

**KARBONISASI *Polyvinyl Chloride* (PVC) MENGGUNAKAN
METODE KOMBINASI HIDROTERMAL-*MICROWAVE***

SKRIPSI

Diajukan Oleh:

HAYATUN NUFUS

NIM. 200704004

Mahasiswa Program Studi Kimia

Fakultas Sains dan Teknologi



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY**

BANDA ACEH

2024 M / 1445 H

LEMBARAN PERSETUJUAN SKRIPSI

**KARBONISASI *Polyvinyl Chloride* (PVC) MENGGUNAKAN
METODE KOMBINASI HIDROTERMAL-*MICROWAVE***

SKRIPSI

Diajukan Kepada Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry
Banda Aceh Sebagai Salah Satu Persyaratan Penulisan Skripsi
Dalam Ilmu Kimia

Oleh:

Hayatun Nufus

NIM. 200704004

Mahasiswa Program Studi Kimia

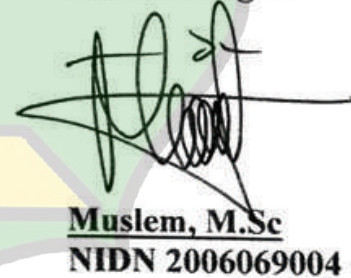
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry

Disetujui Oleh:

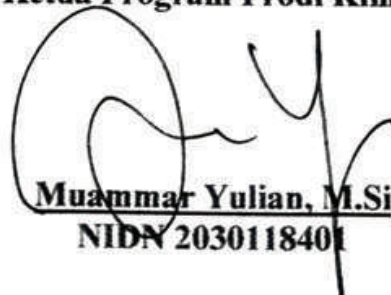
Pembimbing I


Muammar Yulian, M.Si
NIDN 2030118401

Pembimbing II


Muslem, M.Sc
NIDN 2006069004

**Mengetahui,
Ketua Program Prodi Kimia**


Muammar Yulian, M.Si
NIDN 2030118401

LEMBARAN PENGESAHAN SKRIPSI

**KARBONISASI *Polyvinyl Chloride* (PVC) MENGGUNAKAN
METODE KOMBINASI HIDROTERMAL-*MICROWAVE***

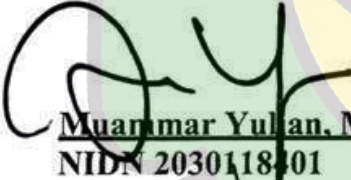
SKRIPSI

Telah Diuji Oleh Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh dan Dinyatakan Lulus
Serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
Dalam Ilmu Kimia


Pada Hari/Tanggal: **Selasa, 30 April 2024**
21 Syawal 1445
di Darussalam, Banda Aceh

Panitia Ujian Munaqasyah Skripsi

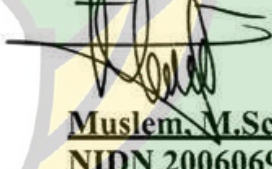
Ketua,


Muammar Yulhan, M.Si
NIDN 2030118401

Penguji I,


Reni Silvia Nasution, M.Si
NIDN 2022028901

Sekretaris,


Muslem, M.Sc
NIDN 2006069004

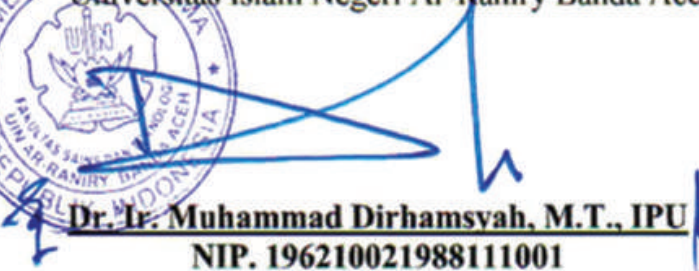
Penguji II,


Muhammad Ridwan Harahap, M.Si
NIDN 20127118603

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh




Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, M.T., IPU
NIP. 196210021988111001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Hayatun Nufus

NIM : 200704004

Program studi : Kimia

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul skripsi : Karbonisasi *Polyvinyl Chloride* (PVC) Menggunakan Metode Kombinasi Hidrotermal-*Microwave*

Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

1. Tidak menggunakan ide orang lain tanpa mampu mengembangkan dan mempertanggung jawabkan;
2. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
3. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya;
4. Tidak memanipulasi dan memalsukan data;
5. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat mempertanggung jawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti saya telah melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Banda Aceh 26 April 2024

nulis

Hayatun Nufus

Hayatun Nufus

ABSTRAK

Nama : Hayatun Nufus
NIM : 200704004
Program Studi : Kimia
Judul : Karbonisasi *Polyvinyl Chloride* (PVC) Menggunakan Metode Kombinasi Hidrotermal-*Microwave*
Tanggal sidang : 30 April 2024
Tebal skripsi : 50 lembar
Pembimbing I : Muammar Yulian, M.Si
Pembimbing II : Muslem, M.Sc
Kata Kunci : *Polyvinyl Chloride* (PVC), Karbonisasi, Hidrotermal-*Microwave*.

Polyvinyl Chloride (PVC) merupakan salah satu jenis plastik yang paling banyak ditemukan dalam kehidupan sehari-hari. PVC memiliki efek samping terhadap lingkungan dan kesehatan karena mengandung Cl. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan metode kombinasi hidrotermal-*microwave* dalam mengurangi kadar Cl, pengaruh variasi daya *microwave* terhadap pengurangan Cl, serta karakteristik arang yang dihasilkan dari metode kombinasi hidrotermal-*microwave*. Proses karbonisasi dilakukan pada temperatur 220 °C, frekuensi *microwave* 2450 MHz dan daya *microwave* 400 dan 1000 Watt. Karakterisasi menggunakan FTIR, menunjukkan arang mengandung gugus fungsi O-H, C-H, C=O, C=C, dan C-Cl. Analisis menggunakan SEM menunjukkan partikel arang berbentuk bola (*spherical*). Analisis EDX menunjukkan jumlah Cl yang dapat dihilangkan pada daya *microwave* 400 dan 1000 Watt secara berturut-turut adalah sebesar 83,80% dan 91,37%. Karakterisasi menggunakan TEM pada karbon dengan daya 1000 Watt menunjukkan bentuk partikel bola (*spherical*) dan tetrahedral serta aglomerasi dari partikel yang tidak seragam. Pengukuran partikel pada citra TEM dengan pembesaran 100.000x menunjukkan ukuran partikel berkisaran antara 117,70 - 60,27 nm. Dapat disimpulkan bahwa karbonisasi PVC menggunakan metode kombinasi hidrotermal-*microwave* optimal dalam mengurangi kadar Cl.

ABSTRACT

Name : Hayatun Nufus
NIM : 200704004
Study Program : *Chemistry*
Title : *Carbonization of Polyvinyl Chloride (PVC) Using the Combined Hydrothermal-Microwave Method*
Trial Date : 30 April 2024
Thesis Thickness : 50 Pages
Advisor I : Muammar Yulian, M.Si
Advisor II : Muslem, M.Sc
Keywords : *Polyvinyl Chloride (PVC), Carbonization, Hydrothermal-Microwave.*

Polyvinyl Chloride (PVC) is one of the most commonly found types of plastic in everyday life. PVC has environmental and health side effects due to its chlorine content. This research aims to determine the capability of the combined hydrothermal-microwave method in reducing chlorine levels, the influence of microwave power variation on chlorine reduction, and the characteristics of charcoal produced from the combined hydrothermal-microwave method. Carbonization process was conducted at a temperature of 220°C, microwave frequency of 2450 MHz, and microwave power of 400 and 1000 Watts. Characterization using FTIR showed that the charcoal contained functional groups of O-H, C-H, C=O, C=C, and C-Cl. SEM analysis revealed that the charcoal particles were spherical in shape. EDX analysis indicated that the amount of chlorine removed at microwave powers of 400 and 1000 Watts was 83.80% and 91.37% respectively. Characterization using TEM on carbon with 1000 Watt power showed spherical and tetrahedral particle shapes as well as agglomeration of non-uniform particles. Particle measurements on TEM images with a magnification of 100,000x showed particle sizes ranging from 117.70 to 60.27 nm. It can be concluded that PVC carbonization using the combined hydrothermal-microwave method is optimal in reducing chlorine levels.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmannirrahim

Puji syukur kehadiran Allah *Subahanahu Wata'ala* yang telah menganugerahkan Al-Quran sebagai *hudan lin nass* (petunjuk bagi seluruh manusia) dan *rahmatan lil'alam* (rahmat bagi segenap alam). Sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi. Shalawat dan salam semoga tercurahkan kepada junjungan Nabi Besar Muhammad SAW beserta keluarganya, para sahabatnya dan seluruh umatnya yang selalu istiqomah hingga akhir zaman. Dalam kesempatan ini penulis mengambil judul skripsi "**Karbonisasi *Polyvinyl Chloride* (PVC) Menggunakan Metode Kombinasi Hidrotermal-Microwave**". Penulisan skripsi untuk melengkapi tugas-tugas dan memenuhi syarat-syarat untuk menyelesaikan pendidikan pada Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

Penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, terutama kepada orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan untaian doanya selama ini. Penulis juga mendapatkan banyak pengetahuan dan wawasan baru yang sangat berarti. Oleh karena itu, penulis tidak lupa mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Muhammad Dirhamsyah, MT., IPU., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
2. Bapak Muammar Yulian, M.Si., selaku Ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh dan Dosen Pembimbing I Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
3. Bapak Muslem, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing II Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
4. Ibu Reni Silvia Nasution, M.Si., selaku Dosen Penguji I Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.

5. Bapak Muhammad Ridwan Harahap, M.Si., selaku Dosen Penguji II Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
6. Seluruh Ibu/Bapak Dosen dan Staf Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh.
7. Seluruh teman-teman seperjuangan kimia leting 2020 yang telah memberikan dukungan dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan laporan skripsi
8. Semua pihak yang turut membantu dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis mengucapkan terima kasih atas bimbingan dan dorongannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi, semoga segala bantuan dan doa yang telah diberikan mendapat balasan dari Allah Swt. Semoga segala bantuan dan doa yang telah diberikan mendapat balasan yang baik pula dari Allah Swt. Semoga penulisan skripsi ini memberikan manfaat dari berbagai pihak. Penulis sangat menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dengan kata sempurna banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan saran dan kritikan yang dapat membangun dalam menyempurnakan skripsi ini.

Banda Aceh 26 April 2024
Penulis,

Hayatun Nufus

DAFTAR ISI

LEMBARAN PERSETUJUAN SKRIPSI	i
LEMBARAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah	3
I.3. Tujuan Penelitian	3
I.4. Manfaat Penelitian	3
I.5. Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
II.1 <i>Polyvinyl Chloride (PVC)</i>	5
II.2 Karbon aktif.....	7
III.3 Hidrotermal Karbonisasi.....	7
II.4 Mekanisme Dekomposisi PVC	8
II.5 <i>Microwave</i>	9
II.6 <i>Fourier transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i>	10
II.7 <i>Scanning Electron Microscope-Energi Dispersive X-ray (SEM-EDX)</i> ...	12
II.8 <i>Transmission Electron Microscope (TEM)</i>	12
BAB III METODE PENELITIAN	14
III.1 Waktu dan Tempat	14

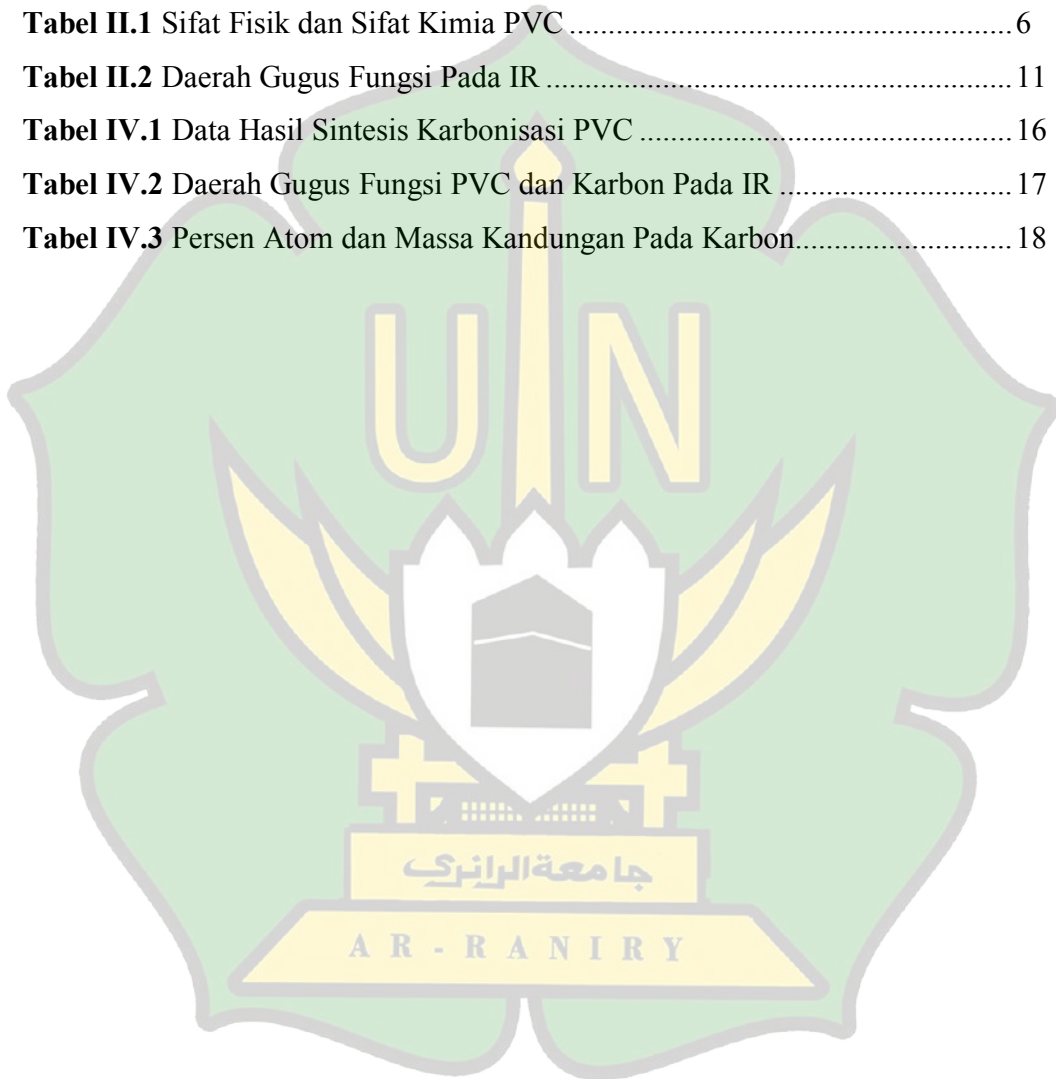
III.2 Alat dan Bahan	14
III.2.1 Alat.....	14
III.2.2 Bahan	14
III.3 Prosedur Kerja.....	14
III.3.1 Karbonisasi.....	14
III.3.2 Pengujian Spektrofotometer FTIR.....	15
III.3.3 Pengujian <i>Scanning Electron Microscope-Energi Dispersive X-ray</i> (SSEM-EDX).....	15
III.3.4 Pengujian <i>Transmission Electron Microscope</i> (TEM).....	15
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	16
IV. 1 Data Hasil Pengamatan	16
IV.1.1 Hasil Sintesis Karbonisasi PVC	16
IV.1.2 Hasil Analisis FTIR.....	16
IV.1.3 Hasil Analisis SEM-EDX & <i>Mapping</i>	17
IV.1.4 Hasil Analisis TEM.....	19
IV.2 Pembahasan.....	20
IV.2.1 Sintesis Karbonisasi PVC.....	20
IV.2.2 Analisis FTIR.....	21
IV.2.3 Analisis SEM-EDX & <i>Mapping</i>	22
IV.2.4 Analisis TEM	22
BAB V PENUTUP	24
V.1. Kesimpulan.....	24
V.II. Saran.....	24
DAFTAR PUSTAKA	25
LAMPIRAN.....	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Struktur Molekul PVC.....	5
Gambar II.2 Ilustrasi Makropori, Mesopori dan Mikropori.....	7
Gambar II.3 Jalur Reaksi Dekomposisi PVC Dengan Metode Hidrotermal Karbonisasi	9
Gambar II.4 Intrumen <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FTIR)	10
Gambar II.5 Intrumen <i>Scanning Electron Microscope-Energi Dispersive X- Ray</i> (SEM- EDX)	12
Gambar II.6 Intrumen <i>Transformation Electron Mikroskopi</i> (TEM)	13
Gambar IV.1 Spektra FTIR PVC dan Karbon Pada Daya <i>Microwave</i> 400 dan 1000 Watt.....	16
Gambar IV.2 Hasil Analisis SEM.....	17
Gambar IV.3 Pemetaan Menggunakan EDX	18
Gambar IV.4 Hasil Analisis TEM.....	19
Gambar IV.5 Ukuran Partikel Pada Perbesaran 100.000x.....	19
Gambar IV.6 Mekanisme Kerja Karbonisasi Menggunakan Metode Kombinasi Hidrotermal- <i>Microwave</i>	20

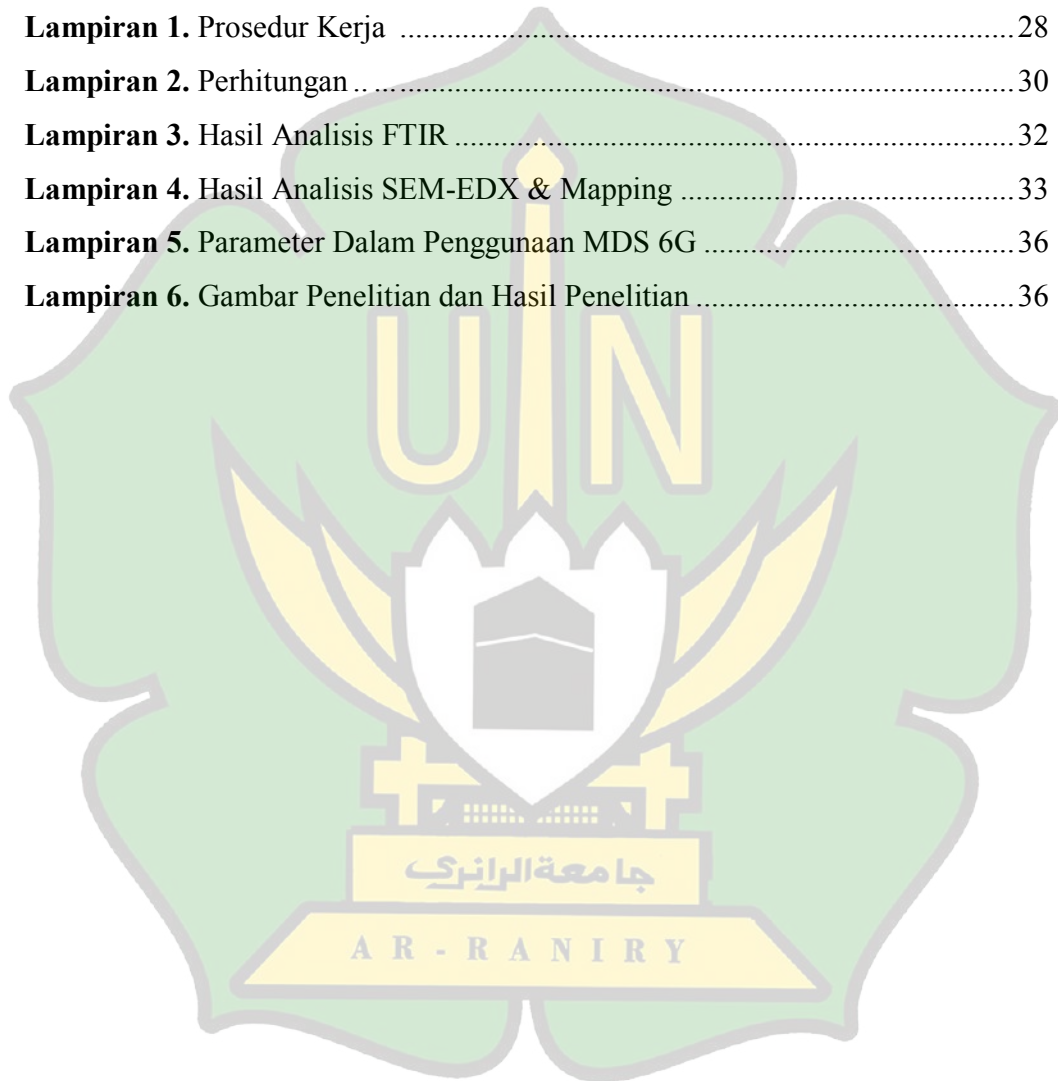
DAFTAR TABEL

Tabel II.1 Sifat Fisik dan Sifat Kimia PVC	6
Tabel II.2 Daerah Gugus Fungsi Pada IR	11
Tabel IV.1 Data Hasil Sintesis Karbonisasi PVC	16
Tabel IV.2 Daerah Gugus Fungsi PVC dan Karbon Pada IR	17
Tabel IV.3 Persen Atom dan Massa Kandungan Pada Karbon.....	18



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Prosedur Kerja	28
Lampiran 2. Perhitungan	30
Lampiran 3. Hasil Analisis FTIR	32
Lampiran 4. Hasil Analisis SEM-EDX & Mapping	33
Lampiran 5. Parameter Dalam Penggunaan MDS 6G	36
Lampiran 6. Gambar Penelitian dan Hasil Penelitian	36



BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

PVC atau *Polyvinyl Chloride* adalah salah satu jenis plastik yang paling banyak digunakan di dunia. PVC mempunyai sifat yang unggul seperti tahan terhadap korosi, api, bahan kimia, dan mudah dibentuk dan biaya produksi murah. PVC dapat ditemukan dalam kehidupan sehari-hari seperti pada pipa, pembungkus kabel, mainan anak-anak, dan bahan bangunan (Linggo dan Kurniawan, 2015). Walaupun dikenal memiliki banyak manfaat, PVC dapat menimbulkan efek samping terhadap lingkungan dan kesehatan karena mengandung senyawa klorin. Selain itu, PVC juga sulit didaur ulang karena memiliki sifat fisik yang khas. Beberapa sifat fisik dari PVC yaitu keras kaku, tahan reaksi kimia, tahan api dan tahan suhu tinggi, dan memiliki densitas tinggi.

PVC dapat menghasilkan emisi beracun jika terpapar panas tinggi atau terbakar. Ketika terpapar suhu tinggi PVC akan melepaskan gas beracun seperti klorin (Cl_2), organoklorin dan hidrogen klorida (HCl) (Lewandowski dan Skhairczewska, 2022). Oleh karena itu, daur ulang PVC perlu dilakukan dengan baik dan diawasi ketat oleh pemerintah dan industri terkait. PVC dapat didekomposisi menjadi monomer vinil klorida yang lebih sederhana melalui proses pirolisis atau proses kimia lainnya. Namun proses ini memiliki dampak yang buruk karena PVC mengandung klorin yang berbahaya bagi lingkungan (Everard, 2020). Beberapa metode lain yang dapat digunakan dalam mengdekomposisi PVC diantaranya adalah dengan menggunakan bahan kimia seperti asam dan basa, mikroorganisme, pirolisis dan karbonisasi hidotermal.

Metode karbonisasi menggunakan bahan kimia dapat memecah ikatan kimia dalam PVC dan menghasilkan senyawa yang lebih sederhana seperti garam dan air. Namun, penggunaan bahan kimia ini juga memiliki risiko pencemaran lingkungan jika tidak dikelola dengan baik. Selain itu, terdapat juga metode dekomposisi PVC dengan menggunakan mikroorganisme seperti bakteri dan jamur. Mikroorganisme ini dapat memecah PVC menjadi senyawa organik yang lebih sederhana seperti karbon

dioksida dan air. Metode ini dianggap sebagai metode yang lebih ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi berbahaya. Walaupun dianggap ramah lingkungan metode ini sangat rentan terkontaminasi oleh mikroorganisme patogen atau penyakit. Jika mikroorganisme patogen masuk ke dalam sistem dekomposisi akan menyebabkan infeksi pada tumbuhan dan hewan (Muslem dkk., 2019). Metode pirolisis merupakan salah satu metode dekomposisi limbah plastik tanpa adanya oksigen, yang menghasilkan produk dekomposisi seperti gas, minyak, dan residu padat. Proses pirolisis membutuhkan energi panas yang cukup tinggi untuk memicu reaksi kimia yang terjadi. Selain itu, metode dekomposisi pirolisis juga menghasilkan gas buang beracun. Proses pirolisis menghasilkan gas seperti karbon monoksida (CO), hidrosida sulfida (H₂S), *Polycyclic Aromatic Hydrokarbon* (PAH) dan *Volatile Organik Coumpoud* (VOC). Gas-gas ini dapat mencemari udara dan berpotensi membahayakan kesehatan manusia serta merusak lingkungan (Naimah dkk., 2012).

Metode karbonisasi hidrotermal merupakan proses kimia yang melibatkan transformasi bahan organik menjadi karbon di bawah tekanan dan suhu tinggi dalam lingkungan air. Metode ini lebih menjanjikan karena murah dan rendah emisi. Mekanisme karbonisasi hidrotermal mengikuti reaksi berantai ionik melalui retakan yang menghasilkan poliena dan reaksi substitusi nukleofilik dengan air sebagai nukleofil menghasilkan alkohol, diol dan polioliol. Kedua mekanisme ini akan melepaskan Cl dalam bentuk senyawa HCl yang larut dalam air. Poliena reaktif serta diol/polioliol yang dihasilkan merupakan prekursor senyawa aromatik dan senyawa dengan berat molekul rendah dan gugus fungsi O. kedua intermediet organik stabil tersebut selanjutnya menghasilkan bubur arang kental. Dekomposisi PVC hampir sempurna terjadi pada suhu 235 °C. Namun pada suhu 230-240 mulai terbentuknya hidrokarbon polisiklik aromatik (PAH). Setelah Cl keluar molekul-molekul lainnya akan mengalami kondensasi molekul, di mana molekul-molekul tersebut akan bergabung sehingga membentuk cincin aromatik yang lebih besar dan kompleks (Poerschmann dkk., 2015).

Microwave atau gelombang mikro merupakan metode yang memanfaatkan radiasi gelombang mikro. Metode ini memiliki beberapa keunggulan seperti laju

pemanasan yang cepat, pemanasan selektif, efisiensi energi dan waktu serta peningkatan kualitas produk. Wang dkk., 2022 melaporkan menyatakan bahwa, pada konversi limbah lumpur dengan metode kombinasi karbonisasi hidrotermal-*microwave* menunjukkan efisiensi waktu reaksi, konsumsi energi lebih rendah, serta hasil dan kualitas produk yang lebih baik. Pada penelitian ini, kombinasi karbonisasi hidrotermal-*microwave* diharapkan mampu meningkatkan deklorinasi PVC pada temperatur rendah sehingga dapat menghindari pembentukan PAH.

I.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Apakah metode kombinasi hidrotermal-*microwave* mampu mengurangi kadar Cl pada temperatur rendah ?
2. Apakah variasi daya *mikrowave* berpengaruh terhadap pengurangan kadar Cl?
3. Bagaimana karakteristik arang yang dihasilkan dari metode kombinasi hidrotermal-*microwave* ?

I.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan penelitian ini antara lain :

1. Untuk mengetahui kemampuan metode kombinasi hidrotermal-*microwave* dalam mengurangi Cl pada temperature rendah.
2. Untuk mengetahui apakah variasi daya *mikrowave* berpengaruh terhadap pengurangan kadar Cl.
3. Untuk mengetahui karakteristik arang yang dihasilkan dari metode kombinasi hidrotermal-*microwave*.

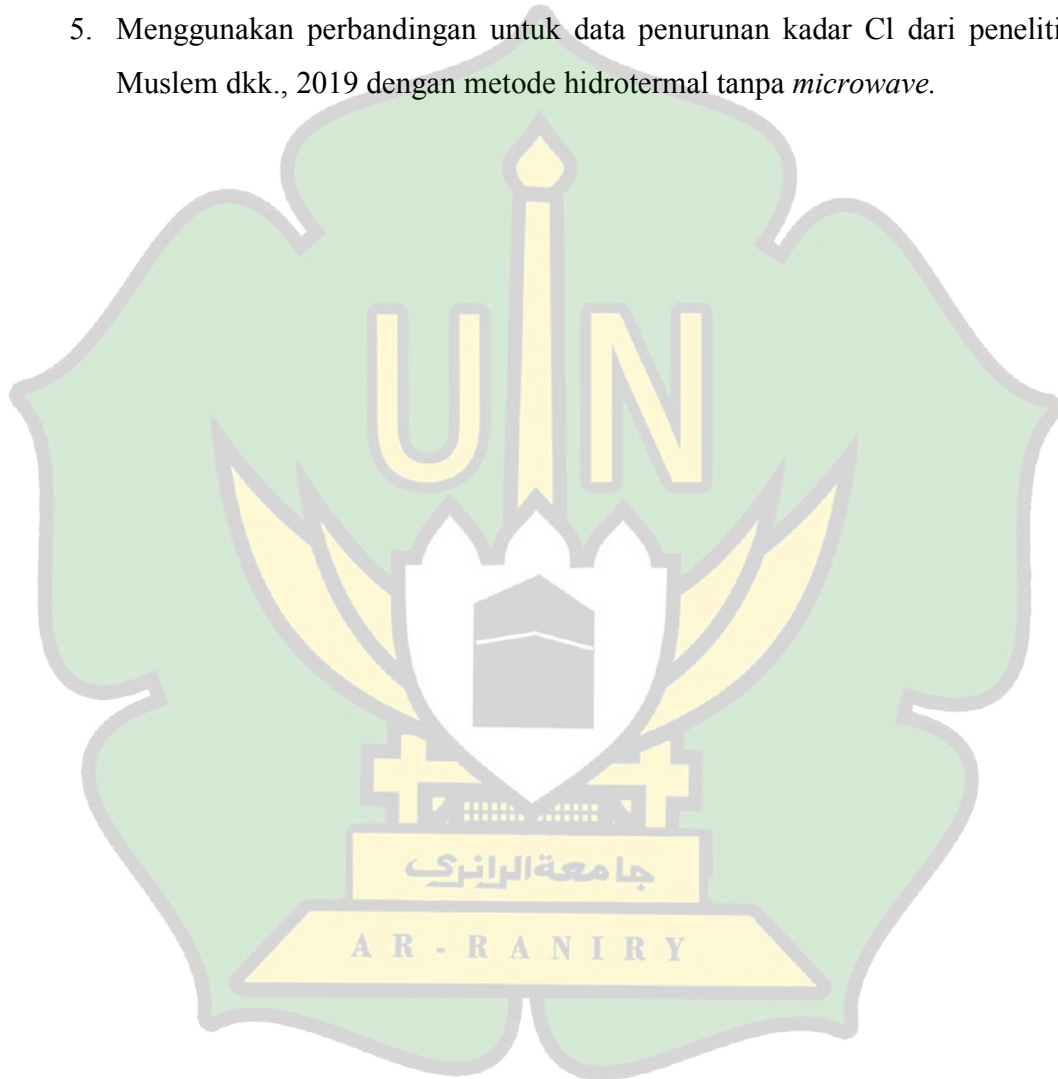
I.4. Manfaat Penelitian

Dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan untuk mengelola limbah PVC dengan metode sederhana tanpa menimbulkan efek samping terhadap kesehatan maupun lingkungan.

I.5. Batasan Masalah

1. Bahan baku menggunakan resin PVC SG-5.

2. Daya *microwave* yang digunakan yaitu 400 dan 1000 Watt.
3. Suhu yang digunakan yaitu 220 °C.
4. Karakterisasi yang dilakukan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), *Scanning Electron Microscope-Energi Dispersive X-ray* (SEM-EDX), dan *Transmission Electron Microscope* (TEM).
5. Menggunakan perbandingan untuk data penurunan kadar Cl dari penelitian Muslem dkk., 2019 dengan metode hidrotermal tanpa *microwave*.

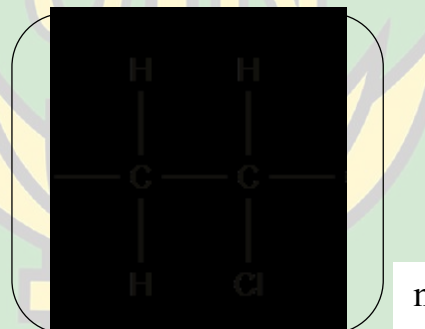


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 *Polyvinyl Chloride (PVC)*

Polyvinyl Chloride (PVC) merupakan salah satu jenis plastik paling sering digunakan dalam kehidupan. PVC merupakan plastik polimer yang menempati urutan ketiga dalam penggunaan paling banyak di dunia (Pratama dkk., 2017). PVC terdiri dari unit berulang monomer *vinyl chloride* yang memiliki rumus kimia $(C_2H_3Cl)_n$. Pada tahun 1835 seorang ilmuawan Prancis, Henri Victor Regnault pertama kali menemukan PVC dan kemudian pada tahun 1912, Fritz Klatte yang merupakan seorang ilmuwan asal Jerman yang mensintesis asam klorida dengan gas asetilen sehingga menghasilkan *vinyl chloride*. Setelah didiamkan beberapa waktu terjadi polimerisasi pada sebagian *vinyl chloride* hingga menjadi PVC (Rochmadi dan Permono, 2021).



Gambar II.1. Struktur molekul PVC

Dalam kehidupan sehari-hari PVC banyak digunakan dalam pipa, peralatan medis, mainan anak-anak, isolasi kawat dan kabel, serta dalam industri pembangunan (Pitanova dan Alva, 2023). Keunggulan dari PVC sendiri yaitu tahan akan korosi, tidak mudah terbakar, ketahanan terhadap kimia, daya tahan fisik yang baik dan biaya produksi yang rendah. Sedangkan kekurangan PVC yang perlu diperhatikan yaitu proses pembuatan dan degradasi PVC dapat melepaskan zat berbahaya seperti klorin dan dioksin, dan jika terdegradasi secara tidak tepat akan menghasilkan polusi

lingkungan yang berbahaya. *Polyvinyl chloride* (PVC) memiliki sifat fisik dan kimia tertentu. Berikut adalah beberapa sifat fisik dan kimia dari PVC.

Tabel II.1 Sifat fisik dan sifat kimia dari PVC (Titow, 2012).

No.	Sifat Fisik	Sifat Kimia
1.	Kejernihan : PVC memiliki tingkat transparan yang tinggi tergantung pada bahan dan metode pengolahannya	Tahan terhadap korosi : PVC tahan terhadap asam atau basa lemah, namun akan terdekomposisi pada asam kuat dan basa kuat
2.	Kekerasan : kekerasan dari PVC fleksibel tergantung dari bahan dasar dan bahan tambahan	Tahan terhadap korosi: PVC tahan akan oksidasi oleh udara, namun dapat terdekomposisi oleh sinar UV yang kuat.
3.	Berat jenis : kisaran berat jenisnya yaitu 1,3-1,45 g/cm ³ , tergantung jenis dan bahan PVC yang digunakan	Reaksi kimia : PVC tidak terlalu reaktif secara kimia, namun dapat mengalami dekomposisi termal jika dipanaskan secara berlebihan. Sehingga dapat melepaskan klorin atau senyawa klorinasi lainnya yang berbahaya terhadap lingkungan dan kesehatan manusia.
4.	Titik leleh : memiliki titik leleh yang relatif rendah sekitar 100-260 °C tergantung jenis PVC	Reaksi dengan logam : PVC dapat bereaksi dengan beberapa logam terutama pada suhu tinggi, yang dapat menghasilkan korosi atau perubahan struktur material.

II.2 Karbon aktif

Karbon aktif merupakan senyawa karbon amorf yang memiliki ruang atau pori yang mengandung 85-95% karbon. Karbon aktif banyak digunakan sebagai adsorben dalam adsorpsi seperti pada pemurnian gas, penjernihan air dan minyak, dan katalis (Siregar dkk., 2015). Karbon aktif yang digunakan sebagai adsorben memiliki kisaran 300-3500 m²/gram, sehingga hal tersebut menyebabkan struktur pori internal yang menyebabkan memiliki sifat sebagai adsorben. Karbon aktif memiliki daya serap yang tinggi yaitu 25-1000% terhadap berat karbon aktif (Kurniawan dkk., 2014). Karbon aktif memiliki karakteristik berwarna hitam tidak berbau dan tidak berasa dengan daya adsorpsi karbon aktif sangat besar yaitu 25-100 % terhadap berat karbon aktif (Rahim dkk., 2022). Karbon aktif banyak digunakan dalam pengolahan air limbah sebagai adsorben karena kapasitas adsorpsi yang kuat dan struktur pori yang melimpah. Karbon aktif mengandung makropori berukuran >50 nm, mesopori berukuran 2-50 nm dan mikropori < 2 nm, yang berkembang baik dengan berbagai gugus fungsi di permukaan dalam strukturnya.



Gambar II.2. Ilustrasi makropori, mesopori dan mikropori (Setianingsih, 2018)

III.3 Hidrotermal Karbonisasi

Karbonisasi hidrotermal adalah reaksi kimia yang melibatkan konversi biomassa melalui reaksi air panas dan tekanan tinggi. Metode hidrotermal karbonisasi ditemukan oleh Friedrivh Bergius pada tahun 1913 (Eriska dkk., 2016). Proses hidrotermal karbonisasi dimulai dengan pemanasan biomassa dalam air panas di bawah tekanan tinggi. Larutan direaksikan dalam air subkritis pada suhu 180-350 °C untuk menghasilkan karbon. Air subkritis berfungsi sebagai pelarut dan reagen untuk

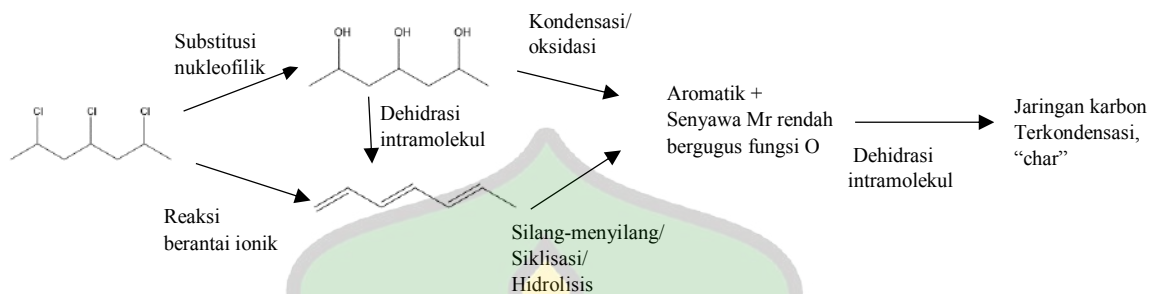
senyawa organik (Poerschmann dkk., 2015). Menurut Muslem dkk., 2019, karbonisasi hidrotermal telah berhasil diterapkan untuk mendekomposisikan PVC.

Dekomposisi PVC dengan metode ini akan menghasilkan karbon dan kandungan klorin dalam PVC akan terlepas sebagai larutan HCl. Pada suhu tinggi, ikatan kovalen dalam rantai polimer PVC mulai terurai menjadi molekul yang lebih kecil. Reaksi ini melibatkan pelepasan gugus klorin dari rantai polimer, membentuk senyawa organik yang lebih sederhana seperti arang. Proses hidrotermal karbonisasi memiliki beberapa keunggulan diantaranya dapat dilakukan di lingkungan berair dan dapat memanfaatkan bahan baku basah maupun kering seperti kotoran hewan dan plastik (Hoekman dkk., 2013).

II.4 Mekanisme Dekomposisi PVC

Dekomposisi merupakan penguraian senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana.. Karbonisasi hidrotermal karbonisasi diketahui mampu mendegradasi PVC pada air superkritis dan subkritis. Degradasi PVC dengan metode tersebut akan menghasilkan arang dan sebagian besar klorin dalam PVC akan terlepas sebagai larutan HCl (Muslem dkk., 2019). Cl dapat dilepaskan dari PVC dengan dehidroklorinasi melalui eliminasi HCl atau dengan deklorinasi melalui substitusi nukleofilik dengan molekul air sebagai nukleofil. PVC yang mengandung Cl sebagai gugus substituen, reaksi substitusi nukleofilik dapat terjadi saat atom Cl digantikan oleh nukleofil. Mekanisme lain lain yang bekerja untuk penggabungan Cl organik ke dalam arang-hidro seperti jebakan dalam pori-pori sempit atau adsorpsi dapat dianggap tidak signifikan. Berbeda dengan metode hidrotermal, deklorinasi termal PVC sebagian besar mengikuti mekanisme radikal bebas reaksi dapat dimulai dengan produksi radikal bebas dan struktur kloroalilik yang ditandai dengan stabilitas termal yang rendah. Penghapusan HCl bertahap berikutnya menimbulkan pembentukan poliena, yang merupakan mekanisme reaksi radikal bebas ikatan rangkap terkonjugasi dibuat oleh mekanisme "*ritsleting*": setelah ikatan rangkap terbentuk, atom klorin alilik pada atom C yang berdekatan dengan ikatan rangkap memisahkan HCl membentuk dua ikatan rangkap dalam proses,

yang dalam gilirannya mengaktifkan klorin yang berdekatan untuk menyebarkan proses dehidroklorinasi (Poerschmann dkk., 2015).



Gambar II.3. Jalur reaksi dekomposisi PVC dengan metode hidrotermal karbonisasi (Poerschmann dkk., 2015).

II.5 Microwave

Microwave merupakan pemanas buatan yang menggunakan energi gelombang mikro. *Microwave* mengacu pada gelombang mikro atau radiasi mikro, yang merupakan salah satu bentuk radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang antara 1 nm hingga 1 meter (Trimawiasa dkk., 2022). Sampel yang berinteraksi dengan gelombang mikro dapat ditransmisikan, dipantulkan atau diserap. Prinsip dasar dari gelombang mikro yaitu pemanasan berdasarkan tumbukan langsung dengan material polar atau *solvent*. Keadaan ini diatur oleh dua fenomena yaitu konduksi ionik dan rotasi dipol.

Konduksi ionik mengacu pada perpindahan ion dalam medium yang terjadi sebagai respon terhadap gelombang mikro. Proses konduksi ionik gelombang mikro dapat terjadi pada berbagai jenis media, termasuk padatan, cairan, dan gas. Gelombang mikro dapat merangsang konduksi ionik dalam medium dengan berbagai mekanisme. Salah satu mekanisme utama adalah pemanasan dielektrik. Ketika gelombang mikro melewati media, energi elektromagnetiknya diserap oleh molekul-molekul dalam medium tersebut. Rotasi dipol pada gelombang mikro adalah fenomena dimana arah polarisasi gelombang mikro berputar saat melewati media tertentu. Rotasi ini terjadi karena adanya perbedaan bias indeks antara media tersebut dan media sekitarnya. Rotasi dipol gelombang mikro terjadi ketika gelombang

elektromagnetik dengan polarisasi linear melewati medium yang memiliki sifat optik anisotropik. Sifat anisotropik yaitu bahwa medium memiliki bias indeks yang berbeda-beda tergantung pada arah polarisasi cahaya yang melewatinya. Ketika gelombang mikro memiliki media anisotropik, arah polarisasinya akan berputar sejalan dengan perubahan bias indeks (Effendy dkk., 2020).

II.6 *Fourier transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*

FTIR merupakan spektroskopi yang digunakan dalam mengidentifikasi gugus fungsi. Salah satu teknik yang digunakan untuk mengamati interaksi molekul yaitu menggunakan FTIR, menggunakan radiasi elektromagnetik dengan daerah panjang gelombang 0,75 – 1000 μm atau pada bilangan gelombang 13.000 – 10 cm^{-1} (Lubis, 2015). Prinsip kerja FTIR adalah energi inframerah dari sumber diemisikan, kemudian berjalan menuju jalan bagian optik dari spektrometer dan mendeteksi karakteristik vibrasi pada gugus fungsi kimia.



Gambar II.4 Instrumen *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*

Metode spektroskopi inframerah merupakan metode yang meliputi teknik serapan, teknik emisi, dan teknik fluoresensi. Komponen medan listrik yang berperan penting dalam spektroskopi biasanya hanya komponen medan listrik seperti transmisi, pemantulan, pembiasan dan penyerapan. Metode FTIR sering digunakan dalam mengidentifikasi gugus fungsi senyawa karena spektrum yang dihasilkan spesifik untuk senyawa.

Tabel II.2 Daerah gugus fungsi pada IR (Skoog dkk., 1998)

Ikatan	Tipe Senyawa	Daerah Frekuensi (cm⁻¹)	Intensitas
C-H	Alkana	2850-2970	Kuat
		1340-1470	kuat
C-H	Alkena	3010-3095	Sedang
		675-995	Kuat
C-H	Alkana	3300	Kuat
C-H	Cincin Aromatik	3010-3100	Sedang
		690-900	Kuat
O-H	Fenol, monomer alkohol, alkohol ikatan hidrogen, fenol	3590-3650	Berubah-ubah
		3200-3600	Berubah-ubah, terkadang melebar
	3500-3600	Sedang	
	Monomer, asam karboksilat, ikatan hidrogen asam karboksilat	2500-2700	Melebar
N-H	Amina, Amida	3300-3500	Sedang
C=C	Alkena	1610-1680	Berubah-ubah
C=C	Cincin Aromatik	1500-1600	Berubah-ubah
C	Alkana	2100-2260	Berubah-ubah
C-N	Amina, Amida	1180-1360	Kuat
C	Nitril	2210-2280	Kuat
C-O	Alkohol, Eter, Asam Karbohirat, Ester	1050-1300	Kuat
C=O	Aldehid, Eter, Asam Karbohirat, Ester	1690-1760	Kuat
NO ₂	Senyawa Nitro	1500-1570	Kuat
		1300-1370	

II.7 Scanning Electron Microscope-Energi Dispersive X-ray (SEM-EDX)

SEM merupakan salah satu instrument yang digunakan untuk mengidentifikasi permukaan dari sampel padat secara langsung, dengan pembesaran 10-3000000x dan resolusi 1-10 nm. Alat dari SEM terdiri dari komponen utama yaitu terdiri dari 3 komponen lensa. SEM tidak hanya berlaku untuk mengidentifikasi struktur mikro suatu sampel yang berupa gambar dan fotografi. Namun metode SEM merupakan kospuskular antara elektron sumber dengan atom pada sampel. EDX merupakan pelengkap SEM untuk mengidentifikasi mineral magnetik. Prosesnya hampir sama dengan SEM dimana analisis terhadap karakteristik radiasi sinar X yang dipancarkan sampel oleh elektron sekunder yang akan menghasilkan informasi mengenai kandungan mineral dalam sampel (Didik dkk., 2021).



Gambar II.5 Intrumen *Scanning Electron Microscope-Energi Dispersive X-ray* (SEM- EDX)

II.8 Transmission Electron Microscope (TEM)

TEM merupakan instrumen yang digunakan untuk mengamati struktur nano, intrumen TEM dapat mengamati ukuran serbuk hingga nano dengan pembesaran sampai 150.000 kali dan morfologinya. Bentuk yang dihasilkan pada pengujian TEM dapat dibuat menjadi 3 dimensi (Hoten, 2020) Prinsip kerja dari TEM yaitu menggunakan elektron yang ditransmisikan dimana elektron sebagai sumber radiasi. Pada awalnya struktur TEM menggunakan rangkaian lensa horizontal dalam kolom, namun sekarang struktur TEM menggunakan rangkaian lensa dalam kolom yang

disejajarkan secara vertikal. Lensa yang disejajarkan secara vertikal dalam kolom dapat mempertahankan keselarasan yang baik dalam waktu yang lebih lama.



Gambar II.6 Instrumen *Transmission Electron Microscope* (TEM)

Cara kerja TEM dalam memfokuskan elektron didasarkan pada karakter elektron yang menyerupai gelombang karena bermuatan negatif. Kemudian elektron dibelokkan oleh medan magnet. Faktor yang mempengaruhi TEM yaitu komposisi sampel dan kepadatan (Oktavia & Sutoyo, 2021)



BAB III

METODE PENELITIAN

III.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2023 sampai dengan Maret 2024 di Laboratorium Kimia Multifungsi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.

III.2 Alat dan Bahan

III.2.1 Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor hidrotermal-*microwave*, oven, stirer, kertas saring erlenmeyer, neraca analitik, kertas saring, FTIR dari Perkin Elmer, SEM-EDX JOEL Type JSM-6701F, dan TEM HT7700

III.2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah resin PVC SG-5 dari perusahaan Zibo Aiheng New Material, akuades (H_2O), larutan asam sulfat (H_2SO_4), dan natrium karbonat (Na_2CO_3)

III.3 Prosedur Kerja

III.3.1 Karbonisasi

Sebanyak 1 gram PVC ditambahkan ke dalam vessel dan ditambahkan sebanyak 50 mL akuades. Selanjutnya ditambahkan sebanyak 1 gram natrium karbonat ke dalam vessel dan diatur pH larutan menjadi pH 6 dengan menggunakan asam sulfat 2 M. Kemudian dioperasikan ke dalam *microwave* dengan suhu $220^{\circ}C$ selama 2 jam dengan frekuensi 2450 MHz dan daya *microwave* 400 Watt. Arang yang dihasilkan kemudian disaring dan dibilas menggunakan akuadest 100 mL sebanyak 2 kali. Selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu $100^{\circ}C$ selama 24 jam. Selanjutnya ditimbang arang yang dihasilkan. Setelah ditimbang, disaring arang menggunakan saringan 100 mesh untuk agar partikel setara. Kemudian dihitung persen rendemennya (Muslem dkk., 2019). Diulangi prosedur yang sama menggunakan *microwave* dengan daya 1000 Watt.

$$\%Rendemen = \frac{\text{Berat Akhir}}{\text{Berat Awal}} \times 100\%$$

III.3.2 Pengujian Spektrofotometer FTIR

PVC dan serbuk karbon yang dihasilkan dari proses karbonisasi dilakukan karakterisasi sebanyak 3 kali pengulangan. Pengukuran spektrum FTIR dilakukan pada daerah IR tengah $4000-450\text{ cm}^{-1}$. Pengujian FTIR dapat menginterpretasi gugus fungsi yang terkandung didalamnya. Pengukuran spektrum dan deteksi puncak pada analisis FTIR menggunakan *software Origin* (Tiwon dkk., 2021).

III.3.3 Pengujian *Scanning Electron Microscope-Energi Dispersive X-ray* (SEM-EDX)

Serbuk karbon yang dihasilkan dengan *microwave* dilakukan pengujian menggunakan SEM-EDX. Analisis SEM-EDX memberikan informasi tentang karakterisasi komposisi dan distribusi unsur bahan. Analisis SEM mengidentifikasi permukaan dan sampel padat, sedangkan EDX mengidentifikasi atom penyusun (Didik dkk., 2021). Selanjutnya hasil yang didapatkan dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Muslem dkk., (2019).

III.3.4 Pengujian *Transmission Electron Microscope* (TEM)

Serbuk karbon yang dihasilkan dengan daya *microwave* 1000 Watt dilakukan pengujian menggunakan TEM bentuk dan ukuran partikel ditentukandari citra TEM pada pembesaran 200.000x menggunakan *software simpel measure* (Hoten, 2020).

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV. 1 Data Hasil Pengamatan

Penelitian ini dilakukan dengan metode kombinasi hidrotermal-*microwave*. Adapun hasil sintesis karbonisasi PVC dan karakterisasi arang yaitu sebagai berikut:

IV.1.1 Hasil Sintesis Karbonisasi PVC

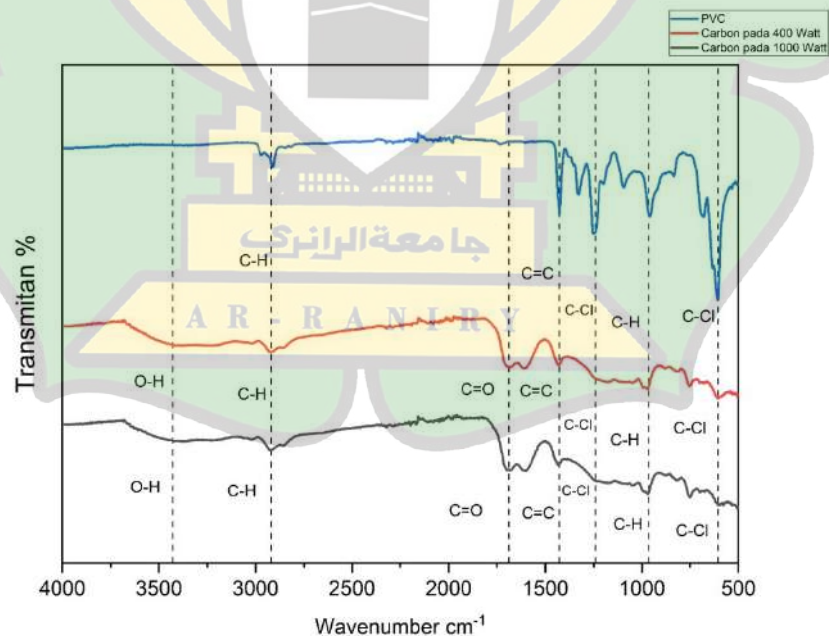
Berikut data hasil sintesis karbonisasi PVC menggunakan metode kombinasi hidrotermal-*microwave* dapat dilihat di tabel IV.1

Tabel IV.1 Data Hasil Sintesis Karbonisasi PVC

Sampel	Mikrowave power	% Rendemen
1.	400 Watt	56,21 %
2.	1000 Watt	45,37 %

IV.1.2 Hasil Analisis FTIR

Hasil karakterisasi karbon menggunakan FTIR dapat dilihat pada grafik dibawah ini:



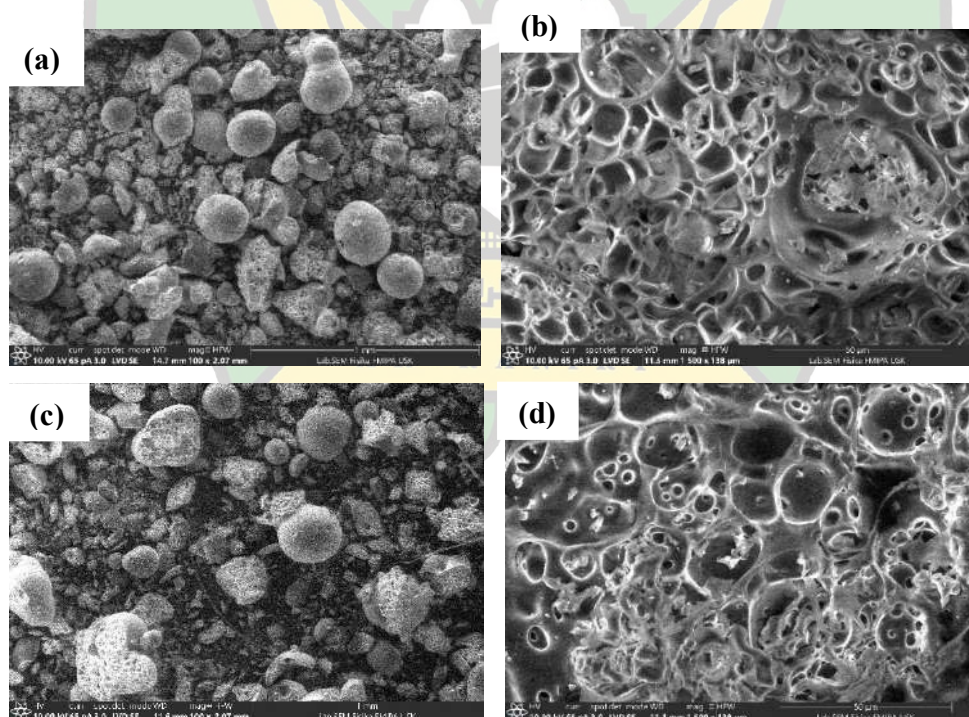
Gambar IV.1 Spektra FTIR PVC dan karbon pada daya *Microwave* 400 dan 1000 Watt

Tabel IV.2 Tabel Daerah Gugus Fungsi PVC dan Karbon pada IR

No.	Sampel	Gugus Fungsi	Daerah Frekuensi cm^{-1}
1	PVC	C-H	2922 dan 945
		C=C	1428
		C-Cl	1245 dan 612
		O-H	3428
		C-H	2922 dan 945
2	Karbon 400 dan 1000 Watt	C=O	1689
		C=C	1428
		C-Cl	1245 dan 612

IV.1.3 Hasil Analisis SEM-EDX & Mapping

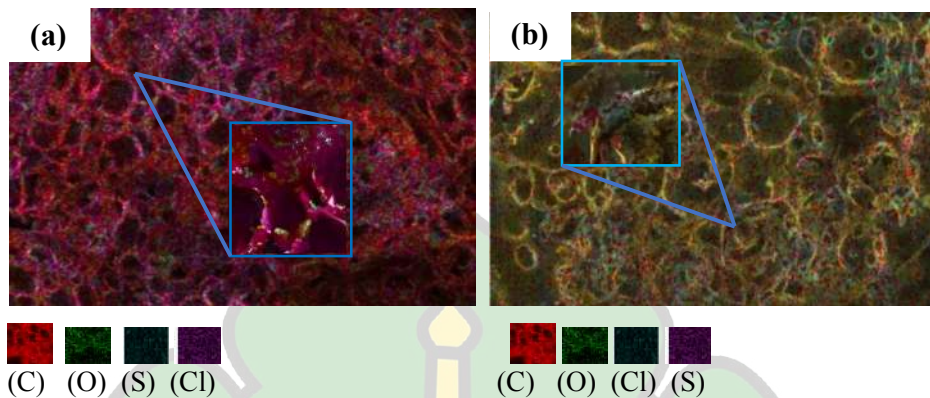
Hasil analisis SEM karbon pada daya *microwave* 400 dan 1000 Watt dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar IV.2 Hasil analisis SEM (a) 400 Watt dengan perbesaran 100x (b) 400 Watt dengan perbesaran 500x

1500x (c) 1000 Watt dengan perbesaran 100x (d) 1000 Watt dengan perbesaran 1500x

Pemetaan elemen atom pada permukaan karbon menggunakan mapping EDX dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar IV.3 Pemetaan menggunakan EDX (a) 400 Watt (b) 1000 Watt

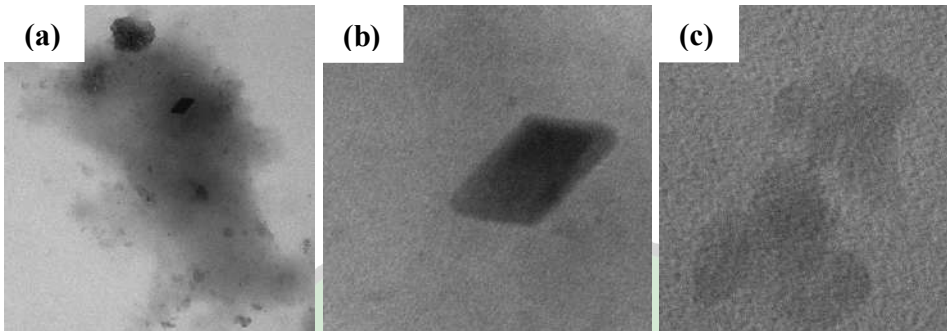
Element-element yang terkandung pada karbon beserta persen penyebaran atom dan massa yang dianalisis menggunakan EDX dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel IV.3 Persen Atom dan Massa Kandungan Pada Karbon Menggunakan EDX

Element	Penyebaran % At		Penyebaran % Wt	
	400 Watt	1000 Watt	400 Watt	1000 Watt
C	87,1 %	85,1 %	79,1 %	78,9 %
O	9,3 %	13,0 %	11,2 %	16,0 %
Cl	3,4 %	1,8 %	9,2 %	4,9 %
S	0,2 %	0,1 %	0,5 %	0,3 %

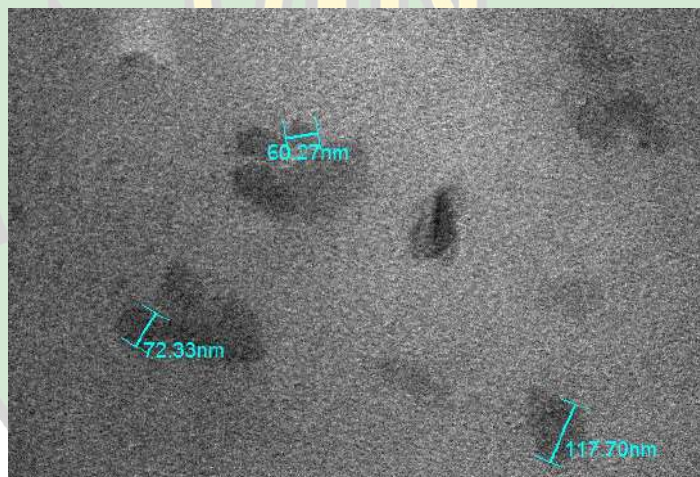
IV.1.4 Hasil Analisis TEM

Hasil karakterisasi TEM pada daya *microwave* 1000 Watt dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar IV.4 Analisis Data TEM (a) Perbesaran 20.000x (b) Perbesaran 100.000x dan (c) Perbesaran 200.000x

Ukuran partikel karbon pada daya *microwave* 1000 Watt menggunakan *software Measure* pada gambar *Simple* dapat dilihat dibawah ini:

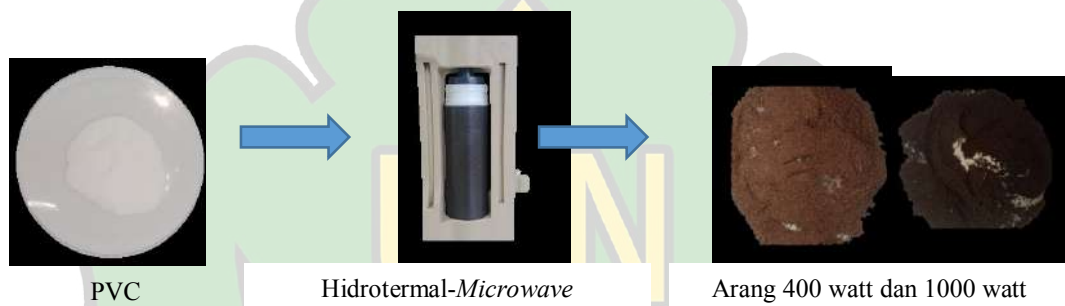


Gambar IV. Ukuran partikel pada perbesaran 100.000x

IV.2 Pembahasan

IV.2.1 Sintesis Karbonisasi PVC

PVC merupakan bahan polimer termoplastik yang terdiri dari rumus molekul $(C_2H_3Cl)_n$. PVC yang digunakan berasal dari perusahaan Zibo Aiheng New Material. Karbonisasi dilakukan menggunakan *microwave* dengan suhu $220^\circ C$ selama 2 jam dalam pelarut H_2O . Selain berfungsi sebagai pelarut, H_2O juga berfungsi sebagai reagen dalam senyawa PVC. Pada metode hidrotermal sebagian besar partikel akan dihidrolisis menjadi arang dan sebagian besar Cl akan terlepas dalam larutan HCl (Muslem dkk., 2019).



Gambar IV.6 Mekanisme kerja karbonisasi menggunakan metode kombinasi hidrotermal-*microwave*

Penambahan Na_2CO_3 pada penelitian ini bertujuan untuk membentuk reaksi netralisasi HCl sehingga membentuk NaCl (Hakim dkk., 2023). Senyawa Cl dapat dilepaskan dari senyawa PVC melalui deklorinasi reaksi substitusi nukleofilik dengan molekul H_2O sebagai Reagen. Gugus Cl dari PVC digantikan oleh gugus hidrogen pH larutan setelah penambahan Na_2CO_3 berubah menjadi 11 yang kemudian diubah menjadi pH 6 menggunakan H_2SO_4 . pH netral mendukung stabilitas senyawa organik yang terlibat dalam reaksi karbonisasi. pH 6 dapat memfalsifikasi keseimbangan yang baik antara CO_2 , yang diperlukan untuk pembentukan karbon dan proses karbonisasi. CO_2 bereaksi dengan senyawa-senyawa tertentu dalam larutan untuk membentuk karbon PVC yang telah dikarbonisasi disaring dan dibilas menggunakan aquadest, serta dikeringkan menggunakan oven. Selanjutnya arang yang telah dikeringkan dihaluskan menggunakan saringan 100 mesh untuk mendapatkan partikel yang seragam. Hasil akhir didapatkan arang pada daya 1000 Watt memiliki warna hitam lebih pekat dibandingkan arang pada 400 Watt.

Penghilangan Cl melalui reaksi substitusi nukleofilik akan menghasilkan peningkatan jumlah oksigen dalam arang. Selain itu, kandungan hidrogen dalam arang tidak berkurang seiring dengan berkurangnya kandungan Cl (Poerschmann dkk., 2015). Warna yang pekat menandakan bahwa arang telah terbakar dengan baik dan memiliki kualitas baik serta minim akan pengotor (Dewi dkk., 2021).

Menurut Poerschmann dkk., (2015) warna arang yang lebih pekat dipengaruhi oleh suhu dan adanya ikatan rangkap dan penggabungan oksigen ke dalam molekul arang. Pada umumnya, hubungan antara daya, suhu, dan konsentrasi sangat bergantung pada reaksi kimia. Suhu dan konsentrasi senyawa kimia mempengaruhi seberapa cepat reaksi berlangsung (Purwaningsih dkk., 2019). Dari tabel IV.1 didapatkan bahwa arang yang diperoleh pada daya 400 Watt lebih besar dibandingkan pada daya 1000 Watt. Pada daya 400 Watt didapatkan sekitaran 56,21% arang dan sisanya membentuk larutan. Sedangkan pada daya 1000 Watt didapatkan sekitaran 45,37% arang dan sisanya larutan. Perbedaan persen rendemen yang dihasilkan karena pada daya 1000 watt diperkirakan terlepasnya Cl dari arang yang lebih besar dibandingkan pada daya 400 Watt. Selanjutnya dilakukan karakterisasi menggunakan FTIR, SEM-EDX, dan TEM.

IV.2.2 Analisis FTIR

Fourier Transform Infrared (FTIR) merupakan salah satu instrumen *spektroskopi* yang digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi sehingga dapat memprediksi struktur senyawa kimia (Mariati dkk., 2020) yang terdapat pada PVC dan arang yang dikarbonisasi dengan daya mikrowave 400 Watt dan 1000 Watt. Berdasarkan gambar IV.1 dan tabel IV.2 pada karbon yang menggunakan *microwave* 400 dan 1000 Watt muncul gugus fungsi O-H dan C=O yang tidak ada pada PVC murni. Sedangkan untuk gugus fungsi C-Cl mengalami penurunan dengan intensitas lemah. Munculnya gugus O-H dan C=O dan menurunnya intensitas C-Cl disebabkan oleh suhu operasi dan terjadinya reaksi substitusi nukleofilik Cl oleh OH pada proses karbonisasi. Berdasarkan gambar II.3 reaksi substitusi nukleofilik menyebabkan menurunnya kandungan Cl dan meningkatnya kandungan oksigen. Meningkatnya

C=O menunjukkan gugus karbonil yang lebih banyak yang menunjukkan sifat polar yang tinggi, C=O terbentuk dari reaksi deprotonasi.

IV.2.3 Analisis SEM-EDX & Mapping

SEM merupakan instrumen yang sering digunakan untuk mengidentifikasi bentuk dan aglomerasi partikel. Berdasarkan gambar SEM karbon yang dihasilkan berwarna hitam menghasilkan bentuk partikelnya yaitu *spherical* (bola). Dari gambar IV.2 diatas tidak terjadinya aglomerasi. Aarang 400 Watt dan 1000 Watt tampak jelas pori-pori dari arang dan permukaan arang yang kasar. Pada daya 1000 Watt permukaan arang cenderung lebih kasar dan tidak rata dibandingkan pada daya 400 Watt.

Uji EDX merupakan teknik untuk mengidentifikasi unsur-unsur dan persentase kandungan dalam arang. Berdasarkan tabel IV.2 hasil analisis EDX yang menunjukkan bahwa persentase Cl pada 400 Watt lebih tinggi dibandingkan pada 1000 Watt, sedangkan persentase oksigen lebih tinggi pada 1000 Watt. Kandungan Cl dalam PVC murni yaitu sebesar 56,8 % (Poerschmann dkk., 2015). Dari penelitian ini didapatkan jumlah Cl yang terdeteksi lebih rendah dibandingkan penelitian yang dilakukan muslem dkk., 2019 yang menggunakan metode hidrotermal tanpa mikrowave. Dimana jumlah Cl yang terdeteksi dari penyebaran atom adalah 14,57% dan penyebaran massa adalah 23,24% dengan jumlah Cl yang dapat diturunkan yaitu sebesar 60%. Dari penelitian ini jumlah Cl yang dapat diturunkan pada 400 Watt yaitu sebesar 83,80% dan pada 1000 Watt yaitu sebesar 91,37%.

IV.2.4 Analisis TEM

TEM merupakan instrumen yang digunakan untuk mengamati struktur, ukuran dan bentuk arang yang dibuat menjadi 3 dimensi (Hoten, 2020). Berdasarkan tabel IV.2 kadar Cl pada arang 1000 Watt lebih rendah. Sehingga, uji TEM dilakukan pada arang tersebut. Berdasarkan gambar IV.4 dapat dilihat bentuk dimana partikel berbentuk *spherical* (bola) dan tetrahedral. Bentuk *spherical* dapat dilihat pada pembesaran 20.000x dan pada pembesaran 200.000x, sedangkan bentuk tetrahedral dapat dilihat pada pembesaran 20.000x dan pada pembesaran 100.000x. perbedaan

bentuk arang menunjukkan fungsi yang berbeda. Arang yang berbentuk *spirical* memiliki fungsi utama sebagai media penjernihan air dan udara. Sedangkan arang yang berbentuk tetrahedral memiliki fungsi utama sebagai agen katalis, penyerap, atau bahan dasar sintesis senyawa organik (Fadila dkk. , 2023). Berdasarkan gambar terjadinya aglomerasi dari partikel yang seragam. Aglomerasi adalah partikel-partikel kecil yang bergabung atau berkumpul sehingga membentuk partikel besar. Beberapa penyebab aglomerasi yaitu suhu, tekanan, dan kelembaban reaktor (Sharfina dkk., 2015). Suhu yang terlalu tinggi dapat meningkatkan aglomerasi karena meningkatnya mobilitas partikel. Kelembaban dalam vessel juga dapat mempengaruhi mobilitas partikel dan sifat fisik dalam larutan. Kelembaban yang tinggi dapat meningkatkan kemungkinan aglomerasi karena mempengaruhi viskositas larutan dan kemungkinan partikel untuk saling menempel. Namun berbeda halnya dengan tekanan dimana semakin tinggi tekanan dapat membantu mengurangi pembentukan aglomerasi dengan meningkatkan larutan pencampur. Aglomerasi dapat menghasilkan produk akhir yang kurang homogen dan berkualitas rendah. Gumpalan-gumpalan besar arang mungkin memiliki luas permukaan yang lebih kecil dan struktur yang lebih padat sehingga mempengaruhi kemampuan adsorpsi dan efisiensi prosesnya (Desiati dkk., 2018). Berdasarkan gambar IV.5 penentuan ukuran partikel arang dilakukan menggunakan *software simple maesure*. Diperoleh ukuran partikel pada pembesaran 100.000 kali berkisaran antara 117,70 nm - 60,27 nm.

BAB V

PENUTUP

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan:

1. Karbonisasi PVC menggunakan metode kombinasi hidrotermal-*microwave* mampu menurunkan kadar Cl lebih baik.
2. Variasi daya *microwave* berpengaruh terhadap penurunan kadar Cl dimana pada daya 400 dan 1000 Watt kadar Cl secara berturut-turut turun sebesar 83,80% dan 91,31%
3. Karakterisasi arang menggunakan FTIR menunjukkan bahwa arang mengandung gugus fungsi O-H, C-H, C=O, C=C, dan C-Cl. Pada analisa menggunakan SEM-EDX menunjukkan partikel berbentuk bola (*spherical*), pori-pori dan permukaan arang, serta mengidentifikasi unsur-unsur yang terdapat pada permukaan arang. Sedangkan pada analisa menggunakan TEM menunjukkan bentuk partikel dimana partikel berbentuk bola (*spherical*) dan tetrahedral dan adanya aglomerasi dari partikel yang tidak seragam, serta diperoleh ukuran partikel pada pembesaran 100.0k kali berkisaran 117,70 nm - 60,27 nm.

V.II. Saran

Penelitian ini masih perlu dilanjutkan agar Cl dapat dikurangi hingga 100% dengan menaikkan *microwave power*.

DAFTAR PUSTAKA

- Desiati, R. D., Sugiarti, E., & Ramandhany, S. (2018). Analisa Ukuran Partikel Serbuk Komposit Nicral Dengan Penambahan Reaktif Elemen Untuk Aplikasi Lapisan Tahan Panas [Particle Size Analysis Of Nicral Composite Powders With Reactive Elements Addition For Thermal Barrier Coating Applications]. *Metalurgi*, 33(1), 27-34.
- Didik, L. A., Damayanti, I., Jumliati, J., & Alfadia Lestari, P. D. (2021). Morphological characteristics and mineral content analysis of magnetic minerals based on river and coastal sand using SEM-EDX. *Jurnal Sains Dasar*, 10(2), 44-50.
- Dewi, R., Azhari, A., & Nofriadi, I. (2021). Aktivasi karbon dari kulit pinang dengan menggunakan aktivator kimia KOH. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 9(2), 12-22.
- Effendy, S., Aswan, A., Ridwan, K. A., Ramadhania, N., & Amanda, T. J. (2020). Pengaruh Daya Microwave Dalam Proses Pengolahan Minyak Mawar (Rosa Hybrida) Dan Minyak Ylang-Ylang (Cananga odorata genuine) Dengan Metode Microwave Hydrodistillation. *Jurnal Kinetika*, 11(3), 20-27.
- Eriska, H., Dewi, K., Pasek, A. D., & Damanhuri, E. (2017). Hydrothermal carbonization of biomass waste by using a stirred reactor: an initial experimental results. *Reaktor*, 16(4), 212-217.
- Everard, M. (2020). Twenty years of the polyvinyl chloride sustainability challenges. *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 26(3), 390-402.
- Fadila, N. D., Rahmawati, W., Suharyatun, S., & Haryanto, A. (2023). Kinerja Industri Kecil Arang Tempurung Kelapa. *Jurnal Agricultural Biosystem Engineering*, 2(2), 287-297.

- Hakim, M. S., Hermayantiningsih, D., Dewi, S. R., Andhita, N. A., & Krissilvio, E. J. (2023). Analisis Kadar Asiditas dan Alkalinitas pada Saluran Drainase Primer Pengeringan IV Bukit Keminting Kota Palangka Raya, Kalimantan Tengah. *Indonesian Journal Of Chemical Research*.
- Hoekman, S. K., Broch, A., Robbins, C., Zielinska, B., & Felix, L. (2013). Hydrothermal carbonization (HTC) of selected woody and herbaceous biomass feedstocks. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 3, 113-126.
- Kurniawan, R., Lutfi, M., & Nugroho, W. A. (2013). Karakterisasi luas permukaan BET (braunear, emmelt dan teller) karbon aktif dari tempurung kelapa dan tandan kosong kelapa sawit dengan aktivasi asam fosfat (H₃PO₄). *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 2(1).
- Lewandowski, K., & Skórczewska, K. (2022). A brief review of poly (vinyl chloride)(PVC) recycling. *Polymers*, 14(15), 3035.
- Limbong, H. P. (2017). Identifikasi Gugus Fungsi Senyawa Kimia Pulp Batang Pisang Berdasarkan Spektrum FTIR. *Jurnal Teknik dan Teknologi*, 12(23), 44-50.
- Linggo, J. S., & Kurniawan, J. Y. (2015). Penggunaan PVC Sebagai Bahan Tambah Pada Beton Aspal. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(3), 190-195.
- Lubis, K. (2015). Metoda-Metoda Karakterisasi Nanopartikel Perak. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 21(79), 51-56.
- Muslem, M., Kuncaka, A., Himah, T. N., & Roto, R. (2019). Preparation of Char-Fe₃O₄ Composites from Polyvinyl Chloride with Hydrothermal and Hydrothermal-Pyrolysis Carbonization Methods as Co (II) Adsorbents. *Indonesian Journal of Chemistry*, 19(4), 835-840.
- Naimah, S., Nuraeni, C., Rumondang, I., Jati, B. N., & Ermawati, R. (2018). Dekomposisi limbah plastik polypropylene dengan metode pirolisis. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 13(3), 226-229.
- Nuraeni, W., Daruwati, I., Widayari, E. M., & Sriyani, M. E. (2013). Verifikasi kinerja alat particle size analyzer (PSA) HORIBA LB-550 untuk penentuan distribusi ukuran nanopartikel.

- Oktavia, I. N., & Sutoyo, S. (2021). Review Artikel: Sintesis Nanopartikel Perak Menggunakan Bioreduktor Ekstrak Tumbuhan Sebagai Bahan Antioksidan. *UNESA Journal of Chemistry*, 10(1), 37-54.
- Pitanova, T., & Alva, S. (2023). Karakteristik Mekanikal Material Polimer PVC dengan Variasi Konsentrasi Vco (Virgin Coconut Oil). *Jurnal Pendidikan dan Konseling (JPDK)*, 5(1), 4422-4435.
- Pratama, A. R. A., Erfan, M., Priskasari, E., & Prajitno, A. (2017). Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Polyvinyl Chloride Pada Campuran Asphalt Treated Base Atb Terhadap Nilai Parameter Marshall Test. *Jurnal Sondir*, 1(2), 1-8
- Poerschmann, J., Weiner, B., Woszidlo, S., Koehler, R., & Kopinke, F. D. (2015). Hydrothermal carbonization of poly (vinyl chloride). *Chemosphere*, 119, 682-689.
- Purwaningsih, D. Y., Budianto, A., & Ningrum, A. A. (2019, September). Produksi Karbon Aktif Dari Kulit Singkong Dengan Aktivasi Kimia Fisika Menggunakan Gelombang Mikro. In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*, 1(1) 663-670.
- Rahim, H., Ardha, W., dan Rachma, R. (2022). Analisis Kualitas Arang Aktif Dari Biji Kapuk Sebagai Adsorben Logam Tembaga (Cu) Dalam Limbah Cair Industri. *Jurnal Teknologi Kimia Mineral*, 1(1), 14-17.
- Rustanto, M. E., Yudita, Y., & Ilcham, A. (2022). Manufacture of Capacitors from Activated Carbon from Used Batteries, Chicken Bones and Banana Skins: Manufacture of Capacitors from Activated Carbon from Used Batteries, Chicken Bones and Banana Skins. *Jurnal Rekayasa, Teknologi Proses dan Sains Kimia (REPROKIMIA)*, 1(2), 54-62.
- Sanjiwani, N. M. S., Paramitha, D. A. I., Wibawa, A. A. C., Ariawan, I. M. D., Megawati, F., Dewi, N. W. T., ... & Sudiarsa, I. W. (2020). Pembuatan Hair Tonic Berbahan Dasar Lidah Buaya dan Analisis dengan Fourier Transform Infrared. *Widyadari: Jurnal Pendidikan*, 21(1).

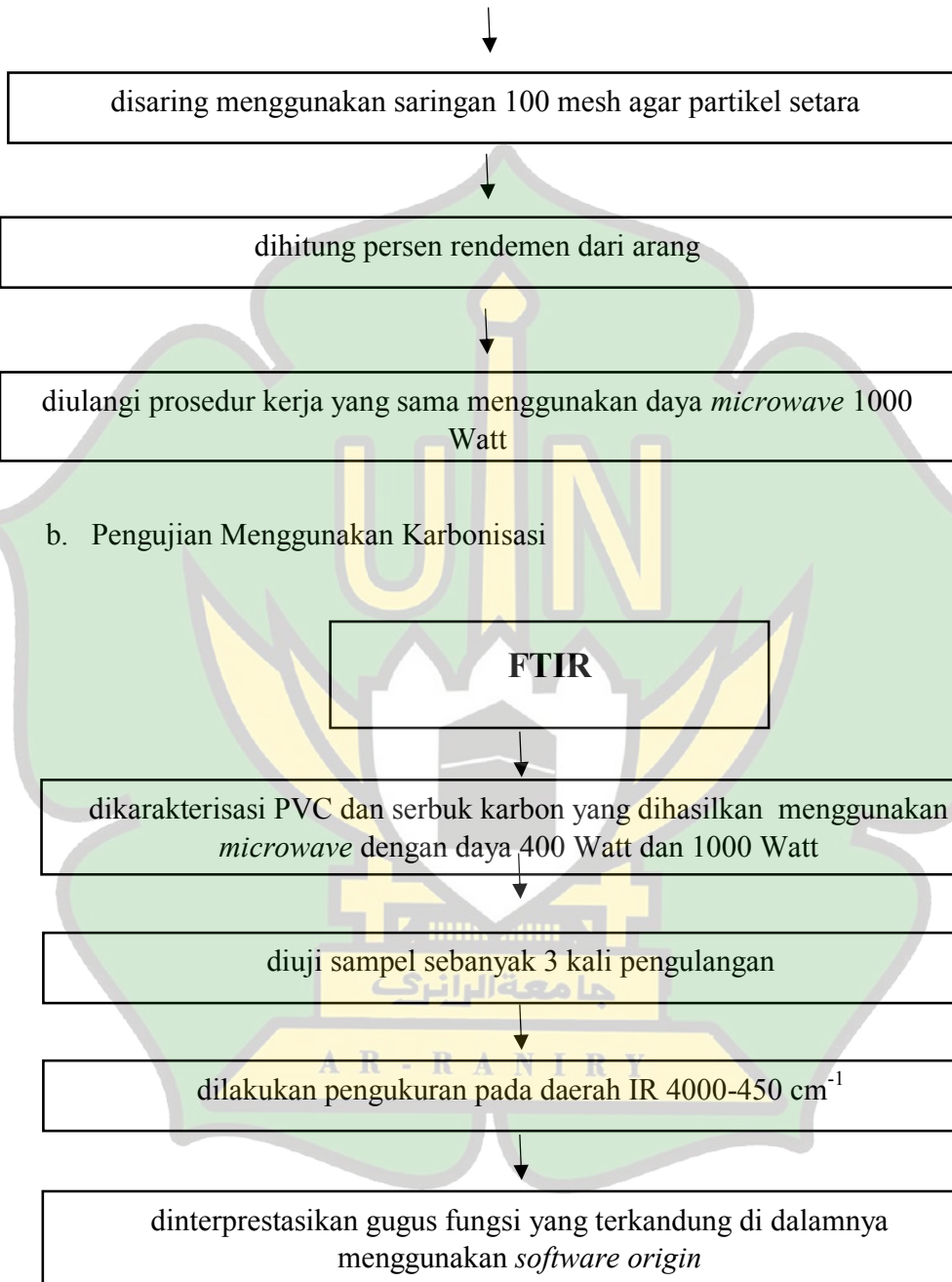
- Setianingsih, T. (2018). *Karakterisasi Pori Dan Luas Muka Padatan*. Universitas Brawijaya Press.
- Sharfina, E., Nuryanto, R., & Putra, T. Y. S. P. (2015). Pengaruh Variasi Waktu Milling terhadap Karakter Produk Sintesis LiMn₂O₄ dengan Reaksi Padat-Padat. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 18(1), 7-12.
- Sihotang, A., Heriyanti, S. I., Murti, S. D. S., Yanti, F. M., Ichsan, A. F., Putri, A. A., & Gusti, D. R. (2022). The Effect of Metal Impregtion Of Fe Cu And Co on Surface Area of ZSM-5 Catalyst Analyzed Using Surface Area Analyzer (AAS). *Al-Kimia*, 10(2).
- Siregar, Y. D. I., Heryanto, R., Lela, N., & Lestari, T. H. (2015). Karakterisasi Karbon Aktif Asal Tumbuhan dan Tulang Hewan Menggunakan FTIR dan Analisis Kemometrika. *Jurnal Kimia VALENSI*, 1(2), 103-116.
- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Nieman, T. A. (1998). *Principles of instrumental analysis 5th edition*. Saunders College Pub. Co.: Philadelphia.
- Titow, W. V. (2012). *PVC plastics: properties, processing, and applications*. Springer Science & Business Media.
- Tiwow, V. A., Rampe, M. J., Rampe, H. L., & Apita, A. (2021). Pola inframerah arang tempurung kelapa hasil pemurnian menggunakan asam. *Chemistry progress*, 14(2), 116-123.
- Trimawiasa, W., Sudiana, I. N., & Aba, L. (2022). imulasi Efek Microwave Pada Pemanasan Beberapa Komponen Dasar Bio-Oil. *Jurnal Buletin Fisika*, 1(23), 34-42.
- Van Hoten, H. (2020). Analisis Karakterisasi Serbuk Biokeramik Dari Cangkang Telur Ayam Broiler. *ROTOR*, 13(1), 1-5.
- Wang, Y. J., Yu, Y., Huang, H. J., Yu, C. L., Fang, H. S., Zhou, C. H., ... & Guo, X. C. (2022). Efficient conversion of sewage sludge into hydrochar by microwave-assisted hydrothermal carbonization. *Science of the Total Environment*, 803, 149874.

LAMPIRAN

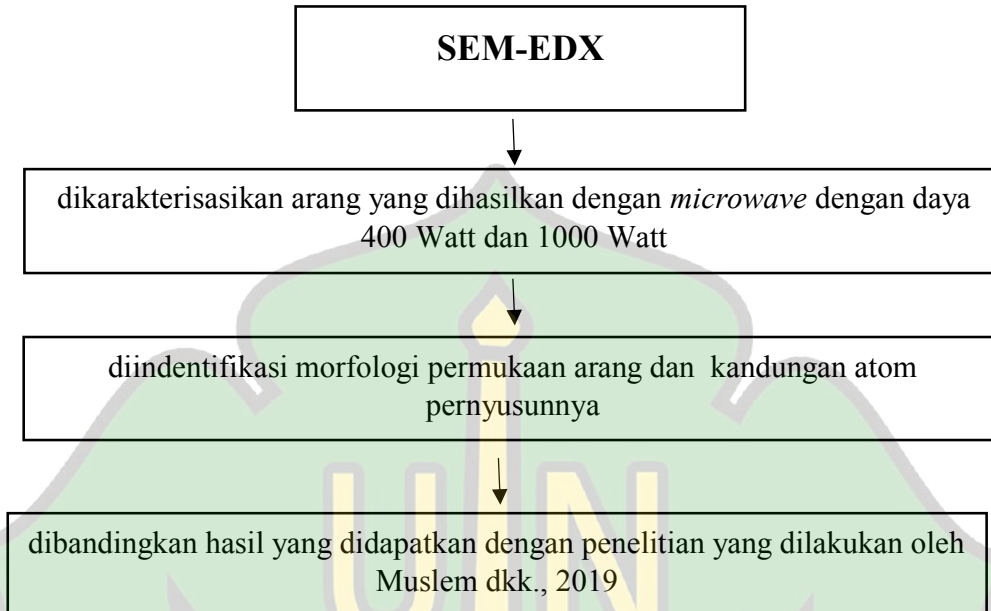
Lampiran 1. Prosedur Kerja

a. Karbonisasi

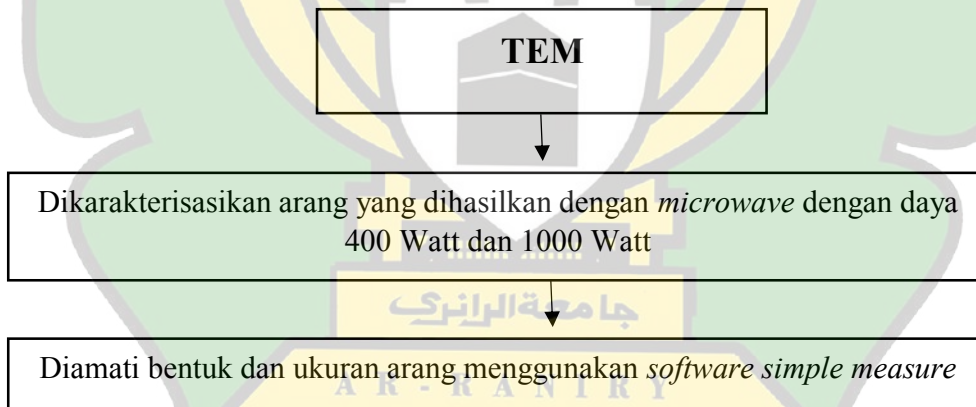




c. pengujian menggunakan SEM-EDX



d. Pengujian menggunakan TEM



Lampiran 2. Perhitungan

2.1 400 watt

2.1.1 Perhitungan rendemen arang

$$\begin{aligned} \text{Berat Sampel} &= \text{kertas saring akhir} - \text{kertas saring awal} \\ &= 1,3848 \text{ gram} - 0,8221 \text{ gram} \\ &= 0,5627 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Rendemen arang} &= \frac{\text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100\% \\ &= \frac{0,5627 \text{ gram}}{1,0009 \text{ gram}} \times 100 \% \\ &= 56,21 \% \end{aligned}$$

2.1.2 Penurunan kadar Cl

$$\begin{aligned} \text{Persentase \%} &= \frac{\text{berat awal} - \text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100 \% \\ &= \frac{56,8 - 9,2}{56,8} \times 100 \% \\ &= \frac{47,6}{56,8} \times 100 \% \\ &= 83,80 \% \end{aligned}$$

2.2 1000 watt

2.2.1 perhitungan rendemen arang

$$\begin{aligned} \text{Berat sampel} &= \text{kertas saring akhir} - \text{kertas saring awal} \\ &= 1,4489 \text{ gram} - 0,9945 \text{ gram} \\ &= 0,4544 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ Rendemen arang} &= \frac{\text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100\% \\ &= \frac{0,4544 \text{ gram}}{1,0014 \text{ gram}} \times 100 \% \\ &= 45,37 \% \end{aligned}$$

2.2.2 Penurunan kadar Cl

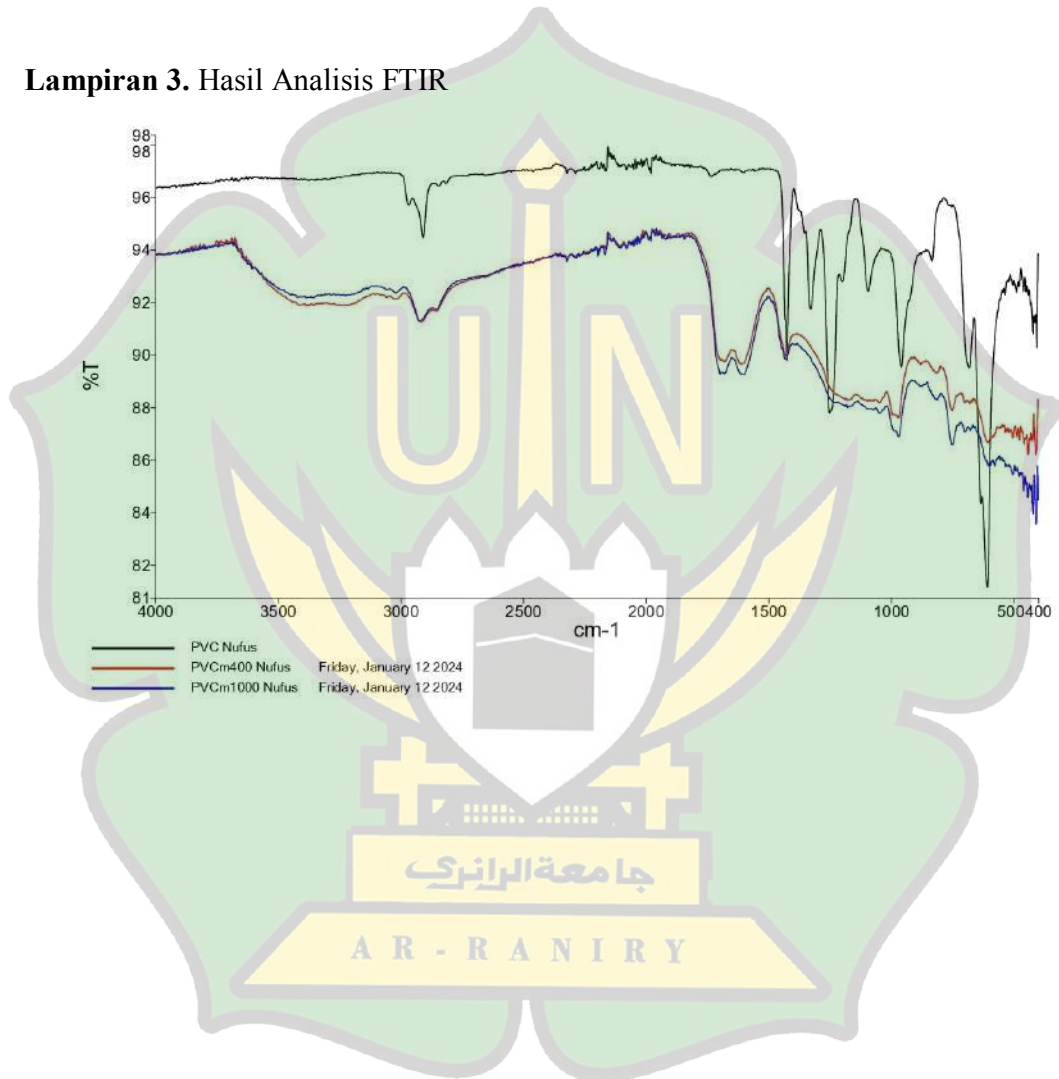
$$\text{Persentase \%} = \frac{\text{berat awal} - \text{berat akhir}}{\text{berat awal}} \times 100 \%$$

$$= \frac{56,8 - 4,9}{56,8} \times 100 \%$$

$$= \frac{51,9}{56,8} \times 100 \%$$

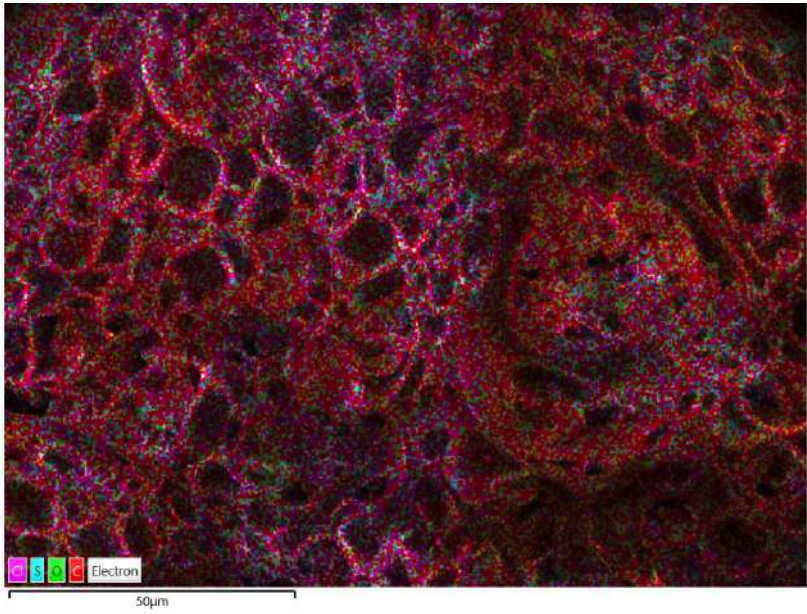
$$= 91,37 \%$$

Lampiran 3. Hasil Analisis FTIR

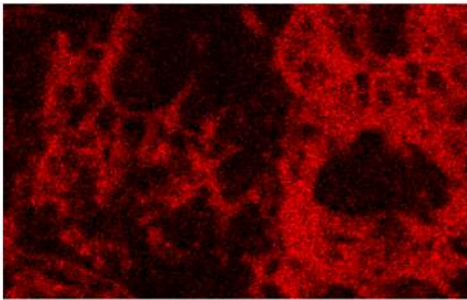


Lampiran 4. Hasil Analisis SEM-EDX & Mapping

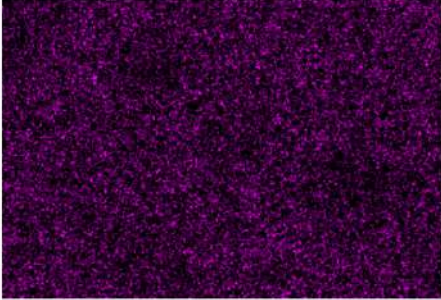
1. Sebaran Material Arang Pada Daya *Microwave* 400 Watt

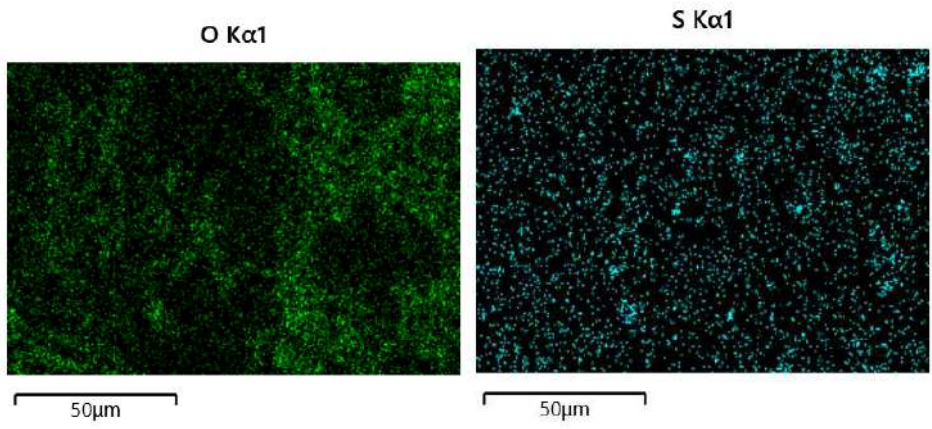


C Kα1_2

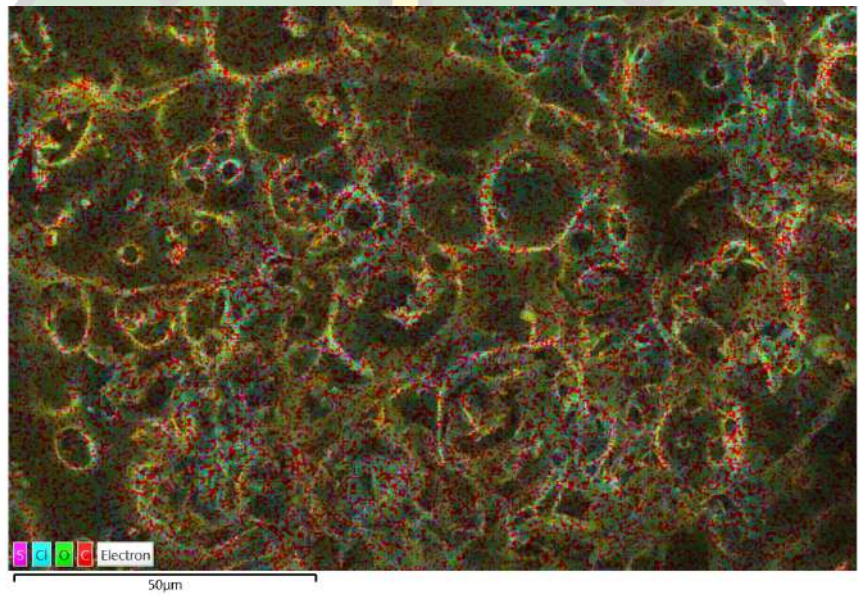


Cl Kα1



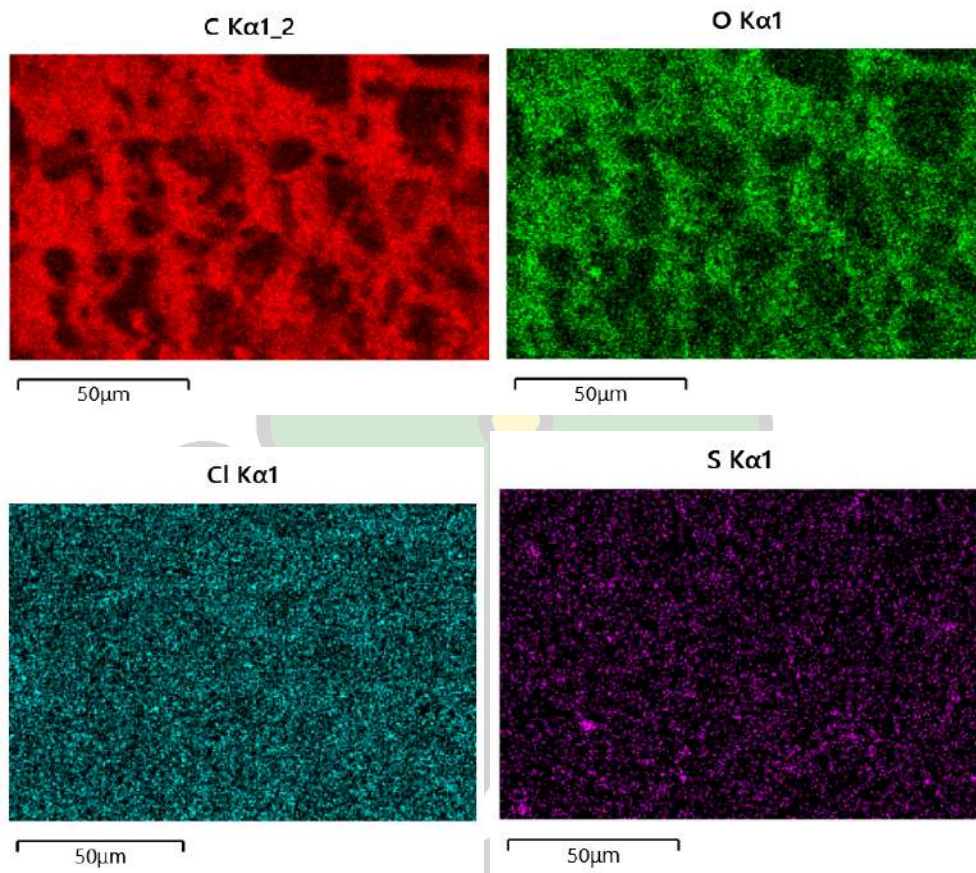


2. Sebaran Material Arang Pada Daya *Microwave* 1000 Watt

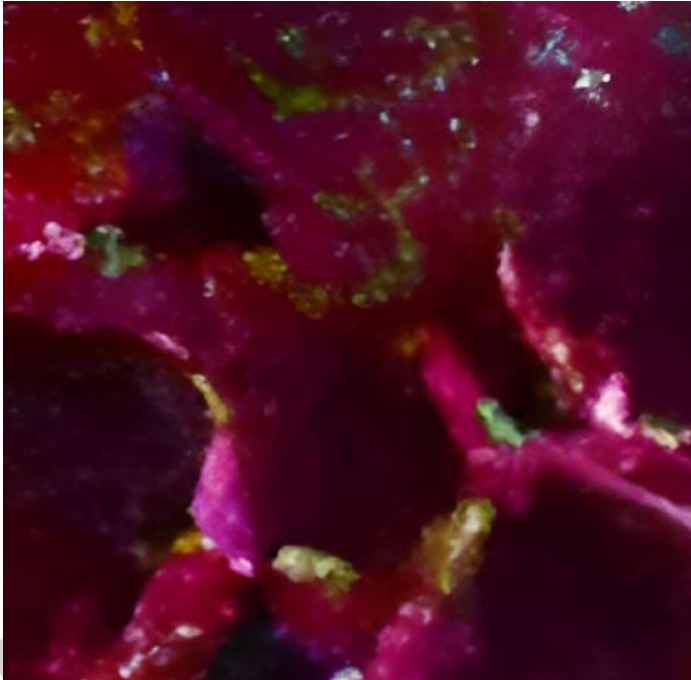


جامعة الرانيري

AR - RANIRY



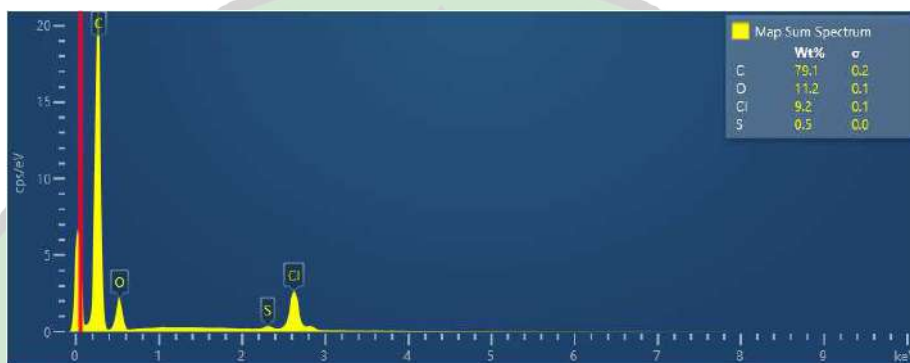
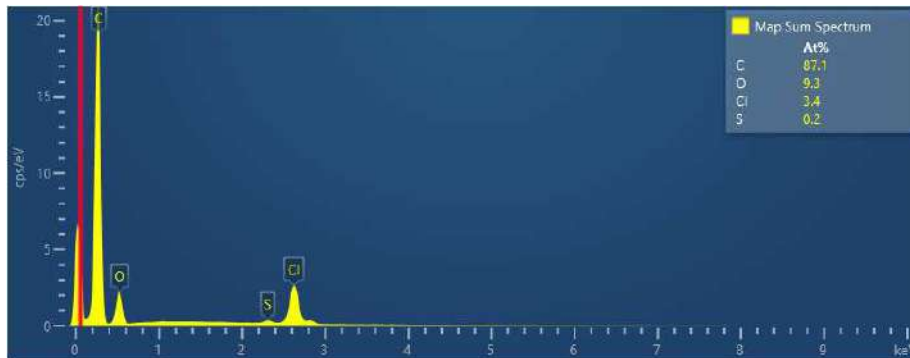
3. Gambar SEM Yang Telah Diperbesar Menggunakan Capcut
 - a. 400 watt



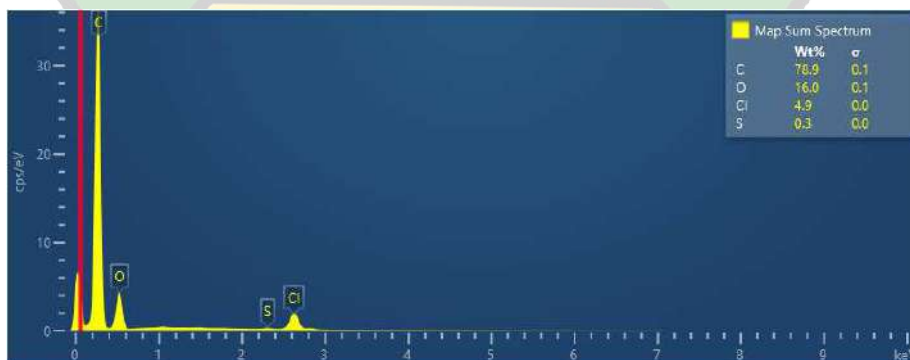
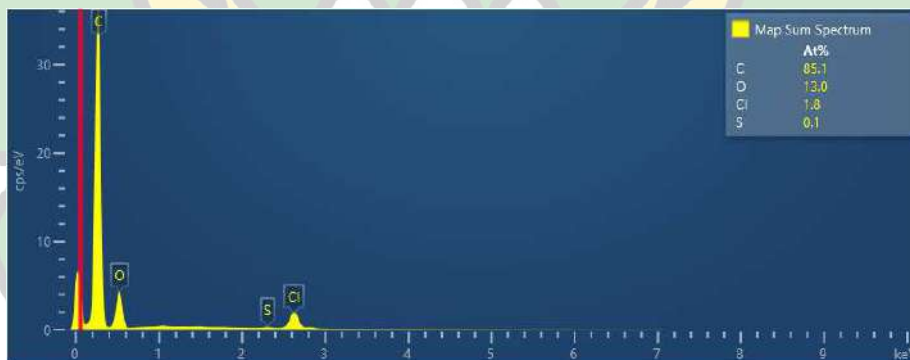
b. 1000 watt



4. Hasil Analisis EDX Pada 400 Watt



5. Hasil analisis EDX Pada 1000 Watt



Lampiran 5. Parameter Dalam Penggunaan MDS 6G

Power	220-240 VAC 50/60Hz 8A
Microwave frequency	2450MHz
Installed power	1800W
Maximum output power	1000W, non-pulse continuous automatic variable frequency control
Turntable design	Load 8 MP-100 closed digestion vessels at same time
Pressure measurement and control system	Piezoelectric crystal pressure sensor, pressure control range: 0-10MPa (1500 psi), accuracy ± 0.01 MPa
Temperature measurement and control system	High-precision platinum resistor temperature sensor, temperature range: 0-300°C, accuracy $\pm 1^\circ\text{C}$
Outer vessel material	Explosion-proof outer vessel made of aerospace composite fiber
Inner vessel material	TFM material
Chamber exhaust system	High-power anticorrosion axial fan, exhaust speed: 3.1 m ³ /min
Operating ambient temperature	0-40 ° C
Working environment humidity	15-80%RH
Whole physical size	450 x 515 x 510 mm (W x D x H)
Net weight	40 KG

Lampiran 6. Gambar Penelitian Dan Hasil Penelitian

Gambar	Keterangan
	Serbuk PVC
	Vessel yang berisi PVC, H ₂ O, Na ₂ CO ₃ , dan H ₂ SO ₄ dimasukkan ke dalam <i>microwave</i>
	Karbonisasi menggunakan <i>microwave</i>
	Disaring untuk memisahkan arang dan larutan



Arang yang telah disaring dan dibilang menggunakan aquadest



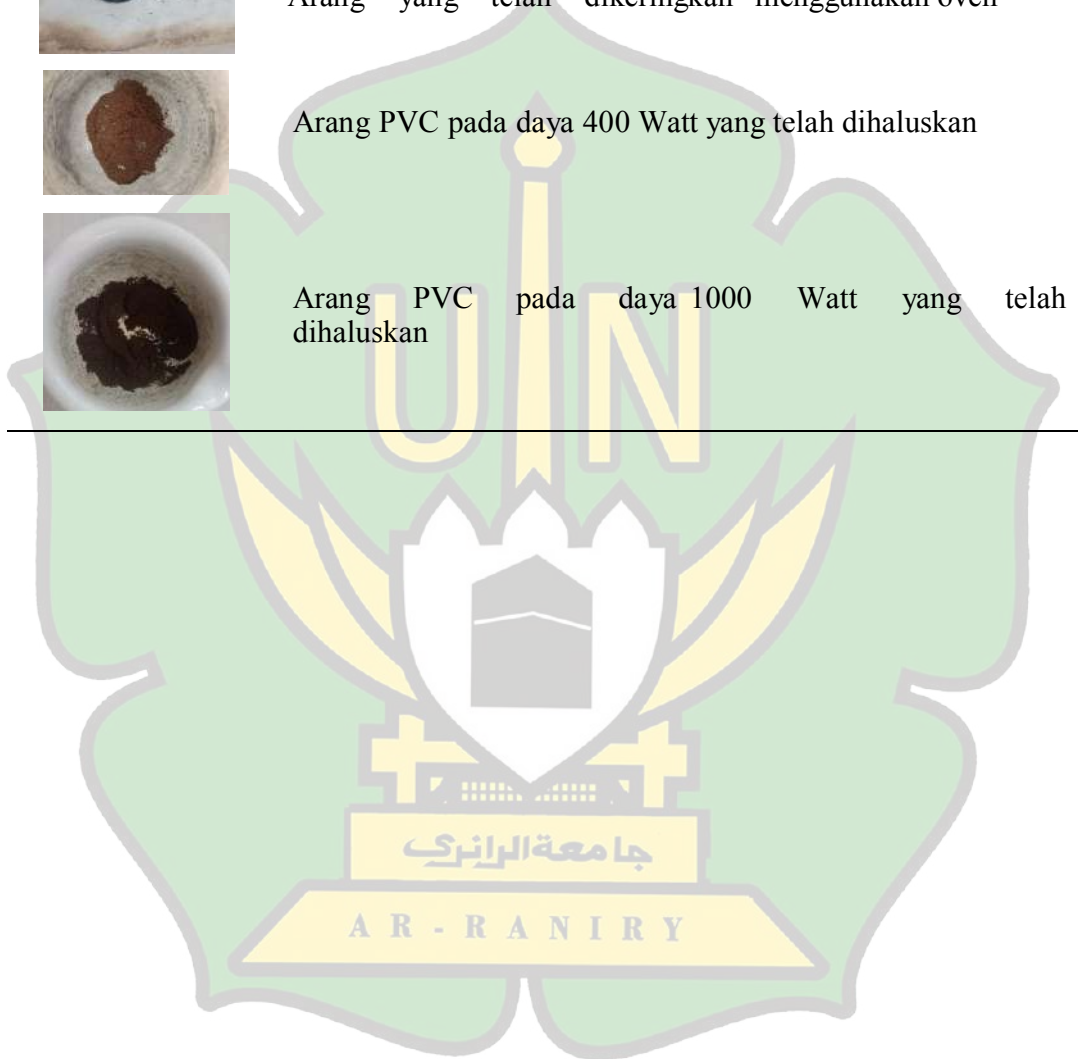
Arang yang telah dikeringkan menggunakan oven



Arang PVC pada daya 400 Watt yang telah dihaluskan



Arang PVC pada daya 1000 Watt yang telah dihaluskan



BIOGRAFI PENULIS

DATA PRIBADI

Nama : Hayatun Nufus
Nim : 200704004
Jurusan : Kimia
Fakultas : Sains Dan Teknologi
Tempat, Tanggal Lahir : PIDIE, 27 juli 2003
Jenis Kelamin : Perempuan
Alamat : Dusun Musafir, Alue Naga, Kec. Syiah Kuala, Kota
Banda Aceh, Aceh
Telp/Hp : 0853327322621
Email : 200704004@student.ar-raniry.ac.id



RIWAYAT PENDIDIKAN

2008 – 2014 : SD N 58 Banda Aceh
2014 – 2017 : SMP N 8 Banda Aceh
2017 – 2020 : SMA N 5 Banda Aceh
2020 – 2024 : S1 Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas
Islam Negeri Ar-Raniry, Banda Aceh