

**PEMANFAATAN KATALIS Fe₃O₄-ZnO/KARBON AKTIF
UNTUK KONVERSI BIOETANOL DARI KULIT PISANG
KEPOK (*Musa paradisiaca L.*) MENJADI BUTANOL**

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 :

ULFIA ISNAENI

NIM. 19612093

**PROGRAM STUDI KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2022

PEMANFAATAN KATALIS Fe_3O_4-ZnO /KARBON AKTIF UNTUK
KONVERSI BIOETANOL DARI KULIT PISANG KEPOK (*Musa paradisiaca*
L.) MENJADI BUTANOL

SKRIPSI

Yang diajukan oleh:

ULFIA ISNAENI
NIM. 19612093

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

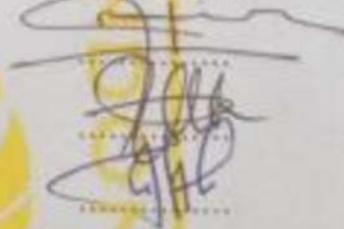
Universitas Islam Indonesia

Tanggal: 5 April 2023

Dewan Penguji

1. Prof. Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D.
2. M. Miqdam Mussawa, M.Sc.
3. Ika Yanti, M.Sc.

Tanda Tangan



Mengetahui,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Islam Indonesia



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



HALAMAN MOTTO

“Pantang dalam menyerah, pantang dalam berpatah arang. Tidak ada kata gagal untuk orang yang enggan berhasil. Dan janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya tiada berputus dari rahmat Allah melainkan orang-orang yang kufur”.

(QS. Yusuf: 87)

“Tidak ada kesuksesan tanpa kerja keras. Tidak ada keberhasilan tanpa kebersamaan. Dan tidak ada kemudahan tanpa doa”.

(Ridwan Kamil)

“Di masa lalu, selalu ada anggapan jika melakukan banyak pekerjaan tidak ada gunanya. Namun harus percaya bahwa keringat yang kamu keluarkan, buku yang kamu baca, jalan yang kamu lalui dan hal-hal baik yang kamu lakukan. Pada akhirnya semua akan balik kepada diri sendiri”.

(Chenle-NCT)

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ulfia Isnaeni
NIM : 19612093
Studi : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul **“PEMANFAATAN KATALIS Fe_3O_4-ZnO /KARBON AKTIF UNTUK KONVERSI BIOETANOL DARI KULIT PISANG KEPOK (*Musa paradisiaca L.*) MENJADI BUTANOL”** 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



Ulfia Isnaeni

NIM: 19612093

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji dan syukur senantiasa dipanjatkan atas kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, karunia dan hidayah-Nya. *Alhamdulillah Rabill'aalamiin* penulis dapat melakukan dan menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“Pemanfaatan Katalis Fe₃O₄-ZnO/Karbon Aktif Untuk Konversi Bioetanol dari Kulit Pisang Kepok (*Musa paradisiaca L.*) Menjadi Butanol”** ini dengan lancar. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat mata kuliah skripsi pada program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, sebagai tugas akhir studi dan sebagai laporan hasil penelitian.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bimbingan, bantuan, dukungan serta semangat dari berbagai pihak sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Fathul Wahid S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Rektor Universitas Islam Indonesia
2. Bapak Prof. Riyanto, S.Pd., M.Si., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
3. Bapak Gani Purwiandono, S.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia Yogyakarta
4. Bapak Prof. Drs. Allwar, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, pengarahan serta berbagai masukan hingga penyusunan skripsi ini selesai.
5. Kedua orang tua dan adik yang selalu mendoakan, memberikan dukungan dan dorongan baik secara moril maupun materil yang tidak ternilai harganya dalam penyusunan skripsi ini.

6. Segenap Dosen Prodi Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Islam Indonesia Yogyakarta yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
7. Segenap laboran laboratorium penelitian Kimia Universitas Islam Indonesia yang telah membantu selama kegiatan penelitian berlangsung untuk mendukung penyusunan skripsi dengan baik.
8. Sahabat saya Eva Nurlia dan Lizky Aska Dewi yang telah memberikan dukungan semangat, doa dan informasi kepada penulis dalam pembuatan skripsi ini.
9. Desca, Bila, Nunung, Dheta, Dinda, Alya dan Indah yang telah kebersamai penulis selama masa perkuliahan hingga hari ini. Bertemu dan berteman dengan kalian salah satu anugerah yang selalu penulis syukuri.
10. Mba Saras dan Mba Greef yang telah memberikan masukan dan arahan kepada penulis untuk keberhasilan dari penelitian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat kekurangan di dalamnya. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun untuk untuk perbaikan skripsi ini sangat penulis harapkan demi kesempurnaan dari skripsi. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi para pembaca.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi wabarakatuh

Yogyakarta, 21 Maret 2023

Ulfia Isnaeni

**PEMANFAATAN KATALIS Fe₃O₄-ZnO/KARBON AKTIF
UNTUK KONVERSI BIOETANOL DARI KULIT PISANG
KEPOK (*Musa paradisiaca L.*) MENJADI BUTANOL**

INTISARI

ULFIA ISNAENI

NIM 19612093

Sintesis Fe₃O₄-ZnO/Karbon Aktif dilakukan untuk konversi bioetanol dari kulit pisang menjadi butanol. Pada penelitian ini karbon aktif diaktivasi dengan menggunakan KOH 30 % dan di pirolisis pada suhu 250 °C selama 2 jam. Logam Fe₃O₄ dan ZnO diimbangkan ke dalam karbon aktif sehingga menjadi komposit dan berfungsi sebagai katalis ke dalam karbon aktif melalui metode impregnasi basah serta dilanjutkan dengan proses pirolisis selama 3 jam pada suhu 650 °C. Komposit dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR, SEM-EDX Mapping, GSA, dan XRD dan VSM. Karakterisasi komposit dengan FTIR menunjukkan adanya gugus O-H alkohol, alkuna, C=O, C-O, C-H aromatik, alkena, Fe-O tetrahedral, Fe-O oktahedral dan Zn-O. Hasil uji SEM komposit diketahui memiliki persebaran yang merata dengan bentuk seperti batang dan cukup lebar, mengandung unsur oksigen 52,84%, karbon 17,04%, *zinc* 0,78% dan besi 0,28%. Karakterisasi dengan GSA komposit memiliki luas permukaan 21,9812 m²/g, Ketika dikarakterisasi dengan XRD komposit diperoleh puncak dengan sudut 2θ yaitu 32,195° [111], 34,73° [111] dan 56,669° [221] yang menunjukkan adanya keberadaan logam ZnO, sedangkan untuk puncak 45,681° [211], 45,798° [211], 45,112° [211] menunjukkan keberadaan komposit Fe₃O₄-ZnO/Karbon Aktif dan diperoleh ukuran kristal sebesar 96,4885 nm. Logam Fe₃O₄ dikarakterisasi dengan menggunakan VSM menunjukkan sifat superparamagnetik sebesar 12,49 emu/g. Hasil analisis produk konversi dianalisis dengan menggunakan GC-MS yaitu Fe₃O₄-ZnO/Karbon Aktif sebagai katalis berhasil mengkonversi bioetanol menjadi butanol dan diketahui lebih efektif menggunakan metode pertama metode destilasi dengan gas hidrogen melalui reaksi dehidrogenasi.

Kata Kunci: Fe₃O₄-ZnO/Karbon Aktif, Katalis, magnetik, Konversi

**PEMANFAATAN KATALIS Fe₃O₄-ZnO/KARBON AKTIF
UNTUK KONVERSI BIOETANOL DARI KULIT PISANG
KEPOK (*Musa paradisiaca L.*) MENJADI BUTANOL**

ABSTRACT

ULFIA ISNAENI

NIM 19612093

Synthesis of Fe₃O₄-ZnO/Activated Carbon was carried out for the conversion of bioethanol from banana peels to butanol. In this study activated carbon was activated using 30% KOH and pyrolyzed at 250 °C for 2 hours. Metal Fe₃O₄ and ZnO are embedded in activated carbon so that it becomes a composite and functions as a catalyst in activated carbon through the wet impregnation method and followed by a pyrolysis process for 3 hours at 650 °C. Composites were characterized using FTIR, SEM-EDX Mapping, GSA and XRD and VSM. Composite characterization with FTIR showed the presence of alcohol, alkyne, C=O, C-O, aromatic C-H, alkene, Fe-O tetrahedral, Fe-O octahedral and Zn-O groups. The results of the SEM test showed that the composite had an even distribution with a rod-like shape and was quite wide, containing 52.86% oxygen, 17.04% carbon, 0.78% zinc and 0.28% iron. Characterization with composite GSA has a surface area of 21.9812 m²/g. when characterization with composite XRD, peaks with an angle of 2θ are obtained namely 32.195° [111], 34.73° [111] and 56.669° [221] which indicates the presence of ZnO metal, while for the peaks 45.681° [211], 45.798° [211] and 45.112° [211] showed the presence of the Fe₃O₄-ZnO/Activated Carbon and obtained a crystal size of 96.4885 nm. Fe₃O₄ metal was characterized using VSM showing superparamagnetic properties of 12.49 emu/g. the results of the conversion product analysis were analyzed using GC-MS namely Fe₃O₄-znO/Activated Carbon as a catalyst that successfully converted bioethanol to butanol was found to be more effective using the first method using a distillation with hydrogen hash through the dehydrogenation reaction.

Keywords: *Fe₃O₄-ZnO/Activated Carbon, Catalyst, Magnetic, conversion*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN MOTTO.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
INTISARI.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
BAB III DASAR TEORI.....	11
3.1 Kulit Pisang.....	11
3.2 Bioetanol.....	12
3.3 Karbon Aktif.....	13
3.4 Logam Fe ₃ O ₄ Dan ZnO.....	17

3.5 Komposit	19
3.6 Katalis	20
3.7 Pirolisis dan Kalsinasi	21
3.8 Metode Konversi Bioetanol Menjadi Butanol.....	23
3.9 Butanol	24
3.10 Karakterisasi Komposit Fe ₃ O ₄ -ZnO/KA dan Produk Butanol	25
3.10.1 <i>Fourier Transform Infra Red (FTIR)</i>	25
3.9.2 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	27
3.9.3 <i>Gas Sorption Analyzer (GSA)</i>	29
3.9.4 <i>Scanning Electron Microscop-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)</i>	30
3.9.5 <i>Vibrating Sample Magnetometry (VSM)</i>	31
3.9.6 <i>Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)</i>	33
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	35
4.1 Alat	35
4.2 Bahan.....	35
4.3 Cara Kerja.....	35
4.3.1 Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Pisang	35
4.3.2 Aktivasi Karbon Aktif	36
4.3.3 Pembuatan Komposit Fe ₃ O ₄ -ZnO/Karbon Aktif	36
4.3.4 Konversi Bioetanol Menjadi Butanol	37
BAB V PEMBAHASAN	39
5.1 Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Pisang.....	39
5.2 Aktivasi Karbon Aktif.....	40

5.3 Pembuatan Komposit Fe ₃ O ₄ -Zno/Karbon Aktif.....	41
5.4 Karakterisasi Komposit Fe ₃ O ₄ -Zno/Karbon Aktif	41
5.4.1 Karakterisasi <i>Fourier Transform Infra-Red</i> (FTIR)	41
5.4.2 Karakterisasi <i>Scanning Electron Miscroscopy-Energy Dispersive X-Ray</i> (SEM-EDX).....	43
5.4.3 Karakterisasi <i>Gas Sorption Analyzer (GSA)</i>	47
5.4.4 Karakterisasi <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	49
5.4.5 Karakterisasi <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>	51
5.5 Aplikasi Fe ₃ O ₄ -ZnO/Karbon Aktif Pada Konversi Butanol	53
KESIMPULAN DAN SARAN.....	69
6.1 Kesimpulan.....	69
6.2 Saran	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Limbah Kulit Pisang Kepok	11
Gambar 2. Struktur Etanol	12
Gambar 3. Karbon Aktif	14
Gambar 4. Skema Struktur Karbon Aktif	14
Gambar 5. Struktur Kimia Karbon Aktif	15
Gambar 6. Klasifikasi Bentuk Karbon Aktif (a) bubuk, (b) granula, (c) pellet	15
Gambar 7. Struktur Kimia Fe_3O_4	17
Gambar 8. Struktur Kristal Fe_3O_4	18
Gambar 9. Jenis-Jenis Struktur ZnO	18
Gambar 10. Jenis-Jenis Komposit.....	19
Gambar 11. Desain Rancangan Proses Pirolisis	22
Gambar 12. Struktur 1-Butanol.....	244
Gambar 13. Reaksi Etanol Menjadi 1-Butanol	25
Gambar 14. Ilustrasi Alat FTIR	26
Gambar 15. Ilustrasi Instrumen XRD	27
Gambar 16. Difraksi Sinar-X Pada XRD	28
Gambar 17. Skema Instrumen SEM	30
Gambar 18. Ilustrasi Instrumen VSM	31
Gambar 19. Skema Alat GC-MS	33
Gambar 20. Desain Alat Konversi dengan Nitrogen	37
Gambar 21. Desain Alat Konversi dengan Hidrogen.....	38
Gambar 22. Spektra IR Komposit Fe_3O_4 -ZnO/Karbon Aktif	42
Gambar 23. SEM-EDX Komposit Fe_3O_4 -ZnO/Karbon Aktif (a) komposit perbesaran 1000x (b) komposit perbesaran 5000x (c) Spektra EDX	44
Gambar 24. Hasil Mapping (a) karbon (C), (b) oksigen (O), (c) spektra EDX mapping, (d) seng (Zn), (e) besi (Fe).	46

Gambar 25. Adsorpsi-Desorpsi Pada Komposit Fe ₃ O ₄ -ZnO/Karbon Aktif.....	47
Gambar 26. Adsorpsi-Desorpsi Pada Komposit Fe ₃ O ₄ -ZnO/Karbon Aktif.....	48
Gambar 27. Spektra XRD Komposit Fe ₃ O ₄ -ZnO/Karbon Aktif.....	50
Gambar 28. Grafik Fe ₃ O ₄ dengan VSM.....	52
Gambar 29. Mekanisme Reaksi Pembentukan Etanol Menjadi Butanol	54
Gambar 30. Hasil Butanol Pada Proses Konversi dengan Variasi Suhu (Gas Nitorgen) (a) Tanpa Katalis (120 °C), (b) dengan Katalis.....	58
Gambar 31. Hasil Butanol Pada Proses Konversi dengan Variasi Suhu dan Berat Sampel (Gas Hidrogen) (a) Tanpa Katalis, (b) dengan Katalis	60
Gambar 32. Hasil Butanol Pada Proses Konversi dengan Variasi Berat Sampel (Gas Hidrogen) (a) Tanpa Katalis, (b) dengan Katalis Suhu 105 °C.....	61

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Gugus Fungsi Karbon Aktif dan Komposit Fe ₃ O ₄ -ZnO/Karbon Aktif.....	42
Tabel 2. Komposisi Penyusun Komposit Dari EDX.....	44
Tabel 3. Hasil Konversi Bioetanol Menjadi Butanol Tanpa Katalis (120 °C) Metode Destilasi dengan Gas Nitrogen.....	55
Tabel 4. Hasil Konversi Bioetanol Menjadi Butanol Menggunakan Katalis (2 gr) Metode Destilasi dengan Gas Nitrogen.....	55
Tabel 5. Hasil Konversi Bioetanol Menjadi Butanol Tanpa Katalis Metode Autoclave dengan Gas Hitrogen.....	56
Tabel 6. Hasil Konversi Bioetanol Menjadi Butanol Menggunakan Katalis (1,5 gr) Metode Autoclave dengan Gas Hitrogen	56
Tabel 7. Hasil Konversi Bioetanol Menjadi Butanol Menggunakan Katalis (3 gr) Metode Autoclave dengan Gas Hitrogen	57
Tabel 8. Hasil Konversi Bioetanol Menjadi Butanol Menggunakan Katalis dan Suhu (105 °C) Metode Destilasi dengan Gas Hitrogen.....	57

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar minyak masih menjadi sumber energi yang paling penting penggunaannya di bidang kelistrikan, industri dan transportasi. Indonesia mempunyai keanekaragaman sumber energi seperti gas alam, minyak, energi panas bumi, batubara, gambut, pembangkit listrik tenaga air, biogas dan masih banyak sumber daya energi lainnya (Kholiq, 2015). Kondisi tersebut menunjukkan sumber energi minyak bumi akan menipis dan akan terbatas persediaannya dalam bentuk cabangnya. Oleh karena itu, diperlukannya pemanfaatan sumber daya energi alternatif dan terbarukan yang perlu dipelajari lebih lanjut. Kebijakan terkait pemanfaatan energi terbarukan yang dilakukan salah satunya yaitu dengan penggantian bahan bakar minyak dengan bioetanol karena ramah lingkungan, tidak membahayakan lingkungan, penggunaan sebagai bahan bakar tungku secara nyata lebih ekonomis dan lebih tepat dalam sistem pembakaran (Hapsari & Pramashinta, 2013). Bahan baku yang potensial yang dapat diubah menjadi bioetanol yaitu bahan berlignoselulosa karena mengandung struktur gula sederhana sehingga menghasilkan produk bioetanol (Mansur & Aiman, 2021).

Kulit pisang kepek yaitu termasuk limbah dan memiliki jumlah yang banyak. Secara umum kulit pisang belum dapat dimanfaatkan secara optimal dan hanya dibiarkan begitu saja serta dijadikan makanan ternak dan belum ada pemanfaatan lebih lanjut. Sehingga agar limbah kulit pisang mempunyai nilai lebih maka limbah kulit pisang dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan bioetanol karena dalam limbah kulit pisang terdapat kandungan karbohidrat (Bahri et al., 2018). karbohidrat dapat diurai terlebih dahulu dengan difermentasi menggunakan ragi hingga menjadi alkohol. Diperoleh berupa bioetanol (C_2H_5OH) yaitu cairan yang dihasilkan dari proses fermentasi pada senyawa karbohidrat dengan menggunakan mikroorganisme (Apriliani & Agustinus, 2013).

Karbon aktif adalah padatan berpori dan memiliki kandungan karbon sebanyak 85% - 95%. Material-material yang mengandung unsur karbon dapat menghasilkan karbon aktif, jika dipanaskan dengan suhu tinggi (Idrus, 2013). Pada industri kimia seperti minyak bumi, pengolahan air, budidaya udang, industri gula, pemurnian gas, katalis dan penyulingan minyak (Gewa Handika et al., 2018). Karakteristik dari karbon aktif yaitu dinyatakan dengan ukuran partikel, struktur pori serta rapat massanya. Ukuran partikel pori dibagi kedalam 3 kelompok diantaranya adalah mikropori (<2 nm), makropori (>50 nm) serta *mesopore* (2-50 nm). Karbon aktif umumnya dapat mengadsorp logam berat karena memiliki gugus aktif dan pori-pori yang merata di setiap permukaan. Karbon aktif memiliki keistimewaan yaitu gugus fungsional pada permukaannya (Nurmayanti, 2014).

Magnetit Fe_3O_4 merupakan salah satu nanopartikel magnetik yang memiliki ukuran nanometer baik dilihat dari ukuran, morfologi, dan sifat-sifat magnetiknya. Magnetit Fe_3O_4 memiliki struktur yang terbentuk dari 32 ion oksigen, yang mana terdapat jarak atau kisi yang diisi oleh ion Fe^{2+} dan Fe^{3+} (Siregar et al., 2020). Oksida Fe_3O_4 berfungsi sebagai fotokatalis karena dapat mempercepat reaksi oksidasi dengan menggunakan cahaya karena Fe_3O_4 dapat memberikan kinerja yang terbaik untuk fotokatalis dan memberikan kestabilan ketika berada di media air. Selain itu, sifat kemagnetannya terjadi karena adanya pemisahan yang optimal serta katalis dengan berbahan magnetik dapat memberikan cara yang mudah untuk menghilangkan polutan dan daur ulang katalis (Ghozali et al., 2012) .

Oksida logam ZnO yaitu suatu material semikonduktor yang berperan penting sebagai fotokatalis pada teknologi fotodegradasi. ZnO memiliki peran dalam fotokatalis yang dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu ukuran partikel, bentuk morfologi, dan konsentrasi fotokatalis (Wulandari et al., 2014). Logam Zn berperan dalam melindungi sisi aktif katalis logam aktif agar tidak terjadi *sintering* (Rohman & Maharani, 2014).

Bioetanol merupakan sumber energi terbarukan yang dapat diolah dari biomassa dengan bahan yang memiliki kandungan seperti karbohidrat, glukosa, serta serat selulosa yang dapat dijadikan sebagai bahan bakar. Bioetanol dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi alternatif dari etanol (*etil alcohol*) yang serupa dan dapat ditemukan pada minuman beralkohol (Bahri & Hartono, 2019). Etanol dapat dikonversi menjadi butanol dan dijadikan sebagai bahan bakar. Butanol merupakan bahan yang berbentuk cair, tidak berwarna, mudah terbakar dan memiliki bau seperti pisang. Penggunaan butanol sebagai bahan bakar karena dapat digunakan langsung dengan bensin, energi pembakaran butanol lebih besar, maka jumlah butanol yang dibutuhkan untuk memperoleh energi yang sama dengan pembakaran bensin, lebih sedikit di bandingkan dengan etanol (Wiratmaja I et al., 2011). Butanol dalam pemanfaatannya yaitu dapat menjadi sumber energi yang optimal untuk mengurangi bahan bakar minyak. Pengembangan produk butanol sebagai biofuel karena berpotensi dapat meningkatkan keamanan energi dan mengurangi polutan berbahaya pada mesin transportasi. Butanol juga dapat dimanfaatkan sebagai produksi dari berbagai ester dan eter yang merupakan monomer penting dalam polimer industri (Rajesh Kumar & Saravanan, 2016). Pada penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya karena dalam konversi bioetanol menjadi butanol dengan menggunakan bahan dasar dari limbah kulit pisang kepok serta menggunakan katalis berupa $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon Aktif.

Berdasarkan penelitian ini dilakukan pembuatan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon aktif pada konversi bioetanol dari kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca L.*) menjadi senyawa butanol. Karbon aktif sebagai penyangga katalis yang diaktivasi menggunakan KOH 30%, dipirolisis selama 2 jam pada suhu 600 °C. Komposit dikarakterisasi dengan instrumen berupa FT-IR, GSA, SEM, XRD. Logam Fe_3O_4 dikarakterisasi dengan menggunakan VSM. Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon aktif sebagai katalis untuk proses konversi bioetanol menjadi butanol. Efektivitas katalis diuji dengan variasi suhu dan berat sampel serta dikarakterisasi dengan menggunakan GC-MS

Rumusan Masalah

1. Bagaimana sintesis dari $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon aktif sebagai katalis untuk konversi bioetanol menjadi butanol?
2. Bagaimana karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon aktif yang digunakan sebagai katalis?
3. Bagaimana efektifitas komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon aktif dalam proses konversi bioetanol?

1.2 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui cara sintesis dari $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon aktif sebagai katalis untuk konversi bioetanol menjadi butanol
2. Mengetahui karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon aktif yang digunakan sebagai katalis
3. Mengetahui efektifitas komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon aktif dalam proses konversi bioetanol

1.3 Manfaat Penelitian

1. Dapat mengetahui cara sintesis dari $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon aktif sebagai katalis untuk konversi bioetanol menjadi butanol.
2. Dapat mengetahui karakterisasi $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon aktif yang digunakan sebagai katalis.
3. Dapat mengetahui efektifitas komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon aktif dalam proses konversi bioetanol.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Karbon aktif adalah padatan berpori dan memiliki kandungan karbon sebanyak 85% - 95%, dari material karbon dengan cara dipanaskan pada temperatur tinggi menggunakan gas, uap air atau material kimia yang mengakibatkan terbukanya pori-pori karbon aktif. Karbon aktif mempunyai aktivitas adsorpsi bergantung pada jumlah senyawa karbon, dimana kapasitas penyerapan karbon aktif ditetapkan oleh luas permukaan partikel. Sifat-sifat dari karbon aktif yaitu berwarna hitam, tidak berbau, tidak berasa, memiliki kemampuan penyerapan yang jauh lebih tinggi, sedangkan pada karbon aktif yang belum melalui tahapan aktivasi dan karbon aktif memiliki luas permukaan sekitar 300-200 m²/g. luas permukaan tersebut terjadi karena karbon memiliki permukaan bagian dalam yang berongga, mengakibatkan karbon aktif dapat menampung gas, uap ataupun zat yang terletak di suatu larutan (Leni et al., 2015). Menurut (Idrus et al., 2013) luas permukaan karbon aktif berkaitan dengan struktur pori, sehingga karbon aktif memiliki sifat sebagai adsorben. Karbon aktif yang berbentuk serbuk memiliki luas permukaan pori yang besar maka kemampuan penyerapannya akan lebih tinggi. Massa karbon aktif dipengaruhi oleh suhu aktivasi yang mana massa karbon aktif akan semakin rendah, jika suhu aktivasi tersebut semakin tinggi.

Penelitian (Ramadhani F et al., 2020) menyebutkan pembuatan karbon aktif dapat dibagi menjadi dua bagian berupa aktivasi fisika dan aktivasi kimia. Aktivasi kimia adalah proses pemutusan rantai karbon pada senyawa organik menggunakan bahan kimia. Bahan yang memiliki kandungan lignoselulosa secara umum menggunakan aktivasi kimia dengan cara karbon hasil pembakaran digabung secara bersamaan dengan larutan kimia berfungsi sebagaiagen pengaktivasi, seperti KOH, ZnCl₂, H₃PO₄, H₂SO₄ dan NaOH. Menurut (Nurfitria, N. Febriyantiningrum, 2019) kalium hidroksida (KOH) merupakan aktivator kimia dengan kemampuan penyerapan yang paling optimal terhadap suatu ion logam melalui karbon aktif. Penelitian (Martín-Peláez &

Martín-Orúe, 2014) menyatakan bahwa proses aktivasi, karbon dicampur menggunakan larutan kimia maka akan terjadi oksidasi, mengakibatkan dapat merusak bagian dalam karbon yang menyebabkan jumlah pori menjadi lebih besar. Proses aktivasi dapat mengakibatkan hilangnya karbon karena menghasilkan gas karbon dioksidasi. Oleh karena itu, salah satu larutan kimia yang dapat digunakan menjadi aktivator yaitu larutan KOH. (Apriani et al., 2013) menyatakan bahwa terdapat pengaruh konsentrasi dalam aktivasi menggunakan KOH terhadap kualitas karbon aktif kulit durian yaitu proses aktivasi menggunakan KOH sehingga diperoleh mikropori serta mesopore menggunakan variasi konsentrasi 5%;10%,15%;20%;25% diperoleh massa karbon setelah aktivasi masing-masing sebesar gr; 23,1 gr; 20,7 gr; 20 gr; 19 gr. Sehingga diperoleh keadaan optimum pada karbon aktif yaitu pada konsentrasi 25% serta ukuran rata-rata pori 8,277 μm .

(Fisli et al., 2012) menyebutkan bahwa dengan mengkombinasikan nanopartikel besi oksida magnetik dengan karbon aktif dapat dihasilkan material komposit baru dengan sifat penyerapan serta dapat bereaksi terhadap medan magnet luar. Sifat terakhir yaitu berfungsi untuk memperoleh partikel adsorben yang telah menyerap polutan diperoleh dari air limbah melalui batang magnet permanen. Oleh karena itu, proses filtrasi untuk memperoleh ulang partikel karbon aktif dari larutan dapat dihindari. Magnet digunakan dalam bidang lingkungan untuk membantu proses pemisahan. Dengan menggabungkan antara adsorben dan nanopartikel magnetik dapat diperoleh material komposit baru dengan 2 sifat berupa sifat adsorpsi serta sifat magnetik. Pemanfaatan dengan teknologi magnet untuk membantu proses pemisahan adsorben yaitu berupa Fe_3O_4 /Karbon Aktif (Fisli, Dina Safitri, et al., 2018)

Menurut (Ghozali Imam et al., 2012) bahan semikonduktor seperti logam oksida besi yang dapat berfungsi sebagai katalis karena oksida besi dapat memberikan kinerja yang efektif dalam fotokatalis dan memiliki stabilitas air. Sifat kemagnetan yang terdapat di oksida besi dapat menghasilkan pemisahan yang efisien dan reusabilitas katalis. Pada penelitian (Wardiyati et al., 2016). bahan magnetik dengan

jenis sifat magnetik berupa superparamagnetik seperti (Fe_3O_4) yang tidak memiliki momen magnet yang spontan, maka dapat terdispersi dengan optimal di dalam air serta mudah diperoleh kembali karena adanya medan magnet luar. Kombinasi material katalis TiO_2 dan Fe_3O_4 dapat membentuk komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$. Berdasarkan penelitian (Ramadhannur et al., 2021) digunakan katalis Fe_3O_4 dan ZnO karena ZnO dapat memiliki energi celah pita yang tidak terlalu besar, lebih terjangkau serta lebih efisien dalam menghasilkan H_2O_2 yang merupakan transformasi senyawa kontaminan, sehingga nanopartikel Fe_3O_4 dengan ZnO digabungkan melalui metode kopresipitasi.

Menurut (A. Muchit, B. Prasetya, 2013) komposit ZnO -karbon aktif menghasilkan nilai yang tinggi pada proses fotokatalitik sedangkan fotokatalitik dalam bentuk bubuk menghasilkan proses pemisahan dengan filtrat yang efisien serta dapat dimanfaatkan ulang untuk proses fotokatalitik berikutnya. Dari penelitian (Ris, 2014) sebelumnya, bahwa banyak yang sudah melakukan penelitian terkait ZnO untuk katalis maupun ZnO untuk monokatalis. ZnO dicampurkan dengan logam lain (logam-logam) dan dicampurkan dengan senyawa non logam (logam-non logam) karena memiliki sifat serba guna, mudah untuk diproduksi dan harganya yang terjangkau. ZnO dapat dimodifikasi dengan menambahkan karbon aktif sehingga menghasilkan suatu bahan komposit yang mempunyai peran ganda sebagai adsorben dan sebagai fotokatalis turunan dari ZnO karena sifat karbon aktif yang berpori.

Menurut (Riskiani et al., 2018) bahan semikonduktor yang memiliki kemampuan fotokatalitik yang berupa oksida logam yaitu TiO_2 , ZnO , CuO , CdO , Fe_2O_3 serta masih banyak lainnya. Material semikonduktor tersebut mempunyai kelebihan karena dapat mendegradasi polutan organik menjadi suatu senyawa yang sederhana. Pada penelitian (Wardhani et al., 2015) tentang fotokatalis menggunakan Fe_2O_3 untuk analisis fotodegradasi zat warna jingga metil, Fe_2O_3 lebih banyak digunakan sebagai katalis karena oksida logam Fe_2O_3 termasuk ke dalam salah satu semikonduktor yang perlu dikembangkan lebih lanjut dalam penelitian dan logam Fe_2O_3 memiliki *band*

gap (Eg) yang cukup rendah. Oleh karena itu, logam Fe_2O_3 dapat memberikan kemudahan dalam eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi agar energi yang diperlukan tidak terlalu tinggi. (Fisli, Safitri, et al., 2018) sebelumnya melakukan penelitian tentang komposit karbon aktif dengan magnet Fe_3O_4 menunjukkan adanya keberadaan Fe_3O_4 dalam struktur karbon aktif membentuk *system mesopore* dengan distribusi pori 17,5 nm. Meningkatnya *system mesopore* pada komposit terjadi perubahan yang cukup tinggi dari 0,077 cc/g menjadi 0,464 cc/g pada Fe_3O_4 /karbon aktif. Konversi alkohol dengan menggunakan katalis logam transisi seperti Fe_3O_4 telah banyak dilakukan pada penelitian sebelumnya untuk konversi bioetanol menjadi butanol karena logam Fe merupakan logam yang selektif untuk pembentukan 1-butanol dari etanol dan memiliki ketersediaan yang melimpah (Xi et al., 2020).

Menurut (I. Lestari et al., 2021) komposit Fe_3O_4 /Karbon aktif dapat disintesis melalui proses kopresipitasi yang bertujuan untuk meningkatkan kemampuan dari adsorben. Karbon aktif yang dicampurkan menggunakan Fe_3O_4 dapat memberikan pengaruh medan magnet luar dan membantu mempermudah tahapan pemisahan adsorben dengan adsorbat. (Winatapura et al., 2014) menyatakan komposit Fe_3O_4 dapat disintesis melalui metode presipitasi dalam aplikasinya yaitu sistem reaktor *slurry* yang bertujuan untuk proses katalitik dapat menghasilkan efektivitas katalis yang maksimal dan membantu mengangkat partikel-partikel katalis setelah melalui proses pengolahan limbah. Penggabungan partikel magnetik Fe_3O_4 dengan ZnO sebagai fotokatalis dapat membentuk komposit yang efektif dan sederhana.

(Lubis, 2009) menyatakan terkait katalis logam tunggal oksida logam dilakukan dengan cara reaksi dehidrogenasi, dehidrasi, oksidasi ataupun polimerisasi. Katalis logam tunggal secara umum digunakan pada reaksi dehidrogenasi yaitu logam tembaga, kobalt, nikel, perak, paladium dan platina. katalis logam tunggal tembaga (Cu) dan oksida logam CuO dan Cu-ZnO dapat berfungsi untuk reaksi dehidrogenasi metanol menjadi metil format.

Berdasarkan penelitian (Seftian et al., 2012) menyatakan bahwa bioetanol dapat diproduksi dari kulit pisang kepok dapat dilakukan melalui proses fermentasi gula yang mengandung senyawa seperti karbohidrat (pati) dengan menggunakan mikroorganisme (yeast) sehingga diperoleh bioetanol. Menurut (Gafiera et al., 2019) konversi glukosa menjadi bioetanol tidak hanya diperoleh dari proses fermentasi, melainkan dari besarnya glukosa yang tersedia dapat mempengaruhi proses fermentasi. Besarnya kadar bioetanol berbanding lurus dengan konversi glukosa menjadi bioetanol, maka diperoleh konversi sebesar 3,38% selama 8 hari fermentasi. Bioetanol dapat dibuat dari limbah kulit kopi arabika karena hanya digunakan sebagai pakan ternak dan sebagai pupuk. Oleh karena itu, agar limbah kulit kopi memiliki nilai yang lebih tinggi dapat digunakan sebagai bahan dasar untuk memproduksi bioetanol menjadi pengganti bahan bakar terbarukan. Diperoleh kadar bioetanol dari limbah kulit kopi sebesar 0,35% dengan randemen sebesar 32,71% (Febrina et al., 2020). Pada bioetanol dari kulit pisang diperoleh kadar etanol sebesar 31,39% dengan randemen sebesar 2,8% (Arlianti, 2018).

(Xiang et al., 2022) menyatakan dalam mengkonversi etanol menjadi olefin (isobutena dan 1,3-butena) dengan Ag dan Cu dapat meningkatkan formasi asetildehida melalui dehidrogenasi etanol. Terdapat air dalam bioetanol dapat mengurangi penonaktifan katalis karena adanya penghambatan reaksi kondensasi dan dehidrogenasi yang terlibat dalam pembentukan kokas. Pada penelitian (Rachmawati, 2017) menyatakan bahwa dengan melalui reaksi dehidrasi etanol menjadi hidrokarbon terdapat 2 cara yang biasa digunakan ialah bioetanol dapat diubah menjadi etilen melalui dehidrasi antarmolekul dengan temperatur tinggi dan dehidrasi intramolekul dengan temperatur yang rendah lebih banyak untuk konversi etanol menjadi dietil eter, dilanjutkan dengan konversi menjadi etilen serta olefin C. Berdasarkan penelitian ini terkait pengaruh struktur zeolit mampu mengkonversi bioetanol hingga 98,3% dengan selektivitas pada CH_4 yaitu 5,7%, CO 3,1%, CO_2 19,5%, H_2 71,2%, C_2H_4 0,1% dan CH_3CHO 0,4%. Menurut (Suwansawat & Jitkarnka, 2020) menyatakan

bahwa konversi bioetanol menjadi 1,3-butadiena dengan ZrO/FeMgAl-LDO sebagai katalis diperoleh hasil berupa penurunan luas permukaan ($7,021-33,29 \text{ m}^2/\text{g}$), volume pori ($0,1406-0,0626 \text{ cm}^3/\text{g}$) dan diameter pori ($36,16-35,71 \text{ \AA}$) hasil tersebut menunjukkan hasil yang diperoleh dengan menggunakan katalis tersebut masih rendah, maka diperlukan katalis hibrida yang diadsorpsi untuk meningkatkan hasil konversi bioetanol menjadi 1,3-butadiena.

Pada penelitian (Riittonen et al., 2015) konversi bioetanol menghasilkan senyawa hidrokarbon yaitu 1-butanol dengan menggunakan logam yang berbeda yaitu Cu, Ni dan Co yang diendapkan ke dalam penyangga. Diperoleh hasil katalis terbaik yang menghasilkan produk berupa 1-butanol dengan selektivitas mendekati 70%. Konversi katalitik etanol menjadi n-butanol melalui reaksi Guerbet dengan menggunakan oksida logam seperti MgO. Reaksi konversi terjadi pada suhu $350 \text{ }^\circ\text{C}$ di dalam reaktor *batch*, sehingga diperoleh hasil konversi butanol tertinggi yaitu sebesar 2,4%. Menurut (Susanto et al., 2021) mengkonversi bioetanol menjadi 1-butanol dan 1-heksanol sebagai bahan bakar serta sebagai biogasolin. Proses konversi dilakukan di dalam reaktor tubular fixed-bed dengan menggunakan katalis Ni/ γ -alumina 8%, sehingga menghasilkan konversi etanol sebesar 35% dengan selektivitas masing-masing 62% dan 21% untuk 1-butanol serta 1-heksanol. Selain itu, dalam konversinya menghasilkan senyawa lain berupa butanal dan 2-pentanone.

Menurut (F. L. Sanjaya & Syarifudin, 2020) butanol sebagai bahan bakar alternatif karena butanol dapat mengurangi emisi CO dan HC, kandungan oksigen butanol yang tinggi dapat menaikkan tingkat pembakaran serta dapat menambah keefektifan termal. Karakteristik dari butanol yaitu lebih baik daripada bensin dilihat dari angka oktan serta kandungan oksigen yang besar. Hasil penambahan butanol menunjukkan 5% sumber energi yang berkualitas dan terjadinya peningkatan torsi yaitu 4,88%.

BAB III

DASAR TEORI

3.1 Kulit Pisang

Pisang kepok (*Musa paradisiaca L.*) adalah tumbuhan yang termasuk pada kelompok tumbuhan monokotil dengan bentuk seperti pohon terdiri dari batang semu. Batang semu tersebut adalah kumpulan dari pelepah daun yang tertata rapat dan sistematis. Percangan tanaman termasuk dalam golongan simpodial dengan ujung meristem yang panjang sehingga terbentuk bunga serta buah. Pada pangkal batang pisang terjadi pembesaran pada umbi atau dengan nama lain yaitu bonggol. Pucuk lateral (*sucker*) yang berasal dari kuncup pada bonggol akan berkembang membentuk tumbuhan pisang. Kulit pisang yaitu bahan limbah (buangan buah pisang) yang banyak jumlahnya. Pemanfaatan kulit pisang belum dilakukan dengan baik dan hanya dibiarkan menjadi limbah organik saja serta hanya dimanfaatkan menjadi pakan ternak. Dengan demikian, limbah kulit pisang yang dihasilkan ini akan memiliki nilai tinggi dapat dijadikan sebagai bahan baku pembuatan etanol, biogas, dan sebagainya (Bahri et al., 2019).



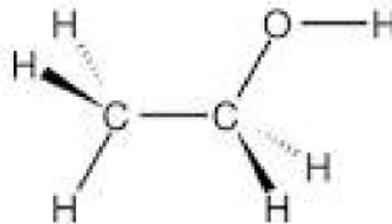
Gambar 1. Limbah Kulit Pisang Kepok

Limbah kulit pisang diperoleh dari sisa produksi makanan ringan seperti keripik pisang, sale pisang, serta sebagainya. Limbah kulit pisang dapat digunakan sebagai pakan ternak. Adapun komposisi dari kulit pisang yaitu berupa air sebesar 68,90%,

karbohidrat 18,50%, lemak 2,11%, protein 0,32% dan komposisi kandungan lainnya (Widyaningsi et al., 2012).

3.2 Bioetanol

Bioetanol (C_2H_5OH) merupakan suatu cairan hasil fermentasi gula yang bersumber dari karbohidrat dengan adanya bantuan mikroorganisme. Bioetanol juga dapat didefinisikan sebagai material kimia dan terbuat dari bahan dasar yang mengandung pati, contohnya yaitu ubi kayu, ubi jalar, jagung serta sagu. Bioetanol termasuk ke dalam sumber energi yang berasal dari minyak nabati dengan sifat yang sama seperti minyak premium. Etanol (etil alkohol) adalah cairan tidak berwarna memiliki sifat yaitu volatil atau mudah menguap, mudah terbakar, larut dalam air, non-karsinogenik dan tidak berdampak signifikan terhadap lingkungan saat tercemar (Hikmah et al., 2019).



Gambar 2. Struktur Etanol

Bioetanol memiliki rumus molekul C_2H_5OH atau E_tOH . Bioetanol terbuat dari biomassa yang memiliki kandungan gula serta selulosa. Kegunaan bioetanol sebagai sumber energi dapat dikombinasikan dengan bensin dan beberapa senyawa lainnya (Arlianti, 2018). Bioetanol termasuk salah satu sumber energi terbarukan yang diperoleh dari tumbuhan yang mempunyai kelebihan yaitu dapat menghasilkan emisi CO_2 menjadi lebih rendah yaitu mencapai 18%. Tumbuhan yang memiliki kandungan pati (seperti singkong, kelapa sawit, tengkawang, kelapa, kapuk, jarak pagar, rambutan, sirsal, nalapari dan nyamplung), bergula (seperti tetes tebu atau molase, nira aren, nira tebu dan nira sorgum manis), serta serat selulosa (seperti batang

sorgum, batang pisang, jerami, kayu dan bagas). Maka kulit pisang ini termasuk limbah yang menghasilkan kandungan selulosa dalam jumlah yang banyak, maka dapat dimanfaatkan selain pada buah pisang yang memiliki nilai jual lebih (Bahri & Hartono, 2019).

Bioetanol dapat diproduksi dari biomassa (tanaman) melalui proses biologi yaitu hidrolisis serta fermentasi. Etanol digunakan sebagai campuran dalam minuman, pada bidang farmasi sebagai pelarut untuk memproduksi esens, ekstrak sebagai zat sintesis. Larutan etanol dengan kadar 70% dipakai sebagai antiseptik, sebagai pengawet (Susanti, 2013). Penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar salah satu bahan bakunya yaitu bahan lignoselulosa yaitu berupa komponen organik ditemukan di alam yang berlimpah serta tersusun dari 3 tipe polimer diantaranya ialah selulosa, hemiselulosa serta lignin. Komponen tersebut menghasilkan manfaat seperti gula melalui proses fermentasi. Lignoselulosa dapat ditemukan pada material kayu, jerami, rumput-rumputan, limbah pertanian maupun limbah industri serta material serat lainnya (Anindyawati, 2009)

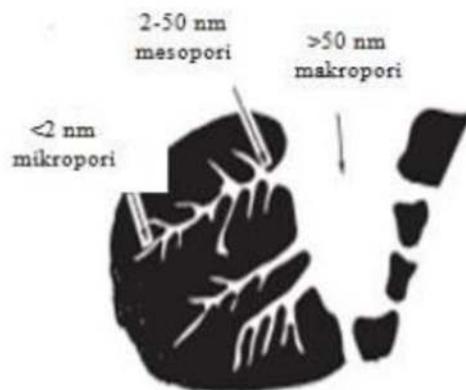
3.3 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan suatu senyawa karbon yang kapasitas adsorpsinya ditingkatkan melalui proses aktivasi. Dalam proses aktivasi akan melibatkan penghilangan hidrogen, gas-gas serta air pada permukaan karbon, mengakibatkan terjadinya perubahan fisik terhadap permukaan. Pada proses aktivasi pori-pori baru terbentuk karena molekul karbon yang mengalami pengikisan melalui oksidasi atau pemanasan. Karbon aktif memiliki luas permukaan yaitu sekitar 300-350 m²/g, hal tersebut terjadi karena adanya hubungan antara struktur pori internal sehingga mengakibatkan karbon aktif memiliki sifat menjadi adsorben. Karbon aktif yang berbentuk serbuk menunjukkan semakin besar luas permukaan pori adsorben maka semakin tinggi efisiensi adsorpsinya (Idrus, 2013).



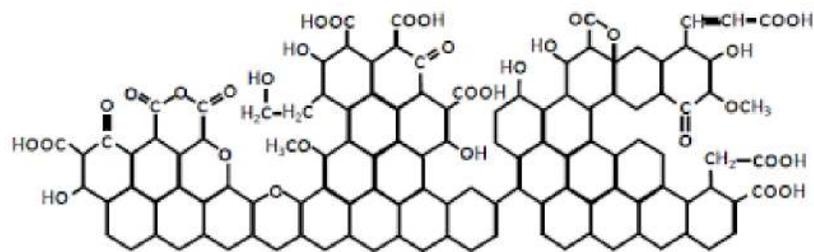
Gambar 3. Karbon Aktif

Struktur permukaan dari karbon aktif yaitu berpori. Berdasarkan IUPAC, ukuran pori dibagi menjadi beberapa bagian yaitu mikropori, mesopori serta makropori (Gewa Handika et al., 2018). Sifat-sifat dari karbon aktif yang diperoleh dari tempurung kelapa sawit yang memiliki ukuran partikel, struktur pori dan rapat massanya. Berdasarkan referensi IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) ukuran pori dikalsifikasikan menjadi 3 bagian ialah mikropori (<2 nm), mesopori (2-50 nm), makropori (>50 nm). Ukuran partikel pada karbon aktif yang berbahan dasar dari tempurung kelapa sawit yaitu diperoleh sebesar 2-4 nm dan memiliki penyerapan yang baik (Budi et al., 2012)



Gambar 4. Skema Struktur Karbon Aktif

Sifat kimia dari karbon aktif yaitu tidak hanya terdapat kandungan atom karbon, namun terkandung oksigen serta hidrogen dalam jumlah yang kecil dan terikat secara kimiawi terbentuk dalam berbagai gugus fungsi yang bermacam-macam seperti gugus karbonil (CO), Karboksil (COO), fenol, lakton serta gugus eter lainnya. Sedangkan sifat fisika karbon aktif yaitu berupa padatan berwarna hitam, tidak berasa dan tidak berbau serta tidak mudah rusak oleh kenaikan suhu maupun kenaikan pH selama berlangsungnya proses aktivasi karena sifat karbon aktif yang tahan panas (Lempang, 2014).



Gambar 5. Struktur Kimia Karbon Aktif

Karbon aktif adalah salah satu jenis adsorben dengan karakteristiknya yang berwarna hitam berupa butiran, bulat, pelet ataupun serbuk. Karbon aktif umumnya digunakan pada tahapan pemurnian udara, gas, larutan ataupun cairan, pada saat proses pemulihan logam dari bijih logam dapat digunakan untuk katalis (Hendrawan et al., 2017).



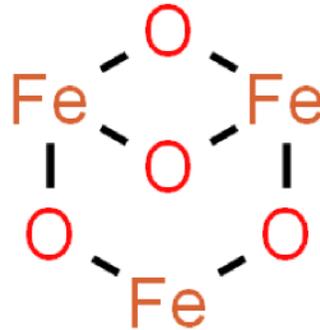
Gambar 6. Klasifikasi Bentuk Karbon Aktif (a) bubuk, (b) granula, (c) pellet

Cara menggunakan karbon aktif adalah dengan mengaktifkannya. Karbon aktif dapat meningkatkan daya adsorpsi karena volume porin tersebut mampu mengadsorpsi gas ataupun endapan pada larutan. Gugus aktif dapat ditambahkan dengan cara memodifikasi karbon aktif. Gugus aktif yang ditambahkan adalah gugus oksigen. Sehingga gugus aktif akan menghilang dari permukaan karbon aktif pada saat proses pembuatan karbon aktif. Oleh karena itu, mengakibatkan Ketika karbon aktif diperoleh pada suhu tinggi akan menyebabkan terlepasnya gugus aktif sehingga hanya karbon yang tersisa (Harti & Fitri, 2014).

Proses produksi karbon aktif terdapat dua tahap ialah karbonisasi dan aktivasi. Karbonisasi adalah bagian dari proses pirolisis dengan pembakaran tidak sempurna dengan tanpa adanya oksigen, secara umum digunakan suhu antara 500 °C – 800 °C. Karbonisasi menghasilkan material penyerap yang kurang aktif sehingga dibutuhkan proses aktivasi yang bertujuan dapat merubah arang menjadi karbon aktif dengan porositas tinggi serta luas permukaan spesifik yang besar. Terdapat berbagai bahan aktivasi yang digunakan dalam proses pembuatan karbon aktif (Setiawati & Suroto, 2012). Proses aktivasi terbagi dalam 2 jenis yaitu aktivasi secara kimia dan fisika. Aktivasi fisika terdiri dari dua tahap yaitu bahan dikarbonasi dalam atmosfer yang inert dan dilanjutkan dengan proses aktivasi dengan temperatur tinggi dengan uap maupun karbon dioksida. Aktivasi kimia yaitu proses karbonisasi serta aktivasi berlangsung pada satu tahapan menggunakan bahan kimia sebagai zat pengaktivasi seperti $ZnCl_2$, H_3PO_4 , H_2SO_4 , KOH dan $NaOH$ (Ivander et al., 2020). Penggunaan dengan material kimia sebagai bahan aktivasi seringkali menyebabkan kontaminasi terhadap karbon aktif yang diperoleh. Biasanya aktivator menyisakan sisa oksida yang tidak dapat larut dalam air pada selama proses pencucian. Kemudian aktivasi fisika yaitu dengan oksidator lemah seperti uap air, gas CO_2 , N_2 , O_2 serta gas pengoksidasi lainnya. Sehingga dalam prosesnya pada penyusunan atom karbon tidak terjadi oksida, namun zat pengoksidasi tersebut hanya mampu mengoksidasi komponen yang menutupi permukaan pori karbon (Lempang, 2014).

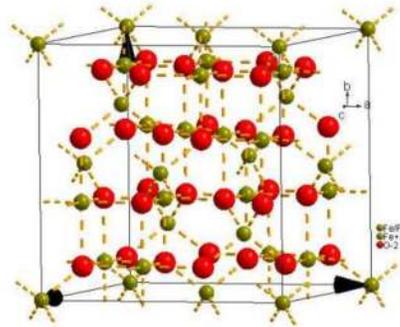
3.4 Logam Fe₃O₄ Dan ZnO

Fe₃O₄ merupakan material berwarna hitam dan memiliki sifat kemagnetan yang kuat, maka akan diperoleh permukaan magnetit yang sangat reaktif serta mempunyai luas permukaan besar (Sartika, 2016). Besi oksida Fe₃O₄ terdapat kandungan berupa ion Fe²⁺ dan Fe³⁺ dan memiliki rumus molekul FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄ merupakan bahan nano yang mempunyai banyak sifat magnetik karena mempunyai sifat fisika dan sifat kimiawi yang bermacam-macam. Ciri magnetit Fe₃O₄ adalah berwarna hitam, tidak beracun, mempunyai medan koersif cukup besar serta termasuk ke dalam sifat magnet superparamagnetik. Sifat magnetik sangat dipengaruhi oleh morfologi, karakteristik fisika pada partikel tunggal, ukuran, serta interaksi antarmuka. Besarnya luas permukaan partikel merupakan suatu kelebihan dari partikel magnetik agar mempunyai kapasitas yang tinggi dalam mengadsorpsi ion logam berat (Lubis, 2022).



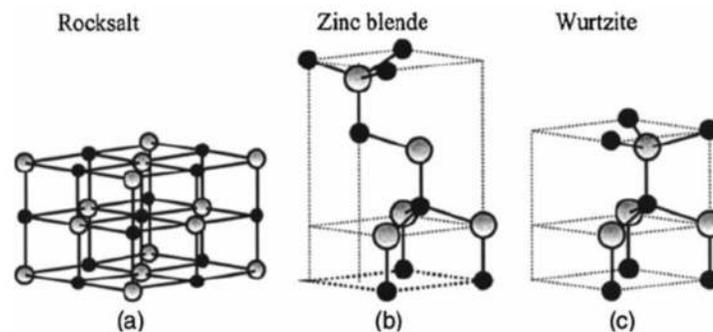
Gambar 7. Struktur Kimia Fe₃O₄

Partikel Fe₃O₄ dengan ukuran nano mempunyai peluang aplikasi di berbagai bidang bertujuan agar memenuhi kebutuhan bahan dasar di bidang industri yang pada perkembangannya semakin mengalami kenaikan. Pemanfaatan pada magnetit yang berukuran nano diantaranya yaitu sebagai katalis, *energy storage*, magnetik data storage, fero fluida, dan dalam diagnosis medis (Merdekani, 2013).



Gambar 8. Struktur Kristal Fe_3O_4

Seng (Zn) adalah salah satu logam transisi yang bereaksi dengan oksigen dalam temperatur tinggi di udara sehingga diperoleh oksida berupa ZnO. ZnO juga termasuk ke dalam material semikonduktor dengan energi celah (*band gap*) sebanyak 3,42 eV. ZnO juga mempunyai berat molekul sebesar 81,4084 g/mol, densitas 5,606 g/cm³, ZnO tidak dapat larut dalam air, namun larut pada asam serta senyawa alkali. ZnO memiliki sifat amfoter, artinya mudah larut pada asam kuat dan basa kuat (Arfi et al., 2017). Pada ZnO terdapat tiga macam struktur kristal diantaranya ialah *wurtzite* heksagonal, *zinblende* kubik dan kubik *rocksalt*. *wurtzite* heksagonal adalah struktur yang paling stabil daripada struktur lainnya. *Zinc blende* kubik akan stabil ketika tumbuh pada substrat struktur kisi kubik. kubik *rocksalt* merupakan struktur yang jarang dilakukan analisis. Pada aplikasinya ZnO sangat luas seperti dibidang elektronika, kosmetik, kecantikan serta lingkungan (Alfarisa et al., 2018).

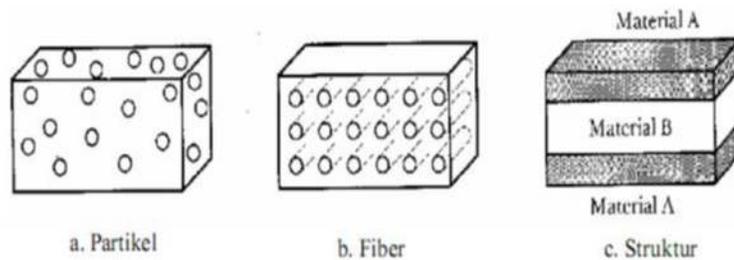


Gambar 9. Jenis-Jenis Struktur ZnO

3.5 Komposit

Komposit disebut dengan gabungan terdiri dari dua bahan atau lebih dengan bentuk yang berbeda dan penyusun kimianya serta diantara bahan tersebut tidak saling larut yang mana material yang satu berperan untuk penguat dan bahan lain berperan untuk pengikat dalam menjaga keutuhan setiap unsurnya. Umumnya material penyusun komposit terdiri dari 2 bagian matriks serta penguat (Maryanti et al., 2011).

Komposit terbagi menjadi tiga kelompok diantaranya yaitu komposit serat, komposit laminat dan komposit partikel. Komposit serat (*fiber*) merupakan bagian komposit yang terbentuk dari satu lapis dengan memanfaatkan penguat yaitu serat *fiber*. Komposit laminat adalah bagian komposit yang terbentuk dari dua lapis atau lebih yang dikombinasikan secara bersamaan dimana setiap lapisan mempunyai sifat yang berbeda. Sedangkan komposit partikel adalah komposit yang memanfaatkan partikel bubuk sebagai penguat yang tersebar secara merata pada matriksnya (Nurul et al., 2012).



Gambar 10. Jenis-Jenis Komposit

Komposit memiliki kelebihan yaitu *strength to weight ratio* artinya lebih baik dari logam dimana memiliki kekuatan yang sama dengan logam namun kekuatannya lebih ringan. Oleh karena itu, pemanfaatan komposit semakin berkembang karena tidak hanya diaplikasikan pada industri otomotif serta pada industri pesawat. Tetapi penggunaan material komposit semakin bertambah ke sektor lain seperti industri elektronika, industri peralatan rumah tangga serta industri olahraga. Jenis komposit yang biasanya digunakan yaitu komposit laminat seperti logam-komposit-logam, non

logam-komposit-non logam serta logam-komposit-non logam. Dalam memperkuat komposit yaitu dapat digunakan serat atau serbuk (Anam & Purnowidodo, 2018)

3.6 Katalis

Katalis merupakan material yang berfungsi untuk dapat mempercepat reaksi yang efektif dengan selektivitas dan daya tahan yang baik dalam kondisi berbahaya yaitu pada temperatur tinggi. Dalam upaya peningkatan efisiensi katalis, diperlukan senyawa penyangga karena memiliki situs aktif pada senyawa penyangga, sehingga aktivitas katalis meningkat dengan bertambahnya luas permukaan (Yanti Novia et al., 2020). Katalis memiliki sifat yang spesifik karena dapat mempercepat reaksi pada reaksi tertentu, namun tidak pada semua reaksi kimia. Kemampuan katalis dalam mempercepat laju reaksi dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu faktor sifat fisika kimia pada katalis, dari kondisi katalis seperti suhu, tekanan, laju alir, waktu kontak serta jenis padatan material katalis. Katalis dipreparasi dengan cara yang berbeda agar diperoleh aktivitas dan selektivitas yang berbeda-beda (D. Y. Lestari, 2012).

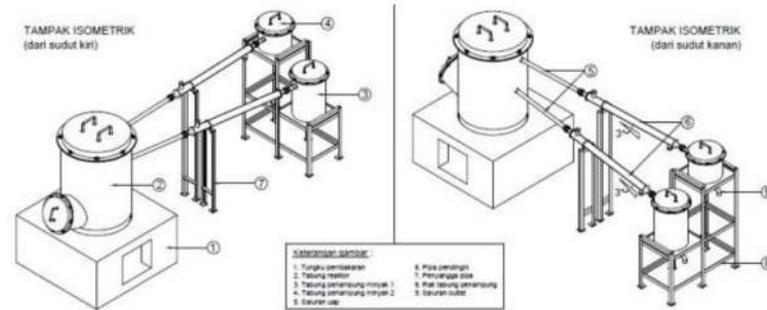
Katalis terbagi menjadi dua tipe yaitu katalis homogen serta heterogen. Aktivitas katalis heterogen (padat) dapat ditentukan dari aktivitas dan selektivitasnya, ketika adanya interaksi dengan reaktan saat proses reaksi berlangsung. Aktivitas dan selektivitas katalis padat sangat bergantung pada morfologi, bentuk, komposisi penyusun kimia permukaan, komposisi fasa serta strukturnya. Parameter karakteristik katalis yang menunjukkan sifat fisik maupun kimia pada katalis. Sifat fisika katalis yaitu terdiri dari luas permukaan serta porositasnya, ukuran partikel serta persebarannya, struktur serta morfologinya (Haryono et al., 2018). Katalis homogen merupakan suatu katalis yang memiliki fasa yang sama dengan reaktan. Sedangkan katalis heterogen merupakan katalis yang memiliki fasa berbeda dengan reaktan. Kelebihan dari katalis homogen ialah tidak mudah teracuni oleh pengotor pada setiap molekul katalis aktif. Adapun kelemahan dari katalis homogen yaitu sulit dipisahkan dari campurannya serta mudah terurai pada suhu tinggi. Kelebihan dari katalis

heterogen mampu dipisahkan dari campuran melalui proses penyaringan, sehingga mudah dalam regenerasinya. Kekurangan dari katalis heterogen ialah reaksi tidak dapat berlanjut, ketika permukaan katalis telah jenuh dengan molekul reaksi (Praputri et al., 2018).

Kelemahan dari katalis homogen yaitu adanya limbah dari proses pencucian residu katalis, sehingga katalis ini tidak dapat digunakan kembali. Penggunaan katalis heterogen dapat mengatasi kelemahan yang dimiliki oleh katalis homogen. Pemisahan katalis heterogen dari produknya yaitu dengan proses filtrasi dan katalis ini dapat dikembangkan untuk memberikan aktivitas yang lebih tinggi, selektivitas dan katalis yang tahan lama (Wendi et al., 2015).

3.7 Pirolisis dan Kalsinasi

Pirolisis merupakan suatu proses dimana suatu zat diuraikan dengan menggunakan temperatur yang tinggi tanpa adanya oksigen atau hanya menggunakan oksigen terbatas. Produk utama yang diperoleh pada proses pirolisis yaitu berupa arang (char), minyak serta gas. Terdapat tiga jenis produk pirolisis yaitu berupa padatan (arang), gas (fuel gas) serta cairan (bio-oil). Biasanya proses pirolisis dilakukan pada temperatur lebih dari 300 °C selama 4-7 jam. Kondisi ini tergantung dari bahan baku serta cara produksinya. Adapun faktor yang dapat mempengaruhi proses pirolisis diantaranya yaitu kadar air, ukuran partikel, suhu, bahan, waktu serta jenis pirolisis (Ridhuan, Irawan, Zanaria, et al., 2019). Proses pirolisis terbagi menjadi tiga jenis tahapan yaitu tahap pengeringan berlangsung di temperatur 200 °C, tahap pirolisis berlangsung di temperatur sekitar 200-500 °C, serta tahap evolusi gas berlangsung di temperatur sekitar 500-200 °C. Terdapat tiga macam karakteristik dari pirolisis antara lain massa, laju penurunan massa serta suhu. Pada tahapan pertama yaitu tahapan pengeringan diketahui dengan pengurangan massa secara perlahan. Tahapan yang kedua yaitu penguapan diketahui dengan pengurangan massa terjadi secara cepat. Tahap ketiga yaitu karbonisasi atau pembakaran diketahui dengan pengurangan massa yang terjadi secara lambat (Ridhuan, Irawan, & Inthifawzi, 2019).



Gambar 11. Desain Rancangan Proses Pirolisis

Pada pirolisis terdiri dari dua jenis pada satu tahapan pirolisis antara lain ialah pirolisis primer serta pirolisis sekunder. Pirolisis primer merupakan suatu tahapan yang didasarkan dengan pemanasan dengan temperatur kurang dari 300 °C yang terurai dan diperoleh dalam bentuk karbon ataupun arang. Pirolisis sekunder merupakan suatu tahapan yang terjadi setelah pirolisis primer dengan temperatur lebih dari 600 °C membentuk reaksi pirolisis dalam bentuk gas ataupun uap serta diperoleh berupa karbon monoksida (CO), hidrokarbon serta hidrogen (Wisnujati & Yudhanto, 2020)

Pirolisis merupakan proses dimana bahan polimer seperti plastik dan bahan organik seperti biomassa yang terurai melalui proses pemanasan tanpa adanya oksigen atau udara. Proses tersebut biasanya terjadi pada temperatur sekitar 500-800 °C, diperoleh produk hasil pirolisis yaitu berupa fraksi gas, cairan serta endapan padatan (Syamsiro, 2015).

Kalsinasi merupakan suatu proses yang melibatkan pelepasan H₂O, CO₂ ataupun gas lainnya sehingga membentuk ikatan kimia dengan bubuk atau biji untuk menghasilkan produk yang berupa kalsin (CaO). Kalsinasi merupakan suatu proses perlakuan panas yang bertujuan untuk menghilangkan senyawa kimia yang terikat di dalam sampel yaitu seperti karbon dioksida dan air. Proses kalsinasi diperoleh dengan menggunakan *furnace* pada temperatur yang tinggi yaitu sekitar 500-900 °C, tetapi tidak melewati titik leleh pada sampel tanpa adanya penambahan reagen (Meilianti, 2017).

3.8 Metode Konversi Bioetanol Menjadi Butanol

Dehidrogenasi katalitik alkana merupakan reaksi endotermik, yang terjadi dengan peningkatan jumlah mol. Reaksi pada proses ini terjadi secara termal karena memiliki kelemahan dibandingkan dengan *hydrocarbon cracking*, karena kekuatan dari ikatan C-C (246 kJ/mol) yang jauh lebih rendah daripada ikatan C-H (363 kJ/mol). Tetapi dengan menggunakan katalis yang sesuai, proses dehidrogenasi dapat dilakukan dengan cara pemutusan ikatan C-C yang minimal. Ikatan C-H yang kuat merupakan orbital dan kulit tertutup yang dapat diaktifkan dengan katalis oksida atau logam. Dehidrogenasi katalitik digunakan untuk produksi propilena dan isobutilena dari propane dan isobutena, dalam produksinya mono-olefin C₆ hingga C₁₉ dari alkana normal yang sesuai, dan stirena dari etilenbenzena (Resasco, 2000).

Proses Dehidrogenasi pada senyawa hidrokarbon melibatkan pemutusan dua ikatan karbon-hidrogen melalui pembentukan simultan dari molekul hidrogen dan molekul yang mengandung ikatan karbon-karbon ganda yang biasanya mewakili produk yang diinginkan. Reaksi dehidrogenasi merupakan reaksi yang sederhana dilihat dari karakteristik termodinamika dan kinetiknya. Terdapat sistem katalitik utama yang memiliki aktivitas dehidrogenasi yaitu logam golongan VIII (terutama platinum dengan timah, kromium oksida pada alumina atau zirkonium, besi oksida, gallium sebagai oksida pendukung atau termasuk ke dalam struktur zeolite, dan tembaga sebagai dehidrogenasi alkohol menjadi aldehida (Domenico & Miracca, 2013).

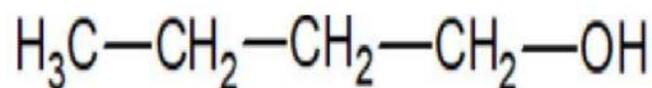
Proses dehidrasi adalah kebalikan dari proses hidrasi dan melibatkan reaksi eliminasi yang terjadi melalui mekanisme E1 ataupun E2, dan tergantung pada gugus alkoholnya. Adapun alkohol primer dihidrasi oleh mekanisme E2 yang melibatkan penghilangan air serta proton, contoh dari dehidrasi alkohol primer adalah reaksi dehidrasi n-butanol menjadi senyawa butena menggunakan katalis dengan material yang memiliki ukuran pori-pori seragam melalui reaksi dehidrasi alkohol sehingga membentuk dua atau lebih alkena karena lepasnya proton pada saat dehidrasi kemungkinan dari adanya molekul karbon yang berdekatan dengan molekul karbon

yang mengandung gugus hidroksil (Primadevi et al., 2015). Penggunaan material yang memiliki ukuran pori-pori seragam disebut dengan *molecular sieve* pada dehidrasi etanol yaitu prosesnya yang sederhana dan mudah untuk diotomisasi. Proses inert karena tidak menggunakan bahan kimia tambahan yang memerlukan penanganan tertentu, dengan menggunakan *molecular sieve* dapat dengan mudah memproses etanol yang terdapat kontaminan dan dapat digunakan untuk dehidrasi bahan-bahan kimia yang lain (Gadung, 2009).

Pada penelitian ini dalam mengkonversi bioetanol menjadi senyawa butanol menggunakan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}/\text{KA}$ dapat dilakukan melalui proses dehidrogenasi dan proses dehidrasi.

3.9 Butanol

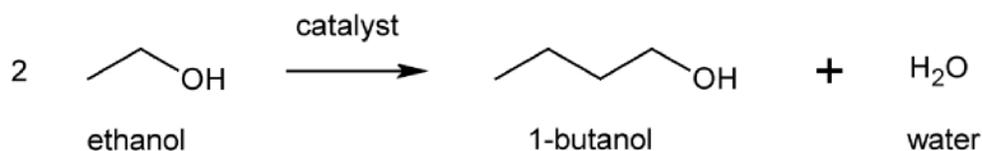
Butanol atau disebut dengan butil alkohol atau biobutanol yang diperoleh dengan cara biologi. Butanol merupakan alkohol yang memiliki struktur 4 karbon dengan rumus molekul yaitu ($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$) dan memiliki kegunaan sebagai pelarut dan untuk media pada sintesis kimiawi. Karakteristik butanol yaitu tidak berwarna, berbentuk cair dimana sebagian akan larut didalam air antara 7-8%. Namun mudah larut dalam pelarut organik seperti glikol, keton, aldehida serta eter. Butanol memiliki titik didih sebesar $117,7\text{ }^\circ\text{C}$ dengan densitas $0,81\text{ g/cm}^{-3}$, memiliki bau yang khas yang menyengat seperti pisang atau manis, tidak berwarna dan berbentuk cairan yang kental. Butanol dalam industri dapat digunakan sebagai pelarut zat warna pada industri tinta, sebagai bahan tambahan untuk penghilang noda, sebagai ekstrak pada pembuatan obat dalam industri farmasi serta dalam berfungsi untuk sumber energi alternatif karena butanol memiliki tingkat korosif yang rendah serta memiliki kandungan energi yang tinggi (Saputro & Kurniawan, 2019).



Gambar 12. Struktur 1-Butanol

Butanol adalah sumber energi alternatif yang terbarukan serta ramah lingkungan dan dapat menggantikan bahan bakar fosil. Butanol mempunyai keunggulan yaitu diantaranya mengandung angka oktan yang cukup besar dan mampu menahan tekanan tinggi didalam silinder sehingga mengakibatkan terjadinya peningkatan torsi serta daya mesin. Butanol dapat meningkatkan laju pembakaran, disebabkan karena proses penguapan yang tinggi pada butanol membuat bahan bakar lebih cepat mengalami penguapan serta lebih sempurna sistem pembakarannya. Pembakaran yang sempurna mampu menghemat bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam ruang pembakaran (Firman et al., 2020).

Reaksi konversi bioetanol menjadi senyawa butanol yaitu sebagai berikut:

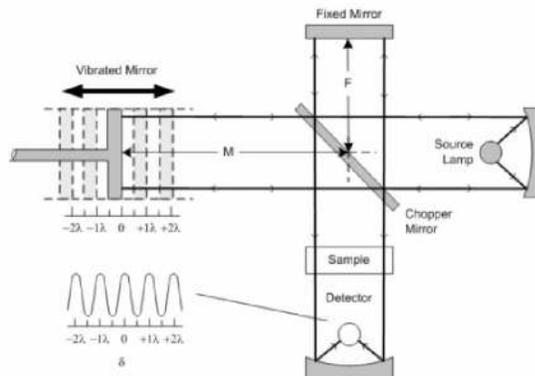


Gambar 13. Reaksi Etanol Menjadi 1-Butanol

3.10 Karakterisasi Komposit Fe₃O₄-ZnO/KA dan Produk Butanol

3.10.1 *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*

FTIR adalah suatu teknik analisis yang dapat menghasilkan hasil yang tepat. Teknik spektroskopi FTIR hanya memerlukan persiapan sampel yang sangat sedikit serta dapat mengidentifikasi tanpa merusak suatu material tersebut. Jika pelarut dan bahan lainnya tidak digunakan secara berlebihan, maka spektroskopi FTIR sangat efektif dan aman bagi lingkungan (Lora Buana & Fajriati, 2019). Mengidentifikasi dengan spektrofotometer FTIR dapat menganalisis spektrum vibrasi molekul yang bertujuan untuk dapat memprediksi struktur suatu senyawa kimia. Terdapat tiga metode yang tersedia dalam instrumen FTIR untuk membuat spektrum sampel vibrasi molekul diantaranya Demountable Liquid Cell (DRS-8000), Pengukuran Reflektansi Difus serta Reflektansi Attenuasi Total (Made et al., 2020).



Gambar 14. Ilustrasi Alat FTIR

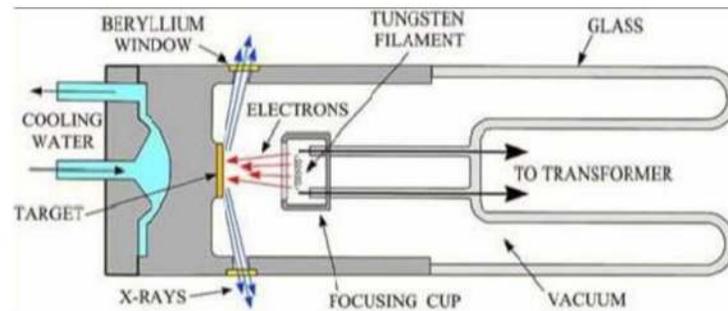
Spektrum inframerah dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu inframerah dekat ($1400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$) yang sensitif terhadap getaran nada, inframerah sedang ($4000\text{-}400\text{ cm}^{-1}$) yang dapat terhubung menuju transisi energi getaran molekul dan dapat memberikan informasi tentang gugus fungsi dan inframerah jauh ($400\text{-}10\text{ cm}^{-1}$) yang bertujuan dapat mengetahui molekul dengan atom berat seperti bahan kimia anorganik tetapi memerlukan metode tertentu yang terdapat di dalam molekul. Analisis senyawa pada umumnya dilakukan di daerah inframerah menengah. Interaksi antara energi dan materi merupakan prinsip pada FTIR. Celah mengontrol jumlah energi yang dikirim oleh sampel dengan membiarkan inframerah melewatinya dan masuk ke dalam sampel sampai sinar inframerah mencapai detektor serta sinyal yang terukur ditransfer ke komputer dan disimpan dalam bentuk puncak, beberapa inframerah ada yang diserap oleh sampel serta sebagian akan dilewatkan melalui permukaan sampel. Senyawa khususnya molekul organik dapat diidentifikasi secara subjektif maupun kuantitatif dengan menggunakan spektrofotometer FTIR. Identifikasi gugus fungsi yang berada dalam suatu material kimia dapat diidentifikasi melalui FTIR kuantitatif. Konsentrasi analit dalam sampel dapat dipastikan melalui kuantitatif FTIR (Sari & Fajri, 2018).

Membandingkan bilangan gelombang inframerah yang terbentuk yaitu dengan menggunakan FTIR yang berfungsi untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terbentuk pada komposit karbon aktif, ZnO dan ZnO/Karbon Aktif (Fadlly &

Harmawan, 2019). Pada logam Fe_3O_4 dapat diidentifikasi dengan FTIR sehingga menghasilkan pita serapan pada bilangan gelombang 344.72 cm^{-1} serta 3695.61 cm^{-1} yang merupakan vibrasi ulur O-H, 586.36 cm^{-1} yang merupakan tetrahedral Fe-O serta 401.19 cm^{-1} merupakan Fe-O oktahedral karena intensitas OH sangat rendah seperti yang ditunjukkan oleh pita serapan, sehingga terjadi proses pembentukan kristal berlangsung hampir seluruhnya (Maylani et al., 2016)

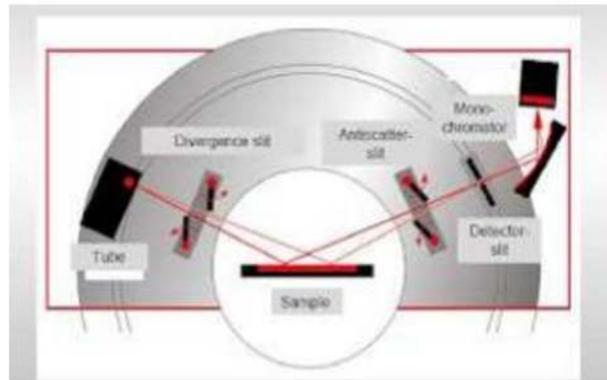
3.9.2 X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan analisis yang dapat membantu mengidentifikasi material kristalit (kualitatif) serta fasa kuantitatif pada suatu material dengan menggunakan gelombang radiasi elektromagnetik sinar-X, serta dapat membantu menentukan keseluruhan lainnya yaitu komposisi berbagai jenis atom dalam kristal, adanya cacat orientasi dan cacat kristal.



Gambar 15. Ilustrasi Instrumen XRD

Penentuan Difraksi merupakan salah satu teknik yang dapat digunakan untuk menentukan kristal. Teknik percobaan untuk hamburan elastis yang disebut difraksi dan melibatkan sedikit transfer energi atau perubahan proses hamburan. Data koordinat atom kristal yang dapat membantu sifat umum serta fitur pada material tersebut yaitu informasi yang diperoleh melalui metode difraksi. Teknik XRD bergantung pada difraksi cahaya melintasi celah kristal, jika difraksi tinggi terjadi dari radius dengan Panjang gelombang yang sebanding dengan jarak antar atom yaitu sekitar 1 Angstrom, maka cahaya dapat didifraksikan oleh kristal tersebut. Penggunaan radiasi berupa elektron, neutron serta sinar-X.



Gambar 16. Difraksi Sinar-X Pada XRD

Berkas sinar-X akan diserap, sebagian akan diteruskan serta sebagian lagi akan dibiarkan saat berinteraksi dengan suatu zat. Dengan menggunakan instrumen XRD maka hamburan terdifraksi tersebut akan ditemukan karena memiliki perbedaan fase, beberapa berkas sinar-X yang tersebar ada yang saling menghilang, sementara yang lain saling menguatkan. Aliran sinar-X yang terdifraksi tersebut ialah yang saling menguatkan. Salah satu syarat agar berkas sinar-X dapat terdispersi menjadi berkas difraksi yaitu dapat diuraikan oleh hukum Bragg (Hakim et al., 2019).

Pengujian menggunakan XRD yaitu karena dapat menentukan fasa kristal yang terbentuk pada bentonit Fe_2O_3 melalui difraksi sinar-X pada XRD. Puncak dengan intensitas tinggi dapat dilihat pada difraktogram bentonit Fe_2O_3 karena memberikan kesan adanya fasa kristal. Tingkat difraksi sinar-X dapat menghasilkan kristal yang sempurna dengan kerapatan susunan atomnya. Kristalinitas serta sistem material lebih baik dan lebih padat ketika lebih tajam dan intensitas pantulannya lebih tinggi (Riskiani et al., 2018). Karakterisasi magnetit Fe_3O_4 dengan XRD yaitu berada pada 2-Theta 30,5; 35,9; 37,0; 43,5; 53,6; 57,3 dan 63,1 derajat. Dari hasil tersebut terdapat puncak yang berbeda dan menunjukkan adanya unsur lain pada sampel. Karakterisasi XRD ZnO menghasilkan adanya puncak 2θ 31,78; 34,44; 36,27; 47,55; 56,60; 62,87 dan 67,96 menunjukkan bahwa ZnO diperoleh memiliki struktur *wurtzite* heksagonal (Gilang Permata et al., 2016).

3.9.3 Gas Sorption Analyzer (GSA)

Instrumen GSA atau Gas Sorption Analyzer yaitu instrumen yang digunakan untuk mengukur secara fisik pada suatu material seperti volume pori, jari-jari pori, luas permukaan dan lainnya. Mekanisme adsorpsi pada permukaan zat dengan suhu dan tekanan konstan yang bervariasi merupakan dasar untuk prinsip dasar dari GSA (isoterm). Helium untuk mikropori (20 \AA) nitrogen untuk mesopori ($20\text{-}500 \text{ \AA}$) dan argon untuk makropori ($>500 \text{ \AA}$) gas tersebut yang umumnya digunakan dalam instrumen GSA. GSA hanya mengevaluasi volume gas yang diserap oleh pori atau permukaan padat dalam kondisi isotermal saat dilakukan analisis. Grafik volume gas (v) vs tekanan relative (P/P_0) menunjukkan volume gas yang dihasilkan pada berbagai tekanan. Data yang diperoleh akan dianalisis menggunakan beberapa teori dan model perhitungan yang dikembangkan untuk menghasilkan data luas permukaan, volume pori, jari-jari pori dan variabel lainnya.

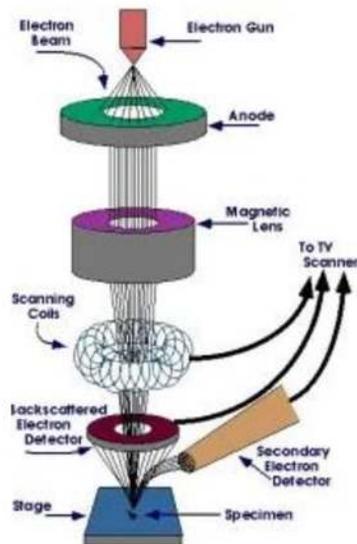
Degasser dan *Analyzer* adalah dua komponen dari prosedur persiapan sampel dengan GSA. Proses degassing mengacu pada perlakuan awal dimana degasser memberikan bahan sebelum dianalisis dengan menghilangkan pengotor (seperti air, mineral dan senyawa volatil lainnya) yang masih terperangkap di pori-pori atau permukaan padatan. Bahan uji dipanaskan menggunakan mantel pemanas dalam sampel yang terpasang pada port degas untuk melakukan prosedur degassing. Terdapat dua cara untuk melakukan proses ini yaitu dalam kondisi flow ataupun dalam kondisi vakum untuk menekan kontaminan, kondisi aliran (flow) gas dituangkan ke dalam sampel sel. Oleh karena itu, dengan menurunkan tekanan maka dihasilkan kondisi vakum (Sudarlin et al., 2020).

Berdasarkan data adsorpsi-desorpsi isoterm gas N_2 , luas permukaan, volume pori dan distribusi pori komposit gamma alumina/karbon aktif dikarakterisasi menggunakan GSA. Pendekatan analisis distribusi pori digunakan untuk mengklasifikasikan ukuran pori komposit menurut IUPAC, dengan memplot hubungan antara jari-jari pori dan $dV(r)$, distribusi pori yang dihasilkan (Hartini et al.,

2015). Analisis Fe_3O_4 /karbon aktif dengan GSA meliputi luas permukaan $91,16 \text{ m}^2/\text{g}$, volume pori $5,24 \times 10^2 \text{ cc/g}$, ukuran pori $17,46 \text{ nm}$, dan rata-rata ukuran pori yaitu $1,15 \text{ nm}$. Hasil tersebut menunjukkan Fe_3O_4 /karbon aktif memiliki ukuran pori dan termasuk ke dalam mikropori karena memiliki ukuran pori lebih kecil yaitu 2 nm (Hakim & Sedyadi, 2020) .

3.9.4 Scanning Electron Miscroscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

Mikroskop elektron yang disebut dengan SEM dapat memberikan gambar resolusi tinggi dari permukaan sampel. SEM mengambil gambar dengan cara mendeteksi elektron yang muncul pada permukaan benda. Suatu campuran bahan kimia dapat diuji dengan SEM untuk menghasilkan hasil citra morfologi serta konsentrasinya. EDX berfungsi untuk menentukan komposisi yang terdapat di dalam sampel (Septiano et al., 2021).



Gambar 17. Skema Instrumen SEM

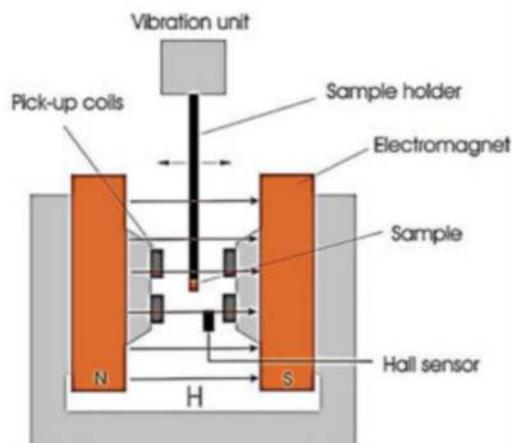
Identifikasi menggunakan SEM untuk menghasilkan hasil citra morfologi serta konsentrasinya. Identifikasi menggunakan SEM-EDX dapat memberikan hasil yang lebih cepat dan akurat serta proses yang lebih mudah. Setiap sampel menjadi sasaran analisis area selama proses pengukuran dengan SEM-EDX. Sampel ditembak oleh

berkas elektron yang dibelokkan dari area *gun*, sebelum berkas elektron membentuk atau menghubungi sampel maka aliran berkas ini akan dikonsentrasikan menggunakan optik kolom elektron. Setelah sampel yang diradiasi terkena berkas elektron. Interaksi yang terjadi dapat diidentifikasi, diubah menjadi gambar dengan analisis SEM dan ditampilkan secara grafis dengan analisis EDX .(Julinawati et al., 2015).

Analisis EDX berfungsi untuk mengidentifikasi komponen atau mineral yang terdapat pada sampel hidroksiapatit dengan penambahan ZnO. Sedangkan analisis SEM berfungsi untuk mengidentifikasi struktur permukaan dan diameter pori pada masing-masing sampel (Azkiyah et al., 2013).

3.9.5 *Vibrating Sample Magnetometry (VSM)*

VSM merupakan suatu alat perangkat yang bertujuan untuk mengukur dan memastikan karakteristik magnetik pada suatu bahan atau sampel. VSM adalah suatu Teknik yang sederhana bertujuan untuk menentukan sifat magnetik material. Sehingga dihasilkan berupa kurva histerisis pada bahan magnet yang diidentifikasi terkait besar magnetisasinya, saturasi, koersivitas, remanensi, dan arah sumbu maupun *hard axis* pada suatu bahan atau sampel (Atmono et al., 2015).



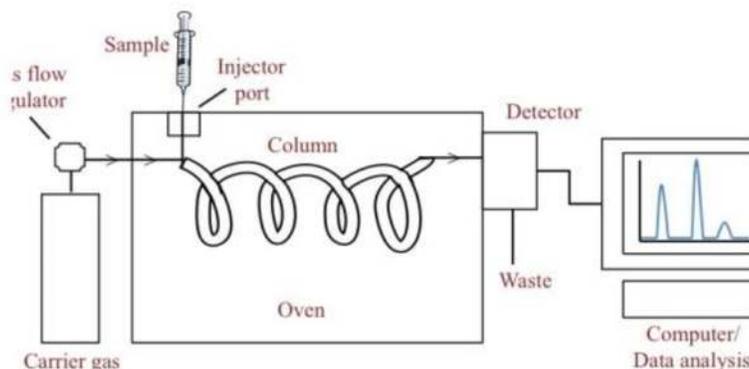
Gambar 18. Ilustrasi Instrumen VSM

Suatu sampel yang ditempatkan pada media preparat yang berada di tengah-tengah alat sesuai dengan prinsip kerja VSM. Pada ujung batang media persiapan dapat terhubung ke transduser elektromekanis dan sampel diletakkan, maka medan magnet akan sama atau seragam untuk sampel tersebut. Media *pick-up coil* dikenai induksi magnetik untuk menunjukkan sinyal dalam bentuk getaran sinusoidal. Sinyal yang dihasilkan berbanding terbalik dengan medan magnet dan amplitudo partikel. Penguat diferensial yang juga menerima sinyal referensi akan memproses sinyal setelah dikeluarkan sehingga menunjukkan adanya sinyal DC proporsional (Tebriani, 2019). Magnetit yaitu material magnetik yang memiliki struktur kubik spinel inversi dan memiliki rumus umum (Fe^{3+} dan Fe^{2+}). Sifat magnetik terbagi menjadi beberapa bagian yaitu bahan diamagnetik yaitu tidak memiliki momen dipol magnet permanen, suatu bahan akan mengalami induksi magnet sederhana ketika medan magnet dimasukkan pada suatu bahan. Bahan diamagnetik juga memiliki pasangan electron yang berputar dalam arah berlawanan. Ketika momen dipol magnet pada atom terdekati Bersatu untuk membentuk mineral, tidak ada interaksi diantara keduanya, sehingga menghasilkan induksi magnet yang berjalan sejajar dengan medan magnet yang diterapkan dan termasuk ke dalam sifat paramagnetik karena menghasilkan medan magnet dari luar saat ditarik dan medan magnet tersebut cenderung membuat medan magnet lebih kuat. Bahan ferromagnetik yaitu memiliki resultan magnetis atomis yang besar dengan spin elektron yang tidak berpasangan. Spin elektron yang berpasangan tersebut dapat menghasilkan medan magnetik, maka total medan magnetik yang diperoleh dari suatu atom akan lebih besar. Sifat magnet dari ferromagnetic ini dipengaruhi oleh factor suhu karena pada suhu di atas suhu Curie, sifat magnet tersebut akan hilang. Bahan dari ferromagnetic terdiri dari atom-atom yang memiliki momen magnetik dengan momen atom yang berdekatan dan saling berinteraksi. Bahan superparamagnetik merupakan material seperti paramagnet, namun mengandung sifat material ferromagnet dalam ukuran kecil (1-10 nm) seperti *crystallite* (Tebriani, 2019). Magnetisasi saturasi dari Fe_3O_4 dengan menggunakan

VSM diperoleh hasil berupa magnetisasi saturasi (M_s) pada sampel dengan meningkatnya konsentrasi dari 99,50 emu/g menjadi 0,84 emu/g (Puryanti et al., 2017).

3.9.6 Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

Kromatografi gas dan analisis spektrometri massa dikenal sebagai GC-MS. Ketika dipanaskan kromatografi gas digunakan untuk mencari zat yang mudah menguap dalam kondisi vakum yang tinggi dan tekanan rendah, sedangkan untuk membuat molekul bermuatan dan memastikan berat serta rumus molekul yaitu dapat digunakan spektrometri massa (Hotmian et al., 2021).



Gambar 19. Skema Alat GC-MS

Prinsip pada spektrofotometri massa adalah untuk membuat ion dalam senyawa organik dan anorganik dengan menggunakan teknik yang tepat, memisahkan ion berdasarkan massa ke muatan (m/z) dan mengkarakterisasi karakteristik kualitatif dan kuantitatif dari m/z masing-masing senyawa serta karakteristiknya. Kelimpahan resolusi dan efisiensi GC-MS yang tinggi menjadikan dalam analisis partikelnya menjadi rendah, hal tersebut memiliki kepekaan yang sangat baik karena dapat memisahkan berbagai senyawa yang dicampur menjadi satu, dapat menganalisis beragam senyawa pada konsentrasi rendah dan aliran gas terkontrol serta stabil karena GC-MS hanya dapat digunakan untuk memisahkan campuran dalam jumlah yang kecil yang menjadi salah satu kelemahannya (Diva Candraningrat et al., 2021).

Identifikasi komponen kimia yang dihasilkan selama proses degradasi adalah tujuan dari analisis yang menggunakan GC-MS. Aldehida atau keton, alkohol dan asam karboksilat adalah suatu zat yang diamati selama proses degradasi berlangsung. Dihasilkan puncak tertinggi yang mewakili konsentrasi pada larutan dan puncak yang muncul pada berat molekul tertentu (m/z) disesuaikan dengan senyawa baru yang memiliki kemungkinan dihasilkannya selama proses degradasi berlangsung (Oseanografi et al., 2020).

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Alat

Seperang alat gelas iwaki, oven Memmert, desikator, *heating mantle*, seperangkat alat konversi bioetanol, seperangkat alat evaporasi EYELA OSB-2200, dan seperangkat alat *electric melting furnace*. Seperangkat alat instrumen yang digunakan yaitu Characterization Fourier Transform Infrared (FTIR) Perkin Elmer Spectrum Version 10.5.1, SEM Scanning Electron Microscopy (SEM-EDX) Phenom Pro-X, X-Ray Diffraction (XRD) Bruker D2 Phaser, Gas Sorption Analyzer (GSA) Quantachrome, dan Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS) ShimadzuQP 2010 SE.

4.2 Bahan

Sampel karbon aktif, kulit pisang, ragi, Kalium Hidroksida (KOH) 30%, Asam Nitrat (HNO_3) pekat, logam Besi (III) Klorida ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), Besi Sulfat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), Seng Oksida (ZnO), etanol p.a ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), pH *universal*, Natrium Hidroksida (NaOH) 25%, akuades (H_2O), akuabides, gas nitrogen dan hidrogen, kertas saring biasa serta kertas saring *whattman*.

4.3 Cara Kerja

4.3.1 Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Pisang

Disiapkan kulit pisang kepok sebanyak 5 kilogram, dihaluskan dengan menggunakan blender dan ditambahkan dengan air hingga kulit pisang mengental. Kemudian dimasukkan ke dalam suatu wadah besar dan ditambahkan dengan ragi. Lalu diaduk hingga homogen serta ditutup dengan rapat agar udara tidak masuk. Selanjutnya dilakukan fermentasi selama 8 hari, setelah difermentasi kulit pisang disaring dengan kain untuk memisahkan filtrat dan endapan, sehingga diperoleh perbandingan antara hasil filtrat dan endapan yaitu sebesar 2:1 dan hasil kulit pisang hasil disaring dimasukkan ke dalam wadah besar serta ditutup dengan rapat. Kemudian dievaporasi

hingga 1,5 jam dengan temperatur 70 °C hingga diperoleh bioetanol dan produk bioetanol dimasukkan dalam botol serta ditutup dengan rapat.

4.3.2 Aktivasi Karbon Aktif

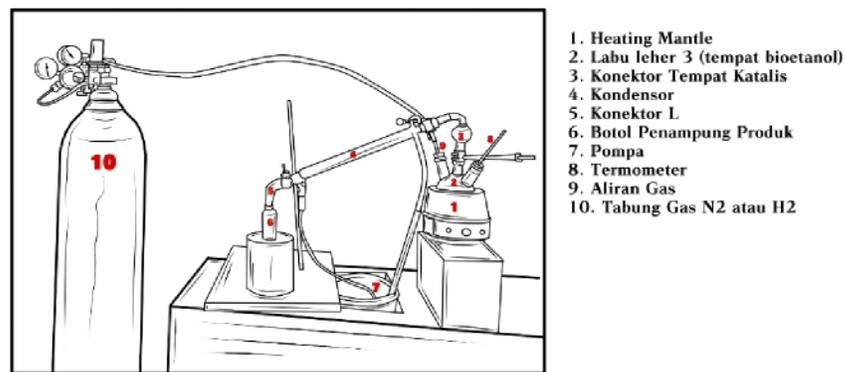
Karbon aktif diperoleh dari penelitian sebelumnya. Dilakukan aktivasi karbon aktif yaitu sampel karbon aktif disaring sampai halus, sampel yang sudah dihaluskan ditimbang hingga diperoleh berat sampel sebesar 30 gram. Kemudian diimpregnasi menggunakan KOH 30% sebanyak 100 mL serta ditambahkan akuades sebanyak 100 mL. Selanjutnya distirer selama 4 jam pada suhu 60-70 °C, disaring dengan kertas saring biasa serta dibilas dengan akuades sebanyak dua kali. Lalu didiamkan selama semalaman hingga karbon aktif kering, setelah itu dilakukan perendaman dengan larutan HNO₃ pekat dalam 100 mL hingga 2 jam. Setelah itu dilakukan penyaringan kembali menggunakan kertas saring biasa dan dicuci dengan akuabides. Dikeringkan karbon aktif dan ditimbang hasil karbon aktif yang sudah diimpregnasi, sehingga hasil karbon aktif diperoleh sebanyak 18,6 gram. Kemudian hasil karbon aktif tersebut dipirolisis selama 2 jam pada suhu 250 °C. Lalu karbon aktif didinginkan dan ditimbang hingga diperoleh sebanyak 15,2365 gram.

4.3.3 Pembuatan Komposit Fe₃O₄-ZnO/Karbon Aktif

Sebanyak 14,49 gram FeCl₃, 13,9 gram FeSO₄, 16,425 gram ZnO dan 15 gram karbon aktif. Kemudian setelah ditimbang di campurkan semua bahan tersebut ke dalam gelas beker 500 mL, ditambah akuabides sebesar 100 mL dan 25 mL etanol p.a. Setelah itu distirer selama 1 jam pada suhu 70 °C dan ditambahkan NaOH 25 % hingga menunjukkan pH 9 serta dibilas dengan akuabides. lalu dioven hingga kering pada suhu 110 °C, setelah dioven ditimbang hingga diperoleh komposit sebanyak 70,7815 gram. Kemudian dipirolisis hingga 3 jam dengan menggunakan suhu 600 °C, didinginkan selama semalaman. Komposit hasil pirolisis ditimbang hingga diperoleh sebanyak 60,933 gram.

4.3.4 Konversi Bioetanol Menjadi Butanol

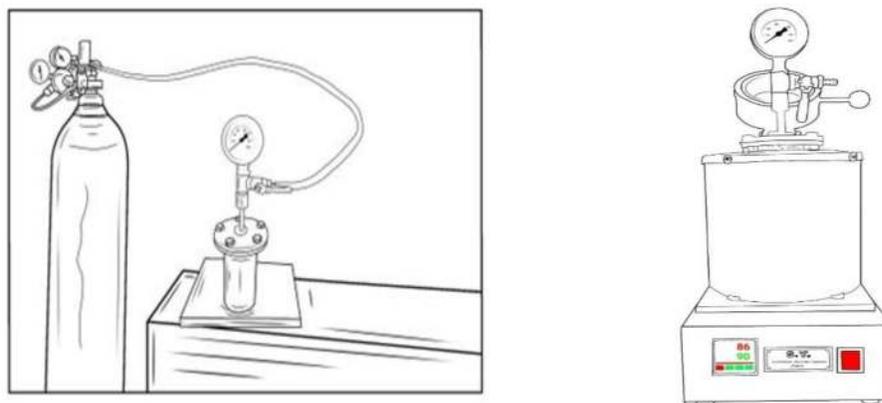
Proses dehidrogenasi dan dehidrasi dilakukan didalam sebuah reaktor tekanan yang diisi oleh bioetanol dan katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$ dengan dialirkan gas N_2 , dan H_2 . Kemudian reaktor dipanaskan dengan variasi suhu mencapai suhu 120, 140 dan 160°C . Lalu dialirkan air ke dalam kondensor. Proses konversi bioetanol dilakukan selama 45 menit dan diambil produk yang dihasilkan dan dimasukkan ke dalam botol. Selanjutnya produk yang dihasilkan dari konversi bioetanol dilakukan analisis dengan menggunakan GC-MS.



Gambar 20. Desain Alat Konversi dengan Nitrogen

Proses konversi bioetanol menjadi butanol dengan metode pemanasan menggunakan furnace. Hal pertama yang dilakukan yaitu ditimbang komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$ dengan variasi berat sampel yaitu 1,5, 3 dan 4,5 gram. Kemudian dimasukkan bioetanol kulit pisang sebanyak 50 mL ke dalam reaktor dan ditambahkan dengan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$ yang sudah ditimbang tersebut. Setelah itu, reaktor dikunci serta ditutup dengan rapat agar udara tidak masuk, lalu dialirkan dengan menggunakan gas hidrogen (H_2) dan ditunggu hingga 10 menit. Setelah 10 menit reaktor dikunci atau ditutup, dilepaskan aliran gas oksigen tersebut dan dimasukkan ke dalam furnace. Dinyalakan furnace serta diatur dengan variasi suhu yaitu 75, 90 dan 105°C selama 1 jam. Setelah proses konversi berlangsung selama 1 jam diperoleh berupa minyak hasil konversi, dimasukkan ke dalam botol sebanyak 1 mL dan ditutup

rapat. Selanjutnya produk yang dihasilkan dari konversi bioetanol dilakukan analisis dengan menggunakan GC-MS.



Gambar 21. Desain Alat Konversi dengan Hidrogen

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Pisang

Pada tahap awal yaitu dipreparasi kulit pisang dengan dihaluskan kulit pisang kepek menggunakan blender dan ditambahkan dengan air hingga kulit pisang mengental, pemilihan kulit pisang kepek pada penelitian ini karena dapat menghasilkan bioetanol. Kemudian dimasukkan ke dalam wadah dan ditambahkan dengan ragi, ragi yang digunakan pada penelitian ini yaitu ragi roti karena mikroorganisme yang terdapat dalam ragi roti yaitu *Saccharomyces cereviceae* yang mana dapat memproduksi alkohol dalam jumlah besar dan memiliki toleransi kadar alkohol yang tinggi yaitu sekitar 12-18 % abv, aktif pada saat melakukan fermentasi di suhu 4-32 °C, dan tahan terhadap gula yang tinggi. Selanjutnya diaduk hingga homogen dan ditutup rapat hingga tidak ada udara yang masuk. Lalu dilakukan fermentasi selama 8 hari karena merupakan waktu yang optimum dalam fermentasi kulit pisang menjadi bioetanol, jika terlalu cepat menyebabkan mikroorganisme *Saccharomyces cereviceae* masih dalam masa pertumbuhan sehingga mengakibatkan alkohol yang diperoleh akan sedikit. Jika terlalu lama menyebabkan mikroorganisme *Saccharomyces cereviceae* akan mati dan mengakibatkan alkohol yang diperoleh tidak maksimal. Adapun reaksi yang terjadi dalam proses fermentasi yaitu sebagai berikut:



Pada reaksi ini terjadi perubahan glukosa menjadi bioetanol oleh sel-sel dari *Saccharomyces cerevisiae*.

Setelah dilakukan fermentasi selama 8 hari, maka hasil fermentasi kulit pisang disaring dengan menggunakan kain untuk memisahkan filtrat dan endapan. Diperoleh perbandingan hasil filtrat dan endapan yaitu sebesar 2:1 dan filtrat kulit pisang dimasukan ke dalam wadah yang tertutup. Setelah itu, dilakukan analisis dengan

evaporasi selama 1,5 jam pada suhu 70 °C karena merupakan titik didih dari etanol, Adapun tujuan dari evaporasi yaitu untuk mengubah fase cair menjadi fase gas dengan prinsipnya memekatkan larutan zat yang tidak volatil dan pelarut yang volatil dengan menguapkan sebagian pelarutnya. Hasil bioetanol disimpan didalam botol dan ditutup rapat.

5.2 Aktivasi Karbon Aktif

Aktivasi karbon aktif dilakukan dengan cara sampel karbon aktif dihaluskan hingga halus dengan menggunakan saringan, sampel yang telah halus ditimbang sebanyak 30 gram, kemudian diimpregnasi dengan kalium hidroksida (KOH) 30% sebanyak 100 mL yang berfungsi sebagai aktivator kimia yang dapat meningkatkan adsorpsi ion logam oleh karbon aktif, karena KOH dapat menghasilkan karbon aktif dengan luas permukaan yang tinggi dan luas permukaan makropori yang optimum. Setelah itu, dilarutkan dengan 100 mL akuades dan distirer selama 4 jam pada suhu 60-70 °C yang bertujuan untuk mempercepat proses aktivasi. Kemudian disaring dan dicuci dengan aquades sebanyak 2 kali. Lalu didiamkan selama semalaman hingga karbon aktif kering.

Produk karbon aktif yang dihasilkan dari aktivasi kimia yaitu berupa serbuk seperti abu. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi karbon dengan KOH menghasilkan senyawa karbonat atau kapur (K_2CO_3). Reaksi aktivasi kimia ini mengeluarkan air karena KOH merupakan agen dehidrasi. Pada proses aktivasi ini karbon bereaksi dengan KOH, menyebabkan terkikisnya karbon atau karbon membentuk lubang sehingga terbentuk pori-pori. Terbentuknya pori-pori tersebut dapat meningkatkan luas permukaan karbon aktif yang diperoleh, sehingga kineja adsorpsi dapat meningkat (Erlina et al., 2015)

Karbon aktif direndam dengan asam nitrat (HNO_3) pekat sebanyak 100 mL selama 2 jam yang berfungsi untuk menghilangkan logam-logam yang terdapat dalam karbon aktif, sehingga tidak bercampur dengan logam yang akan diimbangkan pada karbon aktif dan untuk menambah gugus fungsi. Setelah itu, disaring dan dicuci dengan akuabides karena akuabides dapat menangkap logam dan merupakan pelarut yang baik

dibandingkan dengan akuades. Kemudian dikeringkan karbon aktif untuk menghilangkan kadar air. Lalu dipirolisis selama 2 jam pada suhu 250 °C dengan gas nitrogen yang bertujuan menguapkan sisa air dan membuka pori-pori karbon aktif, sehingga dapat disisipi logam dengan cara mengikat gugus aktif, nitrogen berfungsi untuk membantu muka pori-pori pada karbon dan menjaga agar karbon tidak hangus. Kemudian diperoleh massa karbon aktif sebesar 15,2365 gram.

5.3 Pembuatan Komposit Fe₃O₄-Zno/Karbon Aktif

Pembuatan komposit dilakukan dengan diambil 14,49 gram FeCl₃, 13,9 gram FeSO₄, 16,425 gram ZnO dan 15 gram karbon aktif. Kemudian di campurkan semua bahan tersebut, ditambahkan dengan 100 mL akuabides dan 25 mL etanol p.a sebagai pelarut. Lalu distirer selama 1 jam pada suhu 70 °C untuk mempercepat proses reaksi dan ditambahkan dengan NaOH 25% hingga menunjukkan pH 9 untuk membentuk oksida pada logam dan sebagai pemberi suasana basa. Selanjutnya dibilas dengan akuabides dan dioven pada suhu 110 °C yang bertujuan untuk menghilangkan kadar air dan untuk memperoleh logam oksida, hingga diperoleh komposit sebanyak 70,7815 gram. Kemudian dipirolisis selama 3 jam pada suhu 600 °C untuk menguapkan sisa air dan membuka pori-pori karbon aktif, sehingga dapat disisipi logam dengan cara mengikat gugus aktif. Setelah dipirolisis diperoleh hasil komposit sebanyak 60,933 gram.

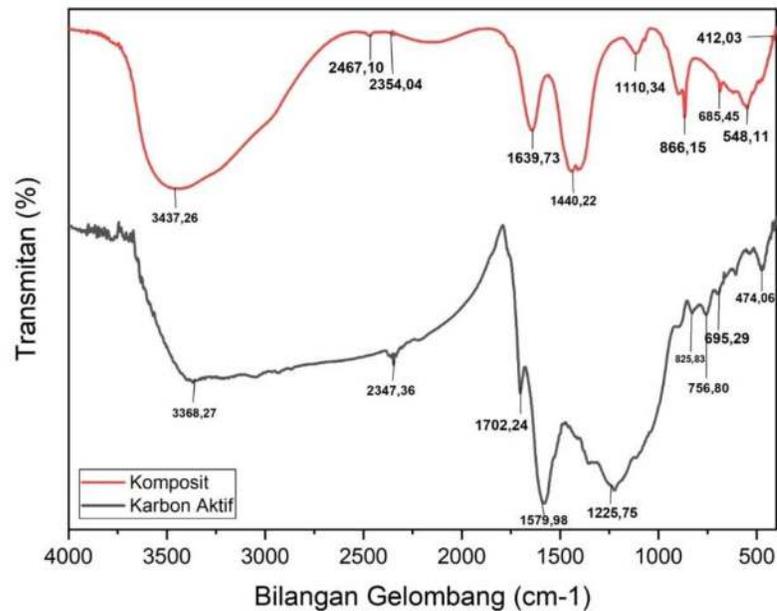
Komposit Fe₃O₄-Zno/Karbon aktif dikarakterisasi menggunakan *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*, *X-Ray Diffraction (XRD)*, *Gas Sorption Analyzer (GSA)*, *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X Ray (SEM-EDX)*, dan *Vibrating Sample Magnetometry (VSM)*.

5.4 Karakterisasi Komposit Fe₃O₄-Zno/Karbon Aktif

5.4.1 Karakterisasi *Fourier Transform Infra-Red (FTIR)*

FTIR adalah suatu analisis gugus fungsi secara kualitatif pada suatu senyawa kimia yang bertujuan untuk mengidentifikasi suatu senyawa, mendeteksi gugus fungsi, dan dapat menganalisis campuran serta sampel yang akan dianalisis. Karakterisasi

dengan menggunakan FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada karbon aktif dan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon}$ aktif.



Gambar 22. Spektra IR Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon}$ Aktif

Tabel 1. Gugus Fungsi Karbon Aktif dan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon}$ Aktif

Ikatan	Frekuensi Serapan (cm ⁻¹)	
	Karbon Aktif	$\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon}$ Aktif
O-H alkohol	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
Alkena	1579,98	2467,10
Fe-O Tetrahedral	-	548,11
Fe-O Oktahedral	-	412,03
Zn-O	-	866,15

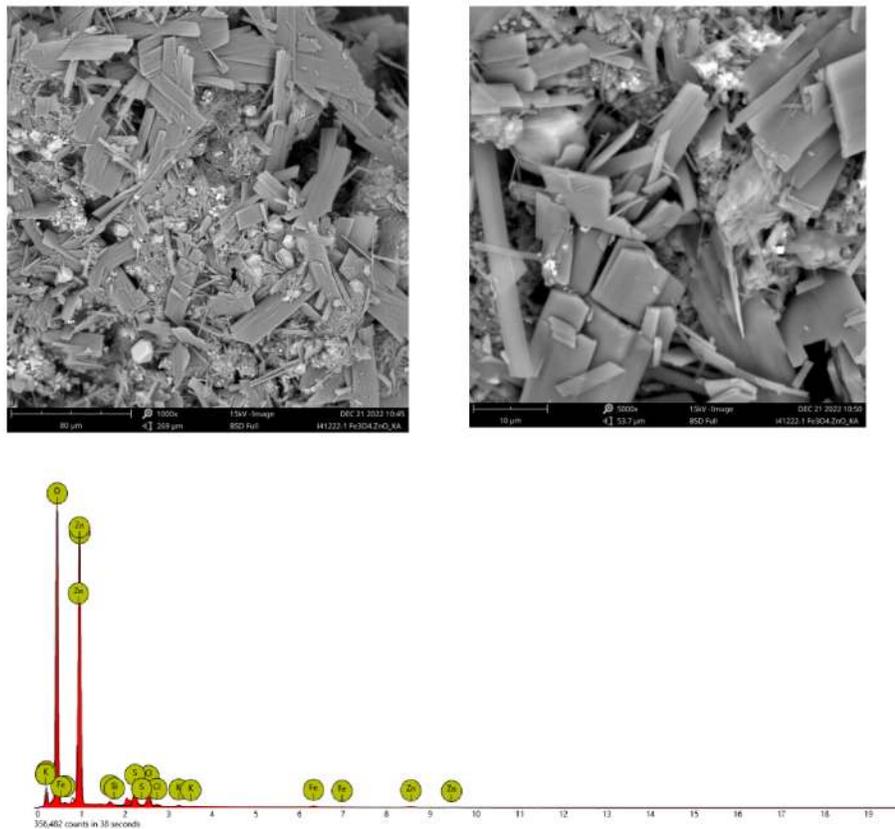
Dari hasil FTIR pada karbon aktif menunjukkan bilangan gelombang serapan 3368,27 cm^{-1} yang merupakan gugus hidroksi dari molekul alkohol, karboksilat dan air yang terdapat di dalam permukaan karbon aktif serta komposit. Kemudian terdapat bilangan gelombang serapan 1702,24 merupakan serapan dari gugus C=O yang mana serapan ini merupakan gugus khas yang terdapat dari karbon aktif. Gugus C=O secara umum yaitu vibrasi regang dari asam karboksilat, keton maupun lakton. Serapan pada bilangan gelombang 1579,98 cm^{-1} dan 2467,10 cm^{-1} merupakan gugus C=C yang menunjukkan adanya ikatan cincin aromatik. Pada karbon aktif juga terdapat Gugus fungsi C-O yang menggambarkan vibrasi regang dari eter dan ester yang muncul pada bilangan gelombang 1225,75 cm^{-1} . Pada bilangan gelombang 2347,36 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus fungsi dari alkuna atau C rangkap tiga dan bilangan gelombang 695,29 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus C-H aromatik.

Hasil FTIR pada komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon aktif menunjukkan adanya serapan pada daerah *finger print* merupakan serapan dari logam Fe yaitu pada bilangan gelombang 548,11 cm^{-1} yang menggambarkan adanya Fe-O tetrahedral dan pada bilangan gelombang 412,03 cm^{-1} menggambarkan adanya Fe-O octahedral. Serapan-serapan ini menunjukkan adanya interaksi yang terjadi pada logam dengan atom oksigen yang mana logam dapat membentuk ikatan dengan oksigen dari alkohol pada karbon aktif yaitu C-O-Fe. Gugus fungsi ZnO terdapat di daerah bilangan gelombang 866,15 cm^{-1} yang merupakan regangan Zn-O. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan terdapat pergeseran bilangan gelombang sebelum dan sesudah diimbakan logam pada karbon aktif yaitu dengan adanya interaksi antara logam dengan gugus aktif pada karbon aktif dan sintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon aktif berhasil dilakukan.

5.4.2 Karakterisasi *Scanning Electron Miscroscopy-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX)

Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon aktif dikarakterisasi dengan menggunakan SEM-EDX. Karakterisasi dengan SEM digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan pada sampel, sedangkan EDX digunakan untuk mengetahui komposisi atau penyusun

dari sampel. Pada mapping EDX akan diperoleh unsur dengan berbagai warna yang mewakili setiap unsurnya karena semakin banyak warna yang muncul maka akan semakin banyak distribusi dari unsur tersebut. Hasil karakterisasi SEM-EDX komposit disajikan pada gambar 24.



Gambar 23. SEM-EDX Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$ (a) komposit perbesaran 1000x (b) komposit perbesaran 5000x (c) Spektra EDX

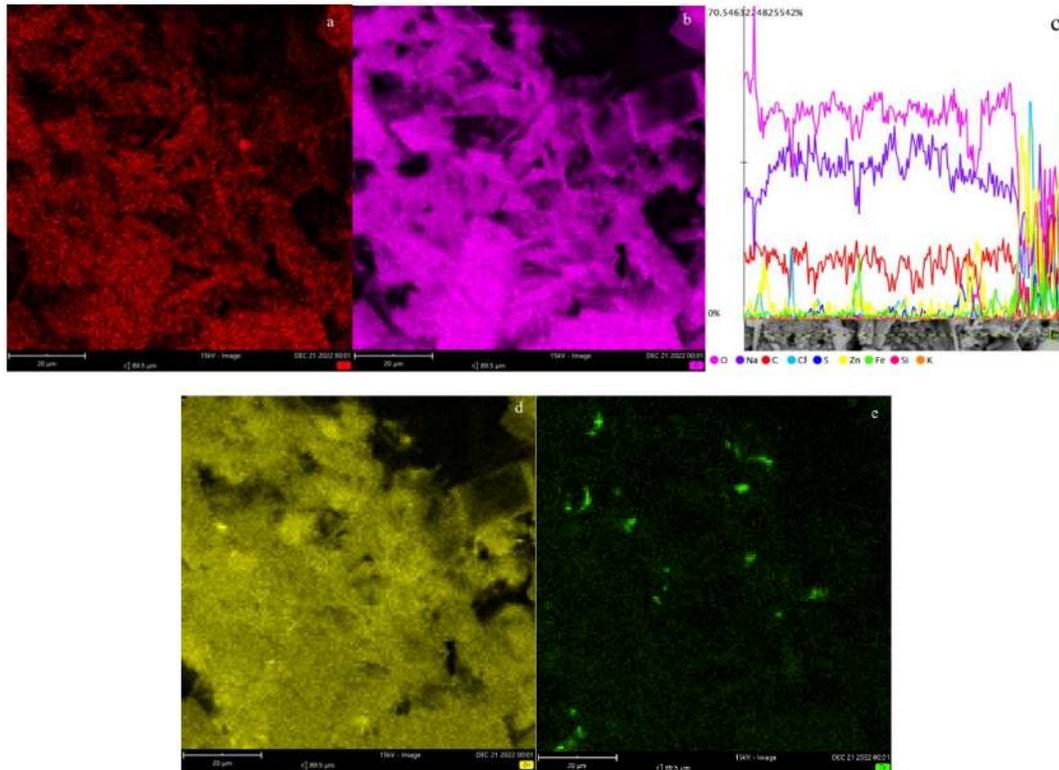
Tabel 2. Komposisi Penyusun Komposit Dari EDX

Unsur	Konsentrasi %
Oksigen (O)	52,84
Natrium (Na)	26,61
Karbon (C)	17,04
Klorida (Cl)	1,11
Sulfida (S)	1,08

Seng (Zn)	0,78
Besi (Fe)	0,26
Silika (Si)	0,22
Kalium (K)	0,07

Morfologi SEM pada komposit ditunjukkan pada Gambar 24 (a) diketahui pada perbesaran 1000x terdapat distribusi dengan ukuran pori yang berbeda-beda dan masih tertumpuk, struktur pori yang terbentuk tidak beraturan yang tersebar pada permukaan komposit, sehingga terlihat kurang jelas bentuk permukaannya. Namun pada Gambar 21 (b) pada perbesaran 5000x terlihat pada sampel bahwa permukaan pori memiliki ukuran yang panjang seperti bentuk batang dan cukup lebar dengan ukuran partikel yang tidak seragam. Selain itu, hasil SEM pada komposit menunjukkan bahwa pori yang terbentuk tersebar lebih merata. Adapun terlihat serpihan-serpihan pada permukaan dengan ukuran kecil dan tidak seragam.

Hasil analisis dengan menggunakan EDX pada komposit diperoleh kandungan terbesar yaitu pada oksigen, natrium dan karbon yaitu sebesar 52,84%, 26,61%, 17,04%. Tingginya unsur karbon dan oksigen karena merupakan bahan baku utama dari karbon aktif. Keberadaan unsur natrium pada komposit karena pada saat proses pencucian yang kurang bersih, sehingga kandungan natrium yang diperoleh dari proses pembentukan oksida pada logam dengan menggunakan larutan NaOH masih terikat pada komposit, hal tersebut menjadikan tingginya unsur natrium pada hasil EDX. Adanya unsur seng (Zn) sebesar 0,78% dan besi (Fe) sebesar 0,26% menunjukkan bahwa kedua logam tersebut dapat terserap oleh karbon aktif, sehingga berhasil membentuk katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ /Karbon Aktif. Terdapat unsur silika (Si) sebesar 0,22% dan kalium (K) sebesar 0,07% dengan persentase yang sangat kecil menunjukkan adanya pemanasan dengan adanya nitrogen, sehingga mampu mendorong sisa aktivator dan pengotor yang bersamaan dengan senyawa volatile lainnya, unsur kalium (K) merupakan unsur dari KOH karena sisa dari proses aktivasi karbon aktif.



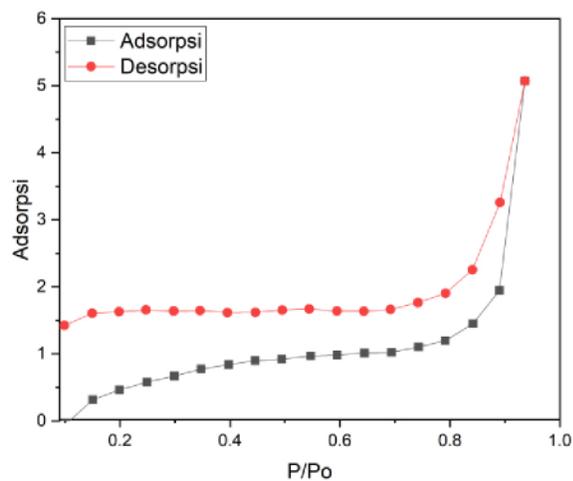
Gambar 24. Hasil Mapping (a) karbon (C), (b) oksigen (O), (c) spektra EDX mapping, (d) seng (Zn), (e) besi (Fe).

Hasil *mapping* pada komposit seperti pada Gambar 24 (a) yaitu komposisi unsur karbon (C) yang ditandai dengan warna merah menunjukkan bahwa unsur karbon pada komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$ sangatlah melimpah pada permukaan dan tersebar secara menyeluruh. Gambar 24 (b) yaitu oksigen (O) yang ditandai dengan warna ungu dan berada di lapisan atas karena pada komposit banyak terkandung unsur oksigen. Gambar 24 (c) dan (d) merupakan seng (Zn) dan besi (Fe) yang ditandai dengan warna kuning serta warna hijau, diketahui bahwa logam Zn dan Fe berada di lapisan bawah. Gambar 24 (d) menunjukkan adanya sedikit unsur besi (Fe) yang terdapat di dalam komposit karena ditandai dengan hasil mapping yang berupa partikel kecil pada permukaan komposit. Adapun faktor yang mempengaruhi hasil mapping pada komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$ yaitu menunjukkan pada logam Fe dan Zn yang tertutupi oleh unsur lain seperti unsur oksigen, karbon dan natrium, maka hal tersebut

disebabkan saat proses pemanasan berlangsung sehingga terjadi runtuhnya struktur karbon aktif.

5.4.3 Karakterisasi *Gas Sorption Analyzer (GSA)*

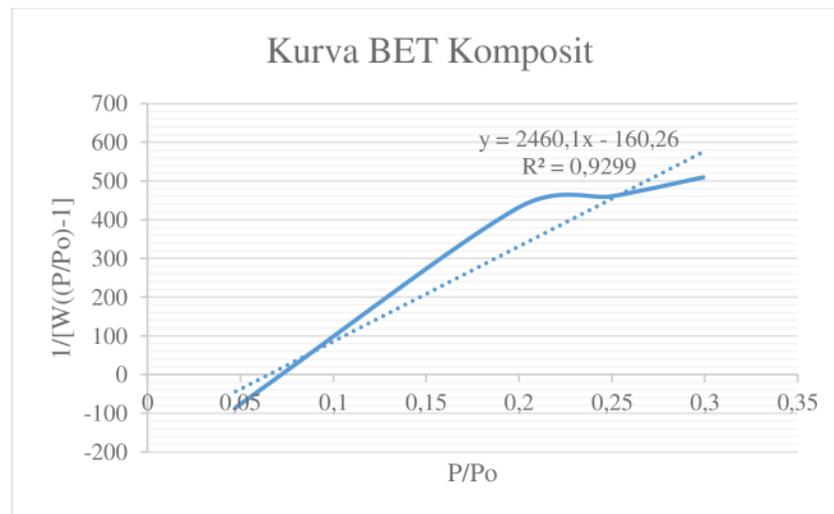
Karakterisasi dengan menggunakan GSA yaitu untuk mengetahui luas permukaan pori yang meliputi *Brunauer Ellmet Teller (BET)*, isoterm dan T plot. Kemudian mengetahui *Barret Joyner Hallenda (BJH)* adsorpsi desorpsi, volume pori, jari-jari pori, dan distribusi pori pada komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$.



Gambar 25. Adsorpsi-Desorpsi Pada Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$

Pada gambar 25 dapat dilihat dari kurva yang diperoleh yaitu terjadi peristiwa adsorpsi-desorpsi yang menunjukkan terjadinya isoterm secara sempurna karena ditandai dengan adanya kenaikan dan penurunan pada kurva yang diperoleh. Jika terjadi peristiwa adsorpsi, maka kurva akan mengalami kenaikan. Sedangkan jika terjadi peristiwa desorpsi, maka kurva akan mengalami penurunan. Kurva isoterm menunjukkan tipe II makropori dengan ukuran pori lebih dari 2 nm dan tipe IV mesopori dengan ukuran pori 2-50 nm. Tipe I pada komposit yaitu menunjukkan adanya struktur makropori dan mesopori dengan diperoleh ukuran pori yaitu kurang dari 16,16 nm dan memiliki ukuran rata-rata pori sebesar 10,38 nm serta volume total

pori sebesar 0,0078 cc/g. Tipe makropori menunjukkan adanya ukuran pori yang besar tetapi tidak berdampak terhadap luas permukaan pada karbon aktif karena pori jenis ini hanya sebagai tempat penampungan ion atau adsorben. Tipe mesopori pada kurva komposit yaitu adanya bentuk *loop hysteresis* dengan sifat adsorpsi yang tidak terbatas pada P/P_0 tinggi. Bahan dengan karakter mesopori ini karena terjadinya pelebaran kurva *hysteresis* mengakibatkan adanya agregasi partikel berbentuk lembaran pada bahan. Pada garis kurva adsorpsi dan desorpsi menunjukkan ujung terbuka pada tekanan yang rendah, hal ini karena pembakaran yang terjadi secara tidak sempurna sehingga menyebabkan adanya penyusutan pori selama proses desorpsi. Faktor lain yaitu dari suhu saat proses pemanasan atau pengaktifan pada komposit yang menyebabkan pori-pori lebih terbuka karena pemanasan dengan suhu tinggi menyebabkan rusaknya komposit sehingga kemampuan dalam penyerapannya menjadi rendah (Maslukah et al., 2020). Adanya logam Fe_3O_4 pada karbon aktif akan terbentuk ukuran pori dengan tipe mesopori pada bahan komposit karena terjadinya peningkatan pada volume pori yang diakibatkan adanya penumpukkan logam Fe_3O_4 (Fisli et al., 2018). Hasil ini menunjukkan bahwa komposit termasuk ke dalam tipe pori yaitu makropori dan mesopori dengan ukuran pori yang tidak seragam.



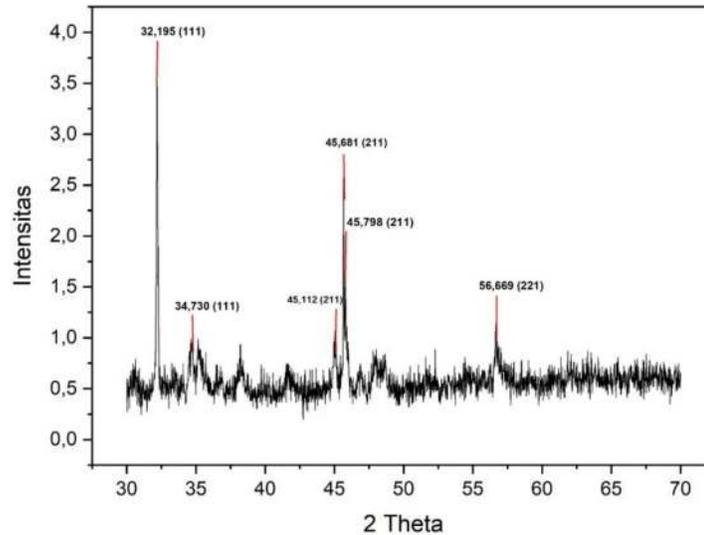
Gambar 26. Adsorpsi-Desorpsi Pada Komposit Fe_3O_4 -ZnO/Karbon Aktif

Berdasarkan kurva BET komposit, diperoleh nilai slope sebesar 2460,1 dan intersep sebesar 160,26 dengan nilai regresi sebesar 0,9299. Diperoleh perhitungan dari kurva BET yaitu konstanta BET komposit sebesar -14,3503, berat gas nitrogen yang teradsorpsi yaitu sebesar 0.00043. Diperoleh luas permukaan total komposit sebesar 1,5145 m²/g dan luas permukaan spesifik sebesar 21,9812 m²/g. Pada gambar terlihat bahwa semakin bertambahnya nilai tekanan relatif maka grafik akan semakin meningkat.

Komposit dengan luas permukaan yang besar memiliki efektifitas penyerapan yang lebih tinggi. Hasil perhitungan luas permukaan yang diperoleh sebesar 21,9812 m²/g pada pembentukan komposit yang menunjukkan bahwa luas permukaan tersebut masih relatif rendah karena adanya ruang diantara partikel yang masih tersisa karbon aktif sehingga luas permukaan menjadi lebih rendah. Hal tersebut dapat digambarkan dengan adanya pembentukan komposit Fe₃O₄-ZnO/Karbon Aktif, yang mana karbon aktif ini akan mengisi ruangan di antara partikel logam sehingga luas permukaan yang efektif akan meningkat. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai luas permukaan yaitu terdapat hubungan antara ukuran pori dengan luas permukaan karena semakin kecil ukuran pori adsorben maka luas permukaan akan semakin meningkat, sehingga jumlah molekul yang teradsorpsi akan meningkat.

5.4.4 Karakterisasi *X-Ray Diffraction* (XRD)

Karakterisasi dengan XRD untuk mengetahui jenis struktur dan kristalinitas pada komposit Fe₃O₄-ZnO/Karbon Aktif. Hasil analisis komposit Fe₃O₄-ZnO/Karbon Aktif ditunjukkan pada Gambar 25. Hasil yang diperoleh pada difraktogram XRD yaitu berupa pola difraksi hubungan antara sudut 2 θ dengan intensitas hamburan.



Gambar 27. Spektra XRD Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$

Hasil karakterisasi dengan XRD dari $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$ menunjukkan pola karakteristik puncak 2θ yaitu $32,195^\circ$ [111], $45,681^\circ$ [211], $45,798^\circ$ [211], $56,669^\circ$ [221], $45,112^\circ$ [211], $34,73^\circ$ [111]. Pada puncak $32,195^\circ$, $34,73^\circ$ dan $56,669^\circ$ menunjukkan adanya keberadaan logam ZnO, sedangkan untuk puncak $45,112^\circ$, $45,651^\circ$ dan $45,798^\circ$ menunjukkan keberadaan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$. Berdasarkan nilai *Full Width Half Maximum* (FWHM) dengan menggunakan persamaan *Debye-Scherrer* diperoleh ukuran kristal (D) rata-rata pada komposit sebesar 96,4885 nm yang menunjukkan bahwa material ini berukuran nanopartikel, karena ukuran kristal nanopartikel yaitu sekitar 1-100 nm.

Gambar 27 menunjukkan bahwa $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$ memiliki struktur kristalin karena pada grafik menunjukkan puncak-puncak yang tajam dan karbon aktif memiliki struktur amorf karena memiliki puncak yang tidak tajam dan tidak beraturan, maka dapat disimpulkan bahwa $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$ berhasil dilakukan. Dengan adanya keberadaan partikel Fe_3O_4 dan ZnO yang dapat mendoping permukaan pada karbon aktif, sehingga dapat mempengaruhi perbedaan tingkat kristalinitas dari

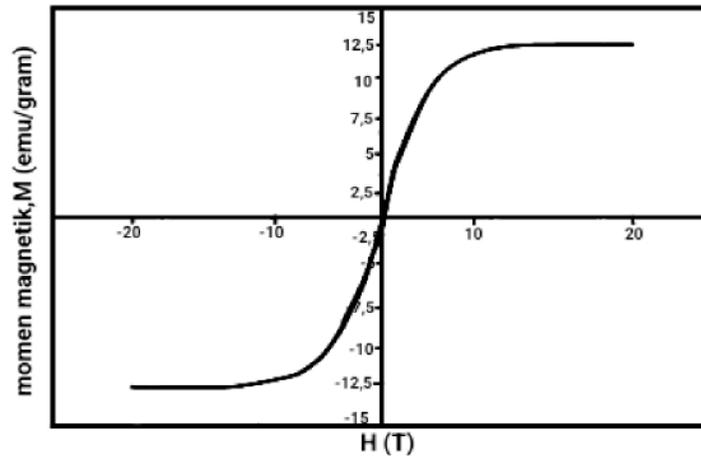
struktur karbon aktif. Struktur yang terbentuk dari proses sintesis tidak bertransformasi secara sempurna karena adanya pengotor yang ikut terbawa serta disebabkan karena Fe_3O_4 dan ZnO tidak tersebar secara merata saat proses sintesis berlangsung.

5.4.5 Karakterisasi *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM)

Karakterisasi dengan VSM yaitu untuk mengetahui sifat kemagnetan dari Fe_3O_4 . Hasil karakterisasi dengan VSM akan diperoleh kurva histerisis dari sampel yaitu hubungan antara medan magnet luar (H) dan magnetisasi (M). Dari kurva tersebut dapat ditentukan besaran-besaran yang diketahui untuk mengetahui sifat kemagnetan dari sampel Fe_3O_4 yaitu berupa magnetisasi saturasi (M_s), medan koersivitas (H_c) dan remanensi magnetik (M_r). Nilai magnetisasi saturasi atau magnetisasi jenuh merupakan kemampuan partikel nano yang bertujuan untuk mempertahankan kesearahan domain-domain magnetiknya, saat dikenal dengan medan magnet luar. Medan koersivitas menunjukkan besarnya medan magnet yang dibutuhkan yang bertujuan untuk membuat magnetisasinya yang diperoleh bernilai nol. Semakin besar nilai yang diperoleh akan semakin kuat sifat kemagnetannya. Magnetik remanen yaitu memiliki kemampuan sampel Ketika diberikan medan luar (Taib & Suharyadi, 2015).

Bahan superparamagnetik merupakan keseragaman sifat bahan magnetik yang terbentuk saat adanya medan magnet luar. Sifat magnet ini terdapat pada bahan yang berukuran nano (1-10 nm) dan memiliki ukuran partikel yang kecil. Bahan dengan sifat superparamagnetik, saat diberikan medan magnet yang tinggi akan membentuk magnetisasi saturasi (Tebriani, 2019). Superparamagnetik memiliki karakteristik kurva dengan nilai magnetisasi saturasi (M_s) yang tinggi, tetapi tidak ada nilai magnetik remanen (M_r) (Widanarto et al., 2015). Sifat dan karakteristik magnet seperti bahan ferromagnetik awalnya tidak memiliki magnetisasi di daerah bebas medan magnetik, ketika terkena medan magnet yang lemah maka akan memperoleh magnetisasi yang besar. Ketika medan magnet diperbesar maka akan semakin besar magnetisasinya. Penelitian menunjukkan bahwa magnetisasi material tidak kembali ke nol, jika medan magnet dihilangkan. Sehingga bahan ferromagnetik dapat dimagnetisasi tanpa medan.

Oleh karena itu, bahan dapat disimpulkan sebagai magnetisasi spontan. Di atas suhu curie ferromagnetik berubah menjadi paramagnetik (Istiyono, 2009).



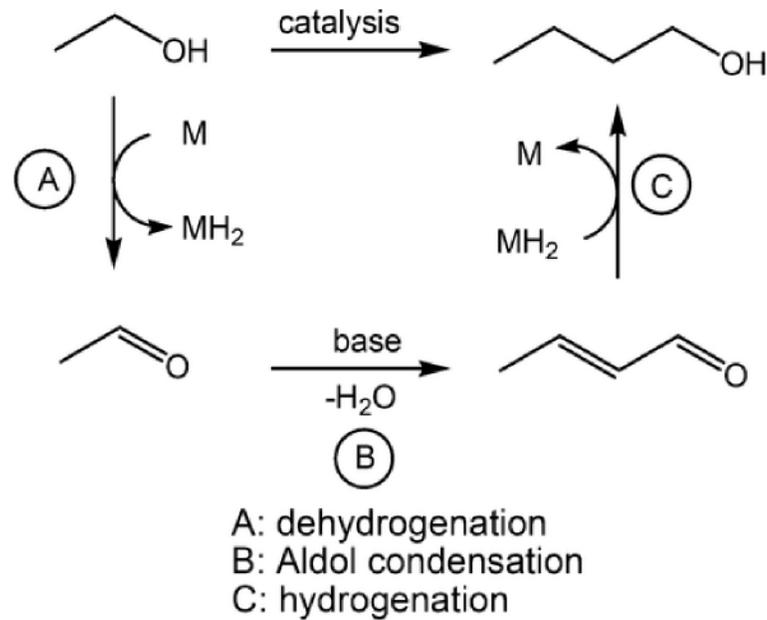
Gambar 28. Grafik Fe_3O_4 dengan VSM

Gambar 28 menunjukkan magnetisasi dari Fe_3O_4 dengan sumbu x berupa medan magnet yang menginduksi sampel dengan satuan Tesla (T), sedangkan sumbu y berupa momen magnetik sampel dengan satuan emu/g. Sifat magnetik dari Fe_3O_4 diperoleh nilai berupa magnetik saturasi (M_s) sebesar 12,49 emu/g dan diperoleh nilai medan koersif (H_c) sebesar 0,014 Tesla. Dari hasil medan koersivitas yang sangat kecil dan bernilai 0 maka Fe_3O_4 memiliki sifat superparamagnetik. Hasil magnetik saturasi (M_s) yang diperoleh tidak terlalu tinggi, hal ini karena semakin kecil ukuran kristal, jumlah domain magnetik dan batas dinding juga akan semakin sedikit, sehingga jumlah momen magnetiknya akan semakin kecil dan bahan akan semakin mudah untuk termagnetisasi. Ketika ukuran kristal kecil, maka untuk mencapai saturasi dibutuhkan waktu yang sangat cepat dan membutuhkan energi yang besar dari magnet luar, disebabkan karena bentuk yang sudah seragam dan domain yang berbeda diperoleh jumlah yang sedikit (Riyanto, 2019). Pada Gambar 28 terdapat *loop hysteresis* yang sempit dan kurva magnetisasi seperti membentuk huruf S, sehingga dari *loop hysteresis* tersebut dapat diketahui bahwa nanopartikel magnetit termasuk *soft magnetic* karena membutuhkan energi yang tidak terlalu besar dalam magnetisasinya.

5.5 Aplikasi Fe₃O₄-ZnO/Karbon Aktif Pada Konversi Butanol

Proses konversi bioetanol dari kulit pisang menjadi butanol dilakukan dengan proses dehidrasi etanol yaitu menggunakan pemanasan dan Fe₃O₄-ZnO/Karbon Aktif sebagai katalis. Pada proses ini dilakukan dua cara yang berbeda yaitu dengan sebuah reaktor dimana etanol dengan katalis Fe₃O₄-ZnO/Karbon Aktif disimpan dalam satu tempat di dalam reaktor, konversi butanol dilakukan pada suhu 75 °C, 90 °C dan 105 °C dengan berat sampel 1,5 gr dan 3 gr. Proses dengan reaktor ini dilakukan selama 2 jam hingga diperoleh hasil produk konversi yang berupa minyak dan disimpan didalam botol. Cara konversi yang ke dua yaitu bioetanol dengan katalis Fe₃O₄-ZnO/Karbon Aktif diletakkan dalam dua tempat yang berbeda dengan suhu 105 °C dengan berat sampel 1,5 gr, 3 gr dan 4 gr. Kemudian ditahan selama kurang lebih 20 menit pada setiap variasi suhu dan berat sampel hingga diperoleh produk hasil konversi bioetanol.

Dehidrasi etanol merupakan proses pada etanol untuk membentuk suatu produk berupa senyawa. Selain itu, ikatan C-O dan ikatan C-H yang berdekatan akan putus sehingga membentuk ikatan rangkap dua (Dani Irma et al., 2020). Dehidrogenasi etanol yaitu dilakukan dengan proses pemanasan dan hasil dari produk pada proses dehidrogenasi etanol merupakan golongan ester dan asam karboksilat karena etanol termasuk ke dalam alkohol primer yang mana jika dioksidasi akan memperoleh aldehida dan jika teroksidasi akan memperoleh asam karboksilat (S. Lubis, 2009). Besi oksida (Fe₃O₄) sebagai katalis yaitu mampu memberikan pengaruh selektifitas katalis yang baik karena Fe memiliki peran sebagai asam lewis yang akan berinteraksi dengan atom oksigen dari gugus C=O (Yuanita Lestari, 2012).



Gambar 29. Mekanisme Reaksi Etanol Menjadi Butanol dengan Metode Destilasi (Kulkarni et al., 2018)

Butanol dapat diperoleh dari etanol melalui reaksi dehidrogenasi menghasilkan asetaldehid. Kemudian bereaksi dengan basa dari katalis logam yaitu Fe_3O_4 dan ZnO sehingga mengalami reaksi kondensasi aldol dan kehilangan H_2O dan menghasilkan senyawa butiraldehid. Lalu mengalami reaksi hidrogenasi dan membentuk 1-butanol, sehingga reaksi yang terjadi saat pembentukan produk berupa senyawa butanol terjadi pada reaksi hidrogenasi. Reaksi kondensasi aldol yaitu senyawa turunan atau ion yang melepaskan H_2O untuk membentuk suatu senyawa karbonil yang tidak jenuh. Pada reaksi ini adanya kondensasi karena terdapat pengaruh H_2O sehingga O^- akan menjadi OH^- . Pada proses konversi dialirkan dengan gas nitrogen secara kontinu agar tidak terjadi reaksi oksidasi serta dengan adanya gas nitrogen mampu mendorong uap air yang dihasilkan dapat optimal dan reaksi terus berjalan ke arah lain untuk menghasilkan produk konversi berupa butanol dengan kadar yang tinggi. Nitrogen memiliki sifat inert yang mana tidak mudah bereaksi dengan apapun sehingga nitrogen dapat membantu katalis untuk dapat berjalan hingga menghasilkan produk konversi butanol.

Hasil konversi berupa butanol dilakukan analisis dengan menggunakan GC-MS yang berfungsi untuk mengetahui dan mengidentifikasi komponen-komponen pada suatu campuran yang mudah menguap dari hasil kromatogram dan untuk mengetahui rumus molekul dilihat dari spektrometri massa yang dihasilkan.

Tabel 3. Hasil Konversi Bioetanol Menjadi Butanol Tanpa Katalis (120 °C) Metode Destilasi dengan Gas Nitrogen

Suhu	Senyawa	%area	Waktu Retensi (menit)	SI
120 °C	Etanol	71,51%	1,715	97
	Butanol	15,80%	2,045	96

Tabel 4. Hasil Konversi Bioetanol Menjadi Butanol Menggunakan Katalis (2 gr) Metode Destilasi dengan Gas Nitrogen

Suhu	Senyawa	%area	Waktu Retensi (menit)	SI
120 °C	1-Butanol	42,69%	2,046	97
140 °C	1-Butanol	13,61%	2,099	94
160 °C	1-Butanol	7,76%	2,107	93

Hasil identifikasi dengan GC berupa kromatogram pada metode pertama menggunakan metode destilasi dengan gas nitrogen pada sampel bioetanol tanpa katalis dan pada variasi suhu 120 °C diperoleh sebanyak 5 puncak, sedangkan pada variasi suhu 140 °C serta 160 °C diperoleh masing-masing sebanyak 2 puncak dan 3 puncak. Diketahui berdasarkan hasil GC terdapat sedikit perubahan yaitu dilihat dari waktu retensi dan %area hasil konversi yang diperoleh. Pada Pada Tabel 3, menunjukkan hasil persebaran senyawa dari konversi bioetanol menjadi butanol untuk sampel yang hanya berisi bioetanol tanpa katalis terdapat puncak tertinggi dengan kelimpahan sebesar 45 yang diketahui puncak tersebut merupakan puncak dari senyawa etanol dengan %area sebesar 71,51%, waktu retensi 1,715 dan indeks kemiripan (SI) 97. Puncak kedua yaitu dengan kelimpahan sebesar 56 serta menunjukkan adanya senyawa 1-Butanol dengan %area 15,80%, memiliki waktu retensi sebesar 2,045 dan indeks kemiripan (SI) 96. Berdasarkan table 4, sampel untuk

variasi suhu 120 °C terdapat puncak tertinggi dengan kelimpahan sebesar 56 serta memiliki puncak target sebesar 74 dengan waktu retensi 2,046 %area sebesar 42,69% dan memiliki indeks kemiripan (SI) 97. Kemudian pada suhu 140 °C terdapat puncak tertinggi dengan kelimpahan sebesar 56 serta diperoleh %area sebesar 13,61% memiliki waktu retensi sebesar 2,099 dan indeks kemiripan (SI) 94. Selain itu, pada suhu 160 °C diperoleh puncak tertinggi dengan kelimpahan sebesar 56, diketahui %area sebesar 7,76% dengan waktu retensi 2,107 dan indeks kemiripan (SI) 93. Puncak GC diketahui puncak tertinggi (base peak) yang mana pola fragmentasi tersebut dapat menunjukkan keberadaan suatu senyawa, pada hasil konversi dengan variasi suhu 120 °C, 140 °C dan 160 °C menunjukkan adanya keberadaan senyawa dari 1-butanol karena terlihat dari pola fragmentasi yang dihasilkan.

Tabel 5. Hasil Konversi Bioetanol Menjadi Butanol Tanpa Katalis Metode Autoclave dengan Gas Hidrogen

Suhu	Senyawa	%area	Waktu Retensi (menit)	SI
120 °C	Etanol	83,27%	1,720	96
	1-Butanol	6,87%	2,061	86

Berdasarkan Tabel 5, hasil konversi yang hanya berisi bioetanol tanpa adanya katalis menghasilkan produk senyawa etanol dan 1-butanol. Puncak pertama dengan kelimpahan sebesar 45 yang menunjukkan adanya keberadaan senyawa etanol dengan %area sebesar 83,27%, memiliki waktu retensi 1,720 dan indeks kemiripan (SI) 96. Sedangkan produk kedua yaitu memiliki kelimpahan sebesar 56 yang menunjukkan adanya senyawa 1-butanol diperoleh %area sebesar 6,87% dengan waktu retensi 2,061 dan indeks kemiripan (SI) 86.

Tabel 6. Hasil Konversi Bioetanol Menjadi Butanol Menggunakan Katalis (1,5 gr) Metode Autoclave dengan Gas Hidrogen

Suhu	Senyawa	%area	Waktu Retensi (menit)	SI
75 °C	1-Butanol	10,51%	2,060	96
90 °C	1-Butanol	11,70%	2,063	96

105 °C	1-Butanol	7,56%	2,071	93
--------	-----------	-------	-------	----

Pada Tabel 6, diperoleh hasil untuk berat sampel 1,5 gr pada suhu 75 °C dengan diperoleh waktu retensi 2,060 kemudian diperoleh %area sebesar 10,15% dan memiliki indeks kemiripan (SI) 96. Pada sampel 1,5 gr dengan suhu 90 °C diperoleh waktu retensi 2,063 dengan %area sebesar 11,70% serta memiliki indeks kemiripan (SI) 96. Sampel 1,5 gr pada suhu 105 °C diperoleh waktu retensi 2,071 dengan %area sebesar 7,56% dan indeks kemiripan (SI) 93.

Tabel 7. Hasil Konversi Bioetanol Menjadi Butanol Menggunakan Katalis (3 gr) Metode Autoclave dengan Gas Hidrogen

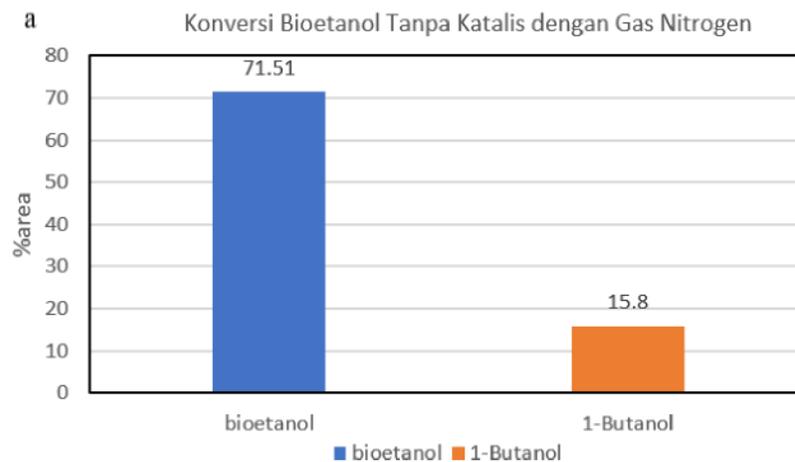
Suhu	Senyawa	%area	Waktu Retensi (menit)	SI
75 °C	1-Butanol	5,27%	2,080	94
90 °C	2-Butanol	6,17%	1,893	93
105 °C	1-Butanol	7,77%	2,070	90

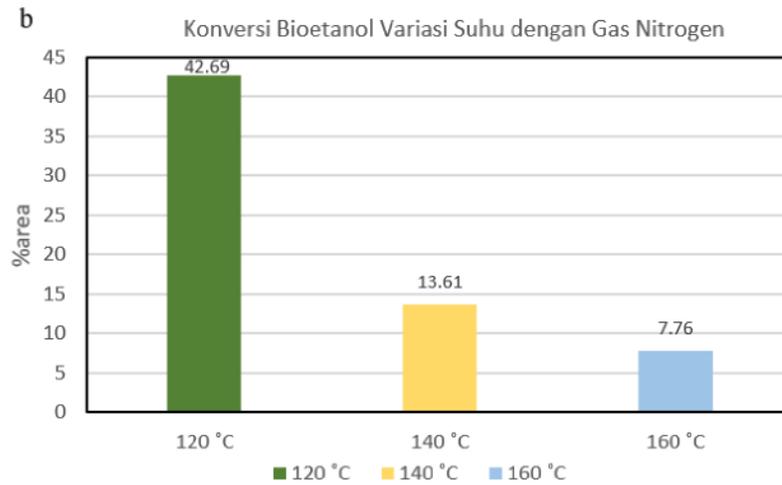
Pada sampel dengan variasi berat sampel 3 gr pada suhu 75 °C diperoleh waktu retensi 2,080 dengan %area 5,27% dan memiliki indeks kemiripan (SI) 94. Pada sampel 3 gr suhu 90 °C diperoleh waktu retensi 1,893 dengan %area 6,17% dan memiliki indeks kemiripan (SI) 93 yang menunjukkan keberadaan senyawa 2-butanol. Sampel 3 gr suhu 105 °C diperoleh waktu retensi sebesar 2,070 dengan %area 7,77% dan indeks kemiripan (SI) 90. Selain itu, untuk sampel yang hanya berisikan bioetanol 50 mL diperoleh hasil dengan waktu retensi 2,061 %area sebesar 6,87% dan memiliki indeks kemiripan (SI) 86.

Tabel 8. Hasil Konversi Bioetanol Menjadi Butanol Menggunakan Katalis dan Suhu 105 °C Metode Destilasi dengan Gas Hidrogen

Berat Katalis	Senyawa	%area	Waktu Retensi (menit)	SI
1,5 gr	1-Butanol	23,92%	2,043	97
3 gr	1-Butanol	27,91%	2,041	97
4,5 gr	1-Butanol	28,02%	2,043	97

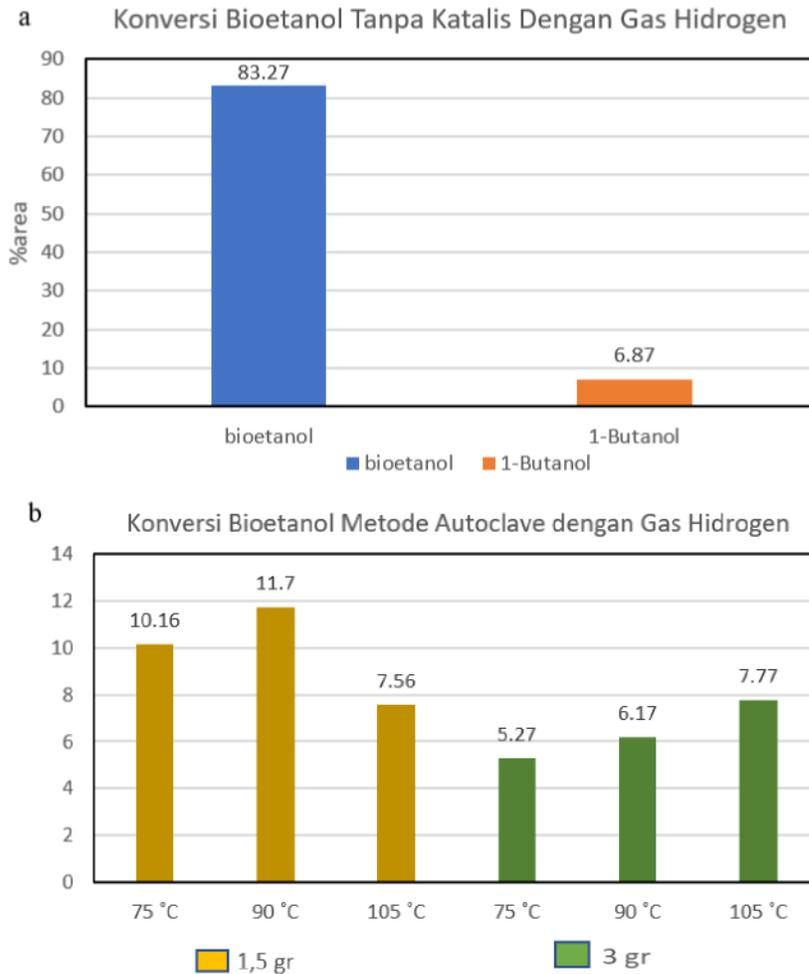
Pada Tabel 8, konversi menggunakan destilasi dengan gas hidrogen, untuk berat sampel 1,5 gr pada suhu 105 °C diketahui waktu retensi 2,043 dengan %area sebesar 23,92% dan indeks kemiripan (SI) 97. Pada sampel 3 gr suhu 105 °C diperoleh waktu retensi sebesar 2,041 dengan %area 27,91% dan indeks kemiripan (SI) 97. Kemudian untuk sampel 4,5 gr suhu 105 °C diperoleh waktu retensi 2,043 dengan %area 28,02% dan indeks kemiripan (SI) 97. Dilakukan variasi berat sampel untuk mengetahui hubungan antara berat sampel dan suhu pada konversi bioetanol menjadi butanol dan untuk mengetahui perbandingan hasil %area yang terbaik dari konversi butanol. Dari hasil masing-masing variasi berat sampel dan variasi suhu ini dihasilkan puncak tertinggi dengan kelimpahan sebesar 56, yang mana puncak tersebut yang menunjukkan keberadaan dari senyawa butanol. Hasil ini menunjukkan konversi terjadi melalui proses dehidrasi etanol sehingga menghasilkan produk akhir berupa senyawa butanol dengan rumus molekul ($C_4H_{10}O$) dengan menggunakan katalis yang diimbangkan berupa logam besi oksida (Fe_3O_4) dan seng oksida (ZnO).





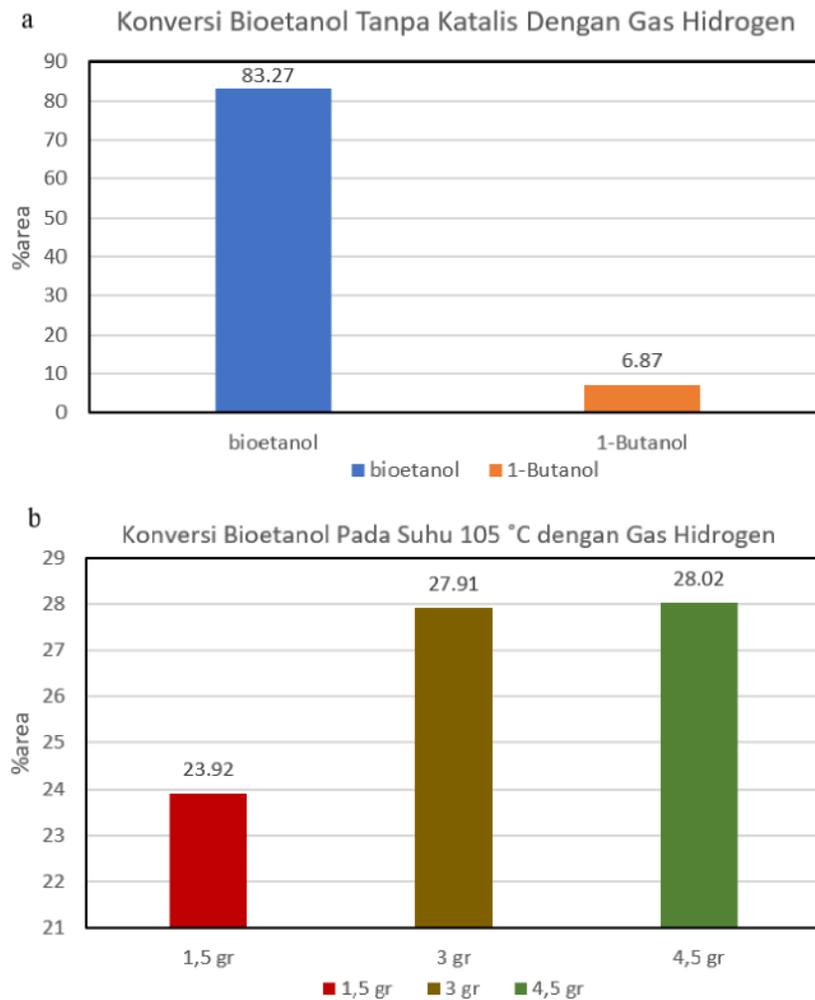
Gambar 30. Hasil Butanol Pada Proses Konversi dengan Variasi Suhu (Gas Nitrogen) (a) Tanpa Katalis (120 °C), (b) dengan Katalis

Berdasarkan Gambar 30, hasil konversi bioetanol menjadi butanol menunjukkan bahwa %area tertinggi diperoleh dari sampel bioetanol menghasilkan produk berupa senyawa etanol sebesar 71,51% dan %area tertinggi kedua sebesar 42,69% merupakan senyawa dari 1-butanol. Pada suhu 120 °C hingga 160 °C terjadi penurunan %area yang mana semakin besar suhu maka semakin kecil %area yang dihasilkan. Pada Gambar 29 menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu maka %area yang diperoleh semakin menurun, hal ini disebabkan karena setiap suhu tersebut dapat menentukan produk yang dihasilkan dan bergantung pada titik didih dari senyawa alkohol karena semakin tinggi suhu maka luas area yang diperoleh akan semakin kecil, hal tersebut disebabkan karena senyawa butanol sudah tidak lagi berada di titik didih kemunculan senyawa butanol tersebut, sehingga diperoleh luas area yang semakin berkurang dan dengan meningkatnya suhu terjadi tumbukan antar partikel terdispersi yang dapat berubah pada suhu tinggi dalam waktu yang lama, sehingga terjadi suhu yang dapat mencapai kesetimbangan termal. Suhu kesetimbangan termal ini dapat mengubah reaksi, sehingga reaksi katalis dengan bioetanol tetap terjaga dan tidak terpengaruhi oleh suhu dan energi yang dihasilkan tetap sama.



Gambar 31. Hasil Butanol Pada Proses Konversi dengan Variasi Suhu dan Berat Sampel (Gas Hidrogen) (a) Tanpa Katalis, (b) dengan Katalis

Pada Gambar 31 (a), diperoleh %area tanpa katalis dengan %area tertinggi sebesar 83,27% merupakan senyawa dari etanol dan %area kedua sebesar 6,87% merupakan senyawa dari 1-butanol. Sedangkan untuk Gambar 32 (b), diketahui untuk berat sampel 1,5 gr dengan variasi suhu terjadi %area yang mengalami penurunan di suhu 105 °C serta pada berat sampel 3 gr dengan variasi suhu terjadi %area yang terus mengalami kenaikan. Pengaruh kenaikan suhu dapat mempercepat laju reaksi karena dengan kenaikan suhu dapat menyebabkan partikel menjadi semakin cepat.



Gambar 32. Hasil Butanol Pada Proses Konversi dengan Variasi Berat Sampel (Gas Hidrogen) (a) Tanpa Katalis, (b) dengan Katalis Suhu 105 °C

Berdasarkan pada Gambar 32 (a), diperoleh %area tanpa katalis dengan %area tertinggi sebesar 83,27% merupakan senyawa dari etanol dan %area kedua sebesar 6,87% merupakan senyawa dari 1-butanol. Gambar 33 (b) menunjukkan bahwa semakin besar berat sampel, maka akan semakin besar %area yang dihasilkan, hal ini terlihat bahwa diperoleh %area tertinggi pada sampel 4,5 gr suhu 105 °C sebesar 28,02%. Pengaruh suhu yang lain yaitu dalam konversi bioetanol menjadi butanol yaitu dengan suhu yang tinggi dalam proses konversinya, maka dapat mempercepat pemutusan ikatan karbon maupun ikatan hidrogen. Hasil yang menunjukkan %area

yang paling besar yaitu proses konversi yang paling efektif. Katalis dapat mempengaruhi faktor laju reaksi yaitu reaksi katalis memiliki jalur yang berbeda dengan reaksi tanpa katalis, dimana reaksi dengan menggunakan katalis dapat mempercepat reaksi dengan menurunkan energi aktivasinya.

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai persen kemurnian atau %area yang kecil yaitu karena butanol merupakan senyawa yang mudah menguap (volatil), maka saat dilakukan identifikasi dengan menggunakan GC-MS senyawa tersebut dimungkinkan sudah menguap atau hanya tersisa sedikit. Adapun saat proses konversi menggunakan gas hidrogen yang dialirkan sehingga menyebabkan proses katalis berlangsung dengan waktu yang cepat dan mengakibatkan proses dalam konversi bioetanol menjadi butanol menjadi tidak maksimal. Faktor lainnya yaitu adanya perbedaan tempat pengambilan sampel saat diinjeksikan dengan kolom sehingga faktor-faktor tersebut yang dimungkinkan hasil %area yang kecil.

BAB IV

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan diperoleh hasil, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Sintesis karbon aktif dilakukan dengan cara impregnasi basah dan sintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$ dengan menggabungkan logam Fe dan Zn ke dalam karbon aktif sebagai katalis dilakukan melalui proses korpresipitasi.
2. Karakterisasi katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$ memiliki gugus O-H alkohol, alkuna, C=O, C-O, C-H aromatik, alkena, Fe-O dan Zn-O. komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$ memiliki persebaran yang merata dengan bentuk seperti batang dan cukup lebar. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$ memiliki luas permukaan 21,9812 m^2/g dan diperoleh ukuran kristal sebesar 96,4885 nm yang menunjukkan bahwa material ini berukuran nanopartikel. Logam Fe_3O_4 menunjukkan sifat superparamagnetik dengan nilai saturasi magnetik 12,49 emu/g.
3. Katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO/Karbon Aktif}$ pada konversi bioetanol menjadi butanol lebih efektif dengan menggunakan metode pertama yaitu destilasi dan diperoleh %area tertinggi yaitu 28,02% karena pada suhu 105 °C menghasilkan produk berupa butanol dengan %area yang terus mengalami kenaikan.

6.2 Saran

Dalam penelitian ini diperlukan pengkajian kembali terhadap sintesis logam oksida besi dan metode dalam konversi butanol. Agar diperoleh hasil sifat kemagnetan dan hasil konversi butanol yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Muchit, B. Prasetya, K. (2013). *Sintesis dan Aplikasi Komposit ZnO-Karbon Aktif untuk Fotodegradasi Direct Blue 3R serta Fotoreduksi Ion Logam Pb²⁺ dan Cd²⁺ Secara Simultan*. 1(1).
- 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. *Risalah Fisika*, 2(2), 53–57.
- Anam, K., & Purnowidodo, A. (2018). *The Effect of Pressure on Fiber Orientation and Tensile Strength in Fiberglass Laminate Composite*. 81–85.
- Anindyawati, T. (2009). *Prospek Enzim dan Limbah Lignoselulosa Untuk Produksi Bioetanol*.
- Apriani, R., Diah Faryuni, I., Wahyuni, D., Kunci, K., Aktif, K., Durian, K., Hidroksida, K., & Fe, A. (2013). Pengaruh konsentrasi aktivator kalium hidroksida (KOH) terhadap kualitas karbon aktif kulit durian sebagai adsorben logam Fe pada air gambut. *Jurnal.Untan.Ac.Id*, 1(2), 82–86.
- Apriliani, A., & Agustinus, F. (2013). Pembuatan Etanol Dari Kulit Pisang Secara Fermentasi. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*, 2(2), 177–180.
- Arfi, F., Safni, S., & Abdullah, Z. (2017). Degradasi Senyawa Paraquat Dalam Pestisida Gramoxone Secara Sonolisis Dengan Penambahan ZnO. *Lantanida Journal*, 3(1), 71.
- Arlianti, L. (2018). Bioetanol Sebagai Sumber Green Energy Alternatif yang Potensial Di Indonesia. *Unistek*, 5(1), 16–22.
- Atmono, T. M., Prasetyowati, rita, & Kartika, A. M. R. (2015). Pembuatan Prototipe Vibrating Sampel Magnetometer Untuk Pengamatan Sifat Magnetik Lapisan Tipis. *Prosiding Pertemuan Dan Presentasi Ilmiah - Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Nuklir*, 57–66.
- Azkiyah, F., Rudyardjo, D., & Ady, J. (2013). Optimalisasi Variasi Komposisi Penambahan ZnO Nanopartikel Terhadap Karakteristik Hidroksiapatit Berpori Sebagai Bone Filler. *Jurnal Fisika*, 1–14.
- Bahri, S., Aji, A., & Yani, F. (2018). pemanfaatan kulit pisang kepek. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 7(2), 85–100.
- Bahri, S., Aji, A., & Yani, F. (2019). Pembuatan Bioetanol dari Kulit Pisang Kepek dengan Cara Fermentasi menggunakan Ragi Roti. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 7(2), 85.

- 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.
- Budi, E., Nasbey, H., Budi, S., Handoko, E., Suharmanto, P., Sinansari, R., Fisika, J., & Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, J. (2012). Kajian Pembentukan Karbon Aktif Berbahan Arang Tempurung Kelapa. *Seminar Nasional Fisika*, 62–66.
- Dani Irma, M., Putri Wicaksono, S., Roesyadi, A., & Ni'mah, H. (2020). Pra Desain Pabrik Dietil Eter dari Etanol dengan Proses Dehidrasi. *Journal of Fundamentals and Applications of Chemical Engineering*, 01(02), 31–33.
- Diva Candraningrat, I. D. A. A., Santika, A. A. G. J., Dharmayanti, I. A. M. S., & Prayascita, P. W. (2021). Review Kemampuan Metode Gc-Ms Dalam Identifikasi Flunitrazepam Terkait Dengan Aspek Forensik Dan Klinik. *Jurnal Kimia*, 15(1), 12.
- Domenico, S., & Miracca, I. (2013). Dehydrogenation processes. *Synthesis of Intermediates For The Petrochemical Industry*, II, 687–700.
- Erlina, Umiatun, & Budi, E. (2015). Pengaruh Konsentrasi Larutan KOH Pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa Untuk Adsorpsi Logam Cu. *Prosiding Seminar Nasional Fisika(E-Journal)*, 4, 55–60.
- Fadlly, T. A., & Harmawan, T. (2019). Karakteristik Eneri Gap (Eg) Komposit ZnO/Karbon Aktif Dari Tandan sawit (*Elaeis guineensis* Jack) Untuk Aplikasi Sel Surya. *Jurnal Fisika*, 9(2), 60–68.
- Febrina, R. V., Nasution, R. S., & Arfi, F. (2020). *Pengaruh Variasi Massa ragi Saccharomyces cerevisiae Terhadap Kadar Bioetanol Berbahan Dasar Limbah Kulit Kopi Arabika B (Coffea Arabica L)*. 19-25
- Fisli, A., Ariyani, A., Wardiyati, S., & Yusuf, S. (2012). Adsorben Magnetik Nanokomposit Fe₃O₄-Karbon Aktif untuk Meyerap Thorium. *Indonesian Journal of Material Science*, 13(3), 192–197.
- Fisli, A., Dina Safitri, R., & Deswita. (2018). Analisis Struktur dan Porositas Komposit Fe₃O₄-Karbon Aktif Dari Limbah Kertas Sebagai Adsorben magnetik. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 19(4), 179–187.
- Gadung, D. P. P. (2009). Modifikasi Zeolit Alam Sebagai Material Molekular Sieve Pada Proses Dehidrasi Bioetanol. *Jurnal Zeolit Indonesia*, 8(2), 97–105.
- Gafiera, I., Swetachattra, F., & Hardjono. (2019). Pengaruh Penambahan Nutrisi Urea Dalam Pembuatan Blioetanol Dari Kulit Pisang Kepok Dengan Proses Fermentasi. *Disilat Jurnal Teknologi Separasi*, 5(2), 195–199.

- Gewa Handika, Seri Maulina, & Vidyanova Anggun Mentari. (2018). Karakteristik Karbon Aktif Dari Pemanfaatan Limbah Tanaman Kelapa Sawit dengan Penambahan Aktivator Natrium Karbonat (Na_2CO_3) dan Natrium Klorida (NaCl). *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(4), 41–44.
- Ghozali, A. I., Sugiyo, W., & Latifah. (2012). Fotodegradasi Zat Warna Remazol Red Menggunakan Katalis $-\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Fe}_3\text{O}_4$ Core Shell Nanostruktur. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 1(1), 2252–6951.
- Gilang Permata, D., Diantariani, N. P., Ayu, I., & Widihati, G. (2016). Degradasi Fotokatalitik Fenol Menggunakan Fotokatalis ZnO dan Sinar UV. *JURNAL KIMIA*, 10(2), 263–269.
- Hakim, L., Dirgantara, M., & Nawir, M. (2019). Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan Menggunakan X-Ray Difrraction (X-RD) Di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains*, 1(1), 44–51.
- Hakim, L., & Sedyadi, E. (2020). Synthesis and Characterization of Fe_3O_4 Composites Embeded on Coconut Shell Activated Carbon. *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 5(3), 245–253.
- Hapsari, M. A., & Pramashinta, A. (2013). Pembuatan Bioetanol Dari Singkong Karet (Manihot glaziovii) Untuk Bahan Bakar Kompur Rumah Tangga Sebagai Upaya mempercepat Konversi Minyak Tanah ke Bahan Bakar Nabati. *Jurnal Teknologi Kimia Dan Industri*, 2(2), 240–245.
- Harti, R., & Fitri, N. (2014). *Indonesian Journal of Chemical Research – Inco. J. Chem. Res.* 2(1).
- Hartini, Hidayat, Y., & Mudjijono. (2015). Study Karakter Pori Terhadap Komposit γ -Alumina – Karbon Aktif Dari Limbah Kulit Singkong (Manihot esculenta Cranz). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 11(1), 47–57.
- Haryono, Natanael, C. L., Rukiah, & Yulianti, Y. B. (2018). Kalsium oksida mikropartikel dari cangkang telur sebagai katalis pada sintesis biodiesel dari minyak goreng bekas. *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 8(1), 8–15.
- Hendrawan, Y., Sutan, S. M., & Kreative, R. Y. R. (2017). Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi dan Konsentrasi Aktivator terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Ampas Tebu (Bagasse) Menggunakan Activating Agent NaCl . *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis Dan Biosistem*, 5(3), 200–207.
- Hikmah, H., Fadhillah, H. N., & Putra, M. D. (2019). Bioetanol Hasil Fermentasi Kulit Pisang Kepok (Musa paradisiaca) Dengan Variasi Ragi Melalui Hidrolisis Asam Sulfat. *EnviroScienteeae*, 15(2), 195.

- Hotmian, E., Suoth, E., Fatimawali, F., & Tallei, T. (2021). Analisis GC-MS (Gas Chromatography - Mass Spectrometry) Ekstrak Metanol Dari Umbi Rumpun Teki (*Cyperus rotundus* L.). *Pharmaccon*, *10*(2), 849.
- Idrus, R., Pahlanop Lapanporo, B., & Satria Putra, Y. (2013). Pengaruh Suhu Aktivasi Terhadap Kualitas Karbon Aktif Berbahan Dasar Tempurung Kelapa. *Prisma Fisika*, *1*(1), 50–55.
- Istiyono, E. (2009). Analisis Sifat Magnetik Bahan Yang Mengalami Proses Annealing dan Quenching. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian*, 311–2009319.
- Ivander, C., Bayquni, M. I., & Rahardi, S. (2020). Dehidrasi dan Dehidroksilasi Litium Mangan Oksida dari Metode Sol-Gel untuk Elektroda Baterai Ion Litium. In *Seminar Nasional B4T* (Issue January 2021).
- Julinawati, J., Marlina, M., Nasution, R., & Sheilatina, S. (2015). Applying Sem-edx Techniques to Identifying the Types of Mineral of Jades (Giok) Takengon, Aceh. *Jurnal Natural Unsyiah*, *15*(2), 116128.
- Kholiq, I. (2015). Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Substitusi BBM. *Jurnal IPTEK*, *19*(2), 75–91.
- Kulkarni, N. V., Brennessel, W. W., & Jones, W. D. (2018). *Catalytic Upgrading of Ethanol to n-Butanol via Manganese Mediated Guerbet Reaction*.
- Lempang, M. (2014). Pembuatan dan Kegunaan Karbon Aktif. *Info Teknis EBONI*, *11*(2), 65–80.
- Leni, M., Za, N., & Sari, N. D. (2015). Pemanfaatan Kulit Singkong sebagai Bahan Baku Karbon Aktif. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, *4*(2), 11–19.
- Lestari, D. Y. (2012). Pemilihan Katalis Yang Ideal. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan Dan Penerapan MIPA*, 1–6.
- Lestari, I., Prasetyo, E., & Diah Riski, G. (2021). Penggunaan Karbon Aktif Magnetit-Fe₃O₄ Sebagai Penyerap Zat Warna Remazol Yellow. *Jurnal BiGME*, *1*(1), 29–37.
- Lora Buana, D., & Fajriati, I. (2019). Karakterisasi Lemak Sapi dan Lemak Babi dalam Bakso Menggunakan FTIR Spectroscopy. *Indonesia Journal of Halal*, *2*(1), 15.
- Lubis, H. (2022). Perbandingan Karakterisasi Morfologi Fe₃O₄ terhadap Fe₃O₄ Merck melalui Metode Kopersipitasi. *Jurnal Insitusi Politeknik Ganesha Medan*, *5*(2), 458–463.
- Lubis, S. (2009). Preparasi katalis cu/silika gel dari kristobalit alam sabang serta uji aktivitasnya pada reaksi dehidrogenasi etanol. *Jurnal Rekayasa Kimia Dan Lingkungan*, *7*(1), 29–35.

- Made, N., Sanjiwani, S., Ayu, D., Paramitha, I., Chandra, A. A., Ariawan, I. M. D., Megawati, F., Wayan, N., Dewi, T., Ayu, P., Mariati, M., & Wayan, I. (2020). Pembuatan Hair Tonic Berbahan Dasar Lidah Buaya dan Analisis dengan Fourier Transform InfraRed. *Jurnal Universitas PGRI Mahadewa Indonesia*, 21(1).
- Mansur, D., & Aiman, S. (2021). Keadaan dan Proseppek Butanol Lignoselulosa Sebagai Bahan Bakar Transportasi Darat Di: Sebuah Telaahan. *Jurnal Ketenagalistrikan Dan Energi Terbarukan*, 19(1), 29–40.
- Martín-Peláez, S., & Martín-Orúe, S. M. (2014). Feeding strategies for the control of Salmonella in pigs. *Food Science & Technology Bulletin: Functional Foods*, 5(4), 39–49.
- Maryanti, B., Sonief, A., & S. Wahyudi. (2011). Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik. *Rekayasa Mesin*, 2(2), 123–129.
- Maslukah, L., Zainuri, M., Wirasatriya, A., & Widiaratih, R. (2020). Studi Kinetika Adsorpsi dan Desorpsi Ion Fosfat (PO_4^{2-}) Di Sedimen Perairan Semarang dan Jepara. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 12(2), 385–396.
- Maylani, A. S., Sulistyaningsih, T., & Kusumastuti, E. (2016). Preparasi Nanopartikel Fe_3O_4 (Magnetit) Serta Aplikasinya Sebagai Adsorben Ion Logam Kadmium. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 5(2), 131–134.
- Meilianti. (2017). Isolasi Kalsium Oksida (CaO) Pada Cangkang Sotong (Cuttlefish) dengan Proses Kalsinasi Menggunakan Asam Nitrat Dalam pembuatan Precipitated Calcium Carbonat (PCC). *Jurnal Distilasi*, 2(1), 1–8.
- Merdekani, sera. (2013). Sintesis Partikel Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ dengan Metode Korpresipitasi. *Prosiding Seminar Nasional Sains DanTeknologi Nuklir*, 472–277.
- Nurfitria, N. Febriyantiningrum, K. (2019). Pengaruh Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) pada Karbon Aktif dan Waktu Kontak Terhadap Daya Adsorpsi Logam Pb dalam Sampel Air Kawasan Mangrove Wonorejo, Surabaya. *Akta Kimia Indonesia*, 4, 75–85.
- Nurmayanti, V. dan E. (2014). Karakterisasi Sifat Fisis Membran Polimer Matrik Komposit (PMC) Dari Karbon Aktif Tempurung Kelapa Untuk Adsorpsi Logam Berat Pada Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Neutrino*, 6, 119–128.
- Nurul, A., Imasi, O. P. T., Bioetanol, P., Tandan, D., Kelapa, K., Menggunakan, S., Ode, M. E. T., Kim, T., Etanol, P., Kulit, D., Seftian, D., Antonius, F., & Faizal, M. (2012). Pengaruh Orientasi dan Fraksi Volume Serat Daun (Nanas comosus) Terhadap kekuatan Tarik Komposit poliestertak Jenuh (UP). *Dinamika Teknik Mesin*, 2, 28–32.

- Oceanografi, P. P., (2020). *Potensi Logam Oksida Sebagai Fotokatalis Degradasi Plastik Di Air laut*. 45, 40–58.
- Praputri, E., Sundari, E., Firdaus, F., & Sofyan, S. (2018). Penggunaan katalis homogen dan heterogen pada proses hidrolisis pati umbi singkong karet menjadi glukosa. *Jurnal Litbang Industri*, 8(2), 105.
- Primadevi, S., Wijayanti, N., & Kusuma, E. (2015). Transformasi Setil Alkohol Menjadi Dimer Setil Alkohol dan. *Electronic/Portal e-Journal*, 8(1).
- Puryanti, D., Andani, D., & Thressia, M. (2017). Effect of PEG-2000 on saturation magnetization Fe₃O₄ particles synthesized with coprecipitation method. *Journal of Physics: Theories and Applications*, 1(1), 49–54.
- Rachmawati, A. D. (2017). Studi Pemanfaatan Zeolit Untuk Pengolahan Biodiesel Dan Bioetanol. *Jurnal Zarah*, 5(1), 14–21.
- Rajesh Kumar, B., & Saravanan, S. (2016). Effect of iso-butanol addition to diesel fuel on performance and emissions of a di diesel engine with exhaust gas recirculation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 230(1), 112–125.
- Ramadhani F, L., Nurjannah M, I., Yulistiani, R., & Saputro A, E. (2020). Review: teknologi aktivasi fisika pada pembuatan karbon aktif dari limbah tempurung kelapa. *Jurnal Teknik Kimia*, 26(2), 42–53.
- Ramadhannur, A. R., Wirawan, T., & Hindryawati, N. (2021). Pembuatan Komposit Zn-Fe₃O₄ /WO₃ dan Aplikasinya Dalam Proses Fotokatalisis. *Prosiding Seminar Nasional Kimia*, 6–11.
- Resasco, D. E. (2000). Dehydrogenation by Heterogeneous Catalysts. *Encyclopedia of Catalyst*.
- Ridhuan, K., Irawan, D., Zanaria, Y., & Firmansyah, F. (2019). Pengaruh Jenis Biomassa Pada Pembakaran Pirolisis Terhadap Karakteristik Dan Efisiensi bioarang - Asap Cair Yang Dihasilkan. *Media Mesin: Majalah Teknik Mesin*, 20(1), 18–27.
- Riittonen, T., Eranen, K., Maki-Arvela, P., Shchukarev, A., Rautio, A. R., Kordas, K., Kumar, N., Salmi, T., & Mikkola, J. P. (2015). Continuous liquid-phase valorization of bio-ethanol towards bio-butanol over metal modified alumina. *Renewable Energy*, 74, 369–378.
- Ris, J. (2014). *Pembuatan dan Karakterisasi Katalis ZnO/Karbon Aktif dengan Metode Solid State dan Uji Aktifitas Katalitiknya Pada Degradasi Rhodamin B*. 7(2).
- Riskiani, E., Suprihatin, I. E., & Sibarani, J. (2018). Fotokatalis Bentonit-Fe₂O₃ untuk Degradation Zat Warna Remazol Brilliant Blue. *Cakra Kimia*, 7(1), 46–54.

- Riyanto, A. (2019). Preparasi dan Karakteristik Fisis Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4). *Jurnal Fisika Flux*, 16(1), 37–41.
- Rohman, M. N. K., & Maharani, D. K. (2014). Sintesis Dan Karakterisasi Padatan Silika - Alumina Dengan Variasi Suhu Kalsinasi Sebagai Pendukung Katalis Campuran Oksida Logam Cu/Zn. *UNESA Journal of Chemistry*, 3(2), 35–39.
- Sanjaya, F. L., & Syarifudin, S. (2020). Pengaruh Penambahan Butanol Sebagai Campuran Bahan Bakar Premium Terhadap Torsi dan Daya Mesin Bensin Dengan Sistem EGR. *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science*, 1(1), 7–10.
- Sanjaya, L. F., & Awali, A. M. (2020). Gas Buang Mesin Pompa Air Berbahan Bakar pertamax. *Nozzle: Journal Mechanical Engineering*, 9(1), 7–9.
- Saputro, D. T., & Kurniawan, R. (2019). Prarancangan Pabrik n-Butanol Menggunakan Proses Hidrogenasi n-Butiraldehid dengan Katalis Copper Zinc Oxide kapasitas Produksi 5.000 ton/tahun. *Jurnal Tugas Akhir Teknik Kimia*, 2(1), 1–7.
- Sari, N. W., & Fajri, M. Y. (2018). Analisis Fitokimia dan Gugus Fungsi Dari Ekstrak Etanol Pisang Goroho Merah (*Musa Acuminata* (L)). *Indonesian Journal of Biotechnology and Biodiversity*, 2(1), 30–34.
- Sartika, D. (2016). Sifat Magnetik Adsorben Nanopartikan Fe_3O_4 Terhadap Adsorpsi Logam Berat (Co dan Fe) Dalam Larutan. *SEMINAR NASIONAL PENDIDIKAN, 20161*, 2527–5917.
- Seftian, D., Antonius, F., & Faizal, M. (2012). Pembuatan Etanol Dari Kulit Pisang Menggunakan Metode Hidrolisis Enzimatik dan Fermentasi. In *Jurnal Teknik Kimia* (Vol. 18, Issue 1).
- Septiano, A. F., Susilo, & Setyaningsih, N. E. (2021). Analisis citra hasil scanning electron microscopy energy dispersive X-ray (SEM EDX) komposit resin timbal dengan metode contrast to noise ratio (CNR). *Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences*, 44(2), 81–85.
- Setiawati, E., & Suroto, S. (2012). Pengaruh Bahan Aktivator Pada Pembuatan Karbon Aktif Tempurung Kelapa. *Jurnal Riset Industri Hasil Hutan*, 2(1), 21.
- Siregar, J., Novika, S., Hariyadi, J., & Lubis, S. (2020). KARAKTERISASI NANOKOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnO}$. *Seminar Hasil Penelitian Kerja Sama Universitas Muslim Nusantara Al Washliyah Dengan Universitas Sultan Zainal Abidin*, 156–161.
- Sudarlin, S., Islam, U., Sunan, N., & Yogyakarta, K. (2020). Prinsip dan Teknik Penggunaan Gas Sorption Analyzer (GSA). *Jurnal Kimia Uin Sunan Kalijaga*, July.

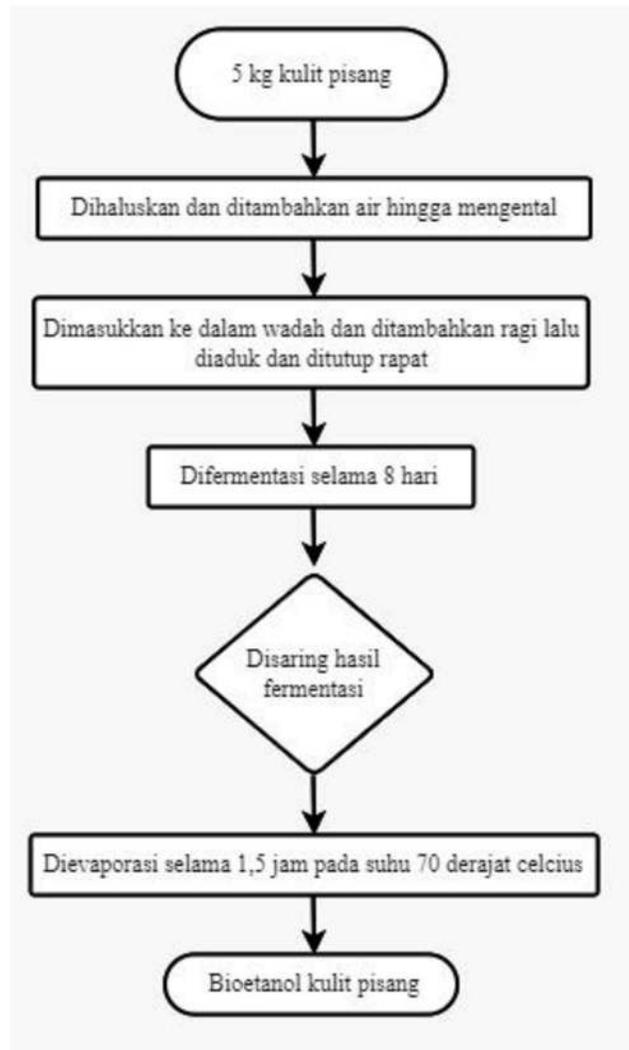
- Susanti, A. D. (2013). Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Nanas Melalui Hidrolisis Dengan Asam. *Ekulibium*, 12(1), 81–86.
- Susanto, S. A., Yunarti, R. T., Widjaya, R. R., Maryati, Y., Dwiatmoko, A. A., Aulia, F., & Rinaldi, N. (2021). Catalytic conversion of ethanol to butanol over magnesium oxide catalysts. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1011(1), 1–6.
- Suwansawat, P., & Jitkarnka, S. (2020). Conversion of Bio-Ethanol to 1, 3-Butadiene over Grafted ZrO₂ / FeMgAl-Layered Double Oxide Catalyst. 81(2010), 535–540.
- Syamsiro, M. (2015). Kajian Pengaruh Penggunaan Katalis Terhadap Kualitas Produk. *Teknik*, 5(1), 1–85.
- Taib, S., & Suharyadi, E. (2015). Sintesis Nanopartikel Magnetite (Fe₃O₄) dengan Template silika (SiO₂) dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya. In *Indonesian Journal of Applied Physics* (Vol. 5, Issue 1).
- Tebriani, S. (2019). Analisis Vibrating Sample Magnetometer (VSM) Pada Hasil Elektrodeposisi Lapisan Tipis Magnetite Menggunakan Aruscontinue Direct Current. *NATURAL SCIENCE JOURNAL*, 5(1), 723–730.
- Wardhani, S., Triandi, R., Tia, D., & Rohmatil, A. (2015). Sintesis Fotokatalis Fe₂O₃-Zeolit Untuk Uji Fotodegradasi Zat warna Jingga Metil (Synthesis Photocatalyst). *Iii*, 700–709.
- Wardiyati, S., Adi, W. A., Didin, D., Winatapura, S., (n.d.). Penambahan SiO₂ Terhadap Karakteristik dan Kinerja Fotokatalitik Fe₃O₄/TiO₂ Pada Degradasi Methylene Blue.
- Wendi, Valentinoh Cuaca, & Taslim. (2015). Pengaruh Suhu reaksi 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.
- Widanarto, W., Nurrahman Fauzi, F., Tri Cahyanto, wahyu, & Mukhtar, E. (2015). Peningkatan Sifat Magnetik Material Hematit melalui Substitusi Barium dan Kontrol temperatur Sintering. *Berkala Fisika*, 18(4), 125–130.
- Widyaningsi, S., Kartika, D., & Nurhayati, Y. T. (2012). Pengaruh Penambahan Sorbitol dan Kalsium Karbonat Terhadap Karakteristik dan Sifat Biodegradasi Film Dari Pati Kulit Pisang. *Molekul*, 7, 69–81.
- Winatapura, D., Dewi, S., & Ridwan. (2014). Sintesis dan karakterisasi Komposit Fe₃O₄-ZnO Dengan Metoda Presipitasi. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, 17(1), 71–77.

- Wiratmaja I, G., Kusuma Wijaya Bagus, G., & Winaya Suorapta, N. (2011). Pembuatan Etanol Generasi Kedua Dengan Memanfaatkan Limbah Rumpuk Laut *Eucheuma Cottonii* Sebagai Bahan Baku. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 5(1), 75–84.
- Wisnujati, A., & Yudhanto, F. (2020). Analisis karakteristik pirolisis limbah plastik low density polyethylene (LDPE) sebagai bahan bakar alternatif. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 9(1), 102–107.
- Wulandari, I. O., Wardhani, S., & Purwonugroho, D. (2014). Sintesis dan Karakterisasi Fotokatalis ZnO pada Zeolit. *Jurnal Ilmu Kimia Universitas Brawijaya*, 1(2), 241–247.
- Xiang, H., Xin, R., Prasongthum, N., Natewong, P., Sooknoi, T., Wang, J., Reubroycharoen, P., & Fan, X. (2022). Catalytic conversion of bioethanol to value-added chemicals and fuels: A review. *Resources Chemicals and Materials*, 1(1), 47–68.
- Xi, X. Y., Sun, Z. H., Cao, H. T., Pei, Y. T., Ten Brink, G. H., Deuss, P. J., Barta, K., & Heeres, H. J. (2020). Catalyst performance Studies on the Guerbet Reaction in a Continuous Flow Reactor Using Mono-and Bi-metallic Cu-Ni Porous Metal Oxides. *Catalysts*, 10(9), 1–16.
- Yanti Novia, R., Hambali, E., Pari, G., & Suryani, A. (2020). Karakteristik Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit Yang Dimpregnasi Logam Nikel Sebagai Katalis. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 38(3), 129–138. <https://doi.org/10.20886/jphh.2020.38.3.129-138>
- Yuanita Lestari, D. (2012). Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, Fakultas MIPA. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian*, 1, 1–6.

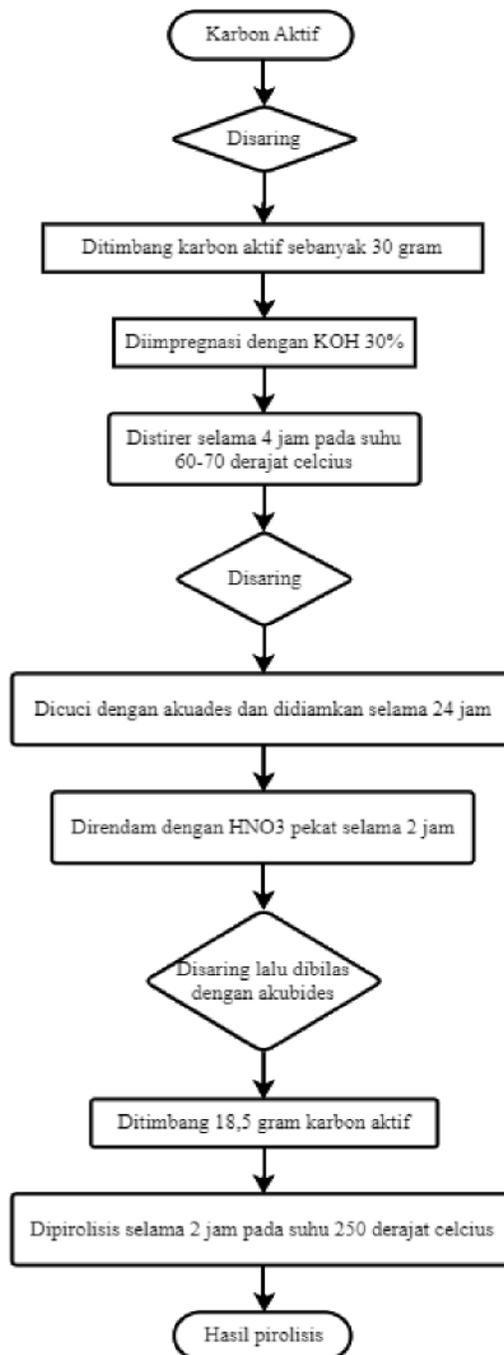
LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Penelitian

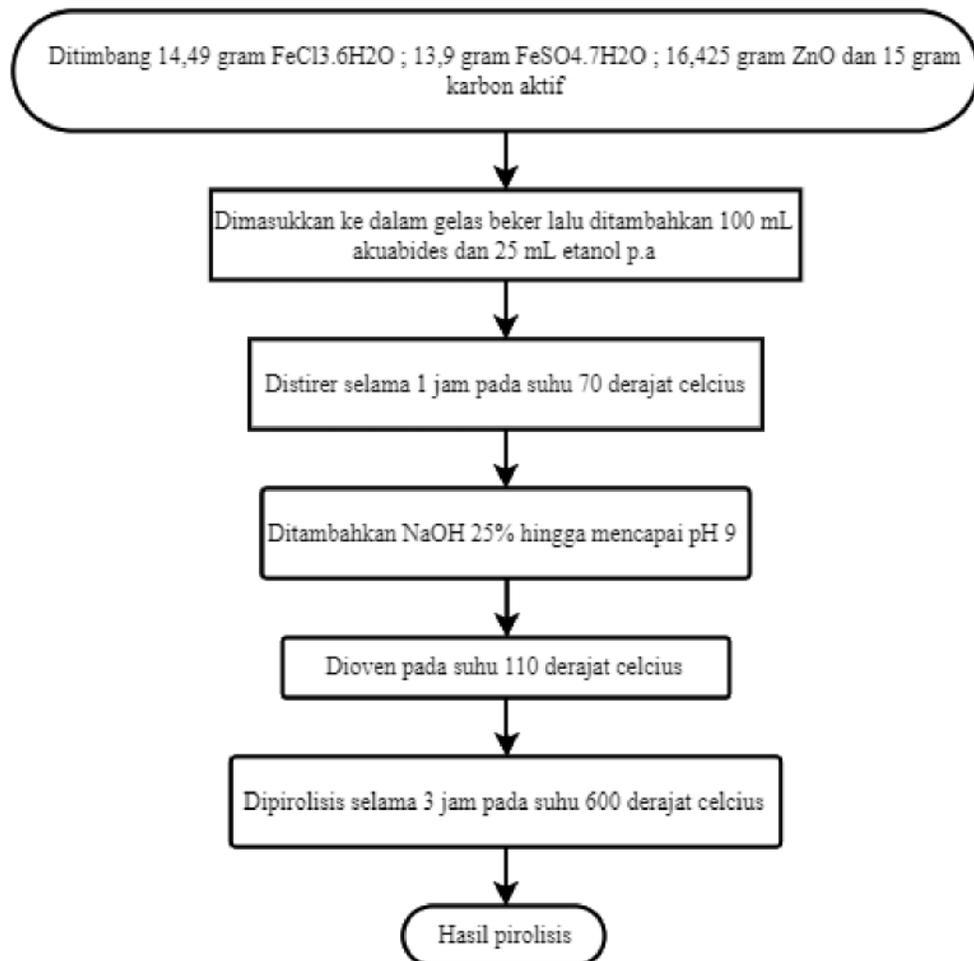
1. Pembuatan Bioetanol Dari Kulit Pisang



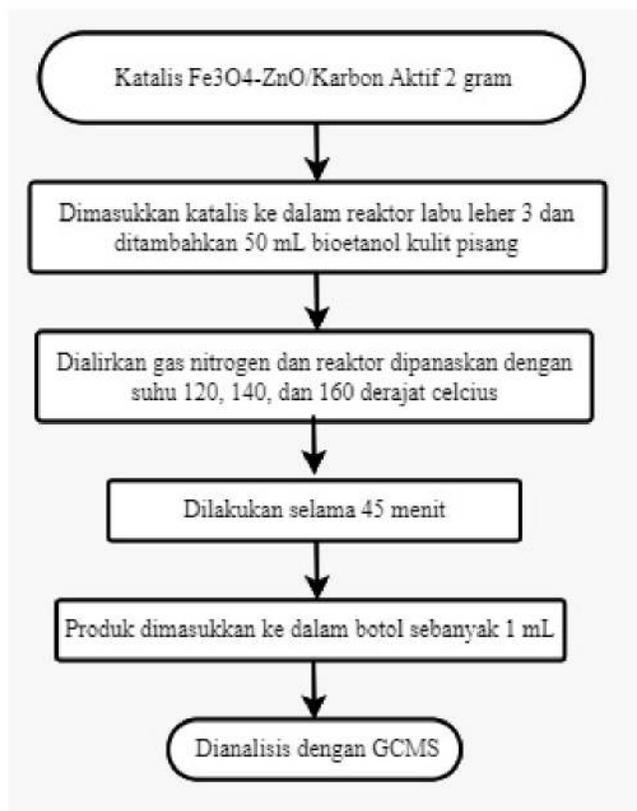
2. Proses Aktivasi karbon Aktif



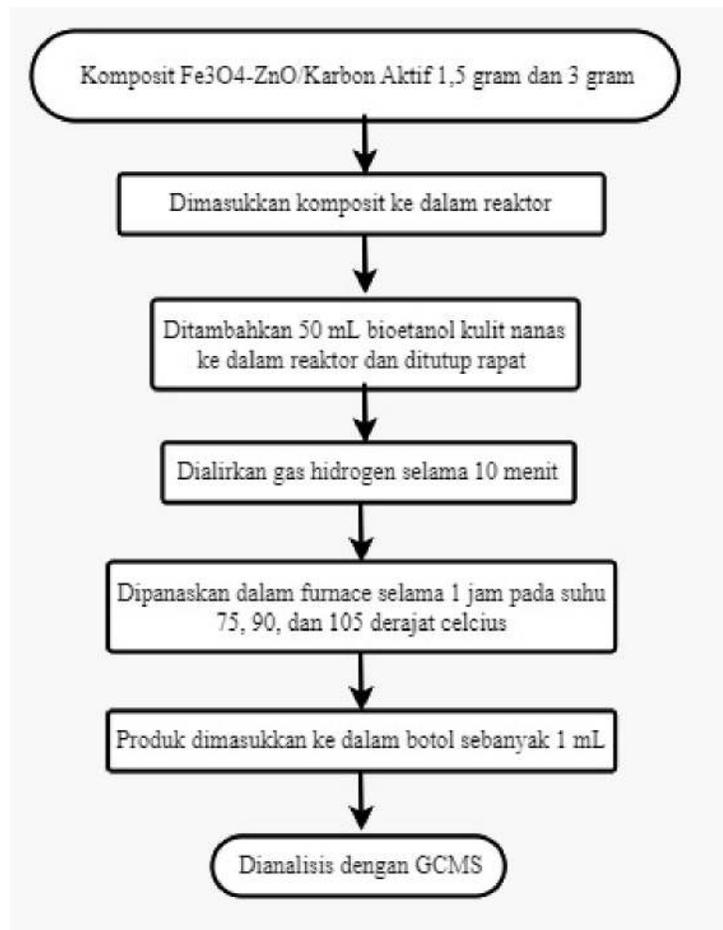
3. Pembuatan Komposit Fe₃O₄-ZnO/Karbon Aktif



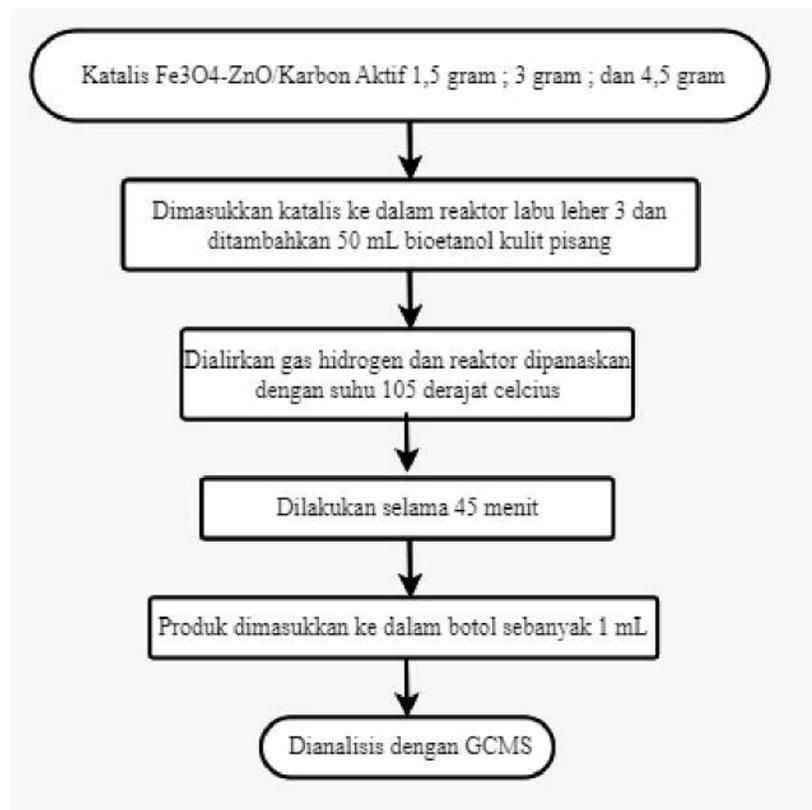
4. Proses Konversi Bioetanol Menjadi Butanol Menggunakan Labu Leher Tiga Dengan Nitrogen



5. Proses Konversi Bioetanol Menjadi Butanol Menggunakan Reaktor Dengan Hidrogen



6. Proses Konversi Bioetanol Menjadi Butanol Menggunakan Reaktor Dengan Hidrogen



Lampiran 2. Perhitungan Dalam Penelitian

1. FeCl₃.6H₂O

- a. Mol dari FeCl₃.6H₂O

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

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

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

- b. Molaritas dari FeCl₃.6H₂O

$$n = M \times V$$

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

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

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

2. FeSO₄.7H₂O

- a. mol dari FeSO₄.7H₂O

$$n = M \times V$$

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

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

- b. Berat Sampel dari FeSO₄.7H₂O

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

$$\textit{gram} = 278 \textit{ gram/mol} \times 0,05 \textit{ mol}$$

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

3. ZnO

- a. Mol dari ZnO

$$n = M \times V$$

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

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

- b. Molaritas dari ZnO

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

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

$$\text{gram} = 10,95 \text{ gram} \times 1,5$$

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

4. Larutan KOH 30%

$$\% W/V \text{ xKOH} = \frac{\text{gram zat terlarut}}{\text{mL larutan}} \times 1000$$

$$30\% = \frac{x}{100 \text{ mL}} \times 1000$$

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

5. Larutan NaOH 25%

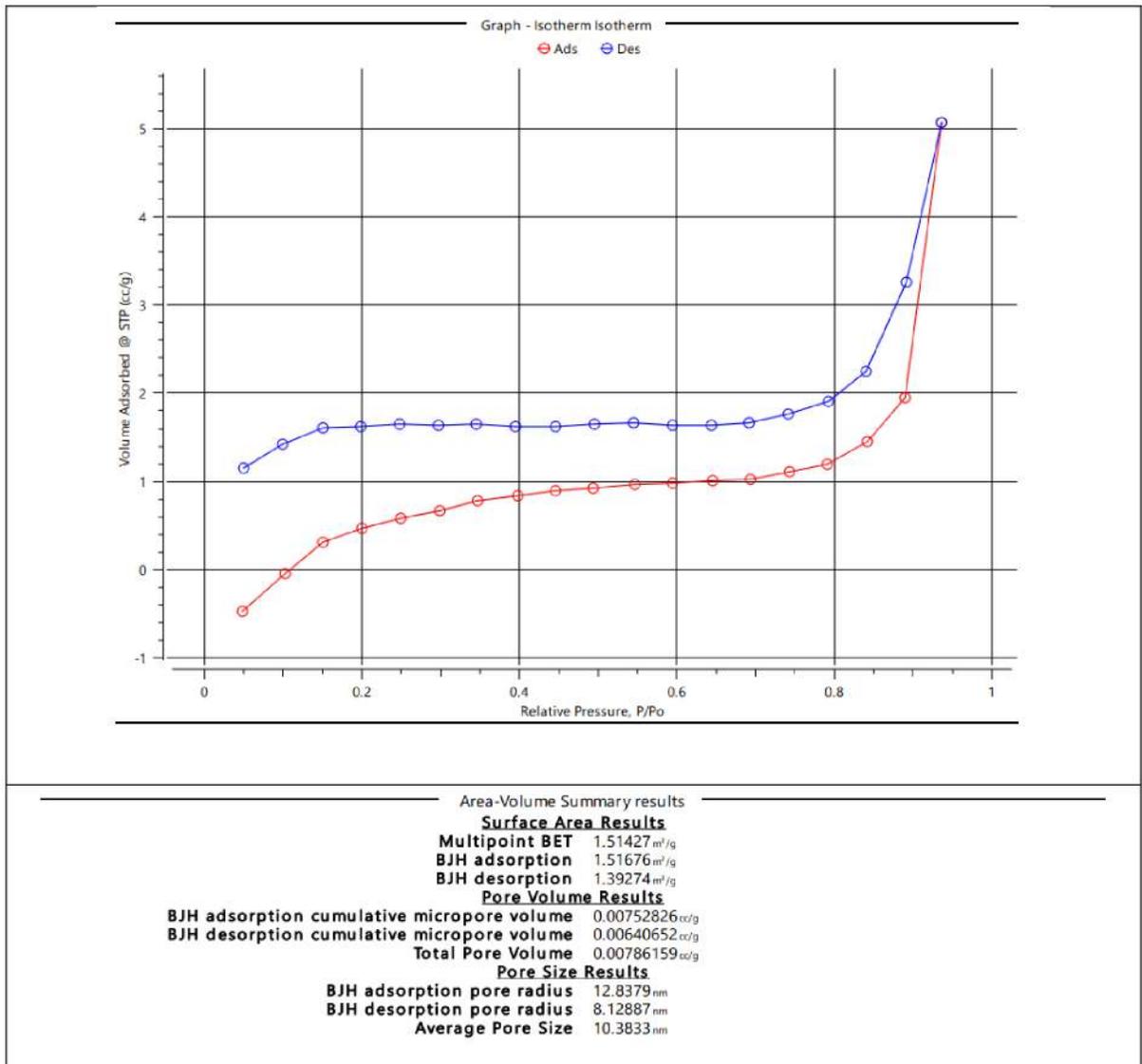
$$\% W/V \text{ xKOH} = \frac{\text{gram zat terlarut}}{\text{mL larutan}} \times 1000$$

$$25\% = \frac{x}{100 \text{ mL}} \times 1000$$

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

1. Hasil Karakterisasi Dengan GSA

a. Grafik Isoterm Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_3\text{-ZnO/Karbon Aktif}$



b. Perhitungan dengan GSA

Komposit Fe₃O₄-ZnO/Karbon Aktif

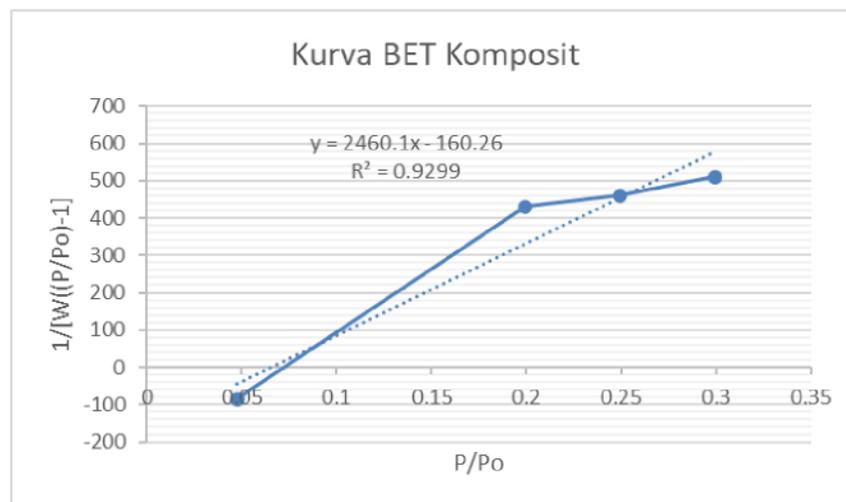
Diketahui :

C_{sa} : 0,162 x 10⁻¹⁸ m²

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 grafik BET diatas maka diperoleh:

a. Konstanta BET (C)

$$C = \frac{Slope}{Intercept} + 1$$

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

$$C = -14,3506$$

b. Berat gas yang teradsorpsi

$$Wm = \frac{1}{slope + intercept}$$

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

$$Wm = 0,00043$$

c. Luas Permukaan Total

$$SA = \frac{Wm \times N \times Csa}{BM Gas}$$

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

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

d. Luas Permukaan Spesifik

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

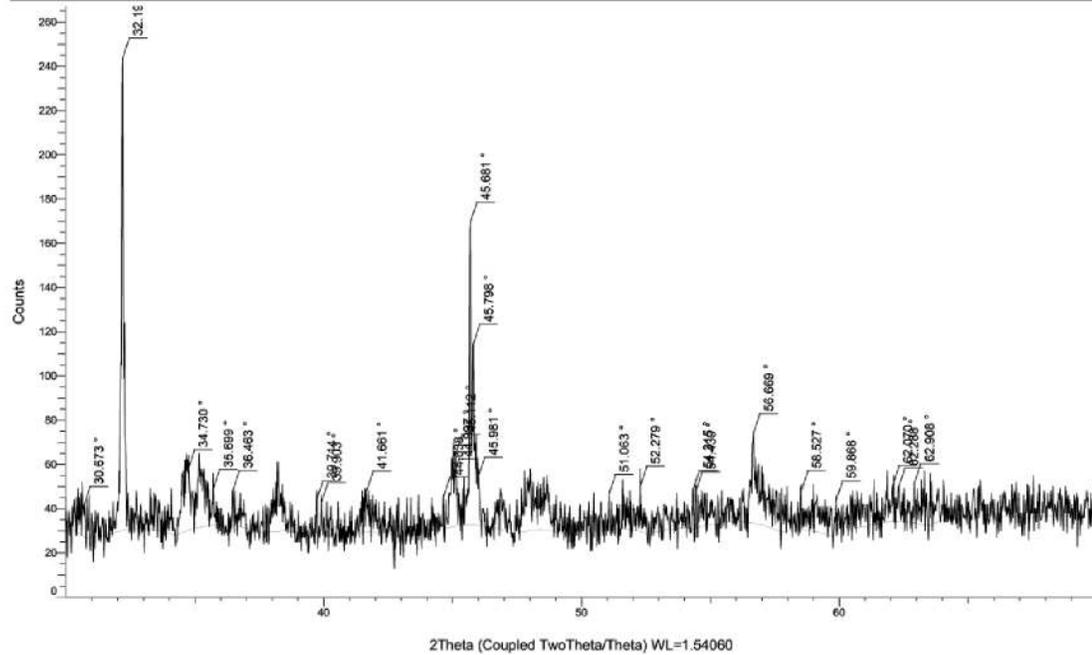
$$SS = \frac{1,5145 \text{ m}^2/\text{g}}{0,0689 \text{ gram}}$$

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

2. Hasil Karakterisasi XRD

a. Grafik XRD Komposit Fe₃O₃-ZnO/Karbon Aktif

(Coupled TwoTheta/Theta)



Right Angle	Left Int.	Right Int.	Obs. Max	d (Obs. Max)	Gross Int.	Net Height	FWHM	Chord Mid.	d (Chord Mid.)
32.379 °	0.534	0.613	32.190 °	2.77851 Å	3.79	3.21	0.063	32.193 °	2.77630 Å
34.979 °	0.425	0.638	34.669 °	2.58535 Å	0.994	0.452	0.228	34.668 °	2.58538 Å
35.588 °	0.665	0.564	35.165 °	2.54997 Å	0.995	0.353	0.218	35.253 °	2.54380 Å
38.574 °	0.507	0.49	38.227 °	2.35248 Å	0.931	0.433	0.232	38.221 °	2.35282 Å
42.149 °	0.479	0.52	41.578 °	2.17030 Å	0.75	0.251	0.434	41.634 °	2.16750 Å
45.237 °	0.585	0.61	45.032 °	2.01154 Å	1.07	0.472	0.108	45.035 °	2.01141 Å
45.724 °	0.701	0.976	45.673 °	1.98476 Å	2.66	1.80	0.050	45.672 °	1.98481 Å
46.110 °	1.11	0.488	45.793 °	1.97986 Å	1.80	0.772	0.043	45.794 °	1.97980 Å
48.406 °	0.523	0.66	47.758 °	1.90140 Å	0.87	0.303	0.267	47.845 °	1.89961 Å
57.242 °	0.571	0.671	56.656 °	1.62333 Å	1.14	0.546	0.176	56.709 °	1.62193 Å

L. Breadth	Gravity C.	d (Gravity C.)	Raw Area	Net Area	C. Size	K	Instr. Width	Use L. Breadth
0.106	32.194 °	2.77823 Å	0.5959	0.3398	1459.0 Å	1.000	0.000	No
0.271	34.625 °	2.58854 Å	0.4896	0.1226	405.5 Å	1.000	0.000	No
0.223	35.295 °	2.54093 Å	0.4156	0.07862	424.1 Å	1.000	0.000	No
0.211	38.235 °	2.35199 Å	0.4457	0.09119	401.9 Å	1.000	0.000	No
0.213	41.774 °	2.16057 Å	0.6017	0.05344	217.4 Å	1.000	0.000	No
0.159	45.029 °	2.01167 Å	0.3177	0.07494	887.1 Å	1.000	0.000	No
0.052	45.672 °	1.98480 Å	0.1951	0.0929	1916.8 Å	1.000	0.000	No
0.079	45.866 °	1.97688 Å	0.3527	0.061	2210.5 Å	1.000	0.000	No
0.163	47.977 °	1.89469 Å	0.5778	0.04937	352.0 Å	1.000	0.000	No
0.213	56.736 °	1.62122 Å	0.608	0.1163	570.3 Å	1.000	0.000	No

b. Analisis data

2 θ (°)	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 ² teta	1xsin ² teta/sin ² teta min	2xsin ² teta/sin ² teta min	3xsin ² teta/sin ² teta min	h ² +k ² +l ²	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

Lampiran 3. Dokumentasi Penelitian



Kulit pisang yang sudah di potong-potong menjadi kecil



Kulit pisang dimasukkan ke dalam wadah besar dan ditambahkan dengan ragi



Hasil fermentasi kulit pisang di saring hingga terpisah antara filtrat dan endapan



Kulit pisang dihaluskan menggunakan blender



Dilakukan fermentasi selama 8 hari hingga menjadi bioetanol



Hasil bioethanol di evaporasi selama 1,5 jam pada suhu 70 °C



Karbon aktif dihaluskan dengan menggunakan saringan biasa



Karbon aktif yang telah halus diimpregnasi dengan KOH 30%



Karbon aktif distirer selama 4 jam pada suhu 60-70 °C



Karbon aktif disaring dengan kertas saring biasa



Karbon aktif dicuci dengan akuabides



Hasil karbon aktif setelah dikeringkan



Hasil karbon aktif tersebut dipirolisis selama 2 jam pada suhu 250°C



Hasil karbon aktif setelah dipirolisis



FeCl_3 sebanyak 14,49 gram FeSO_4 13,9 gram



ZnO sebanyak 16,425 gram



Hasil dari FeCl_3 , FeSO_4 dan ZnO setelah dicampurkan



Distirer selama 1 jam pada suhu 70°C dan ditambahkan dengan NaOH 25 %



Komposit dibilas dengan akuabides



Hasil komposit setelah dioven



Komposit dipirolisis selama 3 jam pada suhu 600 °C



Hasil komposit setelah dipirolisis



Proses konversi bioetanol dengan memasukkan bioetanol ke dalam labu leher tiga



Hasil penyimpanan konversi



Bioetanol kulit pisang dimasukkan ke dalam reaktor untuk proses konversi



Komposit dimasukkan ke dalam reaktor



Reaktor ditutup rapat dan dialirkan dengan gas hidrogen selama 10 menit



Hasil konversi dimasukkan ke dalam botol dan ditutup rapat