diambil dari limbah rumah tangga ditampung dalam vial besar (600 mL). Proses transesterifikasi dilakukan dengan memanaskan 200 mL minyak jelantah dalam labu leher tiga pada suhu 50°C, selanjutnya ditambahkan 51,3 mL metanol dimana telah dilarutkan katalis basa NaOH sebanyak 0,5% (0,895 gram) dari berat minyak jelantah (179 gram) ke dalamnya. Campuran tersebut diaduk dengan pengaduk magnet pada 700 rpm dan suhu dijaga 50°C selama 2 jam. Hasil transesterifikasi ditempatkan pada corong pisah dan didiamkan 24 jam hingga terbentuk dua lapisan. Masing-masing lapisan dipisahkan dengan ditampung dalam botol vial.

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

Sampel pada penelitian ini berupa minyak dari limbah plastik polistiren dan biodiesel dari minyak jelantah. Katalis sebanyak 9 gram dibentuk pellet kemudian diaktivasi pada suhu 100°C kemudian dimasukkan ke dalam *tubular reactor*. Pada bagian *tubular reactor* diberi kasa kawat sebagai penampung katalis, *glass wool* sebagai alas, 10 pellet katalis, kemudian ditutup dengan *glass wool* kembali.

Perengkahan katalitik polistiren dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dilakukan dalam reaktor tertutup. Tipe reaktor yang digunakan yaitu *continuous reactor* yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Reaktor tersebut terdiri dari *chamber reactor*, *tubular reactor*, kondensor, dan hasil dari proses perengkahan katalitik dialirkan kedalam erlenmeyer dan labu penampung.



Keterangan:

- |                              |                     |
|------------------------------|---------------------|
| 1. Aliran Gas N <sub>2</sub> | 5. Kondensor        |
| 2. Aliran <i>Feedstock</i>   | 6. Penampung Minyak |
| 3. Tabung Reaktor            | 7. GC-MS            |
| 4. Konektor                  |                     |

Gambar 3.1 Skema *Continuous Reactor*

Mula-mula dengan mencampurkan 500 mL minyak dari limbah polistiren dengan 500 mL biodiesel dari minyak jelantah dalam gelas beker 1 L. Pencampuran itu dilakukan dua kali pencampuran selama 5 menit dengan setengah resep yaitu masing-masing minyak ditambahkan 250 mL karena gelas beker yang digunakan tepat 1 L. Itu dilakukan agar campuran tidak tumpah. Setelah itu, campuran minyak tersebut dimasukkan kedalam *chamber reactor*, ditutup dengan *tubular reactor* yang telah berisi pellet katalis, disambungkan kondensor ke *tubular reactor*, dipasangkan labu penampung pada kondensor bagian bawah, diberi penangas air dingin pada labu penampung, dimasukkan gas N<sub>2</sub> kedalam reaktor, dinyalakan pemanas pada suhu 300°C, waktu pemanasan reaktor selama 2 jam. Sampel diperengkahan menjadi uap dan dialirkan menuju tabung konektor yang berisi katalis.

Kemudian hasilnya dikondensasi menjadi bahan bakar hidrokarbon oleh kondensor dan ditampung dalam erlenmeyer 400 mL dan labu penampung. Selanjutnya bahan bakar cair tersebut ditampung dalam vial 10 mL tiap perengkahan selama 60 menit dan selama 120 menit.

### 3.2.6 Hasil Gas Chromatography-Mass Spectrometer (GC-MS)

Karakterisasi bahan bakar cair dilakukan pengujian dengan analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GC-MS) untuk mengetahui komposisi fraksi hidrokarbon dari hasil perengkahan katalitik minyak polistiren dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah.

Bahan bakar cair hasil perengkahan dikarakterisasi dengan instrument GCMS-*QP2010S SHIMADZU* di Departemen Kimia UGM. Sebanyak 50 mg sampel produk bahan bakar cair dilarutkan dalam 1 mL n-heksana, lalu sampel diinjeksikan ke inlets kromatografi dan diproses selama 42 menit. Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer (GC-MS) dikondisikan seperti ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kondisi instrumen GC-MS

Inlets	
Jumlah Suntikan	1 $\mu$ L
Suhu	310 °C
Tekanan	13 KPa
Rasio	66,8
Oven	
Suhu Awal	50 °C
Suhu Akhir	300 °C
Hold Time	5 menit
Laju	5 °C/menit
Kolom	
Tipe	Rtx 5 MS
Gas	Helium
Aliran Gas	0,55 mL/menit

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***

## **BAB IV**

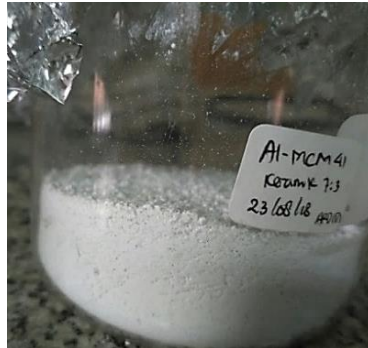
### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menjelaskan hasil dan pembahasan penelitian yang telah dilakukan. Penelitian ini telah dilakukan perengkahan limbah polistiren dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dengan katalis Al-MCM-41/keramik dan katalis Pd/Al-MCM-41/keramik. Bahan bakar cair yang telah dihasilkan dari proses perengkahan katalitik dilakukan pengujian komposisi kandungan dalam bahan bakar cair yang utamanya untuk menentukan jumlah fraksi hidrokarbonnya. Fraksi hidrokarbon dianalisa melalui *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GC-MS).

Hasil pengujian yang diperoleh dibandingkan antara jumlah fraksi hidrokarbon hasil perengkahan dengan katalis Al-MCM-41/keramik dan katalis Pd/Al-MCM-41/keramik untuk mengetahui pengaruh logam Pd pada katalis Al-MCM-41/keramik terhadap hasil perengkahannya.

#### **4.1 Hasil Sintesis Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik**

Katalis yang digunakan dalam penelitian ini yaitu katalis Al-MCM-41/keramik. Katalis Al-MCM-41/keramik yang didapatkan dari penelitian sebelumnya oleh Alfian (2018) ditunjukkan pada Gambar 4.1, digunakan sebagai bahan baku pembuatan katalis Pd/Al-MCM-41/keramik. Sintesis katalis ini menggunakan metode impregnasi basah melalui proses hidrotermal. Metode tersebut digunakan karena tidak adanya ikatan antara kation dan anion sehingga tidak terjadi pertukaran ion, sehingga tidak perlu menggunakan metode pertukaran ion. Katalis Al-MCM-41/keramik memiliki ikatan kovalen antara logam Al dengan mesopori MCM-41 sehingga perlu dilakukan impregnasi basah untuk memasukkan logam Pd pada pori Al-MCM-41/keramik. Larutan HCl digunakan sebagai pelarut serbuk PdCl<sub>2</sub> bertujuan untuk melarutkan logam Pd lebih mudah agar logam tersebut dapat terserap oleh *support* dengan baik daripada hanya dilarutkan dengan aquades.



Gambar 4.1 Katalis Al-MCM-41/Keramik

Larutan  $\text{PdCl}_2$  dan serbuk Al-MCM-41/keramik dicampur dan diaduk selama 6 jam hingga dihasilkan campuran yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Campuran larutan  $\text{PdCl}_2$  dan serbuk Al-MCM-41/Keramik

Dengan lamanya pengadukan, diharapkan logam Pd dapat terimpregnasi secara sempurna pada katalis tersebut. Kalsinasi bertujuan untuk mengaktivasi katalis Pd/Al-MCM-41/keramik agar dapat digunakan dalam perengkahan yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.3.





Gambar 4.3 Hasil kalsinasi katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik

Katalis tersebut direduksi dengan gas hidrogen bertujuan untuk mereduksi Pd pada katalis agar membentuk Pd<sub>(0)</sub> pada katalis Al-MCM-41/keramik. Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik yang didapatkan berbentuk serbuk berwarna coklat seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik

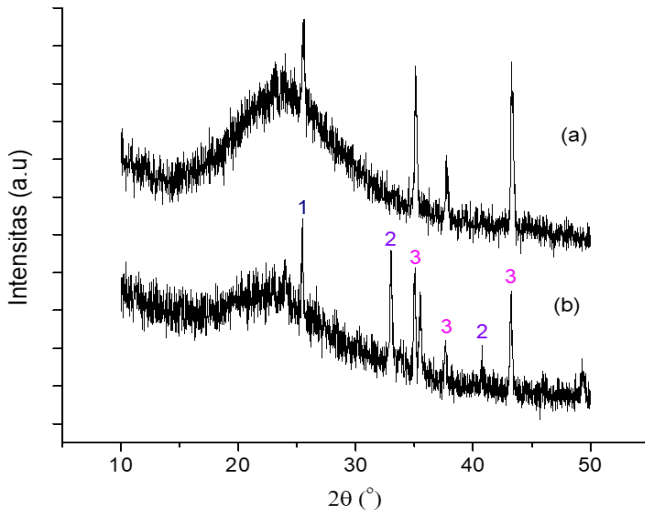
Katalis tersebut dikarakterisasi XRD, Adsorpsi-Desorpsi N<sub>2</sub>, DTA, dan FTIR-Piridin setelah disintesis. Katalis tersebut sebagian

dibentuk pellet menggunakan press pellet. Tujuan dibentuk pellet agar kinerja katalis lebih optimal. Bentuk pellet tersebut tidak terlalu padat dan rapat sehingga uap minyak perengkahan dapat bereaksi dengan katalis dengan baik.

## 4.2 Hasil Karakterisasi Katalis

### 4.2.1 Hasil Karakterisasi XRD

Penelitian sebelumnya oleh Alfian (2018) telah dilakukan uji XRD pada katalis Al-MCM-41/keramik yang ditunjukkan pada Gambar 4.5(a). Dari hasil XRD katalis tersebut terlihat puncak pada  $2\theta$   $35^\circ$ ,  $38^\circ$ ,  $43^\circ$  yang menunjukkan puncak keramik busi. Pada penelitian sebelumnya juga oleh Juwono dkk. (2017) telah dilakukan uji XRD pada katalis Pd/Al-MCM-41. Hasil XRD katalis tersebut menunjukkan bahwa terdapat puncak khas Pd pada  $2\theta$   $34^\circ$ ,  $42^\circ$ ,  $55^\circ$ ,  $62^\circ$  setelah impregnasi Pd pada katalis Al-MCM-41 yang ditunjukkan pada Gambar 2.5.

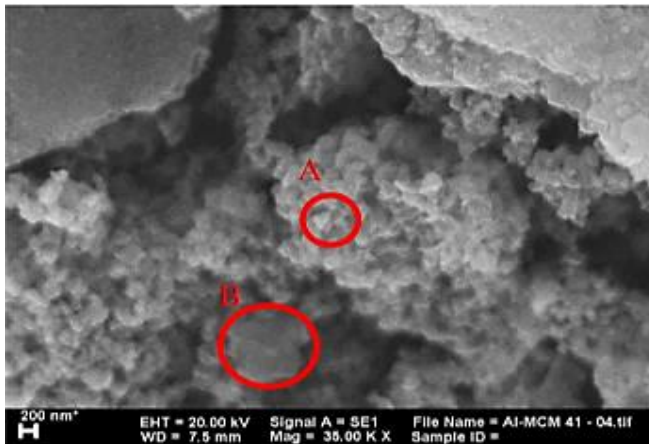


Gambar 4.5 Hasil XRD katalis (a) Al-MCM-41/Keramik (Alfian, 2018) (b) Pd/Al-MCM-41/Keramik

Dari Gambar 4.5 terlihat masih terdapat puncak khas Al-MCM-41 pada  $2\theta$  diantara  $20^\circ$  dan  $30^\circ$  walaupun Pd telah diimpregnasikan. Itu menunjukkan bahwa impregnasi Pd tidak merusak struktur heksagonal dari Al-MCM-41. Akan tetapi, intensitas Al-MCM-41 setelah impregnasi Pd menjadi turun. Pada  $2\theta$   $25^\circ$  yang ditunjukkan pada Gambar 4.5(b) nomor 1 merupakan puncak khas kristal dari Al. Pada  $2\theta$   $33^\circ$ ,  $41^\circ$  yang ditunjukkan pada Gambar 4.5(b) nomor 2 merupakan puncak khas kristal Pd. Pada  $2\theta$   $35^\circ$ ,  $36^\circ$ ,  $38^\circ$ ,  $43^\circ$  yang ditunjukkan pada Gambar 4.5(b) nomor 3 merupakan puncak dari keramik. Data puncak khas Pd menunjukkan bahwa telah terimpregnasi logam Pd pada katalis Al-MCM-41/keramik, namun terdapat pergeseran puncak karena adanya keramik.

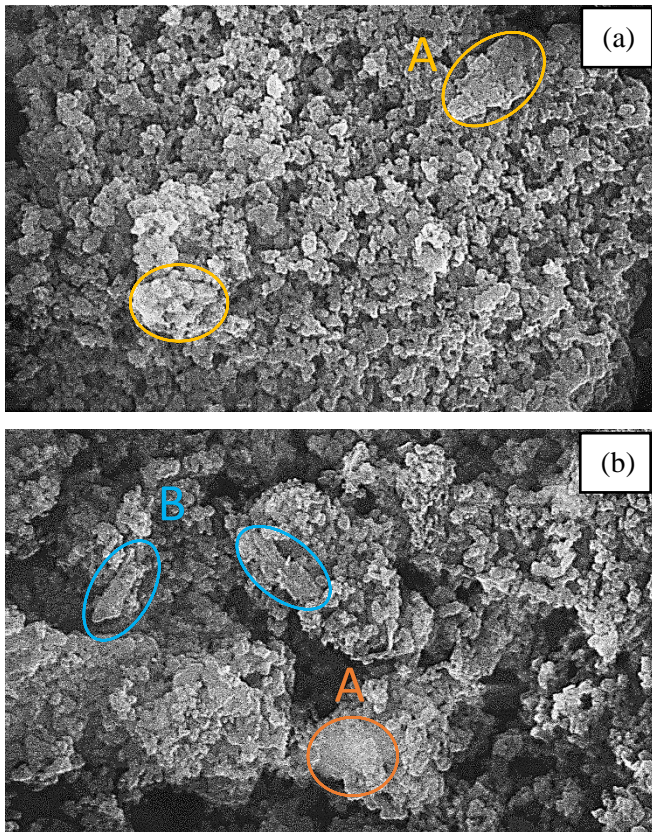
#### 4.2.2 Hasil Karakterisasi SEM-EDX

Mikrogram SEM dari penelitian sebelumnya oleh Alfian (2018), penampakan Al-MCM-41 ditunjukkan pada titik A di Gambar 4.6 yang terlihat permukaan halus berupa aglomerasi dari padatan berstruktur heksagonal dan penampakan keramik busi ditunjukkan pada titik B di Gambar 4.6 yang terlihat partikel-partikel Al-MCM-41 menempel pada permukaan keramik busi yang berfungsi sebagai padatan pendukung.



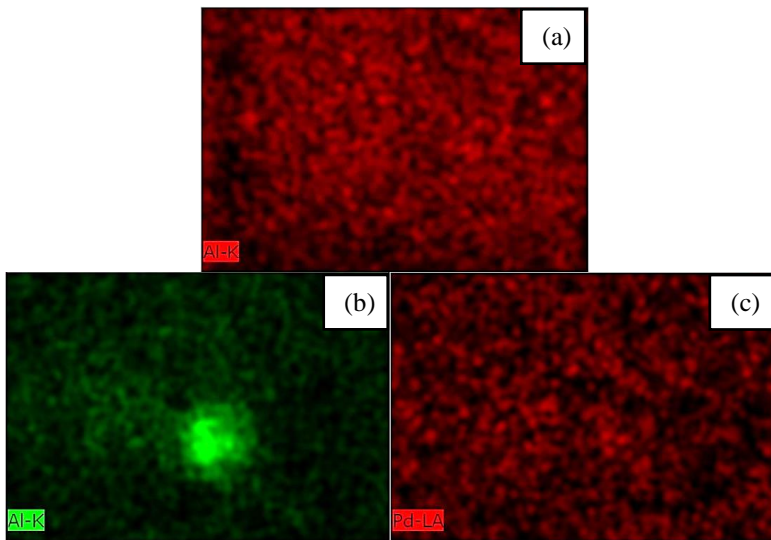
Gambar 4.6 SEM Al-MCM-41:Keramik (7:3) (Alfian, 2018)

Mikrogram SEM yang ditunjukkan pada Gambar 4.7(a), menunjukkan struktur keramik pada titik A membentuk permukaan yang terlihat rata pada Al-MCM-41 dan terlihat terang permukaannya. Mikrogram SEM yang ditunjukkan pada Gambar 4.7(b) yang merupakan katalis Pd/Al-MCM-41/keramik, menunjukkan gumpalan pada titik A dengan permukaan halus seperti awan dan rata dan titik B menunjukkan keramik dengan permukaan rata.



Gambar 4.7 Mikrogram SEM (a) Katalis Al-MCM-41/Keramik  
(b) Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik

Impregnasi logam Pd tidak mempengaruhi morfologi MCM-41, sehingga tidak ada kerusakan pada polanya. Namun, logam Pd tidak tampak karena pada penelitian ini hanya menambahkan sedikit logam Pd yaitu 1,5% (w/w) logam Pd dari berat Al-MCM-41/keramik. Oleh karena itu, dilakukan analisa EDX untuk mengetahui penyebaran logam Pd pada katalis Al-MCM-41/keramik.



Gambar 4.8 SEM-EDX (a) Logam Al pada katalis Al-MCM-41/Keramik (b) Logam Al pada katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik dan (c) Logam Pd pada katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik.

Gambar 4.8 merupakan gambar SEM-EDX dari katalis Al-MCM-41/keramik dan Pd/Al-MCM-41/keramik. Gambar 4.8(c) menunjukkan bahwa telah teridentifikasi adanya logam Pd yang masuk pada katalis Al-MCM-41/keramik secara merata sebagaimana dapat dilihat pada hasil analisis EDX pada Lampiran B Gambar B.12. Komposisi Si dan Al menjadi berkurang masing-masing sebanyak 6,76% dan 0,3% setelah impregnasi Pd yang ditunjukkan pada Tabel 4.1. Logam aluminium sebagai logam aktif

dalam katalis dapat berkurang karena terjadi *leaching*. Katalis dapat terdeaktivasi oleh hilangnya komponen aktif karena *leaching* (penguapan) (Marissa, 2011). Penggumpalan logam Al terjadi pada katalis Pd/Al-MCM-41/keramik yang ditunjukkan pada gambar 4.8(b) sedangkan logam Al pada katalis Al-MCM-41/keramik menyebar merata di permukaan katalis yang ditunjukkan pada Gambar 4.8(a). Selain itu, komposisi karbon pada katalis Al-MCM-41/keramik yang terimpregnasi Pd menjadi lebih kecil daripada Al-MCM-41/keramik yaitu 1,42%.

Tabel 4.1 Komposisi tiap unsur pada katalis hasil EDX

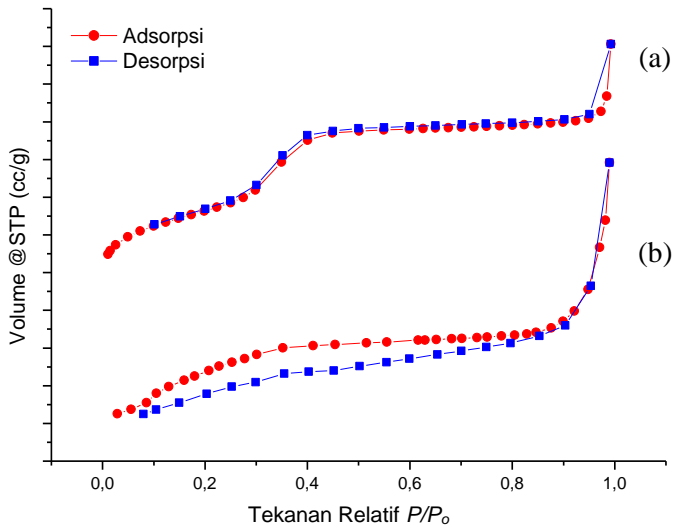
Katalis	Komposisi tiap Unsur (%)					
	O	Si	C	Al	Pd	N
Al-MCM-41/Keramik	68,9	10,16	20,21	0,73	0	0
Pd/Al-MCM-41/Keramik	94,61	3,4	1,42	0,43	0,14	0

### 4.2.3 Hasil Karakterisasi Adsorpsi Desorpsi Nitrogen

Grafik isoterm kedua katalis dari uji adsorpsi desorpsi nitrogen yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 merupakan grafik isoterm tipe IV dimana struktur pori pada kedua katalis berbentuk mesopori. Bentuk tersebut merupakan bentuk khas dari Al-MCM-41. Logam Pd yang terimpregnasi pada katalis Al-MCM-41/keramik tidak merubah struktur dari Al-MCM-41. Penelitian yang dilakukan Juwono dkk. (2017) menunjukkan luas permukaan dan volume pori menurun pada katalis Al-MCM-41 ketika logam Pd terimpregnasi pada permukaan katalis karena logam Pd lebih teradsorb ke mulut pori kecil. Volume pori dapat mempengaruhi hasil dari perengkahan katalitik. Logam Pd juga dapat meningkatkan rata-rata jari pori karena Pd lebih terabsorpsi pada pori yang kecil dan menempati daerah mulut pori lain (Juwono dkk., 2017).

Luas permukaan pada katalis Pd/Al-MCM-41/keramik lebih kecil dibandingkan dengan katalis Al-MCM-41/keramik karena terjadi penggumpalan logam Al pada permukaan katalis

Pd/Al-MCM-41/keramik yang ditunjukkan pada Tabel 4.2. Penggumpalan dapat mengurangi luas permukaan kontak antara sisi aktif katalis dan reaktan (Bustan dan Haryati, 2016). Volume pori pada katalis Pd/Al-MCM-41/keramik lebih tinggi daripada Al-MCM-41/keramik. Proses perengkahan katalitik terjadi pada pori katalis dan tidak pada permukaannya (Juwono dkk., 2017). Oleh karena itu, katalis Pd/Al-MCM-41/keramik dapat menseleksi gas minyak dengan baik ketika perengkahan karena terdapat banyak sisi aktif pada pori katalis.



Gambar 4.9 Grafik isotherm (a) Al-MCM-41/Keramik (b) Pd/Al-MCM-41/Keramik

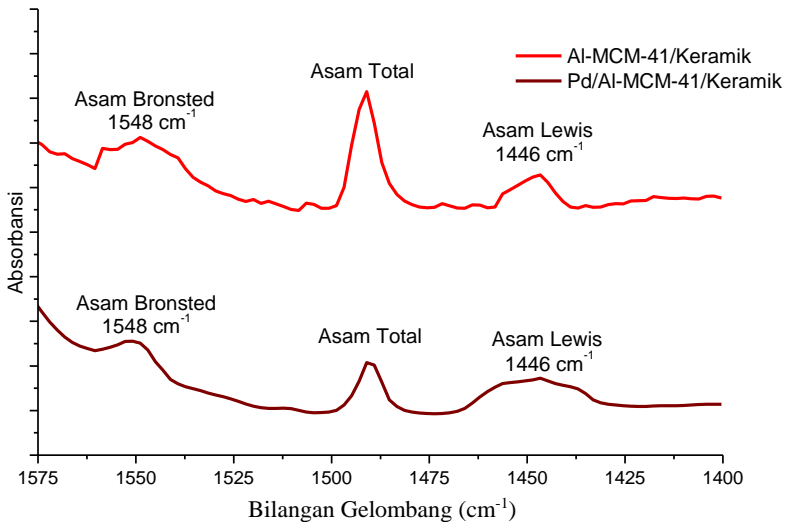
Tabel 4.2 Data analisis adsorpsi desorpsi nitrogen

Katalis	Luas Permukaan (m <sup>2</sup> /g)	Volume Pori (cc/g)	Pori Rata-Rata Radi (Å)
Al-MCM-41/Keramik	490,665	0,546	22,22
Pd/Al-MCM-41/Keramik	358,220	3,046	170,06

#### 4.2.4 Hasil Karakterisasi Keasaman Menggunakan FTIR-Piridin

Keasaman dari suatu katalis dapat mempengaruhi produk dari proses perengkahan katalitik dimana semakin tinggi keasaman, fraksi hidrokarbon pendek yang dihasilkan akan semakin banyak (Alfian, 2018; Juwono dkk., 2013; Nugroho, 2018). Keasaman katalis Al-MCM-41/keramik dan katalis Pd/Al-MCM-41/keramik dapat diketahui dengan analisis FTIR menggunakan senyawa piridin.

Dari spektrum FTIR yang ditunjukkan pada Gambar 4.10, pada katalis Al-MCM-41/keramik yang direaksikan dengan piridin terdapat interaksi antara katalis dan senyawa piridin pada bilangan gelombang 1431-1460  $\text{cm}^{-1}$  dan 1533-1558  $\text{cm}^{-1}$ .



Gambar 4.10 Spektrum FTIR-Piridin katalis

Pada bilangan gelombang 1431-1460  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan sisi aktif asam Lewis dengan jumlah 0,0311 (mmol/g) dan pada bilangan gelombang 1533-1558  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan sisi aktif asam Bronsted dengan jumlah 0,0342 (mmol/g) seperti pada Tabel 4.3. Pada katalis Pd/Al-MCM-41/keramik juga mengalami interaksi



dengan senyawa piridin pada rentang bilangan gelombang sama seperti antara katalis Al-MCM-41/keramik dengan senyawa piridin yaitu pada bilangan gelombang 1435-1458  $\text{cm}^{-1}$  dan 1531-1556  $\text{cm}^{-1}$ . Pada bilangan gelombang 1435-1458  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan sisi aktif asam Lewis dengan jumlah 0,0154 (mmol/g) dan pada bilangan gelombang 1531-1556  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan sisi aktif asam Bronsted dengan jumlah 0,0018 (mmol/g) seperti pada Tabel 4.3. Total asam didapatkan dari penjumlahan sisi aktif asam Lewis dan sisi aktif asam Bronsted.

Tabel 4.3 Keasaman katalis dengan FTIR-Piridin

Jenis Katalis	Jenis Asam	Bilangan Gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )	Jumlah Asam (mmol/g)	Total Asam (mmol/g)
Al-MCM-41/Keramik	Lewis	1431-1460	0,0311	0,0653
	Bronsted	1533-1558	0,0342	
Pd/Al-MCM-41/Keramik	Lewis	1435-1458	0,0154	0,0172
	Bronsted	1531-1556	0,0018	

Sisi aktif asam Bronsted pada katalis berperan penting dalam perengkahan katalitik. Katalis Al-MCM-41/keramik memiliki sisi aktif asam Bronsted yang lebih besar dari pada katalis Pd/Al-MCM-41/keramik. Keasaman dari katalis Al-MCM-41/keramik menurun karena unsur Si dan logam Al mengalami penurunan komposisi setelah impregnasi Pd berdasarkan data EDX pada Tabel 4.1. Rasio Si/Al pada katalis Al-MCM-41/keramik terimpregnasi Pd menjadi kecil yaitu sebesar 7,9% yang ditunjukkan pada Tabel 4.4. Penelitian oleh Windarti dan Suseno (2004) mengenai keasaman zeolit menjelaskan bahwa peningkatan rasio Si/Al juga akan meningkatkan keasaman zeolit, karena pada umumnya sifat keasaman zeolit ditentukan oleh adanya gugus hidroksida yang terikat pada Aluminium atau pada situs Silikon-Aluminium. Selain itu, penggumpalan juga dapat mengurangi keasaman dari katalis Pd/Al-MCM-41/keramik. Terjadinya penggumpalan juga dapat menyebabkan penurunan keasaman suatu katalis karena mengakibatkan penurunan dispersi logam

dalam pengemban (Rahmawati dan Wahyuni, 2012). Logam aktif seperti Al pada pengemban Al-MCM-41/keramik dapat meningkatkan keasaman apabila terdispersi secara merata pada permukaan katalis. Hasil gambar EDX dari katalis Pd/Al-MCM-41/keramik yang ditunjukkan pada gambar 4.8(b) juga membuktikan logam Al mengalami penggumpalan pada satu titik di permukaan katalis.

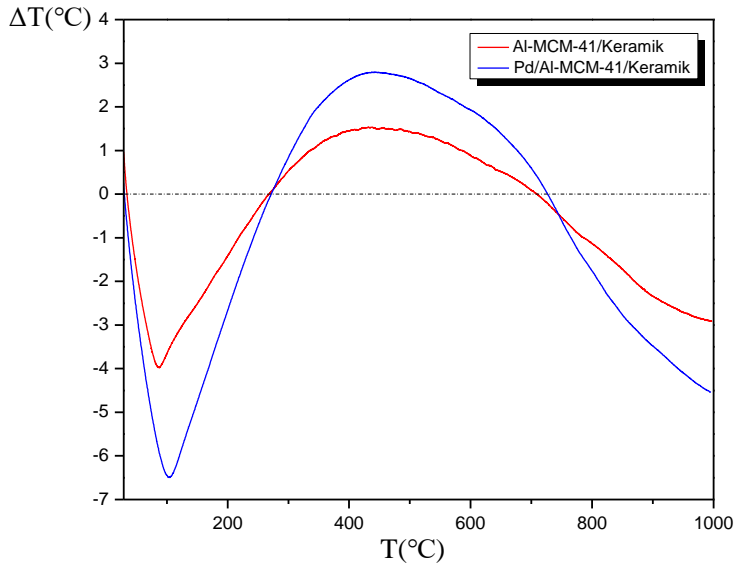
Tabel 4.4 Komposisi Si dan Al pada katalis

Katalis	Si (%)	Al (%)	Rasio Si/Al
Al-MCM-41/Keramik	10,16	0,73	13,9
Pd/Al-MCM-41/Keramik	3,4	0,43	7,9

#### 4.2.5 Hasil Karakterisasi DTA

Untuk mengetahui ketahanan katalis terhadap suhu perengkahan dilakukan analisa dengan DTA. Reaksi endotermis terjadi diantara suhu 35-270°C pada katalis Al-MCM-41/keramik dan Pd/Al-MCM-41/Keramik yang mengindikasikan bahwa terjadi reaksi dehidrasi dan perubahan komposisi pada katalis dimana terjadi reaksi pembentukan gas CO<sub>2</sub> dari oksidasi karbon. Reaksi endoterm yang ditandai dengan grafik melengkung kebawah merupakan proses dekomposisi atau pelepasan unsur-unsur organik seperti CO<sub>2</sub> dan uap air yang terkandung di dalam material mentah (Priyono dan Prihandoko, 2015). Gambar 4.11 menunjukkan pada suhu tersebut kedua katalis mengalami reaksi yang sama yaitu endotermis.

Reaksi eksotermis terjadi pada suhu 270-750°C yang dapat disebut juga dengan *High Temperature Oxidation* (HTO). Reaksi ini menunjukkan bahwa katalis bersifat metastabil dimana katalis mengalami perubahan ke struktur stabil (tidak terjadi reaksi kimia/perubahan massa) pada katalis tersebut. Proses eksoterm DTA menandakan penurunan entalpi sampel yang mengindikasikan perubahan ke struktur yang lebih stabil (Amalia dkk., 2017; Setiabudi dkk., 2012). Oleh karena itu, perengkahan pada suhu 300°C merupakan suhu yang tepat dimana katalis menuju struktur yang lebih stabil.



Gambar 4.11 Analisa termal pada katalis dengan DTA

### 4.3 Hasil Sintesis Bahan Bakar Cair

#### 4.3.1 Hasil Perengkahan Bahan Baku Limbah Plastik Polistiren (PS)

Penelitian ini menggunakan limbah polistiren (PS) berupa *styrofoam* pada Gambar 4.12 yang diambil di sekitar tempat sampah departemen kimia.



Gambar 4.12 Limbah Polistiren

Limbah PS tersebut diproses pada *chamber reactor* menggunakan metode perengkahan termal. Limbah PS dilelehkan hingga terbentuk lempengan sebelum proses perengkahan dilakukan karena massa *styrofoam* sangat ringan dan dapat mengisi penuh reaktor dengan massanya yang kecil. Perlakuan tersebut dilakukan agar limbah dapat diproses lebih banyak pada *chamber reactor*. Proses perengkahan tersebut menghasilkan minyak plastik polistiren tidak berwarna setelah satu jam perengkahan dan setelah dua jam menjadi kuning keruh yang ditunjukkan pada Gambar 4.13. *Yield* minyak plastik polistiren diperoleh sebesar 86,5% yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Persentase *yield* minyak plastik polistiren

Massa (gr)	Densitas (g/mL)	Volume Plastik PS (mL)	Volume Minyak PS (mL)	Yield (%)
999,69	0,865	1155,7	1000	86,5



Gambar 4.13 *Feedstock* minyak polistiren (PS)

#### 4.3.2 Hasil Sintesis Ko-Reaktan Biodiesel Minyak Jelantah

Penelitian ini digunakan limbah minyak jelantah dari minyak bekas penggorengan pada rumah tangga. Katalis yang digunakan yaitu NaOH sebanyak 0,5% dari berat minyak jelantah karena pada penelitian sebelumnya oleh Alfian (2018), ditambahkan katalis NaOH sebanyak 0,5% dari berat minyak jelantah, dengan semakin banyak katalis NaOH yang ditambahkan maka biodiesel yang dihasilkan semakin banyak. Katalis NaOH dicampurkan terlebih dahulu dengan metanol yang ditunjukkan pada Gambar 4.14. Pencampuran ini bertujuan untuk membentuk larutan metoksi dari metanol dimana itu akan mempercepat terjadinya transesterifikasi.



Gambar 4.14 Campuran metanol dan katalis NaOH

Minyak jelantah dipanaskan terlebih dahulu hingga suhu 50°C sebelum pencampuran yang ditunjukkan pada Gambar 4.15. Pemanasan itu bertujuan untuk mempercepat reaksi antara minyak jelantah dengan campuran metanol dan NaOH pada suhu mendekati titik didih metanol. Reaksi dilakukan selama 2 jam. Reaksi semakin lama, warna campuran menjadi orange keruh seperti pada Gambar 4.16.



Gambar 4.15 Pemanasan minyak jelantah pada suhu 50°C.



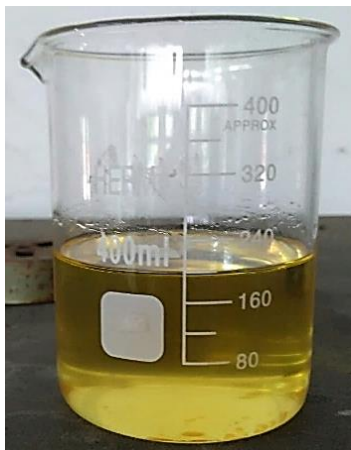
Gambar 4.16 Campuran minyak jelantah dengan campuran metanol dan katalis NaOH

Hasil reaksi didiamkan selama 24 jam agar terpisah sempurna antara fasa atas dan bawah seperti pada Gambar 4.17. Untuk mengetahui fasa pada biodiesel ditinjau dari densitasnya, dimana fasa air lebih berat dari fasa minyak.



Gambar 4.17 Pemisahan fasa atas dan fasa bawah

Kedua lapisan dipisahkan dengan masing-masing ditampung dalam botol vial. Fasa atas terdapat biodiesel yang dinginkan dan fasa bawah mengandung gliserol dan katalis NaOH. Biodiesel yang dihasilkan berwarna kuning bening seperti bahan bakar pada umumnya yang ditunjukkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Biodiesel minyak jelantah

Data karakterisasi fisik biodiesel minyak jelantah telah didapatkan yang ditunjukkan pada Tabel 4.6. Menurut *Badan Standarisasi Nasional* (2006) bahwa biodiesel memiliki nilai viskositas kinematika dengan rentang sekitar 2,3-6,0 mm<sup>2</sup>/s dan titik nyala mulai dari suhu 100°C. Berdasarkan data uji fisik menunjukkan bahwa telah diperoleh biodiesel dari minyak jelantah.

Tabel 4.6 Karakterisasi fisik biodiesel minyak jelantah

Densitas (g/mL)	Viskositas (cSt)	Titik Nyala (°C)
0,8786	4,357	130

#### 4.3.3 Produksi Bahan Bakar Cair dari Limbah Polistiren dengan Ko-Reaktan Biodiesel Minyak Jelantah

Sampel pada sintesis bahan bakar cair dari limbah polistiren dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah yaitu berupa bahan bakar cair plastik polistiren dan biodiesel minyak jelantah. Dalam penelitian ini dilakukan perengkahan katalitik dengan variasi jenis katalis yaitu katalis Al-MCM-41/keramik dan katalis Pd/Al-MCM-41/keramik serta variasi waktu perengkahan selama 60 menit dan 120 menit.

Perengkahan katalitik minyak polistiren dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dilakukan dalam reaktor tertutup. Tujuan menggunakan reaktor tertutup ini agar oksigen tidak banyak yang bereaksi (Oksigenasi) saat proses perengkahan. Tipe reaktor yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *continuous reactor* yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Pada reaktor ini terdapat beberapa bagian penting dalam proses perengkahan yaitu *Chamber reactor* dan *Tubular reactor*. Selain bagian tersebut, terdapat juga bagian pendukung dalam proses perengkahan yaitu kondensor, lubang gas nitrogen dan penampung bahan bakar cair. *Chamber reactor* digunakan sebagai tempat terjadinya proses perengkahan. Sebelum pemanasan, *chamber reactor* perlu dialiri gas nitrogen melalui lubang gas selama 1 menit untuk menghilangkan gas oksigen pada reaktor. Pemanasan dilakukan pada suhu 300°C selama 2 jam. *Tubular reactor* digunakan sebagai wadah katalis dan tempat



terjadinya perengkahan katalitik. *Tubular reactor* disusun dengan komposisi bertingkat dengan urutan *glass wool*, katalis, dan *glass wool* yang ditunjukkan pada Gambar 4.19. *Glass wool* digunakan sebagai penahan agar katalis tidak bergerak dari *tubular reactor*. *Glass wool* juga memiliki sifat isolator sehingga tahan terhadap suhu tinggi. *Tubular reactor* diletakkan pada atas *chamber reactor* agar gas hasil perengkahan dapat mengalir dengan mudah menuju *tubular reactor* selanjutnya dapat mengalami reaksi katalisis.



Gambar 4.19 Rangkaian *pellet* katalis pada kawat kasa

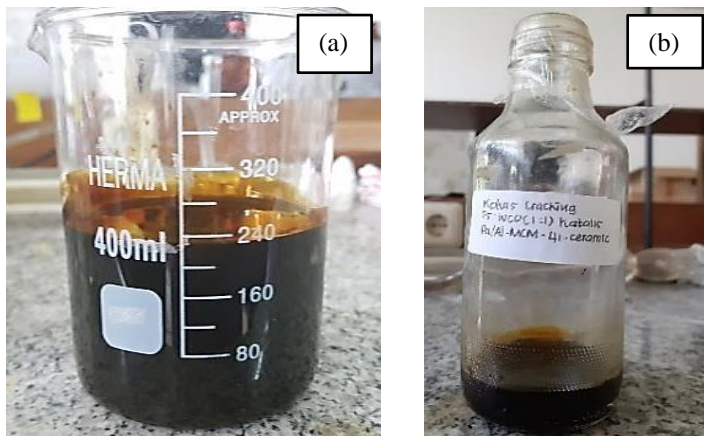
Reaksi katalisis terjadi pada sisi aktif katalis Al-MCM-41/keramik dan Pd/Al-MCM-41/keramik dimana disisi tersebut terjadi pemutusan ikatan karbon beta pada gas hasil perengkahan menjadi fraksi hidrokarbon yang lebih ringan. Bagian utama tersebut harus tertutup dan tidak boleh bocor karena ini merupakan bagian utama reaksi terjadi. Gas hasil perengkahan katalitik pada bagian utama dikondensasi oleh kondensor yang terhubung dengan *tubular reactor*. Kondensor tersebut dialiri air dingin. Tujuan dialir air dingin agar gas yang terbentuk pada kondensor diperengkahan menjadi zat cair. Hasil kondensasi berupa cairan minyak akan ditampung dalam erlenmeyer 400 mL dan labu penampung sebagai cadangan. Selanjutnya bahan bakar cair tersebut ditampung dalam

vial 10 mL tiap perengkahan selama 60 menit dan 120 menit. Bahan bakar cair tersebut diuji *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GC-MS)

Tujuan pengambilan bahan bakar cair pada waktu 60 menit dan 120 menit untuk mengetahui perengkahan fraksi hidrokarbon dengan semakin lamanya proses perengkahan. Hasil produk bahan bakar cair dengan katalis Al-MCM-41/keramik dan katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik ditunjukkan pada Gambar 4.20 dan kokas masing-masing produk ditunjukkan pada Gambar 4.21.



Gambar 4.20 Bahan bakar cair hasil perengkahan dengan (a) Katalis Al-MCM-41/Keramik (b) Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik



Gambar 4.21 Kokas hasil perengkahan dengan (a) Katalis Al-MCM-41/Keramik (b) Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik

Tabel 4.7 Volume bahan bakar cair (BBC) dan kokas hasil perengkahan limbah plastik PS dengan ko-reaktan biodiesel

Jenis Katalis	Volume BBC (mL)	Persentase BBC (%)	Volume Kokas (mL)	Persentase Kokas (%)
Al-MCM-41/keramik	646	64,6	234	23,4
Pd/Al-MCM-41/Keramik	893	89,3	21	2,1

Hasil bahan bakar cair yang didapatkan lebih banyak pada perengkahan dengan katalis Pd/Al-MCM-41/keramik dan pembentukan kokas yang lebih sedikit dari pada dengan katalis Al-MCM-41/keramik yang ditunjukkan pada Tabel 4.7. Penurunan bahan bakar cair pada perengkahan dengan katalis Al-MCM-41/keramik karena terbentuk lebih banyak kokas. Berdasarkan penelitian Alfian (2018), komposisi ko-reaktan biodiesel minyak

jelantah yang dominan dapat meningkatkan kokas. Tetapi, pembentukan kokas pada perengkahan dengan kedua katalis tersebut tidak berdasarkan komposisi ko-reaktan biodiesel minyak jelantah. Pengaruh sistem reaktor juga dapat menghambat produksi fraksi hidrokarbon lebih rendah pada perengkahan termal karena gas sulit menembus *tubular reactor* sehingga fraksi yang telah mencapai *tubular reactor* dapat kembali ke *chamber reactor*.

#### 4.4 Analisa Fraksi Hidrokarbon Bahan Bakar Cair Menggunakan GC-MS

##### 4.4.1 Persentase Fraksi Hidrokarbon Bahan Bakar Cair (BBC)

Bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan katalitik dikarakterisasi dengan instrument GC-MS-*QP2010S SHIMADZU*. Berdasarkan hasil analisis, bahan bakar cair hasil perengkahan minyak limbah plastik PS dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dengan variasi jenis katalis yaitu katalis Al-MCM-41/keramik dan Pd/Al-MCM-41/keramik dan variasi waktu perengkahan menghasilkan fraksi hidrokarbon rantai pendek ( $<C_7$ ), hidrokarbon gasolin ( $C_7-C_{12}$ ) dan hidrokarbon rantai panjang ( $>C_{12}$ ). Kromatogram semua bahan bakar cair hasil perengkahan dapat dilihat pada Lampiran D. Persentase fraksi hidrokarbon pada masing-masing bahan bakar cair ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Persentase fraksi hidrokarbon hasil perengkahan

Variasi Katalis	Waktu (Menit)	% Fraksi Hidrokarbon		
		$<C_7$	$C_7-C_{12}$	$>C_{12}$
Al-MCM-41/Keramik	60	0	32,84	67,14
	120	2,32	59,1	38,58
Pd/Al-MCM-41/Keramik	60	0	37,33	62,67
	120	5,98	74,59	19,43

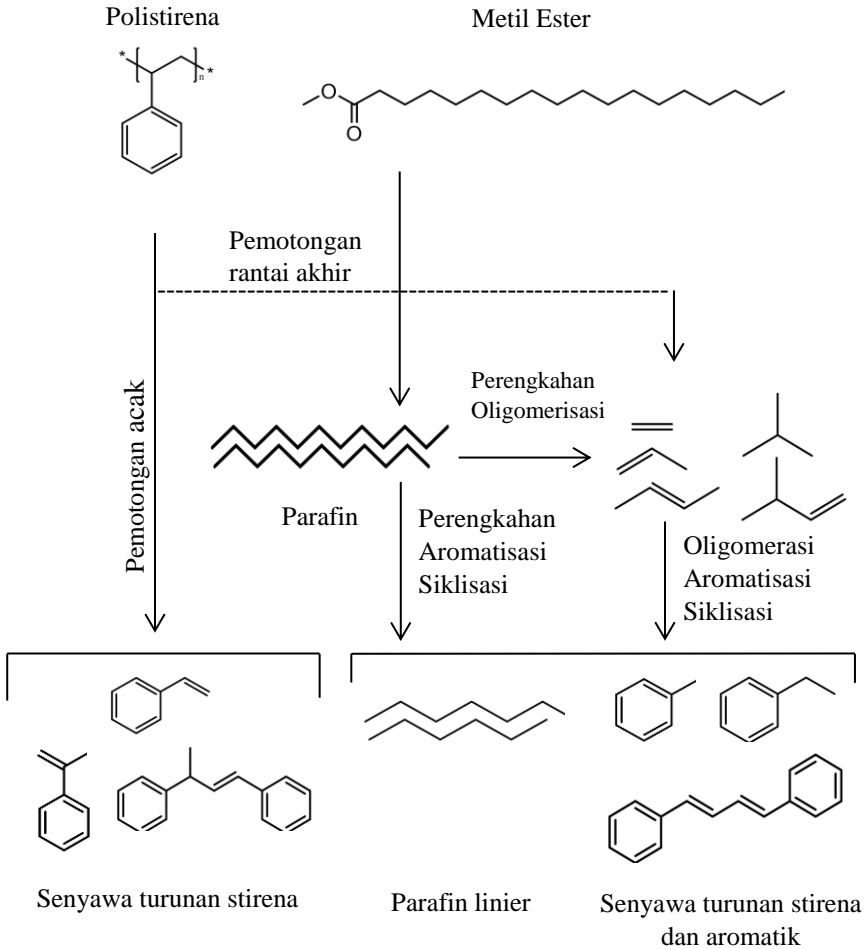
Persentase fraksi hidrokarbon gasolin ( $C_7-C_{12}$ ) semakin meningkat seiring lamanya waktu pada perengkahan katalitik dan berbanding terbalik dengan persentase fraksi hidrokarbon rantai panjang ( $>C_{12}$ ). Proses tersebut terjadi karena seiring lamanya

waktu, hidrokarbon fasa gas pada campuran akan terus menerus bereaksi pada sisi aktif katalis sehingga perengkahan akan terus terjadi. Katalis Pd/Al-MCM-41/keramik memiliki selektifitas yang baik sehingga fraksi hidrokarbon  $>C_{12}$  lebih sedikit dan hasil perengkahannya lebih membentuk ke fraksi gasolin dan fraksi pendek  $<C_7$  dibandingkan dengan hasil perengkahan katalitik oleh katalis Al-MCM-41/keramik. Hasil fraksi hidrokarbon rantai pendek dari perengkahan katalitik juga dipengaruhi oleh sisi aktif katalis Pd/Al-MCM-41/keramik lebih banyak daripada katalis Al-MCM-41/keramik yang ditunjukkan pada data EDX di Tabel 4.1. Keberadaan karbon pada katalis Al-MCM-41/keramik dapat menimbulkan kerak berupa kokas ketika proses perengkahan sehingga menutupi sisi aktif katalis. Tertutupnya sisi aktif katalis ini menyebabkan deaktivasi katalis dan menurunkan *yield* produk (Bustan dan Haryati, 2016). Data dari Tabel 4.7 membuktikan bahwa persentase *yield* bahan bakar cair dari perengkahan katalitik dengan katalis Al-MCM-41/keramik lebih sedikit daripada dengan katalis Pd/Al-MCM-41/keramik.

#### 4.5 Mekanisme Reaksi Perengkahan Plastik Polistiren (PS)

Katalis asam memulai degradasi PS dengan serangan proton dari sisi asam Bronsted ke cincin fenil dari punggung/belakang polimer PS. Karbokation yang dihasilkan terjadi pembelahan diikuti oleh transfer hidrogen. Hidrogen dari katalis asam menyerang cincin aromatik bercabang dengan cara hidrogen katalis asam menyerang gugus fenil bercabang PS sehingga terjadi pemutusan ikatan karbon  $\beta$  yang diperengkahan ke  $\alpha$ -kompleks (kation sekunder) membentuk  $\alpha$ -metilstirena dan melepaskan benzena. Senyawa turunan stirena yang paling banyak terbentuk pada produk pirolisis adalah  $\alpha$ -metilstirena yang dapat dibentuk dari reaksi antara monomer stirena dan radikal metil (Hassan dkk., 2016). Pembentukan benzene dan hidrogenasi pembentukan toluene dan etil benzene serta hasil samping berupa  $\alpha$ -metilstirena dapat menurunkan *yield* monomer stiren (Shah dkk., 2015). Oleh karena itu, produksi  $\alpha$ -metilstirena dan benzen pada proses perengkahan dapat mengurangi monomer stiren. Penelitian

ini dilakukan perengkahan minyak polistirena dengan penambahan biodiesel minyak jelantah. Metil ester menunjukkan senyawa dari biodiesel minyak jelantah yang diubah menjadi hidrokarbon rantai panjang melalui reaksi dehidrasi, dekarbonilasi dan dekarboksilasi (Sanahuja-Parejo dkk., 2018).



Gambar 4.22 Reaksi perengkahan polistirena dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah (Sanahuja-Parejo dkk., 2018).

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Telah dilakukan perengkahan katalitik pada limbah polistiren dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah dengan katalis Al-MCM-41/keramik dan Pd/Al-MCM-41/keramik. Rasio Si/Al katalis Al-MCM-41/keramik lebih tinggi daripada katalis Al-MCM-41/keramik sebesar 13,9%, sehingga keasaman katalis Al-MCM-41/keramik lebih tinggi daripada Pd/Al-MCM-41/keramik sebesar 0,0653 (mmol/g). Namun, Pd/Al-MCM-41/keramik memiliki komposisi karbon (C) lebih kecil daripada Al-MCM-41/keramik yaitu sebesar 1,42%. Luas permukaan katalis Al-MCM-41/keramik lebih besar daripada Pd/Al-MCM-41/keramik sebesar 490,66 (m<sup>2</sup>/g). Namun, Volume pori katalis Pd/Al-MCM-41/keramik lebih besar daripada Al-MCM-41/keramik yaitu 3,046 (cc/g). Hasil analisa DTA kedua katalis menunjukkan pada suhu perengkahan (300°C) terjadi reaksi eksotermis dimana struktur katalis menjadi stabil, sehingga kedua katalis tersebut tahan pada suhu tersebut. Produk bahan bakar cair dari limbah PS dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah menggunakan katalis Al-MCM-41/keramik diperoleh yield sebesar 64,6% dan katalis Pd/Al-MCM-41/keramik diperoleh yield sebesar 89,3%. Fraksi hidrokarbon gasolin (C<sub>7</sub>-C<sub>12</sub>) diperoleh lebih banyak pada katalis Pd/Al-MCM-41/keramik daripada katalis Al-MCM-41/keramik yaitu sebesar 74,9% pada perengkahan selama 120 menit.

#### **5.2 Saran**

Pada proses perengkahan dibutuhkan reaktor yang tidak mudah bocor karena mempengaruhi perengkahan bahan bakar cair. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat merengkah campuran limbah-limbah plastik dan variasi suhu untuk mengetahui suhu perengkahan yang optimum pada campuran limbah tersebut serta menggunakan pemanas yang dapat diatur suhu perengkahannya

***“Halaman ini sengaja dikosongkan”***



## DAFTAR PUSTAKA

- Abnisa, F., Wan Daud, W.M.A., Ramalingam, S., Azemi, M.N.B.M., dan Sahu, J.N., 2013, Co-Pyrolysis Of Palm Shell And Polystyrene Waste Mixtures To Synthesis Liquid Fuel, *Fuel*, 108, 311–318.
- Adamson, A.W. dan Gast, A.P., 1997, *Physical Chemistry of Surfaces*, 6th ed., John Wiley & Sons, Inc., California.
- Adhari, H., Yusnimar, Y., dan Utami, S.P., 2016, Pemanfaatan Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel Dengan Katalis ZnO Presipitan Zinc Karbonat: Pengaruh Waktu Reaksi Dan Jumlah Katalis, *J. Online Mhs. JOM Bid. Tek. Dan Sains*, 3, 1–7.
- 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, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Amalia, A.R., Sembiring, S., dan Simanjuntak, W., 2017, Karakteristik Termal (DTA/TGA) dan Konduktivitas Termal Kordierit ( $2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$ ) Berbasis Silika Sekam Padi Akibat Penambahan MgO (0, 10, 15% berat), *J. Teori Dan Apl. Fis.*, 5, 59–64.
- Arita, S., Attaso, K., dan Septian, R., 2013, Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit dengan Katalis CaO Disinari dengan Gelombang Mikro, *J. Tek. Kim.*, 19, 45–52.
- Arman, R., 2010, Pemurnian Minyak Jelantah, *J. Tek. Kim.*, 17, 7–14.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN), 2006, Standard Nasional Indonesia Biodiesel, SNI 04-7182-2006.
- Bustan, M.D. dan Haryati, S., 2016, Studi Pengaruh Ukuran Partikel Ruthenium Dalam Katalis Ru/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  pada Reaksi Hidrogenasi Karbon Monoksida, *J. Tek. Kim.*, 22, 61–68.
- Choi, S.S. dan Kim, E., 2018, Pyrolysis Behaviors Of Deacetylated Poly(Ethylene-Co-Vinyl Acetate) Depending On Pyrolysis Temperature, *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 130, 29–35.

- Daněk, V., 2006, Chapter 3 - Phase Equilibria, in: Daněk, V. (Ed.), *Physico-Chemical Analysis of Molten Electrolytes*, Elsevier Science, Amsterdam, 107–219.
- Dewi, T.K. dan Novriyansyah, T., 2016, Pengaruh Rasio Reaktan Pada Impregnasi Dan Suhu Reduksi Terhadap Karakter Katalis Kobalt/Zeolit Alam Aktif, *J. Tek. Kim.*, 22, 34–42.
- Egerton, R.F., 2005, *Physical Principles Of Electron Microscopy: an Introduction to TEM, SEM, and AEM*, Springer, New York, NY.
- Epp, J., 2016, X-ray diffraction (XRD) techniques for materials characterization, in: *Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*, Elsevier, Jerman, 81–124.
- Faris, M., 2013, Reforming Dan Perengkahan, Scribd, <https://id.scribd.com/doc/190620245/Reforming-Dan-Perengkahan> (diakses pada 11 Maret 2019).
- Hakim, A., Nazarudin, dan Naswir, M., 2017, Perengkahan Termal (Thermal Cracking) Serbuk Gergaji Kayu Bulian (Eusideroxylon Zwagery T.Et B) Untuk Menghasilkan Bahan Bakar Minyak, Universitas Jambi, Jambi.
- Haryanto, A., Silviana, U., Triyono, S., dan Prabawa, S., 2015, Produksi Biodiesel Dari Transesterifikasi Minyak Jelantah Dengan Bantuan Gelombang Mikro: Pengaruh Intensitas Daya Dan Waktu Reaksi Terhadap Rendemen Dan Karakteristik Biodiesel, *J. Agritech*, 35, 234–240.
- Hassan, E.B., Elsayed, I., dan Eseyin, A., 2016, Production High Yields Of Aromatic Hydrocarbons Through Catalytic Fast Pyrolysis Of Torrefied Wood And Polystyrene, *Fuel*, 174, 317–324.
- Hendra, D., Wibowo, S., dan Wibisono, H.S., 2018, *Tanaman Hutan*, 1st ed., IPB Press, Bogor.
- Homan, D.K., 2011, Simbol untuk Menunjang Sistem Informasi Desain Kemasan Makanan dan Minuman Plastik, *Humaniora*, 2, 33–39.

- Iswadi, D., Nurisa, F., dan Liastuti, E., 2017, Pemanfaatan Sampah Plastik LDPE Dan PET Menjadi Bahan Bakar Minyak Dengan Proses Pirolisis, *J. Ilm. Tek. Kim. UNPAM*, 1.
- Juwono, H., Triyono, T., Sutarno, S., dan Wahyuni, E.T., 2013, The Influence Of Pd Impregnation Into Al-MCM-41 On The Characters And Activity For Biogasoline Production By Catalytic Hydrocracking Of FAMES From Nyamplung Seed Oil (*Calophyllum Inophyllum*), *Indones. J. Chem.*, 13, 171–175.
- Juwono, H., Triyono, T., Sutarno, S., Wahyuni, E.T., Harmami, H., Ulfin, I., dan Kurniawan, F., 2017, Production of Hydrocarbon (C7-C20) from Hydrocracking of Fatty Acid Methyl Esters on Pd/Al-MCM-41 Catalyst, *Bull. Chem. React. Eng. Catal.*, 12, 337–342.
- Khalifah, S.N. dan Prasetyoko, D., 2008, Sintesis dan Karakterisasi ZSM-5 Mesoporous dengan Variasi, *J. Zeolit Indones.*, 7, 96–101.
- Kitson, F.G., Larsen, B.S., dan McEwen, C.N., 1996, Gas Chromatography and Mass Spectrometry, Academic Press, California.
- Laila, L. dan Oktavia, L., 2017, Kaji Eksperimen Angka Asam dan Viskositas Biodiesel Berbahan Baku Minyak Kelapa Sawit dari PT Smart Tbk, *J. Teknol. Proses Dan Inov. Ind.*, 2, 27–31.
- Le Van Mao, R., Yan, H., Muntasar, A., dan 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, 143–173.
- LTSIT, A.U., 2016, Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS), <http://uptltsit.unila.ac.id/2016/10/03/gas-chromatography-mass-spectrometry/> (diakses pada 14 Juni 2019).

- Marissa, A., 2011, Deaktivasi Dan Regenerasi Katalis HZSM-5 Pada Berbagai Rasio Si/Al Dalam Reaksi Aseton Menjadi Hidrokarbon, Universitas Indonesia, Depok.
- Miandad, R., Barakat, M.A., Rehan, M., Aburiazaiza, A.S., Ismail, I.M.I., dan Nizami, A.S., 2017, Plastic Waste To Liquid Oil Through Catalytic Pyrolysis Using Natural And Synthetic Zeolite Catalysts, *Waste Manag.*, 69, 66–78.
- Miandad, R., Barakat, M.A., Rehan, M., Aburiazaiza, A.S., Gardy, J., dan Nizami, A.S., 2018, Effect Of Advanced Catalysts On Tire Waste Pyrolysis Oil, *Process Saf. Environ. Prot.*, 116, 542–552.
- Ningtyas, D.P., Budhiyanti, S.A., dan Sahubawa, L., 2013, Pengaruh Katalis Basa (NaOH) Pada Tahap Reaksi Transesterifikasi Terhadap Kualitas Biofuel Dari Minyak Tepung Ikan Sardin, *J. Teknosains*, 2, 71–158.
- Nugroho, K.A., 2018, Produksi Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik Polipropilena Dengan Ko-Reaktan Biodiesel Dari Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) Melalui Konversi Katalitik, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Nurjannah, Roesyadi, A., dan Prajitno, D.H., 2010, Konversi Katalitik Minyak Sawit Untuk Menghasilkan Biofuel Menggunakan Silika Alumina dan HZSM-5 Sintesis, *Reaktor*, 13, 37–43.
- Pattiya, A., 2018. Catalytic Pyrolysis, in: Direct Thermochemical Liquefaction for Energy Applications, Woodhead Publishing, Thailand, 29–64.
- Prasetyoko, D., Fansuri, H., Ni'mah, Y.L., dan Fadlan, A., 2016, Karakterisasi Struktur Padatan, Deepublish, Yogyakarta.
- Principle of Differential Thermal Analysis (DTA) : Hitachi High-Technologies GLO, n.d., <https://www.hitachi-hightech.com/global/products/science/tech/ana/thermal/descriptions/dta.html>(diakses pada 30 April 2019).
- Priyono, S. dan Prihandoko, B., 2015, Pengaruh Penambahan Serbuk  $\text{Al}_2\text{O}_3$  Dan  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  Pada Karakter Termal Prekursor

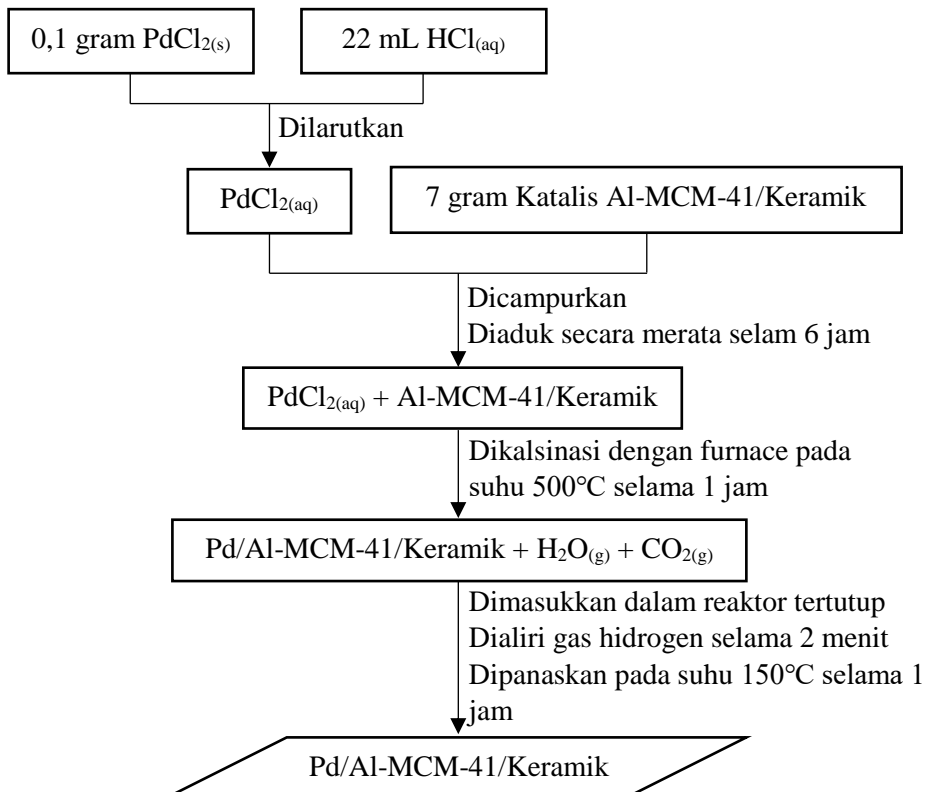
- $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ , in: Prosiding Seminar Nasional Fisika, Universitas Negeri Jakarta, Jakarta, 25–28.
- Qurratul, I., 2017, Produksi Bahan Bakar Cair Hidrokarbon (C8-C13) Dari Limbah Plastik Polipropilena Hasil Konversi Katalitik Dengan Variasi Jumlah Katalis Al-MCM-41, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Rahmawati, F. dan Wahyuni, S., 2012, Studi Deaktivasi Katalis Ni-Mo/Zeolit Alam Pada Reaksi Hidrodenitrogenasi (HDN) Piridin, *Indones. J. Chem. Sci.*, 1, 20–26.
- Sanahuja-Parejo, O., Veses, A., Navarro, M.V., López, J.M., Murillo, R., Callén, M.S., dan García, T., 2018, Drop-In Biofuels From The Co-Pyrolysis Of Grape Seeds And Polystyrene, *Chem. Eng. J.*
- Sandi, D.N., Purwanti, E., dan Ediati, R., 2010, Sintesis dan Karakterisasi Katalis Al-MCM-41, Fe-Al-MCM-41, serta Fe-MCM-41, in: Prosiding Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Setiabudi, A., Hardian, R., dan Muzakir, A., 2012, Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia, UPI Press, Bandung.
- Shafaghat, H., Jae, J., Jung, S.-C., Jeon, J.-K., Ko, C.H., dan Park, Y.-K., 2018, Effect Of Methane Co-Feeding On Product Selectivity Of Catalytic Pyrolysis Of Biomass, *Catal. Today*, 303, 200–206.
- Shah, J., Jan, M.R., dan Adnan, 2015, Tertiary Recycling Of Waste Polystyrene Using Magnesium Impregnated Catalysts Into Valuable Products, *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 114, 163–171.
- Silalahi, R.L.R., Sari, D.P., dan Dewi, I.A., 2017, Testing of Free Fatty Acid (FFA) and Colour for Controlling the Quality of Cooking Oil Produced by PT. XYZ, *J. Teknol. Dan Manaj. Agroindustri*, 6, 41–50.
- Skoog, D.A., West, D.M., Holler, F.J., dan Crouch, S.R., 2014, *Fundamental of Analytical Chemistry*, 9th ed. Brooks/Cole, United States of America.
- Sogancioglu, M., Yel, E., dan Ahmetli, G., 2017, Investigation of the Effect of Polystyrene (PS) Waste Washing Process and

- Pyrolysis Temperature on (PS) Pyrolysis Product Quality, *Energy Procedia*, 118, 189–194.
- Speight, J.G., 2015, Refining Chemistry and Fouling Potential, in: *Fouling in Refineries*, Elsevier, 65–86.
- Tambun, R., Saptawaldi, R.P., Nasution, M.A., dan Gusti, O.N., 2016, Pembuatan Biofuel dari Palm Stearin dengan Proses Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis ZSM-5, *J. Rekayasa Kim. Lingkung.*, 11, 46–52.
- Trisunaryanti, W., 2018, Dari Sampah Plastik Menjadi Bensin dan Solar, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Umami, V.A., 2015, Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Gelombang Mikro, Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Windarti, T. dan Suseno, A., 2004, Preparasi Katalis Zeolit Alam Asam Sebagai Katalis Dalam Proses Pirolisis Katalitik Polietilena, *J. Kim. Sains Dan Apl.*, 7, 72–77.
- Zhao, H., Song, Q., Liu, S., Li, Y., Wang, X., dan Shu, X., 2018, Study On Catalytic Co-Pyrolysis Of Physical Mixture/Staged Pyrolysis Characteristics Of Lignite And Straw Over An Catalytic Beds Of Char And Its Mechanism, *Energy Convers. Manag.*, 161, 13–26.

## LAMPIRAN A

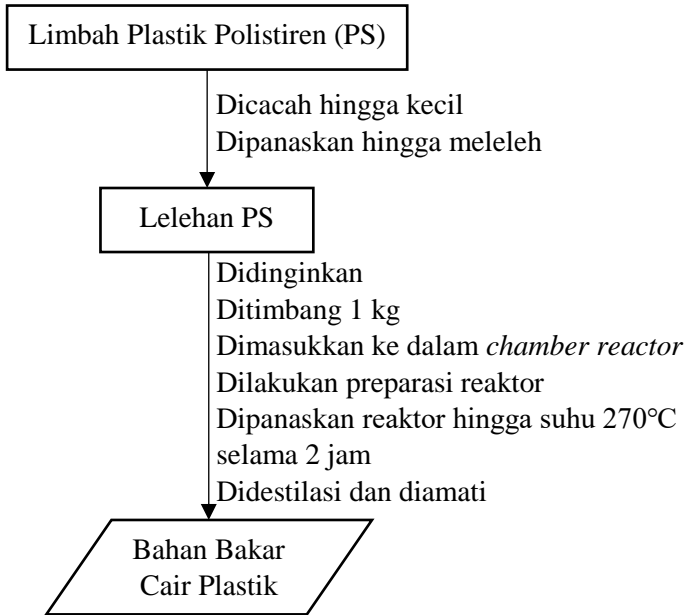
## A.1 Prosedur Kerja

## A.1.1 Sintesis Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik



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

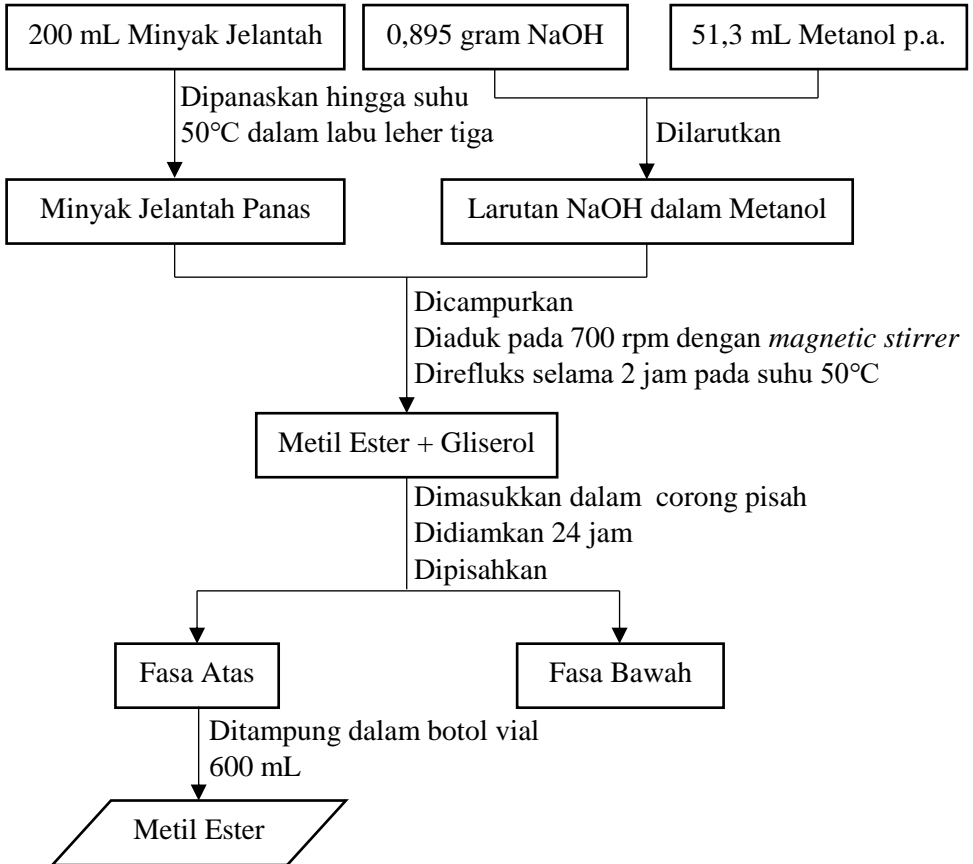
### A.1.2 Produksi Bahan Bakar Cair dari Plastik Polistiren



Gambar A.2 Produksi Minyak Polistiren dengan Metode Perengkahan Termal



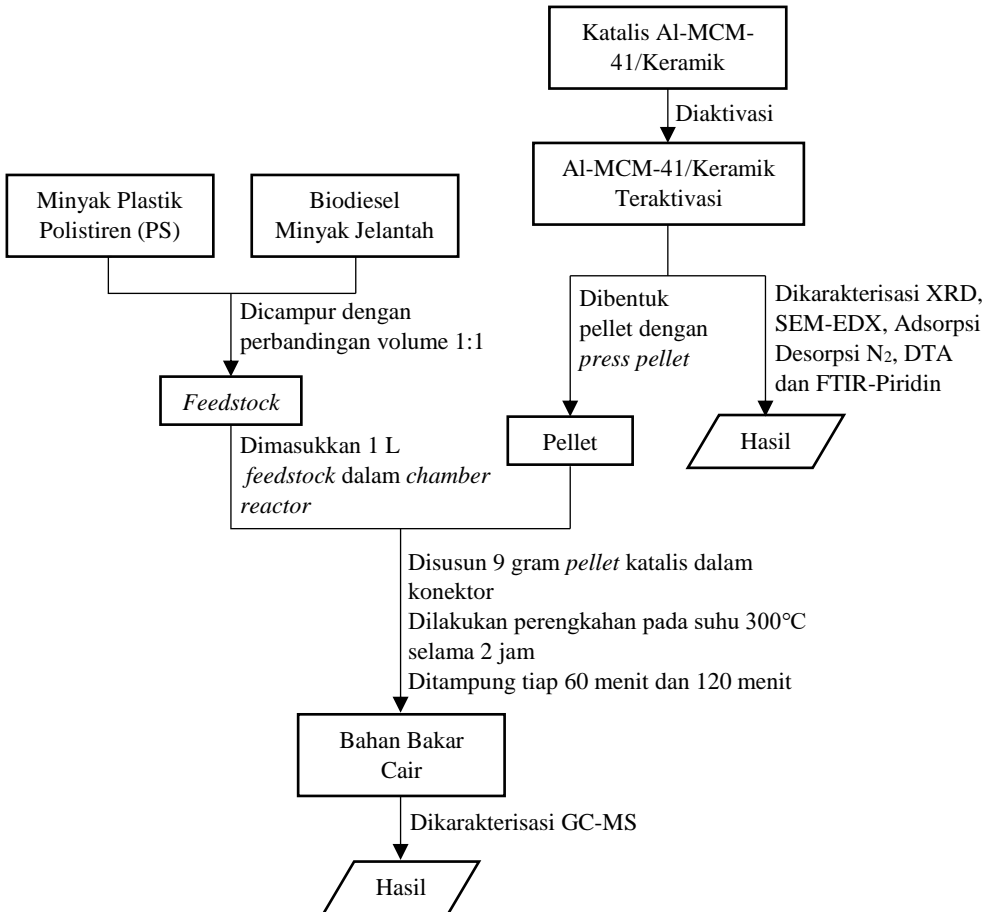
### A.1.3 Produksi Biodiesel dari Minyak Jelantah



Gambar A.3 Produksi Biodiesel Minyak Jelantah

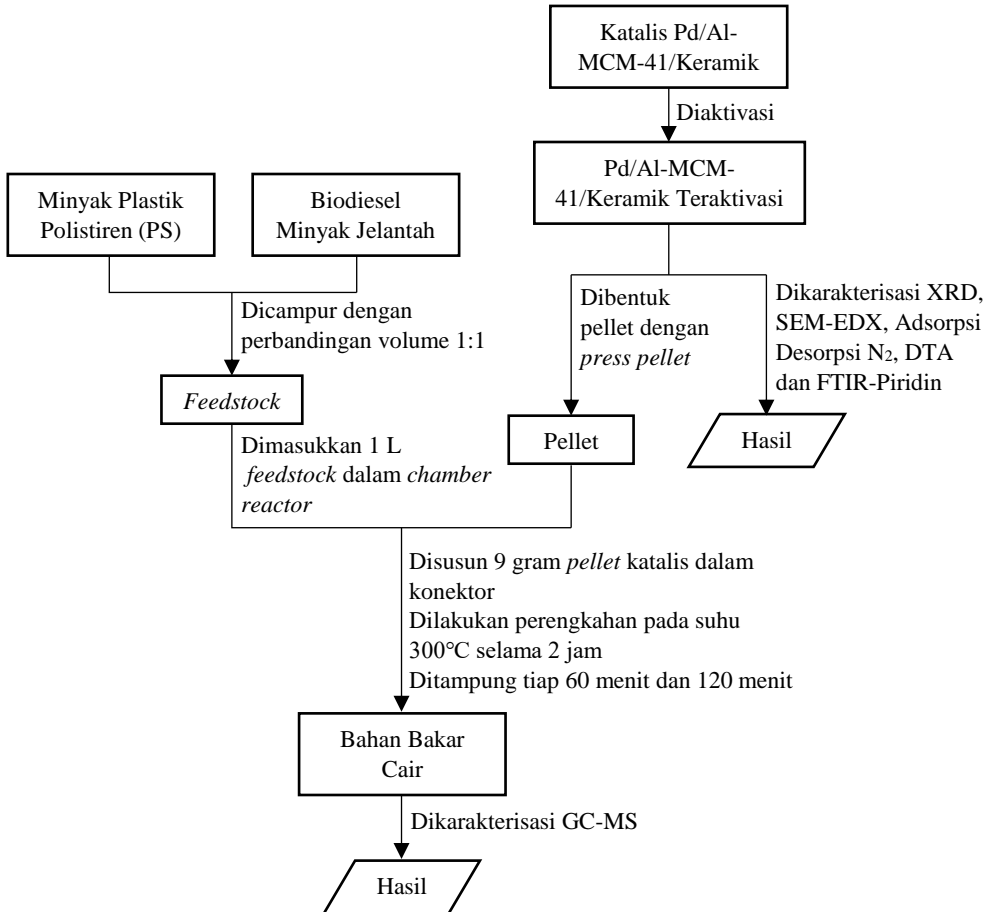
## A.1.4 Produksi dan Karakterisasi Bahan Bakar Cair

### A.1.4.1 Produksi dan Karakterisasi Bahan Bakar Cair dengan Katalis Al-MCM-41/Keramik



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

### A.1.4.2 Produksi dan Karakterisasi Bahan Bakar Cair dengan Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik

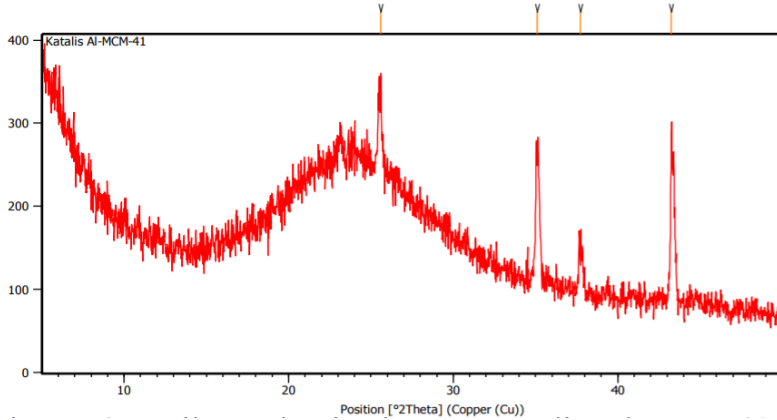


Gambar A.5 Produksi Bahan Bakar Cair Limbah Plastik Polistiren dan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Jelantah dengan Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik

## LAMPIRAN B

### B.1 Karakterisasi Katalis Al-MCM-41/Keramik

#### B.1.1 Hasil Karakterisasi XRD

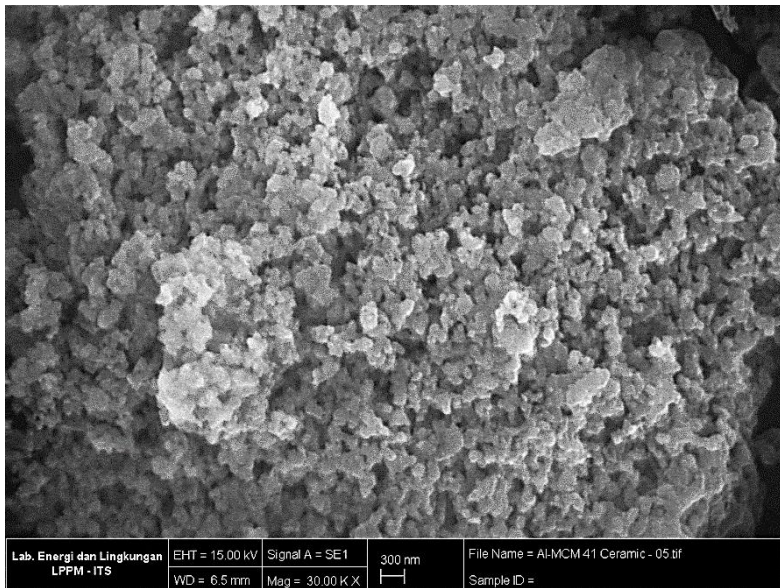


Gambar B.1 Hasil Karakterisasi XRD Katalis Al-MCM-41/Keramik

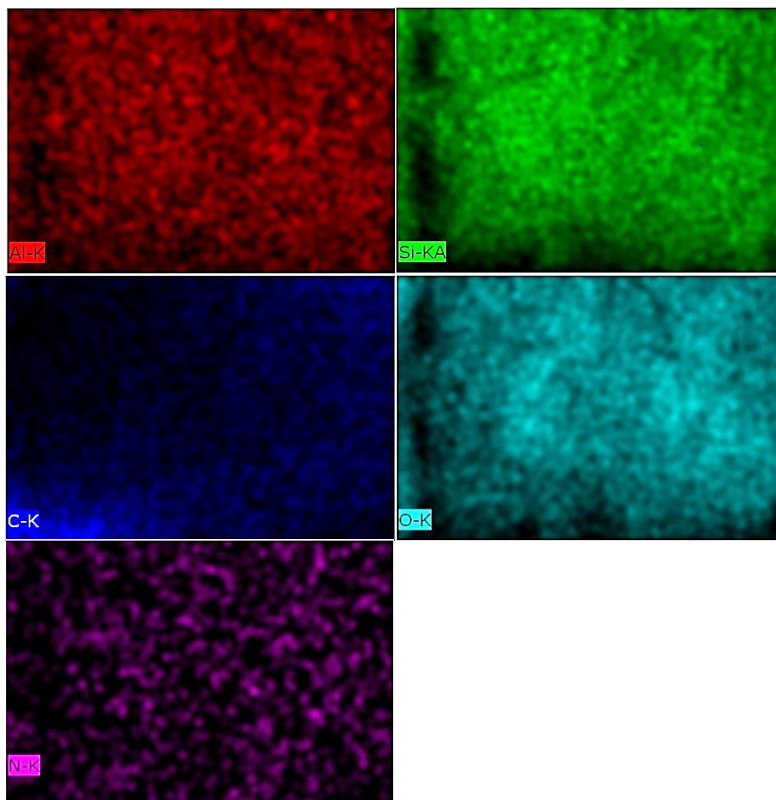
Tabel B.1 Hasil Karakterisasi XRD Katalis Al-MCM-41/Keramik

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

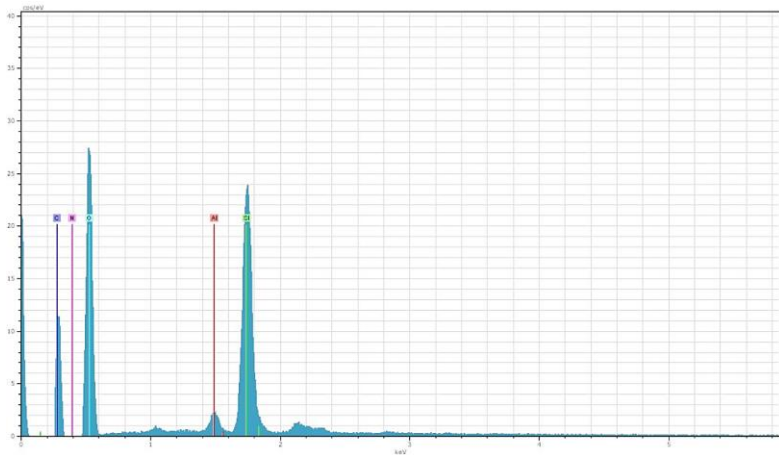
### B.1.2 Hasil Karakterisasi SEM EDX



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



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

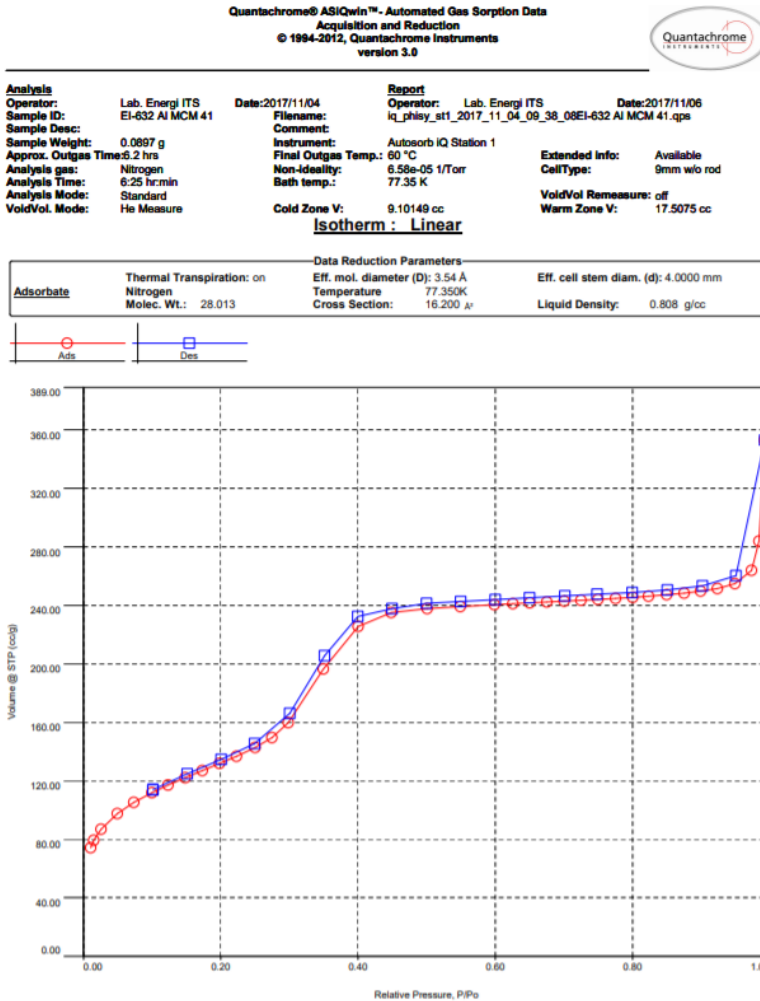


Gambar B.4 Grafik Komposisi Unsur Pada Katalis Al-MCM-41/Keramik

Tabel B.2 Komposisi Unsur Pada Katalis Al-MCM-41/Keramik

El	An	Series	Unn. C [wt.%]	Norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
O	8	K-series	66,80	66,80	68,90	21,4
Si	14	K-series	17,29	17,29	10,16	0,7
C	6	K-series	14,71	14,71	20,21	5,5
Al	13	K-series	1,19	1,19	0,73	0,1
N	7	K-series	0,00	0,00	0,00	0,0

## B.1.3 Hasil Karakterisasi Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen



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



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



**Analysis**  
Operator: Lab. Energi ITS  
Sample ID: FI-632 Al MCM 41  
Sample Desc:  
Sample Weight: 0.0897 g  
Approx. Outgas Time: 5.2 hrs  
Analysis gas: Nitrogen  
Analysis Time: 6:25 hr:min  
Analysis Mode: Standard  
Void/Vol. Mode: He Measure

**Report**  
Operator: Lab. Energi ITS  
File Name: h\_phisy\_srl\_2017\_11\_04\_06\_38\_08FL-632 Al MCM 41 gqs  
Comment:  
Instrument: Autosorb IQ Station 1  
Final Outgas Temp.: 60 °C  
Non-Ideality: 6.58e-05 1/Torr  
Bath temp.: 77.35 K

Date: 2017/11/04  
Date: 2017/11/06

Extended Info: Available  
Cell Type: 9mm w/o rod  
Void/Vol Remeasure: off  
Warm Zone V: 17.5075 cc

Cold Zone V: 9.10149 cc

**Multi-Point BET**

**Data Reduction Parameters Data**

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

**Multi-Point BET Data**

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W((Po/P) - 1)]	Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W((Po/P) - 1)]
4.93907e-02	97.5120	4.2633e-01	1.9836e-01	131.7496	1.5028e+00
7.34984e-02	105.1263	6.0377e-01	2.2306e-01	136.6551	1.6810e+00
9.59403e-02	111.8222	7.9451e-01	2.5022e-01	142.7277	1.8709e+00
1.2333e-01	116.9850	9.6227e-01	2.7462e-01	149.4425	2.0270e+00
1.48231e-01	122.0402	1.1410e+00	2.9846e-01	159.6475	2.1322e+00
1.73345e-01	126.9117	1.3220e+00			

**BET summary**

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

**Total Pore Volume summary**  
**Total Pore Volume**

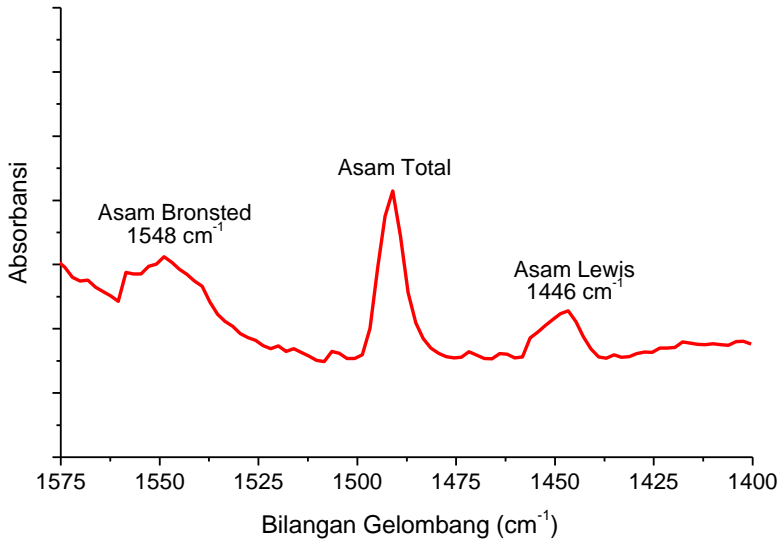
Total pore volume = 5.458e-01 cc/g for pores smaller than 1334.3 Å (Radius) at P/Po = 0.99277

**Average Pore Size summary**

Average pore Radius = 2.22468e+01 Å

Gambar B.6 Data Luas Permukaan, Volume dan Radii Pori Katalis Al-MCM-41/Keramik

### B.1.4 Hasil Karakterisasi Keasaman dengan Piridin-FTIR

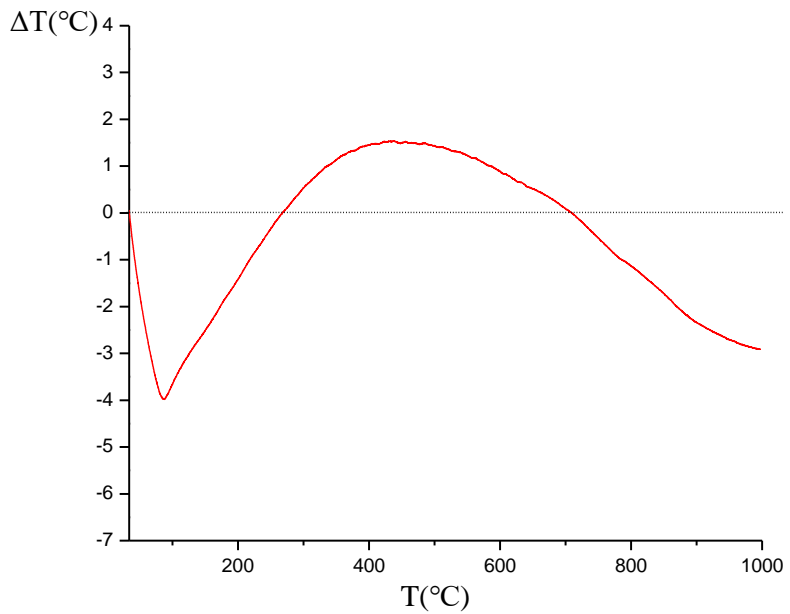


Gambar B.7 Hasil Karakterisasi Piridin-FTIR Katalis Al-MCM-41/Keramik

Tabel B.3 Jumlah Sisi Aktif Asam Katalis Al-MCM-41/Keramik

Jenis Asam	Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )	Jumlah Asam (mmol/g)
Lewis	1431-1460	0,0311
Bronsted	1533-1558	0,0342

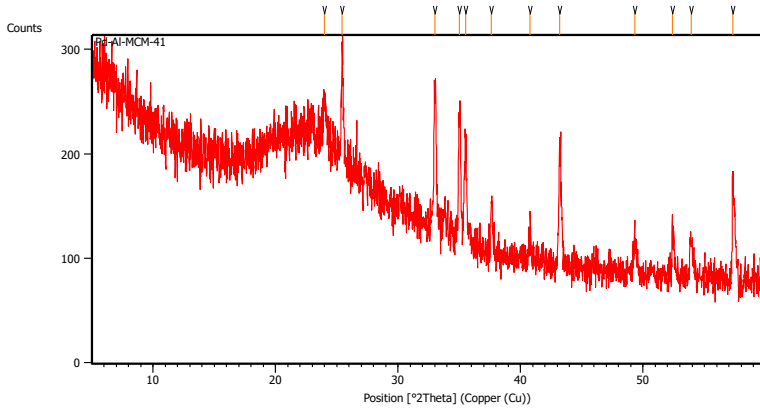
### B.1.5 Hasil Karakterisasi DTA



Gambar B.8 Hasil Karakterisasi DTA Katalis Al-MCM-41/Keramik

## B.2 Karakterisasi Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik

### B.2.1 Hasil Karakterisasi XRD

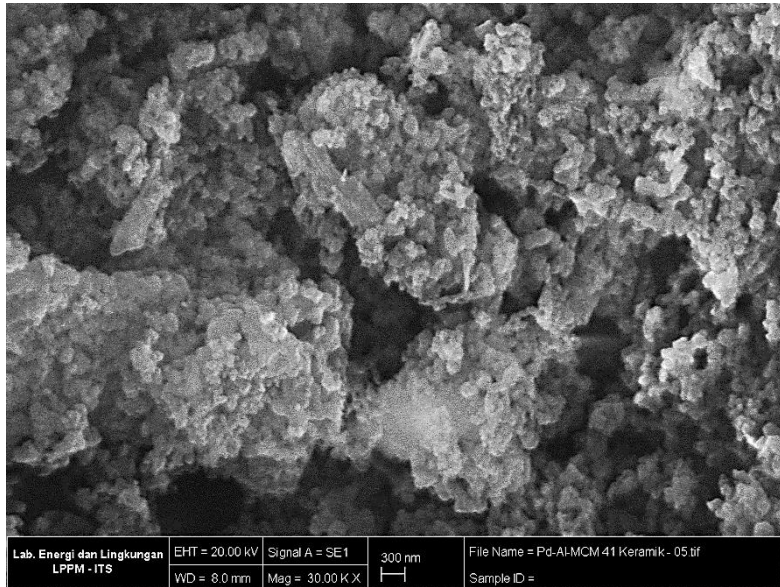


Gambar B.9 Hasil Karakterisasi XRD Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik

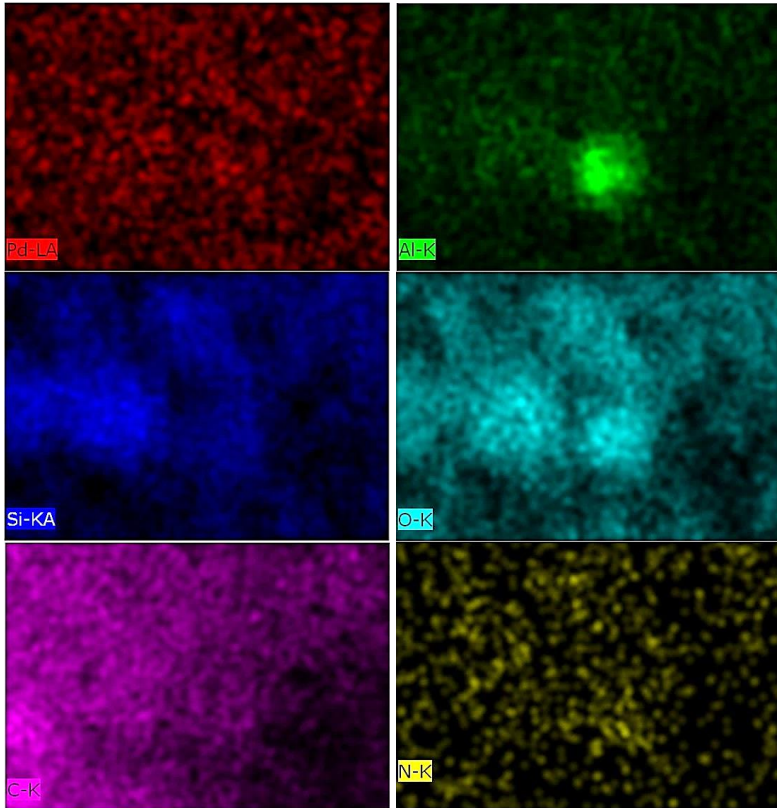
Tabel B.4 Hasil Karakterisasi XRD Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
23.9964	47.74	0.2007	3.70855	36.87
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
37.6282	51.37	0.1004	2.39051	39.67
40.7484	22.55	0.2007	2.21438	17.41
43.2004	120.50	0.2342	2.09421	93.05
49.3403	33.91	0.2676	1.84703	26.19
52.3888	51.53	0.1673	1.74650	39.79
53.9179	35.74	0.2007	1.70053	27.60
57.3251	102.80	0.0816	1.60596	79.38

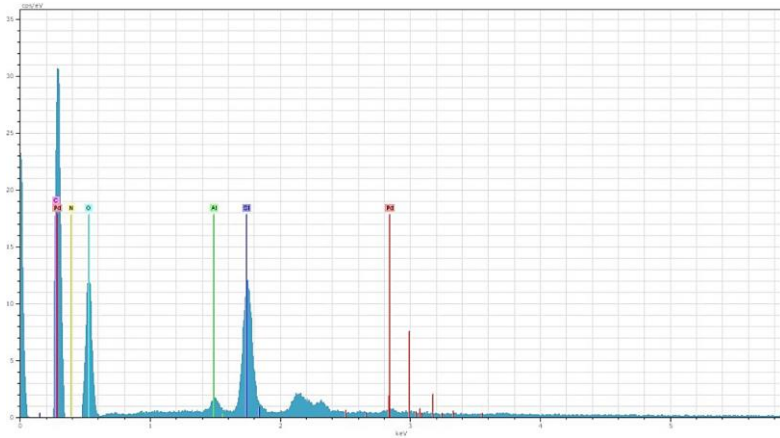
## B.2.2 Hasil Karakterisasi SEM EDX



Gambar B.10 Hasil Karakterisasi SEM Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik



Gambar B.11 Hasil Karakterisasi EDX Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik

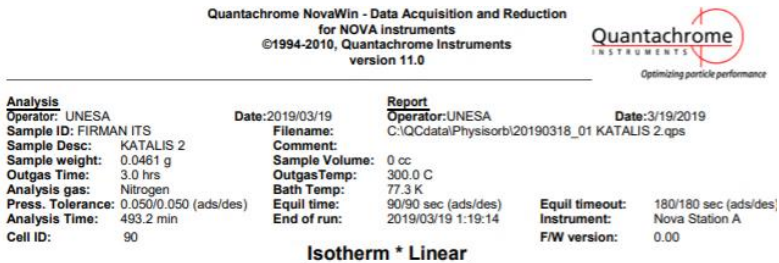


Gambar B.12 Grafik Komposisi Unsur Pada Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik

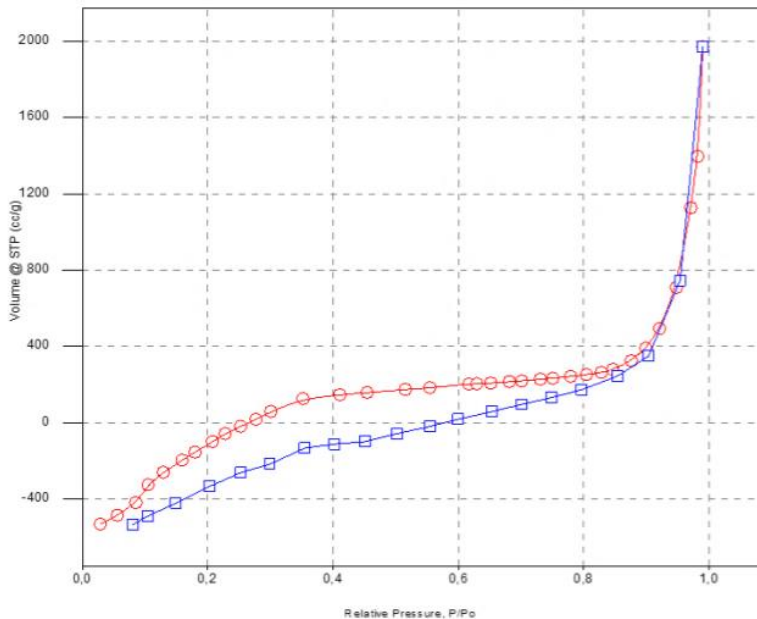
Tabel B.5 Komposisi Unsur Pada Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik

El	An	Series	Unn. C [wt.%]	Norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error [%]
O	8	K-series	66,80	66,80	68,90	21,4
Si	14	K-series	17,29	17,29	10,16	0,7
C	6	K-series	14,71	14,71	20,21	5,5
Pd	46	K-series	0,92	0,92	0,14	0,1
Al	13	K-series	1,19	1,19	0,73	0,1
N	7	K-series	0,00	0,00	0,00	0,0

## B.2.3 Hasil Karakterisasi Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen

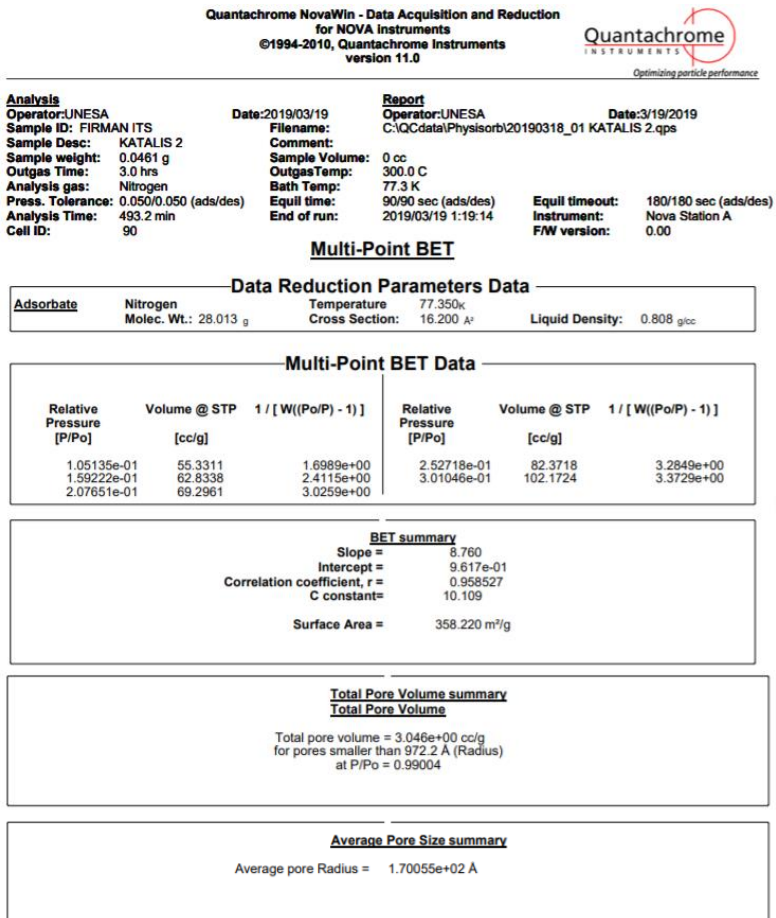


Data Reduction Parameters			
<b>Adsorbate</b>	Nitrogen	Temperature	77.350k
	Molec. Wt.: 28.013 g	Cross Section:	16.200 Å <sup>2</sup>
		Liquid Density:	0.808 g/cc



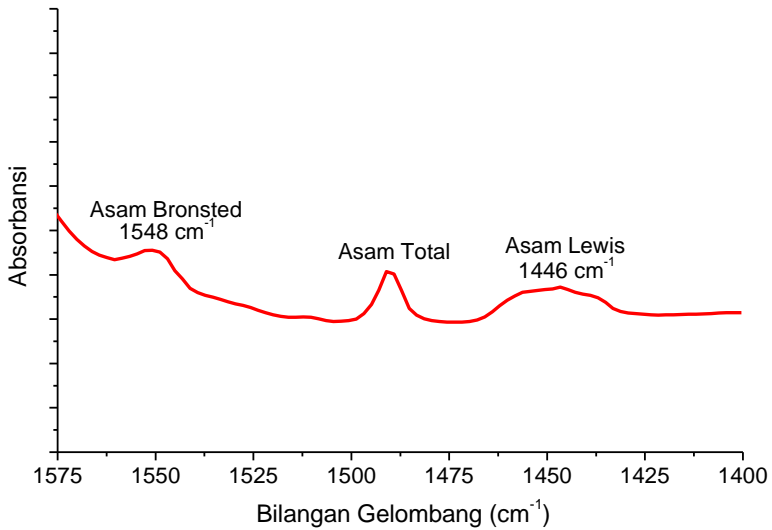
Gambar B.13 Hasil Karakterisasi Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik





Gambar B.14 Data Luas Permukaan, Volume dan Radii Pori Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik

### B.2.4 Hasil Karakterisasi Keasaman dengan Piridin-FTIR

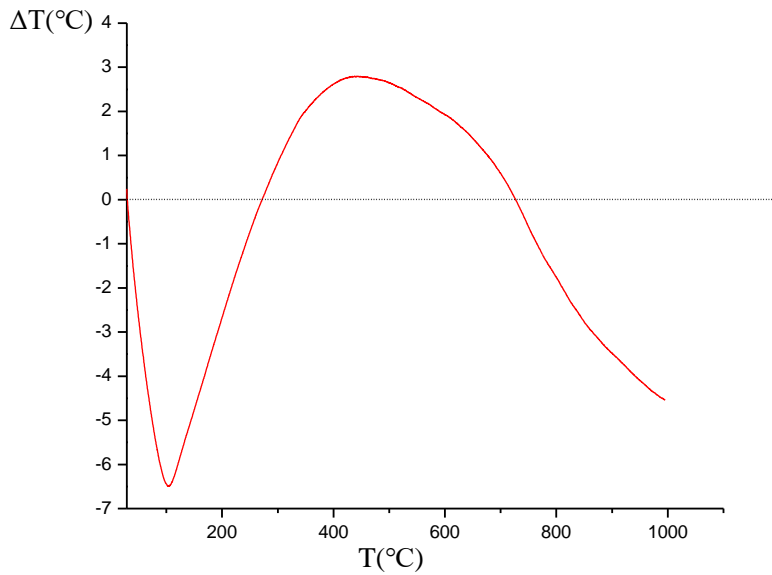


Gambar B.15 Hasil Karakterisasi Piridin-FTIR Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik

Tabel B.6 Jumlah Sisi Aktif Asam Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik

Jenis Asam	Bilangan Gelombang (cm <sup>-1</sup> )	Jumlah Asam (mmol/g)
Lewis	1435-1458	0,0154
Bronsted	1531-1556	0,0018

### B.2.5 Hasil Karakterisasi DTA



Gambar B.16 Hasil Karakterisasi DTA Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik

## LAMPIRAN C

### C.1 Hasil Karakterisasi Bahan Bakar Cair

#### C.1.1 Hasil Perengkahan Bahan Bakar Cair

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

$$\begin{aligned} Yield &= \frac{\text{Volume BBC}}{\text{Volume Feedstock}} \times 100\% && \text{(C.1)} \\ &= \frac{646 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} \times 100\% = 64,6\% \end{aligned}$$

Perhitungan diatas merupakan perhitungan persentase *yield* untuk bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan katalitik dengan Katalis Al-MCM-41/keramik. Untuk menghitung prosentase *yield* kokas dan *yield* hasil perengkahan katalitik dengan katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik menggunakan cara yang sama dan hasil perhitungan dapat ditunjukkan pada Tabel C.1.

Tabel C.1 Data Persentase *Yield* Bahan Bakar Cair (BBC) dan Kokas

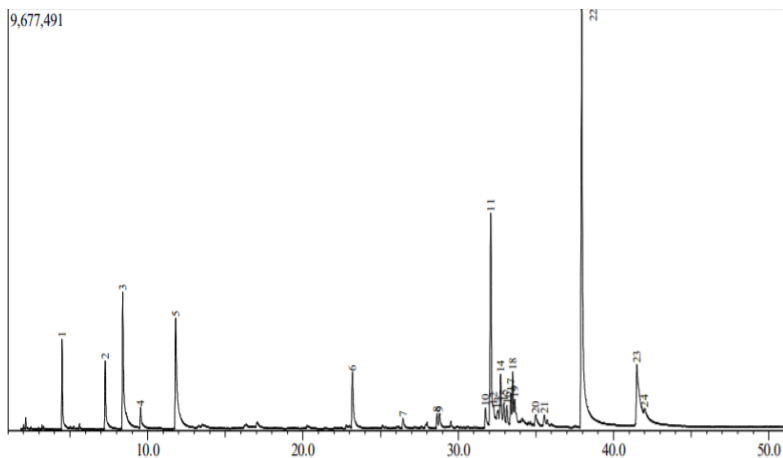
Jenis Katalis	Volume BBC (mL)	Persentase BBC (%)	Volume Kokas (mL)	Persentase Kokas (%)
Al-MCM-41/keramik	646	64,6	234	23,4
Pd/Al-MCM-41/Keramik	893	89,3	21	2,1

## LAMPIRAN D

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

#### D.1.1 Hasil Karakterisasi Bahan Bakar Cair Perengkahan Limbah PS dan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Jelantah dengan Katalis Al-MCM-41/keramik

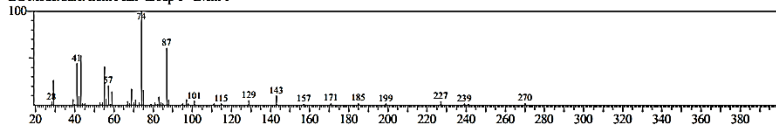
Berdasarkan hasil analisis dengan instrument GCMS-*QP2010S SHIMADZU* diperoleh kromatogram bahan bakar cair hasil perengkahan limbah PS dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah menggunakan katalis Al-MCM-41/keramik dengan waktu perengkahan selama 60 menit yang ditunjukkan pada Gambar D.1 dan selama 120 menit yang ditunjukkan pada Gambar D.3. Spektrum MS bahan bakar cair hasil perengkahan limbah PS dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah menggunakan katalis Al-MCM-41/keramik dengan waktu perengkahan selama 60 menit ditunjukkan pada Gambar D.2 dan selama 120 menit yang ditunjukkan pada Gambar D.4



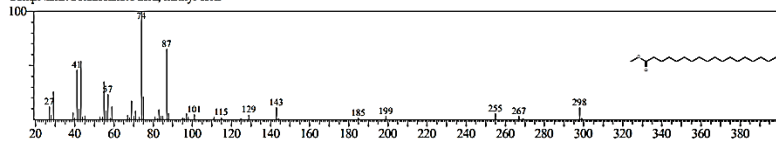
Gambar D.1 Kromatogram Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan Katalitik dengan Katalis Al-MCM-41/keramik 60 menit

&lt;&lt; Target &gt;&gt;

Line#:22 R.Time:37.958(Scan#:4340) MassPeaks:48  
 RawMode:Averaged 37.950-37.967(4339-4341) BasePeak:74.00(1708284)  
 BG Mode:Calc. from Peak Group 1 - Event 1



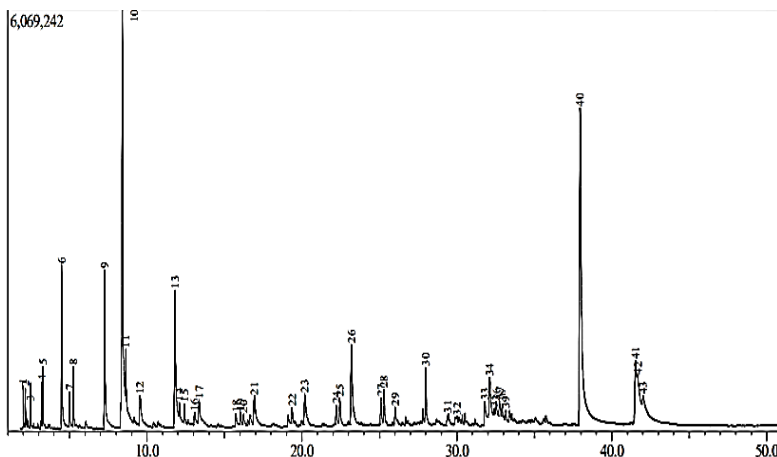
Hit#:1 Entry:10479 Library:NIST12.LIB  
 SE:95 Formula:C19H38O2 CAS:112-61-8 MolWeight:298 RefIndex:0  
 CompName:Octadecanoic acid, methyl ester



Gambar D.2 Spektrum MS Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan Katalitik dengan Katalis Al-MCM-41/keramik

Tabel D.1 Data Luas Area Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan Katalitik dengan Katalis Al-MCM-41/keramik selama 60 Menit

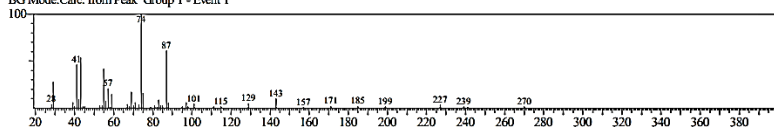
Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	% Area	Fraksi
1	4,488	4,425	4,717	3,25	C7
2	7,267	7,192	7,542	3,18	C8
3	8,401	8,283	8,833	8,33	C8
4	9,547	9,475	9,742	0,96	C9
5	11,803	11,708	12,308	9,21	C9
6	23,118	23,092	23,500	3,66	C11
7	26,441	26,350	26,592	0,59	C13
8	28,632	28,525	28,717	0,69	C13
9	28,791	28,717	28,983	0,89	C14
10	31,751	31,667	31,925	1,30	C12
11	32,096	31,925	32,233	12,52	C15
12	32,275	32,233	32,350	1,14	C11
13	32,562	32,350	32,633	1,88	C16
14	32,727	32,633	32,858	3,46	C16
15	32,945	32,858	33,042	1,28	C17
16	33,133	33,042	33,275	1,03	C16
17	33,391	33,275	33,442	1,41	C17
18	33,507	33,442	33,575	2,30	C15
19	33,638	33,575	33,892	1,81	C10
20	34,971	34,875	35,250	0,90	C16
21	35,544	35,417	35,658	0,72	C16
22	37,959	37,808	38,533	30,02	C19
23	41,507	41,375	41,925	8,05	C19
24	41,999	41,925	42,292	1,40	C19



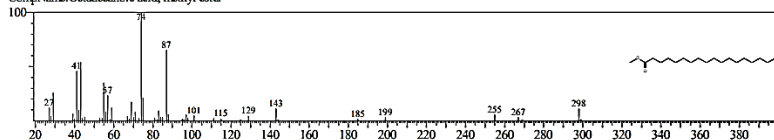
Gambar D.3 Kromatogram Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan Katalitik dengan Katalis Al-MCM-4/keramik 120 menit

<< Target >>

Line#:40 R.Time:37.958(Scan#:4340) MassPeaks:48  
 RawMode:Averaged 37.950-37.967(4339-4341) BasePeak:74.00(786184)  
 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 RetIndex:0  
 CompName:Octadecanoic acid, methyl ester



Gambar D.4 Spektrum MS Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan Katalitik dengan Katalis Al-MCM-4-Keramik

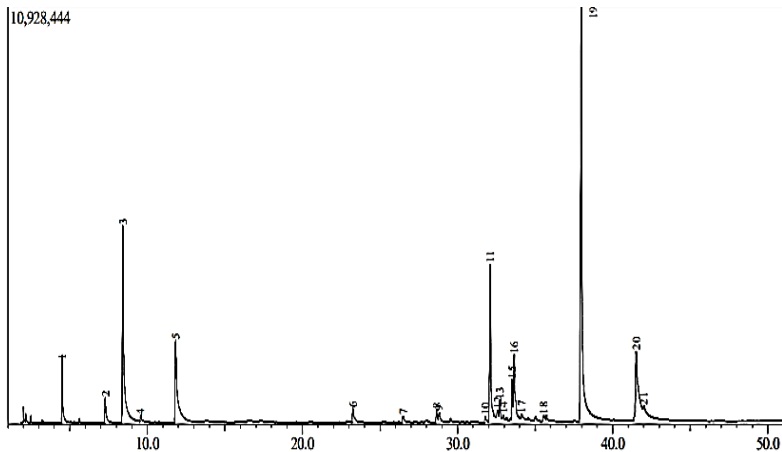
Tabel D.2 Data Luas Area Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan Katalitik dengan Katalis Al-MCM-41/keramik selama 120 Menit

Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	% Area	Fraksi
1	2,009	1,975	2,100	0,67	C3
2	2,148	2,100	2,200	0,61	C5
3	2,450	2,375	2,550	1,04	C6
4	3,186	3,150	3,242	0,68	C7
5	3,282	3,242	3,350	0,89	C7
6	4,487	4,408	4,742	4,32	C7
7	5,000	4,917	5,117	0,84	C8
8	5,236	5,117	5,383	1,40	C8
9	7,265	7,183	7,500	4,92	C8
10	8,410	8,250	8,575	15,26	C8
11	8,628	8,575	8,800	2,40	C9
12	9,551	9,475	9,758	1,49	C9
13	11,797	11,717	12,025	6,45	C9
14	12,090	12,025	12,258	1,18	C11
15	12,408	12,258	12,558	0,80	C12
16	13,067	12,975	13,217	0,55	C8
17	13,365	13,217	13,525	0,90	C8
18	15,743	15,667	15,850	0,53	C11
19	16,021	15,850	16,142	0,64	C12
20	16,218	16,142	16,383	0,53	C11
21	16,921	16,850	17,167	1,53	C9
22	19,363	19,192	19,492	0,67	C12
23	20,177	20,108	20,508	1,98	C10
24	22,212	22,125	22,350	0,73	C12
25	22,441	22,350	22,592	0,91	C12
26	23,192	23,092	23,517	4,37	C11
27	25,095	25,008	25,225	0,99	C14
28	25,303	25,225	25,450	1,13	C12
29	26,016	25,933	26,133	0,60	C13
30	27,994	27,908	28,200	1,96	C12
31	29,436	29,283	29,592	0,60	C14
32	29,998	29,817	30,100	0,64	C12
33	31,806	31,700	31,950	1,40	C12
34	32,122	31,950	32,342	3,61	C15
35	32,403	32,342	32,467	0,72	C17
36	32,537	32,467	32,675	1,36	C17
37	32,765	32,675	32,875	1,24	C16
38	32,926	32,825	33,075	0,91	C13
39	33,156	33,075	33,292	0,58	C16
40	37,959	37,825	38,375	18,86	C19
41	41,527	41,400	41,617	3,39	C19
42	41,675	41,617	41,933	3,93	C19
43	42,010	41,933	42,308	1,80	C19



### D.1.2 Hasil Karakterisasi Bahan Bakar Cair Perengkahan Limbah PS dan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Jelantah dengan Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik

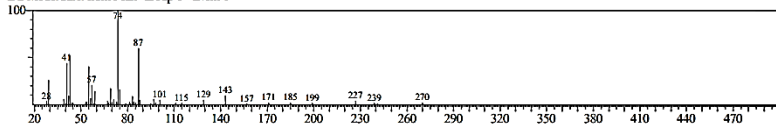
Berdasarkan hasil analisis dengan instrument GCMS-*QP2010S SHIMADZU* diperoleh kromatogram bahan bakar cair hasil perengkahan limbah PS dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah menggunakan katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik dengan waktu perengkahan selama 60 menit yang ditunjukkan pada Gambar D.5 dan selama 120 menit yang ditunjukkan pada Gambar D.7. Spektrum MS bahan bakar cair hasil perengkahan limbah PS dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah menggunakan katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik dengan waktu perengkahan selama 60 menit ditunjukkan pada Gambar D.6 dan selama 120 menit yang ditunjukkan pada Gambar D.8



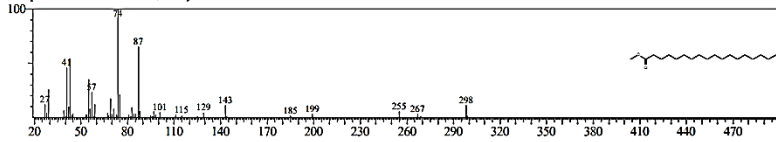
Gambar D.5 Kromatogram Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan Katalitik dengan Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik 60 menit

&lt;&lt; Target &gt;&gt;

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



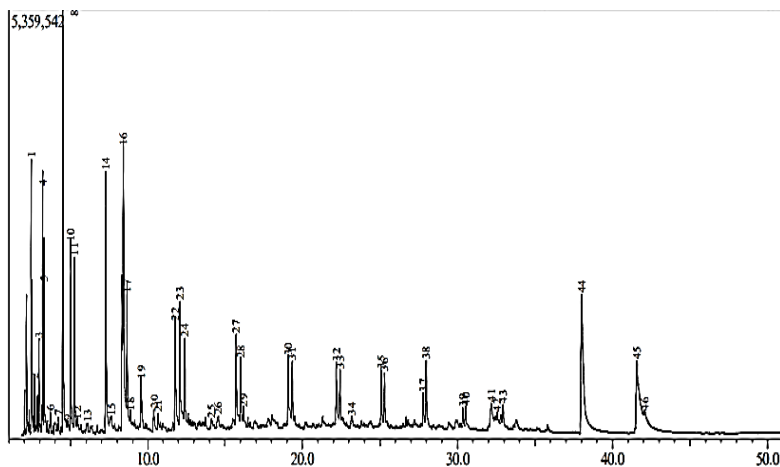
Hit#:1 Entry:10479 Library:NIST12.LIB  
 SI:95 Formula:C19H38O2 CAS:112-61-8 MolWeight:298 RetIndex:0  
 CompName:Octadecanoic acid, methyl ester



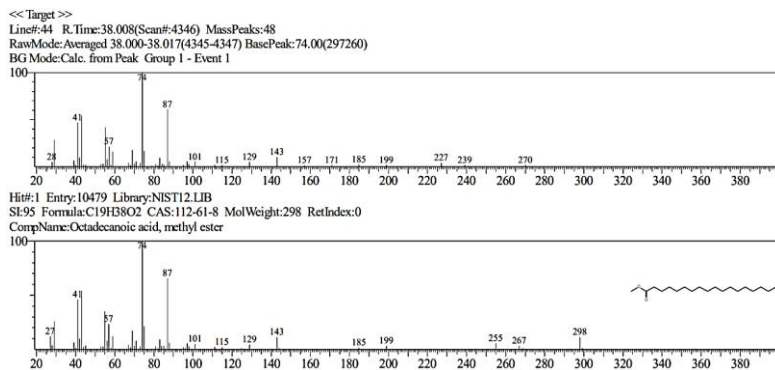
Gambar D.6 Spektrum MS Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan Katalitik dengan Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik

Tabel D.3 Data Luas Area Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan Katalitik dengan Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik selama 60 Menit

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



Gambar D.7 Kromatogram Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan Katalitik dengan Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik 120 menit



Gambar D.8 Spektrum MS Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan Katalitik dengan Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik

Tabel D.4 Data Luas Area Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan Katalitik dengan Katalis Pd/Al-MCM-41/Keramik selama 120 Menit

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

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Firman Satria Pamungkas yang dilahirkan di Surabaya pada tanggal 24 April 1997. Penulis merupakan anak ketiga dari empat bersaudara. Penulis pernah menempuh Pendidikan di SD Al-Muslim Sidoarjo, SMP Al-Muslim Sidoarjo, dan SMAN 1 Waru. Penulis melanjutkan Pendidikan di perguruan tinggi S1 di Departemen Kimia Fakultas Sains (FSAINS) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) melalui jalur SNMPTN pada tahun 2015 dan terdaftar sebagai mahasiswa Kimia

ITS dengan NRP 01211540000034. Penulis pernah melakukan kerja praktik di PT. SUCOFINDO (PERSERO) Laboratorium – Surabaya pada bidang laboratorium lingkungan. Penulis menyelesaikan pendidikannya di Jurusan Kimia FSAINS ITS dengan mengambil skripsi yang berjudul “Pengaruh Perbedaan Katalis Terhadap Pembentukan Fraksi Hidrokarbon Hasil Perengkahan Campuran Limbah Polistiren (PS) dengan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Jelantah”, yang dibimbing oleh Dr. Hendro Juwono, M.Si. Penulis dapat diajak berdiskusi mengenai skripsi maupun topik lain dan dapat dihubungi melalui email [firman24041997@gmail.com](mailto:firman24041997@gmail.com)