

**KONVERSI BIOETANOL KULIT NANAS MENJADI  
SENYAWA HIDROKARBON MENGGUNAKAN KATALIS  
Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/KARBON AKTIF**

**SKRIPSI**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai  
gelar Sarjana Sains (S.Si.) Program Studi Kimia  
pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta**



**Diajukan oleh :**

**DESCA ANANDA PUTRI RAHMADHANI**

**No. Mhs : 19612102**

**PROGRAM STUDI KIMIA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**YOGYAKARTA**

**2022**

KONVERSI BIOETANOL KULIT NANAS MENJADI  
SENYAWA HIDROKARBON MENGGUNAKAN KATALIS

$\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /KARBON AKTIF

SKRIPSI

yang diajukan oleh :

DESCA ANANDA PUTRI RAHMADHANI

NIM. 19612102

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Penguji Skripsi  
Prodi Ilmu Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Islam Indonesia

Tanggal 03 April 2023

Dewan Penguji

1. Prof. Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D.
2. Dr. Maisari Utami, S.Si.
3. Febi Indah Fajarwati, M.Sc.

Tanda Tangan

Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Islam Indonesia



Prof. Riyanto, S.Pd, M.Si., Ph.D.



## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Desca Ananda Putri Rahmadhani  
NIM : 19612102  
Studi : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul "**KONVERSI BIOETANOL KULIT NANAS MENJADI SENYAWA HIDROKARBON MENGGUNAKAN KATALIS  $Fe_3O_4$ -ZnO/KARBON AKTIF**" bersifat asli dan tidak berisi material yang telah diterbitkan sebelumnya kecuali referensi yang telah disebutkan di dalam skripsi ini. Apabila terdapat kontribusi dari penulis lain, maka penulis tersebut secara eksplisit telah disebutkan dalam skripsi ini.

Apabila dikemudian hari terdapat kekeliruan dan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia dituntut dan diproses berdasarkan dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan penuh tanggung jawab.

Yogyakarta, 6 April 2023



Desca Ananda Putri Rahmadhani

NIM: 19612102

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil a'lamiin segala puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah serta inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“KONVERSI BIOETANOL KULIT NANAS MENJADI SENYAWA HIDROKARBON MENGGUNAKAN KATALIS  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /KARBON AKTIF”**. Skripsi ini diajukan dalam rangka untuk memenuhi salah satu syarat akademis yang harus ditempuh untuk mendapatkan gelar Sarjana Sains pada Program Studi Ilmu Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan membimbing dalam penyusunan skripsi ini. Oleh karena itu, ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada :

1. Allah SWT karena atas petunjuk, rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis diberi kemudahan untuk menyelesaikan proposal skripsi ini dengan tepat waktu.
2. Prof. Riyanto, S.Pd., M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
3. Gani Purwiandono, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Prodi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
4. Prof. Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan serta berbagai masukan dan saran dalam penyusunan proposal skripsi.
5. Dosen-dosen Program Studi Kimia yang telah memberikan ilmu.
6. Kedua orang tua yang telah memberikan semua pengorbanan, kasih sayang, dukungan dan juga selalu mendoakan sehingga penulis bisa kuliah di Universitas Islam Indonesia Program Studi Ilmu Kimia dan menyelesaikan proposal skripsi dengan tepat waktu.



7. Kedua adik tercinta (Dwi dan Ziddan) yang selalu memberikan semangat dan menghibur untuk tidak menyerah dalam menjalani kuliah dan menyelesaikan proposal skripsi ini.
8. Meita, Ayu, Fressy, Bila, Nunung, Alya dan Dinda selaku teman dekat yang selalu memberikan dukungan dan dorongan dalam menyelesaikan skripsi ini.
9. Ulfia Isnaeni selaku rekan kelompok yang telah membantu dalam penyelesaian penelitian dari awal hingga akhir dan membantu menyelesaikan penulisan skripsi ini serta saling memberikan dukungan satu sama lain selama penelitian.
10. Keluarga, saudara, teman-teman dan semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan dukungan dan membantu dalam proses penulisan proposal skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini karena terbatasnya pengetahuan dan kemampuan penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan skripsi ini sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dan kesalahan karena kesempurnaan hanyalah milik Allah SWT. Semoga skripsi ini dapat membantu dan bermanfaat khususnya bagi penulis dan para pembaca.

Yogyakarta, 21 Maret 2023

Penulis,

Desca Ananda Putri Rahmadhani

**KONVERSI BIOETANOL KULIT NANAS MENJADI  
SENYAWA HIDROKARBON MENGGUNAKAN KATALIS  
Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/KARBON AKTIF**

**DESCA ANANDA PUTRI RAHMADHANI**

**NIM : 19612102**

**INTISARI**

Limbah kulit nanas memiliki kandungan karbohidrat dan glukosa yang tinggi. Pada penelitian ini limbah kulit nanas disintesis menjadi bioetanol melalui proses fermentasi selama 8 hari dengan penambahan ragi. Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO disintesis dengan proses kopresipitasi dan karbon aktif disintesis dengan proses aktivasi menggunakan KOH 30% dan dipirolisis pada suhu 600 °C. Logam Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO diembankan pada karbon aktif sebagai material penyangga menjadi komposit yang digunakan sebagai katalis dalam konversi bioetanol. Komposit di karakterisasi dengan *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*, *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Gas Sorption Analyzer (GSA)*, *Scanning Electron Microscope (SEM)* dan *Energi Dispersive X-Ray (EDX) Mapping*, *Vibrating Sample Magnetometry (VSM)* dan *Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)*. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa komposit memiliki ikatan logam oksida Fe-O dan ZnO yang menandakan bahwa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan ZnO berhasil diembankan pada karbon aktif. Komposit memiliki struktur semi kristal dengan nilai rata-rata ukuran kristal 96,448 nm dan luas permukaan total 1,514 m<sup>2</sup>/g. Citra SEM menunjukkan persebaran pori yang tak beraturan dan berbentuk bongkahan batang, dengan komposisi oksigen 52,84%, karbon 17,04%, seng 0,78% dan besi 0,26%. Komposit bersifat superparamagnetik dengan magnetik sebesar 12,49 emu/g. Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif telah berhasil mengkonversi bioetanol kulit nanas melalui reaksi dehidrasi menghasilkan senyawa hidrokarbon.

**Kata kunci :** limbah kulit nanas, karbon aktif, komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif, katalis, konversi bioetanol

# **CONVERSION OF BIOETHANOL PINEAPPLE PEEL TO HYDROCARBON COMPOUNDS USING Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>- ZnO/ACTIVATED CARBON CATALYST**

**DESCA ANANDA PUTRI RAHMADHANI**

**NIM : 19612102**

## **ABSTRACT**

Pineapple peel waste has a high carbohydrate and glucose content. In this research, pineapple peel waste was synthesized into bioethanol through a fermentation process for 8 days with the addition of yeast. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO composite was synthesized by coprecipitation process and activated carbon was synthesized by activation process using 30% KOH and pyrolyzed at 600 °C. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO metal is attached to activated carbon as a support material into composites used as catalysts in the conversion of bioethanol. Composites were characterized by Fourier Transform Infra-Red (FTIR), X-Ray Diffraction (XRD), Gas Absorbtion Analyzer (GSA), Scanning Electron Microscope (SEM) and Energy Dispersive X-Ray (EDX) Mapping, Vibrating Sample Magnetometry (VSM) and Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS). The characterization results showed that the composite had Fe-O and ZnO metal oxide bonds which indicated that Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and ZnO were successfully embedded in activated carbon. The composite has a semi-crystalline structure with an average crystal size of 96,448 nm and a total surface area of 1,514 m<sup>2</sup>/g. The SEM image shows an irregular and rod-shaped pore distribution, with a compositions of 52,84% oxygen, 17,04% carbon, 0,78% zinc and 0,26% iron. The composite is superparamagnetic with a magnetic value of 12,49 emu/g. The Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/activated carbon composite has succeeded in converting pineapple peel bioethanol through a dehydration reaction to produce hydrocarbon compounds.

**Keyword :** pineapple peel waste, activated carbon, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/activated carbon composite, catalyst, bioethanol conversion

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
INTISARI.....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1. Bioetanol dari Kulit Nanas .....	5
2.2. Karbon Aktif.....	6
2.3. Komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -ZnO/Karbon Aktif .....	9
2.4. Komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -ZnO/Karbon Aktif sebagai Katalis .....	10
2.5. Konversi Bioetanol.....	11
2.6. Senyawa Hidrokarbon .....	12
2.7. Hipotesis Penelitian .....	13
BAB III.....	14
DASAR TEORI .....	14
3.1. Tanaman Nanas .....	14
3.2. Bioetanol .....	16
3.3. Karbon Aktif.....	17
3.4. Logam Oksida Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> dan ZnO.....	19
3.5. Komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -ZnO/Karbon Aktif .....	21

3.6. Katalis.....	22
3.7. Metode Pirolisis.....	23
3.8. Konversi Bioetanol Menjadi Senyawa Hidrokarbon.....	24
3.9. Senyawa Hidrokarbon .....	26
3.10. <i>Fourier Transform Infra-Red (FTIR)</i> .....	27
3.11. <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i> .....	29
3.12. <i>Gas Sorption Analyzer (GSA)</i> .....	31
3.13. <i>Scanning Electron Microscope (SEM) dan Energi Dispersive X-Ray (EDX) Mapping</i> .....	33
3.14. <i>Vibrating Sample Magnetometry (VSM)</i> .....	34
3.15. <i>Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)</i> .....	35
BAB IV.....	37
METODOLOGI PENELITIAN.....	37
4.1. Alat.....	37
4.2. Bahan.....	37
4.3. Cara Kerja Penelitian.....	37
4.3.1. Pembuatan Bioetanol dari Kulit Nanas.....	37
4.3.2. Proses Aktivasi Karbon Aktif.....	38
4.3.3. Pembuatan Komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -ZnO/Karbon aktif.....	38
4.3.4. Konversi Bioetanol dengan Gas Nitrogen (N <sub>2</sub> ) .....	39
4.3.5. Konversi Bioetanol dengan Gas Hidrogen (H <sub>2</sub> ) dengan Variasi Metode, Waktu, Massa Sampel Dan Suhu.....	39
BAB V.....	41
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
5.1. Bioetanol dari Kulit Nanas .....	41
5.2. Aktivasi Karbon Aktif.....	43
5.3. Sintesis Komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -ZnO/Karbon Aktif.....	44
5.4. Karakterisasi Menggunakan FTIR .....	45
5.5. Karakterisasi Menggunakan XRD.....	47
5.6. Karakterisasi Menggunakan GSA .....	49
5.7. Karakterisasi Menggunakan SEM-EDX Mapping.....	51
5.8. Karakterisasi Menggunakan VSM .....	54
5.9. Aplikasi Komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -ZnO/Karbon Aktif pada Konversi Bioetanol ...	55



BAB VI.....	80
KESIMPULAN DAN SARAN.....	80
6.1. Kesimpulan.....	80
6.2. Saran.....	80
DAFTAR PUSTAKA .....	82
LAMPIRAN.....	92

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Limbah Kulit Nanas .....	14
Gambar 2. Struktur Selulosa .....	16
Gambar 3. Struktur Molekul Etanol.....	17
Gambar 4. Struktur Karbon Aktif .....	18
Gambar 5. Struktur Besi (III) Oksida ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) .....	20
Gambar 6. Struktur Seng Oksida ( $\text{ZnO}$ ) .....	21
Gambar 7. Mekanisme Konversi Etanol Menjadi Etilen .....	25
Gambar 8. (a) Struktur n-heksana dan (b) Benzena.....	26
Gambar 9. (a) Struktur pentana dan (b) Sikloheksana .....	27
Gambar 10. Skema Alat FTIR .....	28
Gambar 11. Skema Alat XRD.....	29
Gambar 12. Kurva Adsorpsi Isoterm .....	32
Gambar 13. Skema Alat SEM.....	33
Gambar 14. Skema Alat VSM .....	35
Gambar 15. Skema Alat GC-MS .....	36
Gambar 16. Rangkaian Proses Konversi Bioetanol Dengan Labu Leher 3 .....	39
Gambar 17. Rangkaian Proses Konversi Bioetanol Dengan Reaktor.....	40
Gambar 18. Bioetanol Kulit Nanas .....	42
Gambar 19. Serapan Gugus Fungsi pada (a) Karbon Aktif dan (b) Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon Aktif.....	46
Gambar 20. Hasil Difraktogram Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon Aktif .....	48
Gambar 21. Hasil Kurva Isoterm Adsorpsi Desorpsi Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon Aktif.....	49
Gambar 22. Kurva BET Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon Aktif .....	50
Gambar 23. (a) Morfologi Permukaan Dari Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon Aktif (b) Spektrum EDX Dari Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon Aktif .....	51
Gambar 24. Sebaran Unsur Pada Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon Aktif.....	52
Gambar 25. Hasil Analisis VSM $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon Aktif.....	54
Gambar 26. Mekanisme Reaksi Dehidrasi Etanol .....	56
Gambar 27. Mekanisme Reaksi Dehidrogenasi Etanol.....	56

Gambar 28. Mekanisme Reaksi Etanol Menjadi Senyawa 2-Butanol .....	57
Gambar 29. Kurva Konversi Bioetanol Dengan Gas Nitrogen Pada Variasi Suhu 120 °C, 140 °C, dan 160 °C .....	57
Gambar 30. Kurva Konversi Bioetanol Dengan Gas Hidrogen Pada Variasi Massa 1,5 gram Suhu 105 °C .....	61
Gambar 31. Kurva Konversi Bioetanol Dengan Gas Hidrogen Pada Variasi Massa 3 gram Suhu 105 °C .....	63
Gambar 32. Kurva Konversi Bioetanol Dengan Gas Hidrogen Pada Variasi Massa 4,5 gram Suhu 105 °C .....	66
Gambar 33. Kurva Konversi Bioetanol Kulit Nanas Dengan Metode Kedua Pada Suhu 85 °C.....	69
Gambar 34. Kurva Konversi Bioetanol Dengan Gas Hidrogen Pada Variasi Massa 1,5 gram Suhu 75 °C, 90 °C, dan 105 °C.....	71
Gambar 35. Kurva Konversi Bioetanol Dengan Gas Hidrogen Pada Variasi Massa 3 gram Suhu 75 °C, 90 °C, dan 105 °C.....	74

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Tanaman Nanas .....	15
Tabel 2. Persebaran Senyawa Pada Hasil Evaporasi Bioetanol Kulit Nanas.....	42
Tabel 3. Gugus Fungsi Karbon Aktif dan Komposit .....	46
Tabel 4. Spektrum EDX Komposisi Unsur Komposit Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -ZnO/Karbon Aktif	52
Tabel 5. Persebaran Senyawa Pada Konversi Bioetanol dengan Gas Nitrogen....	58
Tabel 6. Persebaran Senyawa Pada Konversi Bioetanol dengan Gas Hidrogen Variasi Massa 1,5 gram Suhu 105 °C.....	61
Tabel 7. Persebaran Senyawa Pada Konversi Bioetanol dengan Gas Hidrogen Variasi Massa 3 gram Suhu 105 °C.....	64
Tabel 8. Persebaran Senyawa Pada Konversi Bioetanol dengan Gas Hidrogen Variasi Massa 4,5 gram Suhu 105 °C.....	66
Tabel 9. Persebaran Senyawa Pada Konversi Bioetanol Kulit Nanas dengan Metode Kedua Pada Suhu 85 °C .....	69
Tabel 10. Persebaran Senyawa Pada Konversi Bioetanol Variasi Massa 1,5 gram Pada Suhu 75 °C, 90 °C, dan 105 °C .....	71
Tabel 11. Persebaran Senyawa Pada Konversi Bioetanol Variasi Massa 3 gram Pada Suhu 75 °C, 90 °C, dan 105 °C .....	74

## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Sumber daya energi konvensional bahan bakar fosil seperti minyak ataupun gas bumi serta batubara yang merupakan salah satu sumber energi yang tidak terbarukan yang memiliki permasalahan seperti peningkatan harga secara global. Perihal tersebut menjadikan terjadinya krisis energi yang disebabkan oleh beberapa aspek sehingga untuk mengurangi adanya krisis energi tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan sumber-sumber energi lainnya yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif (Rini *et al.*, 2020). Energi baru terbarukan (EBT) yang digunakan sebagai pengganti minyak bumi adalah energi alternatif yang dapat dipulihkan kembali secara alami dengan proses yang berkelanjutan yang disebut dengan *biofuel* salah satu contohnya adalah bioetanol. Bioetanol merupakan etanol yang dapat dibuat dari biomassa yang mengandung komponen pati atau karbohidrat (Kurniati *et al.*, 2021).

Bioetanol merupakan produk yang dihasilkan dari bahan baku hayati dan biomassa. Salah satu bahan baku hayati yang dapat digunakan untuk pembuatan etanol adalah limbah dari kulit nanas. Buah nanas (*Ananas comosus*) adalah salah satu jenis buah yang tersebar luas di Indonesia dengan penyebaran yang menyeluruh. Limbah kulit nanas umumnya hanya dimanfaatkan sebagai pakan ternak, namun untuk meningkatkan nilai ekonomis limbah kulit nanas juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan etanol dengan metode fermentasi dengan penambahan ragi atau *yeast* dan pemurnian dengan cara destilasi (Susanti, 2013).

Karbon aktif merupakan bahan penyerap yang baik karena karbon aktif memiliki pori yang sangat banyak sehingga mempunyai luas permukaan yang tinggi. Selain itu karbon aktif juga mempunyai nilai laju kinetika adsorpsi yang sangat cepat. Luas permukaan karbon aktif berkisar antara 300 m<sup>2</sup>/g hingga 2000 m<sup>2</sup>/g. Karbon aktif biasanya mudah didapat karena bisa dibuat dari berbagai macam



bahan atau limbah pertanian yang mengandung karbon seperti tempurung kelapa, biji kopi, kulit buah-buahan, serbuk gergaji, batubara, dan tulang (Kurniati *et al.*, 2021).

Penggunaan logam besi (Fe) dan seng (Zn) dapat menyebabkan peningkatan kualitas karbon aktif dengan melakukan modifikasi dengan penggunaan logam. Oksida logam yang dapat digunakan sebagai bahan elektroda dengan kapasitas yang besar sehingga dapat meningkatkan densitas energi di antaranya yaitu  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan ZnO. Logam besi banyak digunakan sebagai katalis, bahan elektroda, dan juga sebagai bahan dasar pembuatan magnet. Logam besi pada penelitian ini berasal dari campuran antara  $\text{FeCl}_3$  dan  $\text{FeSO}_4$  (Primmy & Murwani, 2012). Logam seng (Zn) banyak memiliki kemampuan oksidasi yang kuat dan stabilitas yang baik sehingga banyak digunakan sebagai katalis dan dapat diaplikasikan pada bidang nanoteknologi (Ikaningsih *et al.*, 2022). Oksida logam  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan ZnO merupakan semikonduktor yang dapat digunakan sebagai katalis yang bersifat magnetik dan dapat diaplikasikan dalam pembuatan biodiesel dengan kualitas yang tinggi (Jumari & Purwanto, 2013). Paduan logam Fe dan Zn akan membentuk alloy  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ZnO yang akan diaplikasikan pada karbon aktif menghasilkan komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ZnO/karbon aktif.

Komposit merupakan perpaduan antara dua material atau lebih sehingga dapat membentuk material baru yang manfaatnya lebih luas (Syaukani *et al.*, 2021). Material baru yang diperoleh memiliki tujuan yaitu untuk meningkatkan sifat individu bahan seperti stabilitas sifat kimia, fisika, struktur, kekuatan dan sifat mekanisnya (Muhamad Muhajir & Muhammad Alfian Mizar, 2016). Material komposit memiliki keunggulan lebih jika dibandingkan dengan material lainnya yaitu material yang diperoleh merupakan penggabungan dari unsur-unsur yang unggul dari masing-masing unsur pembentuknya (Nagavally, 2016).

Konversi biomassa merupakan suatu proses perubahan biomassa dengan menggunakan perlakuan termokimia dan biokimia untuk menghasilkan energi yang dapat langsung digunakan, gas sintesis dan senyawa kimia lainnya (Suryadri *et al.*, 2022). Konversi alkohol merupakan suatu proses perubahan alkohol menjadi suatu

produk dengan menggunakan katalis sehingga menghasilkan produk baru dengan sifat yang berbeda. Salah satu produk yang dapat dihasilkan yaitu senyawa hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon merupakan senyawa karbon yang hanya terdiri atas atom karbon dan atom hidrogen (Nius, 2021).

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif melalui metode kopresipitasi dan impregnasi dengan mencampurkan logam dan karbon aktif yang berfungsi sebagai penyangga katalis yang telah diaktivasi dengan KOH 30% kemudian dipirolisis pada suhu  $600\text{ }^\circ\text{C}$  selama 3 jam. Karbon aktif di karakterisasi menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) sedangkan komposit di karakterisasi menggunakan instrumen *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Gas Sorption Analyzer* (GSA), *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Energi Dispersive X-Ray* (EDX) *Mapping*, dan *Vibrating Sample Magnetometry* (VSM). Komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif digunakan sebagai katalis dalam proses konversi bioetanol kulit nanas menjadi senyawa hidrokarbon. Hasil dari proses konversi bioetanol diuji menggunakan instrumen *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GC-MS).

## 1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka dapat dirumuskan suatu rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif sebagai katalis dalam konversi bioetanol menjadi senyawa hidrokarbon?
2. Bagaimana karakteristik material  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif yang digunakan sebagai katalis?
3. Bagaimana efektivitas katalis logam  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif dalam konversi bioetanol menjadi senyawa hidrokarbon?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, maka dilakukan penelitian dengan tujuan sebagai berikut :

1. Mengetahui sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif sebagai katalis dalam konversi bioetanol menjadi senyawa hidrokarbon.
2. Mengetahui karakteristik material  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif yang digunakan sebagai katalis.
3. Mengetahui efektivitas katalis logam  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif dalam konversi bioetanol menjadi senyawa hidrokarbon.

#### **1.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini yaitu diperoleh pengetahuan mengenai metode sintesis dan karakteristik material  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif yang digunakan sebagai katalis dalam konversi bioetanol menjadi senyawa hidrokarbon. Selain itu, diperoleh juga manfaat lainnya yaitu pengetahuan mengenai efektivitas katalis logam  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif dalam konversi bioetanol menjadi senyawa hidrokarbon.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Bioetanol dari Kulit Nanas

Kebutuhan terhadap energi semakin bertambah dengan seiring berkembangnya zaman. Untuk saat ini sumber energi terbanyak yang masih digunakan yaitu sumber energi yang berasal dari bahan bakar fosil yang bersifat *unrenewable* atau tidak dapat diperbaharui. Menurut (Indra Darmawan & Wayan Susila, 2013) pada tahun 2002 cadangan minyak bumi, gas bumi dan batu bara sudah semakin menipis apabila tidak ditemukan cadangan sumber energi baru maka diperkirakan akan habis dalam waktu kurang dari 10 tahun untuk minyak bumi, 30 tahun untuk gas bumi dan sekitar 50 tahun untuk batu bara. Oleh karena itu diperlukan sumber energi alternatif yang dapat menggantikan sumber energi fosil. Salah satu energi alternatif yang dapat digunakan untuk menggantikan sumber energi fosil adalah bioetanol. Bioetanol merupakan cairan biokimia yang diperoleh dari proses fermentasi gula dari sumber glukosa serta pati atau karbohidrat dengan bantuan mikroorganisme. Keunggulan dari penggunaan bioetanol yaitu dapat diproduksi secara terus menerus dan ramah lingkungan. Bioetanol selain dapat digunakan sebagai sumber energi juga dapat digunakan sebagai bahan baku untuk industri kimia, kosmetik, farmasi dan juga sebagai bahan bakar (Khaira *et al.*, 2015).

Salah satu bahan baku yang dapat digunakan sebagai bioetanol adalah kulit nanas. Menurut (Noviandi *et al.*, 2018) dalam kulit nanas mengandung 43,54% air, 20,87% serat kasar, 17,53% karbohidrat, 4,41% protein dan 13,65% gula. Kulit nanas merupakan salah satu limbah yang dapat berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol sebagai bahan bakar alternatif karena kandungan serat kasar, karbohidrat dan glukosa yang terkandung dalam kulit nanas cukup tinggi. Kulit nanas merupakan bagian terluar dari buah nanas yang selalu akan menjadi limbah yang terbuang dan berakibat pada lingkungan serta dapat mengganggu karena menimbulkan bau yang kurang sedap (Subagyo, 2019). Penggunaan biomassa sisa seperti kulit nanas untuk produksi bioetanol dapat memberikan keuntungan salah satunya yaitu dapat mengubah bahan limbah tidak

terpakai menjadi produk yang bernilai dan berharga. Kulit nanas mengandung karbohidrat yang dapat terurai menjadi glukosa dan senyawa-senyawa gula tersebut akan difermentasi dengan mikroorganismenya sehingga menghasilkan etanol (Basa, 2020).

Bioetanol diperoleh dari gula yang merupakan hasil dari fermentasi sel khamir. Khamir yang baik untuk digunakan adalah dari genus *Saccharomyces* untuk menghasilkan bioetanol. Menurut (Wahyuni *et al.*, 2015) pembuatan bioetanol dari limbah kulit nanas dilakukan melalui beberapa tahap yaitu persiapan bahan dengan mencuci limbah kulit nanas yang diperoleh dan selanjutnya dihaluskan dengan *blender* kemudian dilakukan proses fermentasi dengan menggunakan ragi (*yeast*) yang mengandung *Saccharomyces cereviceae* selama 10 hari. Setelah itu, limbah kulit nanas diperas dan dilanjutkan dengan proses destilasi pada suhu 70-90 °C yang akan menghasilkan bioetanol.

## 2.2. Karbon Aktif

Karbon aktif adalah senyawa karbon dengan rumus kimia C dan bersifat amorf. Karbon aktif dapat diperoleh dari bahan-bahan yang banyak mengandung karbon. Menurut (Erlina *et al.*, 2015) pemanfaatan tempurung kelapa antara lain sebagai bahan baku dari karbon aktif. Jika dibandingkan dengan karbon yang berasal dari bahan alami lainnya seperti batang jagung, sekam padi dan tempurung buah coklat tempurung kelapa memiliki persentase karbon yang lebih tinggi yaitu 82,92% yang menjadikannya sebagai sumber karbon aktif yang potensial. Luas permukaan karbon aktif adalah berkisar antara 300-2000 m<sup>2</sup>/gram. Karbon aktif adalah padatan berpori yang terbuat dari bahan yang kaya karbon dan diperlakukan secara khusus untuk menghasilkan permukaan yang lebih besar (Hydhayat & Surabaya, 2022).

Karbon aktif merupakan senyawa karbon yang telah diproses dengan perlakuan khusus sehingga senyawa tersebut mempunyai pori serta luas permukaan yang besar. Salah satu perlakuan khusus yang dilakukan pada proses pembuatan karbon aktif yaitu dilakukan aktivasi karbon aktif secara fisika dan kimia. Menurut (Yuliusman, 2015) karbon aktif adalah senyawa karbon yang telah ditingkatkan daya serapnya melalui proses karbonisasi dan aktivasi. Karbonisasi adalah proses



pemanasan pada suhu tertentu dengan jumlah oksigen yang terbatas. Sedangkan aktivasi adalah proses yang dilakukan terhadap karbon yang bertujuan untuk membuka pori-pori dengan memutus ikatan hidrokarbon atau molekul pengoksidasi pada permukaan sehingga semakin menambah luas permukaan karbon (Hydhayat & Surabaya, 2022).

Aktivasi kimia dilakukan dengan cara merendam karbon ke dalam zat aktivator yaitu senyawa atau zat kimia yang berperan sebagai zat pengaktif dan dapat mengaktifkan atom karbon sehingga daya serap karbon akan meningkat. Zat aktivator yang sering digunakan yaitu antara lain  $ZnCl_2$ , KOH,  $H_2SO_4$ ,  $H_3PO_4$ . Salah satu zat aktivator yang sering dijadikan sebagai zat pengaktivasi adalah KOH (Hydhayat & Surabaya, 2022). Menurut penelitian (Erlina *et al.*, 2015) proses aktivasi yang dilakukan dengan menggunakan larutan kalium hidroksida (KOH) dapat menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan  $3000 \text{ m}^2/\text{g}$ . Berdasarkan hasil penelitian tersebut KOH dapat dikategorikan sebagai larutan aktivator yang baik untuk digunakan dalam proses pembuatan karbon aktif. Selain dapat menghasilkan luas permukaan yang besar proses aktivasi menggunakan KOH juga akan menghasilkan pori-pori yang besar sehingga efisiensi adsorpsinya akan meningkat.

Sedangkan menurut penelitian (Marina Olivia Esterlita & Netti Herlina, 2015) jika proses aktivasi karbon aktif dilakukan dengan menggunakan larutan aktivator  $ZnCl_2$  maka dihasilkan luas permukaan karbon sebesar  $632 \text{ m}^2/\text{g}$ . Sedangkan jika proses aktivasi karbon dilakukan dengan menggunakan KOH dapat dihasilkan luas permukaan karbon sebesar  $1050 \text{ m}^2/\text{g}$ . Kemudian hasil penelitian tersebut didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh (Sudibandriyo & Lydia, 2018) yang mengatakan bahwa aktivator yang lebih baik digunakan untuk pembuatan karbon aktif dengan metode aktivasi kimia adalah larutan kalium hidroksida (KOH) dibandingkan dengan  $ZnCl_2$  dimana larutan KOH akan bereaksi dengan karbon sehingga akan membentuk pori-pori yang banyak. Semakin banyak pori-pori yang terbentuk maka luas permukaan yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan (Montes & Hill, 2018) yang menggunakan KOH dalam proses aktivasi karbon aktif dengan luas permukaan yang diperoleh sebesar 945 m<sup>2</sup>/g. Penggunaan KOH dalam media basa dengan kandungan oksigen yang tinggi akan menghilangkan atom karbon dalam struktur internal karbon sehingga luas permukaan akan meningkat seiring dengan pembentukan struktur berpori. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh (Chayid & Ahmed, 2015) menghasilkan jumlah luas area rata-rata yang diperoleh pada material dasar pembentuk karbon aktif yaitu sebesar 1000 m<sup>2</sup>/g.

Menurut (Santoso *et al.*, 2014) karbon aktif yang baik adalah karbon aktif yang memiliki luas area permukaan yang besar dan daya adsorpsi yang besar. Karbon aktif dapat menyerap gas dan senyawa tertentu atau sifat adsorpsi selektifnya bergantung pada ukuran pori dan juga luas permukaan. Karbon aktif terdiri dari pelat datar yang atom karbonnya terikat secara kovalen dengan kisi heksagonal. Lapisan datar ini bertumpuk satu sama lain membentuk kristal yang menghilangkan residu hidrokarbon yang dapat membuat permukaan menjadi aktif (Holle *et al.*, 2013).

Menurut penelitian (Yuliusman, 2015) dalam proses pembuatan karbon aktif dapat menggunakan bahan baku yang berbeda-beda sesuai dengan aplikasi yang diinginkan. Salah satu bahan baku yang sering digunakan yaitu kayu, batu bara, lignit, gambut dan tempurung kelapa. Pembuatan karbon aktif dari bahan dasar dari sekam padi dapat menghasilkan luas permukaan sebesar 438,9 m<sup>2</sup>/gram. Selain karena arang aktif terbuat dari sekam padi, arang aktif juga dapat diperoleh dari tongkol jagung yang memiliki luas permukaan 406,9 m<sup>2</sup>/gram. Sedangkan arang aktif yang dibuat dari tempurung kelapa memiliki luas permukaan yang lebih besar yaitu 1100 m<sup>2</sup>/gram. Ada beberapa kriteria untuk menentukan bahan awal pembuatan karbon aktif seperti ketersediaan bahan yang melimpah sehingga mudah untuk didapatkan dan meminimalisir biaya, memiliki kandungan karbon yang tinggi dan kandungan abu yang rendah serta memiliki kemungkinan % rendemen yang tinggi dan tidak mudah terurai sehingga mudah untuk disimpan (Idrus, 2013).

### 2.3. Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/Karbon Aktif

Sintesis komposit dapat dilakukan dengan berbagai metode yaitu antara lain seperti dengan metode sol-gel, pirolisis dan hidrotermal. Menurut (Effendi *et al.*, 2015) metode sol-gel dapat menghasilkan komposit dengan kualitas yang tinggi dan sangat homogen. Namun metode sol-gel memiliki kelemahan yaitu dalam proses sintesisnya memerlukan waktu yang cukup lama. Metode pirolisis merupakan proses dekomposisi material oleh suhu yang dimulai pada suhu tinggi dan tanpa menggunakan O<sub>2</sub>. Saat menggunakan proses pirolisis maka ikatan antara biomassa dan polimer akan terputus menghasilkan molekul yang ukuran dan strukturnya lebih kecil (Febriyanti *et al.*, 2019). Sedangkan hidrotermal merupakan proses reaksi kristalisasi yang melibatkan fase cair, fase padat *amorf* dan kristal melalui proses pemanasan. Kelebihan dari metode hidrotermal yaitu dilakukan dengan sistem tertutup sehingga bebas dari polusi sehingga dapat menghasilkan kristal dengan kualitas yang baik dan homogen (Deviani *et al.*, 2018).

Dalam penelitian (Juliandi Siregar & Sutri Novika, 2015) sintesis komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO dilakukan dengan metode hidrotermal. Hidrotermal adalah teknik kristalisasi suhu tinggi dalam keadaan campuran dan tekanan yang tinggi atau dapat didefinisikan sebagai metode yang menggunakan panas dan air. Dalam proses hidrotermal, reaktan dipanaskan dengan air dalam bejana tertutup (*autoclave*). Dalam wadah tertutup, tekanan akan meningkat dan air tetap cair.

Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/Karbon Aktif dapat disintesis dengan menggunakan metode pirolisis. Berdasarkan penelitian (Jumari & Purwanto, 2013) dengan menggunakan metode pirolisis pada sintesis komposit hanya membutuhkan waktu yang jauh lebih cepat untuk memproduksi partikel nano. Dari hasil pirolisis partikel yang dihasilkan langsung kering tanpa ada bahan kimia yang lain. Jika pirolisis menggunakan H<sub>2</sub> sebagai *fuel* maka karbon tidak akan terbentuk. Hasil yang didapatkan dari pirolisis lebih baik karena diproses dengan temperatur yang tinggi. Semakin tinggi suhu yang digunakan maka kristalinitas material akan mempunyai sifat yang semakin baik (Jumari, 2016).

Komposit merupakan gabungan dari dua atau lebih partikel. ZnO merupakan material oksida tunggal yang banyak digunakan sebagai katalis. Menurut penelitian (Jumari *et al.*, 2011) serbuk ZnO merupakan material semikonduktor yang telah diaplikasikan pada bidang nanoteknologi sedangkan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> merupakan mineral oksida yang berlimpah ketersediaannya. Dengan mengambil salah satu kelebihan ZnO yang nanopartikelnya dapat digunakan untuk memproduksi biodiesel dengan kualitas yang tinggi dengan menambahkan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Dengan adanya penambahan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> bertujuan untuk membuat katalis yang bersifat magnetik sehingga pemisahan katalis dengan produknya menjadi lebih mudah. Pemisahan katalis dapat dilakukan dengan menggunakan magnet Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (Jumari & Purwanto, 2013).

#### **2.4. Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/Karbon Aktif sebagai Katalis**

Katalis adalah zat yang mempercepat laju reaksi dengan menurunkan energi aktivasi tetapi tidak mengubah posisi kesetimbangan. Saat ini katalis yang paling banyak digunakan adalah katalis heterogen karena lebih efektif dan efisien. Katalis heterogen adalah katalis yang memiliki fase yang berbeda dari bahan awal. Keuntungan dengan menggunakan katalis heterogen adalah memiliki nilai aktivitas yang tinggi, kondisi reaksi yang ringan, tidak korosif dan ramah lingkungan serta dapat dipisahkan dari larutan produksi dengan filtrasi untuk digunakan kembali (Wicaksono & Arijanto, 2017).

Penelitian yang telah dilakukan (Ramadhannur, 2021) tentang pembuatan komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Zn/WO<sub>3</sub> dalam proses fotokatalisis menggunakan katalis ZnO yang merupakan alternatif pengganti TiO<sub>2</sub> karena ZnO lebih tahan terhadap korosi, memiliki energi celah yang tidak terlalu besar serta harganya yang lebih murah. Agar kerja ZnO semakin maksimal maka perlu ditambahkan dengan nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang bersifat ferimagnetik serta ditambahkan WO<sub>3</sub> yang memiliki kepekaan yang tinggi terhadap cahaya tampak serta memiliki absorpsi cahaya tampak yang baik. Hasil uji yang diperoleh bahwa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-Zn/WO<sub>3</sub> memiliki nilai aktivitas yang tinggi yaitu 81,38%.

(Kesic *et al.*, 2012) telah melakukan penelitian tentang pembuatan biodiesel dengan menggunakan katalis ZnO/CaO dengan perbandingan rasio molar 2:1, 4:1,

dan 2:1. Metode yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah transesterifikasi dengan kondisi suhu 60 °C selama 1, 2, 3, 4 jam. Hasil optimum yang diperoleh pada kondisi waktu reaksi selama 3 jam pada suhu 60 °C dengan rasio molar ZnO/CaO 2:1. Menurut penelitian yang telah dilakukan (Feri & Oko, 2019) tentang aplikasi katalis heterogen Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CaO pada pembuatan biodiesel dari minyak kelapa sawit dengan impregnasi basah menggunakan *magnetic stirrer* dengan hasil konversi tertinggi sebesar yaitu 80,45%.

Sedangkan (Joshi *et al.*, 2015) telah melakukan proses transesterifikasi minyak non-edible dengan menggunakan katalis antara lain ZnO-CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO, MnO<sub>2</sub>-CaO dengan menggunakan sistem *microwave* dengan kondisi suhu reaksi 65 °C selama 2 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan adanya prekursor mampu meningkatkan *yield* dari biodiesel dengan menggunakan katalis ZnO-CaO dapat menghasilkan *yield* yang paling tinggi yaitu sebesar 98,2%. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh (Jumari, 2016) tentang pengaruh laju alir gas pembawa terhadap pembuatan katalis heterogen nanokomposit ZnO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. ZnO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> merupakan katalis heterogen nanokomposit yang dapat diperoleh dari sintesis Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> dan Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> sebagai prekursor dengan metode pirolisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam pembuatan katalis heterogen nanokomposit ZnO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> diperoleh laju alir gas pembawa yang menghasilkan intensitas penyinaran yang optimum sehingga akan menghasilkan partikel dengan diameter yang kecil.

## 2.5. Konversi Bioetanol

Konversi alkohol merupakan suatu proses perubahan alkohol menjadi suatu produk dengan menggunakan katalis. Salah satu produk yang dihasilkan dari proses dehidrasi alkohol yaitu olefin dan eter (Kostetsky & Mpourmpakis, 2015). Menurut (Rachmawati, 2017) proses dehidrasi etanol menjadi hidrokarbon dapat terjadi melalui dua cara, yaitu bioetanol dapat dikonversi menjadi etilen melalui dehidrasi antarmolekul pada suhu tinggi dan dehidrasi intramolekul pada suhu rendah yang lebih dominan pada konversi etanol menjadi dietil eter yang kemudian dapat dikonversi menjadi etilen dan olefin C<sub>4</sub> pada suhu yang tinggi. Etanol dapat



dikonversi menjadi etilen, hidrokarbon  $C^{3+}$ , dietil eter dan air (Choopun & Jitkarnka, 2016).

Menurut (Joshi *et al.*, 2015) konversi etanol dengan melalui proses dehidrasi katalitik dengan menggunakan bantuan katalis zeolit H-ZSM-5 dengan temperatur 450 °C dapat menghasilkan produk olefin sebagai etilen dan propilen. Sedangkan peneliti lain juga melaporkan bahwa penggunaan katalis zeolit H-ZSM-5 dengan temperatur 240-350 °C juga dapat mengkonversi etanol menjadi etilen dan propilen (Wu & Wu, 2017).

Menurut (Iwamoto, 2015) dehidrasi etanol yang disebabkan oleh situs asam dapat menghasilkan etena sedangkan situs basa dapat menyebabkan dehidrogenasi etanol dan menghasilkan asetaldehida yang banyak jenis produknya antara lain yaitu aldehida, keton dan butena dengan penggunaan katalis logam oksida. Sedangkan berdasarkan penelitian (Angelici *et al.*, 2013) menyebutkan bahwa konversi bioetanol dapat menghasilkan butadiena yang diperoleh dengan metode perengkahan uap yang merupakan produk sampingan dari etilen.

## **2.6. Senyawa Hidrokarbon**

Menurut (Nius, 2021) senyawa hidrokarbon merupakan senyawa karbon yang paling sederhana yang hanya tersusun atas atom hidrogen dan atom karbon. Atom karbon pada hidrokarbon dapat membentuk ikatan kovalen yang kuat dengan atom karbon lainnya sehingga dapat membentuk rantai lurus, bercabang maupun cincin. Menurut (Rachmawani *et al.*, 2017) hidrokarbon dapat dibagi menjadi 3 kelas yaitu hidrokarbon alifatik, asiklik, dan aromatik. Hidrokarbon alifatik adalah atom karbon yang bergabung membentuk rantai yang merupakan rangkaian homolog dari molekul  $CH_2$ . Senyawa ini adalah alkana, alkena, dan alkuna. Hidrokarbon alisiklik adalah atom karbon yang bergabung membentuk cincin sedangkan hidrokarbon aromatik adalah senyawa yang mengandung cincin benzena dengan 6 atom karbon dan 1 atom hidrogen.

### **2.7. Hipotesis Penelitian**

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif melalui metode kopresipitasi dan pembuatan karbon aktif melalui metode impregnasi kemudian dicampurkan antara logam dengan karbon aktif yang berfungsi sebagai penyangga katalis yang telah diaktivasi dengan KOH 30% kemudian dipirolisis pada suhu  $600\text{ }^\circ\text{C}$  selama 3 jam. Hasil modifikasi komposit ini dapat meningkatkan kualitas katalis heterogen yang digunakan dalam proses konversi bioetanol. Diharapkan konversi bioetanol menggunakan katalis  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif dapat memperoleh senyawa hidrokarbon.

## BAB III

### DASAR TEORI

#### 3.1. Tanaman Nanas

Buah nanas merupakan salah tanaman buah yang tersebar luas dan dibudidayakan di daerah tropis dan subtropis. Nanas sendiri memiliki nama masing-masing daerah pada suku sunda, nanas disebut dengan nama “danas” sedangkan di Sumatera nanas disebut dengan “neneh”. Nanas (*Ananas comosus*) merupakan tumbuhan yang tidak dapat melakukan penyerbukan sendiri. Penyerbukan sendiri merupakan suatu proses dimana serbuk sari menempal pada kepala putik, atau dapat dikatakan bahwa penyerbukan terjadi apabila serbuk sari dan kepala putik berasal dari bunga yang sama (Trianto *et al.*, 2020). Ada berbagai jenis tanaman nanas, salah satu spesies nanas yang paling terkenal adalah nanas madu. Nanas madu dikenal karena nanas madu mengandung lebih banyak gula dan air daripada nanas biasa, sehingga nanas madu rasanya lebih manis (Hamad *et al.*, 2017).



**Gambar 1.** Limbah Kulit Nanas

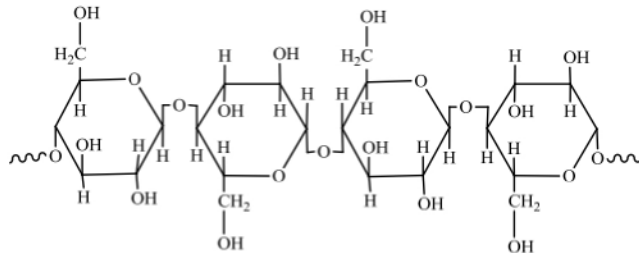
**Tabel 1.** Klasifikasi Tanaman Nanas

Kingdom	<i>Plantae</i>
Divisi	<i>Spermatophyte</i>
Kelas	<i>Angiospermae</i>
Sub Kelas	<i>Monocotyledonae</i>
Ordo	<i>Farinosae</i>
Family	<i>Bromeliaceae</i>
Genus	<i>Ananas</i>
Spesies	<i>Ananas comosus</i>

Tanaman nanas memiliki klasifikasi yang ditunjukkan pada Tabel 1. Tanaman nanas memiliki beberapa bagian diantaranya yaitu daun, batang, akar dan buah. Buah nanas mengandung berbagai nutrisi antara lain protein, lemak, karbohidrat, fosfor, kalori, zat besi, vitamin A dan B, magnesium, kalsium, natrium, kalium, dekstrosa, sukrosa dan enzim bromelin (Mizrotun, 2021). Kulit nanas tidak hanya buah padat nutrisi, namun kulit nanas juga memiliki banyak senyawa yang bermanfaat, tetapi banyak dari hal ini dapat ditemukan di pasar yang kurang dimanfaatkan. Kulit nanas kurang dimanfaatkan dan banyak orang bahkan membuangnya ke tempat sampah. Kulit nanas sebenarnya memiliki banyak kandungan di dalamnya seperti flavonoid, alkaloid, tanin dan steroid (Kalaiselvi *et al.*, 2012). Adanya kandungan senyawa flavonoid dalam limbah kulit nanas dapat bermanfaat sebagai anti mikroba. Sedangkan berdasarkan penelitian (Husniah & Gunata, 2020) kulit nanas banyak mengandung flavonoid, bromelin dan mengandung senyawa tanin, oxalat serta pitat. Flavonoid dapat menghambat sintesis asam nukleat dan dapat memblokir energi bakteri, sehingga flavonoid merupakan agen antimikroba yang baik. Bromelin merupakan enzim proteolitik yang dapat memecah molekul protein sehingga dapat menghambat pertumbuhan bakteri dengan cara memutus ikatan protein pada bakteri (Arum, 2013).

Kulit nanas banyak mengandung serat kasar dan karbohidrat sehingga dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan bioetanol. Selulosa merupakan komponen utama pada biomassa lignoselulosa yang dapat dihidrolisis menjadi

glukosa untuk dikonversi menjadi bahan bakar nabati melalui fermentasi dengan menggunakan bantuan mikroorganisme sehingga dapat menghasilkan etanol (Kurniati *et al.*, 2021).



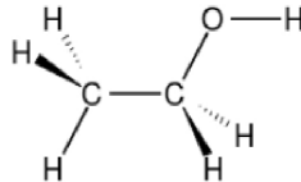
**Gambar 2. Struktur Selulosa** (Mulyadi, 2019)

### 3.2. Bioetanol

Permasalahan pada sumber daya energi konvensional bahan bakar fosil yang merupakan sumber energi yang tidak terbarukan adalah kenaikan harga secara global sehingga menyebabkan terjadinya krisis energi. Krisis energi terjadi akibat cadangan yang semakin berkurang sesuai dengan umur eksploitasinya, permintaan yang semakin tinggi, jaminan pasokan yang terbatas serta pembatasan produksi hingga penilaian lingkungan yang ketat terhadap pemanasan global sehingga mengharuskan untuk mengurangi terhadap penggunaan energi bahan bakar fosil dengan menggantinya menggunakan sumber energi lainnya yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif (Bahri & Hartono, 2019).

Bahan bakar berbasis nabati salah satunya adalah bioetanol. Bioetanol merupakan sumber bahan bakar alternatif yang disuling dari tumbuhan, yang memiliki keunggulan dalam menurunkan emisi CO<sub>2</sub> hingga 18%. Bioetanol adalah cairan yang diperoleh dengan memfermentasi gula dari sumber karbohidrat atau pati dengan menggunakan bantuan mikroorganisme (Riza, 2016). Bioetanol dapat dibuat dari berbagai macam sumber hayati yang berkarbohidrat seperti kulit singkong, kulit nanas, tebu, nira, sorgum, ubi jalar dan kulit pisang. Selain itu bioetanol juga dapat diperoleh dari susu rusak yang tidak memenuhi standar kualitas, susu yang sudah kadaluwarsa dan juga susu yang sudah basi sehingga tidak bisa dikonsumsi lagi. Susu mengandung laktosa sebesar 4,8% yang merupakan

jenis karbohidrat utama dalam susu. Laktosa akan dikonversikan menjadi bioetanol dengan bantuan *Saccharomyces cerevisiae* melalui proses fermentasi (Prametha & Legowo, 2015).



**Gambar 3.** Struktur Molekul Etanol (Arlianti, 2018)

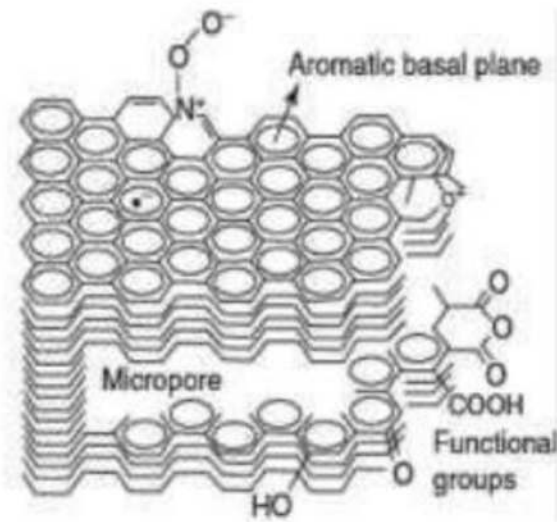
Perbedaan antara etanol biasa dengan bioetanol hanya terletak pada bahan baku yang digunakan dan proses produksinya. Etanol adalah cairan yang mudah menguap, mudah terbakar dan tidak berwarna. Etanol dapat digunakan sebagai pelarut zat organik dan anorganik. Etanol merupakan bahan baku asam cuka, ester, spiritus dan juga asetaldehida, selain itu etanol juga digunakan sebagai bahan bakar yang terbarukan. Etanol adalah alkohol rantai tunggal dengan rumus kimia  $C_2H_5OH$ . Etanol yang dihasilkan melalui proses fermentasi dengan bantuan mikroba disebut dengan bioetanol yang melalui beberapa proses yaitu hidrolisis, fermentasi dan distilasi (Subagyo & Arifin, 2016).

### 3.3. Karbon Aktif

Karbon aktif dapat diperoleh dari berbagai limbah termasuk limbah yang dihasilkan dari industri pengolahan kelapa sawit. Karbon aktif dari kelapa sawit memberikan luas permukaan yang besar dan daya adsorpsi yang efisien jika dibandingkan dengan karbon aktif komersial. Selain itu, karbon aktif yang berbahan dasar dari limbah kelapa sawit juga dapat meminimalisir biaya serta dapat membantu dalam pengolahan limbah kelapa sawit untuk dijadikan sebagai karbon aktif (Kono *et al.*, 2016).

Karbon aktif didefinisikan sebagai bahan yang mengandung karbon dalam bentuk amorf atau tidak beraturan dengan luas permukaan yang tinggi dan tingkat porositas yang tinggi. Karbon aktif memiliki konduktivitas listrik yang tinggi,

ketahanan panas yang baik. Struktur pori yang terdapat pada karbon aktif terdiri dari 3 jenis yaitu mikropori (<2 nm), mesopori (2-50 nm), dan makropori (>50 nm). Struktur pori karbon aktif yang berbeda memungkinkan penggunaan karbon aktif sebagai adsorben dalam proses adsorpsi. Karbon aktif dapat diperoleh dengan proses karbonisasi dan dengan aktivasi fisika dan kimia (Octarya *et al.*, 2019).



**Gambar 4.** Struktur Karbon Aktif (Yahya *et al.*, 2018)

Karbon aktif memiliki ukuran partikel yang berkisar antara beberapa nanometer hingga puluhan mikron sedangkan karbon aktif memiliki luas permukaan yang bervariasi dari beberapa  $\text{m}^2/\text{g}$  hingga lebih dari  $2000 \text{ m}^2/\text{g}$ . Karbon aktif memiliki fase amorf yang mengandung gugus aromatik yang terbesar pada pori-porinya. Selain itu, karbon aktif juga mengandung beberapa gugus fungsi lainnya seperti COOH dan OH yang merupakan penentu sifat asam bahan dan sifat pertukaran ionnya (Yahya *et al.*, 2018).

Sintesis karbon aktif dapat dilakukan dengan karbonisasi maupun aktivasi fisika dan kimia. Secara fisika proses sintesis karbon aktif melibatkan karbonisasi bahan mentah tanpa adanya  $\text{O}_2$  di dalam lingkungan gas inert yang diikuti dengan agen pengaktivasi dengan menggunakan zat pengoksidasi seperti uap, air, karbon dioksida ataupun campuran ketiganya. Sedangkan secara kimia karbonisasi dilakukan dengan bahan mentah karbon aktif dengan menggunakan agen

pengoksidasi seperti  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{KOH}$  dan  $\text{NaOH}$  di dalam lingkungan nitrogen. Proses karbonisasi akan menghilangkan zat yang mudah menguap sehingga akan menghasilkan karbon aktif dengan kandungan karbon yang tinggi (Joshi *et al.*, 2015). Pada proses sintesis karbon aktif aktivasi bertujuan untuk menambah jumlah pori yang terbentuk. Aktivasi terdiri dari dua macam yaitu aktivasi fisika dan kimia. Aktivasi fisika dilakukan dengan temperatur yang tinggi yaitu berkisar antara 500-1000 °C sedangkan aktivasi kimia dilakukan dengan melakukan perendaman menggunakan  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{NaOH}$ , dan  $\text{ZnCl}_2$  (Wu *et al.*, 2013).

Karbon aktif mempunyai daya serap yang tinggi karena memiliki volume pori yang dapat menyerap gas serta residu yang terdapat dalam larutan. Dengan meningkatnya penggunaan karbon aktif dapat menumbuhkan kreativitas untuk lebih memaksimalkan kembali fungsi karbon bukan hanya luas permukaan dan porinya saja tetapi juga pada permukaan karbon dengan cara memodifikasi karbon dengan menambah gugus aktif yang merupakan gugus oksigen dengan menggunakan temperatur yang tinggi sehingga gugus-gugus aktif pada permukaan karbon akan terlepas atau menghilang dan hanya tersisa karbon (Harti *et al.*, 2014).

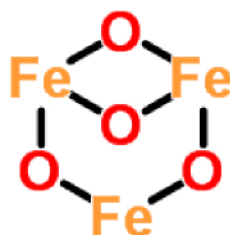
#### **3.4. Logam Oksida $\text{Fe}_3\text{O}_4$ dan $\text{ZnO}$**

Nanopartikel yang sering digunakan dalam nanofluida umumnya dari logam yang secara kimia stabil, oksida logam, dan karbon dalam bentuk yang beragam (Hardian *et al.*, 2017). Karbon berpori sebagai bahan elektroda yang memiliki kinerja elektrokimia yang stabil dan memiliki konduktivitas yang baik dengan kapasitas energi dan densitas yang rendah. Oksida logam yang digunakan sebagai bahan elektroda memiliki kapasitas yang besar sehingga dapat meningkatkan densitas energi kapasitor di antaranya yaitu  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{NiO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{NiCo}_2\text{O}_4$  (Rohmah *et al.*, 2022). Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  merupakan oksida besi yang stabil dan karenanya dapat digunakan sebagai katalis, sensor gas dan bahan elektroda. Selain itu,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  juga dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan magnet permanen yang penting dalam industri teknik elektrto, elektronik, otomotif, dan permesinan (Primmy & Murwani, 2012).



Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) yang mengandung partikel oksida Fe dengan ukuran struktur mikro atau nano seperti bentuk, permukaan, struktur, ukuran, komposisi dengan perlakuan panas tertentu akan menjadikannya menjadi material baru yang dapat meningkatkan sifat penginderaan gas sensor (Siregar *et al.*, 2020).  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  memiliki sifat *soft magnetic*. Suatu material yang digunakan untuk bahan penyerap gelombang mikro harus memiliki sifat magnetik dan sifat listrik. Untuk sifat magnetik dibutuhkan material yang bersifat *soft magnetic* sedangkan untuk sifat listrik dibutuhkan suatu material yang memiliki nilai konduktivitas yang tinggi. Untuk mendapatkan sifat keduanya maka perlu dilakukan doping dari dua unsur yang berbeda. Unsur yang biasanya digunakan untuk pendopingan yaitu Ti, Zn, Mn, Ni, dan Co (Dewi *et al.*, 2019).

Sintesis nanopartikel  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dapat dilakukan dengan berbagai macam metode yaitu dengan metode kopresipitasi dan metode sol gel. Sintesis  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan metode presipitasi dapat menghasilkan kristal dengan ukuran sebesar 49 nm sedangkan jika sintesis  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dilakukan dengan metode sol-gel menggunakan gelatin yang berfungsi sebagai agen polimerisasi sehingga dapat menghasilkan ukuran partikel 30-40 nm. Dalam proses sintesis nanopartikel  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan metode sol-gel membutuhkan penambahan agen polimerisasi untuk mengontrol pertumbuhan partikel dan mencegah pertumbuhan partikel dengan ukuran yang sangat kecil (Hardian *et al.*, 2017).



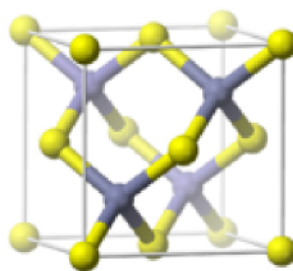
(Sumber Wikipedia)

**Gambar 5.** Struktur Besi (III) Oksida ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )

Seng oksida ( $\text{ZnO}$ ) merupakan semikonduktor oksida logam yang mempunyai celah pita energi 3,37 eV dengan kemampuan oksidasi yang kuat, stabilitas kimia yang baik dan emisi ultraviolet yang kuat.  $\text{ZnO}$  merupakan material semikonduktor

dengan golongan II-IV umumnya berbentuk serbuk putih tidak larut dalam air tetapi larut dalam asam dan basa (Purwanto, 2014). Nanopartikel ZnO memiliki sifat antara lain sebagai antimikroba, memiliki luas permukaan yang besar terhadap rasio volume, dapat meningkatkan reaktivitas permukaan, sifat termal, mekanik dan listrik serta stabil terhadap panas (Pamela *et al.*, 2017). Nanopartikel ZnO banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti sensor biokimia, sensor gas, agen antibakteri, fotokatalis, transistor.

Nanopartikel ZnO dapat memiliki kristalinitas dan ukuran kristal yang beragam tergantung pada metode yang digunakan untuk sintesis ZnO. Sintesis ZnO melalui metode kopresipitasi lebih sederhana, ekonomis serta dapat menghasilkan nanopartikel untuk produksi skala yang besar. Namun, metode ini membutuhkan temperatur kalsinasi yang tinggi dan waktu yang cukup lama dalam pembentukan nanopartikelnya. Nanopartikel kristalin ZnO dapat diperoleh pada suhu kalsinasi 450 °C, 500 °C, dan 600 °C selama 4 jam. Akan tetapi, proses tersebut dapat dipercepat dengan pemberian radiasi ultrasonik selama proses sintesis berlangsung sehingga kristalin ZnO dapat diperoleh dengan kalsinasi pada suhu yang lebih rendah (Hernowo *et al.*, 2019).



(Sumber Wikipedia)

**Gambar 6.** Struktur Seng Oksida (ZnO)

### 3.5. Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/Karbon Aktif

Komposit adalah suatu bahan baru yang terbuat dari kombinasi dua bahan atau lebih. Jadi, komposit adalah bahan baru yang dibuat dengan menggabungkan dua atau bahan dalam skala makroskopik untuk membentuk bahan ketiga dengan manfaat yang lebih luas. Material baru diproduksi dengan tujuan untuk

meningkatkan sifat-sifat individual bahan tersebut, seperti daya tahan sifat kimia dan fisik, struktur, kekuatan dan sifat mekanik (Muhamad Muhajir & Muhammad Alfian Mizar, 2016). Bahan komposit umumnya terdiri dari dua fasa, yaitu matriks dan penguat (*reinforcement*). *Reinforcement* tertanam dalam matriks, matriks akan menahan *reinforcement* sehingga akan menjadi bentuk-bentuk yang diinginkan dan meningkatkan sifat mekanik dari matriks. Ketika matriks dan *reinforcement* terbentuk sempurna maka akan terbentuk kombinasi material baru yang memiliki kekuatan yang lebih besar jika dibandingkan dengan masing-masing material individu (Nagavally, 2016).

Material komposit memiliki keunggulan lebih jika dibandingkan dengan material lain. Keunggulan material komposit yaitu penggabungan unsur-unsur yang unggul dari masing-masing unsur pembentuknya tersebut. Bahan yang digunakan dalam pembuatan komposit tidak hanya berasal dari serat sintesis saja namun banyak juga yang memanfaatkan serat dari bahan alam seperti serat goni, serat nanas, serat ijuk, dan serat sabut kelapa. Komposit yang mengandung serat alam memiliki beberapa keunggulan diantaranya yaitu banyak digunakan karena jumlahnya yang melimpah, ramah lingkungan, berkualitas tinggi, dan memiliki harga yang lebih terjangkau (Nagavally, 2016).

### **3.6. Katalis**

Katalis adalah zat yang ditambahkan ke dalam suatu reaksi untuk mempercepat laju reaksi pada suhu tertentu tanpa mengubahnya. Katalis dapat menyediakan situs aktif yang menggabungkan reaktan dan melepaskan energi dalam bentuk panas yang memungkinkan molekul reaksi untuk melewati energi aktivasi dengan lebih mudah. Suatu katalis berperan dalam reaksi kimia namun tidak sebagai pereaksi. Katalis dapat mempercepat reaksi atau membiarkan reaksi berlangsung pada suhu yang lebih rendah karena adanya perubahan yang disebabkan oleh reaktan. Selain itu, katalis juga dapat mengurangi energi yang dibutuhkan untuk berlangsungnya energi (Munnik *et al.*, 2015).

Katalis dibedakan menjadi dua golongan, yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis heterogen adalah katalis yang berada pada fase yang berbeda dari

bahan awal reaksi yang dikatalisisnya, sedangkan katalis homogen berada pada fase yang sama. Katalis homogen biasanya bereaksi dengan satu atau lebih bahan awal untuk membentuk zat antara kimiawi yang kemudian akan bereaksi untuk membentuk produk akhir (Purnami *et al.*, 2015).

Katalis homogen berfungsi sebagai zat perantara antara reaktan dan katalis yang terdispersi dalam fase yang sama. Katalis homogen memiliki keunggulan yaitu reaksi yang terjadi lebih spesifik dengan hasil rendemen yang tinggi namun katalis homogen sulit untuk dipisahkan karena berada dalam fase yang sama dengan reaktannya sehingga pemisahan tidak cukup dengan penyaringan. Contoh proses katalitik yang menggunakan katalis homogen adalah hidrolisis ester dengan asam (cair), oksidasi sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) dengan nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) (gas) dan penguraian kalium klorat (KCl) dengan mangan dioksida ( $\text{MnO}_2$ ) (padat) (Lestari, 2012). Saat ini katalis heterogen lebih banyak digunakan karena lebih efektif dan efisien. Katalis heterogen lebih stabil dan ramah lingkungan daripada katalis homogen. Penggunaan katalis heterogen dapat mengatasi kelemahan yang dimiliki oleh katalis homogen. Pemisahan katalis heterogen dari produknya lebih sederhana cukup dengan penyaringan atau filtrasi dan katalis heterogen lebih ekonomis karena dapat digunakan kembali (Wendi *et al.*, 2015).

Kemampuan katalis dalam mempercepat laju reaksi dipengaruhi oleh beberapa aspek antara lain yaitu sifat fisika dan kimia katalis, temperatur, tekanan, laju alir, dan waktu kontak. Katalis yang dipreparasi dengan metode yang berbeda maka akan menghasilkan aktivitas dan selektivitas yang berbeda. Aktivitas biasanya dinyatakan sebagai persentase konversi atau jumlah produk yang dibuat dari jumlah reaktan yang digunakan dalam waktu reaksi tertentu. Sedangkan selektivitas adalah ukuran kemampuan katalis untuk mempercepat laju reaksi dalam pembentukan suatu produk tertentu (Hakim Firdaus & Rizky Wicaksono, 2013).

### **3.7. Metode Pirolisis**

Metode pirolisis merupakan metode yang digunakan untuk memperoleh asap cair. Pirolisis merupakan sebuah proses dekomposisi material oleh suhu tanpa adanya  $\text{O}_2$ . Proses pirolisis berlangsung dalam reaktor terfluidisasi. Reaktor ini

menggunakan fluida (cairan atau gas) yang dialirkan masuk ke dalam reaktor sehingga menyebabkan kontak langsung dengan bahan baku yang digunakan. Proses pirolisis merupakan proses perengkahan (*cracking*) ikatan kimia pada suatu senyawa dengan melibatkan panas (Naimah *et al.*, 2012).

Proses pirolisis menghasilkan produk berupa bahan bakar padatan yaitu karbon atau *charcoal* dan cairan berupa campuran tar (*bio-oil*). Produk lain yang terbentuk selama proses pirolisis adalah gas (bahan bakar gas) yang berupa karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ), metana ( $\text{CH}_4$ ) dan gas-gas lainnya yang mengandung sejumlah kecil. Pirolisis dilakukan pada suhu yang tinggi yaitu di atas  $300\text{ }^\circ\text{C}$  selama 4-7 jam. Namun keadaan tersebut bergantung pada jenis bahan baku yang digunakan serta cara pembuatannya (Ridhuan & Suranto, 2017). Pirolisis merupakan proses degradasi termal bahan-bahan polimer maupun material organik seperti biomassa dengan menggunakan pemanasan tanpa melibatkan oksigen di dalamnya. Pada saat proses pirolisis akan terjadi pemotongan rantai panjang hidrokarbon menjadi rantai pendek (Syamsiro, 2015).

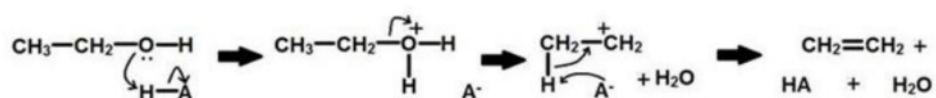
Proses kalsinasi merupakan proses pemanasan atau yang digunakan untuk melepaskan ikatan kimia seperti  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{CO}_2$  dengan suhu yang tinggi yang akan diserap oleh suatu material sehingga  $\text{CO}_2$  yang dihasilkan akan berpindah ke permukaan dan menyebar dalam tempat pemanasan (Kuntum Khaira, 2011). Proses kalsinasi atau aktivasi fisika merupakan proses pembakaran karbon dengan temperatur  $500\text{-}1000\text{ }^\circ\text{C}$  dengan adanya suhu yang sangat panas menyebabkan ikatan kimia akan merenggang dan pada temperatur tertentu atom-atom yang berikatan akan bergerak sangat bebas sehingga menyebabkan putusnya ikatan kimia (Nurhadiansyah *et al.*, 2018). Kalsinasi dipengaruhi oleh temperatur sesuai dengan jenis bahan baku yang akan digunakan (Zamhari *et al.*, 2021).

### **3.8. Konversi Bioetanol Menjadi Senyawa Hidrokarbon**

Konversi alkohol merupakan suatu proses perubahan alkohol menjadi suatu produk dengan menggunakan katalis. Salah satu produk yang dihasilkan dari proses dehidrasi alkohol yaitu olefin dan eter (Kostetsky & Mpourmpakis, 2015). Dalam proses konversi bioetanol terdapat dua proses yaitu dehidrasi dan dehidrogenasi.

Dehidrasi merupakan suatu proses pengurangan molekul air yang terdapat dalam suatu senyawa alkohol (Marzuki, 2019). Proses dehidrasi etanol menjadi hidrokarbon dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu bioetanol dapat dikonversi menjadi etilena melalui dehidrasi antarmolekul pada suhu tinggi dan dehidrasi intramolekul pada suhu rendah yang lebih dominan untuk mengkonversi etanol menjadi dietil eter yang kemudian pada suhu tinggi dapat dikonversi menjadi etilen dan olefin C<sub>4</sub> (Rachmawati, 2017). Sedangkan dehidrogenasi merupakan proses penghilangan satu atau lebih atom hidrogen dari molekul organik untuk membentuk senyawa yang baru. Etanol dapat dikonversi menjadi etilena, hidrokarbon C<sup>3+</sup>, dietil eter dan air (Choopun & Jitkarnka, 2016).

Konversi etanol dengan melalui proses dehidrasi katalitik dengan menggunakan bantuan katalis zeolit H-ZSM-5 dengan temperatur 450 °C dapat menghasilkan olefin sebagai etilen dan propilen (Joshi *et al.*, 2015). Sedangkan jika penggunaan katalis zeolit H-ZSM-5 dengan temperatur 240-350 °C juga dapat mengkonversi etanol menjadi etilen dan propilen (Wu & Wu, 2017).



**Gambar 7.** Mekanisme Konversi Etanol Menjadi Etilen (Fan *et al.*, 2013)

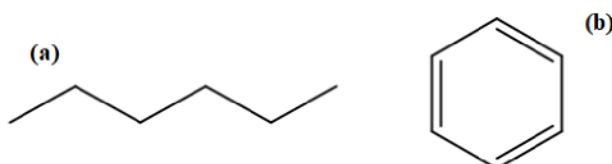
Konversi etanol yang dilakukan dengan proses dehidrogenasi katalitik dan oksidatif dari n-butana dan n-butena dapat menghasilkan butadiena yang merupakan produk sampingan yang diperoleh dari etilen yang memiliki volume dan nilai yang tinggi yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi kimia polimer. Selain itu, konversi etanol dengan dehidrogenasi dapat menghasilkan n-butanol yang dapat digunakan sebagai bahan bakar dengan densitas energi yang lebih tinggi dari etanol dan sifat korosif yang lebih rendah (Angelici *et al.*, 2013). Propena merupakan hasil yang diperoleh dari konversi etanol dengan proses dehidrasi dengan penggunaan katalis oksida logam dalam proses konversi berlangsung (Iwamoto, 2015).



### 3.9. Senyawa Hidrokarbon

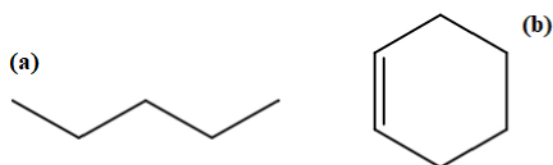
Hidrokarbon adalah senyawa paling sederhana yang terbentuk dari atom hidrogen dan atom karbon. Senyawa hidrokarbon dapat dikelompokkan menjadi dua yang berdasarkan pada jumlah ikatan antara atom karbon yaitu senyawa jenuh dan tidak jenuh. Pada senyawa hidrokarbon jenuh atom karbon dapat mengikat atom hidrogen secara maksimal atau semua ikatan karbon adalah ikatan tunggal (-C-C-). Senyawa yang tergolong dalam hidrokarbon jenuh adalah alkana. Sedangkan senyawa hidrokarbon tak jenuh merupakan senyawa yang mengandung ikatan rangkap dua antar atom karbon yang disebut dengan alkena (-C=C-) dan ikatan rangkap tiga antar karbon yang disebut dengan alkuna (-C≡C-) (Rachmawani *et al.*, 2017).

Alkana merupakan golongan hidrokarbon yang hanya mempunyai ikatan kovalen tunggal dengan rumus umum ( $C_nH_{2n+2}$ ). Alkana adalah senyawa non-polar yang dapat membakar dan menghasilkan karbon dioksida dan air. Alkana juga dapat dipecah secara termal menjadi senyawa hidrokarbon yang lebih kecil atau sebuah proses yang dikenal sebagai proses *cracking* atau perengkahan. Selain itu, alkana juga dapat mengalami reaksi halogenasi dengan klorin dengan adanya sinar matahari. Alkena adalah kelompok senyawa hidrokarbon tak jenuh dengan ikatan rangkap 2 pada atom C dengan rumus umum ( $C_nH_{2n}$ ) yang memiliki kemampuan untuk menerima lebih banyak molekul H untuk membentuk alkana. Alkuna adalah senyawa hidrokarbon yang mempunyai ikatan rangkap tiga dengan rumus ( $C_nH_{2n-2}$ ). Alkuna memiliki panjang ikatan yang lebih pendek daripada ikatan alkana dan alkena (Nius, 2021).



**Gambar 8.** (a) Struktur n-Heksana dan (b) Benzena (Nius, 2021)

n-heksana adalah senyawa hidrokarbon alifatik tak jenuh dengan rumus  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_3$  yang termasuk alkana dalam bentuk cairan beruap, tidak berwarna, mudah terbakar, larut dalam alkohol, eter dan aseton, tetapi tidak larut dalam air. Heksana dapat digunakan sebagai pelarut dan juga sebagai pengencer cat. Sedangkan benzena merupakan senyawa siklik dengan rumus  $\text{C}_6\text{H}_6$  yang berwujud seperti zat cair yang menyerupai minyak, tak berwarna, tidak larut dalam air namun dapat bercampur dengan zat cair organik, sangat mudah terbakar dan bersifat toxic (Nius, 2021).



**Gambar 9.** (a) Struktur Pentana dan (b) Sikloheksana (Nius, 2021)

Pentana adalah kelompok senyawa hidrokarbon jenuh dengan ikatan kovalen, tidak larut dalam air dan dapat terbakar menghasilkan karbon dioksida dan air. Sedangkan Sikloheksana mempunyai rumus molekul  $\text{C}_6\text{H}_{12}$  yang berwujud cair tak berwarna yang dapat digunakan sebagai pelarut dan penghilang cat (Nius, 2021). Senyawa hidrokarbon tidak memiliki warna serta memiliki bau yang relatif lemah namun memiliki manfaat bagi kehidupan sehari-hari salah satunya adalah propane dan butane yang dapat digunakan sebagai keperluan bahan bakar seperti LPG. Benzena yang dapat digunakan sebagai bahan baku sintesis. Namun, selain digunakan sebagai bahan bakar senyawa hidrokarbon dapat dimanfaatkan untuk keperluan lainnya seperti pentana yang dimanfaatkan untuk pembuatan pelarut organik maupun pembersih. Pakaian yang terbuat dari senyawa polimer seperti poliester, polietilena, dan nilon yang berasal dari senyawa hidrokarbon etilena, propilena, dan benzena (Nius, 2021).

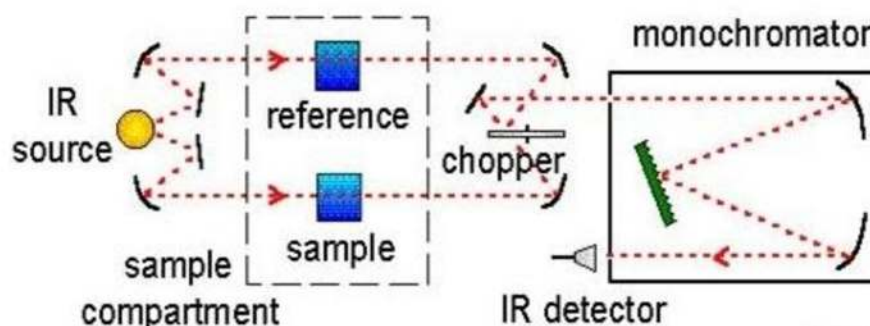
### 3.10. *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*

*Fourier Transform Infra-Red (FTIR)* merupakan alat yang digunakan untuk menentukan gugus fungsi dalam suatu senyawa kimia organik maupun anorganik secara kualitatif dan kuantitatif. Prinsip kerja dari FTIR adalah ketika suatu



senyawa menyerap absorpsi inframerah maka alat akan mendeteksi gugus fungsi yang terkandung dalam suatu senyawa tersebut. Pola serapan yang diserap oleh suatu senyawa akan bervariasi tetapi dapat dibedakan dan dikuantifikasi (Bunaciu *et al.*, 2015).

Sampel yang dikarakterisasi dengan FTIR menghasilkan data berupa bilangan gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ ). Bilangan gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ ) merupakan jumlah panjang gelombang yang dihasilkan tiap cm sehingga bilangan gelombang berbanding terbalik dengan panjang gelombang yang diserap oleh detektor. Sedangkan transmisi merupakan jumlah frekuensi yang melewati senyawa. Setiap sampel memiliki karakteristik tertentu yang dapat diidentifikasi dengan berbagai gugus fungsi yang terdapat dalam senyawa tersebut. Masing-masing dari gugus fungsi memiliki serapan spesifik pada bilangan gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ ) yang berbeda-beda (Sarroukh *et al.*, 2013).



**Gambar 10.** Skema Alat FTIR (Theophanides, 2014)

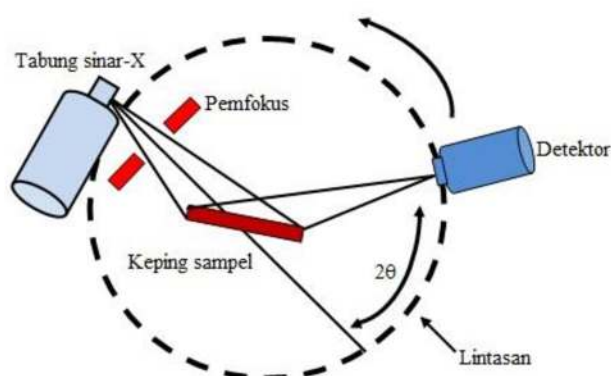
Interaksi yang terjadi dalam FTIR adalah interaksi antara materi dan energi, dimana ketika FTIR digunakan inframerah akan melewati celah sampel untuk mengontrol jumlah energi yang akan diberikan pada sampel. Beberapa inframerah akan diserap oleh sampel sedangkan inframerah yang tidak terserap oleh sampel akan menuju detektor dan dikirim ke komputer dalam bentuk sinyal untuk kemudian direkam dan hasil akhir yang diperoleh adalah spektra yang berisi bilangan gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ ) dan transmisi (%) (Nandiyanto *et al.*, 2019).

Nanopartikel Fe-Zn yang telah disintesis menggunakan FTIR menghasilkan spektrum inframerah yang berada di kisaran bilangan gelombang  $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$

yang mengidentifikasi ikatan kimia beserta dengan fungsional kelompok dalam senyawa. Bilangan gelombang  $3402\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus OH. Pada bilangan gelombang  $1645\text{-}1465\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya gugus C=O. Puncak tajam dalam spektrum FTIR dapat digunakan untuk menentukan elemen yang terkandung dalam Fe-Zn (Hoseini, 2018). Sedangkan hasil sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$  menggunakan FTIR didapatkan spektrum FTIR yang berada pada bilangan gelombang  $582,78\text{ cm}^{-1}$  dan  $620,21\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ikatan Fe-O. Pada bilangan  $3449,21\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ikatan OH dan pada bilangan gelombang  $1395,25\text{ cm}^{-1}$  dan  $1591,29\text{ cm}^{-1}$  yang merupakan karakteristik dari ikatan COO-Fe yang disebabkan oleh reaksi gugus radikal hidroksida pada permukaan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Kemudian pada bilangan gelombang  $449,96\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya ikatan Zn-O (Nikazar *et al.*, 2014).

### 3.11. X-Ray Diffraction (XRD)

*X-Ray Diffraction* (XRD) adalah alat untuk menentukan fase kristal suatu bahan dengan menentukan parameter struktur kisi dan partikel. Jika suatu sinar X ditembakkan pada suatu sampel padatan maka bidang kristal akan membiaskan sinar X tersebut yang memiliki panjang gelombang yang sama dengan jarak kisi dalam kristal (hukum Bragg). Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor lalu detektor akan membaca puncak intensitas yang akan ditampilkan dalam bentuk grafik yang berisi hubungan antara intensitas dan  $2\theta$  (Dewi Sartika & Lestari, 2018).



**Gambar 11.** Skema Alat XRD (Jamaluddin, 2010)

Prinsip kerja XRD adalah ketika sinar-X yang terdifraksi, hamburan cahaya dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) pada saat melewati kisi kristal dengan sudut datang ( $\theta$ ) dan jarak antar bidang kristal ( $d$ ). Hubungan antara jarak antar bidang dalam kristal dengan sudut difraksi dalam kristal dijelaskan dengan hukum Bragg dengan persamaan :

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

Keterangan :

$n$  : orde difraksi

$\lambda$  : panjang sinar X

$d$  : jarak kisi

$\theta$  : sudut difraksi

Ketika setiap atom dalam kristal dihubungkan dengan garis maka akan dihasilkan kisi yang dapat dibagi menjadi sebuah sel unit dan diperoleh satu set sumbu kristalografi yaitu tepi dari perpotongan salah satu unit. Indeks Miller merupakan kelompok tiga angka yang menunjukkan orientasi bidang dalam kristal. Penentuan kisi baris dari struktur kubik dapat menggunakan aturan seleksi  $h^2+k^2+l^2$  yaitu SC atau *simple cubic* (1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,...), BCC atau *body centered cubic* (2,4,6,8,10,12,14,16,...), dan FCC atau *face centered cubic* (3,4,8,11,12,16,19,20,24,...) (Alfarisa *et al.*, 2018).

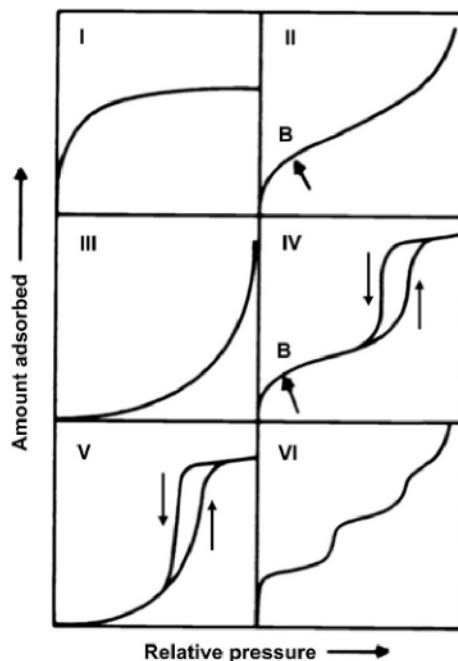
Didapatkan hasil analisis XRD nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO yaitu struktur kristal yang berbentuk trigonal (*hexagonal axes*) dengan puncak-puncak tertinggi untuk nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO yaitu pada  $2\theta$  : 31,73° ; 34,33° ; 36,21° ; 47,50° ; 56,39° ; 62,84° ; 66,27° ; 68,00° ; 69,11°. Puncak maksimum terdapat pada sudut  $2\theta = 36,21^\circ$  dan ukuran nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO adalah sebesar 49,20 nm (Siregar *et al.*, 2020). Sintesis nanopartikel Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZnO menggunakan XRD bertujuan untuk mengidentifikasi fase kristal dan untuk memperkirakan ukuran kristal. Pola XRD direkam dengan  $2\theta$  pada kisaran 40-85°. Hasil XRD menunjukkan bahwa Zn yang didoping dengan Fe adalah fase tunggal dengan struktur wurtzite heksagonal ZnO

dan fase spinel rhombohedral  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dengan ukuran kristal yang diperoleh berkisar sebesar 30-40 nm (Hoseini, 2018).

### 3.12. Gas Sorption Analyzer (GSA)

*Gas Sorption Analyzer* (GSA) merupakan perangkat yang dapat digunakan untuk mengukur sifat fisik material seperti luas permukaan, volume pori, jari-jari pori, dan distribusi pori. Prinsip kerja GSA adalah adsorpsi gas pada suatu permukaan sampel padat berpori dengan berbagai tekanan dan suhu isotherm ataupun suhu konstan. Penggunaan gas pada instrumen GSA bergantung pada jenis porinya, untuk pori-pori yang memiliki ukuran diameter  $< 20 \text{ \AA}$  (mikropori) menggunakan gas helium, untuk pori-pori yang memiliki ukuran diameter 20-500  $\text{ \AA}$  (mesopori) menggunakan gas nitrogen dan argon untuk pori-pori yang memiliki ukuran diameter  $> 500 \text{ \AA}$  (makropori) (Pujiono & Jourdhan, 2021).

Preparasi sampel pada GSA terbagi menjadi dua yaitu *degasser* dan *analyzer*. *Degasser* akan memberikan perlakuan awal berupa *degassing* pada padatan berpori sebelum dianalisis yang berfungsi untuk menghilangkan zat pengotor yang masih terperangkap pada permukaan padatan berpori. Proses ini dilakukan dengan cara memanaskan sampel yang terletak dalam sampel sel yang dihubungkan dengan port gas menggunakan mantel pemanas. Terdapat dua cara *degassing* yaitu *degassing flow* dan *degassing vakum*. Pada *degassing vakum* dilakukan dengan mengurangi tekanan sehingga zat-zat pengotor akan terlepas sedangkan *degassing flow* dilakukan dengan mengalirkan gas ke dalam sampel sel sehingga zat pengotor akan terdesak keluar. Proses *degassing* dilakukan selama 2-4 jam dengan suhu pemanasan 40-300  $^{\circ}\text{C}$ . Sampel sel yang telah terisi dengan bahan uji akan dihubungkan dengan port gas pada GSA lalu gas nitrogen cair akan dituangkan ke dalam termostat dan sampel akan otomatis terendam pada suhu yang konstan. Hubungan kedua akan otomatis diplot oleh *software* komputer dalam bentuk grafik volume gas (V) vs tekanan relatif ( $P/P_0$ ) (Marliyan *et al.*, 2022).



**Gambar 12.** Kurva Adsorpsi Isoterm (Yurdakal *et al.*, 2019)

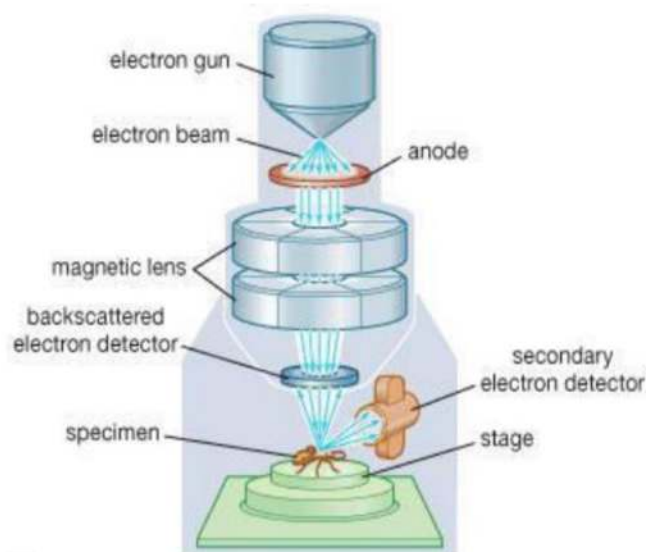
Pada Gambar 12, ditunjukkan enam tipe pori kurva adsorpsi isoterm. Tipe I menggambarkan adsorpsi yang terjadi pada tekanan relatif rendah menunjukkan jenis mikropori, tipe II dapat ditemukan pada adsorben berpori atau padatan makropori, tipe III menunjukkan kuantitas adsorben yang semakin tinggi saat tekanan bertambah tipe ini jarang sekali ditemukan. Tipe IV sering ditemukan pada padatan berpori, relatif terjadi pada tekanan rendah sampai menengah yang dihasilkan pada padatan adsorben yang berukuran mesopori, tipe V yaitu interaksi yang rendah antar adsorben dengan adsorbat dan tipe IV menunjukkan interaksi pada permukaan yang homogen (Yurdakal *et al.*, 2019).

Pada hasil GSA didapatkan luas permukaan (BET) dari Pd/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ZnO didapatkan sekitar 62,79 m<sup>2</sup>/g, volume pori BJH adsorpsi kumulatif luas permukaan pori 64,99 m<sup>2</sup>/g, ukuran pori BJH adsorpsi kumulatif volume pori 0,19 cm<sup>3</sup>/g, diameter pori rata-rata 12,95 nm dan distribusi ukuran pori sebesar 2,74 nm (Hosseini-Sarvari *et al.*, 2015). Sedangkan luas permukaan BET dari karbon aktif tanpa modifikasi diperoleh sebesar 164,2 m<sup>2</sup>/g (Harti *et al.*, 2014).



### 3.13. *Scanning Electron Microscope (SEM) dan Energi Dispersive X-Ray (EDX) Mapping*

*Scanning Electron Microscope (SEM)* digunakan untuk mengamati struktur mikro sampel, ukuran serbuk dan morfologinya. SEM akan menampilkan gambaran dan rincian dari permukaan suatu sampel dengan resolusi yang tinggi. Dalam SEM juga terdapat *Energi Dispersive X-Ray (EDX)* yang berfungsi untuk memeriksa komposisi kimia pada sampel dan *SEM Mapping* untuk mengetahui sebaran unsur dalam sampel. Prinsip kerja dari SEM yaitu ketika berkas elektron yang dipantulkan dengan energi yang tinggi akan mengenai permukaan sampel. Permukaan sampel yang terkena berkas elektron akan memantulkan kembali berkas elektron tersebut sehingga detektor pada SEM akan mendeteksi berkas elektron yang memiliki intensitas yang paling tinggi dan menentukan lokasi berkas elektron yang berintensitas tertinggi. Selanjutnya akan diperoleh informasi mengenai permukaan benda dengan program pengolah citra pada komputer (Sujatno *et al.*, 2015).



**Gambar 13.** Skema Alat SEM (Pambudi *et al.*, 2017)

Terdapat tiga komponen utama dalam SEM yaitu tiga pasang lensa elektromagnetik, sumber elektron dan *imaging detector*. Tiga pasang lensa elektromagnetik berfungsi untuk memfokuskan berkas elektron pada titik kecil, dan kemudian dua pasang pickup memindai permukaan sampel pada frekuensi yang

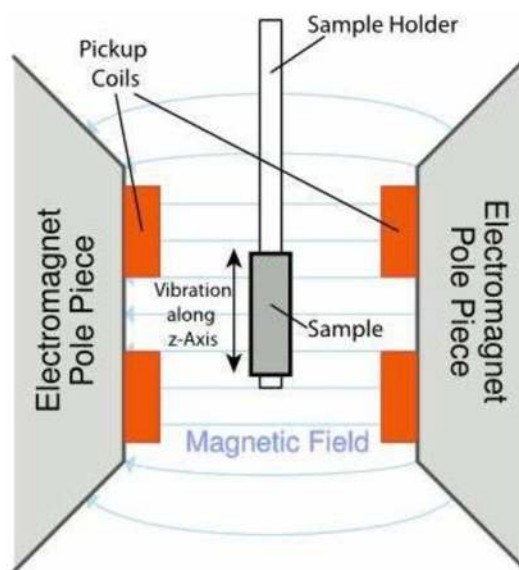
berbeda. Sumber elektron pada SEM berupa filamen berbahan kawat tungsten atau berupa jarum yang berfungsi untuk menyediakan berkas elektron dengan energi monokromatik. Lalu *imaging detector* berfungsi sebagai pengubah sinyal elektron menjadi gambar. Ada dua jenis detektor dalam SEM yaitu *Secondary Electron* (SE) dan *Backscattered Electron* (BSE). *Backscattered Electron* (BSE) terjadi ketika seberkas elektron di pindai di atas permukaan sampel menyebabkan interaksi antara elektron dan atom pada atau di bawah permukaan sampel. Interaksi tersebut menyebabkan elektron berhasil keluar kembali (BSE). Sebagian kecil elektron memasuki sampel dan mentransfer sebagian besar energi ke elektron atom untuk memantulkan dari permukaan sampel (SE) (Sujatno *et al.*, 2015).

Analisis dengan menggunakan SEM-EDX bertujuan untuk menentukan morfologi serta komposisi sampel nanopartikel. Hasil SEM-EDX dari komposit Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZnO menunjukkan bentuk permukaan yang tidak beraturan dengan ukuran partikel yang kecil dan sebaran yang merata serta terdapat unsur penyusunnya yang berupa Zn, Fe dan O yang masing-masing sebesar 22,62%, 54,84% dan 22,55% (Hoseini, 2018).

#### **3.14. *Vibrating Sample Magnetometry* (VSM)**

*Vibrating Sample Magnetometry* (VSM) adalah alat yang mempelajari sifat magnetik suatu bahan. Dalam fisika, sifat magnetik merupakan suatu peristiwa gaya tarik menarik atau menolak antara material dengan material lainnya. Gaya magnet merupakan gaya dasar yang terjadi akibat adanya gerakan muatan listrik. Sifat magnetik terbagi menjadi tiga macam yaitu feromagnetik yang merupakan benda-benda yang dapat ditarik dengan kuat oleh magnet, paramagnetik yang merupakan benda-benda yang lemah ketika ditarik oleh magnet dan diamagnetik merupakan benda-benda yang tidak dapat ditarik oleh magnet (Tebriani, 2019). Dengan VSM dimungkinkan untuk memperoleh informasi tentang besarnya sifat kemagnetan akibat perubahan medan magnet luar yang digambarkan oleh kurva histeresis, tentang sifat kemagnetan bahan, tentang perubahan suhu dan tentang sifat kemagnetan sebagai fungsi sudut pengukuran. VSM dapat digunakan untuk menentukan berbagai parameter karakteristik bahan magnet seperti magnetisasi

saturasi, remanensi dan koersivitas (Frandsen *et al.*, 2021). Prinsip kerja alat ini adalah dengan menggetarkan sampel dengan frekuensi dalam lingkungan medan magnet luas yang bervariasi. Getaran ini akan menimbulkan sinyal tegangan yang besarnya akan bergantung pada kemagnetan bahan dan sebagai hasil pengukuran akan diperoleh grafik atau kurva antara nilai momen magnetik bahan ( $M$ ) sebagai fungsi orientasi sampel dan medan magnet luar ( $H$ ) sebagai nilai fungsi medan magnet luar (Visscher *et al.*, 2013).

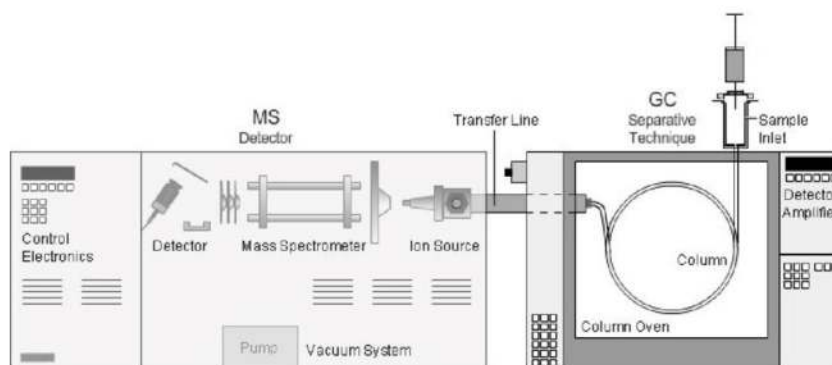


**Gambar 14.** Skema Alat VSM (Lubis & Mujamilah, 2017)

### 3.15. *Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)*

*Gas Chromatography Mass Spectrometry (GC-MS)* merupakan perpaduan antara dua instrumen yang dapat menghasilkan data karakterisasi untuk mengidentifikasi suatu senyawa yang dilengkapi dengan struktur molekulnya. *Gas Chromatography (GC)* berfungsi untuk mendeteksi jumlah senyawa yang terkandung dalam sampel sedangkan *Mass Spectrometry (MS)* untuk mengetahui jenis senyawa yang terkandung dalam sampel (Hotmian *et al.*, 2021)





**Gambar 15.** Skema Alat GC-MS (Setiabudi *et al.*, 2012)

Prinsip kerja dari GC-MS yaitu penguapan sampel dalam inlet injektor yang diinjeksikan ke dalam bagian atas dari kolom. Sampel yang telah berubah fase menjadi gas kemudian dibawa melalui kolom oleh gas pembawa yang bersifat *inert* atau fase gerak. Gas pembawa yang biasa digunakan adalah helium atau nitrogen sedangkan fase diamnya berupa padatan seperti alumina, silika atau bahan polimer berpori. Fasa diam berfungsi untuk memisahkan komponen senyawa yang berbeda sehingga menyebabkan tiap komponen keluar dari kolom dengan waktu yang berbeda. Pemisahan ini tergantung pada kuat interaksi yang berbeda antara senyawa dengan fase diamnya (Sheren *et al.*, 2015).

## BAB IV

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 4.1. Alat

Seperangkat alat gelas iwaki, oven Memmert, *heating mantle*, seperangkat alat *electric melting furnace*, seperangkat alat evaporasi EYELA OSB-2200, seperangkat alat konversi bioetanol, *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR) Perkin Elmer Spectrum Version 10.5.1, *Gas Sorption Analyzer* (GSA) Quantachrome, *X-Ray Diffraction* (XRD) Bruker D2 Phaser, *Scanning Electron Microscopy* (SEM-EDX) *Mapping* Phenom Pro-X, *Vibrating Sample Magnetometry* (VSM) dan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) ShimadzuQP2010 SE.

#### 4.2. Bahan

Limbah kulit nanas, ragi, karbon aktif, kalium hidroksida (KOH) 30%, asam nitrat (HNO<sub>3</sub>) pekat, besi (III) klorida heksahidrat (FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O) 0,35 M, besi (II) sulfat heptahidrat (FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O) 0,35 M, seng oksida (ZnO) 0,35 M, etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) p.a Merck, natrium hidroksida (NaOH) 25%, akuades, akuabides, gas nitrogen, gas hidrogen, kertas saring, kertas saring whatman dan pH *universal*.

#### 4.3. Cara Kerja Penelitian

##### 4.3.1. Pembuatan Bioetanol dari Kulit Nanas

Sebanyak 5 kilogram kulit nanas madu dihaluskan dengan menggunakan blender dan ditambahkan dengan air hingga kulit nanas terendam oleh air dan mengental. Kulit nanas yang sudah dihaluskan dimasukkan ke dalam wadah besar lalu ditambahkan 22 gram ragi lalu diaduk hingga homogen dan ditutup rapat. Setelah itu, didiamkan selama 8 hari dan disaring menggunakan kain sehingga diperoleh perbandingan antara hasil filtrat dan endapan sebesar 2 : 1. Kemudian filtrat yang diperoleh dimasukkan ke dalam wadah dan ditutup rapat. Setelah itu, filtrat dievaporasi selama 1,5 jam pada suhu 70 °C. Hasil evaporasi dimasukkan ke dalam botol dan ditutup rapat.

Adapun cara pada saat melakukan evaporasi yaitu pertama hubungkan kabel rotary evaporator, pompa vakum dan pompa air ke saluran listrik lalu pastikan

penangas terisi air (aquades) dengan cukup. Pasang labu penampung dengan klem ulir (*stainless*) lalu labu diisi dengan sampel yang akan dievaporasi maksimal  $\frac{3}{4}$  volume labu dan pasang klem merah (plastik). Turunkan labu sampel dengan menekan panel ke arah “DOWN” hingga labu tercelup dengan penangas air. Kemudian nyalakan tombol power dan tombol pemanas (suhu). Atur suhu (suhu di atas titik didih senyawa yang diuapkan) dan juga atur kecepatan putaran. Lalu nyalakan pompa vakum dan pastikan lubang gas pada ujung pendingin dalam keadaan tertutup.

#### **4.3.2. Proses Aktivasi Karbon Aktif**

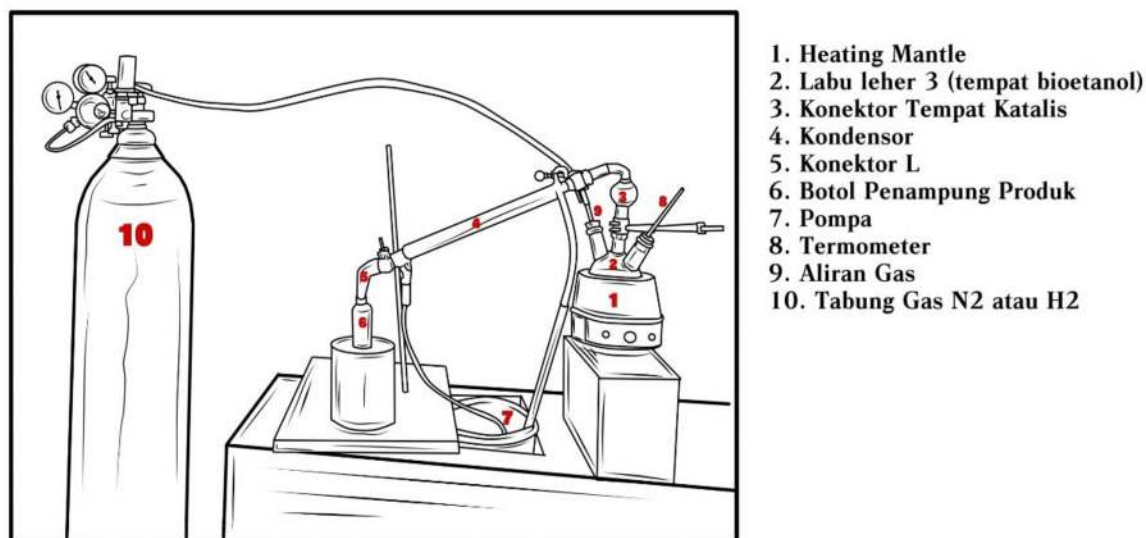
Karbon aktif yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya kemudian disaring dengan menggunakan saringan mesh 14 dan 16 lalu ditimbang sebanyak 30 gram kemudian direndam dengan KOH 30% dan diaduk stirer pada suhu 60-70 °C selama 4 jam yang merupakan proses aktivasi. Hasil dari proses aktivasi tersebut kemudian disaring menggunakan kertas saring biasa lalu dibilas dengan aquades sebanyak 2 kali dan didiamkan selama 24 jam. Setelah itu, dilakukan perendaman karbon aktif dengan 100 mL HNO<sub>3</sub> pekat selama 2 jam lalu disaring dan dibilas dengan akuabides. Selanjutnya karbon aktif dipirolisis pada suhu 250 °C selama 2 jam. Kemudian dilakukan penimbangan kembali untuk mengetahui berat hasil.

#### **4.3.3. Pembuatan Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/Karbon aktif**

Proses pembuatan komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/Karbon aktif menggunakan metode presipitasi. Ditimbang 14,49 gram FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O, 13,9 gram FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, 16,425 gram ZnO dan 15 gram karbon aktif lalu dicampurkan semua bahan ke dalam gelas beker lalu ditambahkan dengan 100 mL akuabides dan 25 mL etanol (4:1) lalu diaduk menggunakan stirer selama 1 jam dengan suhu 70 °C. Ditambahkan NaOH 25% hingga mencapai pH 9 kemudian dibilas dengan akuabides dan dikeringkan menggunakan oven pada suhu 110 °C. Ditimbang komposit untuk mendapatkan berat hasil kemudian dilanjutkan dengan pirolisis menggunakan gas hidrogen (H<sub>2</sub>) selama 3 jam pada suhu 600 °C. Setelah itu, dilakukan penimbangan kembali untuk mengetahui berat hasil lalu dilanjutkan dengan karakterisasi menggunakan FTIR, XRD, GSA, SEM-EDX *Mapping*, dan VSM.

#### 4.3.4. Konversi Bioetanol dengan Gas Nitrogen (N<sub>2</sub>)

Proses konversi bioetanol dilakukan di dalam sebuah reaktor labu leher 3 yang diisi dengan bioetanol kulit nanas dan komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif dalam konektor L lalu dialirkan gas nitrogen (N<sub>2</sub>) dengan laju alir nitrogen 2 mL/menit. Kemudian dipanaskan reaktor dengan variasi suhu yaitu 120 °C, 140 °C, dan 160 °C lalu dialirkan air ke dalam kondensor. Proses konversi bioetanol dilakukan selama ± 45 menit. Setelah ± 45 menit diperoleh hasil dari proses konversi bioetanol kemudian hasil dari proses konversi bioetanol di karakterisasi dengan menggunakan GC untuk mendeteksi jumlah senyawa yang terkandung dalam produk dan MS untuk mengetahui jenis senyawa yang terkandung dalam produk.



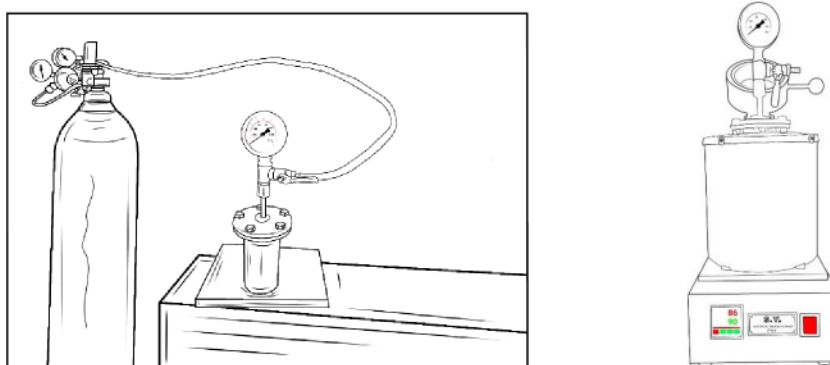
**Gambar 16.** Rangkaian Proses Konversi Bioetanol Dengan Labu Leher 3

#### 4.3.5. Konversi Bioetanol dengan Gas Hidrogen (H<sub>2</sub>) dengan Variasi Metode, Waktu, Massa Sampel Dan Suhu

Proses konversi bioetanol dengan metode pertama dilakukan di dalam sebuah reaktor labu leher 3 yang diisi dengan bioetanol kulit nanas dan komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif sebanyak 1,5 gram, 3 gram dan 4,5 gram dalam konektor L lalu dialirkan gas hidrogen (H<sub>2</sub>) dengan laju alir hidrogen 1 mL/menit. Kemudian dipanaskan reaktor hingga suhu yaitu 105 °C dengan dialirkan air ke dalam kondensor. Proses konversi bioetanol dilakukan selama ± 45 menit. Setelah ± 45 menit didapatkan hasil dari proses konversi bioetanol kemudian hasil dari proses

konversi bioetanol di karakterisasi dengan menggunakan GC untuk mendeteksi jumlah senyawa yang terkandung dalam produk dan MS untuk mengetahui jenis senyawa yang terkandung dalam produk.

Proses konversi bioetanol dengan metode kedua dilakukan di dalam sebuah reaktor yang diisi dengan bioetanol kulit nanas dan komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif sebanyak 1,5 gram dan 3 gram yang dicampurkan dengan bioetanol kulit nanas dalam reaktor. Lalu dialirkan gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ) dengan laju alir hidrogen 1 mL/menit ke dalam reaktor selama 10 menit. Kemudian reaktor dipanaskan hingga variasi suhu yang diinginkan yaitu  $75\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $90\text{ }^\circ\text{C}$  dan  $105\text{ }^\circ\text{C}$  selama 1 jam. Setelah 1 jam dipanaskan lalu reaktor diinginkan dan dipisahkan antara minyak yang diperoleh dengan komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif. Kemudian hasil minyak yang diperoleh di karakterisasi dengan menggunakan GC untuk mendeteksi jumlah senyawa yang terkandung dalam produk dan MS untuk mengetahui jenis senyawa yang terkandung dalam produk.



**Gambar 17.** Rangkaian Proses Konversi Bioetanol Dengan Reaktor

## BAB V

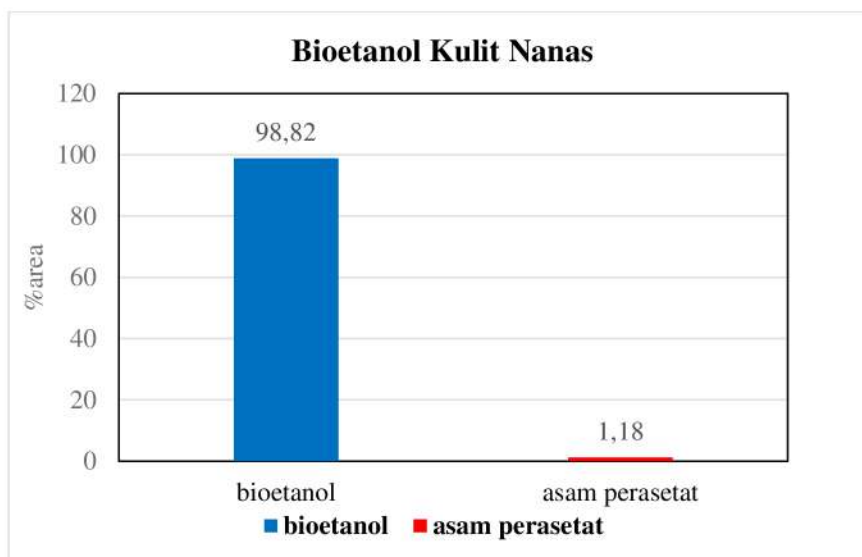
### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1. Bioetanol dari Kulit Nanas

Pada tahap awal, disiapkan sebanyak 5 kg limbah kulit nanas yang sudah dipisahkan dengan limbah daun nanas. Selanjutnya, limbah kulit nanas dihaluskan dengan menggunakan blender untuk memperbesar luas permukaan dengan ditambahkan air sedikit demi sedikit untuk mempermudah pada saat proses penghalusan kulit nanas. Kulit nanas yang sudah dihaluskan dimasukkan ke dalam wadah lalu ditambahkan ragi sebanyak 22 gram untuk mendegradasi gula menjadi bioetanol. Setelah penambahan ragi ke dalam wadah kemudian diaduk agar homogen dan ditutup rapat agar tidak ada udara yang masuk ke dalam wadah sehingga proses fermentasi dapat berjalan sempurna. Selanjutnya dibiarkan selama 8 hari untuk memperoleh kadar etanol yang maksimal. Waktu yang digunakan dalam proses fermentasi berpengaruh pada hasil yang diperoleh dimana semakin lama waktu fermentasi maka bioetanol yang dihasilkan akan meningkat namun jika waktu fermentasi terlalu lama maka nutrisi dalam substrat akan habis sehingga ragi tidak lagi dapat memfermentasi kulit nanas sedangkan jika waktu fermentasi lebih cepat bioetanol yang dihasilkan lebih sedikit dan kurang maksimal. Setelah itu, kulit nanas yang sudah difermentasi selama 8 hari disaring menggunakan kain lap untuk memisahkan antara ampas kulit nanas dengan bioetanol. Fermentasi bioetanol kulit nanas dilakukan selama 8 hari karena berdasarkan penelitian yang telah dilakukan (Setiawati *et al.*, 2016) menyatakan bahwa kadar etanol yang diperoleh dari hasil fermentasi mengalami kenaikan dan mencapai hasil yang optimum pada hari ke-8 yaitu sebanyak 8,90%.

Bioetanol yang dihasilkan kemudian dievaporasi selama 1,5 jam untuk memisahkan campuran etanol dan air pada suhu 70 °C. Pada saat dilakukan evaporasi bioetanol kulit nanas digunakan suhu 70 °C karena merupakan suhu optimum yang digunakan untuk menguapkan etanol kulit nanas terlebih dahulu daripada air. Uap etanol dialirkan melalui pipa yang terendam air sehingga akan terkondensasi dan kembali menjadi etanol cair. Kemudian etanol hasil evaporasi

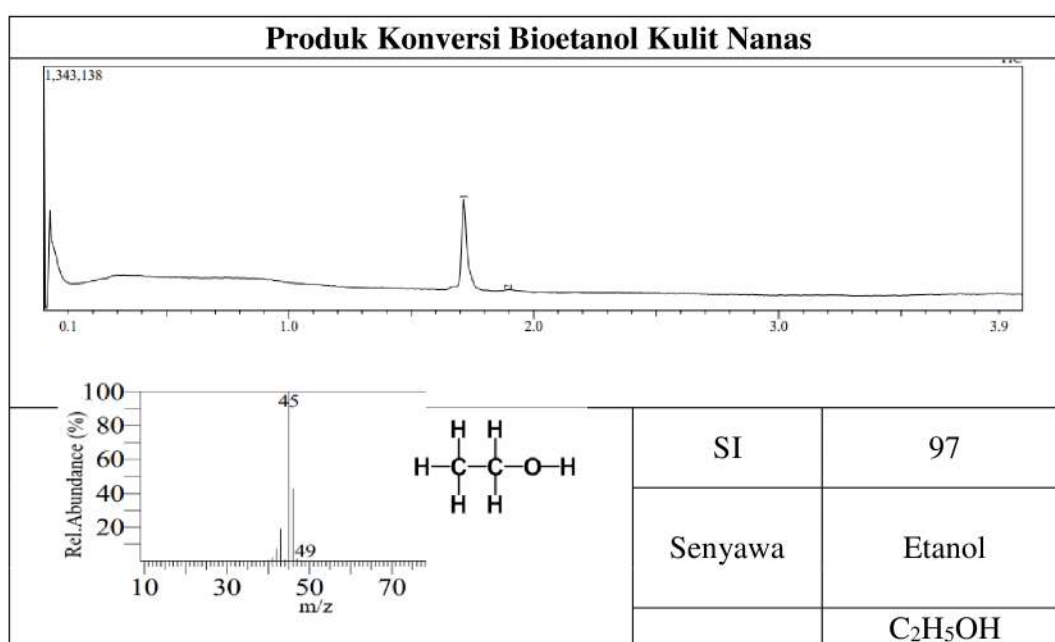
dimasukkan ke dalam botol dan ditutup rapat dan disimpan dalam kulkas untuk menjaga agar etanol tidak mudah menguap.



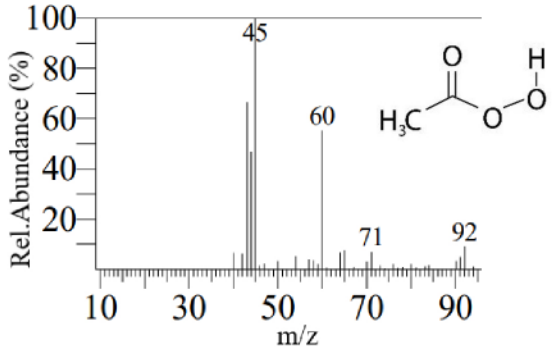
**Gambar 18.** Bioetanol Kulit Nanas

Berdasarkan kurva yang ditunjukkan pada Gambar 18 identifikasi hasil evaporasi bioetanol kulit nanas dengan menggunakan GCMS menghasilkan kromatogram sebagai berikut :

**Tabel 2.** Persebaran Senyawa Pada Hasil Evaporasi Bioetanol Kulit Nanas





	Rumus Molekul	
	Waktu Retensi (menit)	1,714
	%area	98,82
	SI	72
	Senyawa	Asam Perasetat
	Rumus Molekul	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O <sub>3</sub>
	Waktu Retensi (menit)	1,896
	%area	1,18

Berdasarkan kromatogram yang ditunjukkan pada Tabel 2, hasil evaporasi bioetanol kulit nanas menghasilkan dua puncak. Pada puncak pertama memiliki waktu retensi 1,714 menit dengan %area sebesar 98,82% dan memiliki indeks kemiripan/*similarity index* (SI) = 97 yang merupakan senyawa etanol dengan rumus molekul C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>O sedangkan pada puncak kedua memiliki waktu retensi 1,896 menit dengan %area sebesar 1,18% dan memiliki indeks kemiripan/*similarity index* (SI) = 72 yang merupakan senyawa asam perasetat dengan rumus molekul C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>3</sub>. Asam perasetat dapat terbentuk akibat adanya reaksi yang sebelumnya. Etanol yang mengalami reaksi oksidasi akan berubah menjadi aldehid dan jika reaksi berlanjut maka akan berubah menjadi asam karboksilat dengan adanya bantuan dari oksidator.

## 5.2. Aktivasi Karbon Aktif

Sebelum dilakukan proses aktivasi, karbon aktif yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya, disaring terlebih dahulu untuk memperhalus bentuk karbon agar berbentuk serbuk. Setelah disaring kemudian karbon aktif ditimbang dan



diimpregnasi dengan KOH 30% yang berfungsi sebagai *activating agent* yang bertujuan agar proses aktivasi dapat lebih terkontrol sehingga pori-pori yang terbentuk lebih banyak sehingga luas permukaan karbon aktif yang didapatkan lebih besar. Kemudian diaduk dengan stirrer pada suhu 60 – 70 °C untuk membantu mempercepat terjadinya proses aktivasi. Suhu yang digunakan merupakan suhu dibawah titik didih dari KOH dimana titik didih KOH yaitu 360 °C. Jika suhu yang digunakan untuk mengaduk terlalu tinggi maka akan merusak senyawa yang terkandung dalam karbon aktif sedangkan jika suhu yang digunakan terlalu rendah maka reaksi yang berlangsung akan lebih lambat. Setelah itu, hasil dari proses aktivasi tersebut disaring untuk memisahkan antara endapan dan filtrat. Endapan yang diperoleh kemudian dibilas dengan menggunakan aquades sebanyak 2 kali untuk menetralkan pH sampel.

Tahap selanjutnya, karbon aktif direndam dengan 100 mL HNO<sub>3</sub> pekat selama 2 jam untuk menambahkan gugus fungsi dan melarutkan logam yang masih terkandung dalam karbon aktif kemudian disaring dan dibilas dengan akuabides untuk memisahkan antara endapan dan untuk menangkap logam yang masih tersisa sehingga filtrat yang diperoleh lebih murni. Selanjutnya, karbon aktif didiamkan hingga kering untuk menghilangkan kadar air. Terakhir karbon aktif dipirolisis pada suhu 250 °C selama 2 jam yang berfungsi untuk membentuk struktur pori sehingga menghasilkan pori yang berupa ruang kosong serta diperoleh hasil akhir berupa karbon aktif bukan arang dengan menggunakan aliran gas nitrogen untuk membantu membuka pori-pori karbon aktif serta untuk menjaga agar karbon aktif tidak hangus. Hasil dari pirolisis diperoleh karbon aktif sebanyak 15 gram dalam bentuk serbuk kering.

### **5.3. Sintesis Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/Karbon Aktif**

Sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/Karbon Aktif dilakukan dengan mencampurkan antara besi (III) klorida heksahidrat sebanyak 14,49 gram, 13,9 gram besi (II) sulfat heptahidrat, 16,425 gram seng oksida dengan perbandingan mol (1:1:1) dan 15 gram karbon aktif yang berfungsi sebagai penyangga katalis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO kemudian dilarutkan dalam 100 mL akuabides dan 25 mL etanol yang berfungsi sebagai

pemecah tegangan permukaan (memperkecil sudut kontak) dan bertujuan untuk mengikat logam Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO pada karbon aktif sehingga dapat terkomposit dengan baik serta campuran akan lebih homogen. Kemudian campuran diaduk dan dipanaskan pada suhu 70 °C. Ditambahkan NaOH 25% tetes demi tetes untuk memberikan suasana basa hingga mencapai pH 9 dan terbentuk endapan berwarna coklat. Endapan yang dihasilkan selanjutnya dioven pada suhu 110 °C untuk mendapatkan komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif dalam bentuk bubuk serta untuk menghilangkan kadar air yang masih terkandung dalam komposit.

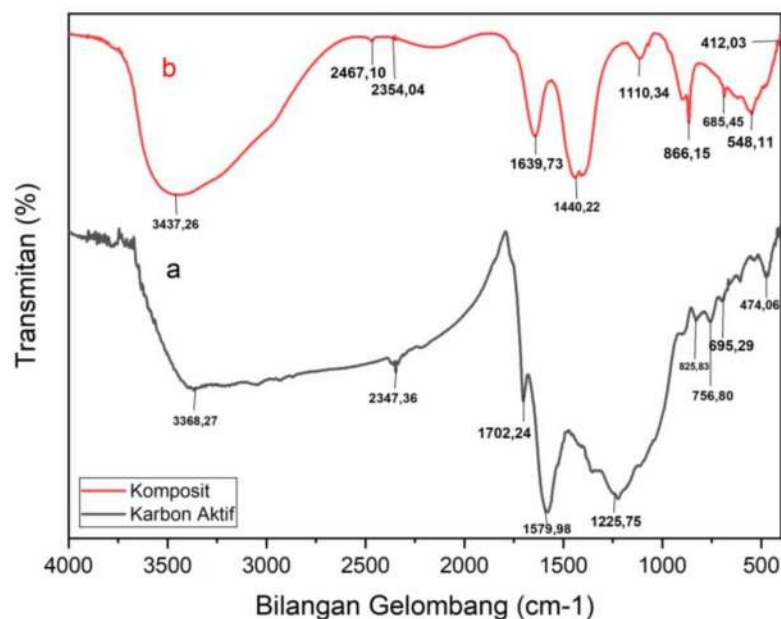
Reaksi terbentuknya Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dapat ditunjukkan pada persamaan berikut:



Tahap selanjutnya, dilakukan pirolisis selama 3 jam pada suhu 600 °C dengan gas hidrogen (H<sub>2</sub>) untuk membantu membuka pori-pori karbon serta menjaga sampel tidak hangus dan tidak menjadi arang. Kemudian diamati perubahan warna yang terjadi yaitu diperoleh hasil akhir berwarna hitam pekat berbentuk granular dengan berat 60 gram. Lalu komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif dikarakterisasi dengan menggunakan *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*, *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Gas Sorption Analyzer (GSA)*, *Scanning Electron Microscopy (SEM)* *Energi Dispersive X-Ray (EDX) Mapping* dan *Vibrating Sample Magnetometry (VSM)*.

#### **5.4. Karakterisasi Menggunakan FTIR**

Karakterisasi karbon aktif dan komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif dengan menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada karbon aktif dan komposit. Hasil karakterisasi karbon aktif dan komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif dapat dilihat pada Gambar 19.



**Gambar 19.** Serapan Gugus Fungsi pada (a) Karbon Aktif dan (b) Komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$

**Tabel 3.** Gugus Fungsi Karbon Aktif dan Komposit

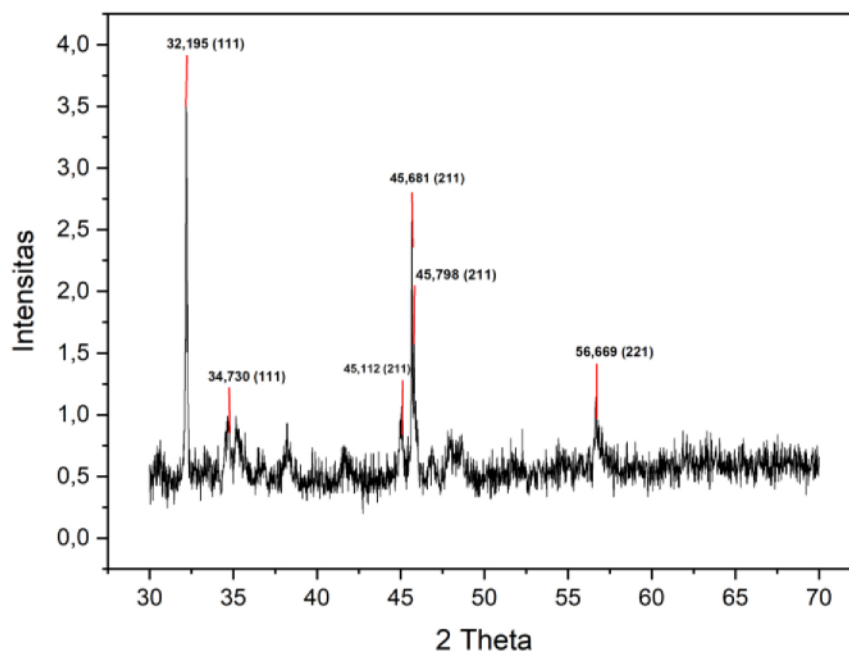
Ikatan	Frekuensi Serapan ( $\text{cm}^{-1}$ )	
	Karbon Aktif	$\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$
O-H	3368,27	3437,26
Alkuna	2347,36	2354,04
C=O	1702,24	1639,73
C-O	1225,75	1110,34
C-H Aromatik	695,29	866,15
C=C	1579,98	2467,10
Fe-O Tetrahedral	-	548,11
Fe-O Oktahedral	-	412,03
Zn-O	-	866,15

Hasil karakterisasi karbon aktif dan komposit menggunakan FTIR menunjukkan bahwa pada karbon aktif muncul serapan gugus fungsi O-H dengan bilangan gelombang  $3368,27 \text{ cm}^{-1}$  dan untuk  $3437,26 \text{ cm}^{-1}$  untuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/karbon aktif}$ . Gugus O-H merupakan karakterisasi vibrasi gugus hidroksi dari molekul air, alkohol dan karboksilat yang terdapat pada permukaan karbon dan komposit. Pada bilangan gelombang  $2347,36 \text{ cm}^{-1}$  untuk karbon aktif dan  $2354,04 \text{ cm}^{-1}$  untuk komposit yang menunjukkan adanya serapan gugus fungsi alkuna. Pada

bilangan gelombang  $1702,24 \text{ cm}^{-1}$  untuk karbon aktif dan  $1639,73 \text{ cm}^{-1}$  untuk komposit yang menunjukkan adanya serapan gugus fungsi C=O yang merupakan gugus khas yang terdapat pada karbon aktif. Serapan gugus fungsi C-O muncul pada bilangan gelombang  $1225,75 \text{ cm}^{-1}$  untuk karbon aktif dan  $1110,34 \text{ cm}^{-1}$  untuk komposit. Serapan gugus fungsi C-H aromatik pada karbon aktif muncul pada bilangan gelombang  $695,29 \text{ cm}^{-1}$  sedangkan pada komposit muncul pada bilangan gelombang  $866,15 \text{ cm}^{-1}$ . Pada karbon aktif terdapat serapan gugus fungsi C=C pada bilangan gelombang  $1579,98 \text{ cm}^{-1}$  sedangkan pada komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif terdapat pada bilangan gelombang  $2467,10 \text{ cm}^{-1}$ . Berdasarkan hasil penelitian (Zou *et al.*, 2017) menunjukkan adanya ikatan Fe-O tetrahedral pada panjang gelombang  $637,48 \text{ cm}^{-1}$  hingga  $582,78 \text{ cm}^{-1}$ , ikatan Fe-O oktahedral pada panjang gelombang  $537,14 \text{ cm}^{-1}$  hingga  $412,03 \text{ cm}^{-1}$  dan ikatan Zn-O pada panjang gelombang  $867,15 \text{ cm}^{-1}$  hingga  $537,14 \text{ cm}^{-1}$ . Pada komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif terdapat ikatan logam oksida Fe-O tetrahedral yang muncul pada bilangan gelombang  $548,11 \text{ cm}^{-1}$ . Serapan gugus fungsi Fe-O oktahedral muncul pada bilangan gelombang  $412,03 \text{ cm}^{-1}$  dan ikatan Zn-O terdapat pada bilangan gelombang  $866,15 \text{ cm}^{-1}$  untuk komposit. Terdapat perbedaan kandungan gugus fungsi yang terdapat pada karbon aktif dan komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif. Munculnya ikatan logam oksida Fe-O dan Zn-O pada komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif tersebut menandakan bahwa logam yang diembankan membentuk ikatan dengan atom O pada permukaan karbon sehingga dapat disimpulkan bahwa  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$  berhasil diembankan dalam karbon aktif selain itu menunjukkan juga bahwa sintesis  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$  yang dilakukan dengan metode kopresipitasi berhasil dilakukan.

### 5.5. Karakterisasi Menggunakan XRD

Dilakukan karakterisasi komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD) bertujuan untuk mengetahui struktur kristal, nilai hkl, ukuran kristal, serta jarak antar kisi satuan kristal yang didapat dari nilai  $2\theta$ . Difraktogram komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif hasil XRD ditunjukkan pada Gambar 20.



**Gambar 20.** Hasil Difraktogram Komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon Aktif

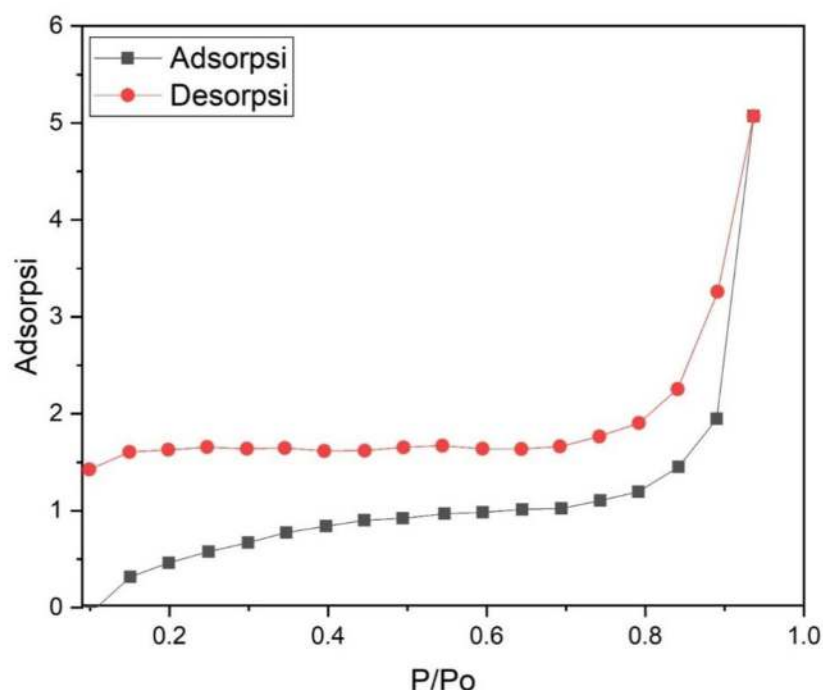
Berdasarkan difraktogram yang ditunjukkan pada Gambar 20 menjelaskan bahwa pada komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif memiliki 6 puncak tertinggi yaitu pada  $2\theta$   $32,195^\circ$  [111],  $2\theta$   $34,730^\circ$  [111], dan  $2\theta$   $56,669^\circ$  [221] yang merupakan bidang dari ZnO dan  $2\theta$   $45,112^\circ$  [211],  $2\theta$   $45,681^\circ$  [211],  $2\theta$   $45,798^\circ$  [211] yang merupakan bidang dari komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif (Permata *et al.*, 2016). Struktur amorf yang ditunjukkan dengan tidak adanya puncak yang tajam atau puncak yang lebih melandai yang terbentuk karena rusaknya struktur kristal dari selulosa akibat proses aktivasi (Wei *et al.*, 2019). Ukuran kristal dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan *Debye Scherrer* yang digunakan untuk menentukan nilai hkl sehingga dapat diperoleh satuan kristal (a) dan juga ukuran kristal (D) dan diperoleh ukuran kristal (D) rata-rata komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif sebesar 96,448 nm yang menunjukkan bahwa ukuran kristal komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif adalah kurang dari 100 nm. Jarak kisi yang diperoleh dari masing-masing puncak yaitu 2,77809 Å; 1,98444 Å; 1,97967 Å; 1,62299 Å; 2,00814 Å; dan 2,58094 Å.

Keberadaan dari logam  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan ZnO yang dapat digunakan untuk mendoping permukaan karbon aktif sehingga dapat mempengaruhi perbedaan

tingkat kristalinitas dari struktur karbon aktif dan logam. Struktur yang terbentuk merupakan hasil pada saat proses sintesis yang terjadi secara tidak sempurna karena terdapat senyawa pengotor yang ikut terbawa serta penyebaran  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan  $\text{ZnO}$  yang terjadi secara tidak merata. Berdasarkan difraktogram yang ditunjukkan pada Gambar 20 menunjukkan bahwa puncak-puncak yang terbentuk dengan tajam merupakan logam  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - $\text{ZnO}$  sedangkan puncak-puncak yang terbentuk dengan landai serta tidak beraturan merupakan karbon aktif.

### 5.6. Karakterisasi Menggunakan GSA

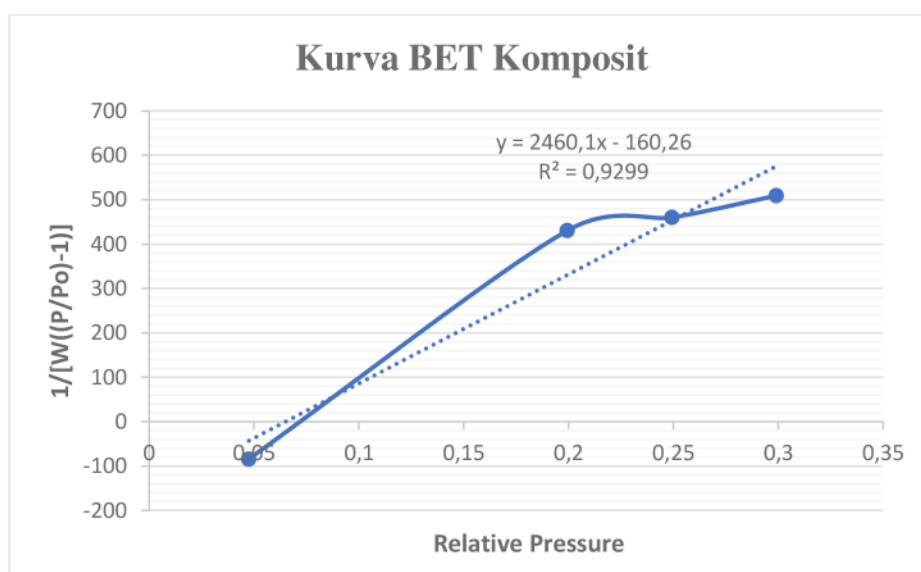
Karakterisasi komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - $\text{ZnO}$ /karbon aktif dengan menggunakan GSA bertujuan untuk mengetahui luas permukaan area dengan menggunakan metode *Brunauer Ellmet Teller* (BET) dan untuk mengetahui ukuran pori dan volume pori dengan menggunakan metode *Barret Joyner Hallenda* (BJH), serta untuk mengetahui kurva isoterm yang dihasilkan. Kurva isoterm komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - $\text{ZnO}$ /karbon aktif ditunjukkan pada Gambar 21.



**Gambar 21.** Kurva Isoterm Adsorpsi Desorpsi Komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ - $\text{ZnO}$ /Karbon Aktif



Pada Gambar 21 menunjukkan adsorpsi-desorpsi pada komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ZnO/karbon aktif termasuk ke dalam kurva isoterm tipe II dan IV yang menunjukkan adanya struktur makropori dan mesopori. Pada plot adsorpsi meningkat tajam pada tekanan yang relatif lebih tinggi yang terkait dengan struktur makropori. Sedangkan pada plot desorpsi memiliki *loop histeresis* jelas yang menunjukkan multilayer dengan kondensasi kapiler yang menunjukkan bahwa adanya mesopori (Yurdakal *et al.*, 2019). Komposit memiliki ukuran pori 16,16 nm dengan ukuran rata-rata pori sebesar 10,38 nm dan volume total pori sebesar 0,0078 cc/g. Kombinasi plot adsorpsi dan desorpsi pada material komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ZnO/karbon aktif menunjukkan adanya 2 tipe pori dalam komposit yang berkombinasi yaitu makropori dan mesopori sehingga dapat disimpulkan bahwa dalam komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ZnO/karbon aktif terdapat pori dengan ukuran yang tidak seragam. Hasil kombinasi plot adsorpsi dan desorpsi menunjukkan bahwa bentuk ujung yang terbuka pada tekanan relatif rendah yang disebabkan karena adanya pembakaran yang tidak sempurna pada saat proses pirolisis sehingga menyebabkan penyusutan pori selama proses desorpsi. Selain itu, terdapat faktor lainnya yaitu suhu yang digunakan pada saat proses pemanasan komposit terlalu tinggi yang menyebabkan pori-pori akan lebih terbuka sehingga akibatnya daya serap komposit menjadi lebih rendah (Maslukah *et al.*, 2020).

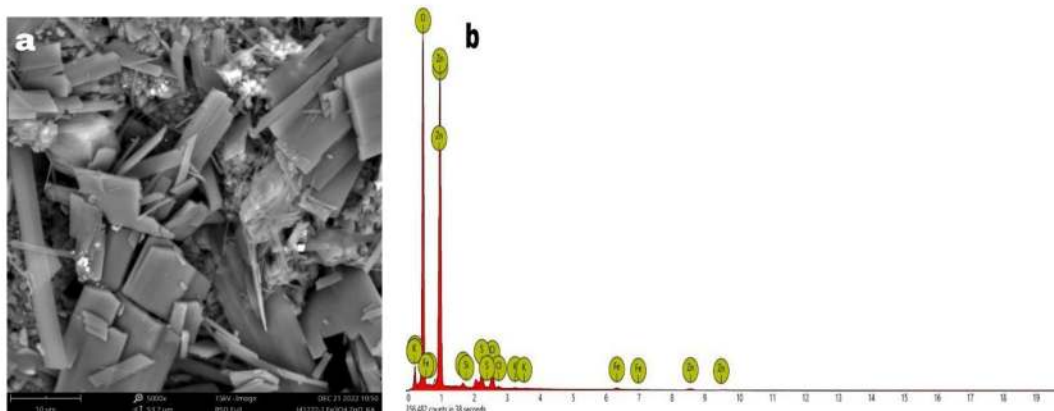


**Gambar 22.** Kurva BET Komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ZnO/Karbon Aktif

Berdasarkan kurva BET komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif diperoleh nilai slope sebesar 2460,1 dan nilai intersep sebesar -160,26 dengan nilai koefisien relasi ( $R^2$ ) yaitu 0,9299 sehingga diperoleh nilai konstanta BET sebesar -14,3503. Berat gas nitrogen yang teradsorp monolayer yaitu sebesar 0,0004. Dari kurva BET diatas diperoleh luas permukaan dari komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif yaitu sebesar 1,514  $\text{m}^2/\text{g}$ . Luas permukaan yang kecil dapat dipengaruhi karena adanya penambahan logam  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang dapat menutup permukaan karbon aktif sehingga terdapat ruang diantara partikel yang masih tersisa yang membuat luas permukaan menjadi lebih rendah. Selain itu, pada logam  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  terdapat elektron yang berpasangan yang dapat menyebabkan putusnya ikatan utama C-O alkohol yang menjadikan logam  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  bertindak sebagai situs asam lewis.

### 5.7. Karakterisasi Menggunakan SEM-EDX Mapping

Karakterisasi komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif yang dilakukan dengan menggunakan SEM-EDX *mapping* bertujuan untuk mengetahui morfologi dari permukaan sampel komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif dengan perbesaran 5000 kali serta untuk mengetahui kandungan unsur dan juga sebaran unsur yang terdapat dalam komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif. Hasil analisis dan karakterisasi komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif menggunakan SEM dapat ditunjukkan pada Gambar 23.



**Gambar 23.** (a) Morfologi Permukaan dari Komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon Aktif, (b) Spektrum EDX dari Komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon Aktif





**Gambar 24.** Sebaran Unsur pada Komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$

**Tabel 4.** Spektrum EDX Komposisi Unsur Komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$

Unsur	Konsentrasi (%)
O	52,84
Na	26,61
C	17,04
Cl	1,11
S	1,08
Zn	0,78
Fe	0,26
Si	0,22
K	0,07

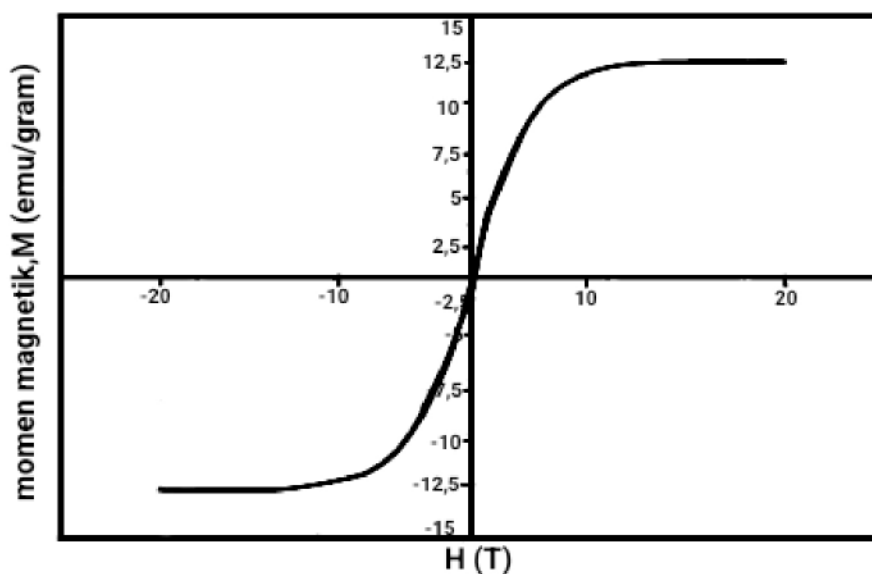
Pada gambar 23a merupakan hasil karakterisasi SEM dari komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/karbon aktif}$  yang dilakukan dengan perbesaran 5000 kali yang bertujuan untuk mengetahui bentuk morfologi dan pori-pori yang terbentuk dari komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/karbon aktif}$ . Hasil karakterisasi SEM dari komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$  yang terembankan pada karbon aktif menghasilkan pori-pori komposit yang berbentuk seperti bongkahan batang sebagai pori yang tak beraturan dan tersebar pada

permukaan komposit. Adanya proses pirolisis yang dilakukan menyebabkan terbentuknya pori-pori dalam komposit selain itu penggunaan aktivator KOH juga dapat menghasilkan pori-pori yang besar dalam komposit (Erlina *et al.*, 2015). Untuk mengetahui persentase dari komposisi masing-masing unsur yang terkandung dalam komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif analisis SEM dibantu dengan menggunakan EDX yang tertera pada Tabel 4 dan Gambar 23b, sedangkan pada Gambar 24 merupakan hasil pengujian yang dilakukan dengan menggunakan *mapping* untuk mengetahui sebaran unsur yang terkandung dalam komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif. Pada komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif terdapat beberapa unsur yang terkandung di dalamnya seperti yang tertera pada Tabel 4 dan Gambar 23b diantaranya adalah oksigen (O), natrium (Na), karbon (C), klorin (Cl), sulfur (S), seng (Zn), besi (Fe), silika (Si), dan kalium (K). Kandungan unsur terbesar dalam komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif adalah oksigen dengan persentase sebesar 52,84% dimana unsur oksigen ini berasal dari gugus aktif dalam karbon aktif dan oksida logamnya yang dihasilkan dari proses pirolisis. Selain oksigen, kandungan unsur terbesar kedua dalam komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif adalah natrium dengan persentase 26,61%, unsur natrium ini berasal dari proses penambahan NaOH yang terlalu banyak pada saat proses membasakan komposit menjadi pH 9 selain itu dalam komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/Karbon Aktif terdapat unsur karbon sebanyak 17,04%. Terdapat unsur klorin, sulfur, besi, dan seng yang menandakan impregnasi yang dilakukan berhasil dimana logam Fe dan Zn berhasil diimbangkan dalam karbon aktif. Sedangkan unsur kalium berasal dari penambahan KOH yang digunakan pada saat proses aktivasi. Adanya unsur silika dengan persentase 0,22% yang merupakan unsur pengotor pada saat pembuatan komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif sehingga untuk menghilangkan unsur pengotor tersebut dapat dilakukan dengan proses pirolisis yang dibantu dengan pemanasan serta gas hidrogen (H<sub>2</sub>) pada temperatur 600 °C untuk mendorong unsur pengotor tersebut keluar serta dapat meningkatkan kualitas komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif. Persentase unsur besi (Fe), seng (Zn) serta oksigen (O) yang diperoleh menunjukkan bahwa logam Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO berhasil diimbangkan pada karbon aktif. Hasil *mapping* yang diperoleh yaitu menggambarkan bahwa atom O berwarna ungu muda, atom Na berwarna

ungu tua, atom C berwarna merah, atom Cl berwarna biru muda, atom Zn berwarna kuning, atom S berwarna biru tua, atom Fe berwarna hijau, atom Si berwarna merah muda dan atom K berwarna orange.

### 5.8. Karakterisasi Menggunakan VSM

Magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  merupakan salah satu oksida besi yang mempunyai sifat kemagnetan paling kuat diantara oksida-oksida besi yang lain. Bahan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  bersifat ferrimagnetik yang dalam keadaan murni nilai magnetisasi jenuhnya dapat mencapai 65 emu/g (Anbarasu *et al.*, 2015). Oleh karena itu, dilakukan karakterisasi komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ZnO/karbon aktif dengan menggunakan VSM untuk mengetahui nilai saturasi magnetik dari suatu material yang ditunjukkan pada Gambar 25.



**Gambar 25.** Hasil Analisis VSM  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ZnO/Karbon Aktif

Dari kurva yang ditunjukkan pada Gambar 25 hasil pengukuran magnetisasi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ZnO/karbon aktif dengan menggunakan VSM yang dilakukan pada suhu kamar dengan rentang medan magnet 0 hingga 1 T. Kurva histeresis yang diperoleh menunjukkan bahwa komposit bersifat superparamagnetik yang ditunjukkan nilai  $H_c$  yang mendekati 0. Dari kurva tersebut menunjukkan bahwa data magnetisasi versus medan magnet dari  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ZnO/karbon aktif yang diperoleh nilai magnetik saturasi ( $M_s$ ) adalah 12,49 emu/g. Namun demikian, nilai magnetik saturasi ( $M_s$ ) yang diperoleh lebih rendah dari nilai magnetisasi saturasi maksimum dari  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

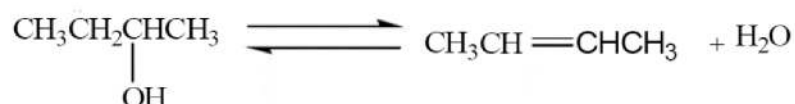
yaitu 92 emu/g. Hal ini dapat disebabkan karena terbentuknya derajat kristalin  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang lebih rendah. Setelah oksida besi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dikompositkan dengan karbon aktif dapat menyebabkan nilai magnetisasi saturasi mengalami penurunan karena adanya fraksi non magnetik seperti karbon aktif dalam komposit. Semakin tinggi fraksi non magnetik dalam komposit maka nilai magnetisasi saturasi ( $M_s$ ) juga akan semakin turun namun semakin tinggi nilai magnetisasi saturasi pada komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  menunjukkan semakin banyak gugus fungsi yang terdapat dalam komposit dari  $\text{Fe}^{2+}$  ataupun  $\text{Fe}^{3+}$ . Komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  memiliki histeresis pada medan koersif sekitar 0,014 Tesla yang menunjukkan bahwa komposit tersebut adalah magnet lunak atau *soft magnetic* karena untuk magnetisasi memerlukan energi yang sangat kecil (Dewi *et al.*, 2019).

### **5.9. Aplikasi Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ZnO/Karbon Aktif pada Konversi Bioetanol**

Dalam konversi bioetanol terdapat dua proses yaitu dehidrasi dan dehidrogenasi. Dehidrasi etanol dapat menjadi etilen dan dietil eter pada suhu yang tinggi (Rachmawati, 2017). Sedangkan dehidrogenasi etanol dapat menghasilkan etilena, hidrokarbon  $\text{C}^{3+}$ , dietil eter dan air (Choopun & Jitkarnka, 2016).

Proses konversi bioetanol dilakukan dengan 2 metode yang berbeda, pada metode yang pertama dilakukan dengan menggunakan labu leher 3 dengan komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ZnO/karbon aktif yang digunakan sebagai katalis dengan reaktan yang terpisah dengan katalis. Pada metode pertama dengan labu leher 3 konversi bioetanol dilakukan dengan menggunakan gas nitrogen ( $\text{N}_2$ ) dengan variasi suhu yang digunakan yaitu 120 °C, 140 °C, dan 160 °C sedangkan dengan gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ) dilakukan pada suhu 105 °C dengan variasi massa katalis yang berbeda yaitu 1,5 gram; 3 gram; dan 4,5 gram. Pada konversi bioetanol dengan menggunakan labu leher 3 ini dilakukan penahanan selama  $\pm 45$  menit pada masing-masing variasi suhu dan massa untuk memastikan seluruh reaktan telah habis terkonversi. Sedangkan pada metode kedua konversi bioetanol dilakukan dalam sebuah reaktor dengan mencampurkan antara katalis dengan variasi massa katalis 1,5 gram dan 3 gram dengan reaktan kemudian dilakukan penambahan gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ) ke dalam

reaktor selama 10 menit lalu dipanaskan dengan suhu yang berbeda yaitu 75 °C, 90 °C, dan 105 °C selama 1 jam pada masing-masing variasi suhu.



**Gambar 26.** Mekanisme Reaksi Dehidrasi Etanol (Setiawan, 2019)

Reaksi pembuatan alkena dengan menggunakan dehidrasi alkohol. Sebuah alkohol dapat mengalami reaksi dehidrasi membentuk alkena dengan kehilangan molekul air (H<sub>2</sub>O). Reaksi dehidrasi dapat terjadi dengan menggunakan bantuan katalis asam dan juga pemanasan. Katalis asam berfungsi untuk memprotonasi gugus OH sehingga dapat menjadi gugus lepas yang baik yaitu H<sub>2</sub>O yang kemudian dapat menghasilkan karbokation yang akan melepaskan protonnya untuk membentuk alkena (Setiawan, 2019).

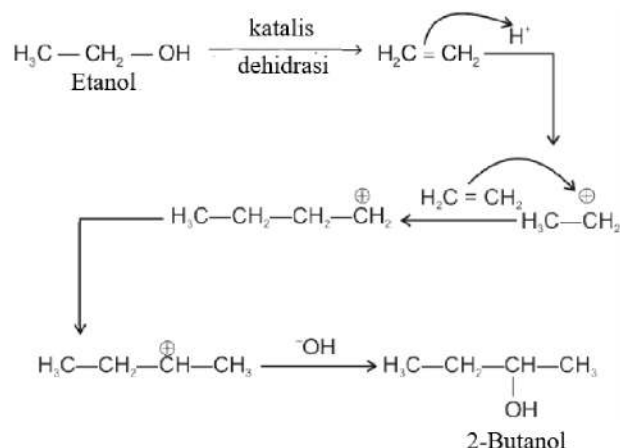


(Sumber Wikipedia)

**Gambar 27.** Mekanisme Reaksi Dehidrogenasi Etanol

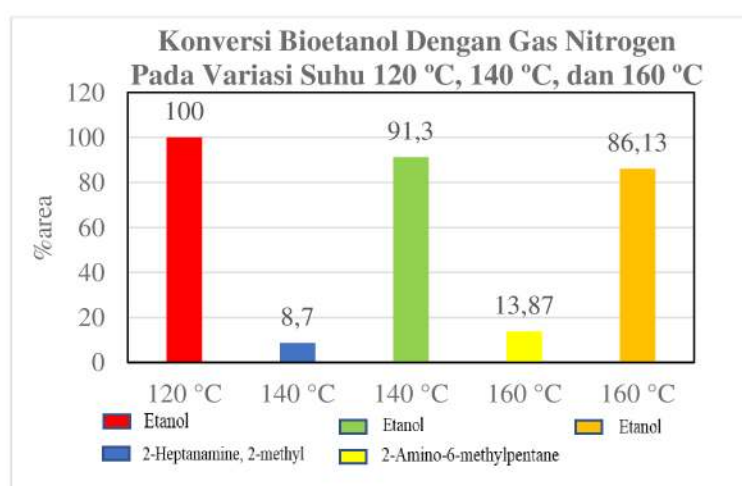
Reaksi dehidrogenasi merupakan suatu reaksi yang melibatkan penghilangan atom hidrogen dari sebuah molekul organik. Dehidrogenasi banyak digunakan dalam reaksi perubahan alkana menjadi senyawa baru seperti alkena.

Pada penelitian ini konversi bioetanol menjadi senyawa hidrokarbon melibatkan reaksi dehidrasi yang merupakan suatu reaksi pemanasan alkohol dengan penambahan katalis asam yang dapat menyebabkan molekul alkohol kehilangan molekul air (H<sub>2</sub>O).



**Gambar 28.** Mekanisme Reaksi Etanol Menjadi Senyawa 2-Butanol (Aranyosi, 2021)

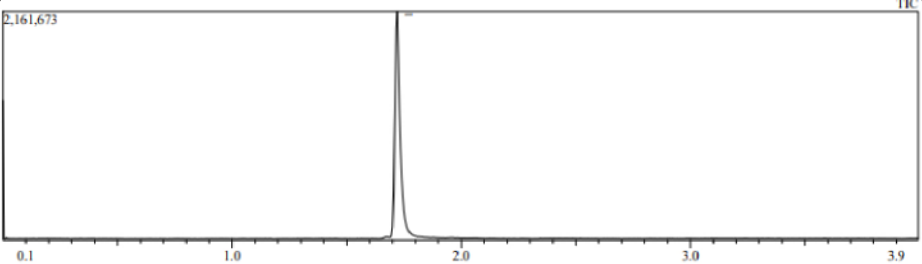
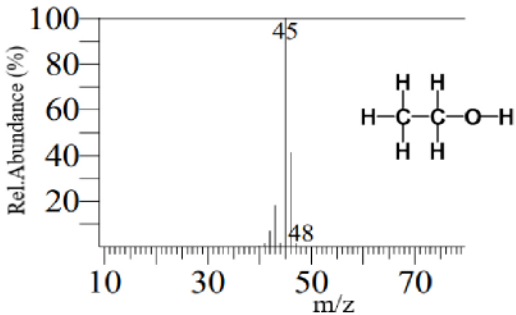
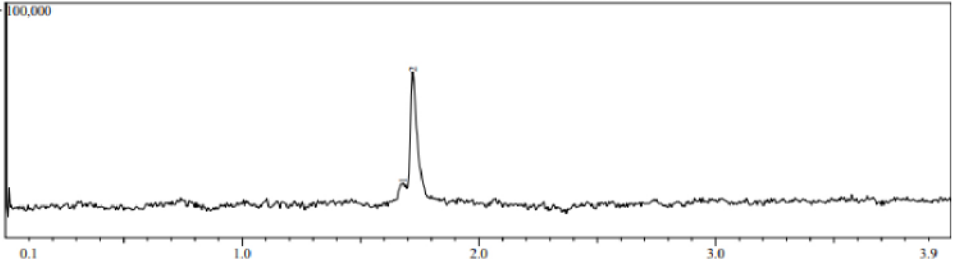
Berdasarkan mekanisme reaksi etanol yang ditunjukkan pada gambar 28, etanol akan terhidrasi menjadi alkena dengan adanya katalis dan juga pemanasan. Setelah alkena terbentuk kemudian terjadi pelepasan  $\text{H}^+$  dari ikatan rangkap menjadi ikatan tunggal atau terjadi proses pembentukan karbokation. Ketika sudah terbentuk karbokation alkena akan bereaksi kembali atau terjadi proses *carbocation rearrangement* yang merupakan proses penataan ulang karbon menjadi bentuk yang lebih stabil. Selanjutnya  $\text{OH}^-$  akan bereaksi dengan karbokation sehingga dapat membentuk senyawa 2-butanol.

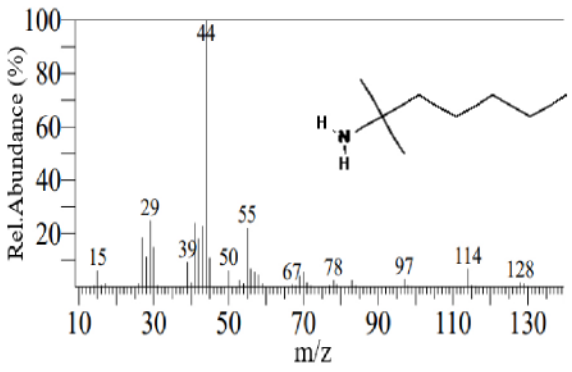
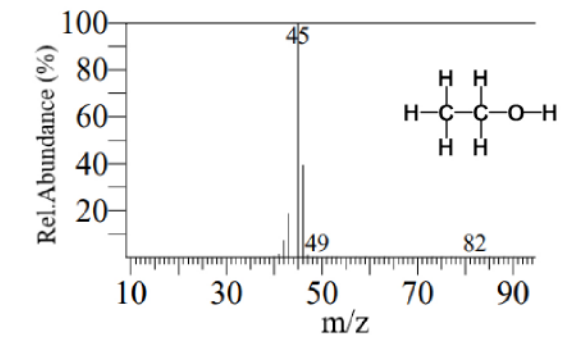
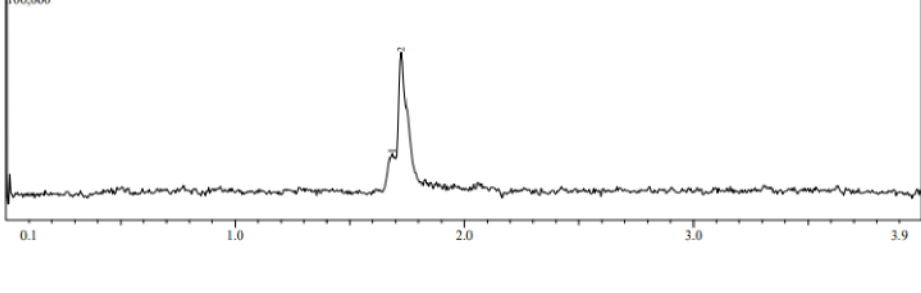
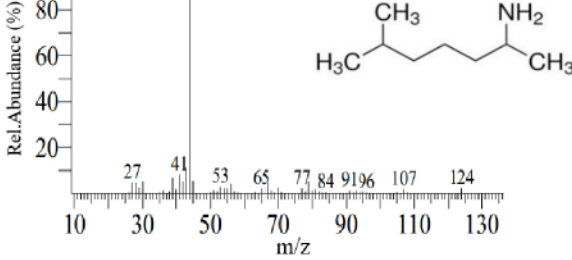


**Gambar 29.** Kurva Konversi Bioetanol Dengan Gas Nitrogen Pada Variasi Suhu 120 °C, 140 °C, dan 160 °C

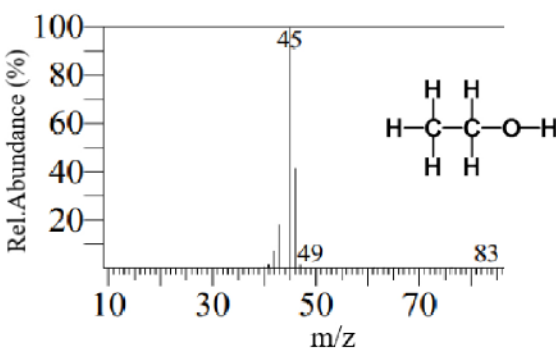
Berdasarkan kurva yang ditunjukkan pada Gambar 29 identifikasi hasil konversi bioetanol dengan menggunakan labu leher 3 dengan aliran gas nitrogen pada variasi suhu 120 °C, 140 °C, dan 160 °C dengan menggunakan GCMS menghasilkan kromatogram sebagai berikut :

**Tabel 5.** Persebaran Senyawa pada Konversi Bioetanol Dengan Gas Nitrogen

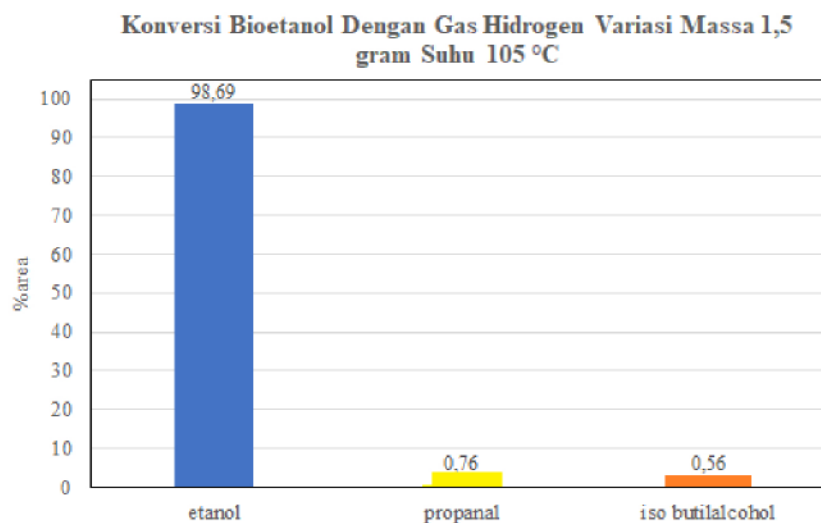
Produk Konversi Bioetanol (120 °C)		
	SI	97
	Senyawa	Etanol
	Rumus Molekul	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
	Waktu Retensi (menit)	1,719
	%area	100
Produk Konversi Bioetanol (140 °C)		
	SI	59

	Senyawa	2-Heptanamine, 2-methyl
	Rumus Molekul	$C_8H_{19}N$
	Waktu Retensi (menit)	1,678
	%area	8,70
	SI	96
	Senyawa	Etanol
	Rumus Molekul	$C_2H_5OH$
	Waktu Retensi (menit)	1,721
	%area	91,3
<b>Produk Konversi Bioetanol (160 °C)</b>		
		
	SI	71
	Senyawa	2-Amino-6-methylheptane
	Rumus Molekul	$C_8H_{19}N$
		1,678



	Waktu Retensi (menit)	
	%area	13,87
	SI	96
	Senyawa	Etanol
	Rumus Molekul	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
	Waktu Retensi (menit)	1,721
	%area	86,13

Berdasarkan kromatogram yang ditunjukkan pada Tabel 5, hasil konversi bioetanol menggunakan katalis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif dengan gas nitrogen pada suhu 120 °C menghasilkan satu puncak sedangkan pada suhu 140 °C dan 160 °C menghasilkan dua puncak. Persebaran komponen senyawa kimia pada konversi bioetanol dengan gas nitrogen (N<sub>2</sub>) menggunakan komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif sebagai katalis pada variasi suhu 120 °C menunjukkan belum terjadi proses konversi pada bioetanol yang ditunjukkan dengan puncak yang dihasilkan merupakan senyawa etanol. Sedangkan pada variasi suhu 140 °C dan 160 °C diperoleh satu produk yang merupakan senyawa 2-Heptamine, 2-methyl dan 2-Amino-6-methylheptane yaitu pada puncak pertama sedangkan pada puncak kedua diperoleh senyawa etanol pada masing-masing variasi suhu. Puncak pertama pada variasi suhu 140 °C memiliki waktu retensi 1,678 menit dengan %area sebesar 8,70% dan memiliki indek kemiripan/*similarity index* (SI) = 59 yang merupakan senyawa 2-Heptamine, 2-methyl dengan rumus molekul C<sub>8</sub>H<sub>19</sub>N. Pada puncak pertama pada variasi suhu 160 °C memiliki waktu retensi 1,684 menit dengan %area sebesar 13,87% dan memiliki indek kemiripan/*similarity index* (SI) = 71 yang merupakan senyawa 2-Amino-6-methylheptane dengan rumus molekul C<sub>8</sub>H<sub>19</sub>N.

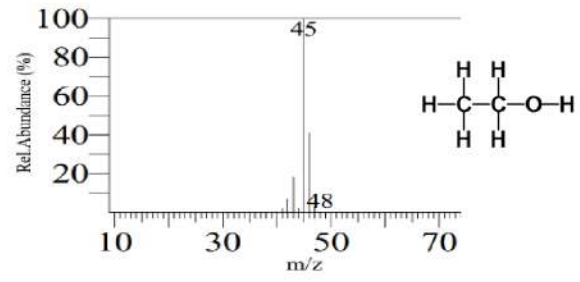
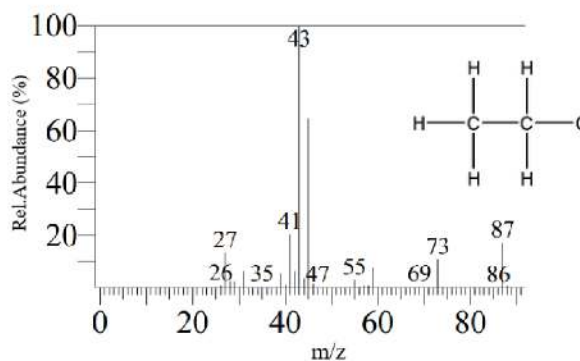
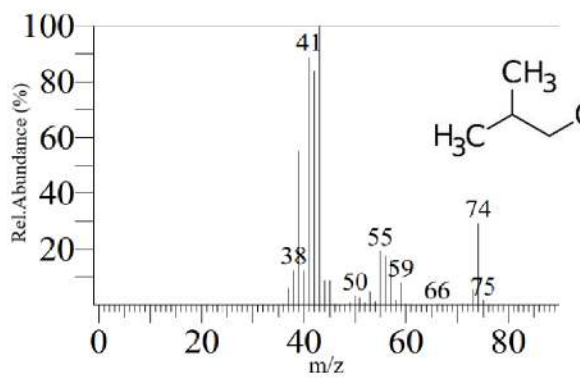


**Gambar 30.** Kurva Konversi Bioetanol Dengan Gas Hidrogen Pada Variasi Massa 1,5 gram Suhu 105 °C

Berdasarkan kurva yang ditunjukkan pada Gambar 30 identifikasi hasil konversi bioetanol dengan labu leher 3 dengan aliran gas hidrogen pada variasi massa 1,5 gram suhu 105 °C dengan menggunakan GCMS menghasilkan kromatogram sebagai berikut :

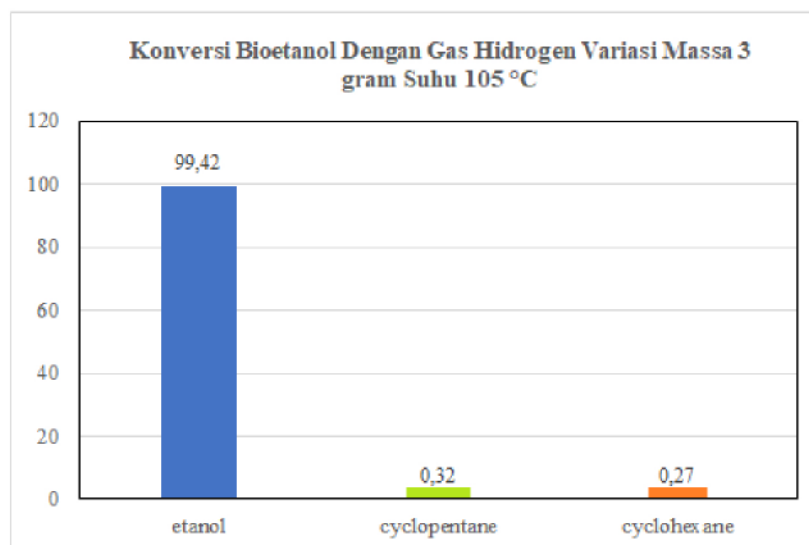
**Tabel 6.** Persebaran Senyawa pada Konversi Bioetanol Dengan Gas Hidrogen Pada Variasi Massa 1,5 gram Suhu 105 °C

<b>Produk Konversi Bioetanol 1,5 gram Katalis (105 °C)</b>		
6,871.232		
	SI	97
	Senyawa	Etanol

	Rumus Molekul	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
	Waktu Retensi (menit)	1,717
	%area	98,69
	SI	83
	Senyawa	Propanal
	Rumus Molekul	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O <sub>2</sub>
	SI	84
	Senyawa	Iso Butylalcohol
	Rumus Molekul	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O
	Waktu Retensi (menit)	1,955
	%area	0,56

Berdasarkan kromatogram yang ditunjukkan pada Tabel 6, hasil konversi bioetanol menggunakan katalis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif dengan gas hidrogen pada suhu 105 °C dengan variasi massa 1,5 gram; 3 gram; dan 4,5 gram menghasilkan tiga puncak pada masing-masing variasi. Persebaran komponen senyawa kimia pada konversi bioetanol dengan gas hidrogen (H<sub>2</sub>) menggunakan komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-

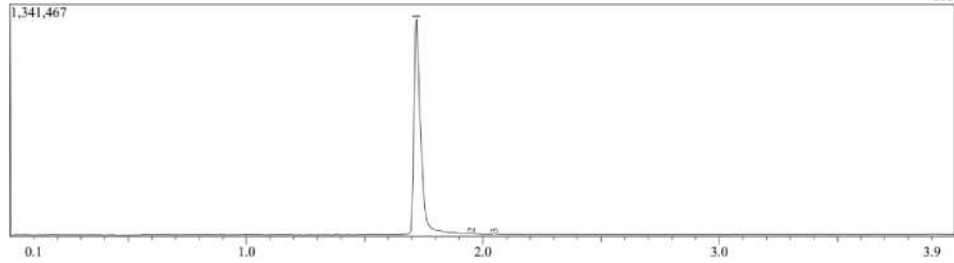
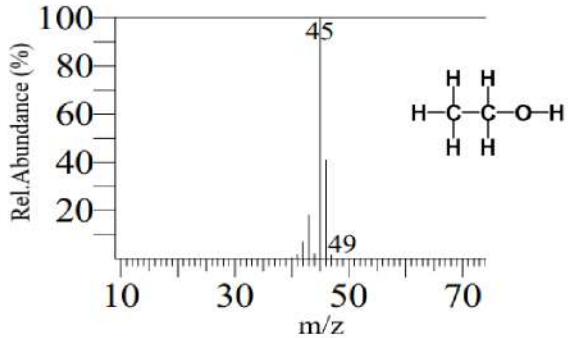
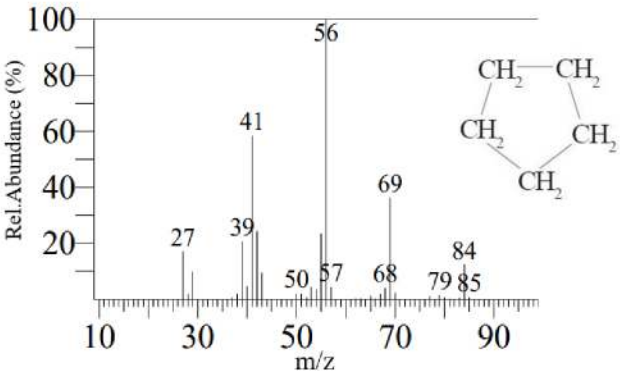
ZnO/karbon aktif sebagai katalis pada suhu 105 °C dengan variasi massa komposit diperoleh dua produk pada masing-masing variasi massa. Pada variasi massa 1,5 gram diperoleh dua produk yaitu senyawa propanal dan iso butylalcohol pada puncak kedua dan ketiga. Puncak kedua pada variasi massa 1,5 gram memiliki waktu retensi 1,910 menit %area sebesar 0,76% dan memiliki indeks kemiripan/*similarity index* (SI) = 83 yang merupakan senyawa propanal dengan rumus molekul  $C_3H_6O_2$  sedangkan pada puncak ketiga memiliki waktu retensi 1,955 dengan %area sebesar 0,56% dan memiliki indeks kemiripan/*similarity index* (SI) = 84 yang merupakan senyawa iso butylalcohol dengan rumus molekul  $C_4H_{10}O$ . Sedangkan pada puncak pertama menunjukkan belum terjadi proses konversi pada bioetanol yang ditunjukkan dengan puncak yang dihasilkan merupakan senyawa etanol.

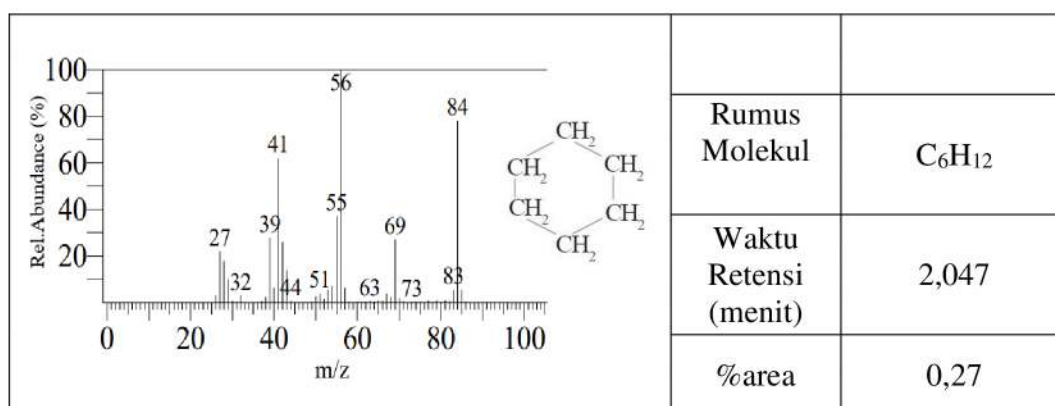


**Gambar 31.** Kurva Konversi Bioetanol Dengan Gas Hidrogen Pada Variasi Massa 3 gram Suhu 105 °C

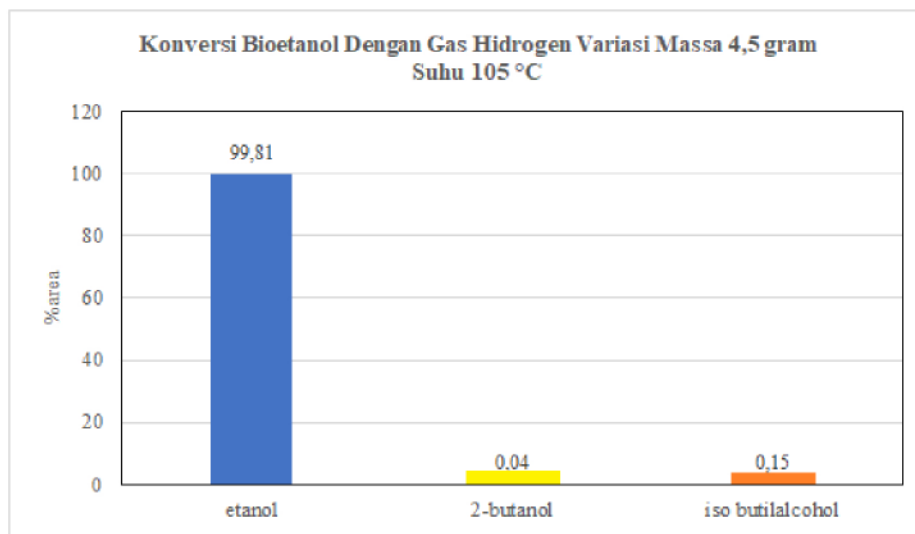
Berdasarkan kurva yang ditunjukkan pada Gambar 31 identifikasi hasil konversi bioetanol dengan labu leher 3 dengan aliran gas hidrogen pada variasi massa 3 gram suhu 105 °C dengan menggunakan GCMS menghasilkan kromatogram sebagai berikut :

**Tabel 7.** Persebaran Senyawa pada Konversi Bioetanol Dengan Gas Hidrogen  
Pada Variasi Massa 3 gram Suhu 105 °C

Produk Konversi Bioetanol 3 gram Katalis (105 °C)		
		
	SI	97
	Senyawa	Etanol
	Rumus Molekul	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
	Waktu Retensi (menit)	1,719
	%area	99,42
	SI	84
	Senyawa	Cyclopentane
	Rumus Molekul	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>
	Waktu Retensi (menit)	1,951
	%area	0,32
	SI	78
	Senyawa	Cyclohexane



Berdasarkan kromatogram yang ditunjukkan pada Tabel 7, hasil konversi bioetanol menggunakan katalis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif dengan gas hidrogen pada suhu 105 °C dengan variasi massa 1,5 gram; 3 gram; dan 4,5 gram menghasilkan tiga puncak pada masing-masing variasi. Persebaran komponen senyawa kimia pada konversi bioetanol dengan gas hidrogen (H<sub>2</sub>) menggunakan komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif sebagai katalis pada suhu 105 °C dengan variasi massa komposit diperoleh dua produk pada masing-masing variasi massa. Pada variasi massa 3 gram diperoleh dua produk yaitu senyawa cyclopentane dan cyclohexane pada puncak kedua dan ketiga. Puncak kedua pada variasi massa 3 gram memiliki waktu retensi 1,951 menit %area sebesar 0,32% dan memiliki indek kemiripan/*similarity index* (SI) = 84 yang merupakan senyawa cyclopentane dengan rumus molekul C<sub>5</sub>H<sub>10</sub> sedangkan pada puncak ketiga memiliki waktu retensi 2,047 dengan %area sebesar 0,27% dan memiliki indek kemiripan/*similarity index* (SI) = 78 yang merupakan senyawa cyclohexane dengan rumus molekul C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>. Sedangkan pada puncak pertama menunjukkan belum terjadi proses konversi pada bioetanol yang ditunjukkan dengan puncak yang dihasilkan merupakan senyawa etanol.



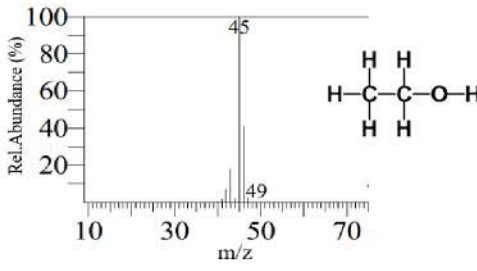
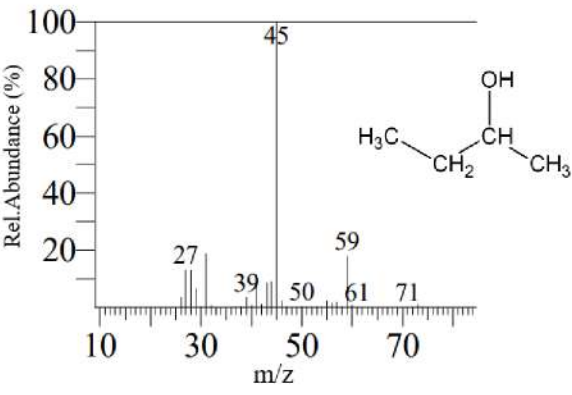
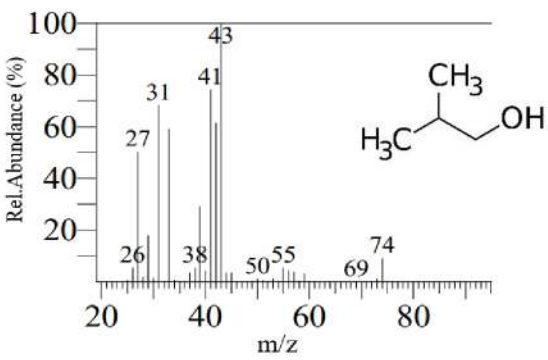
**Gambar 32.** Kurva Konversi Bioetanol Dengan Gas Hidrogen Pada Variasi Massa 4,5 gram Suhu 105 °C

Berdasarkan kurva yang ditunjukkan pada Gambar 32 identifikasi hasil konversi bioetanol dengan labu leher 3 dengan aliran gas hidrogen pada variasi massa 4,5 gram suhu 105 °C dengan menggunakan GCMS menghasilkan kromatogram sebagai berikut :

**Tabel 8.** Persebaran Senyawa pada Konversi Bioetanol Dengan Gas Hidrogen Pada Variasi Massa 4,5 gram Suhu 105 °C

<b>Produk Konversi Bioetanol 4,5 gram Katalis (105 °C)</b>		
4,716,595		
	SI	97
	Senyawa	Etanol



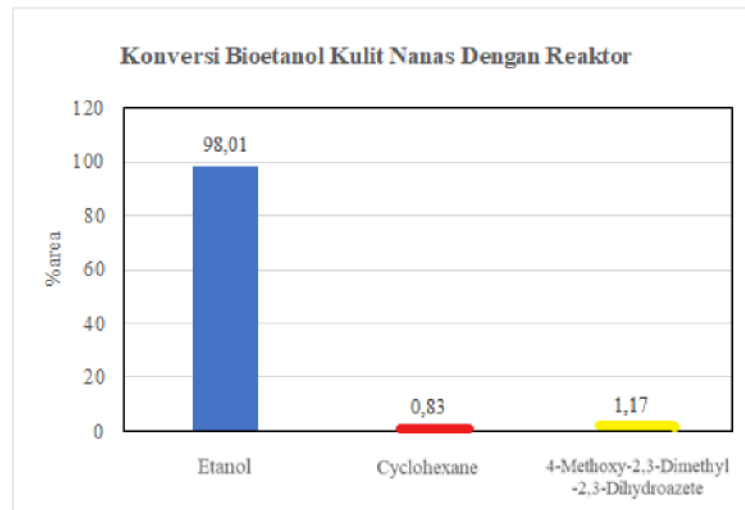
	Rumus Molekul	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
	Waktu Retensi (menit)	1,720
	%area	99,81
	SI	79
	Senyawa	2-Butanol
	Rumus Molekul	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O
	Waktu Retensi (menit)	1,890
	%area	0,04
	SI	85
	Senyawa	Iso Butylalcohol
	Rumus Molekul	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O
	Waktu Retensi (menit)	1,955
	%area	0,15

Berdasarkan kromatogram yang ditunjukkan pada Tabel 8, hasil konversi bioetanol menggunakan katalis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif dengan gas hidrogen pada suhu 105 °C dengan variasi massa 1,5 gram; 3 gram; dan 4,5 gram menghasilkan tiga puncak pada masing-masing variasi. Persebaran komponen senyawa kimia pada konversi bioetanol dengan gas hidrogen (H<sub>2</sub>) menggunakan komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-



ZnO/karbon aktif sebagai katalis pada suhu 105 °C dengan variasi massa komposit diperoleh dua produk pada masing-masing variasi massa. Pada variasi massa 4,5 gram diperoleh dua produk yaitu senyawa 2-butanol dan iso butylalcohol pada puncak kedua dan ketiga. Pada puncak kedua variasi massa 4,5 gram memiliki waktu retensi 1,890 menit %area sebesar 0,04% dan memiliki indeks kemiripan/*similarity index* (SI) = 79 yang merupakan senyawa 2-butanol dengan rumus molekul C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O sedangkan pada puncak ketiga memiliki waktu retensi 1,955 dengan %area sebesar 0,15% dan memiliki indeks kemiripan/*similarity index* (SI) = 85 yang merupakan senyawa iso butylalcohol dengan rumus molekul C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>O. Sedangkan pada puncak pertama menunjukkan belum terjadi proses konversi pada bioetanol yang ditunjukkan dengan puncak yang dihasilkan merupakan senyawa etanol.

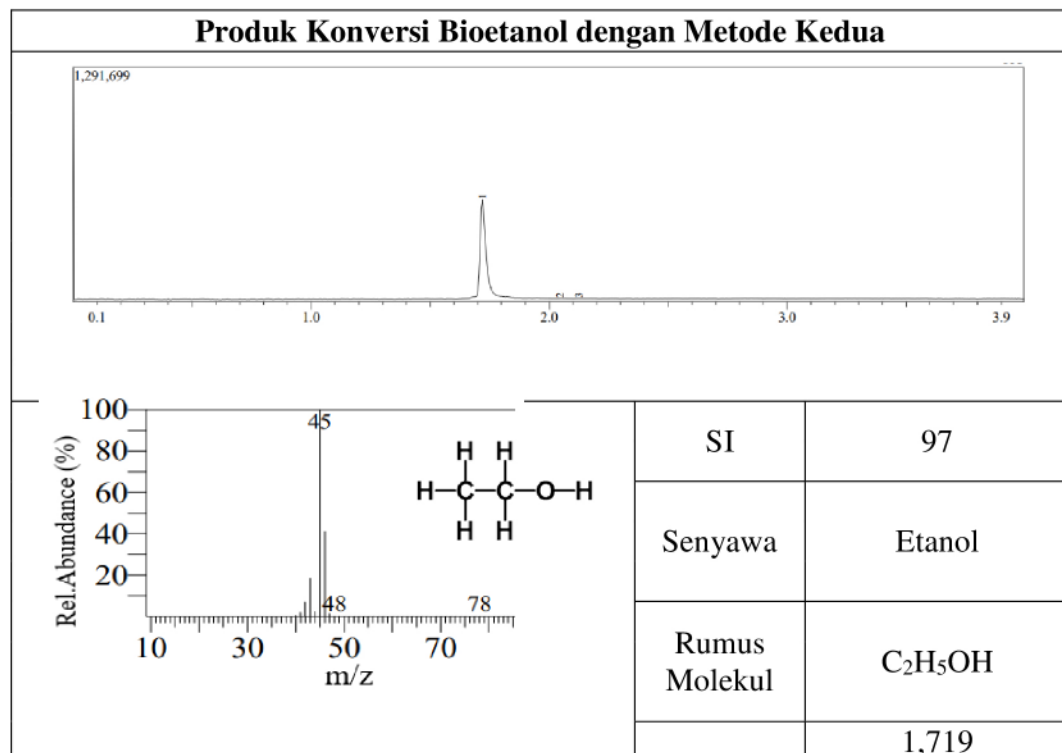
Berdasarkan hasil yang diperoleh pada konversi bioetanol yang dilakukan dengan menggunakan metode pertama dengan dialirkan gas hidrogen yang dilakukan pada suhu 105 °C dengan variasi massa 1,5 gram ; 3 gram ; dan 4,5 gram tidak ada perbedaan yang terlalu signifikan karena pada masing-masing variasi massa diperoleh 3 puncak dengan puncak pertama yang merupakan senyawa etanol. Namun, terdapat perbedaan diantara puncak kedua dan ketiga pada masing-masing variasi. Pada variasi massa 1,5 gram puncak kedua merupakan senyawa propanal dan puncak ketiga merupakan senyawa iso butylalcohol. Pada variasi massa 3 gram puncak kedua merupakan senyawa cyclopentane dan puncak ketiga merupakan senyawa cyclohexane. Sedangkan pada variasi massa 4,5 gram puncak kedua merupakan senyawa 2-butanol dan puncak ketiga merupakan senyawa iso butylalcohol. Digunakan suhu 105 °C pada saat konversi bioetanol disebabkan karena pada suhu 75 °C dan 90 °C tidak ada produk yang keluar. Semakin tinggi suhu yang digunakan maka laju kecepatan reaksi akan semakin cepat namun jika terlalu tinggi suhu yang digunakan maka dapat menyebabkan terjadinya *overheating* sehingga ikatan yang sudah terbentuk akan terputus kembali sehingga dapat menyebabkan *reversibel* atau dapat membentuk senyawa lain.

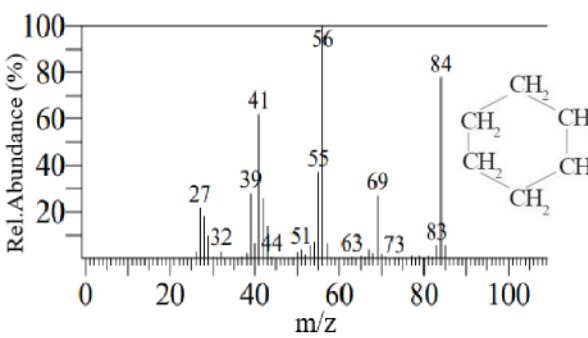
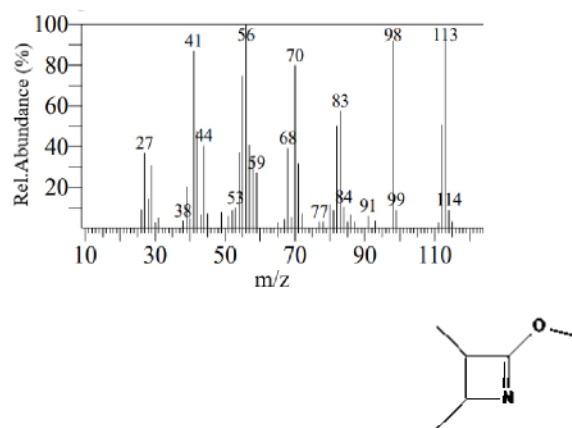


**Gambar 33.** Kurva Konversi Bioetanol Kulit Nanas Dengan Reaktor

Berdasarkan kurva yang ditunjukkan pada Gambar 33 identifikasi hasil konversi bioetanol kulit nanas dengan menggunakan reaktor pada dengan menggunakan GCMS menghasilkan kromatogram sebagai berikut :

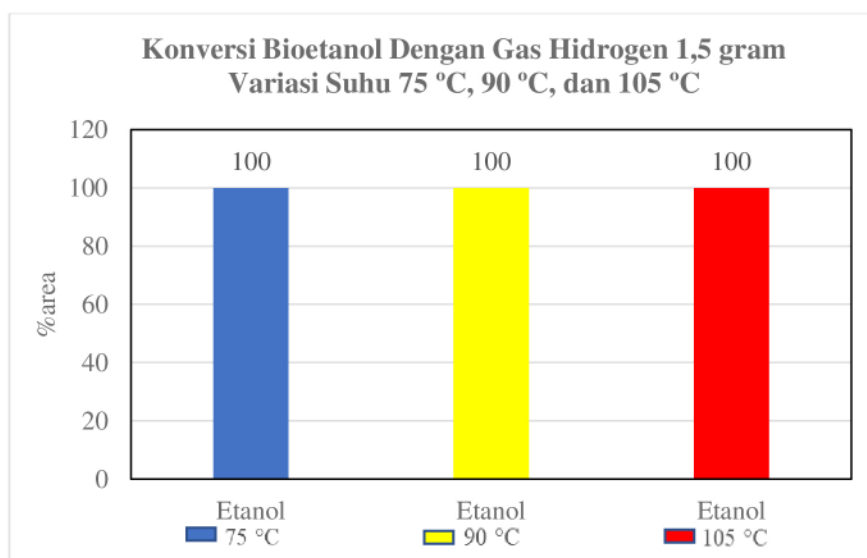
**Tabel 9.** Persebaran Senyawa pada Konversi Bioetanol Kulit Nanas Dengan Reaktor



	Waktu Retensi (menit)	
	%area	98,01
	SI	53
	Senyawa	Cyclohexane
	Rumus Molekul	$C_6H_{12}$
	Waktu Retensi (menit)	2,045
	%area	0,83
	SI	36
	Senyawa	4-Methoxy-2,3-Dimethyl-2,3-Dihydro Azete
	Rumus Molekul	$C_6H_{11}NO$
	Waktu Retensi (menit)	2,125
	%area	1,17

Berdasarkan kromatogram yang ditunjukkan pada Tabel 9, hasil konversi bioetanol kulit nanas yang dilakukan dengan menggunakan metode kedua dengan gas hidrogen suhu 85 °C menghasilkan tiga puncak. Pada puncak pertama memiliki waktu retensi 1,719 menit dengan %area sebesar 98,01% dan memiliki indek kemiripan/*similarity index* (SI) = 97 yang merupakan senyawa etanol sedangkan pada puncak kedua memiliki waktu retensi 2,045 menit dengan %area sebesar 0,83% dan memiliki indek kemiripan/*similarity index* (SI) = 53 yang merupakan

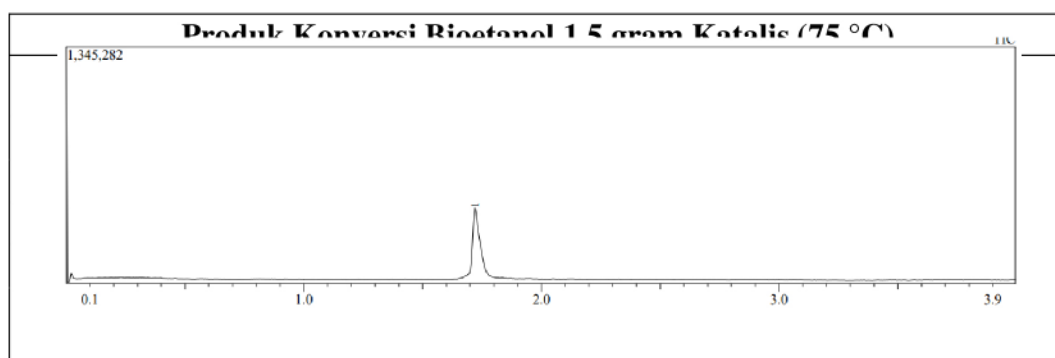
senyawa cyclohexane dengan rumus molekul  $C_6H_{12}$ . Pada puncak ketiga memiliki waktu retensi 2,125 menit dengan %area sebesar 1,17% dan memiliki indeks kemiripan/*similarity index* (SI) = 36 yang merupakan senyawa 4-methoxy-2,3-dimethyl-2,3-dihydro azete dengan rumus molekul  $C_6H_{11}NO$ .

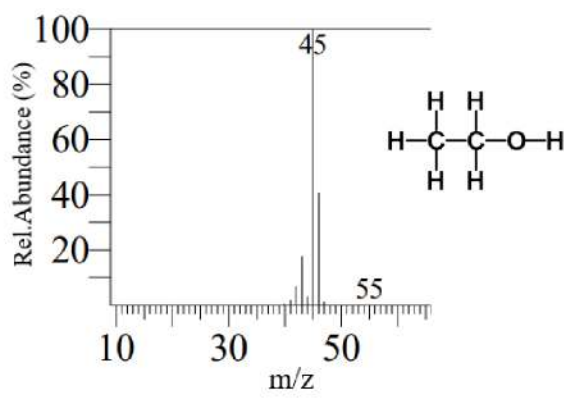
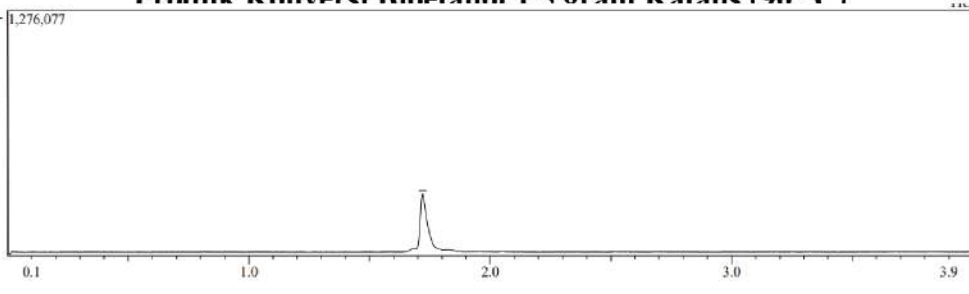
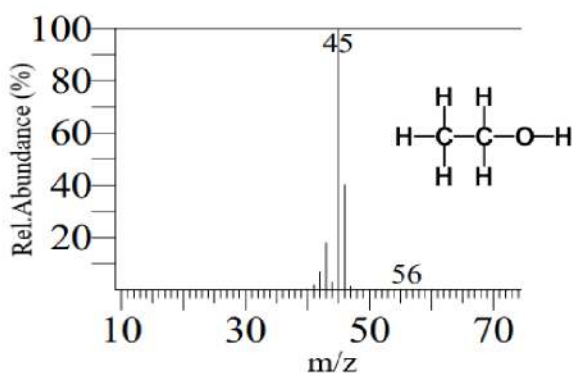
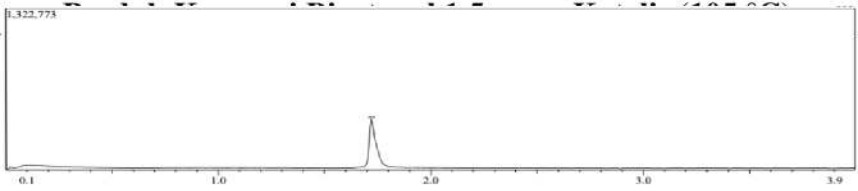


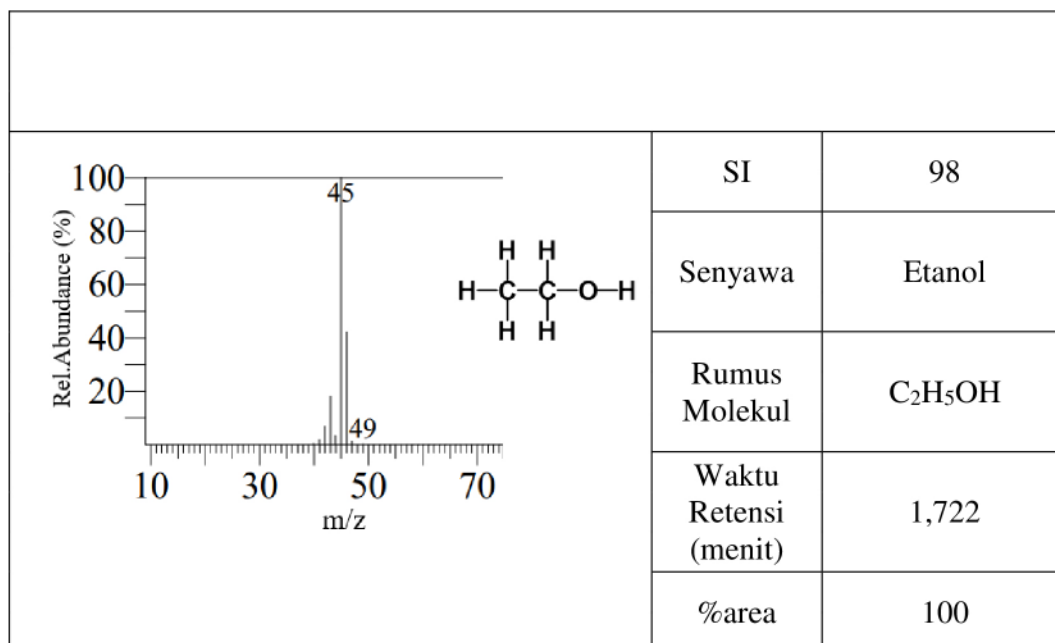
**Gambar 34.** Kurva Konversi Bioetanol Dengan Gas Hidrogen 1,5 gram Pada Variasi Suhu 75 °C, 90 °C, dan 105 °C

Berdasarkan kurva yang ditunjukkan pada Gambar 34 identifikasi hasil konversi bioetanol menggunakan reaktor dengan aliran gas hidrogen dengan variasi massa 1,5 gram dengan variasi suhu 75 °C, 90 °C, dan 105 °C dengan menggunakan GCMS menghasilkan kromatogram sebagai berikut :

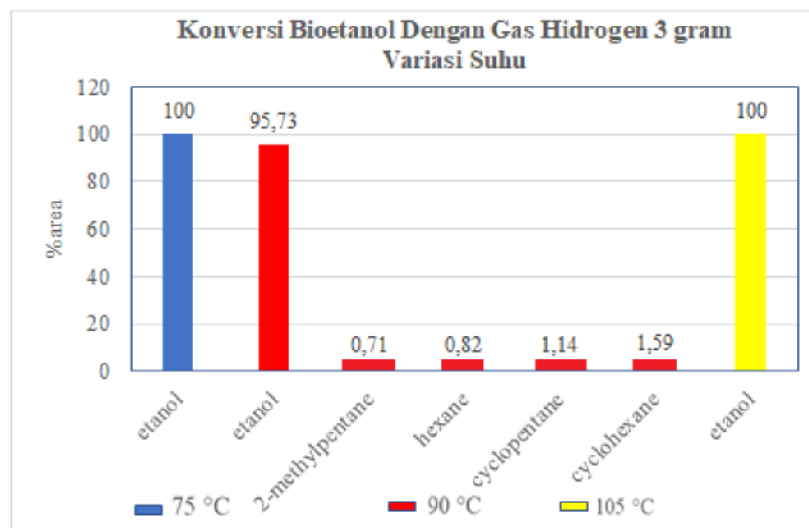
**Tabel 10.** Perbesaran Senyawa pada Konversi Bioetanol Variasi Massa 1,5 gram Suhu 75 °C, 90 °C, dan 105 °C



	SI	98
	Senyawa	Etanol
	Rumus Molekul	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
	Waktu Retensi (menit)	1,721
	%area	100
<b>Produk Konversi Bioetanol 15 gram Katalis (90 °C)</b>		
		
	SI	98
	Senyawa	Etanol
	Rumus Molekul	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
	Waktu Retensi (menit)	1,720
	%area	100
		



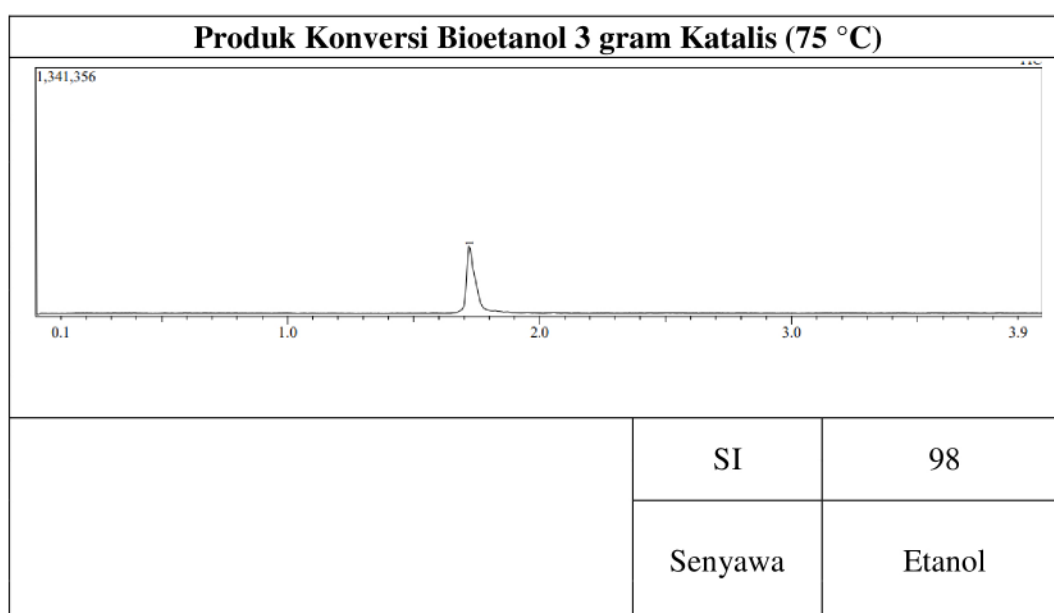
Berdasarkan kromatogram yang ditunjukkan pada Tabel 10, hasil konversi bioetanol menggunakan katalis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif dengan aliran gas hidrogen pada variasi massa 1,5 gram dengan variasi suhu 75 °C, 90 °C, dan 105 °C menghasilkan satu puncak pada masing-masing suhu. Persebaran komponen senyawa kimia pada konversi bioetanol menggunakan reaktor dengan aliran gas hidrogen (H<sub>2</sub>) dengan mencampurkan komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif yang digunakan sebagai katalis dengan reaktor pada variasi massa 1,5 gram dengan variasi suhu 75 °C, 90 °C, dan 105 °C menunjukkan bahwa belum terjadi proses konversi pada bioetanol kulit nanas yang ditunjukkan dengan hasil kromatogram yang hanya terdapat satu puncak yang dihasilkan pada masing-masing suhu yang merupakan senyawa etanol. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan mungkin penambahan berat komposit yang terlalu kecil pada saat proses konversi bioetanol sehingga dapat mempengaruhi proses konversi bioetanol kulit nanas menjadi senyawa lain.

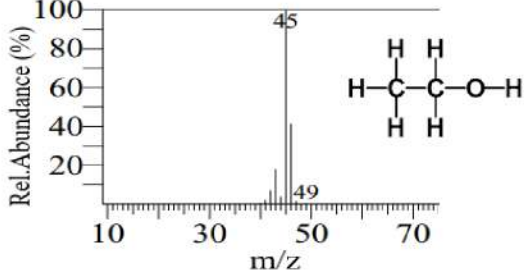
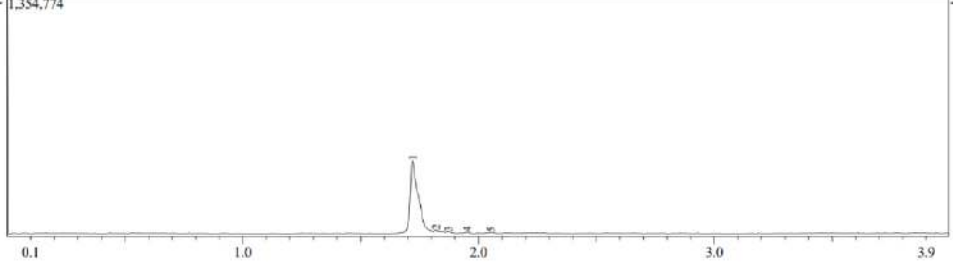
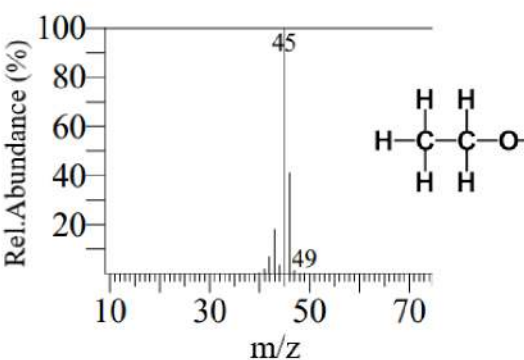
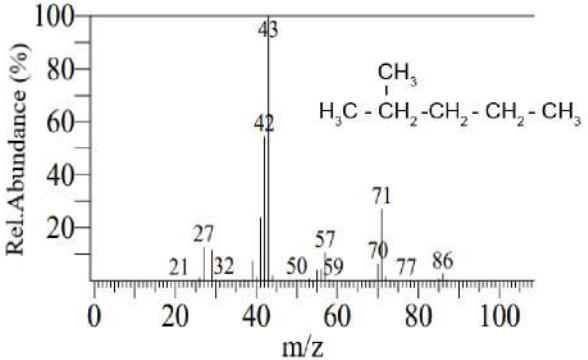


**Gambar 35.** Kurva Konversi Bioetanol Dengan Gas Hidrogen 3 gram Pada Variasi Suhu 75 °C, 90 °C, dan 105 °C

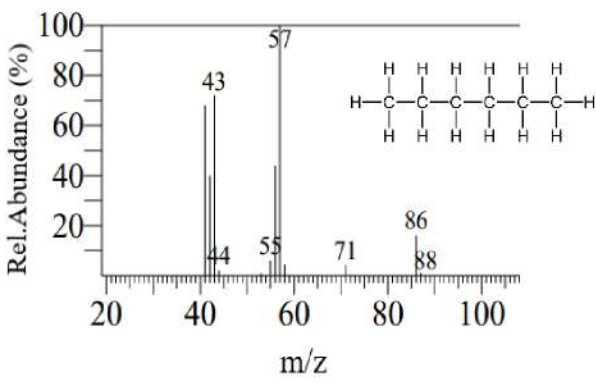
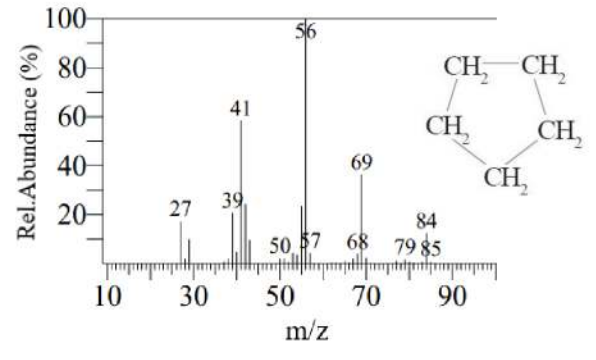
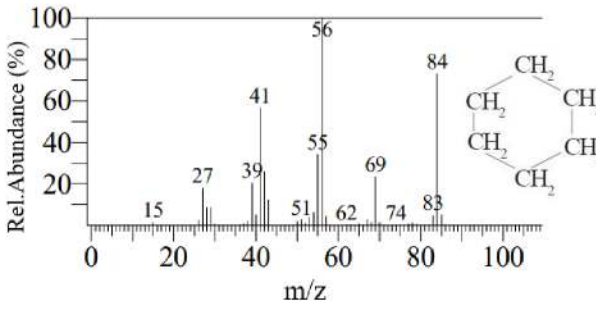
Berdasarkan kurva yang ditunjukkan pada Gambar 35 identifikasi hasil konversi bioetanol menggunakan reaktor dengan aliran gas hidrogen pada variasi massa 3 gram dengan variasi suhu 75 °C, 90 °C, dan 105 °C dengan menggunakan GCMS menghasilkan kromatogram sebagai berikut :

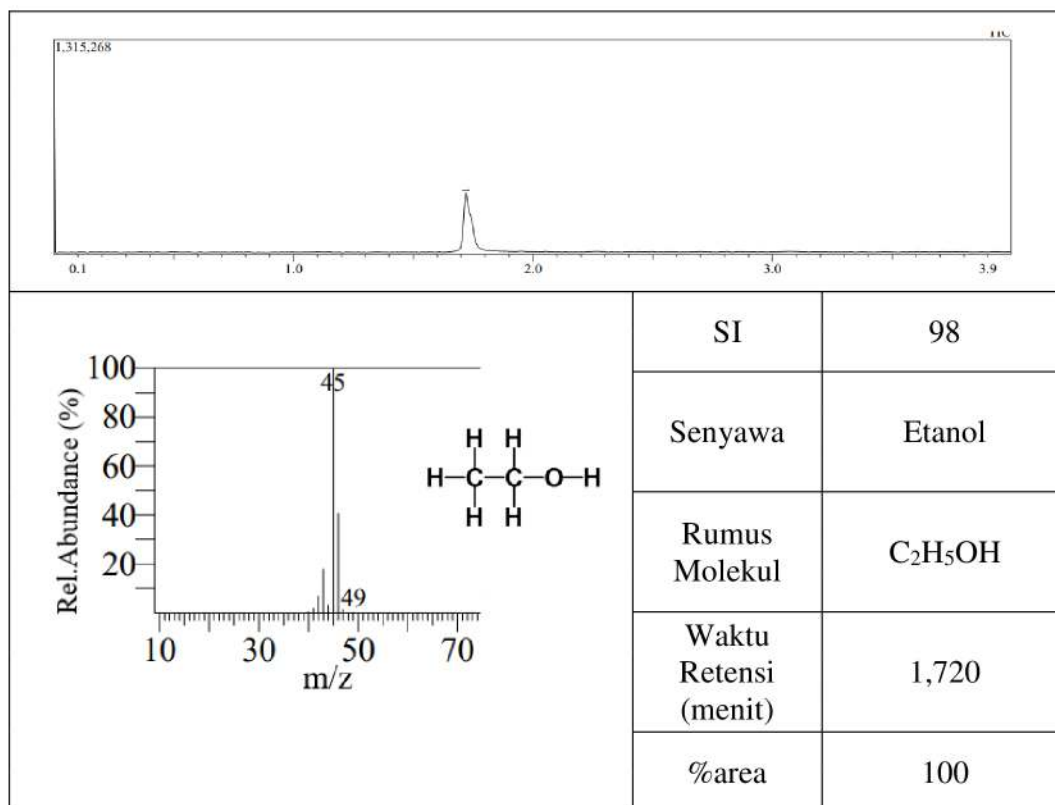
**Tabel 11.** Perbesaran Senyawa pada Konversi Bioetanol Variasi Massa 3 gram Pada Suhu 75 °C, 90 °C, dan 105 °C



	Rumus Molekul	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
	Waktu Retensi (menit)	1,722
	%area	100
<b>Produk Konversi Bioetanol 3 gram Katalis (90 °C)</b>		
		
	SI	97
	Senyawa	Etanol
	Rumus Molekul	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH
	Waktu Retensi (menit)	1,720
	%area	95,73
	SI	87
	Senyawa	2-Methylpentane
	Rumus Molekul	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>
	Waktu Retensi (menit)	1,820
	%area	0,71



	SI	84
	Senyawa	Hexane
	Rumus Molekul	$C_6H_{14}$
	Waktu Retensi (menit)	1,872
	%area	0,82
	SI	89
	Senyawa	Cyclopentane
	Rumus Molekul	$C_5H_{10}$
	Waktu Retensi (menit)	1,952
	SI	85
	Senyawa	Cyclohexane
	Rumus Molekul	$C_6H_{12}$
	Waktu Retensi (menit)	2,052
	%area	1,59
<b>Produk Konversi Bioetanol 3 gram Katalis (105 °C)</b>		



Berdasarkan kromatogram yang ditunjukkan pada Tabel 11, konversi bioetanol menggunakan reaktor dengan aliran gas hidrogen (H<sub>2</sub>) menggunakan komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/Karbon Aktif sebagai katalis pada variasi massa 3 gram dengan variasi suhu 75 °C dan 105 °C menghasilkan satu puncak sedangkan pada suhu 90 °C menghasilkan lima puncak. Persebaran komponen kimia pada konversi bioetanol dengan gas hidrogen (H<sub>2</sub>) menggunakan komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/karbon aktif sebagai katalis pada variasi massa 3 gram dengan suhu 75 °C dan 105 °C menunjukkan bahwa belum terjadi proses konversi pada bioetanol yang ditunjukkan dengan diperoleh satu puncak yang merupakan senyawa etanol. Sedangkan pada suhu 90 °C diperoleh empat produk yang merupakan senyawa 2-methylpentane, hexane, cyclopentane, dan cyclohexane yaitu pada puncak kedua, ketiga, keempat, dan kelima sedangkan pada puncak pertama diperoleh senyawa etanol. Puncak kedua pada variasi massa 3 gram memiliki waktu retensi 1,820 menit dengan %area sebesar 0,71% dan memiliki indek kemiripan/*similarity index* (SI) = 87 yang merupakan senyawa 2-methylpentane dengan rumus molekul C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>. Pada puncak

ketiga pada variasi massa 3 gram memiliki waktu retensi 1,872 menit dengan %area sebesar 0,82% dan memiliki indek kemiripan/*similarity index* (SI) = 84 yang merupakan senyawa hexane dengan rumus molekul  $C_6H_{14}$ . Pada puncak keempat pada variasi massa 3 gram memiliki waktu retensi 1,952 menit dengan %area sebesar 1,14% dan memiliki indek kemiripan/*similarity index* (SI) = 89 yang merupakan senyawa cyclopentane dengan rumus molekul  $C_5H_{10}$ . Sedangkan pada puncak kelima pada variasi massa 3 gram memiliki waktu retensi 2,052 menit dengan %area sebesar 1,59% dan memiliki indek kemiripan/*similarity index* (SI) = 85 yang merupakan senyawa cyclohexane dengan rumus molekul  $C_6H_{12}$ .

Konversi bioetanol kulit nanas dengan komposit  $Fe_3O_4$ -ZnO/karbon aktif yang berfungsi sebagai katalis dengan menggunakan labu leher 3 dimana katalis dengan reaktan terpisah dengan aliran gas nitrogen pada variasi suhu 120 °C, 140 °C, dan 160 °C sedangkan dengan menggunakan aliran gas hidrogen pada variasi massa 1,5 gram; 3 gram; dan 4,5 gram pada suhu 105 °C menunjukkan produk baru yang dihasilkan dari proses konversi bioetanol kulit nanas lebih banyak. Sedangkan konversi bioetanol kulit nanas yang dilakukan dengan mencampurkan komposit  $Fe_3O_4$ -ZnO/karbon aktif yang berfungsi sebagai katalis dengan reaktan pada variasi massa 1,5 gram dan 3 gram dengan suhu 75 °C, 90 °C, dan 105 °C menunjukkan hasil produk senyawa baru yang lebih sedikit sehingga dapat disimpulkan bahwa konversi bioetanol kulit nanas menggunakan labu leher 3 dengan aliran gas hidrogen pada variasi massa 1,5 gram; 3 gram; dan 4,5 gram dengan suhu 105 °C lebih baik jika dibandingkan dengan menggunakan labu leher 3 dengan aliran gas nitrogen maupun dengan menggunakan reaktor. Hal tersebut disebabkan karena pada saat menggunakan aliran gas nitrogen digunakan suhu yang terlalu sehingga menyebabkan terjadinya *overheating* atau peleburan kembali yang menyebabkan terjadi *reversibel* ataupun dapat menjadi senyawa lain. Sedangkan pada saat konversi bioetanol dengan reaktor dihasilkan senyawa etanol yang lebih banyak dominan dibandingkan dengan konversi bioetanol dengan labu leher 3 yang dapat disebabkan karena mungkin adanya pencampuran antara katalis dengan reaktan dalam reaktor sehingga menyebabkan kurang maksimal pada saat proses konversi

berlangsung. Selain itu hasil dari konversi bioetanol yang diperoleh pada penelitian ini didapatkan hasil konversi dengan %area yang kecil dengan senyawa etanol yang masih terlalu dominan. Hal ini dapat disebabkan oleh laju alir gas nitrogen maupun hidrogen yang terlalu cepat pada saat proses konversi bioetanol sehingga dapat menyebabkan katalis  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /karbon aktif bekerja dalam waktu yang cepat atau singkat sehingga kurang maksimal dalam proses konversi bioetanol.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$  dapat disintesis melalui metode impregnasi dalam pembuatan karbon aktif dan metode kopresipitasi pada saat pembuatan logam yang kemudian dicampurkan dan dipirolisis pada suhu  $600^\circ\text{C}$  selama 3 jam.
2. Hasil karakterisasi FTIR komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$  menghasilkan ikatan Fe-O Tetrahedral, Fe-O Oktahedral serta Zn-O yang menandakan bahwa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dan ZnO berhasil diimbangkan pada karbon aktif. Komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$  memiliki ukuran kristal dengan rata-rata  $96,448\text{ nm}$  yang menandakan material berukuran nanopartikel serta komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$  memiliki luas permukaan  $1,514\text{ m}^2/\text{g}$ . Morfologi permukaan komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$  berbentuk seperti bongkahan batang dengan ukuran pori yang tak beraturan yang tersebar pada permukaan komposit dengan kandungan karbon sebesar  $17,04\%$ , Fe  $0,26\%$  dan Zn  $0,78\%$ .  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  komposit bersifat superparamagnetik dengan nilai magnetisasi saturasi (Ms)  $12,49\text{ emu/g}$ .
3. Efektivitas komposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$  pada konversi bioetanol dengan menggunakan dua metode dapat menghasilkan propanal, iso butylalcohol, *cyclopentane*, *cyclohexane*, 2-butanol, *hexane*, 2-methylpentane, asam perasetat, 2-heptanamine, 2-methyl, 2-amino-6-methylpentane, dan 4-methoxy-2,3-dimethyl-2,3-dihydroazete.

#### 6.2. Saran

Dengan penelitian ini, diharapkan untuk dapat dilakukan pengkajian kembali terhadap pembuatan komposit terutama dalam massa pada masing-masing senyawa yang akan digabungkan agar diperoleh komposit yang dapat digunakan sebagai katalis dengan kualitas yang lebih baik dalam konversi senyawa yang diinginkan

serta pengkajian kembali metode yang lebih pasti dan cocok untuk digunakan dalam proses konversi agar diperoleh hasil yang lebih maksimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ainun Rahmi Ramadhannur, T. W. dan N. H. (2021). *Fotokatalisis Synthesis Composite Zn-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/WO<sub>3</sub> and Their Application in*. 6–11.
- Alfarisa, S., Rifai, D. A., & Toruan, P. L. (2018). *Studi Difraksi Sinar-X Struktur Nano Seng Oksida ( ZnO ) X-ray Diffraction Study on ZnO Nanostructures*. 2(2), 53–57.
- Anbarasu, M., Anandan, M., Chinnasamy, E., Gopinath, V., & Balamurugan, K. (2015). Synthesis and Characterization of Polyethylene Glycol (PEG) Coated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles By Chemical Coprecipitation Method for Biomedical Applications. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 135, 536–539.
- Angelici, C., Weckhuysen, B. M., & Bruijninx, P. C. A. (2013). Chemocatalytic Conversion of Ethanol Into Butadiene and Other Bulk Chemicals. *ChemSusChem*, 6(9), 1595–1614. <https://doi.org/10.1002/cssc.201300214>
- Aranyosi, E. (2021). *Bioethanol as a possible source of n -butanol*. 2012, 5–17.
- Arlianti, L. (2018). *Bioetanol Sebagai Sumber Green Energy Alternatif yang Potensial Di Indonesia*. 1, 16–22.
- Arum, Y. S. S. (2013). Isolasi dan Uji Daya Antimikroba Ekstrak Daun Kersen (Muntingia calabura). *Jurnal MIPA Unnes*, 35(2), 115048.
- Bahri, S., & Hartono, D. (2019). Jurnal Teknologi Kimia Unimal Proses Pembuatan Bioetanol dari Kulit Pisang Kepok (Musa acuminata B.C) secara Fermentasi Abstrak. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 1(Mei), 48–56.
- Basa, D. P. (2020). *Produksi Bioetanol Menggunakan Metoda Simultaneous Saccharification Fermentation (SSF) dari Limbah Kulit Nanas*. January 2014. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13046.22080>
- Bunaciu, A. A., Hoang, V. D., & Aboul-Enein, H. Y. (2015). Applications of FT-IR Spectrophotometry in Cancer Diagnostics. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 45(2), 156–165. <https://doi.org/10.1080/10408347.2014.904733>
- Chayid, M. A., & Ahmed, M. J. (2015). Amoxicillin Adsorption on Microwave Prepared Activated Carbon from Arundo Donax Linn: Isotherms, Kinetics, and Thermodynamics Studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 3(3), 1592–1601. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.05.021>
- Choopun, W., & Jitkarnka, S. (2016). Catalytic Activity and Stability of HZSM-5 zeolite and Hierarchical Uniform Mesoporous MSU-SZSM-5 Material During Bioethanol Dehydration. *Journal of Cleaner Production*, 135, 368–378. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.110>
- Deviani, S. S., Mahatmanti, F. W., & Widiarti, N. (2018). Sintesis Dan Karakterisasi Zeolit Dari Abu Sekam Padi Menggunakan Metode



- Hidrotermal. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 7(1), 86–93.
- Dewi, L. R., Widanarto, W., & Effendi, M. (2019). Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Komposisi, Sifat Magnetik dan Absorpsi Gelombang Mikro Komposit Nano Zinc-Ferit. *Jurnal Teras Fisika*, 2(1), 18. <https://doi.org/10.20884/1.jtf.2019.2.1.1514>
- Effendi, D. B., Rosyid, N. H. R., Nandiyanto, A. B. D., & Mudzakir, A. (2015). Review : Sintesis Nanoselulosa. *Jurnal Integrasi Proses*, 5(2), 61–74.
- Erlina, Umiatin, & Budi, E. (2015). Pengaruh Konsentrasi Larutan KOH Pada Karbon Aktif. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, IV, 55–60.
- Fan, D., Dai, D. J., & Wu, H. S. (2013). Ethylene Formation by Catalytic Dehydration of Ethanol With Industrial Considerations. *Materials*, 6(1), 101–115. <https://doi.org/10.3390/ma6010101>
- Febriyanti, F., Fadila, N., Sanjaya, A. S., Bindar, Y., & Irawan, A. (2019). Pemanfaatan Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Bio-Char, Bio-Oil Dan Gas Dengan Metode Pirolisis. *Jurnal Chemurgy*, 3(2), 12. <https://doi.org/10.30872/cmg.v3i2.3578>
- Frandsen, B. A., Read, C., Stevens, J., Walker, C., Christiansen, M., Harrison, R. G., & Chesnel, K. (2021). Superparamagnetic Dynamics and Blocking Transition in Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles Probed by Vibrating Sample Magnetometry and Muon Spin Relaxation. *Physical Review Materials*, 5(5), 1–10. <https://doi.org/10.1103/PhysRevMaterials.5.054411>
- Hakim Firdaus, L., & Rizky Wicaksono, A. (2013). Pembuatan Katalis H-Zeolit dengan Impregnasi KI/KIO<sub>3</sub> dan Uji Kinerja Katalis untuk Produksi Biodiesel. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*, 2(2), 148–154. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jtki148>Penulispenanggungjawab
- Hamad, A., Hidayah, B. I., Solekhah, A., & Septhea, A. G. (2017). Potensi Kulit Nanas Sebagai Substrat Dalam Pembuatan Nata De Pina. *Jurnal Riset Sains Dan Teknologi*, 1(1), 9–14.
- Hardian, A., Ramadhiany, A. A., Syarif, D. G., & Budiman, S. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Dengan Memanfaatkan Biomaterial Belimbing Wuluh (Averrhoa bilimbi) Sebagai Agen Pengkelat Untuk Aplikasi Nanofluida Synthesis and Characterization of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles using (Averrhoa bilimbi) As Biomate. *Alchemy Jurnal Penelitian Kimia Universtas Jenderal Achmad Yani, Jl. Terusan Jenderal Sudirman*, 13(2), 133–146. <https://doi.org/10.20961/alchemy.v13i2.4348>
- Harti, R., Fitri, N., & Allwar. (2014). *Indonesian Journal of Chemical Research – Inco . J . Chem . Res .* 2(1).
- Hernowo, A., Fisika, D., Sains, F., & Diponegoro, U. (2019). Kristalinitas Dan Ukuran Nanopartikel Zno Yang Dikalsinasi Pada Temperatur 1000c Dan 2000c. *Berkala Fisika*, 22(4), 125–131.

- Holle, R. B., Wuntu, A. D., & Sangi, M. S. (2013). Kinetika Adsorpsi Gas Benzene Pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa. *Jurnal MIPA*, 2(2), 100. <https://doi.org/10.35799/jm.2.2.2013.2997>
- Hoseini, M. F. and T. P. F. (2018). Coprecipitation Synthesis of Zinc Ferrite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{ZnO}$ ) Nanoparticles Prepared by Ctab Surfactant. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 4(1), 9–10. <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v10i1s.7>
- Hosseini-Sarvari, M., Khanivar, A., & Moeini, F. (2015). Magnetically Recoverable Nano Pd/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$ / $\text{ZnO}$  Catalyst: Preparation, Characterization, and Application for The Synthesis of 2-oxazolines and benzoxazoles. *Journal of Materials Science*, 50(8), 3065–3074. <https://doi.org/10.1007/s10853-015-8866-7>
- Hotmian, E., Suoth, E., & Tallei, T. (2021). GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) Analysis of Nut Grass Tuber (*Cyperus rotundus L.*) Methanolic Extract Analisis GC-MS (Gas Chromatography-Mass Spectrometry) Ekstrak Metanol Dari Umbi Rumput Teki (*Cyperus rotundus L.*). 10, 849–856.
- Husniah, I., & Gunata, A. F. (2020). Ekstrak Kulit Nanas sebagai Antibakteri. *Jurnal Penelitian Perawat Profesional*, 2(1), 85–90. <https://doi.org/10.37287/jppp.v2i1.51>
- Hydhayat, Y. W., & Surabaya, K. (2022). Activated Carbon From Teak Leaves Using Activation. 16(2), 87–92.
- Idrus. (2013). Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa. *Jurnal Untan.*, 1(1), 4. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jpfu/article/view/1422>
- Ikaningsih, M. A., Ghazi Alwan Rafi, & Djoko Hadi Prajitno. (2022). Studi Awal Pembuatan Polymer Matrix Composite (PMC) Epoksi yang Didoping Nanopartikel ZnO sebagai Material Antibakteri. *Jurnal Teknik: Media Pengembangan Ilmu Dan Aplikasi Teknik*, 21(1), 74–83. <https://doi.org/10.55893/jt.vol21no1.438>
- Indra Darmawan, F., & Wayan Susila, I. (2013). Proses Produksi Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Metode Pencucian Dry-Wash Sistem. *Teknik Mesin*, 02(01), 80–87. [www.wartaekonomi.com/indicator](http://www.wartaekonomi.com/indicator),
- Iwamoto, M. (2015). Selective Catalytic Conversion of Bioethanol to Propene: A Review of Catalysts and Reaction Pathways. *Catalysis Today*, 242(PB), 243–248. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2014.06.031>
- Jamaluddin. (2010). *Fisika Material (X-Ray Diffractions)*. A1c3 06066.
- Joshi, G., Rawat, D. S., Lamba, B. Y., Bisht, K. K., Kumar, P., Kumar, N., & Kumar, S. (2015). Transesterification of Jatropha and Karanja Oils by Using Waste Egg Shell Derived Calcium Based Mixed Metal Oxides. *Energy Conversion and Management*, 96, 258–267.

<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.02.061>

- Juliandi Siregar, Sutri Novika, D. W. M. R. (2015). *Struktur Kristal Dan Morfologi Nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO*. 3–7.
- Jumari, A. (2016). Pengaruh Laju Alir Gas Pembawa Terhadap Pembuatan Katalis Heterogen Nanokomposit ZnO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Ekuilibium*, 1(1), 1–6. <https://doi.org/10.20961/ekuilibrium.v1i1.2018>
- Jumari, A., & Purwanto, A. (2013). Unjuk Kerja Katalis Heterogen Nanokomposit ZnO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Untuk Reaksi Transesterifikasi Pada Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Tinjauan Waktu Reaksi. *Ekuilibium*, 12(2), 37–41. <https://doi.org/10.20961/ekuilibrium.v12i2.2178>
- Jumari, A., Purwanto, A., & Distantina, S. (2011). Karakteristik Fisik Nanokomposit ZnO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang dibuat Menggunakan Flame Spray Pyrolysis dengan Variasi Laju Alir Gas Pembawa. *Ekuilibium*, 10(1), 1–6. <https://doi.org/10.20961/ekuilibrium.v10i1.2222>
- Kalaiselvi, M., Gomathi, D., & Uma, C. (2012). Occurrence of Bioactive compounds in Ananas comosus: A Quality Standardization by HPTLC. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 2(3 SUPPL.), S1341–S1346. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(12\)60413-4](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(12)60413-4)
- Kesic, Z., Lukic, I., Zdujic, M., Liu, H., & Skala, D. (2012). Mechanochemically Synthesized CaO ZnO Catalyst for Biodiesel Production. *Procedia Engineering*, 42(August), 1169–1178. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.509>
- Khaira Kuntum. (2011). Pengaruh Temperatur dan Waktu Kalsinasi Batu Kapur Terhadap Karakteristik Precipitated Calcium Carbonate (PCC). In *Jurnal Sainstek: Vol. III* (Issue 1, pp. 33–43).
- Khaira, Z. F., Yenie, E., & Muria, S. R. (2015). Pembuatan Bioetanol Dari Limbah Tongkol Jagung Menggunakan Proses Simultaneous Saccharification And Fermentation (SSF) Dengan Variasi Konsentrasi Enzim Dan Waktu Fermentasi. *Jom Fteknik*, 2(2), 1–8.
- Kono, H., Ogasawara, K., Kusumoto, R., Oshima, K., Hashimoto, H., & Shimizu, Y. (2016). Cationic Cellulose Hydrogels Cross-linked by Polyethylene glycol: Preparation, Molecular Dynamics, and Adsorption of Anionic Dyes. *Carbohydrate Polymers*, 152, 170–180. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.07.011>
- Kostetskyy, P., & Mpourmpakis, G. (2015). Structure-activity Relationships in the Production of Olefins from Alcohols and Ethers: a First-principles Theoretical Study. *Catalysis Science and Technology*, 5(9), 4547–4555. <https://doi.org/10.1039/c5cy00925a>
- Kurniati, Y., Khasanah, I. E., & Firdaus, K. (2021). Kajian Pembuatan Bioetanol dari Limbah Kulit Nanas (Ananas comosus). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 10(2),

95–101. <https://doi.org/10.32734/jtk.v10i2.6603>

- Lestari, A., & Dewi Sartika. (2018). *Preparasi Dan Karakterisasi Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Menggunakan Metode Kopresipitasi*. 11(1), 7–10.
- Lestari, D. Y. (2012). Pemilihan Katalis Yang Ideal. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan MIPA*, 1–6.
- Lubis, W. Z., & Mujamilah, M. (2017). Pengukuran Sampel Magnetik Cair dengan Vibrating Sample Magnetometer (VSM). *JPSE (Journal of Physical Science and Engineering)*, 2(2), 39–47. <https://doi.org/10.17977/um024v2i22017p039>
- Marina Olivia Esterlita, & Netti Herlina. (2015). Pengaruh Penambahan Aktivator ZnCl<sub>2</sub>, KOH, dan H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> Dalam Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepah Aren (Arenga Pinnata). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(1), 47–52. <https://doi.org/10.32734/jtk.v4i1.1460>
- Marzuki, I. (2019). *Pengantar Kimia Organik Fisis*. In Tohar Media.
- Maslukah, L., Zainuri, M., Wirasatriya, A., & Widiaratih, R. (2020). Studi Kinetika Adsorpsi Dan Desorpsi Ion Fosfat (Po<sub>4</sub><sup>2-</sup>) Di Sedimen Perairan Semarang Dan Jepara. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2), 385–396. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v12i2.32392>
- Mizrotun, N. (2021). *(Ananas comosus) Terhadap Bakteri Staphylococcus auerus Program Studi Diploma III Farmasi (Ananas comosus) Terhadap Bakteri Staphylococcus auerus. L.*
- Montes, V., & Hill, J. M. (2018). Activated Carbon Production: Recycling KOH to Minimize Waste. *Materials Letters*, 220, 238–240. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.03.019>
- Muhamad Muhajir, Muhammad Alfian Mizar, D. A. S. (2016). Analisis Kekuatan Tarik Bahan Komposit Matriks Resin Berpenguat Serat Alam Dengan Berbagai Varian Tata Letak. *Jurnal Teknik Mesin*, 24(2), 1–8.
- Mulyadi, I. (2019). Isolasi dan Karakterisasi Selulosa. *JURNAL SAINTIKA UNPAM Vol. 1 No. 2 Januari 2019*. 1(2), 177–182.
- Munnik, P., De Jongh, P. E., & De Jong, K. P. (2015). Recent Developments in the Synthesis of Supported Catalysts. *Chemical Reviews*, 115(14), 6687–6718. <https://doi.org/10.1021/cr500486u>
- Nagavally, R. R. (2016). Composite Materials - History , Types , Fabrication Techniques , Advantages , and Applications. *International Journal of Advances in Science Engineering and Technology*, 4(2), 87–92.
- Naimah, S., Nuraeni, C., Rumondang, I., Jati, B. N., Rahyani, D., Balai, E., Kimia, B., & Kemasan, D. (2012). Dekomposisi Limbah Plastik Polypropylene Dengan Metode Pirolisis. *Jurnal Sains Materi Indonesia Indonesian Journal of Materials Science*, 13(3), 226–229.

- Nandiyanto, A. B. D., Oktiani, R., & Ragadhita, R. (2019). How to Read and Interpret FTIR Spectroscopy of Organic Material. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 4(1), 97–118. <https://doi.org/10.17509/ijost.v4i1.15806>
- Nikazar, M., Alizadeh, M., Lalavi, R., & Rostami, M. H. (2014). The Optimum Conditions for Synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ZnO Core/Shell Magnetic Nanoparticles for Photodegradation of Phenol. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1), 2–7. <https://doi.org/10.1186/2052-336X-12-21>
- Nius, A. (2021). *Sifat-sifat Hidrokarbon*. January.
- Noviandi, I., Yaman, M. A., Rinidar, R., Nurliana, N., & Razali, R. (2018). Pengaruh Pemberian Kulit Nanas (*Ananas comosus*) Fermentasi Terhadap Persentase Karkas dan Kolesterol Ayam Potong. *Jurnal Agripet*, 18(2), 123–128. <https://doi.org/10.17969/agripet.v18i2.8239>
- Nurhadiansyah, A., Diah, I., & Pahlanop, B. (2018). Sintesis dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Limbah Serbuk Kayu Bengkirai sebagai Adsorben Logam Fe pada Air Gambut. *Prisma Fisika*, VI(2), 124–128.
- Octarya, Z., Refelita, F., & Rahim, N. (2019). Indonesian Journal of Chemical Science and Technology State University of Medan. *Indonesian Journal of Chemical Science and Technology*, 2(1), 66–70.
- Oko, S., & Feri, M. (2019). Pengembangan Katalis CaO dari Cangkang Telur Ayam dengan Impregnasi KOH dan Aplikasinya Terhadap Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jarak. *Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 11(2), 103–110.
- Pambudi, A., Farid, M., & Nurdiansah, H. (2017). Analisa Morfologi dan Spektroskopi Infra Merah Serat Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper*) Hasil Proses Alkalisasi Sebagai Penguat Komposit Absorpsi Suara. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2), 441–444. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.24808>
- Pamela, V. Y., Syarief, R., Iriani, E. S., & Suyatma, N. E. (2017). Karakteristik Mekanik, Termal dan Morfologi Film Polivinil Alkohol dengan Penambahan Nanopartikel ZnO dan Asam Stearat untuk Kemasan Multilayer. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*, 13(2), 63. <https://doi.org/10.21082/jpasca.v13n2.2016.63-73>
- Permata, D. G., Diantariani, N. P., & Widihati, I. A. G. (2016). Degradasi Fotokatalitik Fenol Menggunakan Fotokatalis ZnO dan Sinar UV. *Jurnal Kimia*, 263–269. <https://doi.org/10.24843/jchem.2016.v10.i02.p13>
- Prametha, N. ., & Legowo, A. . (2015). Pemanfaatan Susu Kadaluwarsa Dengan Fortifikasi Kulit Nanas Untuk Produksi Bioetanol. *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 2(1), 30–35.
- Primmy, R. N., & Murwani, I. K. (2012). Sintesis dan Karakterisasi Padatan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/CaF<sub>2</sub>. *Jurnal Sains Dan Seni Its*, 1(1), 1–3.

- Pujiono, F. E., & Jourdhan, D. (2021). *Analisis Kadar Kromium (Cr) Pada Rambut Pekerja Pelapis Logam Menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) Analysis Of Chromium (Cr) Level in The Hair of Metal Coated Workers Using Atomic Adsorption Spectrophotometry ( SSA )*. 6–10.
- Purnami, P., Wardana, I., & K, V. (2015). Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Laju Dan Efisiensi Pembentukan Hidrogen. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6(1), 51–59. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2015.006.01.8>
- Purwanto, A. (2014). Pembuatan Nanopartikel Seng Oksida (ZnO) Menggunakan Proses Flame Assisted Spray Pyrolysis (Fasp). *Ekuilibrium*, 13(1), 17–21. <https://doi.org/10.20961/ekuilibrium.v13i1.2148>
- Rachmat Subagyo, I. A. S. (2019). 2) 1,2. 4(1), 1–14.
- Rachmawani, D., Yulianda, F., Kusmana, C., Boer, M., & Parwati, E. (2017). Dampak Hidrokarbon Aromatik Terhadap Ekosistem Mangrove di Kawasan Binalatung Kota Tarakan Kalimantan Utara (Impact of Aromatic Hydrocarbon on Mangrove Ecosystem in Binalatung Area Tarakan City North Kalimantan). *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 23(3), 295. <https://doi.org/10.22146/jml.18801>
- Rachmawati, A. D. (2017). Studi Pemanfaatan Zeolit Untuk Pengolahan Biodiesel Dan Bioetanol. *Jurnal Zarah*, 5(1), 14–21. <https://doi.org/10.31629/zarah.v5i1.145>
- Ridhuan, K., & Suranto, J. (2017). Perbandingan Pembakaran Pirolisis Dan Karbonisasi Pada Biomassa Kulit Durian Terhadap Nilai Kalori. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 5(1), 50–56. <https://doi.org/10.24127/trb.v5i1.119>
- Rini, E. P., Nadhifah, N. A., Altway, A., & Susianto, S. (2020). Pra-Desain Pabrik Bioetanol dari Bagasse. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v8i2.46045>
- Riza, M. (2016). Pemanfaatan Limbah Kulit Ubi Kayu (*Manihot utilissima* Pohl) dan Kulit Nanas (*Ananas comosus*) pada Produksi Bioetanol Menggunakan *Aspergillus niger*. *The 3rd Universty Research Colloquium*, 604–614.
- Rohmah, B. A., Mustakim, F., Ramadhany, F., & Masitoh, H. (2022). *Review Nanopartikel Logam/Logam Oksida- Terkomposisi Karbon Berpori via Sintesis Hidrotermal untuk Superkapasitor Performa Tinggi*. June, 0–6.
- Santoso, R. H., Susilo, B., & Nugroho, W. A. (2014). Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif dari Kulit Singkong (*Manihot esculenta* Crantz) Menggunakan Activating Agent KOH Preparation and Characterization of Activated Carbon from Cassava Peel (*Manihot esculenta* Crantz) Using Activating Agent KOH. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 2(3), 279–286.
- Sarroukh, R., Goormaghtigh, E., Ruysschaert, J. M., & Raussens, V. (2013). ATR-FTIR: a “Rejuvenated” Tool to Investigate Amyloid Proteins. *Biochimica et*

*Biophysica Acta - Biomembranes*, 1828(10), 2328–2338.  
<https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2013.04.012>

- Setiabudi, A., Hardian, R., & Muzakir, A. (2012). Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia. In *UPI Press* (Vol. 1).
- Setiawan, I. P. P. (2019). Sintesis Sikloheksena Dari Sikloheksanol Melalui Reaksi Eliminasi. *Kimia*, 1(1), 1–5.
- Setiawati, E. L., Gonggo, S. T., & Abram, H. (2016). Penentuan Waktu Optimum dalam Pembuatan Bioetanol dari Bonggol Pisang Tanduk (*Musa paradisiaca* formatypisa) Determination of the Optimum Time in Production of Bioethanol from Banana (*Musa paradisiaca* formatypisa ) Tuber through Fermentation. *J. Akad. Kim*, 5(3), 115–120.
- Sheren, H., Hartono, O., Soetjipto, H., Kristijanto, A. I., Kimia, J., Sains, F., Kristen, U., Wacana, S., Diponegoro, J., & Tengah, J. (2015). *Extraction and Chemical Compounds Identification of Red Rice Bran Oil Using Gas Chromatography – Mass Spectrometry ( GC-MS ) Method*. 13–25.
- Siregar, J., Novika, S., Hariyadi, J., & Lubis, S. (2020). *Karakterisasi Nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO*. 1–6.
- Subagyo, R., & Arifin, W. (2016). Analisa Variasi Waktu Fermentasi Pembuatan Bioetanol Dengan Bahan Kulit Singkong Dan Kulit Nanas. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 1(2), 113–124.  
<https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v1i2.31>
- Sudibandriyo, M., & Lydia, L. (2018). Karakteristik Luas Permukaan Karbon Aktif dari Ampas Tebu dengan Aktivasi Kimia. *Jurnal Teknik Kimia Indonesia*, 10(3), 149. <https://doi.org/10.5614/jtki.2011.10.3.6>
- Sugito, Soerya Dewi Marliyan, H. D. A. (2022). *Uji Kinerja Instrumen Spektrofotometer Serapan Atom (AAS) Shomadzu 6650 F Terhadap Logam Fe, Zn pada Kegiatan Praktikum Kimia Anorganik di UPT Laboratorium Terpadu UNS*. 5(2), 82–88.
- Sujatno, A., Salam, R., Dimiyati, A., Sains, P., & Maju, B. (2015). *Studi Scanning Electron Microscopy (SEM) untuk Karakterisasi Proses Oksidasi Paduan Zirkonium*. 9(November), 44–50.
- Suryadri, H., Sumantr, S. P., & Nazarudin, N. (2022). Potensi TKKS sebagai Bahan Baku Bioetanol dan Dimetil Eter Melalui Proses Gasifikasi/The Potency of Palm Empty Fruit Bunches as Raw Material for Producing Bioethanol and Dimethyl Ether Using Gasification Process. *Perspektif*, 20(2), 106.  
<https://doi.org/10.21082/psp.v20n2.2021.106-120>
- Susanti, A. D. (2013). Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Nanas Melalui Hidrolisis Dengan Asam. *Ekulibrium*, 12(1), 81–86.  
<https://doi.org/10.20961/ekuilibrium.v12i1.2170>



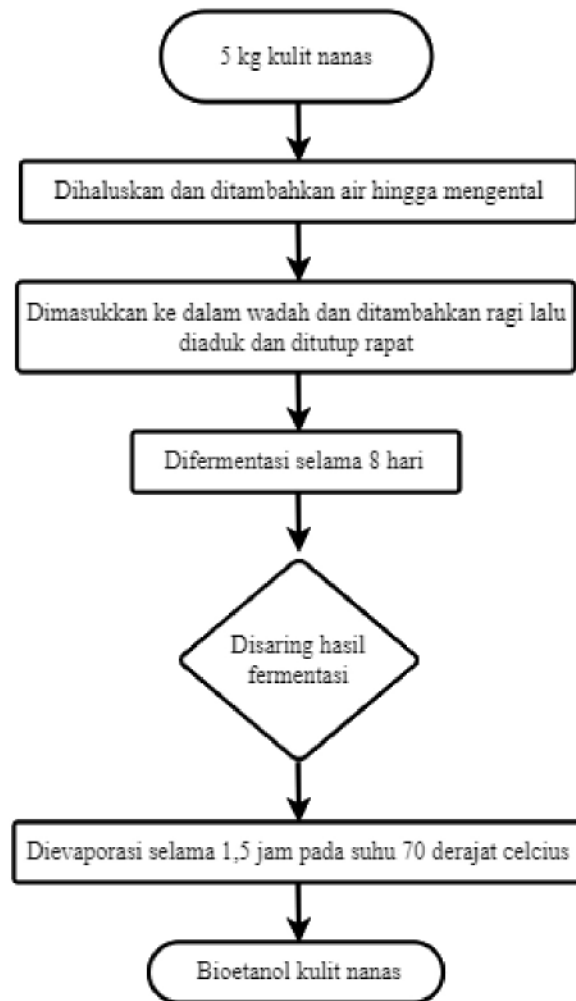
- Syamsiro, M. (2015). Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk. *Teknik*, 5(1), 1–85.
- Syaukani, M., Paundra, F., Qalbina, F., Arirohman, I. D., Yunesti, P., & Sabar, S. (2021). Desain dan Analisis Mesin Press Komposit Kapasitas 20 Ton. *Journal of Science, Technology, and Visual Culture*, 1(1), 29–34.
- Tebriani, S. (2019). Analisis Vibrating Sample Magnetometer (VSM) Pada Hasil Elektrodeposisi Lapisan Tipis Magnetite Menggunakan Aruscontinue Direct Current. *Natural Science Journal*, 5, 722–730.
- Theophanides, T. (2014). *Introduction to Infrared Spectroscopy*. In *Infrared Spectroscopy: Materials Science, Engineering and Technology*. BoD–Books on Demand
- Trianto, M., Kaini, K., Saliyem, S., Warsih, E., & Winarsih, W. (2020). Keanekaragaman Serangga Polinator Pada Tanaman Nanas (*Ananas comosus*) Di Desa Bincau. *Biosel: Biology Science and Education*, 9(2), 154. <https://doi.org/10.33477/bs.v9i2.1631>
- Visscher, M., Pouw, J. J., Van Baarlen, J., Klaase, J. M., & Haken, B. Ten. (2013). Quantitative Analysis of Superparamagnetic Contrast Agent in Sentinel Lymph Nodes using Ex Vivo Vibrating Sample Magnetometry. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 60(9), 2594–2602. <https://doi.org/10.1109/TBME.2013.2261893>
- Wahyuni, S. A., Kadarusno, A. H., & Suwerda, B. (2015). *Dan Limbah Buah Nanas Pasar Beringharjo Yogyakarta*. 151–159.
- Wei, D., Yang, J., Jiang, M. Q., Dai, L. H., Wang, Y. J., Dyre, J. C., Douglass, I., & Harrowell, P. (2019). Assessing the Utility of Structure in Amorphous Materials. *Journal of Chemical Physics*, 150(11). <https://doi.org/10.1063/1.5064531>
- Wendi, Valentinoh Cuaca, & Taslim. (2015). Pengaruh Suhu Reaksi dan Jumlah Katalis pada Pembuatan Biodiesel dari Limbah Lemak Sapi dengan Menggunakan Katalis Heterogen CaO dari Kulit Telur Ayam. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 4(1), 35–41. <https://doi.org/10.32734/jtk.v4i1.1458>
- Wicaksono, M. A., & Arijanto. (2017). Pengolahan Sampah Plastik Jenis Pet(Polyethylene Perephthalathe) Menggunakan Metode Pirolisis Menjadi Bahan Bakar Alternatif. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(1), 9–15.
- Wu, C. Y., & Wu, H. S. (2017). Ethylene Formation from Ethanol Dehydration Using ZSM-5 Catalyst. *ACS Omega*, 2(8), 4287–4296. <https://doi.org/10.1021/acsomega.7b00680>
- Wu, M., Guo, Q., & Fu, G. (2013). Preparation and Characteristics of Medicinal Activated Carbon Powders by CO<sub>2</sub> Activation of Peanut Shells. *Powder Technology*, 247, 188–196. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2013.07.013>

- Yahya, M. A., Mansor, M. H., Zolkarnaini, W. A. A. W., Rusli, N. S., Aminuddin, A., Mohamad, K., Sabhan, F. A. M., Atik, A. A. A., & Ozair, L. N. (2018). a Brief Review on Activated Carbon Derived from Agriculture by-product. *AIP Conference Proceedings*, 1972(June 2018). <https://doi.org/10.1063/1.5041244>
- Yuliusman. (2015). Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Bahan Pengaktif KOH dan Gas N<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>. *Seminar Teknologi Dan Rekayasa (SENTRA)*, June, 978–979.
- Yurdakal, S., Garlisi, C., Özcan, L., Bellardita, M., & Palmisano, G. (2019). Photocatalyst Characterization Techniques: Adsorption Isotherms and BET, SEM, FTIR, UV-Vis, Photoluminescence, and Electrochemical Characterizations. In *Heterogeneous Photocatalysis: Relationships with Heterogeneous Catalysis and Perspectives* (Vol. 4). <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64015-4.00004-3>
- Zamhari, M., Junaidi, R., Rachmatika, N., Oktarina, A., Srijaya, J., Bukit, N., Palembang, B., & Selatan, S. (2021). Pembuatan Katalis Berbasis Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*) Diimpregnasi KOH pada Reaksi Transesterifikasi Sintesis Biodiesel Catalyst Synthesis from Activated Carbon of Coconut Shell (*Cocos nucifera*) Impregnatedpotassium Hydroxidein. *Jurnal Kinetika*, 12(01), 23–31. <https://jurnal.polsri.ac.id/index.php/kimia/index>
- Zou, G., Xiong, K., Jiang, C., Li, H., Li, T., Du, J., & Qian, Y. (2017). *Sintesis dan Karakterisasi Struktur dan Sifat Magnet Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO*. 193492(2010), 193492.

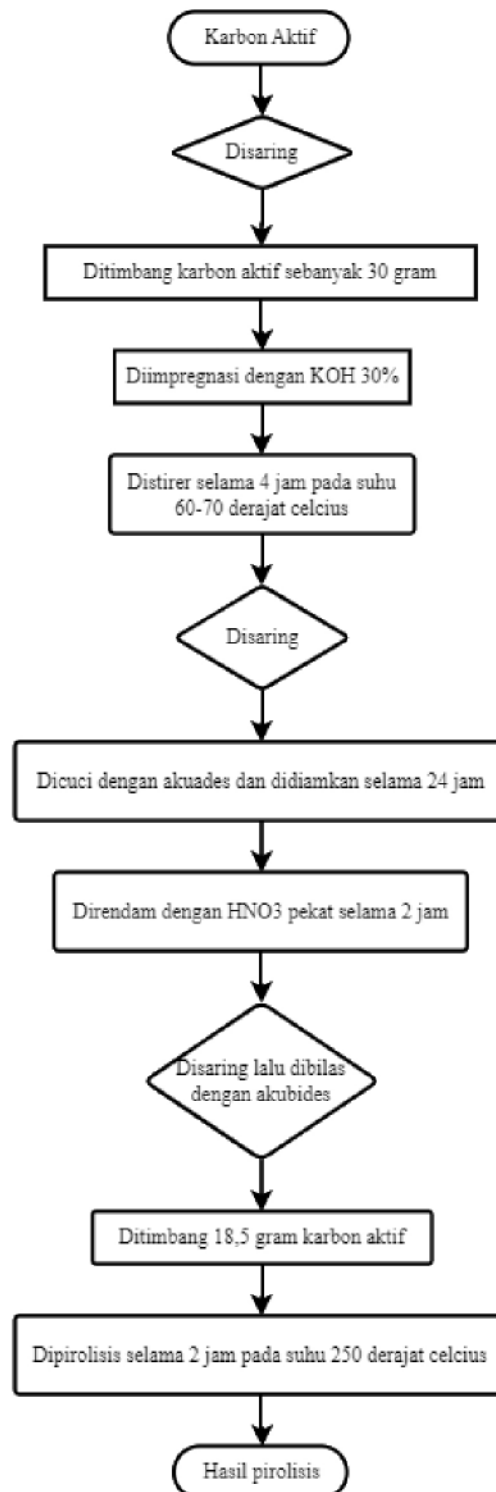
## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Skema Alur Penelitian

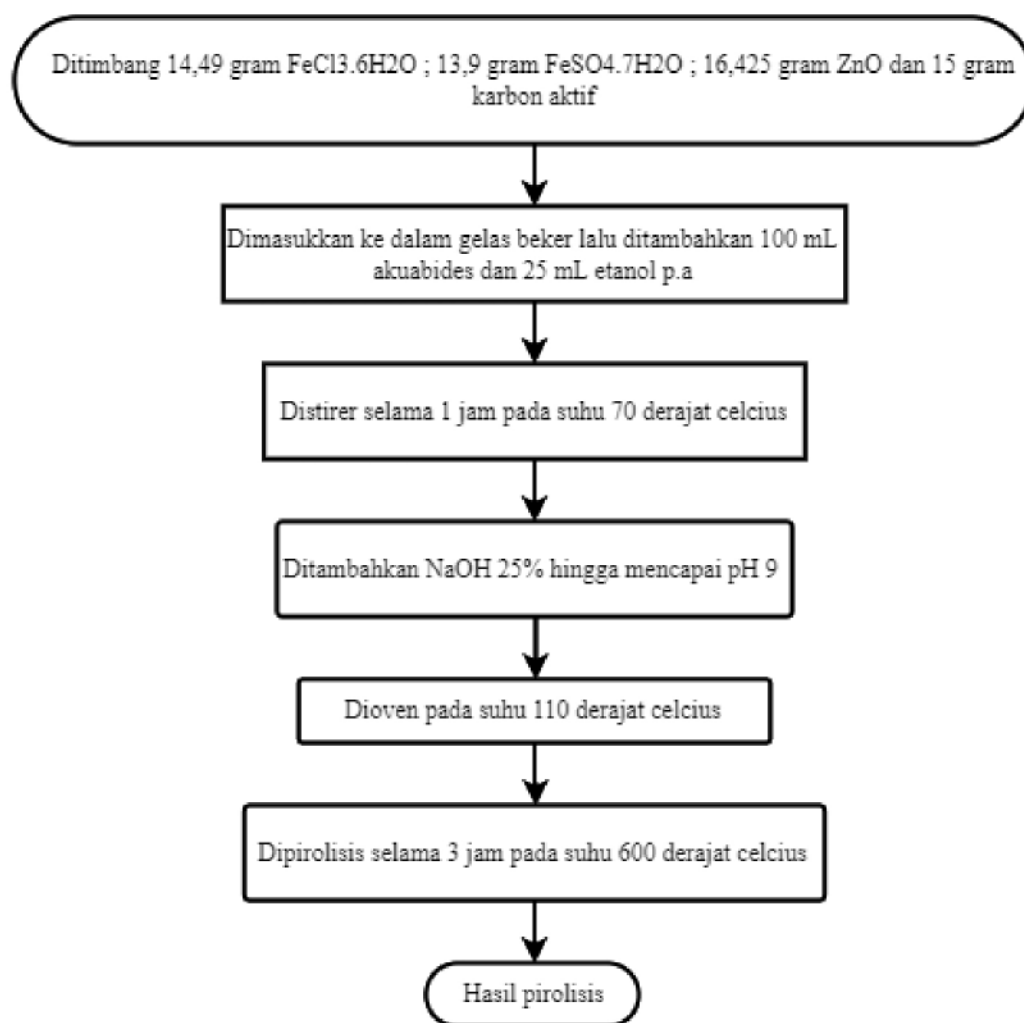
#### 1. Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Nanas



## 2. Proses Aktivasi Karbon Aktif



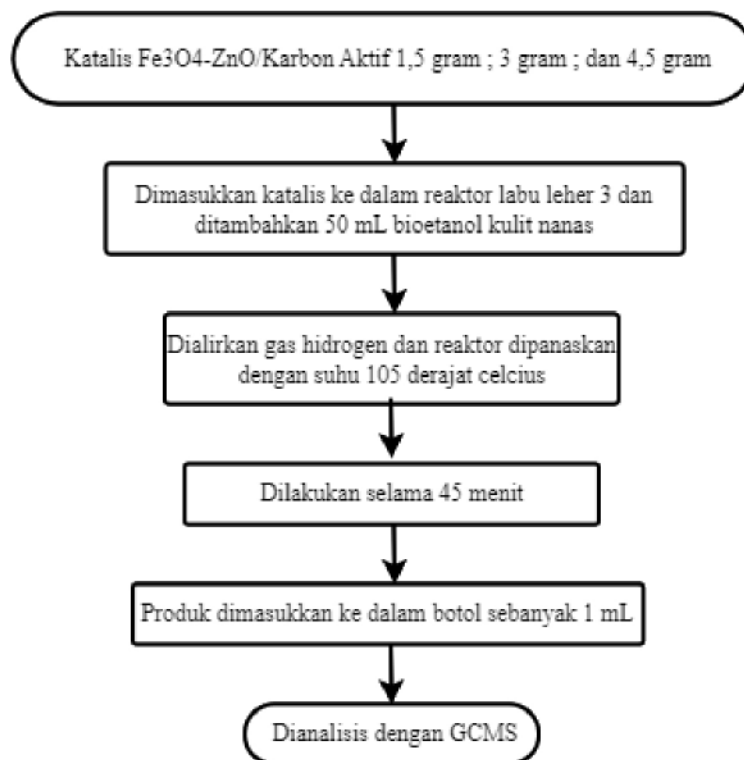
### 3. Pembuatan Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/Karbon Aktif



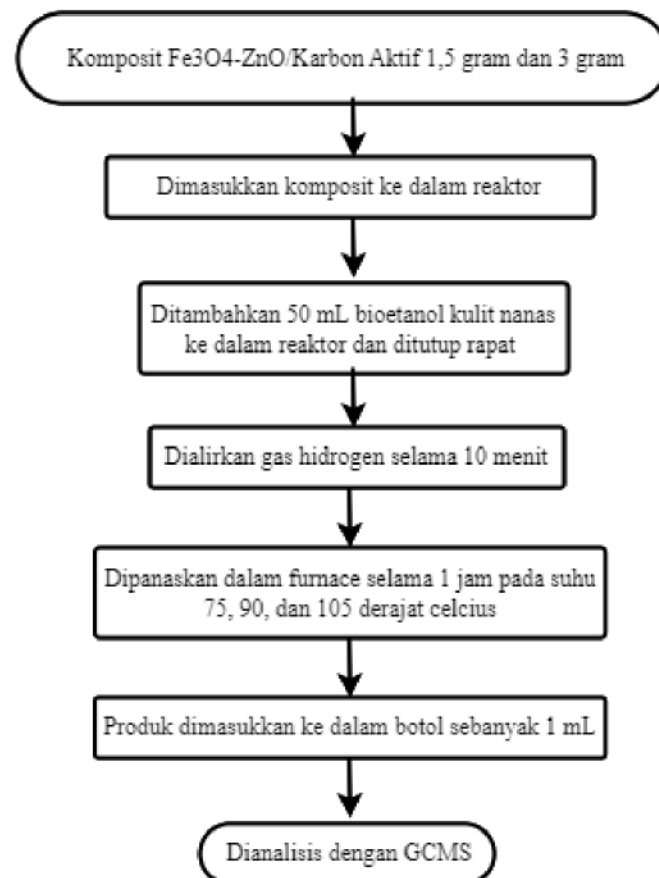
#### 4. Konversi Bioetanol

##### 4.1. Konversi Bioetanol Metode 1





#### 4.2. Konversi Bioetanol Metode 2





**Lampiran 2. Dokumentasi Selama Penelitian**

 <p data-bbox="320 869 772 943">Kulit nanas yang sudah dipisahkan dari limbah daun nanas</p>	 <p data-bbox="815 869 1337 943">Kulit nanas yang sudah di potong kecil-kecil</p>
 <p data-bbox="344 1435 746 1509">Kulit nanas dihaluskan dengan blender</p>	 <p data-bbox="807 1424 1347 1498">Kulit nanas dimasukkan ke dalam wadah besar kemudian ditambahkan dengan ragi</p>
	

<p>Pengadukan kulit nanas yang sudah ditambahkan ragi</p>	<p>Dilakukan fermentasi selama 8 hari hingga menjadi bioetanol</p>
 <p>Setelah 8 hari fermentasi kulit nanas di saring hingga terpisah antara filtrat dan endapan</p>	 <p>Hasil fermentasi di evaporasi selama 1,5 jam pada suhu 70 °C</p>
 <p>Karbon aktif dihaluskan dengan menggunakan saringan biasa</p>	 <p>Karbon aktif yang telah halus diimpregnasi dengan KOH 30%</p>
 <p>Karbon aktif distirer selama 4 jam pada suhu 60-70 °C</p>	 <p>Karbon aktif disaring dengan kertas saring biasa</p>



Perendaman karbon aktif dengan  $\text{HNO}_3$



Pencucian karbon aktif dengan akuabides



Karbon aktif setelah dikeringkan











Pirolisis karbon aktif pada suhu  $250\text{ }^\circ\text{C}$  selama 2 jam



Karbon aktif setelah dipirolisis



Penimbangan  $\text{FeCl}_3$  sebanyak 14,49 gram dan  $\text{FeSO}_4$  13,9 gram

 <p>Penimbangan ZnO 16,425 sebanyak gram</p>	 <p>Hasil pencampuran antara FeCl<sub>3</sub>, FeSO<sub>4</sub> dan ZnO</p>
 <p>Campuran distirer selama 1 jam pada suhu 70 °C dan ditambahkan dengan NaOH 25 %</p>	 <p>Komposit disaring dan dibilas dengan akuabides</p>
 <p>Hasil komposit setelah dioven</p>	 <p>Komposit dipirolisis selama 3 jam pada suhu 600 °C</p>
 <p>Hasil kompsit setelah dipirolisis</p>	



	Konversi bioetanol dengan metode pertama
 <p data-bbox="333 1048 754 1122">Hasil konversi bioetanol dengan metode pertama</p>	 <p data-bbox="799 1070 1353 1178">Penambahan gas H<sub>2</sub> ke dalam reaktor pada konversi bioetanol dengan metode kedua selama 10 menit</p>
 <p data-bbox="320 1688 770 1762">Konversi bioetanol dengan metode kedua</p>	 <p data-bbox="815 1659 1337 1733">Hasil konversi bioetanol dengan metode kedua</p>

### Lampiran 3. Perhitungan dalam Penelitian

#### 1. Berat Sampel FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O ; FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O dan ZnO

##### a. Molaritas FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O

- **Mol FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O**

$$n = \frac{\text{gram}}{\text{Mr}}$$

$$n = \frac{14,49 \text{ gram}}{270,3 \text{ gram/mol}}$$

$$n = 0,0536 \text{ mol}$$

- **Molaritas FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O**

$$n = M \times V$$

$$0,0536 \text{ mol} = M \times 0,15 \text{ mL}$$

$$M = \frac{0,0536 \text{ mol}}{0,15 \text{ mL}}$$

$$M = 0,35 \text{ M}$$

**b. Berat Sampel FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O**

- **Mol FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O**

$$n = M \times V$$

$$n = 0,35 \text{ M} \times 0,15 \text{ mL}$$

$$n = 0,05 \text{ mol}$$

- **Berat Sampel FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O**

$$\text{gram} = \text{Mr} \times n$$

$$\text{gram} = 298 \text{ gram/mol} \times 0,05 \text{ mol}$$

$$= 13,9 \text{ gram}$$

**c. Berat Sampel ZnO**

- **Mol ZnO**

$$n = M \times V$$

$$n = 0,35 \text{ M} \times 0,15 \text{ mL}$$

$$n = 0,05 \text{ mol}$$

- **Berat Sampel ZnO**

$$\text{gram} = \text{Mr} \times n$$

$$\text{gram} = 219 \text{ gram/mol} \times 0,05 \text{ mol}$$

$$= 10,95 \text{ gram} \times 1,5 \text{ (untuk 2 orang)}$$

$$= 16,425 \text{ gram}$$

**2. Larutan KOH 30%**

$$\% W/V KOH = \frac{\text{gram zat terlarut}}{\text{mL larutan}} \times 100$$

$$30\% = \frac{x}{100 \text{ mL}} \times 100$$

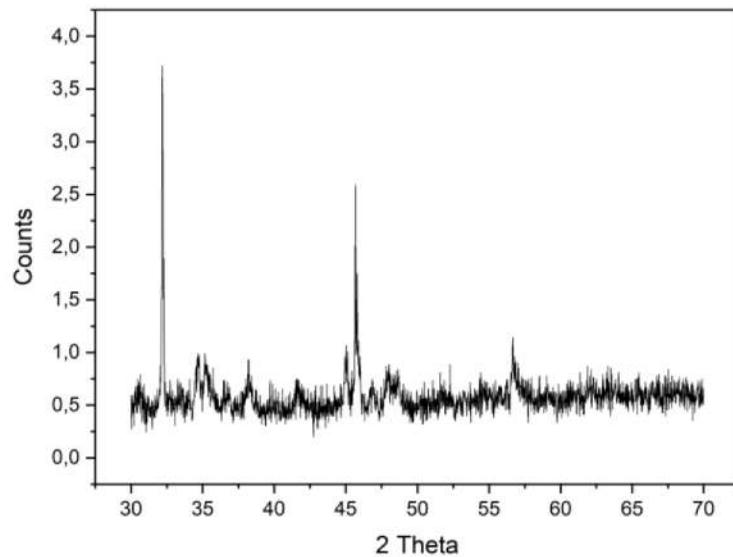
$$x = 30 \text{ gram}$$

**3. Larutan NaOH 25%**

$$\% W/V NaOH = \frac{\text{gram zat terlarut}}{\text{mL larutan}} \times 100$$

$$25\% = \frac{x}{100 \text{ mL}} \times 100$$

$$x = 25 \text{ gram}$$

**Lampiran 4. Perhitungan Karakterisasi****1. Karakterisasi dengan XRD****a. Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/Karbon Aktif**



## Peak List #1

Visible	Icon	Color	Index	Name	Parent	Caption (display)	Scan
Yes			1	Peak #1	Peak List #1	30.673 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			2	Peak #2	Peak List #1	32.195 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			3	Peak #3	Peak List #1	34.730 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			4	Peak #4	Peak List #1	35.699 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			5	Peak #5	Peak List #1	36.463 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			6	Peak #6	Peak List #1	39.714 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			7	Peak #7	Peak List #1	39.903 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			8	Peak #8	Peak List #1	41.661 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			9	Peak #9	Peak List #1	44.638 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			10	Peak #10	Peak List #1	44.997 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			11	Peak #11	Peak List #1	45.112 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			12	Peak #12	Peak List #1	45.681 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			13	Peak #13	Peak List #1	45.798 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			14	Peak #14	Peak List #1	45.981 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			15	Peak #15	Peak List #1	51.063 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			16	Peak #16	Peak List #1	52.279 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			17	Peak #17	Peak List #1	54.315 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			18	Peak #18	Peak List #1	54.430 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			19	Peak #19	Peak List #1	56.669 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			20	Peak #20	Peak List #1	58.527 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			21	Peak #21	Peak List #1	59.868 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			22	Peak #22	Peak List #1	62.070 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			23	Peak #23	Peak List #1	62.288 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1
Yes			24	Peak #24	Peak List #1	62.908 °	22171022-1 Fe2O3_ZnO Karbon Aktif.raw #1

Angle	d Value	Net Intensity	Gross Intensity	Rel. Intensity	h,k,l	Match
30.673 °	2.91239 Å	13.3	40.8	6.2%	n.a.	No
32.195 °	2.77809 Å	214	244	100.0%	n.a.	No
34.730 °	2.58094 Å	27.4	57.5	12.8%	n.a.	No
35.699 °	2.51305 Å	15.9	48.5	7.5%	n.a.	No
36.463 °	2.46214 Å	15.6	48.0	7.3%	n.a.	No
39.714 °	2.26776 Å	14.9	43.5	7.0%	n.a.	No
39.903 °	2.25744 Å	14.0	42.6	6.5%	n.a.	No
41.661 °	2.16616 Å	18.5	47.8	8.7%	n.a.	No
44.638 °	2.02836 Å	14.1	45.1	6.6%	n.a.	No
44.997 °	2.01301 Å	21.6	53.4	10.1%	n.a.	No
45.112 °	2.00814 Å	32.3	64.4	15.1%	n.a.	No
45.681 °	1.98444 Å	137	169	64.1%	n.a.	No
45.798 °	1.97967 Å	81.6	114	38.2%	n.a.	No
45.981 °	1.97219 Å	21.5	54.0	10.1%	n.a.	No
51.063 °	1.78719 Å	15.5	46.3	7.3%	n.a.	No
52.279 °	1.74845 Å	20.3	50.0	9.5%	n.a.	No
54.315 °	1.68762 Å	17.0	48.0	7.9%	n.a.	No
54.430 °	1.68435 Å	16.4	47.5	7.7%	n.a.	No
56.669 °	1.62299 Å	40.4	73.9	18.9%	n.a.	No
58.527 °	1.57582 Å	17.8	48.0	8.3%	n.a.	No
59.868 °	1.54367 Å	15.3	43.4	7.2%	n.a.	No
62.070 °	1.49409 Å	16.3	50.4	7.6%	n.a.	No
62.288 °	1.48938 Å	15.0	49.1	7.0%	n.a.	No
62.908 °	1.47619 Å	17.6	51.1	8.2%	n.a.	No

## b. Analisis Data

2θ (°)	θ (°)	FWHM	θ (rad)	cos θ (rad)	β	d (Å)	D (nm)	d rata-rata (Å)	D rata-rata (nm)	cos θ
32.195	16.0975	0.063	2.5633	0.999	0.0011	2.77809	121.156	2.159	96.448	0.96079
45.681	22.8405	0.05	3.63702	0.998	0.0009	1.98444	146.427			0.92159
45.798	22.899	0.043	3.64634	0.998	0.0008	1.97967	170.191			0.92119
56.669	28.3345	0.176	4.51186	0.997	0.0031	1.62299	39.730			0.88019
45.112	22.556	0.108	3.59172	0.998	0.0019	2.00814	67.931			0.92351
34.73	17.365	0.228	2.76513	0.999	0.0040	2.58094	33.255			0.95442

peak	2 theta	teta (rad)	sin <sup>2</sup> teta	1xsin <sup>2</sup> teta/sin <sup>2</sup> teta min	2xsin <sup>2</sup> teta/sin <sup>2</sup> teta min	3xsin <sup>2</sup> teta/sin <sup>2</sup> teta min	h <sup>2</sup> +k <sup>2</sup> +l <sup>2</sup>	hkl	d hkl (Å)	a (Å)
1	32.195	0.280954	0.0768802	1	2	3	3	(111)	0.277813	0.4812
2	45.681	0.398642	0.1506737	1.959851483	3.919702965	5.879554448	6	(211)	0.198445	0.4861
3	45.798	0.399663	0.1514049	1.969362729	3.938725458	5.908088187	6	(211)	0.197966	0.4849
4	56.669	0.49453	0.2252625	2.930047255	5.86009451	8.790141765	9	(221) (300)	0.162299	0.4869
5	45.112	0.393676	0.1471384	1.913866794	3.827733588	5.741600382	6	(211)	0.200815	0.4919
6	34.73	0.303076	0.0890771	1.158648268	2.317296536	3.475944805	3	(111)	0.258093	0.447

## 2. Karakterisasi dengan GSA

### a. Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ZnO/Karbon Aktif

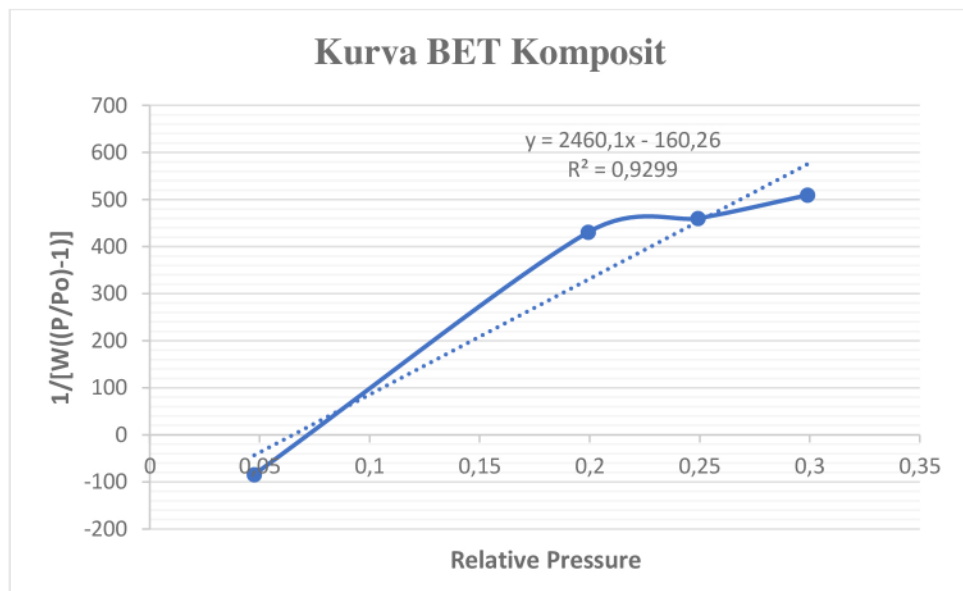
Diketahui :

Csa :  $0,162 \times 10^{-18} \text{ m}^2$

Massa Sampel : 0,0689 gram

BM Gas : 28,013 g/mol

Tekanan Relatif (P/Po)	1/[W((P/Po)-1)]
0,0475593	-84,404
0,199441	430,6754
0,249305	460,121
0,299109	509,3316



Berdasarkan kurva BET komposit diatas maka diperoleh :

a. Konstanta BET (C)

$$C = \frac{\text{Slope}}{\text{Intersept}} + 1$$

$$C = \frac{2460,1}{-160,26} + 1$$

$$C = -14,3506$$

b. Berat gas yang teradsorpsi ( $W_m$ )

$$W_m = \frac{1}{\text{Slope} + \text{Intersept}}$$

$$W_m = \frac{1}{2460,1 + (-160,26)}$$

$$W_m = \frac{1}{2460,1 - 160,26}$$

$$W_m = 0,00043$$

c. Luas Permukaan Total (SA)

$$SA = \frac{W_m \times N \times C_{sa}}{\text{BM Gas}}$$

$$SA = \frac{0,00043 \times (6,023 \times 10^{23} \text{ partikel/mol}) \times (0,162 \times 10^{-18} \text{ m}^2)}{28,013 \text{ gram/mol}}$$

$$SA = 1,5145 \text{ m}^2/\text{g}$$

d. Luas Permukaan Spesifik (SS)

$$SS = \frac{SA}{\text{Massa Sampel}}$$

$$SS = \frac{1,5145 \text{ m}^2/\text{g}}{0,0689 \text{ gram}}$$

$$SS = 21,9812 \text{ m}^2/\text{g}$$