



TUGAS AKHIR- TL184834

**ANALISIS PENGARUH KATALIS  $K_2CO_3$  TERHADAP  
KARAKTERISTIK MATERIAL DAN *POWER DENSITY*  
KARBON AKTIF SEBAGAI BAHAN BAKAR *DIRECT CARBON  
FUEL CELL (DCFC)***

**AHMAD FAHMI PRAKOSO**  
NRP 02511840000082

Dosen Pembimbing  
**Sutarsis S.T., M.Sc., Ph.D.**  
NIP. 197708172005011001  
**Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.**  
NIP. 197604102002121002

**Program Studi Teknik Material**  
Departemen Teknik Material dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022





TUGAS AKHIR - TL184834

**ANALISIS PENGARUH KATALIS  $K_2CO_3$  TERHADAP KARAKTERISTIK MATERIAL DAN *POWER DENSITY* KARBON AKTIF SEBAGAI BAHAN BAKAR *DIRECT CARBON FUEL CELL* (DCFC)**

**AHMAD FAHMI PRAKOSO**  
NRP. 02511840000082

Dosen Pembimbing  
**Sutarsis S.T., M.Sc., Ph.D.**  
NIP. 197708172005011001  
**Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.**  
NIP. 197604102002121002

**Program Studi Teknik Material**  
Departemen Teknik Material Dan Metalurgi  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2022

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT - TL184834**

**ANALYSIS OF  $K_2CO_3$  CATALYST ON MATERIAL CHARACTERISTICS AND POWER DENSITY OF ACTIVE CARBON AS DIRECT CARBON FUEL CELL (DCFC) FUEL**

**AHMAD FAHMI PRAKOSO**  
NRP. 02511840000082

Advisor

**Sutarsis S.T., M.Sc., Ph.D.**

NIP. 197708172005011001

**Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.**

NIP. 197604102002121002

**Study Program of Materials Engineering**

Department of Materials And Metallurgical Engineering

Faculty of Industrial Technology and System Engineering

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2022

*(This page is intentionally left blank)*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISIS PENGARUH KATALIS $K_2CO_3$ TERHADAP KARAKTERISTIK MATERIAL DAN *POWER DENSITY* KARBON AKTIF SEBAGAI BAHAN BAKAR *DIRECT CARBON FUEL CELL* (DCFC)


#### TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Teknik Material dan Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Oleh : **AHMAD FAHMI PRAKOSO**  
NRP. 0251184000082

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir:


1. Sutarsis S.T., M.Sc.Ph.D.

  
Pembimbing

2. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.

  
Ko-Pembimbing

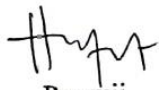
3. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng.),Ph.D.

  
Penguji

4. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D.

  
Penguji

5. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, ST, M.Sc.

  
Penguji



**SURABAYA**  
**Juli 2022**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## APPROVAL SHEET

### ANALYSIS OF $K_2CO_3$ CATALYST ON MATERIAL CHARACTERISTICS AND POWER DENSITY OF ACTIVE CARBON AS DIRECT CARBON FUEL CELL (DCFC) FUEL


#### FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements  
for obtaining a Bachelor's Degree in Engineering at  
Undergraduate Study Program of Materials and Metallurgical Engineering  
Department of Materials and Metallurgical Engineering  
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **AHMAD FAHMI PRAKOSO**  
NRP. 0251184000082

Approved by Final Project Examiner Team:


1. Sutarsis S.T., M.Sc.Ph.D.

  
Advisor


2. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.

  
Co-Advisor


3. Lukman Noerochim, S.T., M.Sc.(Eng), Ph.D.

  
Examiner

4. Azzah Dyah Pramata, S.T., M.T., M.Eng., Ph.D.

  
Examiner

5. Dr. Eng. Hosta Ardhyanta, ST, M.Sc.

  
Examiner



**SURABAYA**  
**July 2022**

*(This page is intentionally left blank)*

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Ahmad Fahmi Prakoso  
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi  
Dosen Pembimbing 1/NIP : Sutarsis S.T., M.Sc., Ph.D./197708172005011001  
Dosen Pembimbing 2/NIP : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng./19760410 2002121002

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Analisis Pengaruh Katalis  $K_2CO_3$  Terhadap Karakteristik Material dan *Power Density* Karbon Aktif sebagai Bahan Bakar *Direct Carbon Fuel Cell* (DCFC)” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 22 Juli 2022

Mengetahui  
Dosen Pembimbing

Mahasiswa,



(Sutarsis S.T., M.Sc., Ph.D.)  
NIP. 197708172005011001



(Ahmad Fahmi Prakoso)  
NRP. 0251184000082

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

Eng 197604

*(This page is intentionally left blank)*

**ANALISIS PENGARUH KATALIS  $K_2CO_3$  TERHADAP KARAKTERISTIK  
MATERIAL DAN *POWER DENSITY* KARBON AKTIF SEBAGAI BAHAN BAKAR  
*DIRECT CARBON FUEL CELL* (DCFC)**

**Nama Mahasiswa / NRP** : Ahmad Fahmi Prakoso/0251184000082  
**Departemen** : Teknik Material dan Metalurgi  
**Dosen Pembimbing 1** : Sutarsis S.T., M.Sc., Ph.D.  
**Dosen Pembimbing 2** : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.

**Abstrak**

Peningkatan konsumsi listrik di Indonesia tidak diimbangi dengan sumber penyedia listrik yang memadai. Indonesia saat ini bergantung pada pembangkit listrik tenaga batubara dimana pasokan yang dimiliki terus menipis. *Direct Carbon Fuel Cell* (DCFC) merupakan sebuah pembangkit listrik alternatif berbahan karbon yang bekerja dengan mengkonversi biomassa menjadi energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakterisasi dan nilai *power density* material karbon menggunakan metode aktivasi karbon dan *catalyst gasification* dengan variasi 5%, 8%, 10% katalis  $K_2CO_3$ . Pengujian karakterisasi dilakukan dengan menggunakan XRD, TGA, SEM-EDX, dan BET serta pengujian elektrokimia menggunakan OCV, *current density*, dan *power density*. Struktur morfologi pada karbon aktif-loaded 5%  $K_2CO_3$  menunjukkan adanya distribusi  $K_2O$  secara merata pada permukaan dengan kandungan sebesar 4.53%. Penambahan katalis  $K_2CO_3$  berdampak pada struktur yang lebih amorf dan membentuk  $K_2O$  dalam struktur karbon aktif. Pembentukan  $K_2O$  meningkatkan reaktivitas gasifikasi (*gassification reactivity* sebesar  $42 \times 10^{-5}$ ) dimana konversi karbon tercapai 70.5% pada temperatur 250 °C dengan penambahan optimal 5%. *Surface area* mengalami penurunan dengan penambahan  $K_2CO_3$  yang didapati sebesar 875 m<sup>2</sup>/g yang diakibatkan oleh adanya pelapisan yang terjadi pada permukaan struktur karbon. Nilai maksimal *power density* yang didapati jauh lebih tinggi (64.93 mW/cm<sup>2</sup>) dengan penggunaan katalis 8%  $K_2CO_3$  dibandingkan tanpa penggunaan katalis (13.26 mW/m<sup>2</sup>) yang diakibatkan oleh mekanisme *catalytic gasification* yang terjadi.

**Kata Kunci** : *Aktivasi Karbon, Catalytic Gasification, Direct Carbon Fuel Cell, Katalis  $K_2CO_3$ , Tempurung Kelapa*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



# ANALYSIS OF $K_2CO_3$ CATALYST ON MATERIAL CHARACTERISTICS AND POWER DENSITY OF ACTIVE CARBON AS DIRECT CARBON FUEL CELL (DCFC) FUEL

**Student Name / NRP** : Ahmad Fahmi Prakoso/0251184000082  
**Department** : Materials and Metallurgical Engineering  
**Advisor** : Sutarsis S.T., M.Sc., Ph.D.  
**Co-Advisor** : Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng.

## Abstract

The increase in electricity consumption in Indonesia was not matched by an adequate supply of electricity. Indonesia currently relies on coal-fired power plants where supplies were running low. Direct Carbon Fuel Cell (DCFC) as an alternative power plant made from carbon that works by converting biomass into electrical energy. This study aims to analyze the characterization and power density value of carbon material using carbon activation method and catalyst gasification with variations of 5%, 8%, 10%  $K_2CO_3$  catalyst. Characterization testing was carried out using XRD, TGA, SEM-EDX, and BET and electrochemical testing using OCV, current density, and power density. The morphological structure of activated carbon-loaded 5%  $K_2CO_3$  showed distribution of  $K_2O$  on the surface with a content of 4.53%. The addition of  $K_2CO_3$  catalyst has an impact on a more amorphous structure and forms  $K_2O$  in the structure of activated carbon. The formation of  $K_2O$  increases the gasification reactivity (gassification reactivity of  $42 \times 10^{-5}$ ) where the carbon conversion reached 70.5% at a temperature of  $250^\circ C$  with an optimal addition of 5%. The surface area decreased with the addition of  $K_2CO_3$  which was found to be  $875 \text{ m}^2/\text{g}$  caused by the coating that occurred on the surface of the carbon structure. The maximum power density was found higher ( $64.93 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ) with the use of 8%  $K_2CO_3$  as a catalyst than without the use of a catalyst ( $13.26 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ) due to the catalytic gasification mechanism.

**Keywords:** *Carbon Activation, Catalytic Gasification, Coconut Shell, Direct Carbon Fuel Cell (DCFC),  $K_2CO_3$  Catalyst*

*(This page is intentionally left blank)*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul, “**Analisis Pengaruh Katalis  $K_2CO_3$  terhadap Karakteristik Material dan *Power Density* Karbon Aktif sebagai Bahan Bakar *Direct Carbon Fuel Cell* (DCFC)**”. terselesaikannya laporan tugas akhir ini tidak luput dari dukungan, bantuan, motivasi serta partisipasi dari semua pihak, untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Sutarsis, ST., M.Sc.,Ph.D. dan Bapak Dr. Agung Purniawan, ST. M.Eng., selaku dosen pembimbing tugas akhir atas segala ilmu dan bimbingan yang telah diberikan selama pelaksanaan tugas akhir hingga laporan selesai.
2. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS.
3. Ibu Dian Mughni Fellicia, ST., M.Sc., selaku dosen wali penulis yang senantiasa memberikan arahan selama masa perkuliahan.
4. Bapak/Ibu Dosen yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis
5. Orang tua, keluarga, dan teman kuliah penulis yang selalu memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan semua pihak terkait.

Surabaya, 5 Juli 2022  
Penulis

Ahmad Fahmi Prakoso

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xv</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xxi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>3</b>
2.1 <i>Direct Carbon Fuel Cell</i> (DCFC) .....	3
2.1.1 Perbandingan performansi DCFC dengan <i>Fuel Cell</i> Lainnya .....	3
2.1.2 Prinsip Kerja dan Faktor Performansi DCFC.....	4
2.1.3 Jenis-jenis DCFC.....	4
2.1.4 Reaksi Elektrokimia .....	5
2.1.5 Larutan Elektrokimia.....	5
2.2 Tempurung Kelapa .....	5
2.3 Karbon Aktif .....	6
2.3.1 Dehidrasi .....	6
2.3.2 Karbonisasi.....	6
2.3.3 <i>Physical Activation</i> .....	7
2.3.4 <i>Chemical Activation</i> .....	7
2.3.5 <i>Physical-Chemical Activation</i> .....	8
2.4 <i>Catalytic Gasification</i> .....	8
2.5 Penelitian Sebelumnya .....	9
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>11</b>
3.1 Diagram Alir .....	11
3.1.1 Diagram Alir Aktivasi Karbon .....	12
3.1.2 Diagram Alir Pengujian Karbon Aktif .....	12
3.1.3 Diagram Alir Pembuatan dan Pengujian Karbon Aktif-Loaded $K_2CO_3$ .....	13
3.1.4 Diagram Alir Instrumen <i>Direct Carbon Fuel Cell</i> .....	13
3.2 Alat dan Bahan yang digunakan.....	14
3.2.1 Alat .....	14
3.2.2 Bahan.....	15
3.3 Metode Penelitian.....	15
3.3.1 Studi Literatur dan Persiapan Alat dan Bahan .....	15
3.3.2 Preparasi Karbon .....	15
3.3.3 Pembuatan Karbon Aktif dengan Metode <i>Chemical Activation</i> .....	15
3.3.4 Pembuatan Karbon Aktif-Loaded $K_2CO_3$ dengan Metode <i>Catalytic Gasification</i> .....	16
3.3.5 Preparasi Anoda dan Katoda .....	16
3.3.6 Proses <i>Assembly Direct Carbon Fuel Cell</i> (DCFC).....	16
3.4 Pengujian .....	18
3.4.1 Karakterisasi Material .....	18
3.4.2 Pengujian Elektrokimia .....	22
3.5 Rancangan Penelitian .....	22

<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>25</b>
4.1 Hasil Karakterisasi Material Karbon aktif dan Karbon Aktif-Loaded K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....	25
4.1.1 Pengujian XRD .....	25
4.1.2 Pengujian TGA .....	26
4.1.3 Pengujian SEM-EDX.....	28
4.1.4 Pengujian BET .....	30
4.2 Hasil Pengujian Performa Material Karbon aktif dan Karbon Aktif-Loaded K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> sebagai Bahan Bakar .....	31
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>35</b>
5.1 Kesimpulan .....	35
5.2 Saran.....	35
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>37</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>41</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>77</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>78</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Cara Kerja Berbagai Macam Tipe <i>Fuel Cell</i> .....	3
<b>Gambar 2.2</b>	Jenis-jenis DCFC.....	4
<b>Gambar 2.3</b>	Kesetimbangan Reaksi Boudard .....	5
<b>Gambar 2.4</b>	Mekanisme <i>Catalytic Gasification</i> .....	9
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Pengerjaan <i>Direct Carbon Fuel Cell</i> .....	11
<b>Gambar 3.2</b>	Diagram Alir Aktivasi Karbon .....	12
<b>Gambar 3.3</b>	Diagram Alir Pengujian Karbon Aktif. ....	12
<b>Gambar 3.4</b>	Diagram Alir Pembutan dan Pengujian Variasi Karbon Aktif-Loaded $K_2CO_3$ . ...	13
<b>Gambar 3.5</b>	Diagram Alir <i>Direct Carbon Fuel Cell</i> (Bagian 1). ....	13
<b>Gambar 3.6</b>	Diagram Alir <i>Direct Carbon Fuel Cell</i> (Bagian 2). ....	14
<b>Gambar 3.7</b>	Skema <i>Catalytic Gasification</i> .....	16
<b>Gambar 3.8</b>	Keramik Khusus DCFC Bagian Tutup Bawah. ....	16
<b>Gambar 3.9</b>	Keramik Khusus DCFC Bagian Tutup Atas. ....	17
<b>Gambar 3.10</b>	Skema Elektrokimia dalam DCFC .....	17
<b>Gambar 3.11</b>	Skema Kerja Sistem Alat DCFC .....	17
<b>Gambar 3.12</b>	Sistem Kerja SEM.....	18
<b>Gambar 3.13</b>	Pengujian SEM-EDX .....	18
<b>Gambar 3.14</b>	Sistem Kerja XRD.....	19
<b>Gambar 3.15</b>	Pengujian XRD. ....	20
<b>Gambar 3.16</b>	Pengujian TGA.....	20
<b>Gambar 3.17</b>	Pengujian BET .....	21
<b>Gambar 3.18</b>	Skema Kerja Pengujian BET.....	22
<b>Gambar 4.1</b>	Hasil Pengujian XRD pada Sampel Karbon Aktif dan Karbon Aktif-Loaded $K_2CO_3$ .....	25
<b>Gambar 4.2</b>	Ilustrasi mekanisme reaksi $K_2CO_3$ dengan permukaan karbon.....	26
<b>Gambar 4.3</b>	Hasil Pengujian TGA pada sampel karbon aktif dan karbon aktif-Loaded $K_2CO_3$ .....	26
<b>Gambar 4.4</b>	Hasil <i>Carbon Conversion</i> pada Sampel Karbon Aktif dan Karbon Aktif-Loaded $K_2CO_3$ .....	27
<b>Gambar 4.5</b>	<i>Gasification Reactivity</i> terhadap Penambahan Katalis $K_2CO_3$ .....	28
<b>Gambar 4.6</b>	Hasil Pengujian SEM pada Sampel Karbon Aktif dengan Perbesaran Gambar 20x- 1 $\mu$ m (A) dan 50x-200nm (B) serta Sampel Karbon Aktif-Loaded 5% $K_2CO_3$ dengan perbesaran Gambar 20x- 1 $\mu$ m (C) dan 50x-200nm (D) .....	28
<b>Gambar 4.7</b>	Skema Penempelan $K_2CO_3$ (A) dan Pembentukan $K_2O$ (B) pada Permukaan Karbon Aktif .....	29
<b>Gambar 4.8</b>	Pengujian OCV pada Karbon Aktif (A), Karbon Aktif-Loaded 5% $K_2CO_3$ (B), dan Karbon Aktif-Loaded 8% $K_2CO_3$ (C) .....	31
<b>Gambar 4.9</b>	Pengujian <i>Current Density</i> pada Karbon Aktif (A), Karbon Aktif-Loaded 5% $K_2CO_3$ (B), dan Karbon Aktif-Loaded 8% $K_2CO_3$ (C) .....	32
<b>Gambar 4.10</b>	Pengujian <i>Power Density</i> pada karbon aktif (A), karbon aktif-Loaded 5% $K_2CO_3$ (B), dan Karbon Aktif-Loaded 8% $K_2CO_3$ (C) .....	33

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Perbandingan Tipe-tipe <i>Fuel Cell</i> AFC, PEMFC, dan PAFC.....	3
<b>Tabel 2.2</b>	Perbandingan MCFC, SOFC, dan DCFC.....	4
<b>Tabel 2.3</b>	Jenis Proses Pirolisis (Seri Maulina & Feni Sari Putri, 2017) .....	7
<b>Tabel 2.4</b>	Nilai <i>Power Density</i> berdasarkan Modifikasi Bahan Bakar.....	8
<b>Tabel 2.5</b>	Perbandingan Penelitian Sebelumnya dalam DCFC .....	10
<b>Tabel 3.1</b>	Rancangan Penelitian .....	22
<b>Tabel 3.2</b>	Rancangan Penelitian Performansi DCFC untuk Pengujian Elektrokimia .....	22
<b>Tabel 4.1</b>	Komposisi Permukaan dengan Pengujian EDX pada Sampel Karbon Aktif dan Karbon Aktif-Loaded 5% K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....	30
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil Pengujian BET dengan Nilai <i>surface area</i> pada Sampel Karbon Aktif dan Karbon Aktif-Loaded 5% K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....	30
<b>Tabel 4.3</b>	Perbandingan Hasil Aktivasi pada Berbagai Macam Material Biomassa.....	30
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil Pengujian BET dengan Nilai <i>Average Pore width</i> , <i>Total Pore Volume</i> , dan <i>Pore Size Distribution</i> pada Karbon Aktif-Loaded 5% K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> .....	31

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Konsumsi listrik Indonesia terus mengalami kenaikan dimana pada kuartal 3 tahun 2021 pemakaian listrik telah mencapai 1109 kWh/kapita (ESDM, 2021). Tingginya kebutuhan listrik tidak diimbangi oleh kehadiran pasokan listrik yang memadai. Pasokan listrik Indonesia terus menipis dikarenakan ketiadaan pasokan bahan bakar batu bara yang dibutuhkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) (IESR, 2021). Penggunaan batu bara sebagai sumber listrik memiliki efek yang berbahaya diantaranya menyumbangkan 44% dari total emisi CO<sub>2</sub> dunia sehingga meningkatkan pemanasan global, sumber terbesar emisi *Green House Gas* (GHG) yang memicu perubahan iklim, serta memancarkan sejumlah polutan berbahaya (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, dan PM 2.5) yang mengancam kesehatan manusia (*Greenpeace* Indonesia, 2015).

Pemerintah Indonesia terus berupaya dalam menanggulangi kebutuhan listrik dengan Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) merencanakan target bauran energi pembangkit hingga akhir 2025 untuk batubara sebesar 54,4%, Energi Baru Terbarukan (EBT) 23,0%, gas 22,2% dan Bahan Bakar Minyak (BBM) 0,4% (ESDM, 2018). Namun, infrastruktur serta kesiapan teknologi yang ada di Indonesia masih membutuhkan waktu yang cukup lama dalam pengimplementasian EBT. Oleh karena itu, kebutuhan akan sebuah teknologi tepat guna yang dapat menjadi sebuah alternatif dalam penggunaan batu bara serta memiliki kemampuan mumpuni untuk menghasilkan listrik.

*Direct Carbon Fuel Cell* (DCFC) merupakan sebuah perangkat yang menghasilkan listrik menggunakan *solid carbon* sebagai bahan bakar dengan mengkonversi energi melalui proses oksidasi langsung elektrokimia. DCFC memiliki efisiensi termal mencapai 80-60% yang disebabkan oleh perubahan entropi negatif dalam reaksi serta efisiensi sistem (Giddey *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2010). Emisi yang dihasilkan berupa gas CO<sub>2</sub> yang tidak memerlukan pengolahan limbah lebih lanjut dan dapat disimpan sehingga dapat mengurangi biaya produksi dan efisien (Yu *et al.*, 2021). Bahan bakar yang digunakan dalam DCFC tidak hanya batu bara saja, akan tetapi bervariasi dan melimpah seperti kokas, tar, biomassa, dan sampah organik (Giddey *et al.*, 2012). DCFC saat ini masih berada dalam fase pengembangan baik dari anoda, katoda, elektrolit, sistem, serta bahan bakar karbon yang digunakan.

Penelitian ini berfokus dalam pengembangan bahan bakar untuk meningkatkan performa listrik dari DCFC. Performa bahan bakar dipengaruhi oleh struktur, derajat kristalinitas, *wettability*, konduktivitas listrik, ukuran partikel, distribusi ukuran pori, luas permukaan, gugus fungsi permukaan (sifat dan derajat fungsionalisasi), dan konsentrasi pengotor (Giddey *et al.*, 2012). Performa penggunaan karbon tanpa melakukan treatment didapati menunjukkan hasil kurang maksimal dimana grafit (15 mW cm<sup>-2</sup>) dan biochar (25.15 mW cm<sup>-2</sup>) hanya menghasilkan *power density* yang rendah (Ahn *et al.*, 2013; Bie *et al.*, 2020). Pengembangan lalu dilanjutkan dengan penggunaan metode aktivasi karbon yang bertujuan meningkatkan porositas dan luas permukaan sehingga berdampak pada konduktivitas listrik dari material karbon. Akan tetapi, hasil yang didapat (56 mW cm<sup>-2</sup>) masih rendah dari target komersialisasi alat<sup>8</sup>. Para peneliti melakukan metode lainnya untuk dapat meningkatkan kembali mengenalkan metode baru yaitu *catalyst gasification* yang dapat beroperasi stabil ketika reaksi *reverse* Boudouard berjalan cepat dengan reaksi oksidasi elektrokimia hampir memiliki kecepatan yang sama. Oksidasi elektrokimia dan reaksi *reverse* Boudouard yang cepat akan meningkatkan performansi dari listrik yang dihasilkan (Yu *et al.*, 2021). Penggunaan *catalyst gasification* dengan nilai tertinggi yang dihasilkan mencapai 1477 mW/cm<sup>-3</sup> menggunakan katalis K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (Li *et al.*, 2010).

Berdasarkan pemaparan yang telah diberikan, diperlukan penelitian lebih lanjut dalam pengembangan bahan bakar karbon dengan proses aktivasi serta *catalyst gasification*

menggunakan katalis  $K_2CO_3$  untuk menciptakan teknologi tepat guna yang dapat menghasilkan listrik dalam jumlah besar sehingga dapat memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia.

### 1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengidentifikasi karbon aktif dari karakteristik yang dimiliki menggunakan metode aktivasi karbon dan metode *catalyst gasification* menggunakan katalis  $K_2CO_3$ ?
2. Bagaimana pengaruh metode aktivasi karbon dan metode *catalyst gasification* menggunakan katalis  $K_2CO_3$  pada material karbon terhadap *power density* yang dihasilkan?

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Fluktuasi temperatur dalam keramik DCFC diabaikan.
2. Pengaruh pengotor dalam keramik DCFC diabaikan.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dijabarkan sebagai berikut:

1. Menganalisis karakteristik material pada karbon aktif dengan penggunaan metode aktivasi karbon dan metode *catalyst gasification* menggunakan katalis  $K_2CO_3$ .
2. Menganalisis pengaruh metode aktivasi karbon dan metode *catalyst gasification* menggunakan katalis  $K_2CO_3$  pada material karbon terhadap *power density* yang dihasilkan.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat sebagai sebuah permulaan dalam pengembangan teknologi tepat guna yaitu DCFC menggunakan bahan bakar alternatif tempurung kelapa dengan perlakuan aktivasi dan *catalyst gasification* guna menciptakan sumber energi listrik alternatif.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Direct Carbon Fuel Cell (DCFC)

#### 2.1.1 Perbandingan performansi DCFC dengan Fuel Cell Lainnya

Perkembangan masa telah menciptakan berbagai macam eksplorasi dalam penelitian terhadap *fuel cell*. *Fuel cell* biasanya ditentukan oleh jenis elektrolit atau bahan bakar yang digunakan. *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) menggunakan elektrolit polimer untuk menghantarkan proton sedangkan *Direct Methanol Fuel Cell* (DMFC) menggunakan membran yang sama seperti PEMFC namun dinamai sesuai bahan bakar yang digunakan untuk membedakannya dari PEMFC.

Fuel Cell	Fuel / Anod. Reaction	Electrolyte	Oxidant / Cath. Reaction	T, °C
PEMFC	$H_2 = 2H^+ + 2e^-$	PEM $H^+ \rightarrow$	Air as oxidant $\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- = H_2O$	60 - 120
DMFC	$CH_3OH + H_2O = CO_2 + 6H^+ + 6e^-$	PEM $H^+ \rightarrow$	Air as oxidant $\frac{3}{2} O_2 + 6H^+ + 6e^- = 3H_2O$	60 - 120
AFC	$H_2 + 2OH^- = 2H_2O + 2e^-$	KOH $OH^- \leftarrow$	Air as oxidant $\frac{1}{2} O_2 + H_2O + 2e^- = 2OH^-$	<100
PAFC	$H_2 = 2H^+ + 2e^-$	$H_3PO_4$ $H^+ \rightarrow$	Air as oxidant $\frac{1}{2} O_2 + 2H^+ + 2e^- = H_2O$	160 - 220
MCFC	$H_2 + CO_3^{2-} = H_2O + CO_2 + 2e^-$	Molten Carbonate $CO_3^{2-} \leftarrow$	Air as oxidant $\frac{1}{2} O_2 + CO_2 + 2e^- = CO_3^{2-}$	600 - 800
SOFC	$H_2 + O^{2-} = H_2O + 2e^-$	$O^{2-}$ -conducting ceramic $O^{2-} \leftarrow$	Air as oxidant $\frac{1}{2} O_2 + 2e^- = O^{2-}$	800 - 1000
DCFC	Carbon	Molten salt, or $O^{2-}$ -conducting ceramic	Air as oxidant	500 - 1000

**Gambar 2. 1** Cara Kerja Berbagai Macam Tipe Fuel Cell (Giddey et al., 2012)

*Alkaline Fuel Cell* (AFC) menggunakan larutan pekat kalium hidroksida (KOH) sebagai elektrolit sedangkan *Phosphor Acid Fuel Cell* (PAFC) menggunakan Asam fosfat ( $H_3PO_4$ ). *Molten Carbonate Fuel Cell* (MCFC) menggunakan karbonat cair sebagai elektrolit untuk menghantarkan ion karbonat. *Solid Oxide Fuel Cells* (SOFC) terdiri dari elektrolit padat penghantar ion oksigen (tebal puluhan mikron) seperti zirkonia yang sebagian atau seluruhnya stabil yang didoping dengan 3-10 mol%  $Y_2O_3$ . *Direct Carbon Fuel Cell* (DCFC) menggunakan berbagai macam elektrolit baik *molten carbonate*, *molten hydroxide*,  *$O^{2-}$ -conducting ceramic*.

**Tabel 2. 1** Perbandingan Tipe-tipe Fuel Cell AFC, PEMFC, dan PAFC (Giddey et al., 2012)

Parameter	AFC	PEMFC	PAFC
Efisiensi Elektrik (%)	45-60	40-45	40-45
Insulasi Thermal	Rendah	Rendah	Menengah
Sensitivitas Pengotor	$CO_2$ , CO, S	S, CO (20 ppm)	S
Siklus Thermal	Tidak terbatas	Tidak terbatas	Baik
Start-Up/Shut-Down	Sangat Cepat (detik)	Sangat Cepat (detik)	Lambat (jam)

*Fuel cell* juga dapat diklasifikasikan berdasarkan suhu operasinya yaitu suhu rendah (AFC dan PEMFC), suhu sedang (PAFC), dan suhu tinggi (MCFC, DCFC dan SOFC) (Tabel 2.1 dan Tabel 2.2). Gambar 2.1 menggambarkan berbagai jenis *fuel cell* dan sifat-sifatnya seperti bahan bakar dan oksidan, reaksi anodik dan katodik, elektrolit, dan rentang suhu operasi.

Berbagai jenis *fuel cell* memiliki kelebihan dan kekurangannya masing masing seperti yang telah digambarkan pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2. DCFC memiliki kelebihan dimana efisiensi

elektrik yang tinggi dibandingkan *fuel cell* lainnya dengan siklus thermal yang baik. Akan tetapi DCFC masih memiliki berbagai kekurangan dimana proses *start-up/shut-down* berjalan dengan cukup lama, temperatur yang digunakan sangat tinggi, dan masih belum memiliki kelayakan sebagai *fuel cell* yang digunakan di industri. DCFC dengan MCFC dan SOFC masih menyisakan emisi karbon sedangkan PEMFC, DMFC, AFC, PAFC tidak memiliki emisi berbahaya sebagai hasil dari produk (Giddey *et al.*, 2012).

**Tabel 2. 2** Perbandingan MCFC, SOFC, dan DCFC (Giddey *et al.*, 2012)

Parameter	MCFC	SOFC	DCFC
Efisiensi Elektrik (%)	45-55	40-50	>80
Insulasi Thermal	Tinggi	Tinggi	Tinggi
Sensitivitas Pengotor	S	S	Tidak diketahui
Siklus Thermal	Terbatas	Terbatas	Terbatas
<i>Start-Up/Shut-Down</i>	Beberapa (jam)	Beberapa (jam)	Beberapa (jam)

### 2.1.2 Prinsip Kerja dan Faktor Performansi DCFC

*Direct Carbon Fuel Cell* (DCFC) merupakan sebuah perangkat yang menghasilkan listrik melalui oksidasi elektrokimia dengan mengubah karbon padat (C) menjadi gas karbondioksida (CO<sub>2</sub>) (X. Zhang, 2018). Perangkat ini bekerja dengan bagian yang terdiri dari katoda dan anoda yang dipisahkan oleh elektrolit penghantar ion berupa isolator berbentuk padat. Ruang anoda disuplai dengan bahan bakar padat yang bereaksi langsung pada elektroda untuk membentuk produk gas buang (Giddey *et al.*, 2012). Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam performansi DCFC antara lain (Giddey *et al.*, 2012):

1. Struktur karbon dan derajat kristalinitas karbon.
2. Keterbasahan bahan bakar karbon dalam kasus media cair berbasis DCFC.
3. Konduktivitas listrik karbon.
4. Ukuran partikel, distribusi ukuran pori dan luas permukaan.
5. Gugus fungsi permukaan (sifat dan derajat fungsionalisasi).
6. Jenis pengotor dan konsentrasinya.

### 2.1.3 Jenis-jenis DCFC

	Fuel / Anode	Electrolyte	Cathode	T, °C
	Solid graphite rod as fuel & anode $C + 4OH^- = 2H_2O + CO_2 + 4e^-$	Molten Hydroxides $OH^- \leftarrow$	Air as oxidant $O_2 + 2H_2O + 4e^- = 4OH^-$	500 – 600
	Carbon particles as fuel in MC & anode $C + 2CO_3^{2-} = 3CO_2 + 4e^-$	Molten Carbonates $CO_3^{2-} \leftarrow$	Air as oxidant $O_2 + 2CO_2 + 4e^- = 2CO_3^{2-}$	800
Concept1	Carbon particles in a fluidised bed $C + 2O^{2-} = CO_2 + 4e^-$	Oxygen ion conducting ceramic electrolyte $O^{2-} \leftarrow$	Air as oxidant $O_2 + 4e^- = 2O^{2-}$	700 – 900
Concept2	Molten tin + C $Sn + 2O^{2-} = SnO_2 + 4e^-$ $SnO_2 + C = Sn + CO_2$		Air as oxidant $O_2 + 4e^- = 2O^{2-}$	
Concept3	Molten salt + C particles $C + 2O^{2-} = CO_2 + 4e^-$		Air as oxidant $O_2 + 4e^- = 2O^{2-}$	

**Gambar 2. 2** Jenis-jenis DCFC (Giddey *et al.*, 2012).

Ada tiga kelompok dasar DCFC yang sedang dikembangkan, dibedakan berdasarkan jenis elektrolit yang digunakan (*molten hydroxide*, *molten carbonate*, dan *solid oxygen ion conducting ceramic*) seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.2 (Giddey *et al.*, 2012). Selain penggunaan elektrolit yang berbeda, ada adalah sub-kategori lebih lanjut dari DCFC yang berbeda dalam bahan

dan desain ruang anoda. Berbagai keluarga dan sub-kelompok sel bahan bakar tercantum di bawah ini:

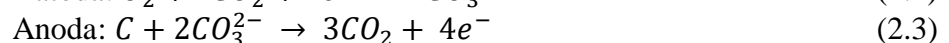
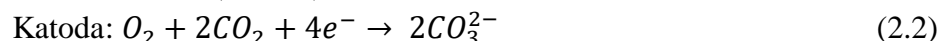
1. *Aqueous hydroxide* (temperatur operasi <250 C).
2. *Molten hydroxide* (temperatur operasi 500-600 C).
3. *Molten carbonate* (temperatur operasi 750-800 C).
4. *Oxygen ion-conducting ceramic* (temperatur operasi 500-1000 C).
  - a. *Fluidised bed* (kontak langsung antara partikel karbon dengan anoda).
  - b. *Molten metal anode* (Karbon berkontak dengan *molten metal anode*).
  - c. *Molten salt* (partikel karbon tersuspensi dalam *slurry*).

#### 2.1.4 Reaksi Elektrokimia

Reaksi Elektrokimia yang terjadi dalam DCFC jenis *molten carbonate* (2.1):



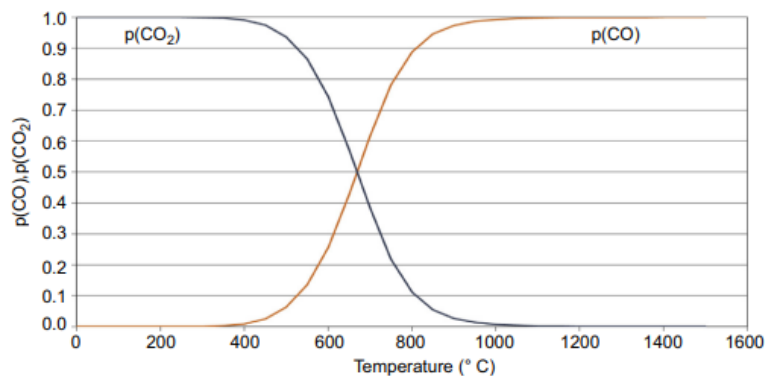
dengan reaksi setengah sel keseluruhan (2.2-2.3):



Reaksi yang terjadi dalam DCFC tak terlepas dari pengaruh reaksi *Boudouard*, dimana reaksi tersebut adalah (2.4):



Keberlangsungan reaksi *Boudouard* (2.4) digambarkan pada Gambar 2.3 bahwa akan CO terurai menjadi C dan CO<sub>2</sub> pada suhu rendah (<500°C). Pada temperatur yang lebih tinggi (500-800 °C), terdapat sejumlah besar CO dan CO<sub>2</sub> sedangkan temperatur di atas 1000 °C hampir semua CO<sub>2</sub> bereaksi dengan C membentuk gas CO. CO<sub>2</sub> dapat bereaksi dengan partikel C melalui reaksi *Boudouard* yang bersifat endotermik. Hal ini berakibat pada peningkatan reaksi CO<sub>2</sub> dengan C sehingga konsumsi C dan kandungan CO meningkat. Reaksi *Boudouard* dipengaruhi oleh reaktivitas bahan karbon, kandungan CO<sub>2</sub> gas, dan distribusi pemanasan (Tangstad *et al.*, 2018)



Gambar 2. 3 Kesetimbangan Reaksi *Boudouard* (Tangstad *et al.*, 2018)

#### 2.1.5 Larutan Elektrokimia

Penggunaan larutan elektrokimia berbeda-beda pada setiap jenis DCFC. Berbagai penggunaan larutan elektrokimia dijabarkan sebagai berikut (Giddey *et al.*, 2012):

1. *Aqueous Hydroxide* menggunakan berbagai elektrolit berair yang merupakan berbagai campuran kalium, magnesium, natrium, litium, dan sesium hidroksida.
2. *Molten Hydroxide* menggunakan natrium hidroksida dan kalium hidroksida.
3. *Molten Carbonates* menggunakan campuran lithium dan kalium karbonat.

## 2.2 Tempurung Kelapa

Kelapa banyak di budidayakan di Indonesia dengan luas lahan mencapai 3,4 juta ha lahan di 34 provinsi di Indonesia, menghasilkan 14,3 miliar buah atau 2,85 juta kopra per tahun pada tahun 2017. Produk kelapa yang diproduksi dan diperdagangkan di Indonesia untuk konsumsi lokal dan sebagai produk ekspor berasal dari tempurung kelapa (sabut kelapa, benang sabut, dan tikar), air

kelapa (minuman kelapa dan *nata de coco*), daging kelapa (minyak kelapa, *virgin coconut oil*, tepung kelapa, dan santan), tempurung kelapa (arang, karbon aktif, kerajinan), sabut kelapa (keset dan pengisi jok mobil), dan batang kelapa (mebel dan rumah) (Alouw & Wulandari, 2020).

Tempurung kelapa memiliki potensi untuk diolah menjadi karbon aktif dikarenakan mudah diperoleh, murah, struktur padat (*dense*), kadar abu rendah, dan kekuatan tinggi (Deng *et al.*, 2021). Selain itu, tempurung kelapa merupakan prekursor potensial untuk produksi karbon aktif karena menyumbang 35% dari massa buah. Pengolahan tempurung kelapa menjadi karbon aktif memiliki luas permukaan yang tinggi dengan nilai berkisar 1000-2825 m<sup>2</sup>/g (Cazetta *et al.*, 2011).

### 2.3 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan sebuah senyawa karbon yang memiliki struktur amorf dengan luas permukaan dan kapasitas adsorpsi yang tinggi (Cazetta *et al.*, 2011). Senyawa ini memiliki berbagai macam pengaplikasian diantaranya *water treatment*, *wastewater treatment*, *air purification*, dan lainnya. Porositas dalam karbon aktif digolongkan dengan ukuran pori makro > 25 nm, 1 nm < mesopori < 25 nm, pori mikro < 1 nm. Pembuatan karbon aktif terbagi menjadi dua bagian yaitu *physical activation* dan *chemical activation* (Heidarinejad *et al.*, 2020).

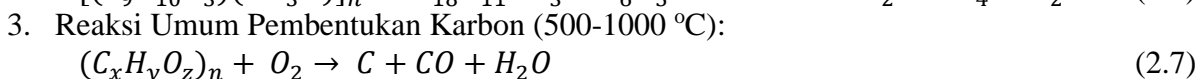
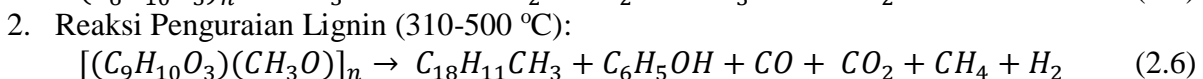
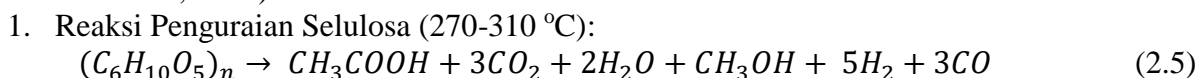
#### 2.3.1 Dehidrasi

Dehidrasi merupakan proses pengurangan kadar air di dalam karbon aktif untuk menyempurnakan proses karbonisasi. Pengeringan bahan baku dengan sinar matahari dan dilanjutkan pengeringan oven dalam penerapan proses ini (Ramadhani *et al.*, 2020).

#### 2.3.2 Karbonisasi

Karbonisasi merupakan suatu proses pembakaran bahan organik yang ada di dalam tempurung kelapa dengan tujuan mendekomposisi material organik dan mengeluarkan zat-zat pengotor dalam bahan tersebut. Pengeluaran material organik dan zat-zat pengotor menjadi uap menyebabkan terbentuknya pori-pori sehingga terjadi perubahan struktur pori.

Penguraian bahan-bahan organik yang terkandung dalam tempurung kelapa mempunyai beberapa tahapan proses yaitu dimulai dengan penguapan air pada temperatur 100-120°C kemudian terjadi proses penguraian selulosa menjadi larutan piroglinat gas kayu dan sedikit tar pada temperatur 270-310°C setelah itu terjadi proses penguraian lignin sehingga dihasilkan lebih banyak tar sedangkan larutan piroglinat dan gas CO<sub>2</sub> menurun. Gas CH<sub>4</sub>, CO dan H<sub>2</sub> meningkat pada temperatur 310-500°C, tahap pemurnian arang atau peningkatan kadar karbon terjadi pada temperatur 500-1000°C, tahap pemurnian arang atau peningkatan kadar karbon terjadi pada temperatur 500-1000°C. Reaksi yang terjadi pada proses karbonisasi yaitu (2.5-2.8) (Seri Maulina & Feni Sari Putri, 2017):



Konversi zat organik menjadi karbon atau residu yang mengandung karbon dapat dilakukan melalui dua proses yaitu pirolisis dan destilasi kering (Ramadhani *et al.*, 2020).

##### 2.3.2.1 Pirolisis

Pirolisis merupakan proses konversi termal dengan biomassa diperlakukan dalam kondisi atmosfer inert. Proses ini menghasilkan padatan berupa *biochar*, cairan berupa campuran tar (*bio-oil*) dan gas (Seri Maulina & Feni Sari Putri, 2017). Produk sampingan dalam proses pirolisis diantaranya gas metana (CH<sub>4</sub>), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), dan beberapa gas lainnya dalam komposisi yang relatif kecil. Pirolisis dilakukan dengan tingkat pemanasan lambat dengan dua tahap. Tahap pertama yaitu dekomposisi biomassa (122°C-202°C) terjadi pengurangan air, kerusakan ikatan, munculnya radikal bebas, dan pembentukan kelompok karbonil, karboksil, dan hidroperoksida.



Tahap kedua, terjadi dekomposisi padat sesuai dengan proses pirolisis utama yang berlangsung pada pemanasan tingkat tinggi dan pembentukan produk pirolisis. Pada tahap ketiga, *char* terurai pada tingkat pemanasan yang sangat lambat dan terbentuk residu padat yang kaya karbon (Demirbaş & Arin, 2002). Beberapa jenis pirolisis dapat dilihat pada Tabel 2.3 (Ramadhani *et al.*, 2020).

**Tabel 2. 3** Jenis Proses Pirolisis (Seri Maulina & Feni Sari Putri, 2017)

Proses	Produk (%)		
	Cair	Arang	Gas
Pirolisis Cepat Temperatur 400-700°C Waktu tinggal uap panas pendek (<2 detik)	75	12	13
Pirolisis Menengah Temperatur 500°C Waktu tinggal uap panas sedang	50	25	25
Pirolisis Lambat Temperatur 350-400°C Waktu tinggal uap panas yang lebih lama	30	35	35

### 2.3.2.2 Destilasi Kering

Destilasi kering adalah proses pembuatan karbon secara tidak langsung atau bisa disebut pengarangan. Pengarangan diartikan sebagai pemanasan bahan-bahan organik pada temperatur tertentu dengan bantuan oksigen dengan jumlah terbatas di dalam furnace. Proses pengarangan umumnya dilakukan pada temperatur 400-900°C, lalu hasil proses ini didinginkan dan dicuci untuk menghilangkan dan mendapatkan kembali bahan pengaktif. Setelah itu, dilakukan penyaringan dan pengeringan. Proses pengarangan dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain sebagai berikut (Dewi *et al.*, 2009):

#### 1. Temperatur.

Temperatur pada proses ini sangat berpengaruh pada rendemen karbonisasi. Semakin tinggi temperatur, maka arang hasil karbonisasi akan semakin sempurna tetapi jumlah arang yang didapatkan semakin sedikit sedangkan hasil cairan dan gas semakin banyak. Hal ini disebabkan oleh makin banyaknya zat-zat terurai dan yang teruapkan.

#### 2. Waktu karbonisasi.

Waktu juga berpengaruh pada karbonisasi. Semakin lama waktu karbonisasi maka semakin lama reaksi sehingga reaksi lebih sempurna yang akan menyebabkan hasil arang semakin turun tetapi cairan dan gas makin meningkat. Waktu karbonisasi berbeda beda tergantung pada sifat fisik dan jumlah bahan baku yang dipakai.

### 2.3.3 Physical Activation

Metode ini menggunakan 2 proses pengerjaan, yaitu (Heidarinejad *et al.*, 2020):

1. Pirolisis di atmosfer netral.
2. Aktivasi gas pengoksidasi seperti uap, karbon dioksida, karbon dioksida dan nitrogen atau campuran udara dengan peningkatan temperatur pada kisaran 800-1100 °C.

Kelebihan penggunaan metode ini diantaranya struktur berpori dan kekuatan fisik yang baik, murah, dan dianggap ramah lingkungan karena tanpa menggunakan bahan kimia. Namun, metode ini memiliki kekurangan yaitu waktu aktivasi yang lama, kapasitas adsorpsi yang rendah, konsumsi energinya tinggi.

### 2.3.4 Chemical Activation

Metode ini biasanya digunakan untuk mengolah biomassa yang mengandung selulosa seperti tempurung kelapa, kayu, dan lainnya menjadi karbon aktif. Metode ini bekerja dengan cara bahan baku dicuci dan dikeringkan lalu dijenuhkan dengan bahan kimia pengoksidasi dan sangat dehidrasi. Dehidrasi merupakan proses penghilangan air yang terdapat dalam bahan baku karbon aktif. Bahan kimia yang digunakan dalam aktivasi karbon terdiri atas  $H_3PO_4$ ,  $NaOH$ ,  $K_2CO_3$ ,

ZnCl<sub>2</sub>, KOH, dan bahan aktivasi kimia lainnya. Setelah proses impregnasi, suspensi dikeringkan dan sisa campuran dipanaskan dengan waktu tertentu. Proses aktivasi memerlukan pemanasan dengan temperatur 400-900 °C yang berguna untuk mendegradasi selulosa. Proses terakhir dari aktivasi karbon adalah proses pencucian menggunakan bahan kimia (HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, dan lainnya) dan *distilled water* lalu dikeringkan (Heidarinejad *et al.*, 2020).

### 2.3.5 Physical-Chemical Activation

Aktivasi kimia-fisika merupakan gabungan antara aktivasi kimia dan aktivasi fisika yang dilakukan melalui beberapa tahapan proses yang membuat proses lebih lama. Pada tahapan proses ini, dilakukan perlakuan awal pada bahan baku hingga menjadi material berkarbon, kemudian material tersebut dicampurkan dengan aktivator kimia dalam suatu reaktor berpengaduk dalam kondisi yang telah ditentukan dan dilakukan pencucian setelahnya. Setelah itu proses dilanjutkan dengan aktivasi fisika, yaitu pemanasan karbon dengan kondisi proses tertentu yang dilakukan pada suatu reaktor panas seperti *furnace* atau kiln. Proses ini tergolong lama dan rumit, ditambah penggunaan alat yang relatif banyak (Ramadhani *et al.*, 2020).

## 2.4 Catalytic Gasification

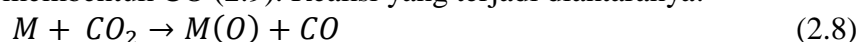
Bahan bakar menjadi sebuah komponen utama dalam *Direct Carbon Fuel Cell* (DCFC) dikarenakan berperan sebagai sumber dalam konversi energi listrik. Interaksi antara bahan bakar dengan gasifikasi *Boudouard* yang terjadi dalam reaksi DCFC menjadi salah satu indikator penting untuk menentukan hasil listrik yang dihasilkan. Bahan bakar dengan reaktivitas rendah terhadap gasifikasi *Boudouard* tidak akan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kinerja sel melalui reaksi gasifikasi. Ketika reaksi *reverse Boudouard* berjalan cepat dengan reaksi oksidasi elektrokimia hampir memiliki kecepatan yang sama maka akan menciptakan sebuah sistem yang stabil dan menghasilkan listrik yang tinggi. Oksidasi elektrokimia dan reaksi *reverse Boudouard* yang cepat akan meningkatkan performansi dari listrik yang dihasilkan (Yu *et al.*, 2021).

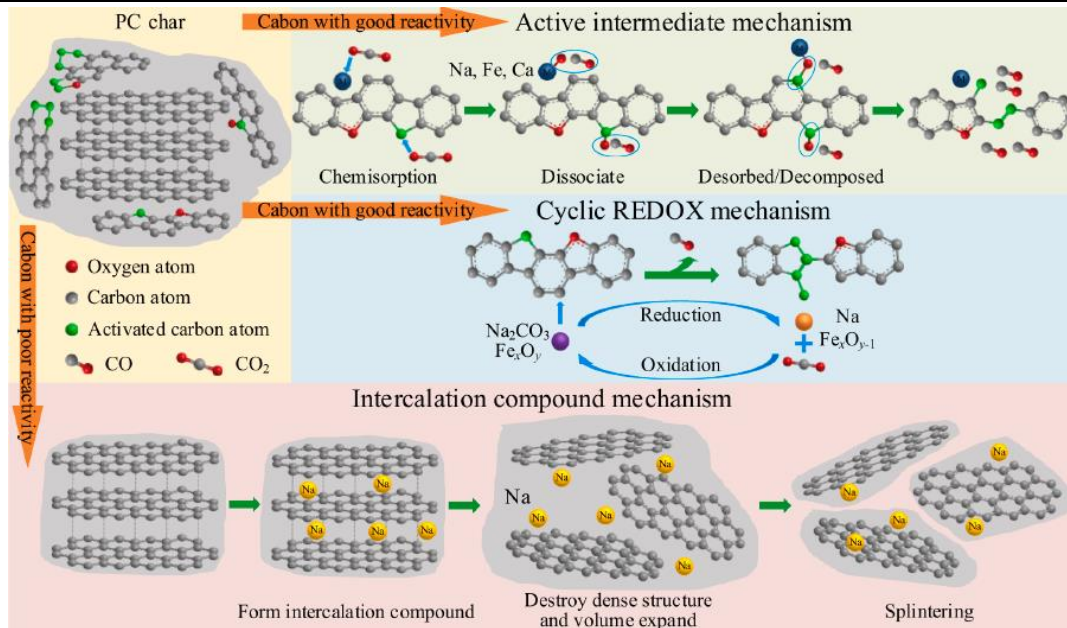
*Catalytic gasification* merupakan sebuah teknik dalam melapisi sebuah karbon dengan melekatkan kandungan anorganik pada permukaan karbon (Rady *et al.*, 2016). Kandungan anorganik berperan dalam mempengaruhi kinetika gasifikasi *Boudouard* melalui katalisis. Kandungan anorganik yang digunakan bermacam-macam diantaranya Li, K, Ca, Fe, Na, dan lainnya (Li *et al.*, 2010; Rady *et al.*, 2016; Yang *et al.*, 2021). Komparasi berdasarkan nilai *power density* yang dihasilkan menunjukkan hasil lebih baik dibandingkan dengan karbon dan aktivasi karbon (Tabel 2.4).

**Tabel 2. 4** Nilai *Power Density* berdasarkan Modifikasi Bahan Bakar

Bahan Bakar	Nilai <i>Power Density</i> (mW/cm <sup>2</sup> )	Refrensi
Grafit	15	
<i>Activated Carbon-Coconut Shell</i>	56	(Bie <i>et al.</i> , 2020)
<i>K-loaded carbon black</i>	1477	
<i>Ni-loaded carbon black</i>	1123	(Yu <i>et al.</i> , 2021)
<i>Na-loaded carbon black</i>	1034	

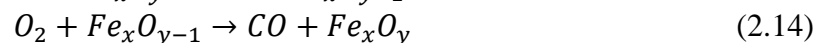
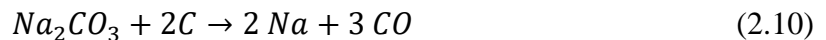
*Catalytic gasification* bekerja dengan 3 cara yaitu *active intermediate mechanism*, *cyclic redox mechanism*, *intercalation compound mechanism* (Gambar 2.4). Cara pertama, yaitu *active intermediate mechanism*, menggunakan katalis berupa logam alkali, *iron-based*, dan CaO untuk merusak ikatan C=O dan mengikat unsur oksigen pada gas CO<sub>2</sub> (2.8). Logam katalis akan bergabung dengan atom C di material karbon pada saat yang sama untuk membentuk intermediet aktif M-O-C. Ikatan M-O-C mengubah distribusi elektron atom C, mengurangi kekuatan ikatan C-C, dan mudah putus untuk membentuk CO (2.9). Reaksi yang terjadi diantaranya:





**Gambar 2. 4** Mekanisme *Catalytic Gasification* (Yang *et al.*, 2021)

Cara kedua, yaitu *cylic redox mechanism*, bekerja berbeda pada setiap katalis yang digunakan. Lelehan katalis  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  bekerja dengan langsung bereaksi dengan atom karbon (2.10-2.12). Untuk oksida logam, oksigen kisi internal berpartisipasi dalam reaksi disertai dengan perubahan valensi logam (2.13). Oksida Fe pertama-tama akan kehilangan sebagian oksigen kisi menjadi oksida bervalensi rendah atau bahkan Fe dengan dua kemungkinan jalur transformasi:  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{Fe}$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 \rightarrow \text{FeO} \rightarrow \text{Fe}$  (2.12). Lalu unsur oksigen kemudian didapatkan kembali dari  $\text{CO}_2$  dan direduksi menjadi Fe bervalensi tinggi (Reaksi 2.14). Reaksi yang terjadi yaitu:



Cara ketiga, yaitu *intercalation compound mechanism*, bekerja dengan cara berinterkalasi di antara lapisan kristal grafit membentuk senyawa interkalasi selama reaksi gasifikasi dikarenakan logam alkali memiliki dispersi dan mobilitas yang tinggi. Hal ini akan menghasilkan ekspansi multi-dimensi dalam karbon mikrokristalin dan menghancurkan struktur arang yang teratur dan padat. Efek yang dihasilkan diantaranya ekspansi volume, peningkatan kandungan karbon amorf dengan terpecahnya material karbon menjadi serpihan, dan reaksi gasifikasi pada kristalografi material karbon. Pada saat yang sama, *Alkali and Alkaline Earth Metals* (AAEMs) menunjukkan mendorong perengkahan sistem cincin aromatik besar ke sistem cincin aromatik kecil selama gasifikasi dan mengurangi kemungkinan kondensasi cincin aromatik (Yang *et al.*, 2021).

## 2.5 Penelitian Sebelumnya

Ahn *et al.* pada tahun 2013 melakukan penelitian terhadap bahan bakar kayu dengan kandungan karbon rendah dan struktur morfologi yang mirip dengan batubara dalam DCFC berjenis *molten carbonate* bertemperatur kerja 650-750 °C. Anoda dan katoda yang digunakan berupa Ag serta elektrolit dengan perbandingan  $62\text{Li}_2\text{CO}_3\text{-}38\text{K}_2\text{CO}_3$ . Hasil menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar kayu didapati sebesar 25.7 mW/cm<sup>2</sup>. Nilai perpindahan massa ditingkatkan dengan pengadukan pada 300 rpm dan didapati nilai *power density* sebesar 40.76 mW/cm<sup>2</sup> (meningkat lebih dari tiga kali lipat dibandingkan dengan pengujian lain yang tidak

melibatkan pengadukan). Performa dari penggunaan bahan bakar kayu mencapai 60–70% dari nilai *power density* yang dimiliki oleh batubara pada kondisi yang sama (Ahn *et al.*, 2013).

Eom *et al.* pada tahun 2016 membuat sebuah DCFC berjenis *molten carbonate* menggunakan anoda dan katoda berupa Pt serta elektrolit dengan perbandingan  $62\text{Li}_2\text{CO}_3\text{-}38\text{K}_2\text{CO}_3$ . Penelitian ini menggunakan bahan bakar *graphite* dan *sub-bituminous coal* dengan temperatur operasi berkisar 650-700°C. Kinerja DCFC menggunakan *sub-bituminous coal* menunjukkan hasil yang baik pada 700°C dengan *power density* maksimum hingga  $60\text{ mW cm}^{-2}$  dan komponen volatil yang dihasilkan membantu mengurangi resistensi transfer muatan pada temperatur tinggi (Eom *et al.*, 2016). Penggunaan bahan bakar yang ditingkatkan pada porositas dan kemurniannya nyatanya belum menghasilkan nilai *power density* yang besar. Oleh karena itu, pengembangan mulai bergeser dalam memberikan katalis pada material karbon agar dapat meningkatkan nilai konduktivitas serta *power density*.

Pada tahun 2010, Li *et al.* dalam Yu *et al.* (2021) melakukan penelitian mengenai *catalytic gasification* dengan penambahan logam alkali sebagai katalis pada material karbon. Logam alkali berupa  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Ni}(\text{CO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  akan menjadi sebuah katalis pada permukaan material karbon. Hasil menunjukkan bahwa *power density* rata-rata didapati sebesar  $1477\text{ Wm}^{-2}$  (K-loaded carbon black),  $1473\text{ Wm}^{-2}$  (Ca-loaded carbon black) dan  $1543\text{ Wm}^{-2}$  (Ni-loaded carbon black) pada temperatur kerja 750 °C menggunakan DCFC bertipe *solid oxide* (Li *et al.*, 2010). Pada tahun 2014, Zhang *et al.* melakukan penelitian mengenai *catalytic gasification* dengan menggunakan  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  yang akan ditambahkan pada *activated carbon*. Hasil yang didapati menunjukkan nilai *power density* sebesar  $383\text{ mWcm}^{-2}$  at 850 °C dengan DCFC bertipe *solid oxide* (L. Zhang *et al.*, 2014).

Pada tahun 2019, Tang *et al.* melakukan penelitian mengenai penambahan logam alkali  $\text{BaCO}_3$  pada karbon aktif dengan parameter kinerja material dalam DCFC bertipe *solid oxide*. Hasil menunjukkan bahwa *power density* yang dihasilkan pada material *Ba-loaded activated carbon* didapati sebesar  $328.4\text{ mW cm}^{-2}$  pada temperatur kerja 850 °C (Tang *et al.*, 2019). Berdasarkan dari *state of the art* yang telah dibahas sebelumnya, penggunaan katalis  $\text{K}_2\text{CO}_3$  memiliki nilai *power density* yang paling tinggi dibandingkan dengan penggunaan katalis lainnya. *Power density* yang tinggi menjadi dasar dalam penggunaannya di penelitian ini agar didapati keterbaruan dan mengeksplorasi lebih jauh nilai *power density* yang dihasilkan (Tabel.2.5).

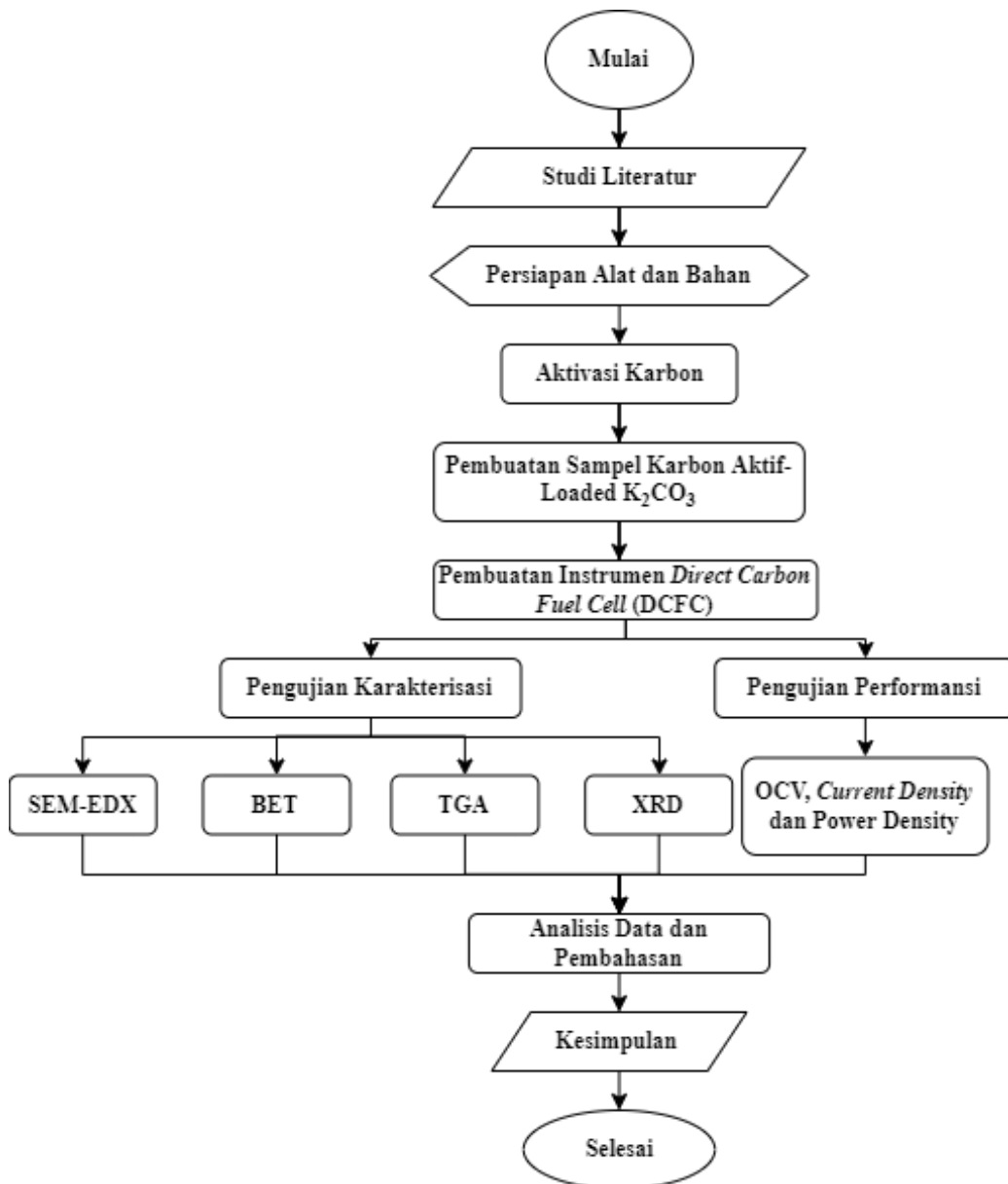
**Tabel 2. 5** Perbandingan Penelitian Sebelumnya dalam DCFC

Bahan Bakar	Nilai <i>Power Density</i> ( $\text{mW/cm}^{-2}$ )	Temperatur (°C)	Refrensi
<i>Biochar</i>	25.15	650-750	(Ahn <i>et al.</i> , 2013)
<i>Sub-bituminous coal</i>	60	700	(Eom <i>et al.</i> , 2016)
<i>K-loaded carbon black</i>	1477		
<i>Ni-loaded carbon black</i>	1123	750	(Yu <i>et al.</i> , 2021)
<i>Na-loaded carbon black</i>	1034		
<i>Fe-loaded activated carbon</i>	383	850	(L. Zhang <i>et al.</i> , 2014)
<i>Ba-loaded activated carbon</i>	328.4		(Tang <i>et al.</i> , 2019)

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

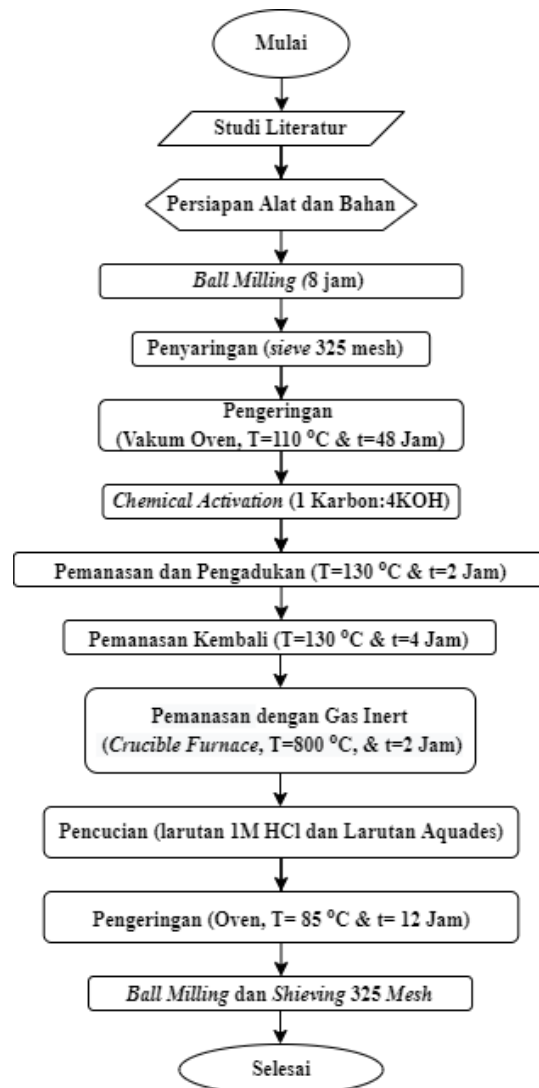
#### 3.1 Diagram Alir

Penelitian ini memiliki diagram alir yang telah disusun untuk membuat karbon aktif dan menyiapkan 2 variabel bahan bakar yaitu karbon aktif dan karbon aktif-Loaded  $K_2CO_3$ . Studi literatur dilakukan untuk memahami dari konsep DCFC, bahan bakar yang digunakan, serta berbagai alat dan bahan yang dibutuhkan. Karbon yang berasal dari arang kelapa akan diaktivasi untuk mendapatkan karbon aktif. Karbon aktif kemudian divariasikan dengan penambahan  $K_2CO_3$  sebagai katalis untuk mengetahui perbedaan performansinya. Instrumen DCFC dibuat dengan penyesuaian dari desain Kouchachvili *et al.*, (2021) Pengujian Karakterisasi dan performansi dilakukan agar mendapatkan hasil data yang diinginkan meliputi uji SEM-EDX, BET, XRD, TGA, OCV, *current density*, dan *power density*. Analisis data dan pembahasan akan dilakukan setelah hasil data terkumpul untuk selanjutnya diambil kesimpulan dari penelitian ini (Gambar 3.1).



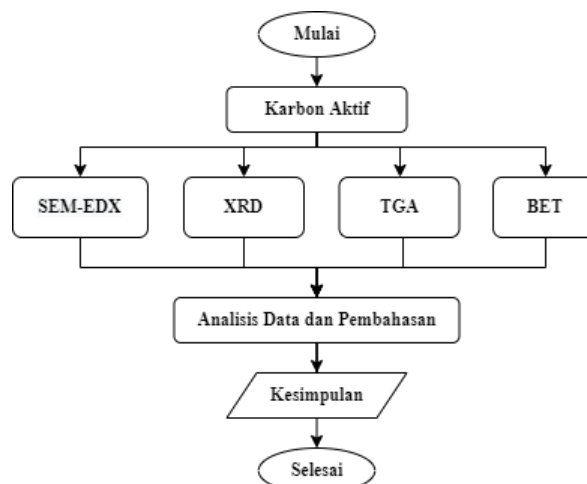
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan *Direct Carbon Fuel Cell*

### 3.1.1 Diagram Alir Aktivasi Karbon



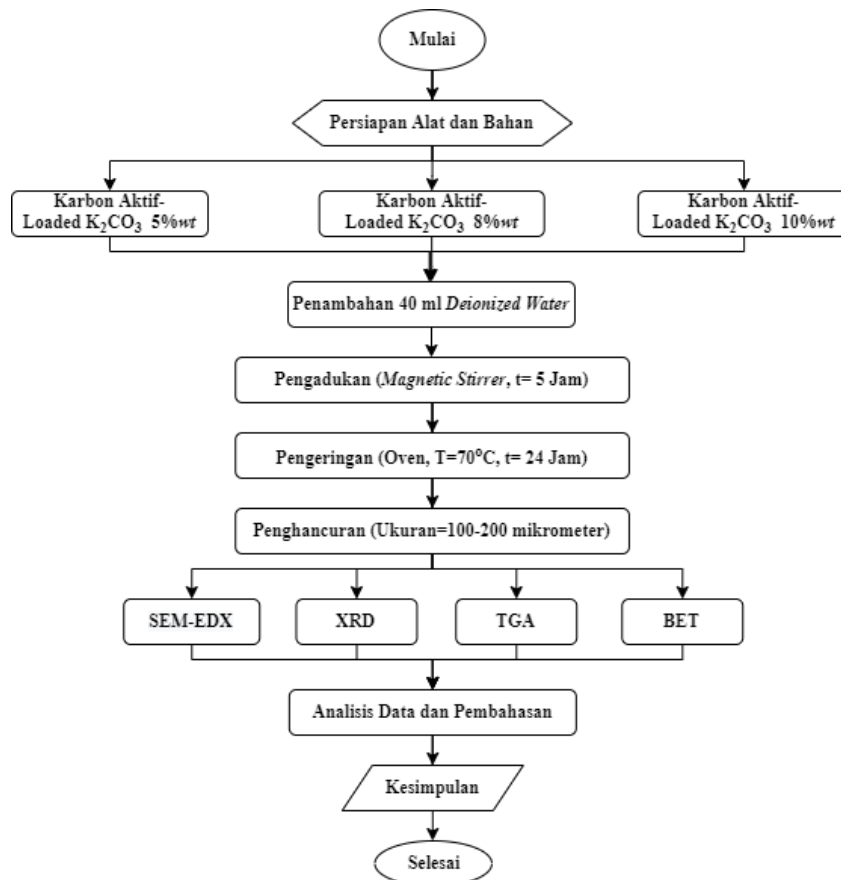
Gambar 3.2 Diagram Alir Aktivasi Karbon

### 3.1.2 Diagram Alir Pengujian Karbon Aktif



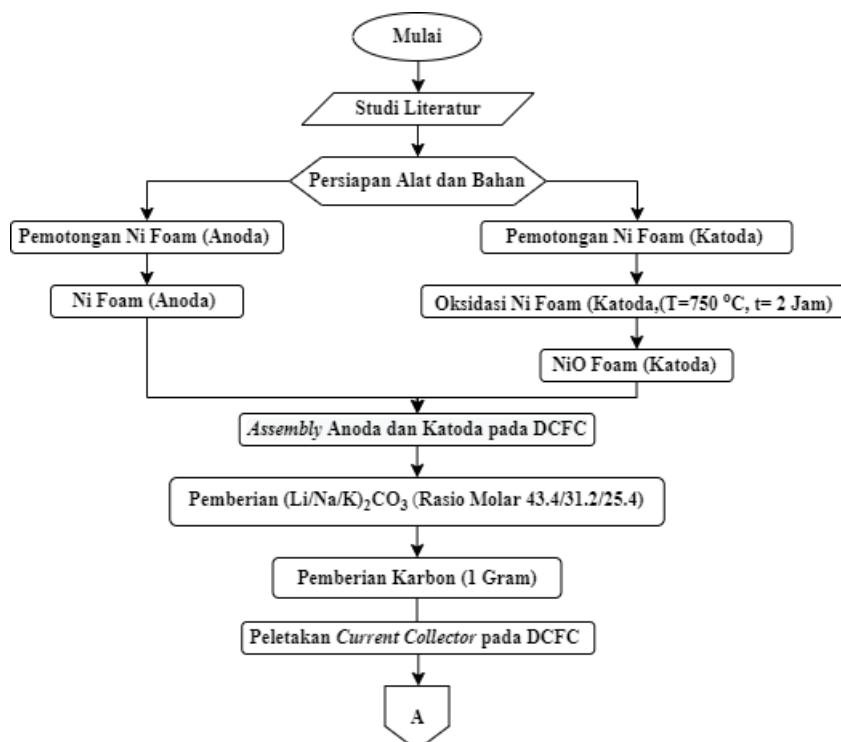
Gambar 3.3 Diagram Alir Pengujian Karbon Aktif.

### 3.1.3 Diagram Alir Pembuatan dan Pengujian Karbon Aktif-Loaded $K_2CO_3$

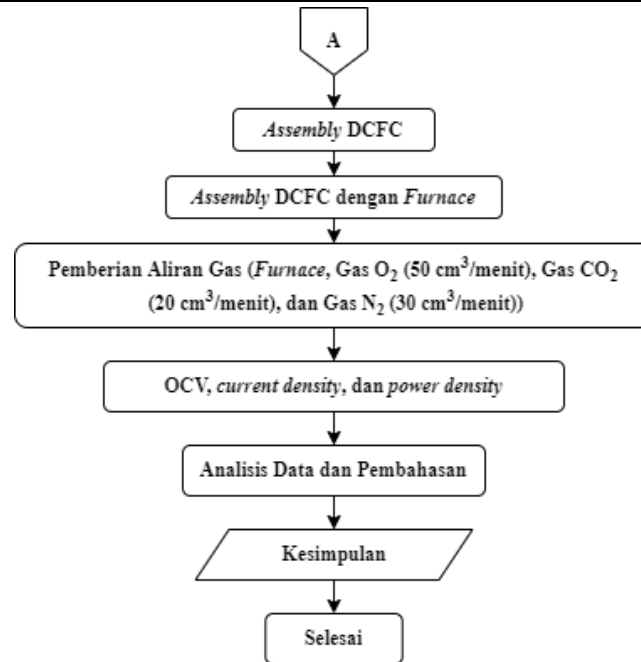


Gambar 3.4 Diagram Alir Pembuatan dan Pengujian Variasi Karbon Aktif-Loaded  $K_2CO_3$ .

### 3.1.4 Diagram Alir Instrumen *Direct Carbon Fuel Cell*



Gambar 3. 5 Diagram Alir *Direct Carbon Fuel Cell* (Bagian 1).



**Gambar 3. 6** Diagram Alir *Direct Carbon Fuel Cell* (Bagian 2).

### 3.2 Alat dan Bahan yang digunakan

Alat dan bahan yang digunakan dalam percobaan ini:

#### 3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam percobaan ini:

1. *Muffle Furnace*.  
Digunakan sebagai tempat pemanasan keramik khusus DCFC (600-1000°C).
2. Keramik khusus DCFC.  
Digunakan sebagai wadah DCFC.
3. *Gold Wire*  
Digunakan sebagai *current collector*.
4. *NiO Foam*.  
Digunakan sebagai katoda dalam DCFC.
5. *Ni Foam*.  
Digunakan sebagai anoda dalam DCFC.
6. Timbangan Digital.  
Digunakan sebagai alat penimbang bahan-bahan.
7. Gelas *Beaker*.  
Digunakan sebagai wadah dalam proses melarutkan bahan.
8. *Ball mill*  
Digunakan sebagai alat penghalus karbon agar mencapai ukuran 325 mesh atau 44 mikrometer
9. Vakum Oven  
Digunakan sebagai alat pengeringan karbon
10. *Hot Plate* dan *Magnetic Stirrer*.  
Digunakan sebagai alat untuk melarutkan larutan dengan kecepatan dan temperatur tertentu.
11. *Sieve*.  
Digunakan sebagai alat penyaringan dari hasil karbon aktif.
12. Spatula.  
Digunakan sebagai alat untuk mencampurkan dan memindahkan hasil larutan.
13. Multimeter.



- Digunakan sebagai alat pengukur voltase dan arus dalam DCFC.
14. *Carbon Reservoir*.  
Digunakan sebagai tempat penyuplai karbon aktif kedalam DCFC.
  15. *Thermocouple Type K*.  
Digunakan untuk mengetahui temperatur didalam keramik khusus DCFC.
  16. Alat uji karakterisasi morfologi dan struktur material:
    - a. *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray (SEM)*.
    - b. *X-ray Diffraction (XRD)*.
    - c. *Brunauer-Emmett-Teller (BET)*.
  17. Alat uji *power density performance*:
    - a. *DC Loader*

### 3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam percobaan ini :

1. Bubuk  $K_2CO_3$ .
2. Bubuk  $Na_2CO_3$ .
3. Bubuk  $Li_2CO_3$ .
4. ZYF-50.
5. Karbon dari tempurung kelapa.
6. Air Deionisasi.
7. Aquades.
8. Gas  $N_2$ .
9. Gas  $O_2$ .
10. Gas  $CO_2$ .

### 3.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan beberapa proses untuk mengetahui pengaruh aktivasi karbon dan *catalytic gasification* dalam performa *Direct Carbon Fuel Cell*.

#### 3.3.1 Studi Literatur dan Persiapan Alat dan Bahan

Studi literatur dilakukan menggunakan berbagai macam jurnal internasional dan nasional dimana dilakukan berdasarkan variabel keberhasilan kinerja untuk mendapatkan efektivitas bahan bakar dalam *Direct Carbon Fuel Cell*. Adapun poin-poin yang dicari meliputi penentuan kemampuan bahan bakar, metode peningkatan performa bahan bakar, anoda dan katoda dalam DCFC, dan desain sistem DCFC. Alat dan Bahan dipersiapkan disesuaikan dengan kebutuhan dari penelitian serta kajian literatur (Gambar 3.1).

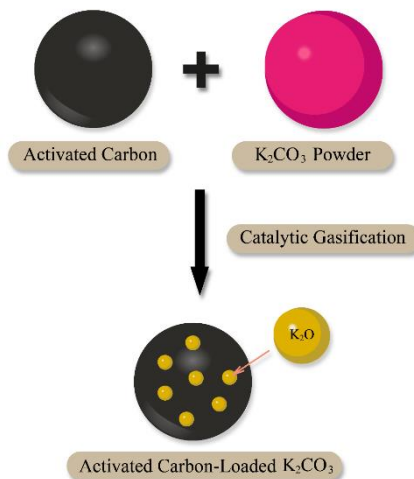
#### 3.3.2 Preparasi Karbon

Karbon dari tempurung kelapa yang digunakan untuk pembuatan karbon aktif akan melalui proses *ball milling* dan penyaringan untuk mengecilkan ukurannya hingga 325 mesh. Karbon kemudian akan dikeringkan dengan vakum oven selama 48 jam dengan temperatur mencapai 110 °C (Gambar 3.2).

#### 3.3.3 Pembuatan Karbon Aktif dengan Metode *Chemical Activation*

Bubuk tempurung kelapa yang telah disaring akan dicampurkan dengan larutan kimia mengikuti perbandingan 1:4 (Karbon:KOH). Campuran kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam dan keringkan selama 4 jam pada temperatur 130°C. Hasil campuran akan dipindahkan dalam *crucible* keramik dan dipanaskan pada 800°C selama 2 jam dengan gas inert Karbon aktif akan dicuci dengan larutan 1 M HCl, diikuti dengan pencucian menggunakan aquades untuk membuang senyawa Kalium (K) dan kotoran pada permukaan. Hasil pencucian karbon aktif akan dikeringkan kembali dengan temperatur 85 °C selama 12 jam. Proses *ball milling* dan *shieving* 325 mesh dilakukan pada hasil karbon aktif sebagai proses terakhir (Gandla *et al.*, 2021) (Gambar 3.2).

### 3.3.4 Pembuatan Karbon Aktif-Loaded $K_2CO_3$ dengan Metode *Catalytic Gasification*



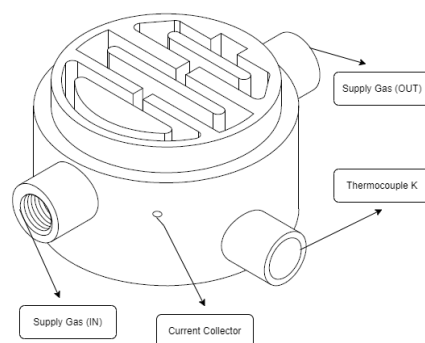
Gambar 3. 7 Skema *Catalytic Gasification*.

Pembuatan Bubuk  $K_2CO_3$  dengan variasi 5% wt, 8% wt, dan 10% wt masing-masing akan ditambahkan ke dalam 40 ml *deionized water* lalu diaduk hingga terdistribusi merata. Karbon berjumlah 5 g ditambahkan kedalam larutan dan diaduk selama 5 jam lalu didiamkan selama 24 jam diudara terbuka. Larutan lalu dikeringkan pada temperatur 70 °C selama 24 jam menggunakan oven. Selanjutnya, sampel dihancurkan kembali sampai ukuran 100-200 mikrometer (Li *et al.*, 2010) (Gambar 3.4). Model dari karbon aktif-loaded  $K_2CO_3$  digambarkan pada Gambar 3.7.

### 3.3.5 Preparasi Anoda dan Katoda

Anoda menggunakan Ni foam yang memiliki ketebalan 4 mm. Ni foam dipotong menyesuaikan dengan ukuran dari keramik khusus DCFC. Katoda menggunakan NiO foam dengan proses preparasi oksidasi pada Ni foam selama 2 jam pada temperatur 700 °C dengan atmosfer udara (Kouchachvili *et al.*, 2021) yang dijelaskan pada Gambar 3.5.

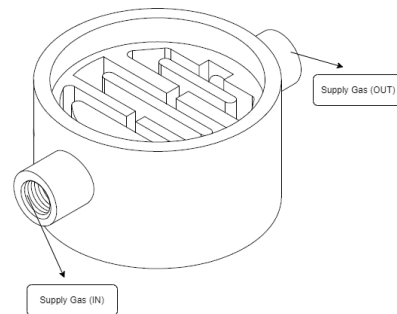
### 3.3.6 Proses *Assembly Direct Carbon Fuel Cell (DCFC)*



Gambar 3.8 Keramik Khusus DCFC Bagian Tutup Bawah.

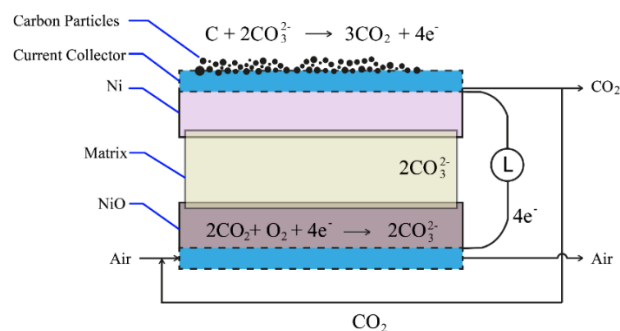
Rangkaian DCFC terdiri dari dua bagian yaitu bagian tutup atas dan tutup bawah. Bagian tutup bawah (Gambar 3.8) akan berperan sebagai tempat anoda sedangkan bagian tutup atas (Gambar 3.9) berperan sebagai tempat katoda. Area aktif anoda merupakan area yang ditutupi karbon dan tempat berlangsungnya reaksi elektrokimia. Tutup bawah diisi dengan campuran eutektik karbonat (Li/Na/K) $_2CO_3$  sebanyak 35 gram dengan rasio molar 43.5/31.5/25 dan bubuk karbon sebanyak 5 gram yang dimuat di atas anoda sehingga dapat didistribusikan secara merata di seluruh permukaan aktif (Kouchachvili *et al.*, 2021; Kouchachvili & Ikura, 2011; Mei *et al.*, 2018). Busa NiO dengan *current collector* emas akan ditempatkan pada dasar rumah dari tutup atas. Matriks ZYF-50 akan ditekan di atas busa NiO diikuti oleh anoda dengan *current collector*.

Sebagai langkah terakhir, tutup atas dan tutup bawah akan digabungkan menjadi satu secara horizontal yang bertujuan dalam pengiriman karbon ke permukaan anoda.

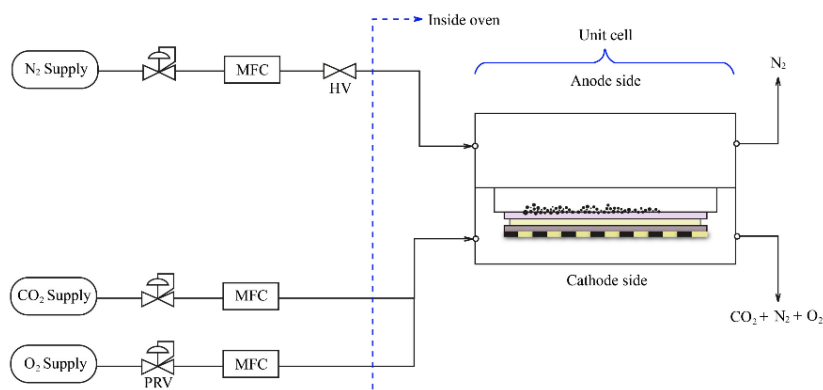


**Gambar 3. 9** Keramik Khusus DCFC Bagian Tutup Atas.

DCFC yang telah selesai di-assembly akan ditempatkan ke dalam *furnace* yang diberikan variabel bebas pada bahan bakar serta variabel terkontrol dalam suplai gas dan temperatur. Variabel bebas yang digunakan dalam bahan bakar adalah karbon aktif dan karbon aktif-loaded  $K_2CO_3$ . Bahan bakar akan disuplai secara kontinu dengan *carbon reservoir* ke dalam *furnace* yang diproses selama 5 jam. Variabel terkontrol untuk temperatur gas adalah  $750\text{ }^\circ\text{C}$  sedangkan suplai gas diatur menjadi  $50\text{ cm}^3/\text{menit}$  untuk gas  $O_2$ ,  $20\text{ cm}^3/\text{menit}$  untuk gas  $CO_2$  yang diumpankan di sisi katoda dan  $30\text{ cm}^3/\text{menit}$   $N_2$  yang disuplai ke sisi anoda. HV merupakan *Hand Valve*, MFC merupakan *Mass Flow Controller*, dan PRV merupakan *Pressure Reducing Valve*.



**Gambar 3. 10** Skema Elektrokimia dalam DCFC



**Gambar 3. 11** Skema Kerja Sistem Alat DCFC

Suplai gas dikeluarkan melalui pipa keramik yang dipasang di setiap sisi selubung sel. Selama proses pemanasan, gas nitrogen dimasukkan ke dalam DCFC untuk mencegah konsumsi karbon sebelum elektrolit benar-benar meleleh. Gas nitrogen akan berhenti disuplai ketika kompartemen sel termasuk karbon telah dibasahi oleh elektrolit. Setelah meleleh, elektrolit akan

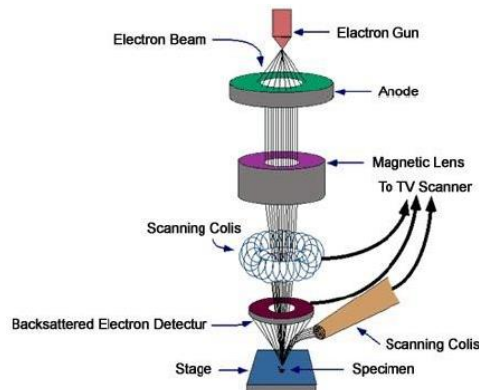
menjenuhkan matriks zirkonia dan membantu mencegah kontaminasi aliran gas antara gas anoda dan katoda. Hasil *power density* dari DCFC diukur dengan menggunakan pengujian OCV dikalikan dengan nilai *current density* Gambar 3.6). Skema reaksi elektrokimia yang terjadi dan sistem alat lebih detail dapat dilihat pada Gambar 3.10 dan Gambar 3.11.

### 3.4 Pengujian

#### 3.4.1 Karakterisasi Material

Penelitian ini menerapkan 4 pengujian karakterisasi yaitu dengan SEM, XRD, BET, dan TGA serta dengan variabel karbon aktif (Gambar 3.3) dan karbon aktif-loaded  $K_2CO_3$  (Gambar 3.4) serta 3 pengujian performansi yaitu OCV, *current density*, dan *power density* (Gambar 3.6).

##### 3.4.1.1 Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)



Gambar 3. 12 Sistem Kerja SEM (An *et al.*, 2019)

*Scanning Electron Microscope* (SEM) adalah suatu pengujian yang bekerja dengan sinar elektron berenergi tinggi untuk menggambarkan permukaan sampel yang berbeda dengan resolusi lebih tinggi dari mikroskop optik. SEM dapat menampilkan gambar morfologi sampel dengan perbesaran 2000- 50.000X. Sistem SEM bekerja dengan cara *electron gun* memproduksi *electron beam*. *Electron beam* akan ditangkap oleh anoda dan diarahkan ke sampel kemudian serangkaian lensa magnetik memfokuskan beam ini untuk menembakkan ke sampel. *Scanner* akan membaca struktur permukaan sampel kemudian menangkap sinyal dari *secondary* dan *back scattered electron* untuk dikirim ke sistem kontrol (Gambar 3.12). Hasil yang diterima oleh sistem kontrol akan ditampilkan pada monitor (An *et al.*, 2019).



Gambar 3. 13 Pengujian SEM-EDX (Ikumapayi & Akinlabi, 2019)

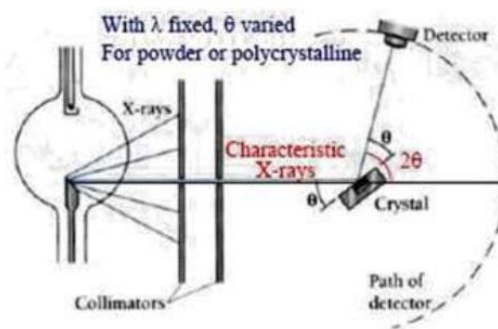
Pengujian SEM dilakukan dalam 2 tahap yaitu tahap preparasi dan tahap pengujian. Tahap preparasi dilakukan dengan sampel yang berupa serbuk atau padatan diletakkan pada *holder* yang telah diberikan *carbon tape*. Tahap pengujian dilakukan dengan memasukkan sampel yang telah diletakkan pada *holder* ke dalam mesin uji, kemudian gambar hasil pengujian akan muncul pada layar komputer (An *et al.*, 2019).

Pengujian *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX) bertujuan untuk mengetahui apa saja jenis unsur penyusun material yang ada dalam sampel, dan sekaligus untuk mengetahui nilai % berat dan % atomik dari semua unsur penyusun tersebut (Gambar 3.13). Pada penelitian ini, EDX digunakan untuk mengetahui kandungan jumlah atom *carbon*, *silicon*, *aluminum*, *calcium*, *magnesium*, dan oksigen yang ada pada sampel. Pengujian EDX dilakukan dengan menggunakan alat SEM yang dilengkapi dengan software INCA.

Pengujian SEM-EDX dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan DRPM-ITS. Sampel yang digunakan berupa karbon aktif dan karbon aktif-loaded  $K_2CO_3$ . Sampel diamati dengan beberapa perbesaran mikroskop agar didapatkan data mengenai morfologi dan struktur dari karbon aktif dan karbon aktif-loaded  $K_2CO_3$  yang terbentuk.

### 3.4.1.2 X-Ray Diffractometer (XRD)

*X-Ray Diffractometer* (XRD) adalah pengujian yang bertujuan memperoleh informasi dalam skala atomik, baik pada material kristal (*crystalline*) maupun nonkristal (*amorf*). Kondisi jenis sampel yang digunakan dapat berbentuk padatan, lembaran, maupun serbuk yang sudah dihaluskan.



**Gambar 3. 14** Sistem Kerja XRD (Callister Jr, W. D., & Rethwisch, 2014)

Pengujian ini memanfaatkan difraksi dari sinar-X. Sinar-X merupakan salah satu bentuk radiasi elektromagnetik yang mempunyai energi antara 200 eV–1 MeV dengan Panjang gelombang antara 0,5–2,5 Å. Panjang gelombangnya hampir sama dengan jarak antara atom dalam kristal, menyebabkan difraksi sinar-X menjadi salah satu teknik dalam analisa material(Callister Jr, W. D., & Rethwisch, 2014).

Sampel akan ditempatkan pada titik fokus hamburan sinar-X yaitu tepat di tengah-tengah plate Berikut merupakan tahapan dalam pengujian XRD (Gambar 3.14):

1. Sampel diletakkan di tengah-tengah tatakan (*plate*), tatakan disini berupa sebuah plat tipis yang berlubang di tengah menggunakan perekat pada sisi baliknya agar *plate* tidak jatuh ketika *plate* diputar. Jika spesimen berupa serbuk, maka digunakan *plate* yang di atasnya ditutup dengan menggunakan plastik.
2. Berkas sinar-X didifraksikan oleh sampel dan difokuskan melewati celah, kemudian masuk ke alat pencacah. Apabila sampel berputar sebesar  $2\theta$  maka alat berputar sebesar  $\theta$ .
3. Pola difraksi sinar-X direkam dalam bentuk kurva intensitas terhadap sudut difraksi.

Untuk menentukan fasa yang terbentuk dapat dilakukan dengan metode pencocokan terhadap difraksi acuan. Hasil XRD dapat digunakan untuk menghitung ukura kristal (*crystallite size*) menggunakan persamaan *Debye Scherrer* sesuai dengan Persamaan 3.1 sebagai berikut:

$$D = \frac{0.9 \lambda}{B \cos \theta} \quad (3.1)$$

di mana,

- D : Ukuran kristal (Å)
- $\lambda$  : Panjang gelombang (Cu  $\alpha$  = 1.54056 Å)
- B : FWHM (*Full Width at Half Maximum*) (rad)
- $\theta$  : Sudut difraksi ( $^{\circ}$ )

Selain itu, untuk memperkuat kembali fasa yang terbentuk dilakukan pula perhitungan parameter kisi sampel yang telah di uji XRD dan kemudian dibandingkan dengan parameter kisi yang tertera dalam ICDD acuan. Berikut merupakan rumus perhitungan parameter kisi (3.2) dengan struktur kristal tetragonal dimana parameter kisi  $a=b \neq c$ :

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (3.2)$$

di mana:

- d = jarak antar kristal (Å)
- h,k,l = nilai orientasi bidang kristal
- a = Parameter kisi sampel (Å)
- c = Parameter kisi sampel (Å)

Pada penelitian ini untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel maka dilakukan pengujian XRD menggunakan instrument PANAnalytical dengan range sudut  $10^{\circ}$ – $90^{\circ}$  dan menggunakan panjang gelombang  $\text{CuK}\alpha$  sebesar 1.54056 Å yang dilakukan di Divisi Karakterisasi Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS (Gambar 3.15). Sampel yang digunakan berupa karbon aktif dan karbon aktif-loaded  $\text{K}_2\text{CO}_3$ .



Gambar 3. 15 Pengujian XRD.

#### 3.4.1.3 Thermogravimetric Analysis (TGA)

Pengujian TGA merupakan suatu pengujian untuk mengidentifikasi mengetahui reaktivitas gasifikasi Boudouard dari bahan bakar karbon yang mengalami dekomposisi. Alat ini bekerja dengan mengukur berkurangnya massa material ketika dipanaskan dengan peningkatan temperatur (Rajisha *et al.*, 2011). Sistem kerja dimulai dengan sampel TGA ditempatkan di atas meja putar dan melakukan pengisian data berat awal untuk masing – masing sampel ke dalam sistem komputer. Berat maksimal pada alat ini sebesar 20 mg.



Gambar 3. 16 Pengujian TGA.

Pengoperasian TGA dilakukan dengan mengaliri udara kering dari tabung gas dengan kecepatan pengaliran tertentu. Variabel lainnya berupa kecepatan pemanasan, jarak temperatur, dan pendinginan akan diatur melalui komputer. Analisa dilakukan dengan menaikkan temperatur secara bertahap dan analisa berat terhadap temperatur, sehingga didapatkan kurva hasil pengujian berupa fungsi temperatur terhadap berat sampel. Alat uji TGA ditunjukkan pada Gambar 3.16. Pengujian TGA menggunakan perhitungan *carbon conversion rate* (3.1) dan *gasification reactivity* (3.2) untuk mengetahui reaktivitas gasifikasi *Boudouard*. Rumus *carbon conversion rate* dijabarkan sebagai berikut:

$$X = \frac{W_i - W_t}{W_i - W_f} \quad (3.2)$$

Nilai X berperan sebagai *conversion rate*, r sebagai *reaction rate*,  $w_i$  sebagai *initial mass*,  $w_t$  sebagai *mass at time t*, dan  $w_f$  berperan sebagai *final mass*. Rumus *gasification reactivity* sebagai berikut:

$$R_{0.5} = \frac{0.5}{t_{0.5}} \quad (3.3)$$

$R_{0.5}$  berperan sebagai *gasification reactivity index*, nilai 0.5 berperan sebagai konstanta, dan  $t_{0.5}$  berperan sebagai waktu gasifikasi ketika *carbon conversion rate* mencapai 50%.

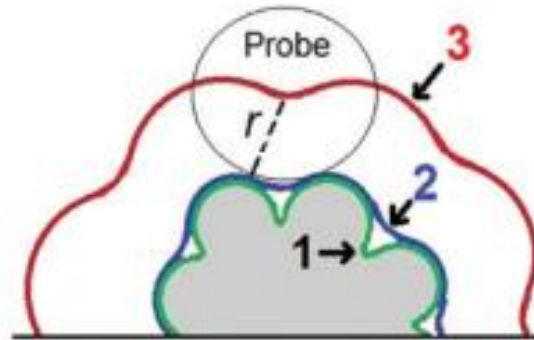
#### 3.4.1.4 Brunauer, Emmett, and Teller (BET)

Pengujian *Brunauer, Emmett, and Teller* (BET) adalah pengujian yang digunakan untuk karakterisasi permukaan suatu material dengan data yang dihasilkan meliputi *specific surface area* (SSA,  $m^2/g$ ), diameter pori (D), volume pori ( $V_{pr}$ ,  $mm^3/g$ ) yang ditunjukkan pada Gambar 3.17. Alat ini bekerja dengan menyiapkan sampel dalam bentuk serbuk kedalam *sample cell* dan ditimbang berat massa aktifnya. Sampel akan diberikan perlakuan *degassing*. Proses *degassing* bertujuan untuk menghilangkan zat kontaminan pada sampel sehingga hasil akan lebih akurat. Proses ini dimulai dengan temperatur dinaikan secara bertahap yaitu  $80^\circ C$  selama 5 menit,  $120^\circ C$  selama 5 menit,  $200^\circ C$  selama 5 menit,  $270^\circ C$  selama 5 menit dan  $300^\circ C$  selama 3 jam.



Gambar 3. 17 Pengujian BET

*Sample cell* lalu akan dipindahkan ke BET *analyzer* serta memasang pendingin pada BET *analyzer* untuk mendinginkan sampel. Hal ini bertujuan agar gas inert yang digunakan akan lebih susah mengalami absorpsi dalam temperatur ruangan. Gas nitrogen umumnya digunakan sebagai molekul *probe* dan diekspos ke sampel pada kondisi nitrogen cair. *Specific Surface Area* (SSA) benda padat yang diukur didapatkan dari *measured monolayer capacity* dan data *cross sectional area* dari molekul yang dijadikan *probe*. Absorpsi memungkinkan terjadi dengan skema beberapa kemungkinan penempelan pada permukaan adsorben. 1: van der Waals; 2: Connolly, Probe-dapat diakses; 3: dapat diakses, jarak-r (Thommes *et al.*, 2015) (Gambar 3.18).



**Gambar 3. 18** Skema Kerja Pengujian BET (Thommes *et al.*, 2015)

Pengujian BET dilakukan secara otomatis dimana data sampel yang diuji akan ditampilkan pada komputer yang terhubung dengan BET Analyzer berupa grafik dan tabel data *isotherm*, grafik dan tabel data *Multiple BET plot*, grafik dan tabel data *pore diameter*, serta luas *Specific surface*. Pengujian BET dilakukan di Laboratorium Energi dan Lingkungan DRPM-ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

### 3.4.2 Pengujian Elektrokimia

#### 3.4.2.1 Open Circuit Voltage (OCV), Current Density, dan Power Density

*Open Circuit Voltage* (OCV) merupakan perbedaan potensial listrik antara dua terminal perangkat saat diputuskan dari seluruh sirkuit. Pengujian dikondisikan dengan tidak ada beban eksternal yang terhubung dan tidak ada arus listrik eksternal yang mengalir di antara terminal. Metode ini merupakan metode paling umum untuk menentukan bagaimana perangkat listrik berfungsi dalam suatu rangkaian. Properti utama perangkat elektronik juga dapat diekstraksi dari bentuk dan detail kurva, memungkinkan analisis yang lebih luas tentang pengoperasiannya. Nilai arus pada DCFC diukur menggunakan *Direct Current Loader* dimana hasil yang didapat akan dibagi dengan luasan area reaksi yaitu  $25 \text{ cm}^2$  sehingga didapati nilai *current density*. *Power density* akan didapati dengan mengalikan hasil *current density* dengan nilai OCV.

### 3.5 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian dan pengujian DCFC dijabarkan dalam **Tabel 3.1** sebagai berikut:

**Tabel 3. 1** Rancangan Penelitian

Spesimen	Pengujian Karakterisasi Material				Temperatur (oC)	Pengujian Elektrokimia OCV, <i>Current Density</i> , dan <i>Power Density</i>
	SEM	XRD	TGA	BET		
Karbon Aktif	✓	✓	✓	✓	750	✓
Karbon Aktif-5wt% <i>Loaded K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i>	✓	✓	✓	✓		✓
Karbon Aktif-8 wt% <i>Loaded K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i>		✓	✓			
Karbon Aktif-10 wt% <i>Loaded K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></i>		✓	✓			

Pengujian elektrokimia memiliki beberapa parameter yang telah ditetapkan dimana dijabarkan pada **Tabel 3.2**.



**Tabel 3. 2** Rancangan Penelitian Performansi DCFC untuk Pengujian Elektrokimia

Sampel	Skema Pengerjaan		
	Temperatur (°C)	Waktu pelelehan (Jam)	Waktu (Jam)
AC			
AC-5% K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	750	1	2
AC-8% K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>			

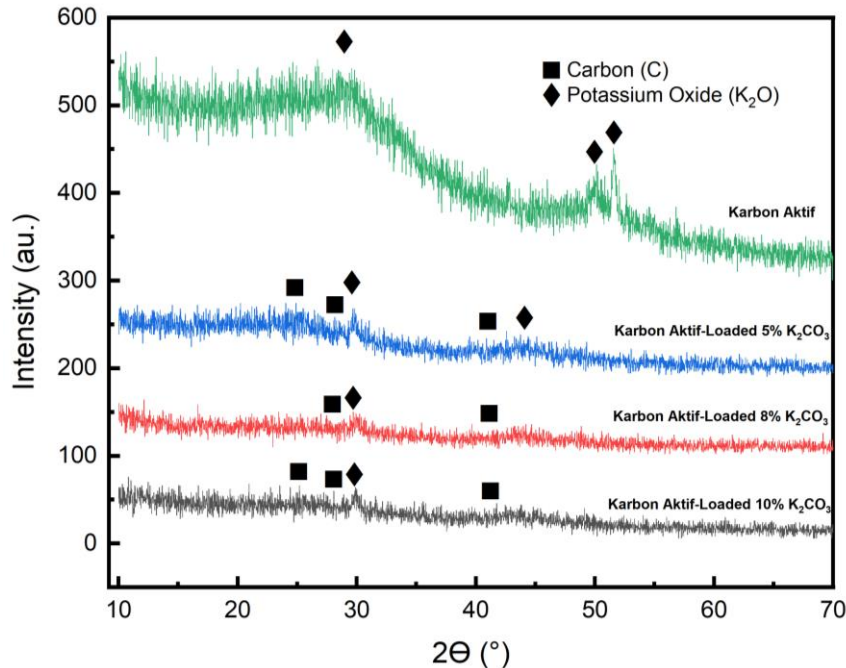
*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Karakterisasi Material Karbon aktif dan Karbon Aktif-Loaded $K_2CO_3$

Karakterisasi material karbon aktif dan Karbon Aktif-Loaded  $K_2CO_3$  bertujuan dalam menganalisis morfologi, persentase susunan unsur dipermukaan, komposisi penyusun, reaktivitas reaksi *boudouard*, dan *surface area* dengan variasi penambahan katalis  $K_2CO_3$  sebesar 5%, 8%, 10%.

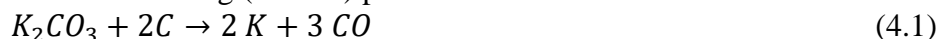
#### 4.1.1 Pengujian XRD



**Gambar 4. 1** Hasil Pengujian XRD pada Sampel Karbon Aktif dan Karbon Aktif-Loaded  $K_2CO_3$

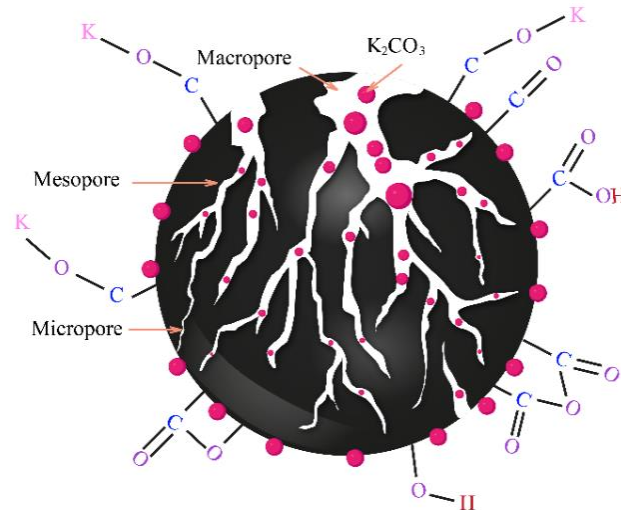
Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui komposisi penyusun dan kristalinitas pada material karbon yang digunakan. Pada sampel karbon aktif, hasil pengujian menunjukkan *peak* pada pada  $29.8^\circ$ ,  $50.2^\circ$ , dan  $51.6^\circ$  (ICSD 00-047-1154, 01-074-2330, dan 01-074-2329). Penambahan katalis 5%  $K_2CO_3$  menunjukkan *peak*  $K_2O$  pada  $25.78^\circ$ ,  $27.69^\circ$ , dan  $41.7^\circ$  (ICSD 00-011-0526) serta *peak* karbon pada  $29.8^\circ$  dan  $43.6^\circ$  (ICSD 01-080-0004 dan 01-082-0619). Penambahan katalis 8%  $K_2CO_3$  menunjukkan *peak*  $K_2O$  pada  $31.7^\circ$  dan  $41.7^\circ$  (ICSD 00-011-0526) serta *peak* karbon pada  $29.8^\circ$  (ICSD 00-048-1256 dan 00-050-1363). Penambahan katalis 10%  $K_2CO_3$  menunjukkan *peak*  $K_2O$  pada  $31.7^\circ$  dan  $39.6^\circ$  (ICSD 01-077-0211 dan 01-077-2151) serta *peak* karbon pada  $29.8^\circ$  (ICSD 00-001-0640, 00-008-0415, dan 00-041-1487) (Gambar 4.1).

Pembentukan  $K_2O$  terjadi diakibatkan reaksi antara  $K_2CO_3$  yang bereaksi dengan Gugus fungsi karbon (Rady *et al.*, 2016). Reaksi ini bekerja secara redoks dalam mekanisme *cyclic redox* dimana reaksi yang terjadi secara berulang (4.1-4.3) pada Gambar 4.2:



Hasil XRD juga menunjukkan penurunan kristalinitas yang didapatkan pada sampel dengan penambahan katalis. Nilai kristalinitas yang dihasilkan didapati sebesar 35.67% pada karbon aktif lalu mengalami penurunan dalam sampel yang menggunakan penambahan katalis  $K_2CO_3$ . Nilai kristalinitas pada penambahan  $K_2CO_3$  5%, 8%, dan 10% didapati sebesar 18.92%, 15.43%, dan 14.6%. Hal ini sesuai dengan teori *catalytic gasification* dimana tingkat kristalinitas akan menurun diakibatkan dari proses interkalasi oleh kalium dan terjadi *splintering* sehingga mengurangi *dense* pada karbon aktif. Mekanisme secara detail telah dijelaskan pada subbab 2.4

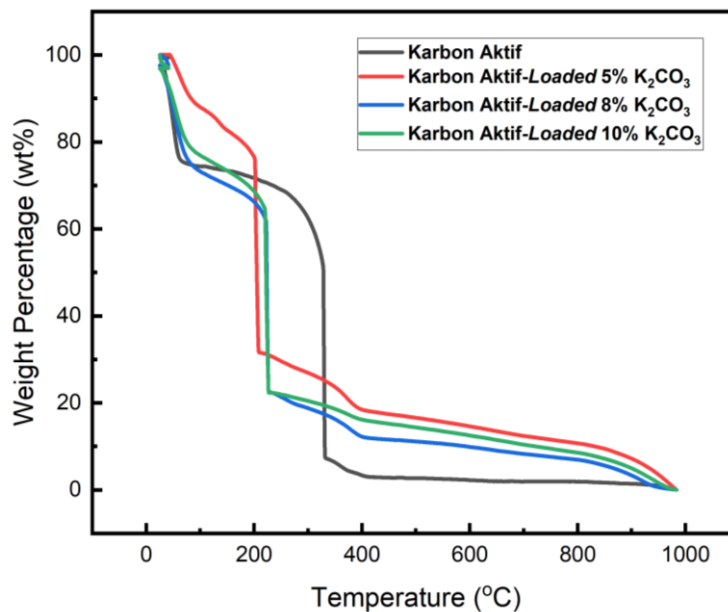
dalam *catalytic gasification*. Proses interkalasi yang dilakukan oleh unsur kalium akan meningkatkan nilai amorf yang dimiliki karbon. Hal ini diakibatkan oleh kalium yang akan memecah struktur karbon sehingga mengurangi kepadatan struktur karbon. Hasil dari semua sampel menunjukkan keberhasilan dari sintesis sehingga dapat dikatakan sesuai dengan proses yang telah dilakukan.



**Gambar 4. 2** Ilustrasi Mekanisme Reaksi  $K_2CO_3$  dengan Permukaan Karbon

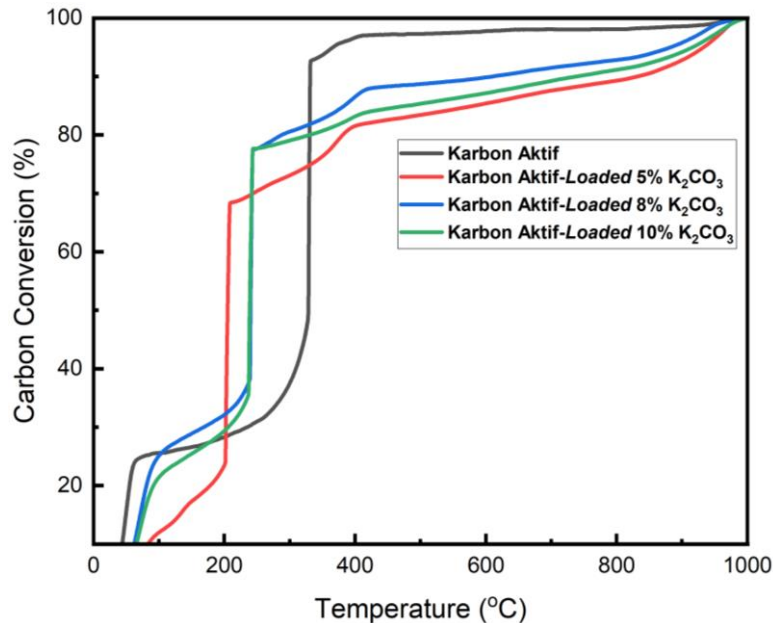
#### 4.1.2 Pengujian TGA

Pengujian TGA bertujuan untuk mengetahui tingkat reaktivitas karbon aktif dan temperatur operasi yang optimal dalam proses pembakaran karbon. Karbon aktif dan Karbon Aktif-Loaded  $K_2CO_3$  mengalami penurunan massa sebanyak 2 kali penurunan kurva (Gambar 4.3). Karbon Aktif merupakan sampel dengan penurunan paling lambat dimana aktif pada temperatur  $67^\circ C$  (76 wt%) dan  $331^\circ C$  (7.36 wt%). Penambahan katalis nyatanya menunjukkan temperatur operasi yang lebih rendah dimana penambahan 8% dan 10% katalis  $K_2CO_3$  aktif pada temperatur  $80-85^\circ C$  (75 wt% dan 78 wt%) dan  $210-235^\circ C$  (22.31 wt%). Tingkat penambahan paling optimal dicapai pada penambahan 5% katalis  $K_2CO_3$  dengan temperatur  $88^\circ C$  (89 wt%) dan  $210^\circ C$  (31.57 wt%).



**Gambar 4. 3** Hasil Pengujian TGA pada Sampel Karbon Aktif dan Karbon Aktif-Loaded  $K_2CO_3$

Kemampuan konversi karbon dari sampel karbon aktif dengan variasi penambahan katalis  $K_2CO_3$  diolah menggunakan rumus (3.1) pada Gambar 4.4. Peningkatan konversi karbon terbagi menjadi dua puncak dengan temperatur yang berbeda-beda pada variabel sampel. Karbon aktif tanpa katalis (AC) menunjukkan peningkatan puncak pertama pada temperatur 63 °C dan mulai bereaksi secara reaktif pada puncak kedua dengan menunjukkan peningkatan perubahan drastis pada temperatur 300-400 °C dengan peningkatan dari 30% menuju 95%.

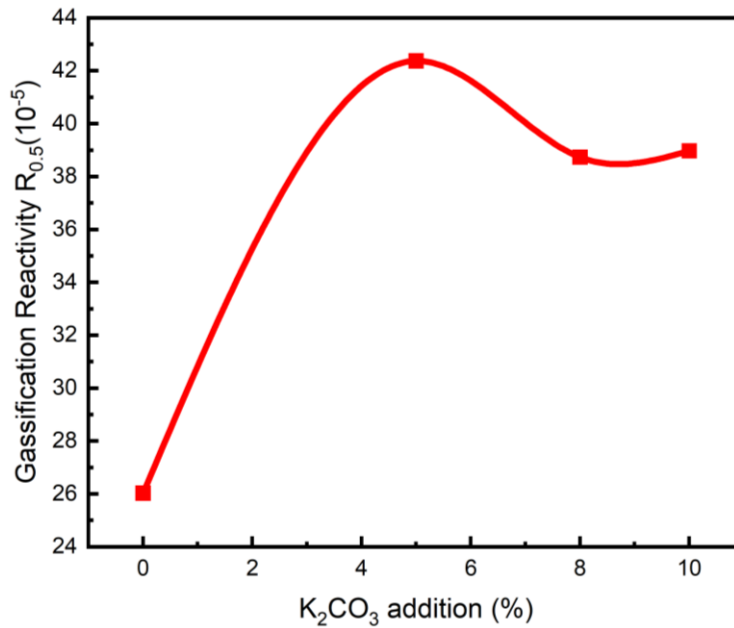


**Gambar 4. 4** Hasil *Carbon Conversion* pada Sampel Karbon Aktif dan Karbon Aktif-Loaded  $K_2CO_3$

Penambahan katalis  $K_2CO_3$  menunjukkan kemampuan konversi karbon yang lebih reaktif. Sampel dengan penambahan katalis  $K_2CO_3$  sebanyak 5% (AC-5%  $K_2CO_3$ ) menunjukkan puncak pertama pada temperatur 83 °C dan secara reaktif pada puncak kedua pada temperatur 200-250 °C dengan peningkatan dari 22% menuju 70.5%. Penambahan 8 dan 10%  $K_2CO_3$  memiliki nilai yang tidak jauh berbeda dengan puncak pertama pada temperatur 90 °C dan reaktif pada puncak kedua pada temperatur 234-265 °C dengan peningkatan dari 37% menuju 78%. Pada 3 variasi penambahan katalis  $K_2CO_3$  yaitu 5,8, dan 10% menunjukkan peningkatan pada proses gasifikasi, peningkatan laju reaksi, dan menurunkan temperatur reaksi. Pergeseran kurva yang mengalami peningkatan konsumsi karbon seiring penambahan temperatur menunjukkan bahwa efek katalitik semakin efektif terjadi seiring dengan peningkatan temperatur (Yang *et al.*, 2021).

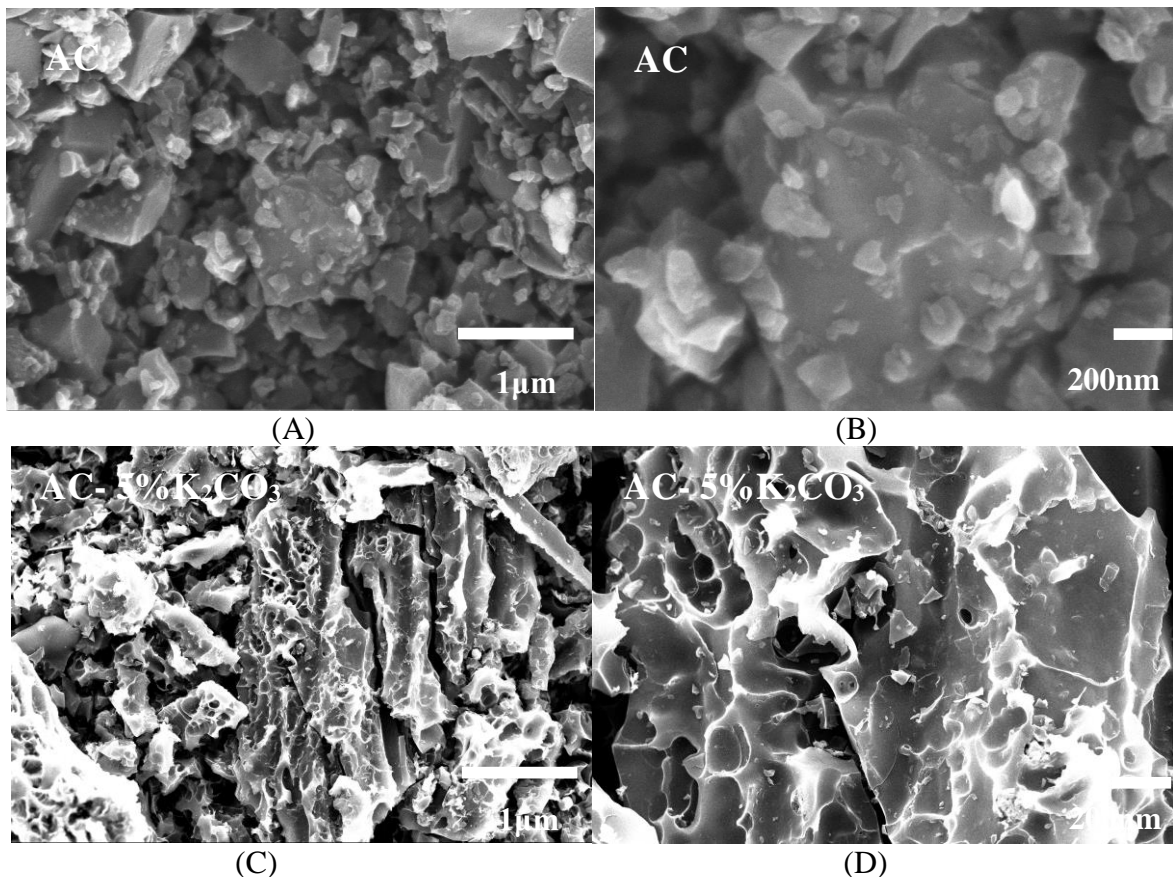
Penambahan katalis  $K_2CO_3$  kemudian dianalisis dengan perhitungan *gassification reactivity* dengan rumus (3.2) dimana memperhitungkan waktu yang dibutuhkan dalam mengkonversi karbon sebanyak 50%. Karbon aktif mendapati nilai *gassification reactivity* sebesar  $26 \times 10^{-5}$  dimana menjadi nilai paling rendah. Penggunaan katalis  $K_2CO_3$  relatif menunjukkan peningkatan nilai *gassification reactivity* dengan nilai pada penambahan 5%,8%, dan 10% sebesar  $42 \times 10^{-5}$ ,  $38.7 \times 10^{-5}$ , dan  $38.9 \times 10^{-5}$ . Penambahan 5% katalis  $K_2CO_3$  menjadi variabel paling optimal yang didasari dari stagnansi nilai *gassification reactivity* pada penambahan 8% dan 10% (Gambar 4.5).

Peningkatan nilai reaktivitas pada karbon menggunakan katalis dapat dijelaskan oleh mekanisme *catalytic gasification* dengan membantu mempercepat reaksi yang terjadi antara karbon dengan oksigen dalam menghasilkan energi. Kalium bekerja dengan 3 cara yaitu *active intermediate mechanism*, *cyclic redox mechanism*, *intercalation compound mechanism* seperti yang telah dijabarkan pada sub bab 2.4 mengenai *catalytic gasification* (Rady *et al.*, 2016). Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan katalis  $K_2CO_3$  dapat menurunkan temperatur dan waktu operasi yang dibuktikan pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Gasification Reactivity terhadap Penambahan Katalis K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

#### 4.1.3 Pengujian SEM-EDX



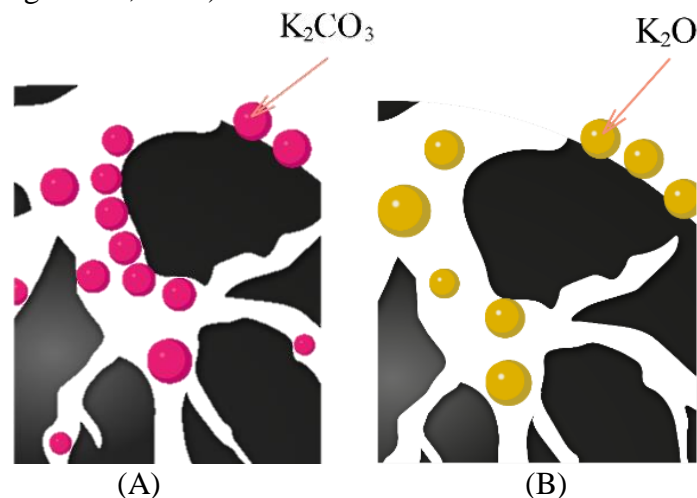
Gambar 4.6 Hasil Pengujian SEM pada Sampel Karbon Aktif dengan Perbesaran Gambar 20x-1μm (A) dan 50x-200nm (B) serta Sampel Karbon Aktif-Loaded 5% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dengan Perbesaran Gambar 20x-1μm (C) dan 50x-200nm (D)

Pengujian SEM-EDX pada sampel karbon aktif dan Karbon Aktif-Loaded 5% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> bertujuan dalam menganalisis struktur morfologi yang dimiliki. Gambar 4.6 (A dan B)

menunjukkan struktur karbon aktif yang tidak teratur sehingga bisa dikatakan sesuai dengan struktur biomassa pada umumnya yang memiliki struktur amorf (Singh *et al.*, 2018). Pori-pori pada gambar tidak terlihat yang diprediksi memiliki masuk kedalam kategori *ultramicropores* (<0.8 nm). Pori-pori ini ditemukan dalam susunan yang tidak teratur dari seluruh struktur biokarbon dimana mikropori kecil efektif dalam proses penangkapan molekul yang selanjutnya dapat memasuki mesopori yang lebih besar (Singh *et al.*, 2018; Sultana *et al.*, 2022). Molekul nantinya akan berinteraksi dengan gugus fungsi permukaan yang menghasilkan penangkapan CO<sub>2</sub>, CO dan O<sub>2</sub> yang tinggi.

Gambar 4.6 (C dan D) menunjukkan bahwa katalis K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> terdistribusi secara merata pada permukaan karbon aktif. Ukuran pori pada struktur karbon menjadi lebih besar setelah dilakukan penambahan kalium (K). Hal ini disebabkan oleh logam alkali yang dapat mendorong pembentukan pori-pori dan retakan pada permukaan karbon aktif. Pemanasan pada sampel karbon aktif-loaded 5% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> yang mencapai tingkat temperatur tertentu akan menyebabkan perubahan struktur pada permukaan karbon aktif menjadi sangat hancur dengan munculnya pori-pori dan retakan yang lebih besar. Struktur pori pada karbon aktif dengan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> relatif lebih berkembang dengan ukuran pori yang lebih kecil. Hal ini akan mengakibatkan area kontak antara oksida logam dengan karbon aktif sehingga terjadi peningkatan kinerja katalitik oksida logam serta mempengaruhi laju gasifikasi dan reaksi gasifikasi yang bekerja lebih cepat (Yang *et al.*, 2021).

Tabel 4.1 menunjukkan hasil dari EDX yang dilakukan pada material karbon aktif memiliki nilai .persentase karbon sebesar 78.6%. Nilai tersebut dapat dinyatakan bahwa sampel kehilangan banyak karbon yang disebabkan oleh rasio impregnasi KOH cukup tinggi terhadap karbon biomassa sehingga menghasilkan pembakaran karbon berlebihan. Hal ini berdampak pada permukaan yang akan teroksidasi jauh lebih besar dibandingkan dengan rasio impregnasi KOH yang lebih rendah (Singh *et al.*, 2018).



**Gambar 4. 7** Skema Penempelan K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (A) dan Pembentukan K<sub>2</sub>O (B) pada Permukaan Karbon Aktif

Nilai persentase oksigen didapati sebesar 20.3% dimana jumlah tersebut dapat dikatakan masih cukup besar. Hal ini menunjukkan tidak optimalnya proses karbonisasi sehingga reaksi tidak berjalan secara maksimal dengan menyisakan banyak kandungan oksigen. Kandungan oksigen yang tinggi akan mempengaruhi dari penurunan kemampuan adsorpsi dan *surface area* dari karbon aktif yang dimiliki (Singh *et al.*, 2018). Hasil EDX pada material karbon aktif-loaded K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> menunjukkan nilai kandungan karbon yang sangat tinggi sebesar 93.92%. Adanya K<sub>2</sub>O sebesar 4.53% menunjukkan keberhasilan dalam proses impregnasi dimana terjadi pelapisan pada permukaan karbon (Gambar 4.7). Pembentukan kalium pada permukaan karbon diakibatkan adanya proses pengikatan pada gugus fungsi karbon sehingga terjadi pembentukan K<sub>2</sub>O yang sesuai dengan hasil yang didapati pada data XRD.

**Tabel 4. 1** Komposisi Permukaan dengan Pengujian EDX Pada Sampel Karbon Aktif dan Karbon Aktif-Loaded 5% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

Sampel	C (%)	O (%)	N (%)	K <sub>2</sub> O(%)	Pengotor(%)
Karbon Aktif	78.6	20.3	1.1	-	-
Karbon Aktif-Loaded 5% K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	93.92	-	-	4.53	1.55

#### 4.1.4 Pengujian BET

**Tabel 4. 2** Hasil Pengujian BET dengan Nilai *Surface Area* pada Sampel Karbon Aktif dan Karbon Aktif-Loaded 5% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

Sampel	<i>Surface Area</i> (m <sup>2</sup> /g)
Karbon Aktif	927.536
Karbon Aktif-Loaded 5% K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	875

Pengujian BET dilakukan untuk menganalisis luasan area serta keberhasilan sintesis dari material karbon. Karbon aktif menunjukkan hasil *surface area* yaitu sebesar 927.536 m<sup>2</sup>/g dimana semakin tinggi nilai *surface area* maka kemampuan reaksi dari karbon akan semakin baik (Tabel 4.2). Nilai tersebut bisa dikategorikan memiliki hasil yang cukup baik jika dikomparasikan dengan hasil karbon aktif lainnya (Tabel 4.3). Keberhasilan ini disebabkan oleh efek dehidrasi kuat dari asam sulfat dalam menghilangkan banyak pengotor anorganik dan mengkatalisis polimerisasi karbon sebelum melakukan proses aktivasi dengan KOH. Hal ini membantu dalam produksi karbon dengan sifat tekstur dan fungsional yang unggul (Singh *et al.*, 2018).

**Tabel 4. 3** Perbandingan Hasil Aktivasi pada Berbagai Macam Material Biomassa

Bahan	Temperatur (°C)	Waktu (Jam)	Agen Aktivasi	<i>Surface Area</i> (m <sup>2</sup> /g)	Referensi
<i>Olive Stones</i>	800	7	CO <sub>2</sub>	1355	
<i>Oil Palm Shell</i>	85	2	KOH	1630	
<i>Phoenix dactylifera L</i>	900	2	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1225	
<i>Olive Stones</i>	750	6	<i>Steam</i>	807	
<i>Choerospondias axillaris</i>	400	3	NaOH	1000	(Mariana <i>et al.</i> , 2021)
<i>Pistachio shell</i>	1000	4	CaHPO <sub>4</sub>	1919	
<i>Finish wood</i>	800	3	CO <sub>2</sub>	590	
<i>Rape straw &amp; H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></i>	400	2	FeCl <sub>3</sub> & MnCl <sub>2</sub>	795	
<i>Molasses</i>	500	2	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	1400	
<i>Coconut shell</i>	800	2	KOH	927.536	Penelitian saat ini

Sampel karbon aktif-loaded 5%K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> menunjukkan nilai *average pore size* sebesar 1.32 nm. Nilai tersebut dapat menjadi rujukan bahwa pori yang dimiliki cukup besar pada karbon. Nilai *total pore volume* yang dimiliki sebesar 0.5793 cm<sup>3</sup>/g yang dapat dikategorikan bernilai moderat (Guo *et al.*, 2019) sedangkan nilai *pore size distribution* yang dimiliki sebesar 1.32 nm sehingga



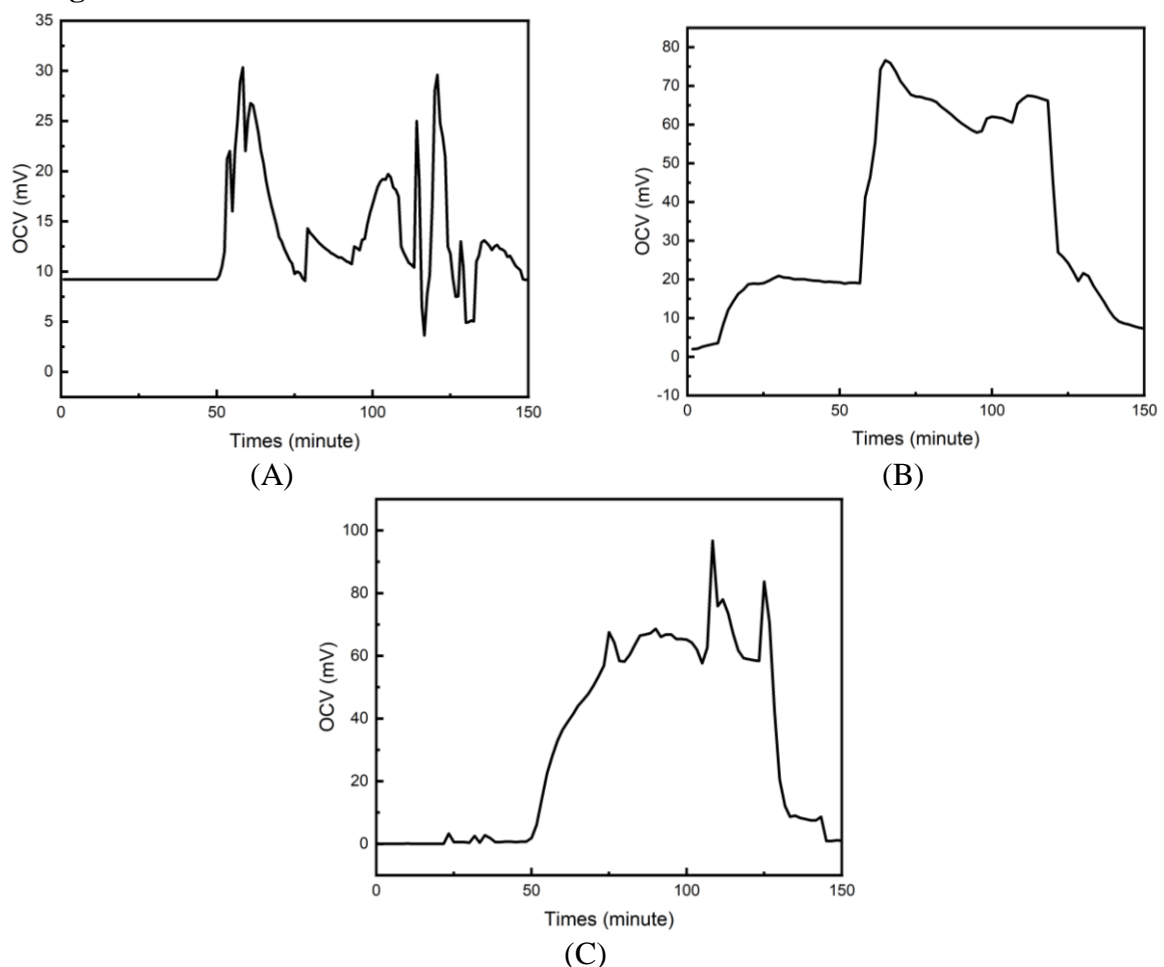
dapat dikategorikan kedalam *mesopores* (1-25 nm) (Singh *et al.*, 2018) (Tabel 4.4). Ketiga nilai tersebut memiliki hubungan satu sama lain dimana tingginya nilai *pore size* akan mempengaruhi dalam penurunan *surface area* dan *pore size distribution* akan tetapi meningkatkan nilai *total pore volume* (Sujiono *et al.*, 2022).

Karbon aktif dengan penggunaan 5% Katalis  $K_2CO_3$  (Karbon Aktif-Loaded 5%  $K_2CO_3$ ) menunjukkan hasil *surface area* sebesar  $875 \text{ m}^2/\text{g}$  yang dapat dikategorikan cukup baik (Tabel 4.2). Nilai *surface area* didapati berkurang dibandingkan dengan tanpa penambahan katalis. Penurunan nilai tersebut terjadi akibat pelapisan pori karbon oleh katalis  $K_2CO_3$  sehingga menurunkan nilai *surface area* yang dimiliki.

**Tabel 4. 4** Hasil Pengujian BET dengan Nilai *Average Pore width*, *Total Pore Volume*, dan *Pore Size Distribution* pada Karbon Aktif-Loaded 5%  $K_2CO_3$

Sampel	<i>Average Pore Size</i> (nm)	<i>Total Pore Volume</i> ( $\text{cm}^3/\text{g}$ )	<i>Pore Size Distribution</i> ( $\text{cm}^3\text{nm}^{-1}\text{g}^{-1}$ )
Karbon Aktif-Loaded 5% $K_2CO_3$	1.32 nm	0.5793	0.0699

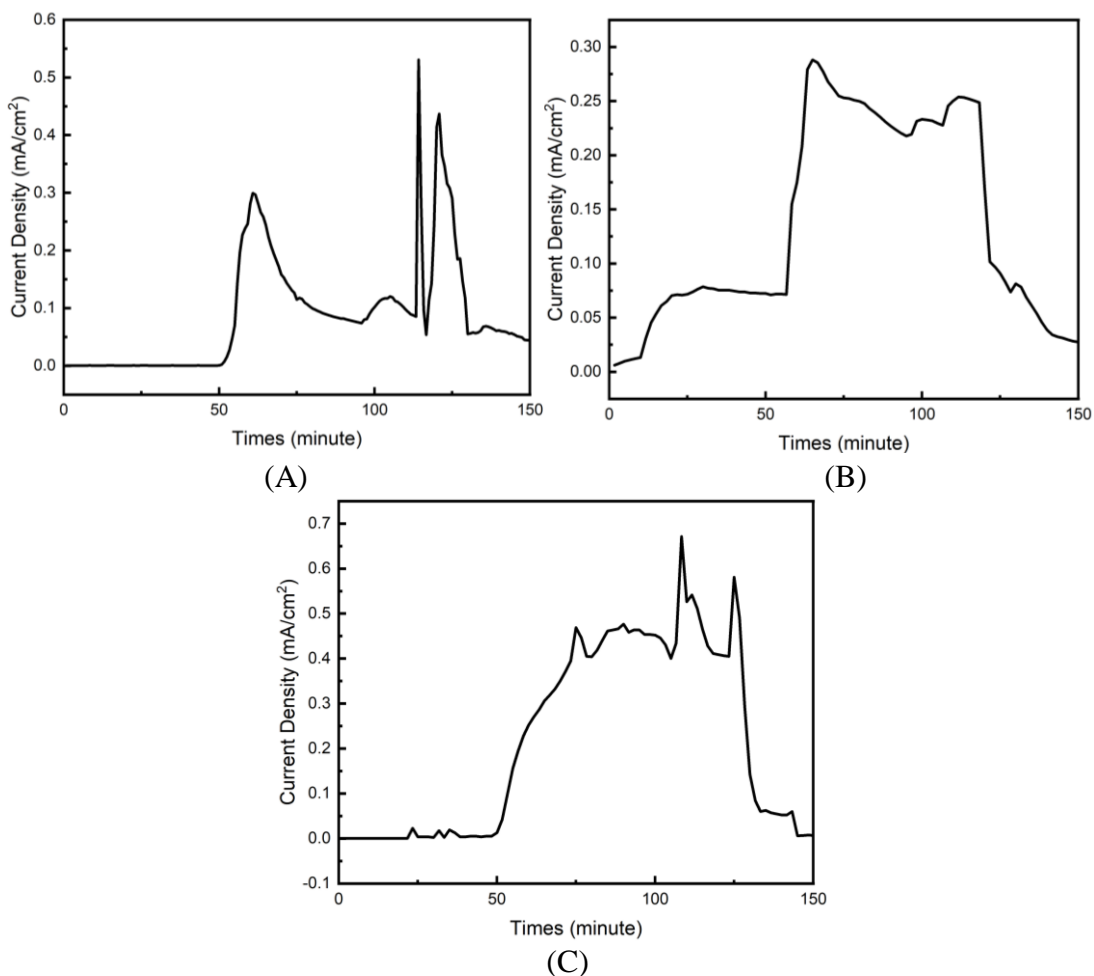
#### 4.2 Hasil Pengujian Performa Material Karbon aktif dan Karbon Aktif-Loaded $K_2CO_3$ sebagai Bahan Bakar



**Gambar 4. 8** Pengujian OCV pada Karbon Aktif (A), Karbon Aktif-Loaded 5%  $K_2CO_3$  (B), dan Karbon Aktif-Loaded 8%  $K_2CO_3$  (C)

Pengujian performa dilakukan pada material karbon aktif, karbon aktif-Loaded 5%  $K_2CO_3$  (sampel dengan performa karakterisasi terbaik), dan karbon aktif-Loaded 8%  $K_2CO_3$  untuk

menganalisis data OCV, *current density*, dan *power density* yang dihasilkan. Temperatur yang digunakan dalam sistem DCFC adalah 750 °C yang didasari dari percobaan Kouchachvili & Ikura (2011) dimana elektrolit yang digunakan memiliki temperatur leleh sebesar 410-500 °C dan performansi DCFC terbaik pada temperatur 750 °C. Hasil OCV dan *current density* pada karbon aktif menunjukkan fluktuasi nilai yang cukup kecil yang berkisar 5-30 mV dan 0.04-0.5 mA. Penambahan 5% katalis K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> memiliki nilai OCV dan *current density* dengan tren yang lebih baik dimana berkisar 10-76.58 mV dan 0.03-0.28 mA. Penambahan 8% katalis K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> menunjukkan performa yang paling optimal yaitu 0.03-96.7 mV dan 0.03-0.67 mA. Akan tetapi, grafik yang dimiliki menunjukkan ketidakstabilan dibandingkan dengan penambahan 5% (Gambar 4.8, Gambar 4.9, dan Gambar 4.10). Karbon aktif menunjukkan nilai fluktuasi yang tidak stabil dibandingkan dengan karbon aktif-loaded K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. Penggunaan katalis dapat dikatakan mempengaruhi dari kestabilan reaksi yang ditunjukkan dengan bentuk grafik yang jauh lebih *uniform*. Kurva yang terbentuk dalam OCV sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Kouchachvili & Ikura (2011).

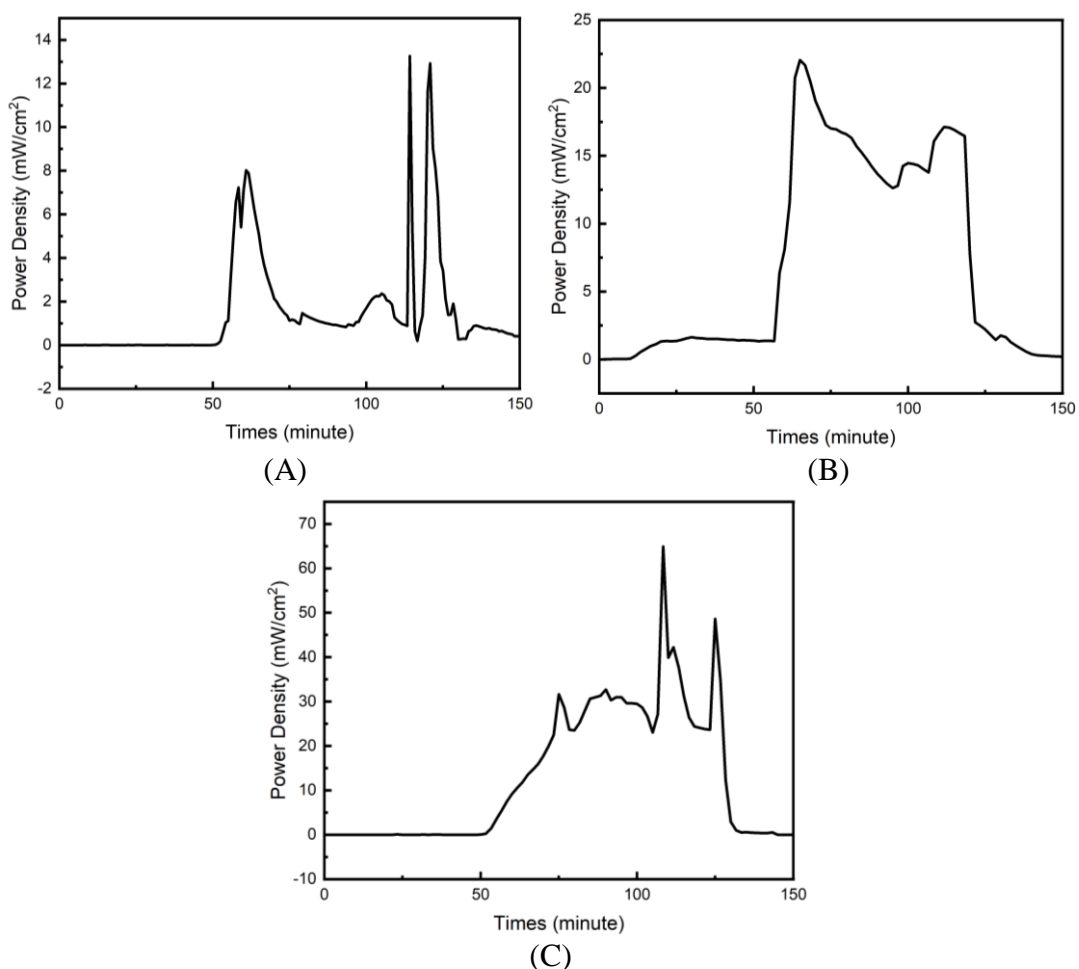


**Gambar 4. 9** Pengujian *Current Density* pada Karbon Aktif (A), Karbon Aktif-Loaded 5% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (B), dan Karbon Aktif-Loaded 8% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (C).

Karbon aktif menunjukkan performansi maksimal dengan nilai *power density* sebesar 13.26 mW/cm<sup>2</sup> (0.53 mA/cm<sup>2</sup> dan 25 mV). Nilai yang dihasilkan dapat dikatakan masih belum cukup baik jika dikomparasikan dengan performansi karbon lainnya pada Tabel 2.5. karbon aktif-Loaded 5% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> menunjukkan performansi yang cukup baik dengan nilai *power density* sebesar 22.05 mW/cm<sup>2</sup> (0.288 mA/cm<sup>2</sup> dan 76.58 mV) akan tetapi nilai optimal dicapai oleh karbon aktif-Loaded 8% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> sebesar 64.93 mW/cm<sup>2</sup> (0.67 mA/cm<sup>2</sup> dan 96.7 mV). Hal ini didasari pada hasil TGA dimana penambahan 8% katalis K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> memiliki konversi karbon yang lebih besar daripada

penambahan 5% katalis  $K_2CO_3$  pada temperatur  $750^\circ C$ . Akan tetapi, karbon aktif pada temperatur  $750^\circ C$  memiliki nilai konversi karbon yang lebih tinggi dimana hasil yang didapati berbanding terbalik. Hal ini menunjukkan peran elektrolit yang menjadi pembeda dalam hasil yang didapati sehingga diperlukan analisa dari aktivitas elektrolit dalam DCFC.

*Power density* nyatanya semakin meningkat seiring dengan penambahan katalis dikarenakan mekanisme *catalytic gasification* yang telah dideskripsikan pada subbab 2.4. Logam Kalium diprediksi bekerja dengan 3 cara *active intermediate mechanism*, *cyclic redox mechanism*, *intercalation compound mechanism*. Teori tersebut sejalan dengan hasil karakterisasi XRD yang dihasilkan dimana terdapat ikatan antara Kalium dengan unsur O membentuk *potassium oxide* ( $K_2O$ ). Selain itu, proses interkalasi pada *intercalation compound* dapat dibuktikan dengan perubahan kristalinitas yang dihasilkan dimana karbon yang semakin amorf sehingga mengurangi *dense* dari karbon. Penurunan *dense* akan meningkatkan reaktivitas yang dimiliki (Rady *et al.*, 2016). Kedua sampel memiliki performansi konversi energi listrik yang cukup baik sehingga dapat dikatakan bahwa sistem DCFC telah berjalan secara optimal dengan desain yang lebih sederhana dan efisien.



**Gambar 4. 10** Pengujian *Power Density* pada Karbon Aktif (A), Karbon Aktif-Loaded 5%  $K_2CO_3$  (B), dan Karbon Aktif-Loaded 8%  $K_2CO_3$  (C).

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini didapati sebagai berikut:

1. Penambahan Katalis  $K_2CO_3$  berdampak pada struktur yang lebih amorf (Kristalinitas 14-19%) dan membentuk  $K_2O$ . Reaktivitas *Boudouard* mengalami peningkatan menggunakan katalis  $K_2CO_3$  dengan nilai optimum didapati pada penambahan 5%. (*gassification reactivity* sebesar  $42 \times 10^{-5}$ ). *Surface area* karbon aktif ( $927.536 \text{ m}^2/\text{g}$ ) mengalami penurunan akibat terlapisinya permukaan oleh katalis  $K_2CO_3$  ( $875 \text{ m}^2/\text{g}$ ).
2. Penambahan katalis  $K_2CO_3$  menunjukkan nilai maksimal *power density* sebesar  $22.05 \text{ mW}/\text{cm}^2$  (5%) dan  $64.93 \text{ mW}/\text{cm}^2$  (8%) yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan karbon aktif saja (*power density*  $13.26 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ). Katalis  $K_2CO_3$  meningkatkan *power density* melalui 3 mekanisme *catalytic gasification* yaitu *active intermediate mechanism*, *cyclic redox mechanism*, *intercalation compound mechanism*.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan *tube furnace* yang terpisah dari spesimen lainnya untuk meminimalisir adanya pengotor yang masuk
2. Penggunaan masker, jas lab, dan sarung tangan sangat diperlukan dalam menjaga kualitas dari sampel yang dibuat
3. Pengembangan lebih lanjut dalam desain *Direct Carbon Fuel Cell* yang dapat memiliki ketahanan jangka panjang serta kemudahan dalam penggunaannya.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahn, S. Y., Eom, S. Y., Rhie, Y. H., Sung, Y. M., Moon, C. E., Choi, G. M., & Kim, D. J. (2013). Utilization of wood biomass char in a direct carbon fuel cell (DCFC) system. *Applied Energy*, *105*, 207–216. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.01.023>
- Alouw, J. C., & Wulandari, S. (2020). Present status and outlook of coconut development in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *418*(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/418/1/012035>
- An, W., Sun, X., Jiao, Y., Julião, P. S. B., Wang, W., Wang, S., Li, S. D., & Shuang, S. (2019). A solid oxide carbon fuel cell operating on pomelo peel char with high power output. *International Journal of Energy Research*, *43*(7), 2514–2526. <https://doi.org/10.1002/er.4097>
- Bie, K., Fu, P., Liu, Y., & Muhammad, A. (2020). Comparative study on the performance of different carbon fuels in a molten carbonate direct carbon fuel cell with a novel anode structure. *Journal of Power Sources*, *460*(January), 228101. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.228101>
- Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2014). *Material Science and Engineering* (6th ed.). John Wiley & Sons.
- Cazetta, A. L., Vargas, A. M. M., Nogami, E. M., Kunita, M. H., Guilherme, M. R., Martins, A. C., Silva, T. L., Moraes, J. C. G., & Almeida, V. C. (2011). NaOH-activated carbon of high surface area produced from coconut shell: Kinetics and equilibrium studies from the methylene blue adsorption. *Chemical Engineering Journal*, *174*(1), 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.08.058>
- Demirbaş, A., & Arin, G. (2002). An overview of biomass pyrolysis. *Energy Sources*, *24*(5), 471–482. <https://doi.org/10.1080/00908310252889979>
- Deng, Z., Sun, S., Li, H., Pan, D., Patil, R. R., Guo, Z., & Seok, I. (2021). Modification of coconut shell-based activated carbon and purification of wastewater. *Advanced Composites and Hybrid Materials*, *4*(1), 65–73. <https://doi.org/10.1007/s42114-021-00205-4>
- Dewi, T. K., Nurrahman, A., & Permana, E. (2009). Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Ubi Kayu (Mannihot esculenta). *Jurnal Teknik Kimia*, *16*(1), 24–30.
- Eom, S., Cho, J., Ahn, S., Sung, Y., Choi, G., & Kim, D. (2016). Comparison of the Electrochemical Reaction Parameter of Graphite and Sub-bituminous Coal in a Direct Carbon Fuel Cell. *Energy and Fuels*, *30*(4), 3502–3508. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.5b02904>
- ESDM, K. (2018). *Kebutuhan Listrik Disesuaikan, Target Bauran Energi Terbarukan Tahun 2025 Tetap Dijaga 23%*. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/kebutuhan-listrik-disesuaikan-target-bauran-energi-terbarukan-tahun-2025-tetap-dijaga-23>
- ESDM, K. (2021). *Konsumsi Listrik Per Kapita Indonesia Capai 1.109 kWh pada Kuartal III 2021*. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2021/12/10/konsumsi-listrik-per-kapita-indonesia-capai-1109-kwh-pada-kuartal-iii-2021>
- Gandla, D., Wu, X., Zhang, F., Wu, C., & Tan, D. Q. (2021). High-Performance and High-Voltage Supercapacitors Based on N-Doped Mesoporous Activated Carbon Derived from Dragon Fruit Peels. *ACS Omega*, *6*(11), 7615–7625. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c06171>
- Giddey, S., Badwal, S. P. S., Kulkarni, A., & Munnings, C. (2012). A comprehensive review of direct carbon fuel cell technology. *Progress in Energy and Combustion Science*, *38*(3), 360–399. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2012.01.003>
- Greenpeace Indonesia. (2015). *Kita, Batubara & Polusi Udara*. April, 1–16.
- Guo, D., Xin, R., Wang, Y., Jiang, W., Gao, Q., Hu, G., & Fan, M. (2019). *N-doped carbons with hierarchically micro- and mesoporous structure derived from sawdust for high performance supercapacitors*.
- Heidarinejad, Z., Dehghani, M. H., Heidari, M., Javedan, G., Ali, I., & Sillanpää, M. (2020).

- Methods for preparation and activation of activated carbon: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(2), 393–415. <https://doi.org/10.1007/s10311-019-00955-0>
- IESR. (2021). *Krisis Listrik Jawa-Bali – Masalah yang Tak Kunjung Selesai*. <https://iesr.or.id/pustaka/krisis-listrik-jawa-bali-masalah-yang-tak-kunjung-selesai>
- Ikumapayi, O. M., & Akinlabi, E. T. (2019). Data showing the effects of vibratory disc milling time on the microstructural characteristics of Coconut Shell Nanoparticles (CS-NPs). *Data in Brief*, 22(August), 537–545. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.12.067>
- Kouchachvili, L., Geddis, P., & Zhuang, Q. (2021). Direct carbon fuel cell design for continuous operation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(9), 6792–6802. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.11.179>
- Kouchachvili, L., & Ikura, M. (2011). Performance of direct carbon fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(16), 10263–10268. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.10.036>
- Li, C., Shi, Y., & Cai, N. (2010). Performance improvement of direct carbon fuel cell by introducing catalytic gasification process. *Journal of Power Sources*, 195(15), 4660–4666. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.01.083>
- Mariana, M., Abdul, A. K., Mistar, E. M., Yahya, E. B., Alfatah, T., Danish, M., & Amayreh, M. (2021). Recent advances in activated carbon modification techniques for enhanced heavy metal adsorption. *Journal of Water Process Engineering*, 43(June), 102221. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102221>
- Mei, B. A., Munteshari, O., Lau, J., Dunn, B., & Pilon, L. (2018). Physical Interpretations of Nyquist Plots for EDLC Electrodes and Devices. *Journal of Physical Chemistry C*, 122(1), 194–206. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.7b10582>
- Rady, A. C., Giddey, S., Kulkarni, A., Badwal, S. P. S., & Bhattacharya, S. (2016). Catalytic gasification of carbon in a direct carbon fuel cell. *Fuel*, 180, 270–277. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.04.047>
- Rajisha, K. R., Deepa, B., Pothan, L. A., & Thomas, S. (2011). Thermomechanical and spectroscopic characterization of natural fibre composites. *Interface Engineering of Natural Fibre Composites for Maximum Performance*, 241–274. <https://doi.org/10.1533/9780857092281.2.241>
- Ramadhani, L. F., Imaya M. Nurjannah, Ratna Yulistiani, & Erwan A. Saputro. (2020). Review: teknologi aktivasi fisika pada pembuatan karbon aktif dari limbah tempurung kelapa. In *Jurnal Teknik Kimia* (Vol. 26, Issue 2, pp. 42–53). <https://doi.org/10.36706/jtk.v26i2.518>
- Seri Maulina, & Feni Sari Putri. (2017). Pengaruh Suhu, Waktu, Dan Kadar Air Bahan Baku Terhadap Pirolisis Serbuk Pelepeh Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 6(2), 35–40. <https://doi.org/10.32734/jtk.v6i2.1581>
- Singh, G., Lakhi, K. S., Ramadass, K., Kim, S., Stockdale, D., Vinu, A., Materials, M., Lakhi, K. S., Ramadass, K., Kim, S., Stockdale, D., & Vinu, A. (2018). *A combined strategy of acid-assisted polymerization and solid state activation to synthesize functionalized nanoporous activated biocarbons from biomass for CO<sub>2</sub> capture*. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2018.05.035>. This
- Sujiono, E. H., D. zabrian, & Mulyati. (2022). Fabrication and characterization of coconut shell activated carbon using variation chemical activation for wastewater treatment application.pdf. *Results in Chemistry*, 4, 1–10.
- Sultana, M., Rownok, M. H., Sabrin, M., Rahaman, M. H., & Alam, S. M. N. (2022). A review on experimental chemically modified activated carbon to enhance dye and heavy metals adsorption. *Cleaner Engineering and Technology*, 6, 100382. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100382>
- Tang, H., Yu, F., Wang, Y., Xie, Y., Meng, X., Sun, H., Yang, N., & Tan, X. (2019). Enhancing the Power Output of Direct Carbon Solid Oxide Fuel Cell Using Ba-Loaded Activated Carbon Fuel. *Energy Technology*, 7(4). <https://doi.org/10.1002/ente.201800885>



- Tangstad, M., Beukes, J. P., Steenkamp, J., & Ringdalen, E. (2018). Coal-based reducing agents in ferroalloys and silicon production. In *New Trends in Coal Conversion: Combustion, Gasification, Emissions, and Coking*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102201-6.00014-5>
- Thommes, M., Kaneko, K., Neimark, A. V., Olivier, J. P., Rodriguez-Reinoso, F., Rouquerol, J., & Sing, K. S. W. (2015). Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 87(9–10), 1051–1069. <https://doi.org/10.1515/pac-2014-1117>
- Yang, H., Song, H., Zhao, C., Hu, J., Li, S., & Chen, H. (2021). Catalytic gasification reactivity and mechanism of petroleum coke at high temperature. *Fuel*, 293(November 2020). <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120469>
- Yu, F., Han, T., Wang, Z., Xie, Y., Wu, Y., Jin, Y., Yang, N., Xiao, J., & Kawi, S. (2021). Recent progress in direct carbon solid oxide fuel cell: Advanced anode catalysts, diversified carbon fuels, and heat management. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(5), 4283–4300. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.10.259>
- Zhang, L., Xiao, J., Xie, Y., Tang, Y., Liu, J., & Liu, M. (2014). Behavior of strontium- and magnesium-doped gallate electrolyte in direct carbon solid oxide fuel cells. *Journal of Alloys and Compounds*, 608, 272–277. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.04.154>
- Zhang, X. (2018). Current status of stationary fuel cells for coal power generation. *Clean Energy*, 2(2), 126–139. <https://doi.org/10.1093/ce/zky012>

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LAMPIRAN

### Lampiran 1

Pembuatan Sampel Karbon Aktif dan Karbon Aktif-Loaded  $K_2CO_3$   
Penimbangan karbon dan KOH



Pengadukan dengan *magnetic stirrer*



Peletakan Karbon kedalam Wadah



Pembakaran karbon dalam *furnace*



Penimbangan Sampel Karbon Aktif



Penghalusan Sampel Karbon Aktif



Pencucian Sampel dengan HCl (Perbandingan 1:3)



Pencucian dengan *aquadest*



Hasil Akhir Sampel Karbon Aktif



Penambahan  $K_2CO_3$



Pengadukan larutan karbon aktif-K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

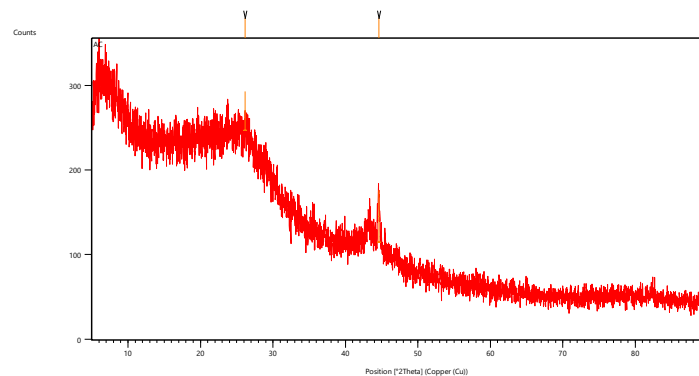


Proses Pengeringan dengan Oven



**Lampiran 2**

Hasil Pengujian XRD pada Sampel Karbon Aktif dan Karbon Aktif-Loaded K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>  
Karbon Aktif



*Peak List*

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
261,755	46,16	0,0900	340,174	75,04
445,944	61,52	0,2448	203,025	100,00

Refrensi  
Carbon 00-047-1154

Date: 7/12/2022 Time: 1:48:58 PM File: AC-baru smoothing User: HF

**Name and formula**

Reference code: 00-047-1154  
Compound name: Carbon  
Common name: diamond-15R  
PDF index name: Carbon  
Empirical formula: C  
Chemical formula: C

**Crystallographic parameters**

Crystal system: Rhombohedral  
Space group: R3m  
Space group number: 160  
a (Å): 2.5200  
b (Å): 2.5200  
c (Å): 30.8800  
Alpha (°): 90.0000  
Beta (°): 90.0000  
Gamma (°): 120.0000  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 169.83  
Z: 30.00  
RIR: -

**Status, subfiles and quality**

Status: Marked as deleted by ICDD  
Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Inorganic  
Quality: Calculated (C)

**Comments**

Creation Date: 1/1/1970  
Modification Date: 1/1/1970  
Deleted Or Rejected By: Deleted by 50-1085, more complete; LRB 6/98.

**References**

Primary reference: Phelps, A., Howard, W., White, W., Spear, K., Huang, D., *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, **162**, 213, (1990)

**Peak list**

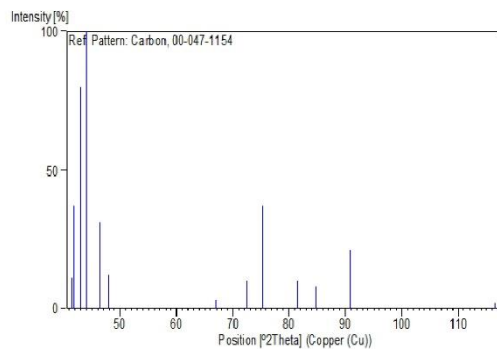
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	0	1	2.17700	41.444	11.0
2	0	1	2	2.16090	41.767	37.0
3	1	0	4	2.10010	43.036	80.0
4	0	0	15	2.05870	43.946	100.0

1 Of 2

Date: 7/12/2022 Time: 1:48:58 PM File: AC-baru smoothing User: HF

5	1	0	7	1.95610	46.382	31.0
6	0	1	8	1.89980	47.840	12.0
7	0	1	17	1.39610	66.974	3.0
8	1	0	19	1.30350	72.449	10.0
9	1	1	0	1.26000	75.374	37.0
10	1	0	22	1.18050	81.464	10.0
11	0	1	23	1.14350	84.696	8.0
12	0	2	4	1.08050	90.944	21.0
13	1	0	31	0.90620	116.431	2.0

**Stick Pattern**



## Carbon 01-074-2329

Date: 7/12/2022 Time: 1:49:21 PM File: AC-baru smoothing User: HF

### Name and formula

Reference code: 01-074-2329  
Mineral name: Graphite  
Compound name: Carbon  
ICSD name: Carbon  
Empirical formula: C  
Chemical formula: C

### Crystallographic parameters

Crystal system: Rhombohedral  
Space group: R-3m  
Space group number: 166  
a (Å): 2.4600  
b (Å): 2.4600  
c (Å): 53.5000  
Alpha (°): 90.0000  
Beta (°): 90.0000  
Gamma (°): 120.0000  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 1.71  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 280.38  
Z: 24.00  
RIR: 10.04

### Subfiles and Quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Corrosion  
Inorganic  
Mineral  
Modelled additional pattern  
Quality: Calculated (C)

### Comments

ICSD collection code: 028418  
Creation Date: 1/1/1970  
Modification Date: 1/1/1970  
ICSD Collection Code: 028418  
Test from ICSD: No R value given  
Test from ICSD: At least one TF missing.

### References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)*  
Structure: Nixon, D.E., Parry, G.S., Ubbelohde, A.R., *Proc. R. Soc. London, Ser. A*, **291**, 324, (1966)

### Peak list

1 of 3

Date: 7/12/2022 Time: 1:49:21 PM

File: AC-baru smoothing

User: HF

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	0	0	3	17.83330	4.951	100.0
2	0	0	6	8.91667	9.912	15.9
3	0	0	9	5.94444	14.891	2.7
4	0	0	12	4.45833	19.899	0.1
5	0	0	15	3.56667	24.945	13.4
6	0	0	18	2.97222	30.041	3.2
7	0	0	21	2.54762	35.199	0.2
8	0	0	24	2.22917	40.431	0.1
9	1	0	1	2.12074	42.429	0.6
10	0	1	2	2.12370	42.534	0.3
11	0	1	5	2.08941	43.267	0.1
12	1	0	7	2.05219	44.093	1.0
13	0	1	8	2.02991	44.602	0.9
14	0	0	27	1.97927	45.807	0.2
15	0	1	11	1.95142	46.499	0.1
16	1	0	13	1.89195	48.051	0.1
17	0	1	14	1.86079	48.908	0.2
18	1	0	16	1.79673	50.773	0.2
19	0	0	30	1.78333	51.182	0.4
20	0	1	17	1.76420	51.778	0.1
21	1	0	19	1.69894	53.924	0.1
22	0	1	20	1.66649	55.062	0.1
23	0	0	33	1.62121	56.737	0.4
24	1	0	22	1.60246	57.462	0.2
25	0	1	23	1.57106	58.721	0.2
26	1	0	25	1.50981	61.354	0.1
27	0	1	26	1.48005	62.726	0.1
28	1	0	28	1.42243	65.577	0.1
29	0	1	29	1.39461	67.055	0.1
30	0	0	39	1.37179	68.323	0.1
31	1	0	31	1.34101	70.118	0.1
32	0	1	32	1.31523	71.702	0.1
33	0	0	42	1.27381	74.418	0.1
34	1	0	34	1.26572	74.975	0.1
35	0	1	35	1.24196	76.666	0.1
36	1	1	0	1.23000	77.549	0.4
37	1	1	3	1.22708	77.769	0.3
38	1	1	6	1.21846	78.424	0.1
39	1	1	9	1.20449	79.513	0.1
40	1	0	37	1.19641	80.158	0.1
41	0	0	45	1.18889	80.769	0.1
42	1	1	12	1.18570	81.032	0.1
43	0	1	38	1.17458	81.962	0.1
44	1	1	15	1.16280	82.974	0.5
45	1	1	18	1.13653	85.338	0.2
46	0	0	48	1.11458	87.436	0.1
47	0	1	41	1.11274	87.618	0.1
48	1	1	21	1.10766	88.123	0.1

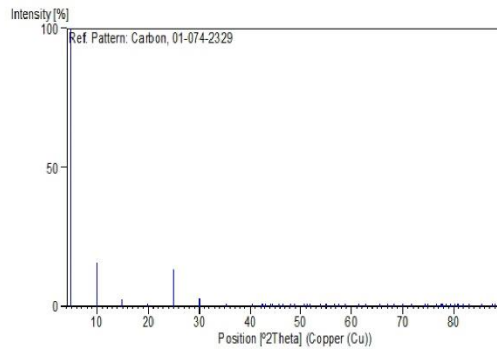
### Stick Pattern

2 OF 3

Date: 7/12/2022 Time: 1:49:21 PM

File: AC-baru smoothing

User: HF





01-074-2330

Date: 7/12/2022 Time: 1:50:24 PM File: AC-baru smoothing User: HF

**Name and formula**

Reference code: 01-074-2330  
Compound name: Carbon  
ICSD name: Carbon  
Empirical formula: C  
Chemical formula: C

**Crystallographic parameters**

Crystal system: Orthorhombic  
Space group: Cmc21  
Space group number: 36  
a (Å): 2.4600  
b (Å): 4.2600  
c (Å): 28.9600  
Alpha (°): 90.0000  
Beta (°): 90.0000  
Gamma (°): 90.0000  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 1.58  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 303.49  
Z: 24.00  
RIR: 10.41

**Subfiles and Quality**

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Corrosion  
Inorganic  
Quality: Modelled additional pattern  
Calculated (C)

**Comments**

ICSD collection code: 028419  
Creation Date: 1/1/1970  
Modification Date: 1/1/1970  
ICSD Collection Code: 028419  
Calculated Pattern Original Remarks: REM ODS  
Test from ICSD: No R value given  
Test from ICSD: At least one TF missing.

**References**

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)*  
Structure: Nixon, D.E., Parry, G.S., Ubbelohde, A.R., *Proc. R. Soc. London, Ser. A*, **291**, 324, (1966)

**Peak list**

1 of 3

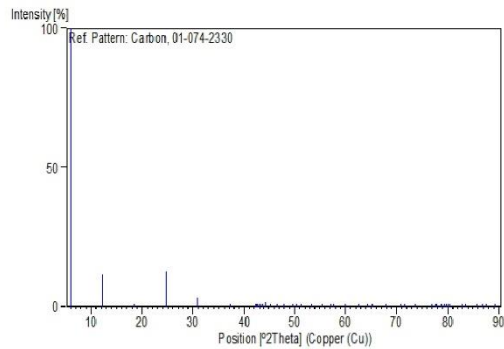
Date: 7/12/2022 Time: 1:50:24 PM File: AC-baru smoothing User: HF

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	0	0	2	14.48000	6.099	100.0
2	0	0	4	7.24000	12.215	11.5
3	0	0	6	4.82667	18.366	0.4
4	0	0	8	3.62000	24.572	12.7
5	0	0	10	2.89600	30.851	3.3
6	0	0	12	2.41333	37.227	0.1
7	1	1	0	2.13032	42.396	0.4
8	1	1	1	2.12458	42.516	0.4
9	1	1	2	2.10763	42.874	0.1
10	1	1	3	2.08026	43.467	0.2
11	0	0	14	2.06857	43.725	0.1
12	1	1	4	2.04368	44.286	1.5
13	1	1	5	1.99937	45.321	0.2
14	1	1	6	1.94893	46.562	0.3
15	1	1	7	1.89397	47.997	0.1
16	1	1	8	1.83599	49.613	0.2
17	0	0	16	1.81000	50.375	0.4
18	1	1	9	1.77631	51.399	0.1
19	1	1	10	1.71604	53.344	0.1
20	1	1	11	1.65607	55.438	0.1
21	0	0	18	1.60889	57.211	0.4
22	1	1	12	1.59710	57.673	0.3
23	1	1	13	1.53964	60.041	0.1
24	1	1	14	1.48405	62.537	0.2
25	0	0	20	1.44800	64.278	0.1
26	1	1	15	1.43058	65.157	0.1
27	1	1	16	1.37936	67.897	0.1
28	1	1	17	1.33045	70.757	0.1
29	0	0	22	1.31636	71.631	0.1
30	1	1	18	1.28388	73.737	0.1
31	1	1	19	1.23960	76.838	0.1
32	2	0	0	1.22982	77.563	0.4
33	2	0	2	1.22541	77.895	0.2
34	2	0	4	1.21245	78.888	0.1
35	0	0	24	1.20667	79.341	0.1
36	1	3	5	1.20300	79.631	0.1
37	1	1	20	1.19755	80.066	0.1
38	2	0	6	1.19174	80.536	0.1
39	2	0	8	1.16445	82.831	0.5
40	1	1	21	1.15766	83.425	0.1
41	2	0	10	1.13198	85.764	0.3
42	1	1	22	1.11982	86.925	0.1
43	1	3	11	1.11385	87.508	0.1
44	1	3	12	1.09575	89.335	0.1

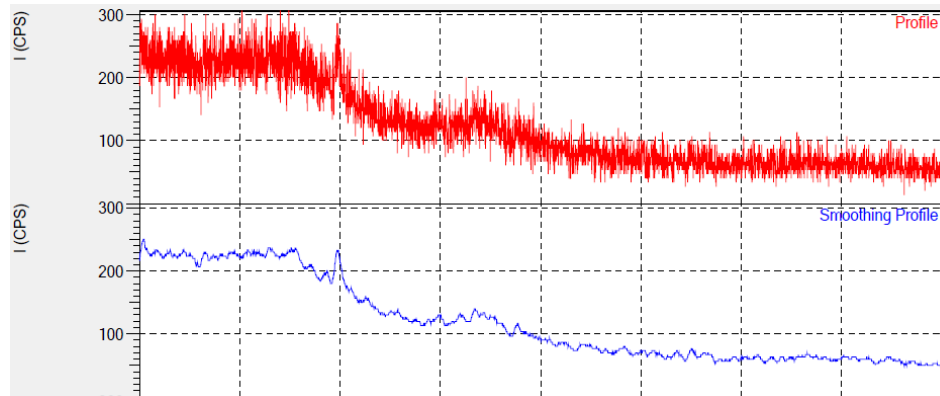
**Stick Pattern**

2 OF 3

Date: 7/12/2022 Time: 1:50:24 PM File: AC-baru smoothing User: HF



Karbon Aktif-Loaded 5% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>



Peak List

no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	20	29.7742	2.99827	100	0.53	11	373
2	1	10.4523	8.45674	73	0.42	8	209
3	17	25.5849	3.47891	55	0.56	6	234

Referensi

Carbon 01-080-0004

Date: 7/12/2022 Time: 2:06:05 PM File: SP20221089\_1 User: HF

**Name and formula**

Reference code: 01-080-0004  
Compound name: Carbon  
ICSD name: Carbon  
Empirical formula: C  
Chemical formula: C

**Crystallographic parameters**

Crystal system: Hexagonal  
Space group: P63mc  
Space group number: 186  
a (Å): 2.4900  
b (Å): 2.4900  
c (Å): 4.1440  
Alpha (°): 90.0000  
Beta (°): 90.0000  
Gamma (°): 120.0000  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 3.59  
Volume of cell (10<sup>-6</sup> pm<sup>3</sup>): 22.25  
Z: 4.00  
RIR: 0.51

**Subfiles and Quality**

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Inorganic  
Modelled additional pattern  
Quality: Calculated (C)

**Comments**

ICSD collection code: 067774  
Creation Date: 1/1/1970  
Modification Date: 1/1/1970  
ICSD Collection Code: 067774  
Calculated Pattern Original Remarks: REM THE  
Test from ICSD: No R value given  
Test from ICSD: At least one TF missing.

**References**

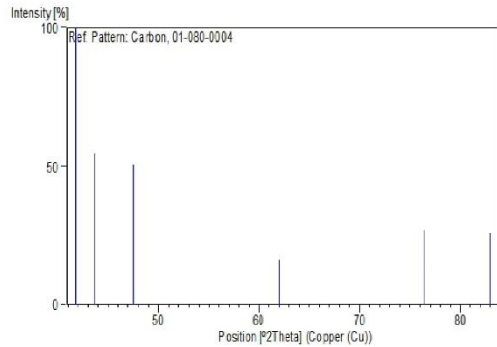
Primary reference: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)  
Structure: Yeh, C., Lu, Z.W., Froyen, S., Zunger, A., *Phys. Rev. B: Condens. Matter*, **46**, 10086, (1992)

**Peak list**

Date: 7/12/2022 Time: 2:06:05 PM File: SP20221089\_1 User: HF

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	0	0	2.15640	41.859	100.0
2	0	0	2	2.07200	43.649	54.9
3	1	0	1	1.91291	47.492	50.8
4	1	0	2	1.49407	62.071	16.3
5	1	1	0	1.24500	76.445	26.7
6	1	0	3	1.16315	82.944	25.7

### Stick Pattern



## Carbon 01-082-0619

Date: 7/12/2022 Time: 2:04:59 PM File: SP20221089\_1 User: HF

### Name and formula

Reference code: 01-082-0619  
Compound name: Carbon  
ICSD name: Carbon  
Empirical formula: C<sub>8</sub>  
Chemical formula: C<sub>8</sub>

### Crystallographic parameters

Crystal system: Cubic  
Space group: Ia-3  
Space group number: 206  
a (Å): 4.2930  
b (Å): 4.2930  
c (Å): 4.2930  
Alpha (°): 90.0000  
Beta (°): 90.0000  
Gamma (°): 90.0000

Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 4.03  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 79.12  
Z: 2.00  
RIR: 0.78

### Subfiles and Quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Inorganic  
Modelled additional pattern  
Quality: Calculated (C)

### Comments

ICSD collection code: 074655  
Creation Date: 1/1/1970  
Modification Date: 1/1/1970  
ICSD Collection Code: 074655  
Calculated Pattern Original Remarks: REM THE  
Test from ICSD: No R value given  
Test from ICSD: At least one TF missing.

### References

Primary reference: Calculated from ICSD using POWD-12++  
Structure: Johnston, R.L., Hoffmann, R., *J. Am. Chem. Soc.*, **111**, 810, (1989)

### Peak list

1 Of 2

Date: 7/12/2022 Time: 2:04:59 PM File: SP20221089\_1 User: HF

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	2	0	0	2.14650	42.061	21.6
2	2	1	1	1.75261	52.146	100.0
3	2	2	0	1.51780	60.996	0.6
4	2	2	2	1.23928	76.862	0.1
5	3	2	1	1.14735	84.346	32.5

*Potassium Oxide* 00-011-0526

Date: 7/12/2022 Time: 2:16:37 PM File: SP20221089\_2 User: HF

**Name and formula**

Reference code: 00-011-0526  
Compound name: Potassium Oxide  
PDF index name: Potassium Oxide  
Empirical formula:  $KO_2$   
Chemical formula:  $KO_2$

**Crystallographic parameters**

Crystal system: Tetragonal  
a (Å): 4.3000  
b (Å): 4.3000  
c (Å): 3.5400  
Alpha (°): 90.0000  
Beta (°): 90.0000  
Gamma (°): 90.0000  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 65.45  
RIR: -

**Status, subfiles and quality**

Status: Marked as deleted by ICDD  
Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Quality: Inorganic  
Blank (B)

**Comments**

Creation Date: 1/1/1970  
Modification Date: 1/1/1970  
Reference as quoted by Ramachandra Rao, C.N., Hoffman, C.W.W., *ITJ. Sci. Ind. Res.* \RG, \BF16B\RG 267-8 (1957).  
Pseudo-CsCl type lattice. Deleted Or Rejected By: Deleted by 43-1438; insufficient data; Weissmann 1/93.

**References**

Primary reference: Zhdanova, Zvonkova., *Zh. Fiz. Khim.*, **25**, 100, (1951)

**Peak list**

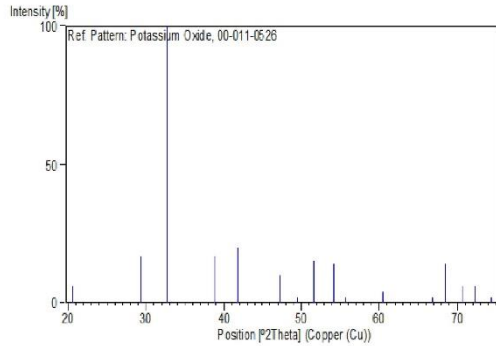
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I (%)
1	1	0	0	4.30000	20.639	6.0
2	1	1	0	3.04000	29.356	17.0
3	1	0	1	2.74000	32.655	100.0
4	1	1	1	2.32000	38.784	17.0
5	2	0	0	2.16000	41.786	20.0
6	2	1	0	1.92000	47.306	10.0
7	2	0	1	1.84000	49.498	2.0

1 of 2

Date: 7/12/2022 Time: 2:16:37 PM File: SP20221089\_2 User: HF

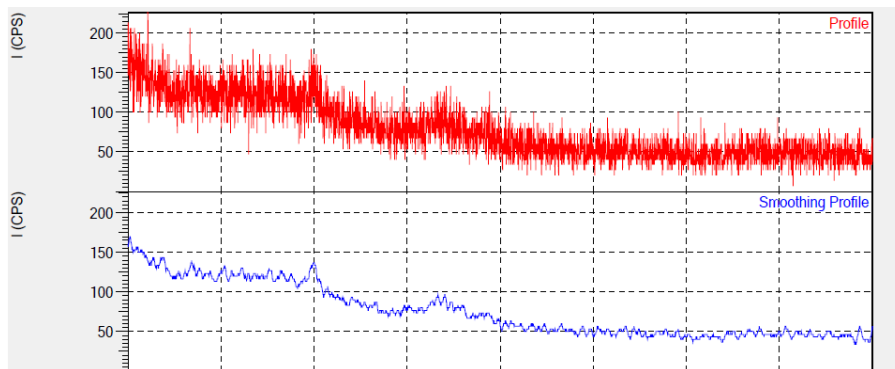
8	0	0	2	1.77000	51.596	15.0
9	2	1	1	1.69000	54.233	14.0
10	1	0	2	1.65000	55.660	2.0
11	1	1	2	1.53000	60.459	4.0
12	2	2	1	1.39700	66.926	2.0
13	2	0	2	1.36900	68.482	14.0
14	3	0	1	1.33100	70.724	6.0
15	2	1	2	1.30600	72.288	6.0
16	3	1	1	1.27400	74.405	2.0

**Stick Pattern**



2 of 2

**Karbon Aktif-Loaded 8%  $K_2CO_3$**



**Peak List**

no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	23	29.9391	2.98213	100	0.68	8	248
2	8	16.8903	5.24504	63	0.18	5	118
3	5	13.8773	6.37631	63	0.22	5	135

## Referensi Carbon 00-048-1206

Date: 7/12/2022 Time: 2:20:16 PM File: SP20221089\_2 User: HF

### Name and formula

Reference code: 00-048-1206  
Compound name: Carbon  
PDF index name: Carbon  
Empirical formula: C<sub>70</sub>  
Chemical formula: C<sub>70</sub>

### Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal  
Space group: P63/mmc  
Space group number: 194  
a (Å): 10.5934  
b (Å): 10.5934  
c (Å): 17.2620  
Alpha (°): 90.0000  
Beta (°): 90.0000  
Gamma (°): 120.0000  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 1.66  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 1677.62  
Z: 2.00  
RIR: 1.04

### Subfiles and Quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Inorganic  
Superconducting Material  
Quality: Star (S)

### Comments

Color: Black  
Creation Date: 1/1/1970  
Modification Date: 1/1/1970  
Color: Black  
Sample Preparation: In pure He at 200 torr, an arc was struck between graphite electrodes. The soot was dissolved in toluene and separated chromatographically. The C<sub>70</sub> fraction was evaporated to dryness and heat treated in vacuum at 250 C for 24 hours  
Temperature of Data Collection: Pattern taken at 25 C.

### References

Primary reference: Narasimha Rao, G., Sastry, V., Premila, M., Bharathi, A., Sundar, C., Seshagiri, V., Radhakrishnan, T., *Powder Diffraction*, **11**, 5, (1996)

### Peak list

1 of 2

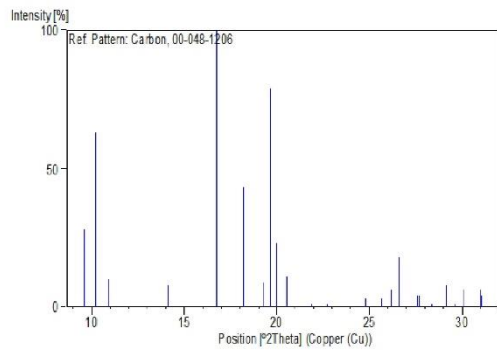
Date: 7/12/2022 Time: 2:20:16 PM

File: SP20221089\_2

User: HF

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	0	0	9.17700	9.630	28.0
2	0	0	2	8.63000	10.242	63.0
3	1	0	1	8.09900	10.915	10.0
4	1	0	2	6.28600	14.078	8.0
5	1	1	0	5.29400	16.733	100.0
6	1	0	3	4.87400	18.187	43.0
7	2	0	0	4.58700	19.335	9.0
8	1	1	2	4.51000	19.668	79.0
9	2	0	1	4.43400	20.009	23.0
10	0	0	4	4.31700	20.557	11.0
11	2	0	2	4.05100	21.923	1.0
12	1	0	4	3.90800	22.736	1.0
13	2	0	3	3.58700	24.801	3.0
14	2	1	0	3.46800	25.667	3.0
15	2	1	1	3.39900	26.197	6.0
16	1	1	4	3.34500	26.628	18.0
17	1	0	5	3.23100	27.585	4.0
18	2	1	2	3.21700	27.708	4.0
19	2	0	4	3.14300	28.374	1.0
20	3	0	0	3.05800	29.180	8.0
21	3	0	1	3.01200	29.635	1.0
22	2	1	3	2.96900	30.075	6.0
23	3	0	2	2.88300	30.994	6.0
24	0	0	6	2.87600	31.071	4.0

**Stick Pattern**





## Carbon 00-050-1363

Date: 7/12/2022 Time: 2:19:50 PM File: SP20221089\_2 User: HF

### Name and formula

Reference code: 00-050-1363  
Compound name: Carbon  
Common name: fullerite  
PDF index name: Carbon  
Empirical formula: C<sub>70</sub>  
Chemical formula: C<sub>70</sub>

### Crystallographic parameters

Crystal system: Rhombohedral  
Space group: R-3m  
Space group number: 166  
a (Å): 9.9200  
b (Å): 9.9200  
c (Å): 24.5100  
Alpha (°): 90.0000  
Beta (°): 90.0000  
Gamma (°): 120.0000  
Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 1.85  
Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 1.80  
Volume of cell (10<sup>-6</sup> pm<sup>3</sup>): 2259.25  
Z: 3.00

RIR: -

### Subfiles and Quality

Subfiles: Inorganic  
Quality: Blank (8)

### Comments

Creation Date: 1/1/1970  
Modification Date: 1/1/1970  
Sample Source or Locality: Sample from C<sub>70</sub> (99.6%) was manufactured in the Inst. of Metal Organic Chemistry, Nizhni Novgorod, Russia  
Sample Preparation: Pressure-induced phase was produced by quenching C<sub>70</sub> at 9.5 GPa and T=770 K in the Research Center for Superhard Materials, Troitsk, Moscow region, Russia. The initial C<sub>70</sub> is a very soft material with molecular structure. This phase No. 1 is a polymerized phase with 2-dimensional polymerization of C<sub>70</sub> molecules in hexagonal layers as it was observed in C<sub>60</sub>. The hardness of C<sub>70</sub> phase No. 1 is equal to 2 GPa  
Unit Cell: Rhombohedral cell: a=10.53, a=56.03. \*Not permitted by space group. 1 Possible impurity material. Reference reports as strongest reflection of 50-1364.

### References

1 of 2

Date: 7/12/2022 Time: 2:19:50 PM File: SP20221089\_2 User: HF

Primary reference: Serebryanaya, N., Research Center for Superhard Materials, Troitsk, Moscow, Russia., *ICDD Grant-in-Aid*, (1998)

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	0	0	3	3.78376	10.062	49.0
2	1	0	1	8.14900	10.822	56.0
3	1	0	2	7.10945	12.440	10.0
4				6.80988	12.990	10.0
5	1	0	4	5.26159	16.837	57.0
6	1	1	0	4.95799	17.876	100.0
7	1	1	3	4.29497	20.664	48.0
8	1	0	7	3.49302	25.480	10.0
9	2	0	5	3.34607	26.619	13.0
10	2	1	1	3.20903	27.778	76.0
11	0	0	9	2.93365	30.446	41.0

## Potassium Oxide 00-011-0526

Date: 7/12/2022 Time: 2:16:37 PM File: SP20221089\_2 User: HF

### Name and formula

Reference code: 00-011-0526  
Compound name: Potassium Oxide  
PDF index name: Potassium Oxide  
Empirical formula:  $KO_3$   
Chemical formula:  $KO_3$

### Crystallographic parameters

Crystal system: Tetragonal  
a (Å): 4.3000  
b (Å): 4.3000  
c (Å): 3.5400  
Alpha (°): 90.0000  
Beta (°): 90.0000  
Gamma (°): 90.0000  
Volume of cell ( $10^6 \text{ pm}^3$ ): 65.45  
RR: -

### Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD  
Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
Inorganic  
Quality: Blank (B)

### Comments

Creation Date: 1/1/1970  
Modification Date: 1/1/1970  
Reference as quoted by Ramachandra Rao, C.N., Hoffman, C.W.W., *ITJ. Sci. Ind. Res.*, 18F168\RG 267-8 (1957).  
Pseudo-CsCl type lattice. Deleted Or Rejected By: Deleted by 43-1438; insufficient data; Weiszmann 1/93.

### References

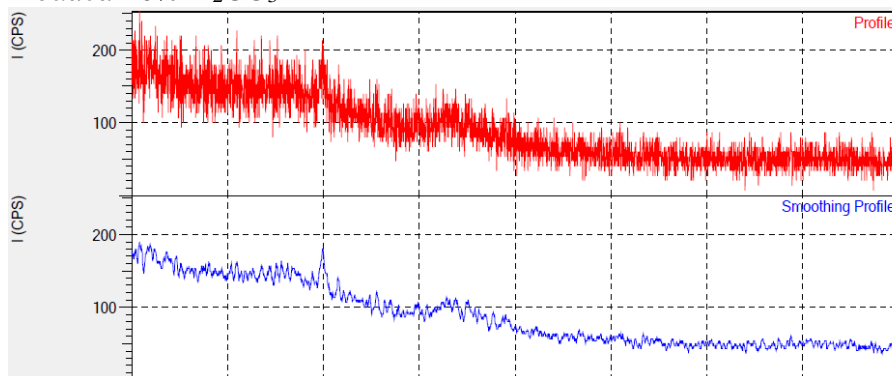
Primary reference: Zhdanova, Zvonkova., *Zh. Fiz. Khim.*, 25, 100, (1951)

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	1	0	0	4.30000	20.639	6.0
2	1	1	0	3.04000	29.356	17.0
3	1	0	1	2.74000	32.655	100.0
4	1	1	1	2.32000	38.784	17.0
5	2	0	0	2.16000	41.786	20.0
6	2	1	0	1.92000	47.306	10.0
7	2	0	1	1.84000	49.498	2.0

1 of 2

## Karbon Aktif-Loaded 10% $K_2CO_3$



### Peak List

no.	peak no.	2Theta (deg)	d (Å)	I/I1	FWHM (deg)	Intensity (Counts)	Integrated Int (Counts)
1	39	29.9091	2.98505	100	0.34	12	219
2	42	31.5273	2.83543	58	0.12	7	70
3	66	42.8639	2.10812	58	0.27	7	104

## Refrensi Carbon 00-001-0640

Date: 7/12/2022 Time: 2:30:26 PM File: SP20221089\_3 User: HF

### Name and formula

Reference code: 00-001-0640  
 Mineral name: Graphite  
 Compound name: Carbon  
 PDF index name: Carbon  
 Empirical formula: C  
 Chemical formula: C

### Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal  
 a (Å): 2.4700  
 b (Å): 2.4700  
 c (Å): 6.8000  
 Alpha (°): 90.0000  
 Beta (°): 90.0000  
 Gamma (°): 120.0000  
 Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 2.16  
 Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 35.93  
 Z: 4.00

RIR: -

### Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD  
 Subfiles: Inorganic  
 Mineral  
 Quality: Blank (B)

### Comments

Color: Black  
 Creation Date: 1/1/1970  
 Modification Date: 1/1/1970  
 Deleted Or Rejected By: Delete: see SW comments August 31, 1956, 23-64, 25-284 calc. Additional Patterns: To replace 2-456. Color: Black. Optical Data: B=1.93-2.07, Sign=-.

### References

Primary reference: Hanawalt, et al., *Anal. Chem.*, **10**, 475, (1938)  
 Unit cell: *Dana's System of Mineralogy, 7th Ed.*

### Peak list

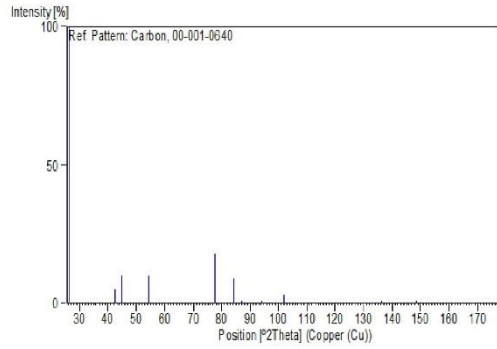
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	0	0	2	3.38000	26.947	100.0
2	1	0	0	2.12000	42.612	5.0
3	1	0	1	2.02000	44.833	10.0

1 of 2

Date: 7/12/2022 Time: 2:30:26 PM File: SP20221089\_3 User: HF

4	0	0	4	1.69000	54.233	10.0
5	1	1	0	1.23000	77.549	18.0
6	1	0	5	1.15000	84.107	9.0
7	0	0	6	1.12000	86.907	1.0
8	2	0	1	1.05000	94.381	1.0
9	1	1	4	0.99000	102.170	3.0
10	1	1	6	0.83000	136.273	1.0
11	2	1	1	0.80000	148.678	1.0
12	3	0	1	0.71000		1.0
13	1	1	8	0.70000		1.0

**Stick Pattern**



## Carbon 00-008-0415

Date: 7/12/2022 Time: 2:29:40 PM File: SP20221089\_3 User: HF

### Name and formula

Reference code: 00-008-0415  
Mineral name: Graphite  
Compound name: Carbon  
PDF index name: Carbon  
Empirical formula: C  
Chemical formula: C

### Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal  
Space group: P63/mmc  
Space group number: 194  
a (Å): 2.4640  
b (Å): 2.4640  
c (Å): 6.7360  
Alpha (°): 90.0000  
Beta (°): 90.0000  
Gamma (°): 120.0000  
Volume of cell (10<sup>6</sup> pm<sup>3</sup>): 35.42  
Z: 4.00  
RIR: -

### Status, subfiles and quality

Status: Marked as deleted by ICDD  
Subfiles: Inorganic  
Quality: Mineral  
Blank (B)

### Comments

Creation Date: 1/1/1970  
Modification Date: 1/1/1970  
Deleted Or Rejected By: Delete: Post June 10, 1960; SW October 31, 1960 (for Set 13). Spectrographically pure reagent. Temperature of Data Collection: Pattern taken at 25 C.

### References

Primary reference: Menary, African Expl. Chem. Ind. Ltd., Transvaal, Africa., *Private Communication*

### Peak list

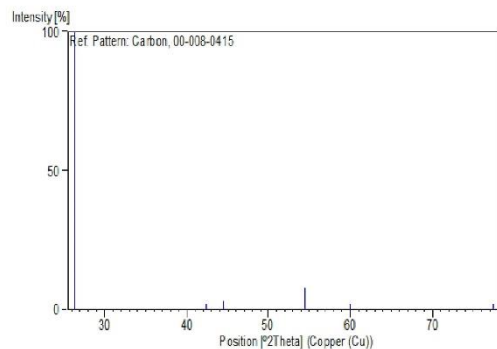
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I (%)
1	0	0	2	3.37000	26.426	100.0
2	1	0	0	2.13200	42.361	2.0
3	1	0	1	2.03600	44.462	3.0
4	0	0	4	1.68200	54.512	6.0

1 Of 2

Date: 7/12/2022 Time: 2:29:40 PM File: SP20221089\_3 User: HF

5	1	0	3	1.54100	59.983	2.0
6	1	1	0	1.23200	77.400	2.0

### Stick Pattern



## Carbon 00-041-1487

Date: 7/12/2022 Time: 2:28:37 PM File: SP20221089\_3 User: HF

### Name and formula

Reference code: 00-041-1487  
 Mineral name: Graphite-2H  
 Compound name: Carbon  
 Common name: C.I. Pigment Black 10  
 PDF index name: Carbon  
 Empirical formula: C  
 Chemical formula: C

### Crystallographic parameters

Crystal system: Hexagonal  
 Space group: P63/mmc  
 Space group number: 194  
 a (Å): 2.4704  
 b (Å): 2.4704  
 c (Å): 6.7244  
 Alpha (°): 90.0000  
 Beta (°): 90.0000  
 Gamma (°): 120.0000  
 Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2.24  
 Measured density (g/cm<sup>3</sup>): 2.16  
 Volume of cell (10<sup>-6</sup> pm<sup>3</sup>): 35.54  
 Z: 4.00  
 RIR: 7.78

### Subfiles and Quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
 Common Phase  
 Educational pattern  
 Forensic  
 Inorganic  
 Mineral  
 Pigment/Dye  
 Indexed (I)  
 Quality:

### Comments

Color: Black  
 Creation Date: 1/1/1970  
 Modification Date: 1/1/1970  
 Sample Source or Locality: Specimen from Netolice, Czechoslovakia  
 Color: Black  
 Additional Patterns: To replace 1-640, 1-646, 2-456, 3-401, 23-64, 25-284 and 34-567 and validated by calculated pattern 25-284  
 Temperature of Data Collection: Pattern taken at 25(1) C.

1 Of 2

Date: 7/12/2022 Time: 2:28:37 PM File: SP20221089\_3 User: HF

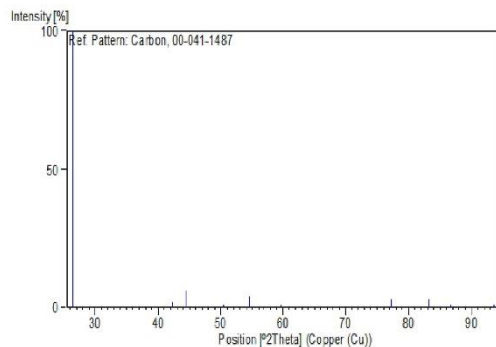
### References

Primary reference: Sanc, I., Polytechna, Foreign Trade Corporation, Panska, Czechoslovakia., *ICDD Grant-In-Aid*, (1990)  
 Structure: *Aust. J. Chem.*, **42**, 479, (1989)

### Peak list

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
1	0	0	2	3.37563	26.382	100.0
2	1	0	0	2.13865	42.223	2.0
3	1	0	1	2.03901	44.393	6.0
4	1	0	2	1.80737	50.453	1.0
5	0	0	4	1.60110	54.544	4.0
6	1	0	3	1.54777	59.694	1.0
7	1	1	0	1.23408	77.245	3.0
8	1	1	2	1.16038	83.186	3.0
9	0	0	6	1.12084	86.826	1.0
10	2	0	1	1.05672	93.598	1.0

### Stick Pattern



## Potassium Oxide 01-077-0211

Date: 7/12/2022 Time: 2:32:12 PM File: SP20221089\_3 User: HF

### Name and formula

Reference code: 01-077-0211  
 Compound name: Potassium Oxide  
 ICSD name: Potassium Oxide  
 Empirical formula:  $KO_2$   
 Chemical formula:  $KO_2$

### Crystallographic parameters

Crystal system: Tetragonal  
 Space group:  $I4/mmm$   
 Space group number: 139  
 a (Å): 4.0300  
 b (Å): 4.0300  
 c (Å): 6.6970  
 Alpha (°): 90.0000  
 Beta (°): 90.0000  
 Gamma (°): 90.0000  
 Calculated density ( $g/cm^3$ ): 2.17  
 Volume of cell ( $10^6 pm^3$ ): 108.77  
 Z: 2.00  
 RIR: 8.17

### Subfiles and Quality

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
 Inorganic  
 Modelled additional pattern  
 Quality: Calculated (C)

### Comments

ICSD collection code: 038245  
 Creation Date: 1/1/1970  
 Modification Date: 1/1/1970  
 ICSD Collection Code: 038245  
 Calculated Pattern Original Remarks: REM TWI  
 Temperature Factor: ITF.

### References

Primary reference: *Calculated from ICSD using POWD-12+, (1997)*  
 Structure: Ziegler, M., Rosenfeld, M., Kaenzig, W., Fischer, P., *Helv. Phys. Acta*, **49**, 57, (1976)

### Peak list

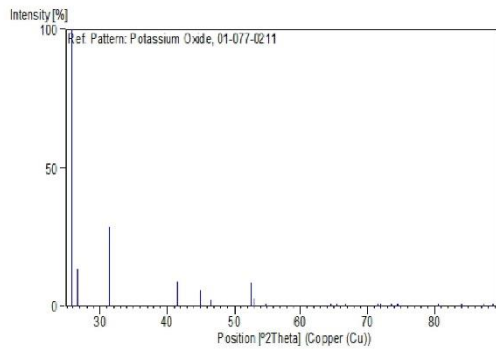
No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
-----	---	---	---	-------	--------------	-------

1 of 2

Date: 7/12/2022 Time: 2:32:12 PM File: SP20221089\_3 User: HF

1	1	0	1	3.45301	25.780	100.0
2	0	0	2	3.34850	26.599	13.5
3	1	1	0	2.84964	31.366	28.7
4	1	1	2	2.17016	41.581	8.9
5	2	0	0	2.01500	44.950	5.8
6	1	0	3	1.95276	46.466	2.3
7	2	1	1	1.74035	52.541	8.6
8	2	0	2	1.72650	52.996	2.7
9	0	0	4	1.67425	54.785	0.1
10	1	1	4	1.44354	64.501	0.2
11	2	2	0	1.42482	65.453	0.6
12	2	1	3	1.40230	66.640	0.7
13	3	0	1	1.31710	71.584	0.6
14	2	2	2	1.31107	71.965	0.4
15	2	0	4	1.28774	73.479	0.1
16	3	1	0	1.27440	74.377	0.6
17	1	0	5	1.27104	74.607	0.3
18	3	1	2	1.19105	80.593	0.4
19	3	0	3	1.15100	84.018	0.1
20	0	0	6	1.11617	87.280	0.1
21	3	2	1	1.10247	88.646	0.3

**Stick Pattern**



**Potassium Oxide 01-077-2151**

Date: 7/12/2022 Time: 2:31:43 PM File: SP20221089\_3 User: HF

**Name and formula**

Reference code: 01-077-2151  
 Compound name: Potassium Oxide  
 ICSD name: Potassium Oxide  
 Empirical formula: K<sub>2</sub>O  
 Chemical formula: K<sub>2</sub>O

**Crystallographic parameters**

Crystal system: Cubic  
 Space group: Fm-3m  
 Space group number: 225  
 a (Å): 6.4360  
 b (Å): 6.4360  
 c (Å): 6.4360  
 Alpha (°): 90.0000  
 Beta (°): 90.0000  
 Gamma (°): 90.0000  
 Calculated density (g/cm<sup>3</sup>): 2.35  
 Volume of cell (10<sup>-6</sup> pm<sup>3</sup>): 266.59  
 Z: 4.00  
 RIR: 5.13

**Subfiles and Quality**

Subfiles: Alloy, metal or intermetallic  
 Inorganic  
 Modelled additional pattern  
 Quality: Calculated (C)

**Comments**

ICSD collection code: 060438  
 Creation Date: 1/1/1970  
 Modification Date: 1/1/1970  
 ICSD Collection Code: 060438  
 Test from ICSD: No R value given  
 Test from ICSD: At least one TF missing.

**References**

Primary reference: Calculated from ICSD using POWD-12++, (1997)  
 Structure: Zintl, E., Harder, A., Dauth, B., *Z. Elektrochem.*, **40**, 588, (1934)

**Peak list**

No.	h	k	l	d [Å]	2Theta [deg]	I [%]
-----	---	---	---	-------	--------------	-------



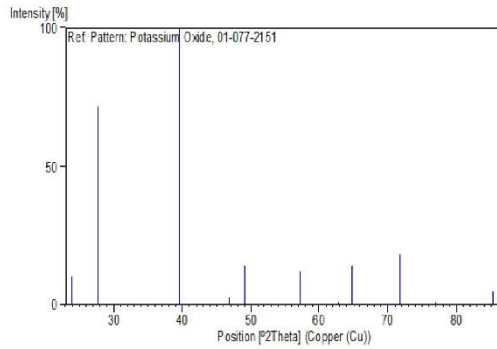
LAPORAN TUGAS AKHIR  
TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



Date: 7/12/2022 Time: 2:31:43 PM File: SP20221089\_3 User: HF

1	1	1	1	3.71593	23.929	10.3
2	2	0	0	3.21800	27.699	71.9
3	2	2	0	2.27547	39.574	100.0
4	3	1	1	1.94053	46.776	2.7
5	2	2	2	1.85791	49.969	14.0
6	4	0	0	1.60900	57.207	11.9
7	3	3	1	1.47652	62.893	0.7
8	4	2	0	1.43913	64.722	14.1
9	4	2	2	1.31374	71.796	18.1
10	5	1	1	1.23861	76.911	0.4
11	4	4	0	1.13773	85.227	4.8

**Stick Pattern**



**Persentase Kristalinitas**

**Karbon Aktif**

AC

Luas Kristal	Luas Total Kristal	Luas Total Area	Persentase
1402.29271	3053.5332	8558.39604	35.67880226
1437.65376			
116.6363			
96.95043			

**Karbon Aktif-Loaded 5% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>**

AC-5% K2CO3

Luas Kristal	Luas Total Kristal	Luas Total Area	Persentase
76.5	488.3	2579.74086	18.92825778
98.68			
77.34			
235.78			

**Karbon Aktif-Loaded 8% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>**

AC-8% K2CO3

Luas Kristal	Luas Total Kristal	Luas Total Area	Persentase
58.82	263.02	1704.10743	15.43447293
147.08			
57.12			

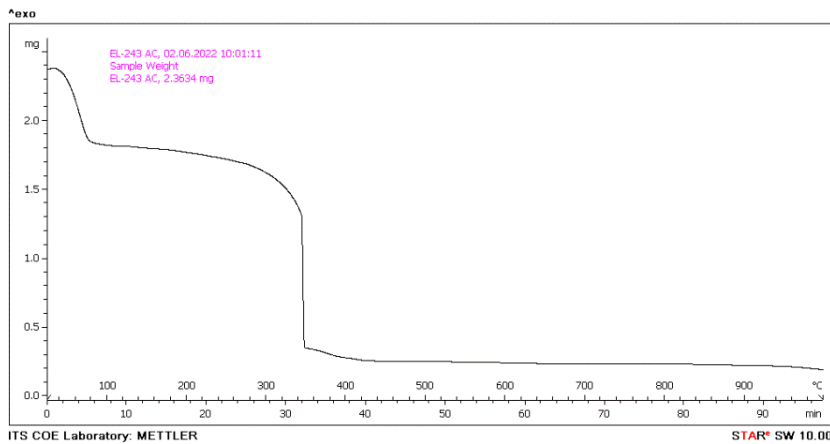
**Karbon Aktif-Loaded 10% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>**

AC-10% K2CO3

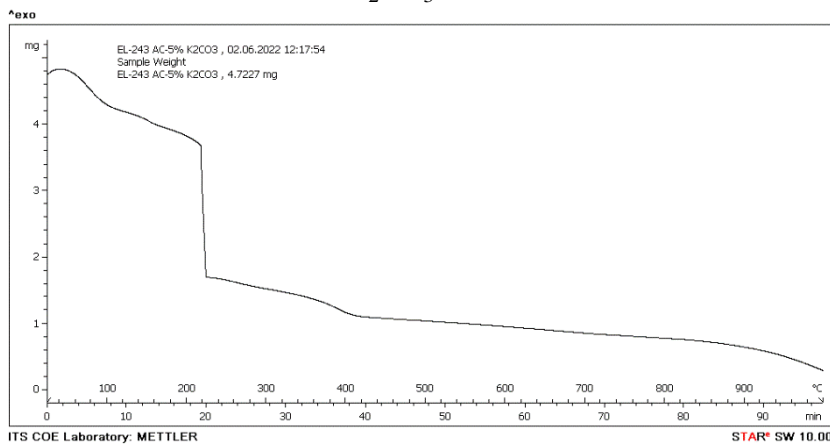
Luas Kristal	Luas Total Kristal	Luas Total Area	Persentase
83.96	292.56	2003.7	14.60098817
77.48			
76.44			
54.68			

### Lampiran 3

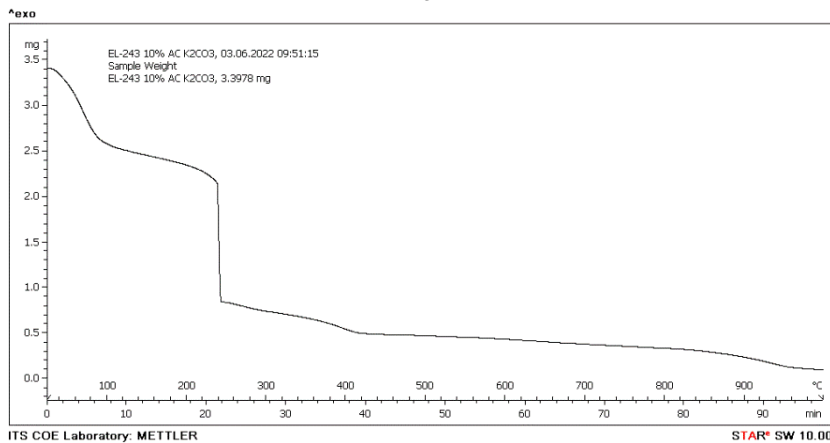
Hasil Pengujian TGA pada Sampel Karbon Aktif dan Karbon Aktif-Loaded  $K_2CO_3$   
Karbon Aktif



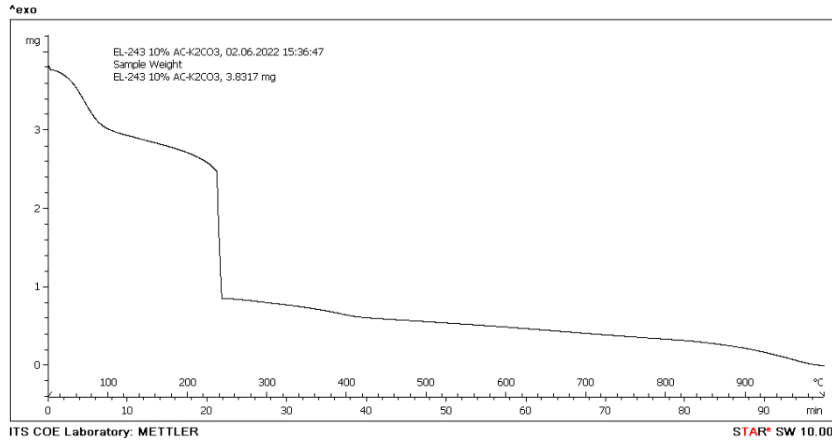
Karbon Aktif-Loaded 5%  $K_2CO_3$



Karbon Aktif-Loaded 8%  $K_2CO_3$



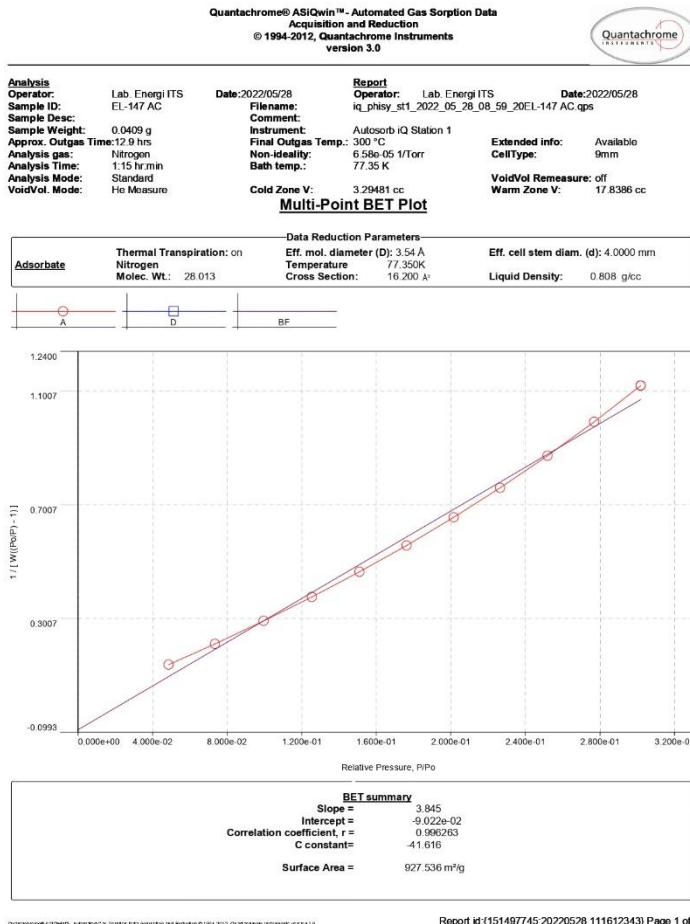
### Karbon Aktif-Loaded 10% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>



## Lampiran 4

Hasil Pengujian BET pada Sampel Karbon Aktif dan Karbon Aktif-Loaded K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

Karbon Aktif  
Surface Area



Karbon Aktif-Loaded 5%  $K_2CO_3$   
Surface Area

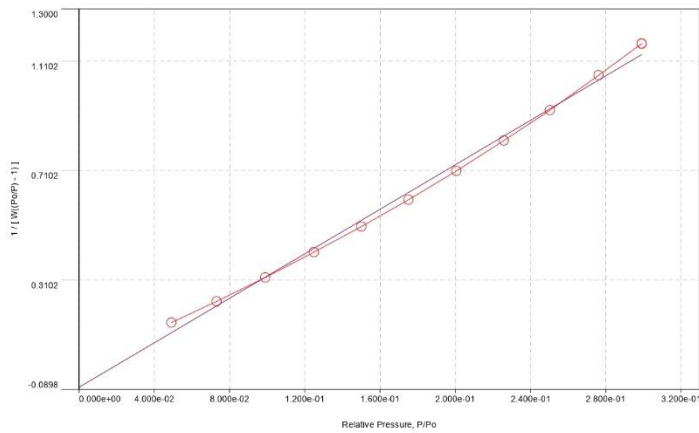
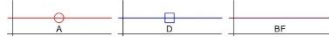
Quantachrome® ASiQwin™ - Automated Gas Sorption Data  
Acquisition and Reduction  
© 1994-2012, Quantachrome Instruments  
version 3.0



<b>Analysis</b>	Lab: Energi ITS	Date: 2022/06/22	<b>Report</b>	Operator: Lab: Energi ITS	Date: 2022/06/23
<b>Operator:</b>	EL-301 AC-K2CO3 5%		<b>Operator:</b>	iq_phisy_st1_2022_06_22_12_00_45EL-301 AC-K2CO3 5% qps	
<b>Sample ID:</b>			<b>Filename:</b>		
<b>Sample Desc:</b>			<b>Comment:</b>		
<b>Sample Weight:</b>	0.0437 g		<b>Instrument:</b>	Autosorb iQ Station 1	
<b>Approx. Outgas Time:</b>	12.0 hrs		<b>Final Outgas Temp.:</b>	300 °C	<b>Extended info:</b> Available
<b>Analysis gas:</b>	Nitrogen		<b>Non-ideality:</b>	6.58e-05 1/Torr	<b>CellType:</b> 9mm
<b>Analysis Time:</b>	3.46 hr:min		<b>Bath temp.:</b>	77.35 K	<b>VoidVol Remeasure:</b> off
<b>Analysis Mode:</b>	Standard		<b>Cold Zone V:</b>	1.68628 cc	<b>Warm Zone V:</b> 19.3787 cc
<b>VoidVol. Mode:</b>	No Measure				

**Multi-Point BET Plot**

Data Reduction Parameters			
<b>Adsorbate</b>	Thermal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm
	Nitrogen	Temperature: 77.350K	
	Molec. Wt.: 28.013	Cross Section: 16.200 Å²	Liquid Density: 0.808 g/cc



BET summary	
Slope =	4.062
Intercept =	-8.161e-02
Correlation coefficient, r =	0.997476
C constant =	-48.770
Surface Area =	875.001 m²/g

Half Pore Width & Pore Size Distribution

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



<b>Analysis</b>	Lab. Energi ITS	<b>Date:</b> 2022/06/22	<b>Report</b>	Lab. Energi ITS	<b>Date:</b> 2022/06/23
<b>Operator:</b>	EL-301 AC-K2CO3 5%	<b>Filename:</b>	iq_phisy_st1_2022_06_22_12_00_45EL-301 AC-K2CO3 5%.qps		
<b>Sample Desc:</b>		<b>Comment:</b>			
<b>Sample Weight:</b>	0.0437 g	<b>Instrument:</b>	Autosorb iQ Station 1	<b>Extended info:</b>	Available
<b>Approx. Outgas Time:</b>	12.9 hrs	<b>Final Outgas Temp.:</b>	300 °C	<b>Cell Type:</b>	9mm
<b>Analysis gas:</b>	Nitrogen	<b>Non-ideality:</b>	6.58e-05 1/Torr	<b>VoidVol Remeasure:</b>	off
<b>Analysis Time:</b>	3.46 hr:min	<b>Bath temp.:</b>	77.35 K	<b>Warm Zone V:</b>	19.3787 cc
<b>Analysis Mode:</b>	Standard				
<b>VoidVol. Mode:</b>	He Measure	<b>Cold Zone V:</b>	1.68628 cc		

SF method Pore Size Distribution

Data Reduction Parameters Data

<b>SF method</b>	Thermal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm
<b>Adsorbate</b>	Tabulated data interval: 1		
	<b>Nitrogen</b>	<b>Temperature</b> 77.350K	<b>Liquid Density:</b> 0.808 g/cc
	<b>Molec. Wt.:</b> 28.013	<b>Cross Section:</b> 16.200 Å <sup>2</sup>	<b>Magn. Suscept.:</b> 2.000
	<b>Avg. Diameter:</b> 0.300 nm	<b>Polarizability:</b> 1.460 (cc/molec) x 10 <sup>-31</sup>	
	<b>Molec. Density:</b> 6.700 (mol/cm <sup>3</sup> )x10 <sup>-4</sup>		
<b>Adsorbent</b>	<b>Carbon</b>		
	<b>Atom Diameter:</b> 0.340 nm	<b>Surf. Atom Dens.:</b> 38.450 (mol/cm <sup>2</sup> )x10 <sup>-14</sup>	<b>Polarizability:</b> 1.020 (cc/molec)x10 <sup>-31</sup>
		<b>Magn. Susc.:</b> 13.500 (cc/molec)x10 <sup>-31</sup>	

SF method Pore Size Distribution Data

Half pore width	d(V)	Half pore width	d(V)
[Å]	[cc/Å/g]	[Å]	[cc/Å/g]
1.7539	0.32880	3.5070	0.00001
1.8000	0.32880	3.5531	0.00001
1.8461	0.32880	3.5992	0.00002
1.8923	0.32880	3.6454	0.00002
1.9384	0.32880	3.6915	0.00002
1.9845	0.32880	3.7376	0.00003
2.0307	0.32880	3.7838	0.00003
2.0768	0.32880	3.8299	0.00004
2.1229	0.32880	3.8760	0.00005
2.1691	0.32880	3.9222	0.00005
2.2152	0.32880	3.9683	0.00006
2.2613	0.32880	4.0144	0.00007
2.3075	0.00000	4.0606	0.00008
2.3536	0.00000	4.1067	0.00009
2.3997	0.00000	4.1528	0.00010
2.4459	0.00000	4.1990	0.00012
2.4920	0.00000	4.2451	0.00013
2.5381	0.00000	4.2912	0.00015
2.5843	0.00000	4.3374	0.00017
2.6304	0.00000	4.3835	0.00019
2.6765	0.00000	4.4296	0.00021
2.7227	0.00000	4.4758	0.00024
2.7688	0.00000	4.5219	0.00027
2.8149	0.00000	4.5681	0.00030
2.8611	0.00000	4.6142	0.00033
2.9072	0.00000	4.6603	0.00036
2.9533	0.00000	4.7065	0.00040
2.9995	0.00000	4.7526	0.00043
3.0456	0.00000	4.7987	0.00048
3.0918	0.00000	4.8449	0.00052
3.1379	0.00000	4.8910	0.00057
3.1840	0.00000	4.9371	0.00061
3.2302	0.00000	4.9833	0.00067
3.2763	0.00000	5.0294	0.00072
3.3224	0.00001	5.0755	0.00078
3.3686	0.00001	5.1217	0.00084
3.4147	0.00001	5.1678	0.00090
3.4608	0.00001	5.2139	0.00096

Continued on next page

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



<b>Analysis</b>	<b>Report</b>		
<b>Operator:</b> Lab. Energi ITS	<b>Operator:</b> Lab. Energi ITS	<b>Date:</b> 2022/06/22	<b>Date:</b> 2022/06/23
<b>Sample ID:</b> EL-301 AC-K2CO3 5%	<b>Filename:</b> iq_phisy_st1_2022_06_22_12_00_45EL-301 AC-K2CO3 5%.qps		

### SF method Pore Size Distribution Data continued

Half pore width [Å]	dV() [cc/Å/g]	Half pore width [Å]	dV() [cc/Å/g]
5.2601	0.00103	8.0281	0.00576
5.3062	0.00110	8.0743	0.00626
5.3523	0.00117	8.1204	0.00676
5.3985	0.00124	8.1665	0.00727
5.4446	0.00131	8.2127	0.00777
5.4907	0.00139	8.2588	0.00827
5.5369	0.00147	8.3049	0.00877
5.5830	0.00155	8.3511	0.00928
5.6291	0.00162	8.3972	0.00973
5.6753	0.00170	8.4433	0.01020
5.7214	0.00178	8.4895	0.01064
5.7675	0.00186	8.5356	0.01107
5.8137	0.00194	8.5817	0.01147
5.8598	0.00202	8.6279	0.01185
5.9059	0.00209	8.6740	0.01220
5.9521	0.00216	8.7201	0.01251
5.9982	0.00223	8.7663	0.01278
6.0444	0.00230	8.8124	0.01302
6.0905	0.00236	8.8585	0.01322
6.1366	0.00242	8.9047	0.01339
6.1828	0.00247	8.9508	0.01352
6.2289	0.00252	8.9970	0.01361
6.2750	0.00256	9.0431	0.01367
6.3212	0.00260	9.0892	0.01370
6.3673	0.00263	9.1354	0.01368
6.4134	0.00264	9.1815	0.01364
6.4596	0.00265	9.2276	0.01357
6.5057	0.00266	9.2738	0.01346
6.5518	0.00265	9.3199	0.01332
6.5980	0.00262	9.3660	0.01316
6.6441	0.00259	9.4122	0.01297
6.6902	0.00255	9.4583	0.01276
6.7364	0.00249	9.5044	0.01253
6.7825	0.00242	9.5506	0.01229
6.8286	0.00233	9.5967	0.01203
6.8748	0.00223	9.6428	0.01176
6.9209	0.00211	9.6890	0.01148
6.9670	0.00198	9.7351	0.01120
7.0132	0.00183	9.7812	0.01092
7.0593	0.00167	9.8274	0.01064
7.1054	0.00149	9.8735	0.01038
7.1516	0.00129	9.9196	0.01013
7.1977	0.00107	9.9658	0.00989
7.2438	0.00083	10.0119	0.00966
7.2900	0.00058	10.0580	0.00945
7.3361	0.00031	10.1042	0.00924
7.3822	0.00001	10.1503	0.00905
7.4284	0.00030	10.1964	0.00887
7.4745	0.00062	10.2426	0.00870
7.5207	0.00097	10.2887	0.00855
7.5668	0.00133	10.3348	0.00840
7.6129	0.00171	10.3810	0.00827
7.6591	0.00211	10.4271	0.00814
7.7052	0.00252	10.4733	0.00802
7.7513	0.00295	10.5194	0.00792
7.7975	0.00339	10.5655	0.00782
7.8436	0.00384	10.6117	0.00773
7.8897	0.00431	10.6578	0.00765
7.9359	0.00478	10.7039	0.00757
7.9820	0.00527	10.7501	0.00750

Continued on next page

# LAPORAN TUGAS AKHIR TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI



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



<b>Analisis</b>	Lab. Energi ITS	<b>Date:</b> 2022/06/22	<b>Report</b>
<b>Operator:</b>	EL-301 AC-K2CO3 5%	<b>Filename:</b>	Lab. Energi ITS
<b>Sample ID:</b>			iq_phisy_st1_2022_06_22_12_00_45EL-301 AC-K2CO3 5%.qps

### SF method Pore Size Distribution Data continued

Half pore width [Å]	dV() [cc/Å/g]	Half pore width [Å]	dV() [cc/Å/g]
10.7962	0.00743	13.5643	0.00350
10.8423	0.00737	13.6104	0.00348
10.8885	0.00731	13.6565	0.00345
10.9346	0.00725	13.7027	0.00343
10.9807	0.00719	13.7488	0.00341
11.0269	0.00712	13.7949	0.00339
11.0730	0.00706	13.8411	0.00337
11.1191	0.00700	13.8872	0.00335
11.1653	0.00693	13.9333	0.00333
11.2114	0.00686	13.9795	0.00332
11.2575	0.00679	14.0256	0.00330
11.3037	0.00672	14.0717	0.00328
11.3498	0.00665	14.1179	0.00327
11.3959	0.00658	14.1640	0.00325
11.4421	0.00651	14.2101	0.00324
11.4882	0.00643	14.2563	0.00322
11.5343	0.00636	14.3024	0.00320
11.5805	0.00628	14.3485	0.00319
11.6266	0.00620	14.3947	0.00317
11.6727	0.00612	14.4408	0.00315
11.7189	0.00604	14.4869	0.00313
11.7650	0.00596	14.5331	0.00311
11.8111	0.00588	14.5792	0.00309
11.8573	0.00580	14.6253	0.00306
11.9034	0.00572	14.6715	0.00304
11.9496	0.00564	14.7176	0.00302
11.9957	0.00556	14.7637	0.00299
12.0418	0.00548	14.8099	0.00296
12.0880	0.00540	14.8560	0.00294
12.1341	0.00532	14.9022	0.00291
12.1802	0.00524	14.9483	0.00288
12.2264	0.00516	14.9944	0.00285
12.2725	0.00508	15.0406	0.00282
12.3186	0.00500	15.0867	0.00279
12.3648	0.00492	15.1328	0.00276
12.4109	0.00485	15.1790	0.00273
12.4570	0.00477	15.2251	0.00270
12.5032	0.00470	15.2712	0.00267
12.5493	0.00462	15.3174	0.00264
12.5954	0.00455	15.3635	0.00261
12.6416	0.00448	15.4096	0.00258
12.6877	0.00441	15.4558	0.00255
12.7338	0.00434	15.5019	0.00253
12.7800	0.00428	15.5480	0.00250
12.8261	0.00421	15.5942	0.00247
12.8722	0.00415	15.6403	0.00244
12.9184	0.00409	15.6864	0.00242
12.9645	0.00404	15.7326	0.00239
13.0106	0.00398	15.7787	0.00237
13.0568	0.00393	15.8248	0.00235
13.1029	0.00388	15.8710	0.00233
13.1490	0.00383	15.9171	0.00231
13.1952	0.00378	15.9632	0.00229
13.2413	0.00374	16.0094	0.00228
13.2874	0.00370	16.0555	0.00226
13.3336	0.00366	16.1016	0.00225
13.3797	0.00362	16.1478	0.00224
13.4259	0.00359	16.1939	0.00223
13.4720	0.00356	16.2400	0.00222
13.5181	0.00353	16.2862	0.00222

Continued on next page

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



<b>Analysis</b>	<b>Report</b>		
<b>Operator:</b> Lab. Energi ITS	<b>Operator:</b> Lab. Energi ITS	<b>Date:</b> 2022/06/22	<b>Date:</b> 2022/06/23
<b>Sample ID:</b> EL-301 AC-K2CO3 5%	<b>Filename:</b> iq_phisy_st1_2022_06_22_12_00_45EL-301 AC-K2CO3 5%.qps		

### SF method Pore Size Distribution Data continued

Half pore width [Å]	dV() [cc/Å/g]	Half pore width [Å]	dV() [cc/Å/g]
16.3323	0.00222	17.9009	0.00233
16.3785	0.00221	17.9470	0.00232
16.4246	0.00221	17.9932	0.00231
16.4707	0.00221	18.0393	0.00231
16.5169	0.00221	18.0854	0.00230
16.5630	0.00222	18.1316	0.00229
16.6091	0.00222	18.1777	0.00228
16.6553	0.00223	18.2238	0.00227
16.7014	0.00223	18.2700	0.00226
16.7475	0.00224	18.3161	0.00225
16.7937	0.00224	18.3622	0.00224
16.8398	0.00225	18.4084	0.00223
16.8859	0.00226	18.4545	0.00221
16.9321	0.00227	18.5006	0.00220
16.9782	0.00228	18.5468	0.00219
17.0243	0.00228	18.5929	0.00218
17.0705	0.00229	18.6390	0.00217
17.1166	0.00230	18.6852	0.00216
17.1627	0.00231	18.7313	0.00215
17.2089	0.00232	18.7774	0.00214
17.2550	0.00232	18.8236	0.00213
17.3011	0.00233	18.8697	0.00212
17.3473	0.00233	18.9158	0.00211
17.3934	0.00234	18.9620	0.00210
17.4395	0.00234	19.0081	0.00209
17.4857	0.00235	19.0542	0.00208
17.5318	0.00235	19.1004	0.00207
17.5779	0.00235	19.1465	0.00207
17.6241	0.00235	19.1926	0.00206
17.6702	0.00235	19.2388	0.00205
17.7163	0.00235	19.2849	0.00205
17.7625	0.00234	19.3311	0.00204
17.8086	0.00234	19.3772	0.00204
17.8548	0.00233		

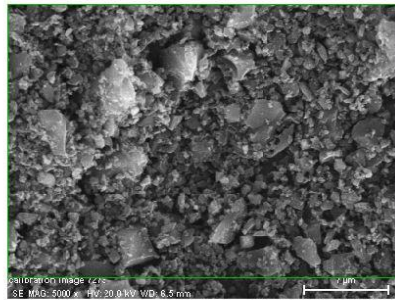
**SF method summary**  
Mode : 1.754 Å  
Micropore Volume : 0.399 cc/g



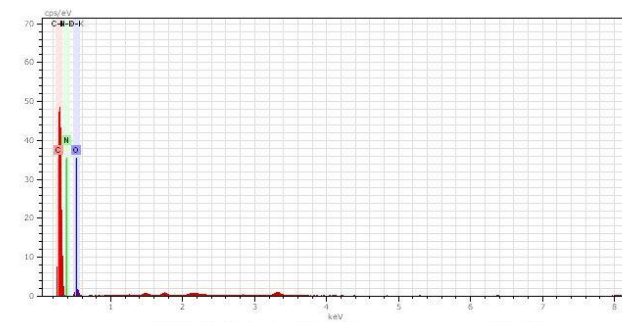
**Lampiran 5**

Hasil Pengujian EDX pada Sampel Karbon Aktif dan Karbon Aktif-Loaded  $K_2CO_3$   
Karbon Aktif

AC



calibration image 7273 Date: 4/20/2022 2:37:49  
PM Image size: 512 x  
384 Mag: 5000 x HV: 20.0 kV

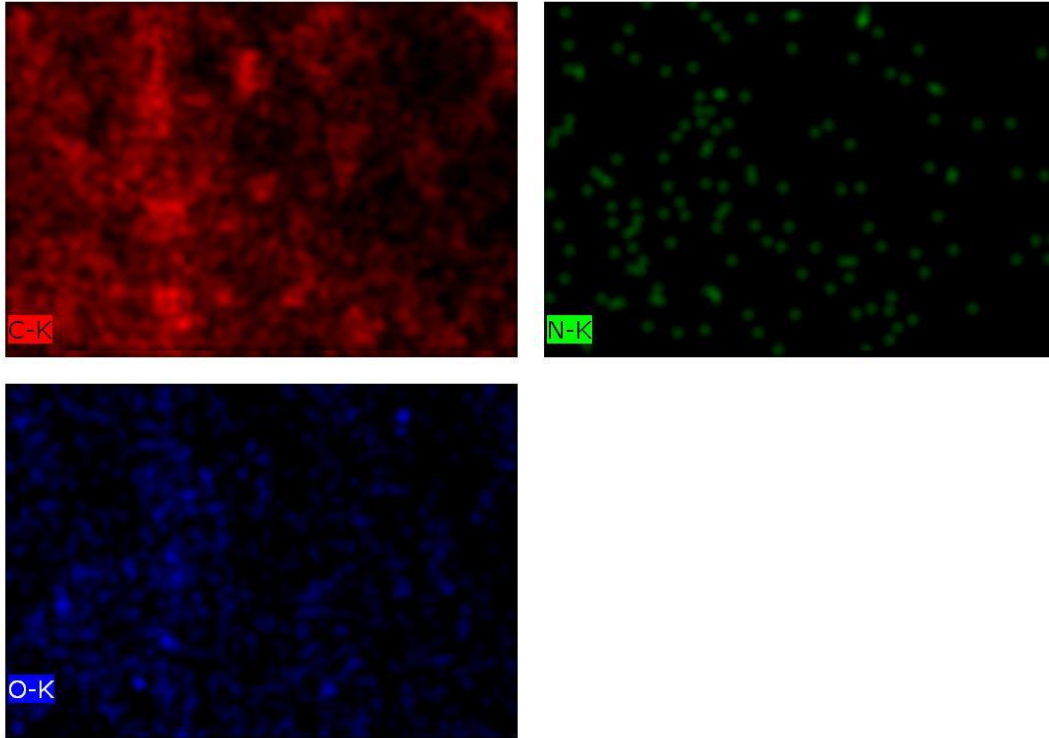


calibration image 21 6036 Date: 4/20/2022 2:37:57 PM Image size: 511 x  
355 Mag: 5000 x HV: 20.0 kV



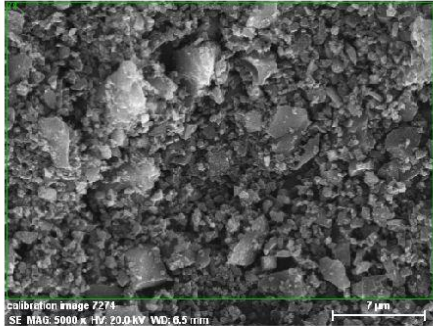
4/20/2022

7. Page

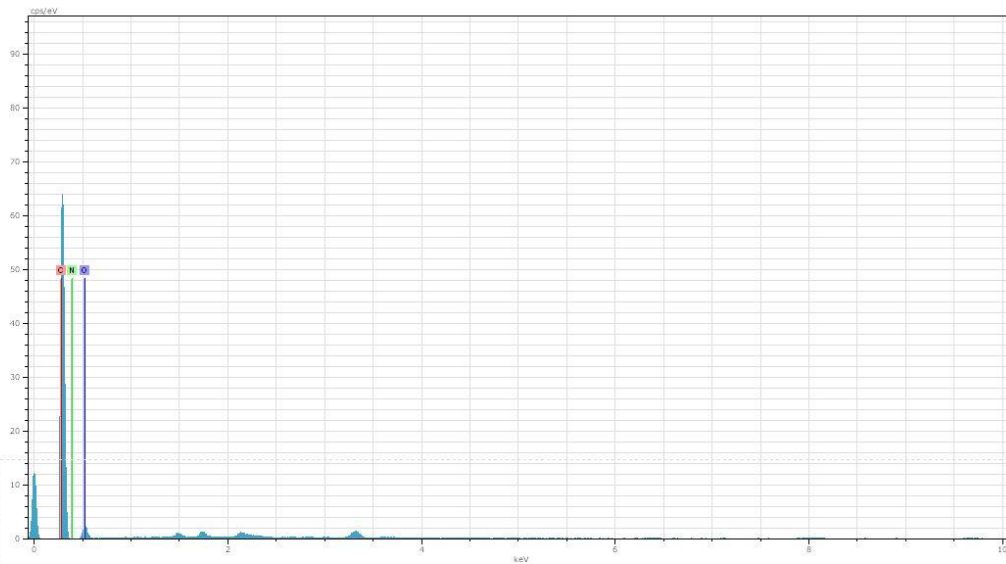


C-K, N-K, O-K Date: 4/20/2022 2:38:24 PM  
Image size: 511 x 355  
Mag: 5000x  
HV: 20.0kV

AC



calibration image 7274Date:4/20/2022  
2:37:49 PMImage size:512 x  
384Mag:5000xHV:20.0kV



El	AN	Series	unn. [wt.%]	C norm. [wt.%]	C Atom. [at.%]	C Error [%]
C	6	K-series	73.51	73.51	78.60	22.6
O	8	K-series	25.29	25.30	20.30	8.5
N	7	K-series	1.20	1.20	1.10	0.8
Total:			100.00	100.00	100.00	

4/20/2022

9. Page

Karbon Aktif-Loaded 5% K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN  
TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**Unit Pelaksana Teknis (UPT) Laboratorium Terpadu Undip**

Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang, Kota Semarang, Indonesia

Telp/WA: 024-76918147 / 081910013241

Website: <https://labterpadu.undip.ac.id>

E-mail: [labterpadu@live.undip.ac.id](mailto:labterpadu@live.undip.ac.id)

CORES-DU\_R-7.8 LHU

**LAPORAN HASIL UJI (LHU)**

**No. Seri : 20221090**

Nomor Kode Sampel Uji : SP 2022-1090-01  
 Jenis Sampel Uji / Pengujian : Serbuk/SEM  
 Nama Pelanggan : Ahmad Fahmi Prakoso (ITS)  
 Tanggal Penerimaan Contoh (jika sesuai) : 17-06-2022  
 Tanggal Pengambilan Contoh (jika sesuai) : -  
 Titik Pengambilan Contoh / koordinat : -  
 Tanggal Pengujian Contoh : -

No.	Nama Sampel Uji	Parameter Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian	Metode (SNI) / Alat
1.	5%	C	% Berat	93,92	SEM EDX
		SiO <sub>2</sub>		0,23	
		K <sub>2</sub> O		4,53	
		CuO		0,60	
		ZrO <sub>2</sub>		0,71	

**Keterangan:**

Citra SEM terlampir

**Catatan:**

- UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro tidak bertanggung jawab terhadap penyalahgunaan hasil pengujian ini.
- Dilarang mengutip/meng-copy dan/atau mempublikasikan sebagian isi laporan atau sertifikat ini tanpa seijin UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro.

Semarang, 24-06-2022

Ketua Bidang Pengujian dan Sertifikasi

Prof. Dr. Meiny Suzery, M.S.

NIP. 196005401989032001A



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN  
TEKNOLOGI

UNIVERSITAS DIPONEGORO

Unit Pelaksana Teknis (UPT) Laboratorium Terpadu Undip

Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang, Kota Semarang, Indonesia

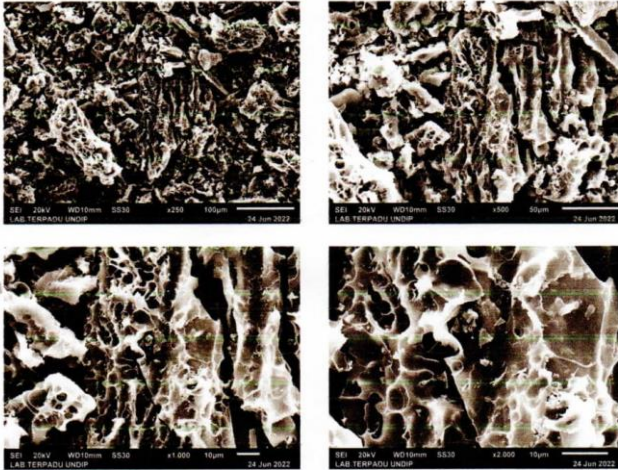
Telp/WA: 024-76918147 / 081910013241

Website: <https://labterpadu.undip.ac.id>

E-mail: [labterpadu@live.undip.ac.id](mailto:labterpadu@live.undip.ac.id)

CORES-DU\_R-7.8 LHU

Citra Hasil SEM  
5%



## Lampiran 6

Alat DCFC

Keramik DCFC



Proses pembuatan rangkaian keramik DCFC



Elektrolit dan Karbon

Ni Foam

NiO Foam

Kain ZYF-50

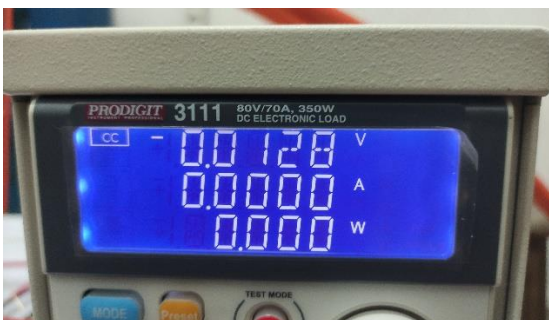
Bagian dalam rangkaian DCFC



Rangkaian DCFC



Nilai OCV dan Arus Listrik



Keramik setelah reaksi terjadi



## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih terhadap bantuan dan dukungan yang diberikan oleh berbagai pihak dalam mengerjakan laporan penelitian tugas akhir diantaranya:

1. Allah SWT yang memberikan kemudahan dan kelancaran dalam mengerjakan tugas akhir hingga penyusunan laporan selesai.
2. Orang tua yang memberikan dorongan dan motivasi dalam keberjalanan pengerjaan tugas akhir ini.
3. Bapak Sutarsis, S.T.,M.Sc.,Ph.D dan Bapak Dr. Agung Purniawan, S.T.,M.Eng yang selalu memberikan bimbingan, saran, dan arahan dalam pelaksanaan tugas akhir.
4. Sahabat-sahabat saya diantaranya Ferdy Armansyah, Naufal Syafiq Dharmawan, Rizkia Putri, Bethari Auchenfloretha Zahra Ashari yang senantiasa mendukung dan membantu dalam pengerjaan tugas akhir.
5. Hana Azzahra dan Fairuz Kamila yang telah mendukung perjuangan saya selama ini
6. Rekan-rekan kerja tim diantaranya Darell Muflih Arrahman, Demas Muhammad Abyan, Syarief Hidayatulloh yang senantiasa membantu dalam setiap proses keberjalanan pembuatan sampel dan memberikan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah mendukung dalam kelancaran pengerjaan tugas akhir

Surabaya, 22 Juli 2022  
Penulis

Ahmad Fahmi Prakoso

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama Ahmad Fahmi Prakoso dilahirkan di Jakarta 5 Mei 2000, merupakan anak pertama dari 1 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDIT Al-muqorrobin (2006-2012), MTsN Al-Azhar Asy-Syarief (2012-2015), dan SMAN 1 Depok (2015-2018). Setelah lulus dari SMAN, Penulis mengikuti SBMPTN dan diterima di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS - ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 02511840000082. Selama berkuliah di Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS, penulis aktif dalam kegiatan berorganisasi di BEM FTIRS-ITS sebagai staff departemen riset dan teknologi pada kepengurusan 2019/2020. Selain itu, penulis juga aktif di Tim Antasena ITS sebagai wakil departemen *Science and Technology Research Development*.