

**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI KARBON AKTIF KULIT
BUAH AREN (*Arenga pinnata*) DENGAN AKTIVATOR H_3PO_4
SEBAGAI PENYERAP ZAT WARNA INDIGOZOL**

SKRIPSI



**FIQIH LOLA AMELIA
F1C119026**

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JAMBI**

2023

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Tanda tangan yang tertera dalam halaman pengesahan adalah asli. Jika tidak asli, saya siap menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Jambi, 19 Desember 2023

Yang Menyatakan



Fiqih Lola Amelia

NIM. F1C119026

RINGKASAN

Zat warna sintetik banyak digunakan dalam industri tekstil, salah satunya dalam industri pembuatan batik. Terdapat berbagai jenis zat warna sintetik dalam industri pembuatan batik, salah satunya yaitu zat warna indigozol. Zat warna indigozol jika digunakan secara berlebihan dapat berubah menjadi zat warna yang toksik, karsinogenik, mutagenik, mengiritasi kulit dan mata, bahkan dapat menyebabkan kanker kulit. Zat warna indigozol tidak mudah terurai secara hayati di perairan dan diperlukan cara yang efektif untuk mengurangi atau menghilangkan limbah pewarnanya. Salah satu cara untuk mengatasinya adalah dengan menggunakan adsorben karbon aktif dari kulit buah aren (*Arenga pinnata*). Untuk menjadi karbon, proses diawali dengan tahapan karbonisasi untuk menghilangkan senyawa-senyawa yang mudah menguap dalam unsur-unsur non karbon, hidrogen dan oksigen. Selanjutnya tahap aktivasi kimia untuk membuka, menambah atau mengembangkan volume pori dan memperbesar diameter pori yang telah terbentuk pada proses karbonisasi menggunakan H_3PO_4 . Karbon aktif kulit buah aren yang diperoleh dikarakterisasi menggunakan FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) dan SEM-EDX (*Scanning Electron Microscopy-Electron Dispersive X-Ray*). Proses adsorpsi dilakukan dengan variasi pH, variasi waktu kontak dan variasi konsentrasi. Uji adsorpsi dianalisis menggunakan instrument UV-VIS (*UltraViolet-Visible Spectroscopy*). Hasil penelitian diperoleh yaitu pH optimum pada pH 2 dengan efisiensi adsorpsi sebesar 99% dan kapasitas adsorpsi sebesar 148,52 mg/g. waktu kontak optimum pada 10 menit dengan efisiensi adsorpsi sebesar 95,4% dan kapasitas adsorpsi sebesar 143,11 mg/g. Konsentrasi optimum yaitu 750 ppm dengan efisiensi adsorpsi sebesar 87% dan kapasitas adsorpsi sebesar 65,32 mg/g. Model isoterm yang diplotkan terjadi isoterm Langmuir dengan $R = 1$ dan isotrm Freundlich dengan $R = 1$.

Kata Kunci: Karbon aktif, kulit buah aren, zat warna indigozol, karbonisasi, aktivasi, adsorpsi, dan isoterm.

SUMMARY

Synthetic dyes are widely used in the textile industry, one of them is in the batik manufacturing industry. There are various types of synthetic dyes in the batik making industry and one of them is indigozol dye. Indigozol dye, if used excessively, can turn into a toxic dye, carcinogenic, mutagenic, irritates the skin and eyes, and also can even cause a skin cancer. Indigozol dye is not easily biodegradable in waters so that need an effective way to reduce or eliminate dye waste. One way to overcome this problem is to use an activated carbon adsorbent from palm fruit skin (*Arenga pinnata*). To become carbon, the process begins with a carbonization stage to remove volatile compounds in non-carbon elements, hydrogen and oxygen. Next is chemical activation to open, increase or expand the pore volume and enlarge the diameter of the pores that have been formed in the carbonization process using H_3PO_4 . The sugar palm fruit peel activated carbon obtained was characterized using FTIR (Fourier Transform Infra Red) and SEM-EDX (Scanning Electron Microscopy-Electron Dispersive X-Ray). The adsorption process is carried out by varying pH, varying contact time and varying concentration. The adsorption test is explained using a UV-VIS (UltraViolet-Visible Spectroscopy) instrument. The research results obtained were the optimum pH at pH 2 with an adsorption efficiency of 99% and an adsorption capacity of 148.52 mg/g. optimum contact time was 10 minutes with an adsorption efficiency of 95.4% and an adsorption capacity of 143.11 mg/g. The optimum concentration is 750 ppm with an adsorption efficiency of 87% and an adsorption capacity of 65.32 mg/g. The isotherm model plotted is the Langmuir isotherm with $R = 1$ and the Freundlich isotherm with $R = 1$.

Keywords: Activated carbon, palm fruit skin, indigozol dye, carbonization, activation, adsorption, and isotherm.

**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI KARBON AKTIF KULIT
BUAH AREN (*Arenga pinnata*) DENGAN AKTIVATOR H_3PO_4
SEBAGAI PENYERAP ZAT WARNA INDIGOZOL**

S K R I P S I

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana pada Program Studi Kimia



**FIQIH LOLA AMELIA
F1C119026**

**PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS JAMBI**

2023

HALAMAN PENGESAHAN

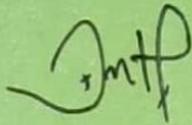
Skripsi dengan judul **PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI KARBON AKTIF KULIT BUAH AREN (*Arenga pinnata*) DENGAN AKTIVATOR H_3PO_4 SEBAGAI PENYERAP ZAT WARNA INDIGOZOL** yang disusun oleh **FIQIH LOLA AMELIA**, NIM: **F1C119026** telah dipertahankan di depan tim penguji pada tanggal 19 Desember 2023 dan dinyatakan **LULUS**

Susunan Tim Penguji:

Ketua : Dr. Intan Lestari, S.Si., M.Si.
Sekretaris : Dr. Diah Riski Gusti, S.Si., M.Si.
Anggota : 1. Dr. Lenny Marlinda, S.T., M.T.
2. Drs. Faizar Farid, M.Si.
3. Rahmi, S.Pd., M.Si.

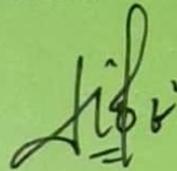
Disetujui :

Pembimbing Utama



Dr. Intan Lestari, S.Si., M.Si.
NIP. 197409221999032002

Pembimbing Pendamping



Dr. Diah Riski Gusti, S.Si., M.Si.
NIP. 197408102000122001

Diketahui :

Dekan

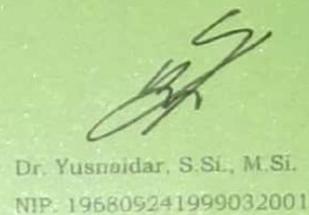
Fakultas Sains dan Teknologi



Dr. Jelri Marza, M.Sc., D.I.T.
NIP. 196806021993031004

Ketua Jurusan MIPA

Fakultas Sains dan Teknologi



Dr. Yusnaidar, S.Si., M.Si.
NIP. 196809241999032001

RIWAYAT HIDUP



Fiqih Lola Amelia lahir pada tanggal 1 Juli 2001 di Jambi. Penulis merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan Alamsyah dan Sahriyani. Penulis pertama kali masuk pendidikan formal di Golden Star Kota Jambi pada tahun 2004 dan lulus pada tahun 2006. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di TK Al-Aqhsa Kota Jambi pada tahun 2006 dan lulus pada tahun 2007. Pada tahun 2007 penulis melanjutkan pendidikan di SDN 92 Kota Jambi dan lulus pada tahun 2013. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 19 Kota Jambi dan tamat pada tahun tahun 2016. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan sekolah ke SMAN 10 Kota Jambi dan lulus pada tahun 2019. Selanjutnya penulis melanjutkan Pendidikan ke bangku perkuliahan di Universitas Jambi Fakultas Sains dan Teknologi Program Studi Kimia melalui jalur SNMPTN. Selama perkuliahan penulis juga aktif mengikuti organisasi prodi kimia yaitu HIMKI (Himpunan Mahasiswa Kimia). Ditahun 2022 penulis meraih Terbaik I Debat Bahasa Inggris tingkat Universitas Jambi dan juga terpilih menjadi Terbaik III Duta Kosmetika Aman Jambi 2022. Penulis juga melaksanakan magang tahun 2022 di Badan Pengawas Obat dan Makanan di Jambi selama 6 bulan. Kemudian penulis melakukan penelitian dengan judul “PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI KARBON AKTIF KULIT BUAH AREN (*Arenga pinnata*) DENGAN AKTIVATOR H_3PO_4 SEBAGAI PENYERAP ZAT WARNA INDIGOZOL”.

PRAKATA

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh

Penulis mengucapkan *Alhamdulillahirabbil'alamin* atas kehadiran Allah Subhanallahu Wata'ala yang telah memberikan rahmat dan rezeki berupa kesehatan serta kesempatan bagi penulis sehingga mampu menyelesaikan laporan magang dengan judul "**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI KARBON AKTIF KULIT BUAH AREN (*Arenga pinnata*) DENGAN AKTIVATOR H_3PO_4 SEBAGAI PENYERAP ZAT WARNA INDIGOZOL**". Skripsi ini dibuat sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana S1 pada Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi. Selama menyelesaikan skripsi ini, penulis mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak, untuk itu penulis mengucapkan terimakasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Drs. Jefri Marzal, M.Sc., D.I.T. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.
2. Bapak Ir. Bambang Hariyadi, M.Si., Ph.D. selaku Wakil Dekan Bidang Akademik, Kerjasama dan Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.
3. Ibu Dr. Yusnaidar, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.
4. Bapak Indra Lasmana Tarigan, S.Pd.,M.Sc. selaku ketua Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi.
5. Dr. Intan Lestari, S.Si., M. Si. dan Dr. Diah Riski Gusti, S.Si., M.Si., selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan banyak waktu maupun tenaga serta memberikan arahan, nasihat, saran, bantuan dan kerelaan hati dalam membimbing penulis selama melakukan penelitian sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
6. Tim Penguji Skripsi Dr. Lenny Marlinda, S.T., M.T, Drs. Faizar Farid, M.Si, dan Rahmi, S.Pd., M.Si. yang telah memberikan masukan dan kritikan untuk kemajuan dan perbaikan penulis sendiri.
7. Seluruh Dosen dan Staf Karyawan/i Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Jambi yang telah membimbing selama penulis kuliah.
8. Kedua orang tua penulis, Bapak Alam dan Ibu Ani serta orang tua angkat penulis, Bapak Aang Haryadi dan Ibu Astaty yang selalu memberikan dukungan dan doa sehat setiap harinya, sehingga penulis bisa selalu semangat dan termotivasi setiap harinya.

9. Saudari penulis Zaskiah Rizqy Adinda yang memberikan semangat dan doa.
10. Sahabat-sahabat Jangan Bebala Novia dan Yahdi. Sahabat Misifbew Widya, Icut, Lesta, Wiza, Bunga, Bila dan Memei. Sahabat Slebew saya Kila, Diah, Nani, Tia dan Selpa yang selalu memberikan warna dikehidupan perkuliahan penulis dan bantuan dari awal perkuliahan hingga saat ini. Serta teman-teman saya Dipa, Natasya, Aulia, Nanda, dan Olin.
11. Teman-teman seangkatan saya Chemist Duar 19 yang sudah memberikan semangat dan bantuan serta semua pihak yang senantiasa membantu dan tidak dapat penulis sebutkan satu persatu semoga Allah SWT membalas budi baik yang tulus dan ikhlas kepada semua pihak yang bersangkutan.

Penulis berharap semoga tulisan ini dapat berguna dan bermanfaat dilingkungan Universitas Jambi serta dapat bermanfaat bagi penulis sendiri dan generasi berikutnya. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun dari pembaca demi kesempurnaan laporan ini untuk pengembangan dan peningkatan mutu pendidikan dan ilmu pengetahuan dimasa yang akan datang.

Jambi, 19 Desember 2023

Penulis

Fiqih Lola Amelia

NIM. F1C119026

DAFTAR ISI

	Halaman
PRAKATA	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah	3
1.3 Hipotesis	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tanaman Aren (<i>Arenga pinnata</i>)	5
2.2 Karbon Aktif	8
2.3 Adsorpsi	10
2.4 Asam Fosfat (H_3PO_4)	11
2.5 Warna Indigozol	12
2.6 Studi Penelitian Terdahulu	14
2.7 Instrumentasi	15
III. METODE PENELITIAN	18
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	18
3.3 Metode Penelitian.....	18
3.4 Analisis Data	20
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	22
4.1 Preparasi Sampel Kulit Buah Aren (<i>Arenga pinnata</i>).....	22
4.2 Pembuatan Karbon Aktif Kulit Buah Aren (<i>Arenga pinnata</i>).....	22
4.3 Karakterisasi.....	25
4.4 Optimasi Adsorpsi.....	31
4.5 Penentuan Model Isotherm Adsorpsi.....	37
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	41

LAMPIRAN 47

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kandungan dalam Tanaman Aren	7
2. Sifat Kimia dan Fisika Zat Warna Indigozol	11
3. Bilangan Gelombang cm-1 Karbon Aktif Kulit Buah Aren	26
4. Hasil EDX Karbon Kulit Buah Aren.....	30
5. Parameter Model Isotherm Langmuir dan Freundlich.....	39

-

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Tanaman Aren (<i>Arenga pinnata</i>).....	5
2. Struktur Indigozol.....	12
3. Kulit Buah Aren (<i>Arenga pinnata</i>) Kering.....	22
4. Kulit Buah Aren (<i>Arenga pinnata</i>) yang telah dikarbonisasi.....	23
5. Aktivasi Kimia Karbon Kulit Buah Aren (<i>Arenga pinnata</i>).....	24
6. Spektrum FTIR Karbon Kulit Buah Aren (<i>Arenga pinnata</i>).....	25
7. Hasil Karakterisasi SEM EDX pada Perbesaran 2000x.....	28
8. Spektrum EDX Karbon Kulit Buah Aren (<i>Arenga pinnata</i>).....	29
9. Grafik Kurva Kalibrasi.....	32
10. Grafik Pengaruh pH Terhadap Efisiensi Adsorpsi Zat Warna Indigozol.....	33
11. Grafik Pengaruh pH Terhadap Kapasitas Adsorpsi Zat Warna Indigozol.....	34
12. Grafik Pengaruh Waktu Terhadap Efisiensi Adsorpsi Zat Warna Indigozol.....	35
13. Grafik Pengaruh Waktu Terhadap Kapasitas Adsorpsi Zat Warna Indigozol.....	36
14. Grafik Pengaruh Konsentrasi Terhadap Efisiensi Adsorpsi Zat Warna Indigozol.....	36
15. Grafik Pengaruh Konsentrasi Terhadap Kapasitas Adsorpsi Zat Warna Indigozol.....	37
16. Grafik Isotherm Langmuir.....	38
17. Grafik Isotherm Freundlich.....	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Alur Penelitian.....	47
Lampiran 2. Diagram Alir Penelitian	49
Lampiran 3. Perhitungan.....	54
Lampiran 4. Hasil Karakterisasi.....	59
Lampiran 5. Dokumentasi.....	61

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin bertambahnya waktu, permasalahan terkait pencemaran lingkungan semakin banyak. Salah satu contoh pencemaran lingkungan yaitu pencemaran air limbah (Atirza dan Soewondo, 2018). Pencemaran air limbah yang menjadi permasalahan lingkungan yang cukup dominan yaitu berasal dari aktivitas industri. Aktivitas industri yang kerap kali dijumpai adalah limbah tekstil. Faktor utama yang menyebabkan rendahnya kualitas air limbah dari industri tekstil yaitu keberadaan bahan pewarna yang tersedia dalam berbagai jenis senyawa kimia dengan konsentrasi yang bervariasi (Haryono *et al.*, 2018). Salah satu zat warna yang banyak digunakan pada industri tekstil yaitu indigozol. Diketahui bahwa zat warna indigozol ini cukup memberikan efek buruk bagi lingkungan. Hal ini dikarenakan zat warna indigozol bersifat toksik, dapat menyebabkan mutasi genetik, iritasi saluran pencernaan apabila telah tertelan dan dapat mengiritasi kulit. Limbah zat warna indigozol ini pada umumnya banyak dibuang diselokan, sungai atau perairan lainnya tanpa diolah terlebih dahulu (Fitriansyah *et al.*, 2021).

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut ada dengan mengurangi limbah zat warna indigozol yang ada pada perairan yaitu dengan cara adsorpsi. Adsorpsi merupakan proses akumulasi adsorbat pada permukaan adsorben yang disebabkan oleh gaya tarik antar molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Interaksi yang terjadi pada molekul adsorbat dengan permukaan adsorben kemungkinan diikuti dengan lebih dari satu interaksi, tergantung pada struktur kimia dari masing-masing komponen (Rahmi dan Sajidah, 2017). Proses adsorpsi banyak digunakan karena mempunyai beberapa keuntungan, yaitu lebih ekonomis dan tidak menimbulkan efek samping yang beracun serta mampu menghilangkan bahan-bahan organik. Metode adsorpsi dipilih dikarenakan memiliki konsep yang lebih sederhana dan ekonomis (Ganing *et al.*, 2023).

Jenis adsorben yang banyak digunakan untuk adsorpsi zat warna adalah karbon aktif. Karbon aktif banyak digunakan sebagai material adsorben karena memiliki porositas dan luas permukaan yang tinggi. Karbon aktif sendiri merupakan karbon yang dimurnikan dan diaktivasi dengan suatu zat atau dengan suhu tinggi sehingga dapat meningkatkan daya serap arang. Karbon aktif merupakan adsorben yang paling banyak digunakan (Darmawan, 2008). Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85-95% karbon yang dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada

suhu tinggi. Karbon aktif bisa mengadsorpsi gas dan zat-zat pengotor tertentu, tergantung pada luas area dan volume pori-pori serta luas permukaan karbon aktif. Adsorpsitivitas dari karbon aktif ditentukan oleh luas permukaan partikel yang juga dapat ditingkatkan apabila terhadap karbon tersebut dilakukan aktivasi dengan aktivator bahan kimia (aktivasi kimia) ataupun dengan dilakukan pemanasan pada temperatur yang tinggi (aktivitas fisika) (Esterlita dan Herlina, 2015).

Aktivasi cara kimia pada prinsipnya adalah perendaman arang dengan senyawa kimia. Proses aktivasi merupakan suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Dalam pembuatan karbon aktif dengan aktivasi kimia, aktivator yang baik digunakan untuk material lignoselulosa, seperti kulit buah, bahan-bahan kayu serta limbah pertanian, ialah aktivator yang bersifat asam, seperti Asam Fosfat (H_3PO_4), dibandingkan dengan aktivator yang bersifat basa. Hal ini dikarenakan aktivator asam mampu membuka pori karbon yang lebih besar dibandingkan dengan aktivator basa yang hanya mampu membuka pori karbon yang kecil sehingga daya serap dengan menggunakan aktivator asam lebih besar dengan menggunakan aktivator basa. Aktivator H_3PO_4 mempunyai komposisi senyawa oksida persentase yang lebih tinggi sehingga bisa memperluas permukaan penyerapan dibandingkan dari pada aktivator lain. Senyawa H_3PO_4 memiliki beberapa kelebihan yaitu mudah untuk diperoleh, tidak bersifat polutan atau dapat mencemari lingkungan dan dapat menghasilkan karbon aktif dengan daya serap yang baik dan rendemen yang besar (Sholikhah *et al.*, 2021).

Menurut Fitriansyah *et al* (2021) karbon aktif merupakan adsorben yang dapat dibuat dari semua bahan yang mengandung karbon dan memiliki kandungan selulosa tinggi. Bahan-bahan tersebut antara lain kayu, tempurung kelapa, tandan kelapa sawit, limbah pertanian seperti kulit buah kopi, sekam padi, dan lain sebagainya. Karbon aktif dari sabut pinang dengan aktivator H_3PO_4 berpotensi digunakan untuk adsorben pada limbah industri tekstil yang mengandung Indigozol. Jumlah karbon aktif 100 mg memiliki kapasitas atau kemampuan adsorpsi sebesar 19,8 mg/g. Hasil pada penelitian juga menunjukkan bahwa waktu kontak optimum adsorpsi zat warna indigozol dengan menggunakan karbon aktif dari sabut pinang terjadi pada waktu kontak 40 menit dengan hasil yang ditunjukkan sebesar 98,96 mg/g.

Kebutuhan Indonesia akan karbon aktif masih relatif tinggi disebabkan semakin meluasnya pemakaian karbon aktif, khususnya di sektor industri. Akan tetapi, pemenuhan akan kebutuhan karbon aktif masih dilakukan dengan cara mengimpor. Padahal, sumber daya alam (SDA) yang terdapat di Indonesia terutama yang mengandung karbon salah satu contohnya yaitu tanaman Aren (*Arenga pinnata*). Ketersediaan tanaman aren, khususnya di Provinsi Jambi juga cukup banyak. Salah satu daerah di Provinsi Jambi, yaitu Muaro Jambi memiliki banyak kebun tanaman aren yang dimanfaatkan untuk diambil buahnya, namun tidak dengan kulit buahnya. Hal ini dikarenakan masyarakat belum paham tentang bagaimana cara memanfaatkan kulit buah aren. Sehingga berakhir dengan kulit buah aren yang dibiarkan menumpuk saja.

Tanaman Aren (*Arenga pinnata*) adalah salah satu jenis tumbuhan palma yang memproduksi buah, nira dan pati atau tepung dalam batang. Akan tetapi, tidak semua bagian dari tanaman aren telah dimanfaatkan dengan baik. Salah satu contohnya yaitu kulit buah. Kulit buah aren banyak yang hanya berakhir menjadi limbah daripada diolah menjadi sesuatu yang bernilai jual. Setelah buah aren telah didapat, kulit buahnya hanya dibuang begitu saja tanpa dimanfaatkan kembali. Padahal kulit buah aren memiliki banyak manfaat. Kulit buah aren diketahui mengandung banyak bahan aktif lignin serta selulosa. Lignin dan selulosa merupakan bahan alam yang baik serta dapat dimanfaatkan sebagai alternatif adsorben (Zein *et al.*, 2014). Diketahui juga bahwa cangkang buah aren efektif menghilangkan logam berat beracun yaitu Cr(III), Cr(VI), Cd(II) dan Zn(II) dari larutan berair melalui mekanisme adsorpsi.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, dapat dibuat suatu penelitian dengan judul **“Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Buah Aren (*Arenga pinnata*) dengan Aktivator H_3PO_4 sebagai Penyerap Warna Indigozol”**. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi suatu karbon aktif dari kulit buah aren (*Arenga pinnata*) dengan bantuan aktivasi kimia dari asam fosfat (H_3PO_4) agar dapat digunakan untuk menyerap warna indigozol.

1.2 Identifikasi dan Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian diatas, adapun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Bagaimana karakteristik karbon aktif dari kulit buah Aren (*Arenga pinnata*) sebelum dan sesudah diaktivasi oleh H_3PO_4 2M menggunakan instrumentasi SEM-EDX dan FTIR?
2. Bagaimana pengaruh pH, waktu kontak, konsentrasi zat warna indigozol terhadap efisiensi adsorpsi dan kapasitas adsorpsi menggunakan karbon aktif dari kulit buah Aren (*Arenga pinnata*)?

3. Bagaimana cara menentukan model isoterm adsorpsi pada karbon aktif kulit buah aren dengan mengadsorpsi zat warna indigozol?

1.3 Hipotesis

Karbon aktif dari kulit buah aren yang diaktivasi dengan menggunakan asam fosfat dapat meningkatkan luas permukaan dari karbon dan memiliki kapasitas adsorpsi yang besar terhadap zat warna indigozol.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis karakteristik karbon aktif dari kulit buah Aren (*Arenga pinnata*) sebelum dan sesudah diaktivasi menggunakan instrumen alat SEM-EDX dan FTIR.
2. Menganalisis pengaruh pH, waktu kontak dan konsentrasi zat warna terhadap efisiensi adsorpsi dan kapasitas adsorpsi menggunakan karbon aktif dari kulit buah Aren (*Arenga pinnata*).
3. Untuk mengetahui model isoterm adsorpsi yang sesuai pada karbon aktif kulit buah aren terhadap zat warna indigozol.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dengan diperolehnya karbon aktif dari kulit buah Aren (*Arenga pinnata*) sehingga dapat diketahui kemampuan menyerap dari adsorben kulit aren terhadap zat warna indigozol.
2. Meningkatkan nilai guna limbah kulit buah Aren (*Arenga pinnata*).
3. Mengurangi pencemaran lingkungan terhadap limbah yang mengandung zat warna indigozol.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Aren (*Arenga pinnata*)

Tumbuhan memiliki keragaman yang besar terutama jenis yang ada di lingkungan sekitar, akan tetapi hanya sebagian saja yang dimanfaatkan masyarakat untuk memenuhi keperluan hidupnya dan juga menambah ekonomi masyarakat. Berbagai tumbuhan yang ada di lingkungan masih perlu diperkenalkan kepada khalayak ramai agar dapat menambah pengetahuan dan wawasan masyarakat luas, salah satunya adalah tumbuhan Aren (*Arenga pinnata* Merr). Tumbuhan aren merupakan tumbuhan yang berhabitus pohon tegak dengan warna hijau kecoklatan, tinggi mencapai 25 meter dan tidak memiliki banir. Pohon aren umumnya dijumpai tumbuh secara liar. Salah satu dari bagian tumbuhan aren yaitu batang, tidak memiliki duri, tidak memiliki cabang dan diameter batang aren dapat mencapai sekitar 65cm. Aren (*Arenga pinnata* Merr) termasuk suku Arecaceae (pinang-pinangan), merupakan tumbuhan berbiji tertutup (Angiospermae) yaitu biji buahnya terbungkus daging buah. Tumbuhan aren memiliki banyak manfaat seperti bagian batang dapat dijadikan sebagai kayu bakar, dijadikan saluran air dan lain sebagainya (Ridanti, 2022).



Gambar 1. Tanaman Aren (*Arenga pinnata*)

(Sumber : <https://tinyurl.com/bdzjexd>)

Pohon aren atau enau merupakan jenis tanaman palma yang tingginya dapat mencapai lebih dari 20 meter. Batang pokoknya kokoh dan di bagian atasnya diselimuti serabut berwarna hitam (dikenal dengan ijuk) dan memiliki daun seperti daun kelapa. Tanaman aren diketahui tidak hanya untuk dikonsumsi saja namun dapat dijadikan tanaman herbal yang mempunyai banyak manfaat bagi tubuh. Pohon aren atau enau (*Arenga pinnata* Merr) adalah pohon yang banyak dijumpai di daerah tropis dan merupakan salah satu sumber daya alam yang berkesinambungan karena tersebar luas. Pohon aren

sendiri berasal dari wilayah Asia tropis, menyebar mulai dari India timur disebelah barat, hingga Malaysia, Indonesia, dan Filipina bagian timur. Di Indonesia, aren tumbuh liar atau dibudidayakan. Biasanya pohon ini banyak tumbuh di lereng atau tebing sungai (Savitri, 2016). Pohon aren ini sebagian besar dapat digunakan sebagai bahan bangunan, keranjang, kerajinan tangan, atap rumah dan hasil lainnya seperti nira, gula merah, cuka aren, campuran pengembang roti, kolang kaling, sapu ijuk, tali ijuk, bahan anyaman, dan akar aren yang digunakan sebagai obat herbal (Nasution *et al.*, 2020). Aren adalah salah satu jenis tanaman palma yang hampir tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Aren (*Arenga pinnata*) merupakan salah satu sumber daya alam di daerah tropis. Distribusinya tersebar luas, sangat diperlukan dan mudah didapatkan untuk keperluan sehari-hari oleh masyarakat setempat sebagai sumber daya yang berkesinambungan. Ketersediaan sumber daya tersebut juga merata di seluruh Indonesia seperti Provinsi Jambi yang memiliki potensi aren yang cukup besar. Pohon aren memiliki potensi ekonomi yang tinggi karena hampir semua bagiannya dapat dimanfaatkan (Ruslan, 2018).

Aren mempunyai banyak nama daerah seperti bakjuk/bakjok (Aceh), pola/paula (Karo), agaton/bargat (Mandailing), anau/neluluk/nanggong (Jawa), aren/kawung (Sunda), hanau (Dayak, Kalimantan), Onau (Toraja, Sulawesi), mana/nawanawa (Ambon, Maluku). Pohon aren memiliki potensi ekonomi yang tinggi karena hampir semua bagiannya dapat memberikan keuntungan finansial. Buahnya dapat dibuat kolang-kaling yang digemari oleh masyarakat Indonesia pada umumnya. Daunnya dapat digunakan sebagai bahan kerajinan tangan dan bisa juga sebagai atap, sedangkan akarnya dapat dijadikan bahan obat-obatan. Dari batangnya dapat diperoleh ijuk dan lidi yang memiliki nilai ekonomis. Selain itu, batang usia muda dapat diambil sagunya, sedangkan pada usia tua dapat dipakai sebagai bahan furnitur (Fatah dan Sutejo, 2015).

Buah aren memiliki 2 atau 3 butir inti biji (endosperma) yang berwarna putih tersalut batok tipis yang keras. Buah aren yang diambil endospermnya tentunya akan menghasilkan limbah kulit aren. Semakin banyak buah aren yang dipanen maka akan semakin banyak juga limbah kulit aren yang dihasilkan. Limbah kulit aren ini terlihat menumpuk di lokasi panen atau pembuatan kolang-kaling yang ada di sentra pertanaman aren. Limbah kulit aren yang menumpuk tersebut akan berpotensi menghasilkan pencemaran lingkungan yang mengganggu pemukiman setempat baik pencemaran udara, air maupun tanah. Pencemaran ini apabila dibiarkan tentunya akan berpotensi menimbulkan berbagai permasalahan. Kulit buah aren mengandung senyawa kimia aktif lignin dan selulosa. Karakterisasi FTIR menunjukkan gugus fungsi utama yang terdapat

dalam kulit buah aren seperti karboksil, amida, dan hidroksil (Novita *et al.*, 2017). Menurut (Sanyang *et al.*, 2016), kadar kandungan kimia dari tanaman Aren dapat dilihat pada tabel 1 berikut :

Tabel 1. Kandungan Dalam Tanaman Aren

Komposisi	Daun Pohon Aren	Tandan Buah Aren	Ijuk	Kulit Buah Aren
Selulosa (%)	66.49	61.76	52.29	62.70
Hemiselulosa (%)	81.22	71.78	65.62	73.20
Lignin (%)	18.89	23.48	31.52	23.35
Abu (%)	3.05	3.38	4.03	3.40
Kadar Air (%)	2.74	2.70	7.40	2.71
Ekstrak (%)	2.46	2.24	4.39	-

2.2 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan bahan yang memiliki kandungan karbon yang sangat tinggi, berpori serta memiliki sifat adsorpsi. Karbon aktif terdiri dari 87%-97% karbon sisanya berupa hidrogen, oksigen, sulphur, dan nitrogen serta senyawa-senyawa lain yang terbentuk dari proses pembuatannya (Winata *et al.*, 2020). Bahan dasar untuk pembuatan karbon aktif ini berasal dari bahan yang banyak mengandung karbon, antara lain seperti kayu, batu bara, tempurung kelapa, rumput, sekam, dan biomassa lainnya. Proses pembuatan karbon aktif pada dasarnya terdiri dari karbonisasi dan aktivasi. Pada proses pembuatan karbon aktif, kondisi kedua proses selalu diperhatikan serta dijaga secara baik untuk memperoleh struktur pori dan kekuatan mekanik yang terbaik sesuai dengan pemanfaatan karbon aktif. Saat proses karbonisasi, suhu yang digunakan pada umumnya berkisar antara 400-500°C yang berguna untuk menghilangkan sebagian besar bahan yang mudah menguap dan pada suhu 800-1000°C yang berguna untuk meningkatkan porositas dan luas permukaan. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap proses aktivasi adalah waktu aktivasi, suhu aktivasi, ukuran partikel, rasio aktivator dan jenis aktivator yang dalam hal ini akan mempengaruhi daya serap arang aktif (Saptati dan Himma, 2018).

Berdasarkan ukuran pori, karbon aktif dapat dikelompokkan menjadi tiga tipe yaitu makropori, mesopori dan mikropori. Makropori adalah ukuran pori karbon aktif yang mempunyai diameter lebih besar dari 250 Å dengan volume sebanyak 0.8 mL/g dan luas permukaan sebesar 0,5-2 m²/g. Mesopori adalah pori-pori karbon aktif yang diameternya berkisar antara 50-250 Å dengan volume 0,1 mL/g dan luas permukaan sebesar 20-70 m²/g. Mikropori merupakan karbon aktif dengan ukuran diameter lebih kecil dari 50 Å dan terbagi atas tiga

bagian, yaitu makro makropori, meso mikropori dan mikro mikropori. Makro mikropori merupakan pori dengan diameter pori 25-50 Å yang sangat baik untuk menyerap pigmen tanaman dan sangat baik untuk adsorpsi molase. Meso mikropori adalah pori dengan diameter antara 15-25 Å yang sangat baik untuk menyerap zat warna terutama metilen biru. Mikro mikropori adalah pori dengan diameter lebih kecil dari 15 Å dan dapat digunakan dengan baik untuk penyerapan yodium dan fenol (Aisyah *et al.*, 2019).

Karbon aktif adalah karbon yang telah mengalami aktivasi baik secara kimia, fisika atau keduanya. Proses aktivasi bertujuan untuk menghasilkan struktur karbon dengan pori-porinya terbuka, luas permukaan karbon menjadi lebih besar dan kapasitas adsorpsinya menjadi lebih tinggi, yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga karbon mengalami perubahan sifat kimia maupun fisika. Penggunaan karbon dibutuhkan pada berbagai sektor, salah satunya digunakan untuk pemurnian warna, bau, dan rasa. Dapat pula digunakan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat, seperti di daerah Riau dan Kalimantan menggunakan karbon aktif gambut untuk menjernihkan air sungai lahan gambut (Winata *et al.*, 2020). Karbon aktif dapat dihasilkan dari bahan yang mengandung sumber karbon seperti selulosa, hemiselulosa, lignin, dan pektin. Pembuatan karbon aktif berbahan dasar limbah digunakan dengan cara aktivasi kimia. Kelebihan aktivasi kimia adalah kondisi suhu dan tekanan operasinya relatif lebih rendah. Selain itu, efek penggunaan bahan kimia mampu meningkatkan jumlah pori-pori dalam produk. Residu karbon yang dihasilkan aktivasi kimia juga lebih tinggi dari aktivasi fisika. Proses aktivasi menggunakan aktivator asam yaitu HCl, H₂SO₄ dan H₃PO₄. Penggunaan aktivator asam karena asam-asam tersebut merupakan *dehydrating agent* yang kuat sehingga dapat memperbaiki pengembangan pori di dalam struktur karbon (Pujioni dan Mulyati, 2017).

Karbon aktif merupakan karbon amorf dari pelat-pelat datar disusun oleh atom-atom C yang terikat secara kovalen dalam suatu kisi heksagonal datar dengan satu atom C pada setiap sudutnya yang luas permukaan berkisar antara 300m²/g hingga 3500m²/g dan ini berhubungan dengan struktur pori internal sehingga mempunyai sifat sebagai adsorben. Proses aktivasi merupakan suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi. Karbon aktif juga dapat didefinisikan sebagai senyawa karbon amorf yang memiliki porositas serta luas area yang tinggi, antara 500-2.000m²/g.

Karena strukturnya yang berpori inilah, karbon aktif banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti adsorben zat warna, adsorben logam berat, adsorben gas, suport katalis, elektroda superkapasitor dan lain-lain (Hartanto, 2010).

2.3 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa pengikatan molekul dalam fluida ke permukaan padatan. Molekul akan terakumulasi pada batas muka padatan fluida. Berdasarkan kuat interaksinya, adsorpsi dibagi menjadi adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Jika adsorbat dan permukaan adsorben berikatan hanya dengan gaya Van der Waals, maka yang terjadi adalah adsorpsi fisika atau Van der Waals. Molekul yang teradsorpsi terikat secara lemah dipermukaan, sehingga bersifat dapat balik (*reversibel*). Proses adsorpsi ini tidak pada tempat (*site*) yang spesifik dan molekul yang teradsorpsi menyelimuti seluruh permukaan. Panas adsorpsinya relatif rendah yaitu dibawah 20 kCal/mol. Adsorpsi kimia atau *chemisorption* terjadi jika molekul yang teradsorpsi bereaksi secara kimia dengan permukaan adsorben. Adsorpsi ini bersifat tidak dapat balik (*irreversibel*) yang disebabkan oleh besarnya potensial interaksi. Karena adanya ikatan kimia yang terputus dan terbentuk selama proses, maka besarnya panas adsorpsi mempunyai nilai yang hampir sama dengan panas reaksi kimia, yaitu sekitar 20 – 100 kCal/mol (Yustinah *et al.*, 2019).

Adsorpsi merupakan peristiwa menempelnya atom atau molekul suatu zat pada permukaan zat lain karena ketidakseimbangan gaya pada permukaan. Adsorpsi adalah proses akumulasi adsorbat pada permukaan adsorben yang terjadi karena adanya gaya tarik antar molekul adsorbat dan permukaan adsorben. Zat yang teradsorpsi disebut adsorbat dan zat pengadsorpsi disebut adsorben. Ada dua metode adsorpsi yaitu adsorpsi secara fisika (*physiosorption*) dan adsorpsi secara kimia (*chemisorption*). Pada proses adsorpsi secara fisika gaya yang mengikat adsorbat oleh adsorben adalah gaya-gaya Van der Waals. Adsorpsi merupakan suatu proses penyerapan oleh padatan tertentu terhadap suatu zat tertentu yang terjadi pada permukaan zat padat karena adanya gaya tarik atom atau gaya tarik molekul pada permukaan zat padat tanpa meresap ke dalamnya (Anggriani *et al.*, 2021).

Adsorpsi adalah suatu proses penyerapan atom, ion, atau molekul dalam larutan pada suatu permukaan zat penyerap. Proses ini terjadi pada permukaan dua fase yaitu antara fase gas-padat atau cair-padat. Zat yang diserap disebut adsorbat, sedangkan zat yang menyerap disebut adsorben. Adsorpsi juga merupakan suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida (cairan maupun gas) yang menempel pada suatu padatan (adsorben) dan akhirnya membentuk suatu film (lapisan tipis) pada permukaan padatan tersebut. Molekul fluida yang

berinteraksi dan melekat pada adsorben disebut *adsorbate* sedangkan yang tidak melekat disebut *adsorptive*. Penyerapan atau adsorpsi merupakan proses yang berkesetimbangan, sebab laju peristiwa adsorpsi juga disertai dengan terjadinya peristiwa desorpsi. Ketika laju adsorpsi sama dengan laju desorpsi sering disebut sebagai keadaan setimbang (Handrian *et al.*, 2017).

Adsorpsi merupakan gabungan dari dua fenomena adsorpsi, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Pada adsorpsi fisika atau adsorpsi Van der Waals yang terjadi merupakan hasil dari gaya intermolekuler antara padatan (adsorben) dengan zat terlarut (adsorbat). Sedangkan pada adsorpsi kimia atau proses adsorpsi aktif yang terjadi merupakan hasil dari interaksi kimia antara padatan dengan adsorbat. Pada adsorpsi fisika, panas adsorpsinya kecil dan ini terjadi pada daerah monolayer dan multilayer adsorbat. Adsorpsi fisika juga terjadi secara signifikan pada suhu kamar karena adsorpsi terjadi akibat gaya antar molekul. Sedangkan pada adsorpsi kimia, panas adsorpsinya besar dan hanya terjadi pada daerah monolayer adsorbat saja. Adsorpsi kimia ini dapat terjadi pada rentang berbagai suhu (Widi, 2018).

Proses adsorpsi dengan karbon aktif dapat digambarkan sebagai molekul yang meninggalkan zat pengencer yang terjadi pada permukaan zat padat melalui ikatan kimia maupun fisika. Molekul tersebut digunakan sebagai adsorbat dan zat padat disebut adsorben karbon aktif. Adsorpsi oleh karbon aktif akan melepaskan gas, cairan dan zat padat dari larutan dimana kecepatan reaksi dan kesempurnaan pelepasan tergantung pada pH, suhu, konsentrasi awal, ukuran molekul, berat molekul dan struktur molekul. Dalam proses adsorpsi, adsorben harus disesuaikan dengan sifat dan keadaan zat yang akan diadsorpsi. Adsorben yang paling banyak digunakan untuk menyerap zat-zat dalam larutan adalah karbon. Karbon yang digunakan perlu diaktivasi lagi agar pori-pori karbon aktif terbuka sehingga dapat memiliki daya serap yang besar terhadap zat-zat lainnya, baik dalam fase gas maupun fase cair. Selain itu, pemilihan jenis aktivator juga akan berpengaruh terhadap luas permukaan karbon aktif. Beberapa jenis senyawa kimia yang digunakan sebagai aktivator adalah $ZnCl_2$, KOH , H_2SO_4 , dan HCl (Ilmi *et al.*, 2017).

2.4 Asam Fosfat (H_3PO_4)

Asam Ortofosfat (H_3PO_4), biasa disebut asam fosfat, merupakan senyawa yang paling penting dan paling dikenal. Untuk skala besar, asam fosfat diperoleh melalui reaksi langsung batuan dasar fosfat dengan asam sulfat pekat. Jika asam fosfat ditambahkan gerusan apatit, akan diperoleh pupuk dengan kadar fosfat yang tinggi yang disebut TSP (*triple superfosfat*). Untuk memperoleh asam fosfat yang lebih murni, dilakukan dengan cara pemanasan fosfor secara langsung dan

hidrasi bertahap. Asam fosfat murni berbentuk padatan kristal yang tidak berwarna. Pada temperatur rendah, yakni 350-400°C, bersifat sangat stabil dan tidak mempunyai sifat pengoksidasi. Dan pada temperatur tinggi, asam fosfat murni cukup reaktif dengan terhadap logam yang mereduksinya. Asam fosfat merupakan suatu senyawa kimia dalam bentuk cairan yang memiliki sifat tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak mudah menguap. Komposisi utama yang terkandung dalam asam fosfat adalah fosfor yang dapat diperoleh dari batuan fosfat (Adawi *et al.*, 2021).

Senyawa H_3PO_4 adalah salah satu bahan kimia yang paling banyak digunakan dalam persiapan karbon aktif karena lebih ramah lingkungan dan lebih hemat biaya ekonominya, serta menghasilkan karbon aktif yang baik ditinjau dari luas permukaan maupun volume pori karbon aktif yang besar jika dibandingkan dengan aktivator lain. H_3PO_4 dapat mereduksi O-H dan C-O yang masih tersisa pada saat karbonisasi dengan maksimal dan membentuk luas permukaan yang besar (Perdani *et al.*, 2021). Asam fosfat atau biasa dikenal sebagai asam ortofosfat atau asam fosfat. Memiliki rumus molekul H_3PO_4 dengan berat molekul 98 g/mol dan memiliki titik didih 135°C. Pada bentuknya yang paling murni, asam fosfat ditemukan dalam keadaan kristal padat. Dalam pembuatan karbon aktif dengan aktivasi kimia, aktivator yang lebih baik digunakan untuk material lignoselulosa, seperti pelepah kelapa sawit, ialah aktivator seperti Asam Fosfat (H_3PO_4). Aktivasi sendiri merupakan perubahan secara fisik dimana luas permukaan dari karbon meningkat dengan tajam dikarenakan terjadinya penghilangan senyawa tar dan senyawa sisa-sisa pengarangan. Proses aktivasi sangat dipengaruhi oleh faktor lama perendaman, konsentrasi aktivator dan ukuran bahan. Aktivator H_3PO_4 memiliki proses perendaman yaitu sekitar 12-24 jam dan asam fosfat konsentrasi 15% ialah konsentrasi optimum untuk aktivasi arang aktif (Diharyo *et al.*, 2020).

2.5 Warna Indigozol

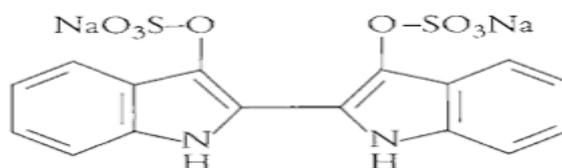
Pewarna tekstil memiliki 2 zat warna yaitu Zat Pewarna Alam (ZPA) dan Zat Pewarna Sintetis (ZPS). Pewarna alam adalah pewarna alami yang berasal dari tumbuhan atau hewan. Pewarna sintetis merupakan pewarna kimia atau buatan yang berasal dari batu bara atau minyak bumi yang berasal dari turunan hidrokarbon aromatik seperti naftalena, benzene dan antrasena. Salah satu pewarna sintetis yang paling banyak digunakan dalam industri tekstil terutama dalam industri tekstil batik adalah zat warna indigozol. Zat pewarna indigozol memiliki sifat mudah larut dalam air karena merupakan zat warna bejana yang telah direduksi terlebih dahulu agar memudahkan saat melakukan proses pewarnaan (Nabilasari dan Widihastuti, 2022).

Zat warna yang sering digunakan pada industri tekstil adalah zat warna sintetis. Pewarna sintetis lebih murah dan cukup mudah digunakan daripada pewarna alami, sehingga hampir semua industri tekstil lebih memilih zat warna ini dibandingkan zat warna alami. Pewarna yang sering digunakan dalam industri tekstil adalah zat warna reaktif yaitu indigozol. Indigozol merupakan pewarna warna cerah yang tidak mudah luntur. Senyawa ini bersifat toksik, karsinogenik, mengiritasi kulit dan mata, bahkan dapat menyebabkan kanker kulit. Zat warna indigozol tidak mudah terurai secara hayati di perairan dan diperlukan cara yang efektif untuk mengurangi atau menghilangkan limbah pewarnanya (Humaira dan Sanjaya, 2023).

Tabel 2. Sifat Kimia dan Fisika Zat Warna Indigozol

Sifat Kimia	Keterangan
Rumus Molekul	$C_{16}H_{10}N_2O_2$
Berat Molekul	262,27 g/mol
Titik Didih	Terdekomposisi
Titik Lebur	390°C-392°C
Bentuk	Bubuk Kristal Berwarna Gelap
Densitas	1.199 g/cm ³
Kelarutan	Tidak larut dalam air, mudah larut dalam kloroform

Molekul zat pewarna merupakan gabungan dari zat organik tidak jenuh dengan kromofor sebagai pembawa warna dan ausokrom sebagai pengikat warna dengan serat. Gugus kromofor merupakan gugus yang menyebabkan molekul menjadi bewarna. Indigozol merupakan zat warna bejana (*vat dyes*) yang telah dibuat leko ester sehingga dapat larut dalam air. Dalam kondisi larut air, zat warna indigozol masuk ke dalam serat kain melalui proses pencelupan dan coletan. Zat warna indigozol memiliki struktur molekul dua cincin benzene yang sangat stabil, sehingga keberadaannya dalam lingkungan perairan tidak mudah diuraikan secara biologis dan menambah kesulitan dalam pengolahannya. Penanganan zat warna hasil industri tekstil tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan metode yang efektif dan efisien, salah satunya menggunakan teknik adsorpsi (Lau *et al.*, 2018).



Gambar 2. Struktur Indigozol

Indigozol merupakan salah satu zat warna sintetik antraquinon dan memiliki ikatan molekul $-NH$ dan $C=C$ dengan rumus kimia $C_{16}H_{10}N_2O_2$. Zat warna indigozol ini digunakan sebagai pewarna pada industri pencelupan tekstil. Zat warna sintetik ini tidak mudah rusak oleh perlakuan kimia maupun fotolitik. Penggunaan zat warna indigozol dapat menimbulkan beberapa efek, seperti iritasi saluran pencernaan jika tertelan, menimbulkan sianosis jika terhirup dan iritasi pada kulit jika tersentuh oleh kulit bahkan dapat menyebabkan kanker kulit. Zat warna indigozol memiliki molekul 262,269 g/mol dengan titik lebur pada $390^{\circ}C$ dan panjang gelombang maksimum 520 nm. Zat ini tidak larut di dalam air, alkohol atau eter, namun larut dalam DMSO, kloroform, nitrobenzene atau asam sulfat pekat (Humaira dan Sanjaya, 2023).

2.6 Studi Penelitian Terdahulu

Berdasarkan penelitian Laksono *et al* (2022) mengenai Sintesis Adsorben dari Kulit Kolang-Kaling (*Arenga pinnata*) pada Limbah ditemukan bahwa kulit kolang-kaling merupakan bagian buah aren yang sudah tidak dipakai lagi pada waktu pengupasan buah kolang-kaling. Kulit ini memiliki sifat yang agak kuat dan tersusun atas lignin, selulosa dan hemiselulosa. Selain itu, kulit kolang kaling mengandung serat dan merupakan bahan yang memiliki pori-pori, maka berpotensi dijadikan karbon aktif. Dari hasil penelitian didapatkan penyerapan ion logam Pb dan Mn tertinggi sebesar 92,95% dan 22,69% dihasilkan oleh sampel M1P1 yaitu penggunaan rasio berat arang dan volume H_3PO_4 1:1%w/v. Analisis BET dilakukan terhadap sampel dengan hasil penyerapan tertinggi yaitu sampel M1P1. Hasil analisis BET terhadap sampel didapatkan luas permukaan arang aktif sebesar $11,272m^2/g$.

Menurut Oktavianty *et al* (2021) mengenai *Optimization of Activated Charcoal Synthesis from Sugar Palm Shells for the Adsorption of Iron Ions in Batik Waste* menemukan bahwa cangkang buah aren mengandung serat berpori yang memiliki potensi untuk digunakan sebagai diaktifkan karbon. Oleh karena itu, digunakan cangkang ini sebagai adsorben logam. Hasil penelitian menunjukkan adsorpsi yang optimal dari ion Fe yaitu dalam kondisi konsentrasi H_3PO_4 25% dengan $800^{\circ}C$ suhu kalsinasi dan 4 jam waktu kalsinasi yang menghasilkan 46,94% teradsorpsi Fe. Luas permukaan terbesar mencapai 45,087% pada suhu kalsinasi $800^{\circ}C$. Pada penelitian ini juga dapat diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi H_3PO_4 , maka semakin pekat aktivator yang digunakan.

Berdasarkan penelitian Murtono dan Iriany (2017) mengenai Pembuatan Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet dengan Aktivator H_3PO_4 dan Aplikasinya Sebagai Penjerap Pb(II) menemukan bahwa luas permukaan dan volume pori karbon aktif yang dihasilkan meningkat seiring meningkatnya konsentrasi

aktivator asam fosfat. Luas permukaan merupakan salah satu karakter fisik yang berhubungan langsung dengan kemampuan adsorpsi terhadap adsorbat yang akan dijerap. Peningkatan luas permukaan karbon aktif ini dikarenakan H_3PO_4 meresap ke dalam arang dan membuka permukaan yang mula-mula tertutup oleh komponen kimia, sehingga luas permukaan yang aktif bertambah besar. Luas permukaan masing-masing karbon aktif telah memenuhi luas permukaan minimal untuk menjadi adsorben yang efektif dan komersil. Penjerapan ion logam Pb(II) menggunakan karbon aktif dari cangkang buah karet paling besar adalah pada karbon aktif yang diaktivasi asam fosfat 20% yaitu sebesar 74%.

Menurut Shamsuddin *et al* (2016), yang telah melakukan penelitian tentang sintesis dan karakterisasi karbon aktif yang dihasilkan dari serat inti kenaf menggunakan aktivasi H_3PO_4 menunjukkan bahwa luas permukaan karbon setelah diaktivasi dengan H_3PO_4 menjadi jauh lebih baik. Hal ini jelas menunjukkan bahwa proses dengan bahan aktivasi kimia meningkatkan luas permukaan dan porositas. Ini bisa menjadi indikasi yang baik dari impregnasi H_3PO_4 sebagai katalis pengembangan porositas. Hal ini didukung oleh penelitian sebelumnya bahwa struktur pori mulai terbentuk di permukaan setelah aktivasi prekursor H_3PO_4 karena pelepasan tar dari kerangka ikatan silang. Hasil selanjutnya menunjukkan nilai sifat permukaan KFC (*Kenaf Fiber Carbon*) dan KFAC (*Kenaf Fiber Activated Carbon*). Ini menunjukkan bahwa KFAC memberikan sifat karbon yang lebih baik dengan luas permukaan BET (299,02 m^2/g), luas mikropori (229,20 m^2/g) dan volume mikropori (0,12 cm^3/g). KFC mencatat sifat permukaan yang lebih rendah dengan luas permukaan BET (13,68 m^2/g), luas mikropori (7,16 m^2/g) dan volume mikropori (0,004 cm^3/g).

Berdasarkan jurnal Sitohang *et al* (2022) mengenai Optimasi Proses Adsorpsi Zat Warna Indigozol di Air Limbah Artifisial Menggunakan *Response Surface Methodology* dengan Pendekatan *Desirability Function* menyebutkan bahwa aktivasi adsorben secara kimia menggunakan asam klorida (HCl) telah mampu digunakan dalam proses adsorpsi zat warna indigozol. Pengolahan hasil percobaan menunjukkan persentase penjerapan sebesar 97,59% pada konsentrasi umpan limbah 50 mg/L, massa karbon aktif 60 mg dan panjang gelombang zat warna 515 nm (indigozol merah). Hal ini menunjukkan bahwa massa karbon aktif dan konsentrasi umpan pada percobaan memberikan respons yang diprediksi sesuai hasil optimasi. Namun, nilai panjang gelombang zat warna optimasi berbeda dengan percobaan yang tidak mengindikasikan jenis zat warna yang dipakai pada percobaan. Pada hasil eksperimen, terdapat hubungan berbeda antara faktor kuantitatif dan respon yang dimodelkan untuk setiap tingkat faktor kualitatif.

Menurut Sari (2019) terhadap penelitiannya mengenai Adsorpsi Pewarna Sintetis Indigosol *Golden Yellow* IRK Menggunakan Karbon Aktif menyatakan bahwa pH optimum adsorpsi Indigosol *Golden Yellow* IRK adalah pH 4 dengan %removal sebesar 96,162%. Adsorpsi Indigosol *Golden Yellow* IRK dalam suasana larutan semakin asam (pH rendah) akan memberikan %removal yang besar karena adanya protonasi pada permukaan karbon aktif yang menyebabkan muatan permukaan menjadi lebih positif sehingga dapat terjadi gaya Tarik antara molekul zat warna dengan permukaan adsorben. Hubungan antara %removal terhadap lama waktu kontak pada penelitian ini menunjukkan hasil terbaik di menit ke 60 dengan %removal sebesar 79,227%. Indigosol *Golden Yellow* IRK yang diserap menunjukkan hasil optimum pada konsentrasi awal 60 ppm dengan %removal sebesar 84,324%. Pada konsentrasi awal larutan Indigosol *Golden Yellow* IRK dibawah 60 ppm memiliki %removal yang rendah dikarenakan adanya sisi aktif pada permukaan adsorben yang kosong, sedangkan pada konsentrasi diatas 60 ppm %removal juga mengalami penurunan disebabkan karena proses adsorpsi tidak dapat menyerap zat warna lagi seiring dengan bertambahnya konsentrasi zat warna.

2.7 Instrumentasi

Scanning Electron Microscope EDX (SEM-EDX)

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah mikroskop elektron yang digunakan untuk melihat permukaan citra suatu bahan, selain itu juga dapat memberikan informasi terkait komposisi kimia dalam suatu bahan, baik bahan konduktif maupun bahan non konduktif. *Scanning Electron Microscope* (SEM) adalah jenis mikroskop elektron yang menghasilkan gambar sampel dengan memindai permukaan dengan sinar elektron yang terfokus dengan perbesaran hingga skala tertentu. Elektron berinteraksi dengan atom dalam sampel, menghasilkan berbagai sinyal yang berisi informasi tentang topografi permukaan dan komposisi sampel. *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) digunakan untuk analisis elemental kimia bahan. Kemampuan karakterisasi sebagian besar disebabkan oleh prinsip dasar bahwa setiap elemen memiliki struktur atom yang unik yang memungkinkan serangkaian puncak unik pada spektrum emisi elektromagnetiknya (Widiyastuti, 2016).

Untuk mengetahui komposisi kimia pada permukaan sampel, sebagian besar alat SEM dilengkapi dengan kemampuan *Energy Dispersive X-Ray* (EDX). *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) merupakan 2 perangkat analisis yang digabungkan menjadi suatu panel analisis sehingga mempermudah proses analisis dan lebih efisien. Pada dasarnya, SEM-EDX merupakan pengembangan dari SEM. SEM-EDX dapat memberikan informasi

tentang topografi, morfologi, ataupun juga komposisi dari sampel yang akan dianalisis. Analisis SEM-EDX dilakukan untuk memperoleh gambaran permukaan atau fitur material dengan resolusi yang tinggi hingga dapat memperoleh tampilan permukaan sampel, kemudian dikomputasikan dengan software untuk menganalisis komponen materialnya, baik secara kuantitatif maupun kualitatif (Sujarwata dan Astuti, 2018).

Fourier Transform Infrared (FTIR)

Metode *Fourier Transform Infrared* (FTIR) yang merupakan metode bebas reagen, tanpa penggunaan radioaktif dan dapat mengukur kadar hormon secara kualitatif dan kuantitatif. Prinsip kerja FTIR adalah mengenali gugus fungsi suatu senyawa dari absorbansi inframerah yang dilakukan terhadap senyawa tersebut. Pola absorbansi yang diserap oleh tiap-tiap senyawa berbeda-beda, sehingga senyawa-senyawa dapat dibedakan dan dikuantifikasikan. Analisis FTIR merupakan teknik analisis yang cepat dan nondestruktif, sensitif dan memerlukan preparasi sampel yang sederhana, serta penggunaan reagen kimia dan pelarut dalam jumlah sedikit (Maryam *et al.*, 2019).

Spektrofotometer *Fourier Transform Infrared* (FTIR) adalah salah satu instrument yang dapat digunakan untuk identifikasi mineral secara kualitatif dan mulai dikembangkan untuk identifikasi secara kuantitatif. Analisis pada Spektroskopi FTIR bergantung pada getaran molekul sehingga dapat digunakan untuk identifikasi mineral, karena mineral memiliki karakteristik spektra penyerapan dalam *midrange* pada inframerah ($4000-400\text{ cm}^{-1}$). Spektroskopi FTIR memiliki kemampuan yang cepat dalam menganalisis dan hanya dibutuhkan preparasi sampel yang sederhana. Spektrofotometer FTIR memiliki prinsip kerja yaitu melihat adanya interaksi energi berupa sinar infrared dengan materi berupa senyawa kompleks yang mengakibatkan molekul-molekul yang dihasilkan menjadi bervibrasi (Eliyana dan Winata, 2017).

Spektrofotometer UV-VIS

Spektrofotometer UV-Vis merupakan spektrofotometer yang menggabungkan jenis spektrofotometer Vis (*Visible*) dan spektrofotometer UV (*Ultraviolet*). Spektrofotometer jenis ini terdapat dua jenis sumber cahaya yang berbeda, yaitu lampus tungsten dan lampu deuterium. Spektrofotometer UV-VIS adalah salah satu metode instrumen yang paling sering diterapkan dalam analisis kimia untuk mendeteksi senyawa (padat atau cair) berdasarkan absorbansi foton. Agar sampel dapat menyerap foton pada daerah UV-VIS (panjang gelombang foton 200 nm – 700 nm), biasanya sampel harus diperlakukan atau derivatisasi,

misalnya penambahan reagen dalam pembentukan garam kompleks dan lain sebagainya. Unsur diidentifikasi melalui senyawa kompleksnya (Irawan, 2019).

Spektrofotometer UV-Vis merupakan salah satu teknik analisa spektroskopi yang memakai sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat (190-380) dan sinar tampak (380-780) dengan memakai instrument spektrofotometer. Spektrofotometri UV-Vis melibatkan energi elektronik yang cukup besar pada molekul yang dianalisis, sehingga spektrofotometri UV-Vis lebih banyak dipakai untuk analisis kuantitatif ketimbang kualitatif. Untuk analisis kualitatif, hal-hal yang dapat diamati yaitu pengamatan panjang gelombang maksimum dari senyawa yang diuji. Jika terjadi perubahan apakah perubahan tersebut dari hipsokromik ke batokromik atau sebaliknya yang kemudian dibandingkan dengan standar. Hal lain juga dapat dijadikan parameter dalam analisis kualitatif dengan spektrofotometer UV-Vis yaitu efek pH, intensitas dan penggunaan pelarut yang dapat dibandingkan dengan data yang sudah ada (Noviyanto, 2020).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan dari bulan November 2022-September 2023. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Instrumentasi dan Tugas Akhir, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kulit buah Aren (*Arenga pinnata*), H_3PO_4 , akuades, zat warna indigozol.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah oven, grinder, peralatan gelas kimia, kertas saring, ayakan, *magnetic stirrer*, *hot plate*, *furnace*, *Fourier Transform Infra Red (FTIR)*, *Scanning Electron Microscopy (SEM) EDX*, dan UV-Vis.

3.3 Metode Penelitian

A. Preparasi Sampel

Sampel yang akan diteliti adalah bagian kulit dari tanaman Aren (*Arenga pinnata*) yang diperoleh dan dicuci hingga bersih dari kotorannya, kemudian kulit buah Aren dipotong kecil-kecil. Selanjutnya, kulit buah Aren dijemur di bawah sinar matahari langsung selama 2-3 hari.

B. Tahap Karbonisasi

Hasil kulit buah aren yang telah dikeringkan kemudian dilakukan karbonisasi pada suhu $500^{\circ}C$ selama 3 jam. Lalu digerus dan diayak menggunakan ayakan 80 Mesh. Ayakan di gunakan ukuran 80 mesh karena apabila digunakan ukuran diatasnya maka akan mengakibatkan arang akan terikut dengan aquades saat proses pencucian (Erawati dan Fernando., 2018).

C. Tahap Aktivasi Kimia

Aktivasi arang dilakukan dengan cara penambahan pelarut H_3PO_4 2M pada arang yang dihasilkan, kemudian diaduk dan direndam selama 24 jam. Selanjutnya saring, dan cuci hingga pH netral. Lalu masukkan ke dalam *furnace* dengan suhu $500^{\circ}C$ selama 3 jam (Laksono et al., 2022). Selanjutnya, karbon aktif dikarakterisasi menggunakan FTIR dan SEM-EDX.

C. Karakterisasi Karbon Aktif

Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Pada penelitian ini dilakukan uji *Fourier Transform Infra Red (FTIR)* pada adsorben. Uji FTIR pada adsorben ini diperlukan untuk mengetahui

gugus fungsi yang terkandung dalam adsorben. Analisis ini dilakukan dengan mempersiapkan terlebih dahulu pelet KBr sebagai background analisa yaitu dengan menimbang serbuk KBr halus (0,1 gram) dan adsorben dari kulit buah aren (1% dari berat KBr). Selanjutnya serbuk KBr juga dicampurkan dengan adsorben kulit buah aren dalam mortal. Kemudian digerus sampai halus dan homogen. Kemudian sampel diletakkan ke plat sampel dan diuji menggunakan alat *Fourier Transform Infra Red* (FT-IR) pada interval bilangan gelombang 400-4000 cm^{-1}

Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)

Pada penelitian ini, dilakukan uji SEM untuk mengetahui bentuk morfologi permukaan dan pori adsorben. Analisis SEM-EDS dilakukan dengan membersihkan *specimen holder* hingga bersih lalu dikeringkan dengan vakum (sampel harus bebas dari H_2O), kemudian menempatkan adsorben arang aktif kulit buah aren pada *specimen holder* dan dimasukkan ke dalam *specimen chamber*. Sampel dapat langsung diletakkan kedalam alat SEM-EDS.

D. Optimasi Adsorpsi

Pembuatan Larutan Induk Zat Warna 2000 ppm

Diambil zat warna Indigozol 2 gram dengan 2g/1000mL aquades dalam labu takar 1000 mL sampai tanda batas.

Pembuatan Larutan Standar 100 ppm

Sebanyak 5 mL larutan induk zat warna indigozol dimasukkan kedalam labu takar 100 mL, diencerkan dengan akuades hingga tanda batas dan dihomogenkan.

Pengujian Panjang Gelombang Serapan Maksimal Zat Warna Indigozol

Panjang gelombang maksimum ditentukan dengan mengukur larutan 100 ppm. Diukur adsorbansinya dengan rentang panjang gelombang 400-800 nm dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Panjang gelombang dengan nilai absorbansi terbesar merupakan panjang gelombang maksimum. Panjang gelombang yang diperoleh digunakan untuk pengukuran berikutnya.

Penentuan Kurva Kalibrasi Standar

Dibuat serangkaian larutan standar zat warna Indigozol dengan konsentrasi 5, 10, 15, 20 dan 25 ppm masing-masing sebanyak 20 mL. diukur adsorbansinya pada panjang gelombang optimum kemudian dibuat kurva kalibrasi zat warna Indigozol.

Pengujian Pengaruh Variasi pH

Dimasukkan masing-masing 10 mL zat warna indigozol sebanyak 1500 ppm dan 0,1 gram karbon yang diaktivasi dengan H_3PO_4 dengan variasi pH 2, 3,

4, 5, dan 6 dalam *beaker glass*. Diaduk 5 campuran tersebut menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan pengadukan 100 rpm dan selama durasi waktu 30 menit. Disaring sampel yang telah diaduk menggunakan kertas saring. Filtrat yang diperoleh dilakukan pengukuran konsentrasi pewarna indigozol dalam larutan (Nika *et al.*, 2022).

Pengujian Pengaruh Variasi Waktu Kontak

Dimasukkan masing-masing 10 ml larutan standard indigozol dengan konsentrasi 1500 ppm dan 0,1 gram karbon aktif ke dalam 6 *beaker glass*. Diaduk 1 campuran tersebut menggunakan *shaker* dengan kecepatan pengadukan 100 rpm dan waktu yang berbeda yaitu selama 1, 5, 10, 15, 20 dan 30 menit. Disaring sampel yang telah diaduk menggunakan kertas saring. Filtrat yang diperoleh dilakukan pengukuran konsentrasi pewarna indigozol dalam larutan.

Pengujian Pengaruh Variasi Konsentrasi

Dimasukkan masing-masing 10 mL larutan zat warna indigozol dan 0,1 gram karbon aktif yang diaktivasi dengan konsentrasi yang bervariasi yakni 250, 500, 750, 1000, dan 1500 ppm ke dalam *beaker glass*. Diaduk campuran tersebut menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan pengadukan 100 rpm dan selama durasi waktu 15 menit. Disaring sampel yang telah diaduk menggunakan kertas saring. Filtrat yang diperoleh dilakukan pengukuran konsentrasi pewarna naftol dalam larutan. Ditentukan konsentrasi zat warna indigozol optimum dan dianalisis dengan UV-Vis.

3.4 Analisis Data

Penentuan Persentase Rendemen Ekstrak

Penentuan persentase rendemen ekstrak dilakukan melalui perhitungan sebagai berikut :

$$\% \text{Rendemen Ekstrak} = \frac{\text{berat ekstrak serbuk kulit aren (gr)}}{\text{berat sampel awal (gr)}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Efisiensi Adsorpsi

Penentuan efisiensi penyerapan bertujuan untuk mengetahui kemampuan karbon aktif kulit buah aren sebagai adsorben terhadap beberapa zat warna. Efisiensi penyerapan dapat dihitung berdasarkan persamaan dibawah ini :

$$\text{RE}\% = \frac{(\text{Co}-\text{Ce})}{\text{Co}} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Dimana :

RE% : Efisiensi Adsorpsi

Co-Ce : Konsentrasi adsorbat pada keadaan awal dan pada saat setimbang (ppm)

Kapasitas Adsorpsi

Penentuan kapasitas adsorpsi dilakukan pada penentuan terhadap karbon yang telah teraktivasi. Kapasitas adsorpsi dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

Q : Efisiensi Adsorpsi

Co-Ce : Konsentrasi adsorbat pada keadaan awal dan pada saat setimbang (ppm)

V : Volume larutan (L)

M : Massa adsorben yang digunakan (g)

Metode Adsorpsi Isoterm Langmuir

Untuk menghitung persamaan isoterm Langmuir dapat dihitung dengan persamaan 4 berikut, Dengan membuat kurva 1/Ce terhadap 1/Qe akan diperoleh persamaan linear dengan intersep 1/k dan kemiringan (1/Qm), sehingga nilai KL dan Qm dapat dihitung, dari besar kecilnya KL dan Qm menunjukkan daya adsorpsi (Fatimah *et al.*, 2021).

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{K_L Q_m} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{Q_m} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

Ce : Konsentrasi equilibrium (mg/L)

Qe : Nilai adsorpsi loagm saat equilibrium (mg/g)

Qm : Jumlah adsorbat yang memenuhi lapisan monolayer (mg/g)

KL : Konstanta isoterm Langmuir

Metode Adsorpsi Isoterm Freundlich

Model isoterm Freundlich dapat dihitung dengan persamaan 5 berikut

$$\text{Log } Q_e = \text{Log } K_f + (1/n)\text{Log } C_e \dots\dots\dots (5)$$

dimana qe adalah jumlah fosfat yang terjerap per berat massa adsorben (mg/g), Ce adalah konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/L), Kf adalah konstanta adsorpsi pada isoterm Freundlich dan 1/n adalah konstanta indikatif dari instensitas adsorpsi (Fatimah *et al.*, 2021).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Preparasi Sampel Kulit Buah Aren (*Arenga pinnata*)

Pada penelitian ini, adsorben yang digunakan yaitu bagian kulit dari buah Aren (*Arenga pinnata*). Buah Aren (*Arenga pinnata*) yang diperoleh berasal dari kebun buah Aren di daerah Muaro Jambi. Buah Aren yang telah diambil dari pohonnya kemudian dipisahkan dari tandan. Setelah itu, buah Aren dikupas dan dipisahkan dengan kulitnya, kulit buah aren ini selanjutnya direbus untuk mengurangi kadar getah pada kulit. Kulit buah Aren yang telah direbus selanjutnya dikeringkan yang bertujuan untuk mengurangi kadar air pada bahan baku.



Gambar 3. Kulit Buah Aren (*Arenga pinnata*) kering

4.2 Pembuatan Karbon Aktif Kulit Buah Aren (*Arenga pinnata*)

Tahap Karbonisasi

Tahapan karbonisasi atau pirolisis ini merupakan proses dekomposisi kimia dengan menggunakan pemanasan dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas. Prinsip karbonisasi adalah proses pengurangan tidak sempurna dari bahan organik dengan jumlah oksigen yang sangat terbatas sehingga menghasilkan karbon (Jaya dan Khair, 2020). Tujuan dilakukannya proses karbonisasi adalah untuk menghilangkan senyawa-senyawa yang mudah menguap dalam unsur- unsur non karbon, hidrogen dan oksigen. Selama proses ini, unsur-unsur selain karbon seperti hidrogen dan oksigen dibebaskan dalam bentuk gas. Pada proses karbonisasi menyebabkan terjadinya penguraian senyawa organik yang menyusun struktur kulit buah aren seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin menjadi struktur karbon berupa grafit heksagonal. Proses karbonisasi akan menghasilkan 3 komponen utama, yaitu karbon, tar dan gas CO₂, CO, CH₄, H₂, dan lain-lain). Suhu diatas 170°C akan menghasilkan CO,

CO₂ dan asam asetat. Pada suhu 275°C dekomposisi menghasilkan tar, methanol dan hasil samping lain. Pada suhu pemanasan sampai 400°C terjadi penghilangan air, penguapan selulosa dan penguapan lignin. Untuk proses pemurnian karbon terjadi pada suhu 500°C-800°C.. Kulit buah Aren kering selanjutnya dikarbonisasi pada suhu 500°C selama 3 jam (Hartanto dan Ratnawati, 2016).

Karbon yang dihasilkan setelah proses karbonisasi ini kemudian ditumbuk menggunakan porselen dan diayak menggunakan saringan 80 mesh. Tujuan ditumbuk serta diayak ini adalah untuk mendapatkan hasil ukuran yang spesifik. Apabila ukuran karbon spesifik, maka diharapkan semua bagian atau situs dari karbon memiliki efek yang sama pada saat aktivasi. Pada tahap ini juga struktur pori-pori mulai terbentuk dan mulai terbuka akan tetapi pori-pori tersebut masih sangat sempit. Pada material karbon, jumlah hidrogen yang diserap berbanding lurus terhadap luas permukaan dan volume pori, namun penyerapan hidrogen hanya terbatas pada kapasitas maksimum 6% berat. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan aktivasi secara kimia pada karbon untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi hidrogen pada pori karbon.



Gambar 4. Kulit Buah Aren (*Arenga pinnata*) yang telah dikarbonisasi

Tahap Aktivasi Kimia

Aktivasi secara kimia merupakan bagian dalam proses pembuatan karbon aktif yang bertujuan untuk membuka, menambah atau mengembangkan volume pori dan memperbesar diameter pori yang telah terbentuk pada proses karbonisasi. Proses aktivasi merupakan suatu perlakuan terhadap karbon yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga karbon mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi atau juga bias

dikatakan bahwa proses aktivasi ini adalah proses pengubahan karbon dari daya serap rendah menjadi daya serap tinggi (Anggriani *et al.*, 2020). Dalam proses aktivasi kimia perlu digunakan zat yang dapat menghidrasi karbon pada suhu tinggi, contohnya seperti KOH, $ZnCl_2$ dan H_3PO_4 . Pada penelitian ini, aktivator asam fosfat (H_3PO_4) dipilih karena senyawa ini memiliki stabilitas termal dan karakter kovalen yang tinggi sehingga diharapkan dapat meningkatkan daya serap dan memaksimalkan potensi karbon aktif sebagai adsorben (Sagita *et al.*, 2016). Asam fosfat juga lebih ramah terhadap lingkungan, memerlukan energy rendah dalam proses aktivasi dan lebih ekonomis. Aktivasi menggunakan asam fosfat telah diterapkan pada berbagai bahan yang mengandung lignoselulosa seperti kulit buah (Yorgun dan Yildiz, 2017).

Proses aktivasi cara kimia pada prinsipnya adalah perendaman karbon dengan senyawa kimia. Pada penelitian ini dilakukan dengan menambahkan pelarut H_3PO_4 2M pada karbon yang telah dihasilkan, lalu diaduk dan didiamkan selama 24 jam. Proses perendaman menggunakan asam fosfat ini menunjukkan bahwa selama proses aktivasi, pelat-pelat karbon kristalit yang tidak teratur mengalami pergeseran sehingga permukaan kristalit menjadi terbuka terhadap pengaktif yang dapat mendorong residu-residu hidrokarbon (Sandi dan Astuti, 2017). Karbon yang direndam tadi kemudian disaring dan dicuci hingga pH netral menggunakan akuades. Kemudian, karbon yang telah netral tadi dimasukkan kedalam furnace dengan suhu $500^{\circ}C$ selama 3 jam yang bertujuan untuk memperoleh karbon aktif dalam keadaan kering. Pada proses aktivasi, terdapat factor-faktor yang berpengaruh terhadap prosesnya yaitu waktu aktivasi, suhu aktivasi, ukuran partikel, rasio aktivator dan jenis aktivator yang dalam hal ini akan mempengaruhi daya serap karbon aktif.

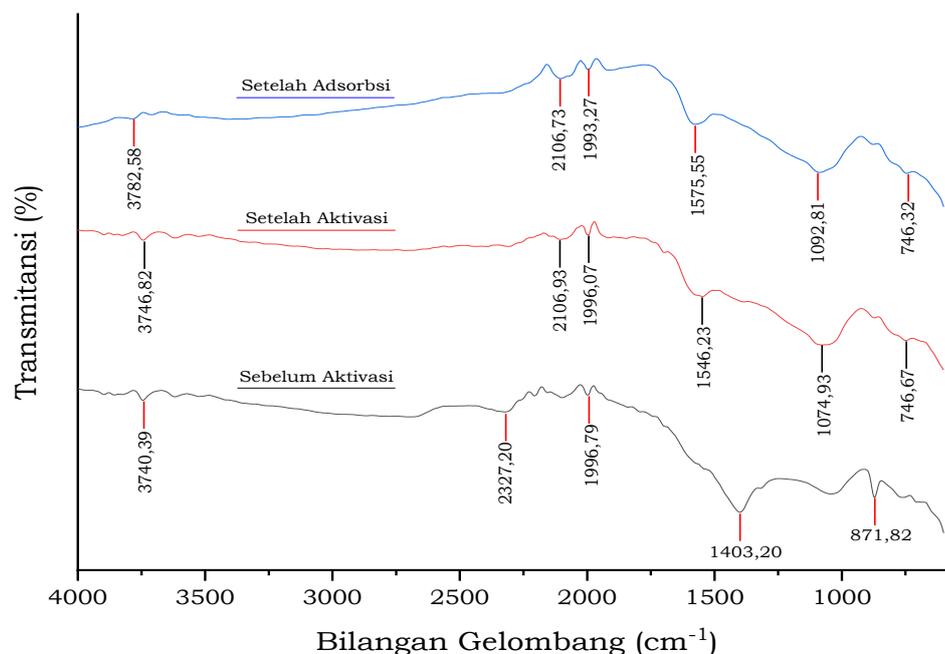


Gambar 5. Aktivasi kimia karbon aktif kulit buah Aren (*Arenga pinnata*)

4.3 Karakterisasi

Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Spektrum FTIR menunjukkan beberapa gugus fungsional dan perubahan gugus fungsi pada bilangan gelombang tertentu dengan menghasilkan puncak-puncak (*peak*) gelombang dari bahan baku atau senyawa yang diujikan. Pola spektrum yang dihasilkan merupakan hasil serapan vibrasi dari seluruh konstituen yang ada dalam sel karbon. Sifat adsorpsi karbon tidak hanya ditentukan oleh ukuran pori-pori pada permukaan karbon aktif tersebut, tetapi dipengaruhi oleh komposisi kimia dari karbon aktif yang berupa gugus-gugus fungsi. Karakterisasi dengan menggunakan FTIR dilakukan pada bilangan gelombang 4000-500 cm^{-1} terhadap tiga sampel yaitu karbon kulit buah aren sebelum aktivasi, karbon setelah aktivasi dan karbon setelah adsorpsi.



Gambar 6. Spektrum FTIR karbon kulit buah aren

Spektra karbon sedikit berbeda antara karbon belum diaktivasi, karbon yang telah diaktivasi dan karbon setelah adsorpsi. Adanya perubahan bentuk spektra, pergeseran, pengurangan intensitas serta penambahan puncak baru setelah kemungkinan disebabkan karena adanya proses karbonisasi, aktivasi dan adsorpsi sehingga dapat menyebabkan dehidrasi, dekomposisi gugus kompleks menjadi gugus yang lebih sederhana (Khan *et al*, 2018).

Dapat dilihat pada karbon belum diaktivasi terdapat puncak yang lebar pada bilangan gelombang 3740,39 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus fungsi regang OH dari gugus hidrosil dengan ikatan hidrogen. Gugus OH muncul pada

sampel karbon yang telah diaktivasi pada bilangan gelombang 3746,82 cm^{-1} . Dan pada gambar karbon setelah adsorpsi diketahui bahwa terdapat bilangan gelombang 3782,58 cm^{-1} yang juga menunjukkan adanya gugus OH. Hal ini sesuai dengan penelitian Efiyanti *et al* (2020) bahwa gugus fungsi OH berkisar antara 3200-3700 cm^{-1} . Gugus fungsi C=O muncul pada bilangan gelombang 1996,79 cm^{-1} ; 1996,07 cm^{-1} dan 1993,27 cm^{-1} . Hasil ini sesuai dengan penelitian Rattanapan *et al* (2017) yang menemukan bahwa gugus C=O muncul pada bilangan gelombang sekitar 1700-1900 cm^{-1} . Gugus C=O pada umumnya merupakan gambaran vibrasi regang dari asam karboksilat, keton ataupun grup lakton (Belhamdi *et al*, 2019). Gugus fungsi karbon kulit buah aren sebelum aktivasi, setelah aktivasi dan setelah adsorpsi dirangkum pada Tabel berikut.

Tabel 3. Bilangan gelombang cm^{-1} karbon kulit buah Aren (*Arenga pinnata*)

Sampel	Bilangan Gelombang (cm^{-1})				
Karbon					
Sebelum	871,83		1403,20	1996,79	3740,39
Aktivasi					
Setelah	746,67	1074,92	1546,23	1996,07	3746,82
Aktivasi					
Setelah	746,32	1092,81	1575,55	1993,27	3782,58
Adsorpsi					
Gugus	C-H	C-O	C=C	C=O	OH
Fungsi			(Cincin Aromatik)		(Alkohol)
Referensi	Hasanah <i>et al</i> (2022), Mendame <i>et al</i> (2021)	Doke dan Khan (2017)	Tazibet <i>et al</i> (2016)	Rattanapan <i>et al</i> (2017)	Efiyanti, <i>et al</i> (2020)

Gugus fungsi C=C yang menggambarkan ikatan cincin aromatik muncul pada masing-masing bilangan gelombang 1575,55 cm^{-1} ; 1403,20 cm^{-1} ; dan 1546,23 cm^{-1} . Bilangan gelombang tersebut sesuai dengan hasil penelitian Tazibet *et al* (2016) yang mengatakan bahwa gugus C=C cincin aromatik ditunjukkan pada bilangan gelombang 1400-1583 cm^{-1} . Untuk bilangan gelombang 1092,81 cm^{-1} dan 1076,71 cm^{-1} diketahui menunjukkan gugus fungsi C-O regang. Hal ini juga sesuai dengan penelitian Doke dan Khan (2017) yang menemukan bahwa gugus fungsi C-O dari ester dan eter muncul pada bilangan

gelombang 1060-1319 cm^{-1} . Pada bilangan gelombang 1074,93 cm^{-1} yang merupakan vibrasi P-O pada gugus P-OH. Hasil ini didukung oleh hasil penelitian Zulichatun *et al* (2018) yang menyatakan bahwa adanya serapan peak 1031,92 cm^{-1} yang merupakan vibrasi P-O. Adanya gugus P-OH dan P-O diduga akibat dari aktivasi menggunakan asam fosfat. Gugus fungsi C-H aromatik terdapat pada bilangan gelombang 871,83 cm^{-1} ; 746,67 cm^{-1} dan 746,32 cm^{-1} pada bilangan gelombang sebelum aktivasi, setelah aktivasi dan setelah adsorpsi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Hasanah *et al* (2022) yang menunjukkan bahwa gugus fungsi C-H aromatik terdapat pada bilangan gelombang 829,39-879,54 cm^{-1} . Dan pada penelitian Mendame *et al* (2021) yang menyatakan bahwa gugus fungsi C-H terdapat pada bilangan gelombang 750,02 cm^{-1} .

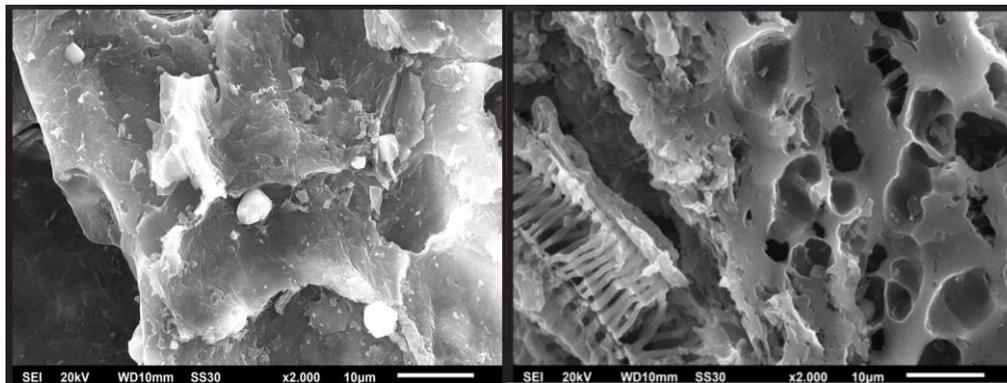
Menurut Hijrah *et al* (2021) karbon aktif sebelum aktivasi dan setelah aktivasi mengalami pergeseran bilangan gelombang dan pengurangan intensitas. Hal ini disebabkan karena penggunaan zat aktivator yang dapat menyusun kembali struktur karbon. Karbon aktif kulit singkong dengan aktivator asam fosfat (H_3PO_4) memiliki pita serapan kuat pada gugus C=C yaitu pada bilangan gelombang 1552,77-1635,42 cm^{-1} yang menunjukkan adanya senyawa aromatik. Senyawa tersebut merupakan penyusun struktur heksagonal karbon aktif. Terdapat gugus C-O stretching pada bilangan gelombang 1126,43 cm^{-1} . Selain itu, pada karbon aktif kulit singkong muncul puncak didaerah bilangan gelombang 1373-1435,04 cm^{-1} yang merupakan serapan ikatan O-H dari gugus fenolik.

Berdasarkan penelitian Muhajir *et al* (2021) menunjukkan bahwa pengujian FTIR pada karbon teraktivasi H_3PO_4 menunjukkan munculnya gugus C-O (alkohol/eter/ester/ asam karboksilat) dan C-H (alkane). Adanya gugus alkane pada permukaan karbon disebabkan oleh gugus alkohol yang tereliminasi sebagian membentuk alkena pada saat aktivasi menggunakan asam fosfat. Pada puncak serapan dengan bilangan gelombang 1579,70 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus C=C yaitu selulosa dan hemiselulosa. Dari hasil penelitian Fahmijal *et al* (2023) menunjukkan pada gelombang 1597,06-1593,20 cm^{-1} terdapat ikatan C=C cincin aromatik. Selanjutnya pada gelombang 1263,37-1234,44 cm^{-1} diperoleh ikatan C-O. Pada gelombang 879,54-877,61 cm^{-1} dan 829,39-815,89 cm^{-1} diperoleh C-H cincin aromatik.

Scanning Electron Microscopy – Electron Diapersive X-Ray (SEM-EDX)

SEM-EDX merupakan instrumen yang terdiri dari SEM dan EDX. SEM sendiri adalah jenis mikroskop elektron yang menghasilkan gambar sampel dengan memindai permukaan dengan sinar elektron yang terfokus dengan perbesaran hingga skala tertentu. Elektron berinteraksi dengan atom dalam

sampel yang menghasilkan berbagai sinyal yang berisi informasi tentang topografi permukaan dan komposisi sampel. Sedangkan EDX merupakan salah satu teknik untuk menentukan komposisi atom pada material. Dasar dari analisis EDX adalah pelacakan dan pengukuran dari sifat-sifat sinar-X yang dibangkitkan oleh elektron-elektron cepat (Kustomo, 2020).



(a)

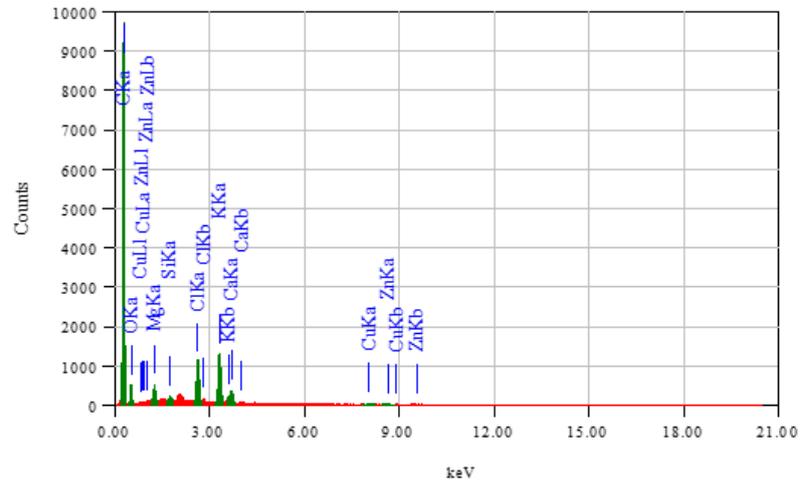
(b)

Gambar 7. Hasil Karakterisasi SEM-EDX dengan Perbesaran 2000x pada Karbon Kulit Buah Aren (a) Karbon Kulit Buah Aren Sebelum Aktivasi, (b) Karbon Kulit Buah Aren Setelah Aktivasi

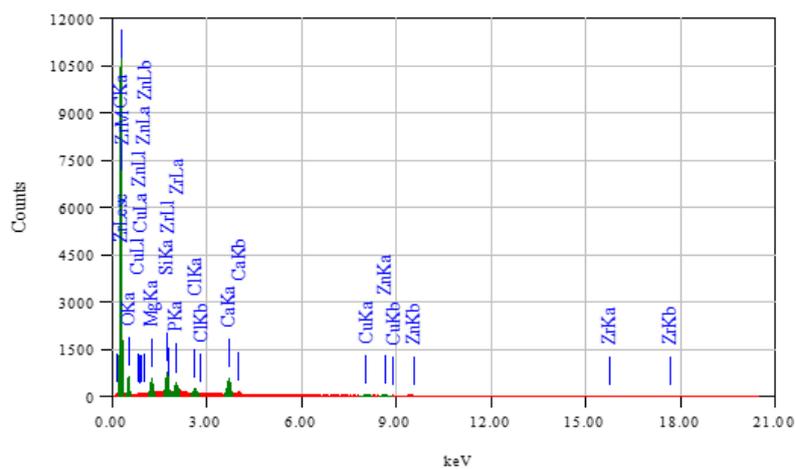
Berdasarkan hasil gambar 7, dapat diketahui bahwa hasil morfologi dengan perbesaran 2000x dapat dilihat pada gambar. Gambar a menunjukkan bahwa karbon kulit buah aren tidak teraktivasi sudah terdapat pori pada permukaan karbonnya, akan tetapi belum terbuka sempurna. Hal ini terjadi karena karbon kulit buah aren belum diaktivasi setelah dilakukan proses karbonisasi, sehingga mengakibatkan pengotor yang ada di dalam pori karbon kulit buah aren masih tertinggal dan menyebabkan penutupan pada karbon tersebut. Hasil pada gambar b, yang merupakan hasil karakterisasi karbon kulit buah aren yang telah diaktivasi menunjukkan bahwa struktur pori karbon aktif sudah terbentuk secara sempurna yang ditandai dengan banyaknya rongga kosong yang membesar, sehingga pori-pori karbon aktif menjadi lebih besar dan lebih banyak dibandingkan gambar a. Bertambahnya jumlah pori pada permukaan karbon aktif akan meningkatkan daya adsorpsinya (Cintia *et al.*, 2022).

Pada gambar b, terlihat pula pori-pori karbon aktif kulit buah aren yang pecah dikarenakan adanya zat pengotor, sehingga menutupi pori-pori karbon aktif yang terbentuk. Hal ini disebabkan pada saat aktivasi kimia, pencucian karbon aktif menggunakan akuades tidak berlangsung sempurna. Hal lain yaitu terjadi pada pengeringan karbon aktif yang kurang sempurna yang menyebabkan

pengotor berupa senyawa organik, mineral dan oksida tidak menguap sempurna dan masih tertinggal di dalam karbon aktif, sehingga terdapat sebagian pori karbon aktif tertutup oleh zat pengotor.



(a)



(b)

Gambar 8. Spektrum EDX Karbon Kulit Buah Aren (a) Karbon Sebelum Aktivasi (b) Karbon Setelah Aktivasi

Unsur yang ada pada karbon aktif kulit buah aren dapat diketahui dengan menggunakan EDX. Pengujian dengan EDX digunakan untuk menganalisa secara kuantitatif dari persentase masing-masing elemen pada karbon aktif. Karbon aktif yang dihasilkan paling banyak mengandung unsur C dan diikuti oleh unsur-unsur lainnya. Unsur C merupakan unsur penyusun karbon aktif secara umum.

Tabel 4 . Hasil EDX Karbon Kulit Buah Aren

Unsur	Sebelum	Setelah	Sebelum	Setelah
	Aktivasi	Aktivasi	Aktivasi	Aktivasi
	% Massa		% Atom	
C	81,42	82,21	88,28	87,96
O	11,32	12,97	9,21	10,42
Mg	0,60	0,69	0,32	0,36
Si	0,16	0,89	0,07	0,41
P		0,30		0,12
Cl	1,83	0,27	0,67	0,10
Ca	0,78	1,13	0,25	0,36
Cu	0,60	0,60	0,12	0,12
Zn	0,28	0,31	0,06	0,06
Zr		0,64		0,09
K	3,00		1,00	

Hasil dari spektrum EDX pada Tabel menunjukkan kandungan unsur diantaranya C, O, Mg, Si, P, Cl, Ca, Cu, Zn, Zr, dan K. kandungan unsur yang mendominasi pada sampel karbon sebelum aktivasi dan karbon setelah aktivasi adalah kandungan C dan O. Pada sampel karbon sebelum aktivasi mengandung 81,42% massa dan 88,28% atom unsur karbon (C), sedangkan pada karbon setelah aktivasi mengandung 82,21% massa dan 87,96% atom unsur karbon. Kandungan O pada sampel karbon sebelum aktivasi adalah 11,32% massa dan 9,21% atom dan pada sampel karbon setelah aktivasi terdapat 12,97% massa dan 10,42% atom unsur O. Tingginya unsur tersebut menunjukkan bahwa kulit buah aren berpotensi untuk digunakan sebagai bahan pembuatan karbon aktif. Pada sampel karbon setelah diaktivasi dapat terlihat adanya unsur P (*Phosphate*) dengan % massa sebesar 0,30% dan % atom sebesar 0,12%. Unsur P yang diperoleh dimungkinkan karena adanya interaksi H_3PO_4 dengan karbon kulit buah aren. Hal ini menunjukkan bahwa karbon telah berhasil diaktivasi dengan menggunakan asam fosfat.

Berdasarkan hasil penelitian Hijrah *et al* (2021), komposisi unsur yang terdapat pada karbon aktif kulit singkong didominasi komponen penyusun unsur C, O, N, P dan Na. Kadar unsur yang paling tinggi adalah karbon (C) dan oksigen (O). Kandungan unsur P yang diperoleh dikarenakan adanya interaksi H_3PO_4 dengan karbon kulit singkong pada proses aktivasi. Menurut Cintia *et al* (2022) hasil analisis morfologi karbon kayu bakau tidak teraktivasi sudah memiliki pori

pada permukaan karbonnya, tetapi pori tersebut belum terbuka secara sempurna. Sedangkan hasil karakterisasi yang telah diaktivasi dengan H_3PO_4 menunjukkan struktur pori karbon aktif yang sudah terbentuk secara sempurna yang ditandai dengan banyaknya rongga kosong yang membesar. Karbon aktif yang dihasilkan terdiri dari unsur C dan O yang merupakan dua unsur penyusun karbon aktif secara umum.

Berdasarkan hasil penelitian Andini *et al* (2022) diketahui bahwa permukaan karbon aktif kulit singkong memiliki karakteristik berongga seperti sarang lebah dengan struktur yang tidak beraturan dan heterogen. Kenampakan rongga pada permukaan karbon aktif dihasilkan dari penguapan zat pengaktif yang dalam hal ini adalah asam fosfat selama karbonisasi, meninggalkan ruang yang sebelumnya ditempati oleh zat pengaktif sehingga menunjukkan bahwa proses aktivasi telah menciptakan pori-pori pada permukaan karbon aktif kulit singkong. Pada karbon aktif kulit singkong ini mengandung unsur karbon (C) dan oksigen (O) dengan persentase masing-masing 72,60% dan 15,52%. Adanya kandungan oksigen dimungkinkan karena adanya air yang teradsorpsi serta menunjukkan terdapat gugus fungsi seperti karboksil, karbonil atau fenol pada permukaannya. Selain itu, adanya kandungan fosfat (P) pada karbon aktif dapat diindikasikan sebagai hasil proses impregnasi menggunakan H_3PO_4 .

4.4 Optimasi Adsorpsi

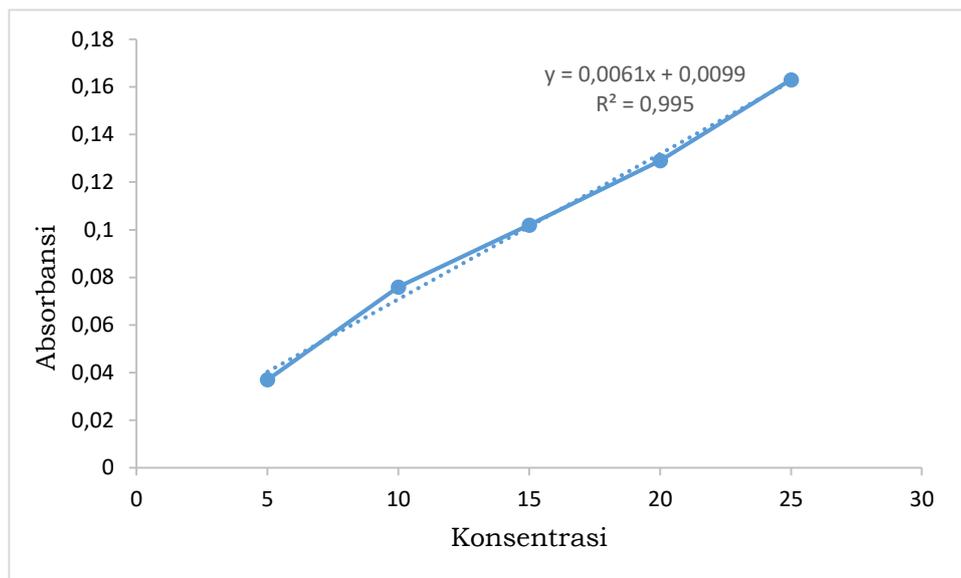
Penentuan Panjang Gelombang Maksimum

Panjang gelombang maksimum adalah panjang gelombang yang memiliki kepekaan yang optimum, bentuk kurva absorbansi datar dan pada kondisi tersebut hukum Lambert-beer akan terpenuhi. Penentuan panjang gelombang maksimum larutan standar indigozol dilakukan dengan cara mengukur nilai adsorpsi larutan standar indigozol 10 ppm dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada rentang panjang gelombang 400-800 nm. Pada penelitian ini, analisa panjang gelombang larutan standar indigozol dilakukan pada panjang gelombang 400-800 nm dikarenakan pemilihan panjang gelombang didasarkan pada warna komplementer larutan standar indigozol yang berwarna merah memiliki serapan visible pada panjang 400-800nm. Berdasarkan pengukuran yang dilakukan, diperoleh data bahwa absorbansi maksimal terjadi pada panjang gelombang 515 nm.

Pembuatan Kurva Kalibrasi Indigozol

Kurva kalibrasi menyatakan hubungan antara absorbansi dengan konsentrasi dari serangkaian larutan standar yang sudah diketahui konsentrasinya. Hal yang perlu diperhatikan pada kurva kalibrasi adalah tingkat linearitasnya. Uji linearitas merupakan metode untuk membuktikan adanya

hubungan yang linier antara konsentrasi analit yang sebenarnya dengan respon alat. Proses pembuatan kurva kalibrasi dilakukan dengan membuat larutan standar dengan konsentrasi 5, 10, 15, 20 dan 25 ppm menggunakan larutan standar masing-masing sebanyak 20 mL, kemudian diencerkan hingga batas tanda dan dihomogenkan. Diukur nilai absorbansinya dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang optimum kemudian dibuat kurva kalibrasi zat warna indigozol.



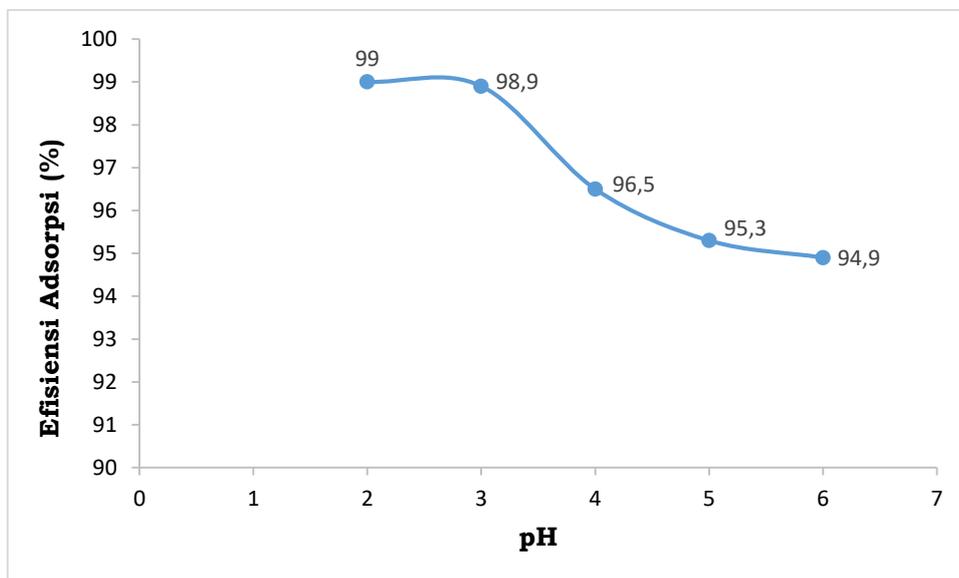
Gambar 9. Grafik kurva kalibrasi zat warna Indigozol

Dari hasil analisa yang telah dilakukan, dapat dilihat bahwa kurva membentuk garis linier yang menunjukkan terjadinya peningkatan absorbansi seiring dengan meningkatnya konsentrasi larutan standar hasil absorbansi dari larutan standar indigozol dengan konsentrasi 5, 10, 15, 20, 25 ppm secara berturut-turut adalah : 0,037; 0,076; 0,102; 0,129; 0,163 dan diperoleh persamaan regresi linier $y = 0,0061x + 0,0099$, dimana y merupakan absorbansi dan x merupakan konsentrasi sampel.

Pengujian Pengaruh Variasi pH terhadap penyerapan Indigozol

Penentuan pengaruh pH optimum dilakukan untuk mengetahui pada pH berapa karbon aktif memiliki daya serap paling besar terhadap zat warna. pH merupakan suatu parameter yang berpengaruh pada proses adsorpsi. Pemberian perlakuan variasi pH mengubah konsentrasi ion H^+ dan ion OH^- dalam larutan. Pada pH asam ($pH < 7$) konsentrasi ion H^+ lebih besar daripada ion OH^- , sebaliknya pada pH basa ($pH > 7$) konsentrasi ion OH^- akan lebih besar daripada H^+ . Variasi pH Indigozol yang digunakan pada penelitian ini adalah 2, 3, 4, 5, dan 6 dengan menambahkan HNO_3 0,1N dan $NaOH$ 0,1N dikontakkan dengan 0,1

gram karbon aktif dengan kecepatan pengadukan 100 rpm dengan lama interaksi selama 30 menit. Hubungan pengaruh variasi pH terhadap penyerapan Indigozol dapat dilihat pada gambar.

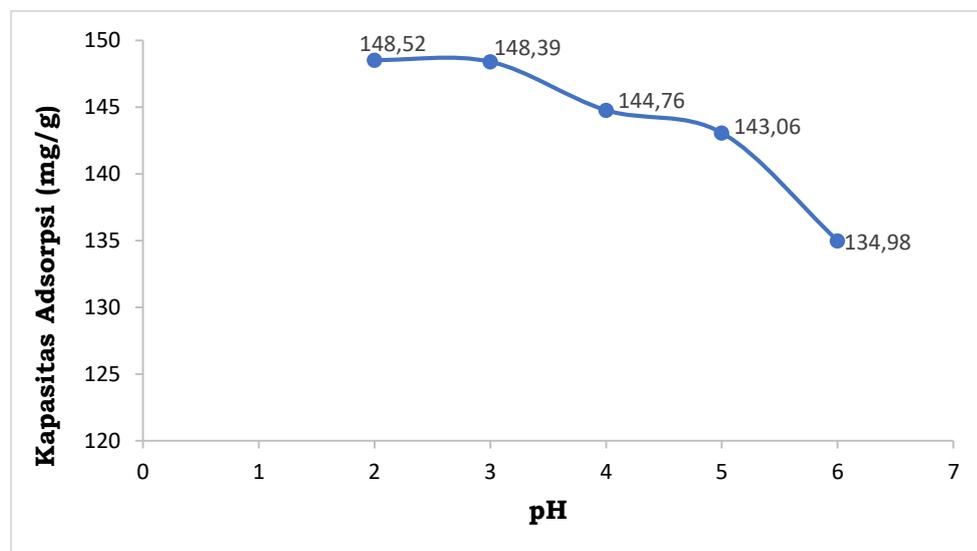


Gambar 10. Grafik pengaruh pH terhadap efisiensi adsorpsi zat warna indigozol

Berdasarkan gambar 10, peningkatan efisiensi adsorpsi zat warna indigozol terjadi pada pH 2 dan mengalami penurunan efisiensi adsorpsi pada pH 3-6. Hal ini menunjukkan keterkaitan antara nilai pH dengan senyawa yang diadsorpsi yaitu zat warna Indigozol. Semakin besar pH, maka jumlah larutan zat warna yang terserap semakin tinggi namun ketika larutan zat warna berada pada pH yang sudah melewati pH optimum (suasana basa) jumlah larutan zat warna yang terserap menjadi menurun. Pada pH rendah, jumlah ion H^+ lebih besar, dimana ion H^+ tersebut akan menetralkan permukaan karbon aktif yang bermuatan negatif, sehingga dapat mengurangi halangan untuk terjadinya difusi organik pada pH yang lebih tinggi. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa efisiensi adsorpsi optimum zat warna Indigozol oleh karbon aktif kulit buah aren yaitu pada pH 2 dengan efisiensi adsorpsi sebesar 99%. Efisiensi adsorpsi tergantung pada pH larutan, sebab variasi pH mengarah pada variasi derajat ionisasi dari molekul adsorptif dan sifat permukaan adsorben. Adsorpsi yang tinggi pada pH asam dikarenakan meningkatnya protonasi oleh penetralan muatan negatif dari permukaan adsorben sehingga memudahkan proses difusi pada adsorben (Nasution *et al.*, 2015).

Berdasarkan hasil penelitian Cintia *et al* (2022) didapatkan pH optimum karbon aktif yaitu pada pH 3. Hal ini dikarenakan pada pH asam pori-pori permukaan adsorben mengalami protonasi karena adanya peningkatan H^+ dan

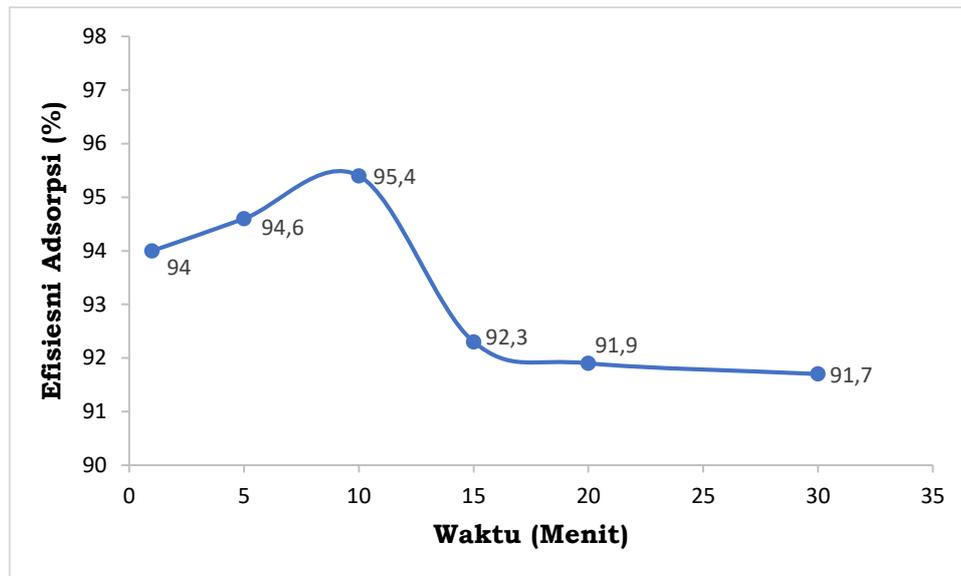
H_2O^+ dalam larutan pewarna tekstil, sehingga permukaan adsorben karbon aktif bermuatan positif dan larutan pewarna tekstil akan bermuatan negatif. Gaya Tarik menarik antara karbon aktif dengan pewarna tekstil dapat meningkatkan daya adsorpsi. Pada penelitian Sari (2019) menunjukkan bahwa pH optimum adsorpsi Indigosol *Golden Yellow* IRK adalah pH 4 (suasana asam) dengan %removal sebesar 96,162%. Adsorpsi dalam suasana larutan semakin asam (pH rendah) akan memberikan %removal yang besar karena adanya protonasi pada permukaan karbon aktif yang menyebabkan muatan permukaan menjadi lebih positif sehingga terjadi gaya tarik menarik antara molekul zat warna dengan permukaan adsorben.



Gambar 11. Grafik pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi zat warna indigozol

Pengujian Pengaruh Variasi Waktu terhadap penyerapan Indigozol

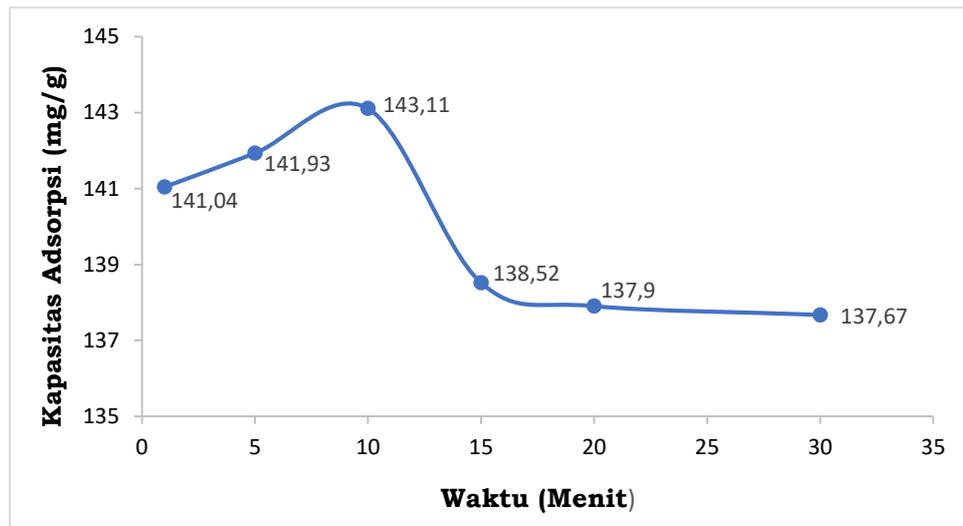
Penentuan variasi waktu bertujuan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan oleh sejumlah adsorben untuk menyerap adsorbat sampai pada keadaan jenuh. Keadaan jenuh tercapai apabila ketika adsorben direaksikan dengan adsorbat, adsorben tidak mampu lagi menyerap adsorbat. Semakin lama waktu interaksi, semakin banyak adsorbat yang teradsorpsi karena semakin banyak kesempatan partikel-partikel adsorben yang bersinggungan dengan adsorbat sehingga semakin banyak adsorbat yang terikat dalam pori-pori partikel adsorbat. Penambahan waktu interaksi tidak mempengaruhi adsorpsi apabila telah tercapai keadaan jenuh (Sahara *et al*, 2018).



Gambar 12. Grafik pengaruh waktu terhadap efisiensi adsorpsi zat warna indigozol

Pada gambar 12 dapat dilihat adanya peningkatan jumlah zat warna yang teradsorpsi akibat adanya interaksi yang terjadi antara adsorben (karbon aktif) dengan adsorbat (zat warna). Tetapi setelah menit ke 10 terjadi penurunan jumlah adsorbat yang teradsorpsi dan semakin menurun pada waktu interaksi yang selanjutnya yang diakibatkan karena terjadinya kejenuhan pada situs aktif adsorben yang digunakan sehingga tidak mampu lagi mengadsorpsi zat warna Indigozol. Efisiensi adsorpsi terbesar pada interaksi 10 menit yaitu sebesar 95,4%. Penurunan daya adsorpsi pada adsorben terjadi karena sisi aktif yang tersedia menjadi berkurang karena larutan zat warna membentuk suatu lapisan di permukaan adsorben yang menutupi lapisan adsorben, walaupun penurunan yang terjadi tidak terlalu besar tapi hal ini telah menunjukkan bahwa adsorben yang mengadsorpsi larutan zat warna telah mengalami desorpsi yaitu pelepasan kembali ion yang telah teradsorpsi karena mengalami kejenuhan.

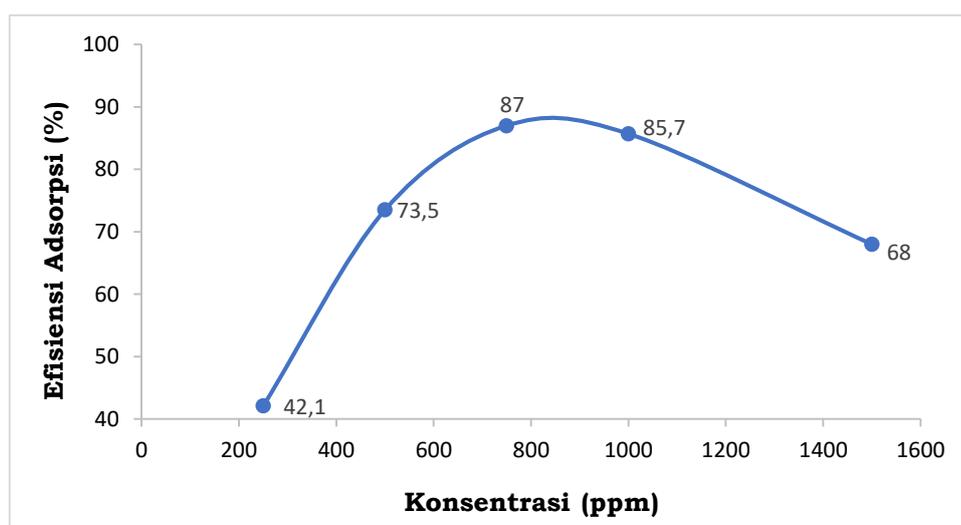
Berdasarkan hasil penelitian Herfiani *et al* (2017) mengenai adsorpsi arang aktif batok kelapa terhadap limbah cair zat warna jenis indigozol *blue* menyebutkan bahwa efisiensi penyisihan parameter warna pada menit ke 15 merupakan yang tertinggi. Efisiensi yang dicapai sebesar 32,77% dan pada menit selanjutnya efisiensi penurunan adsorpsi relatif stabil berkisar 32,25%-32,46%. Hal ini terjadi dikarenakan reaksinya sudah jenuh dan penambahan waktu relatif tidak mempengaruhi penurunan kadar warna. Pencapaian efisiensi ini menandakan metode adsorpsi dapat digunakan sebagai alternatif pengolahan limbah warna batik.



Gambar 13. Grafik pengaruh waktu terhadap kapasitas adsorpsi terhadap zat warna indigozol

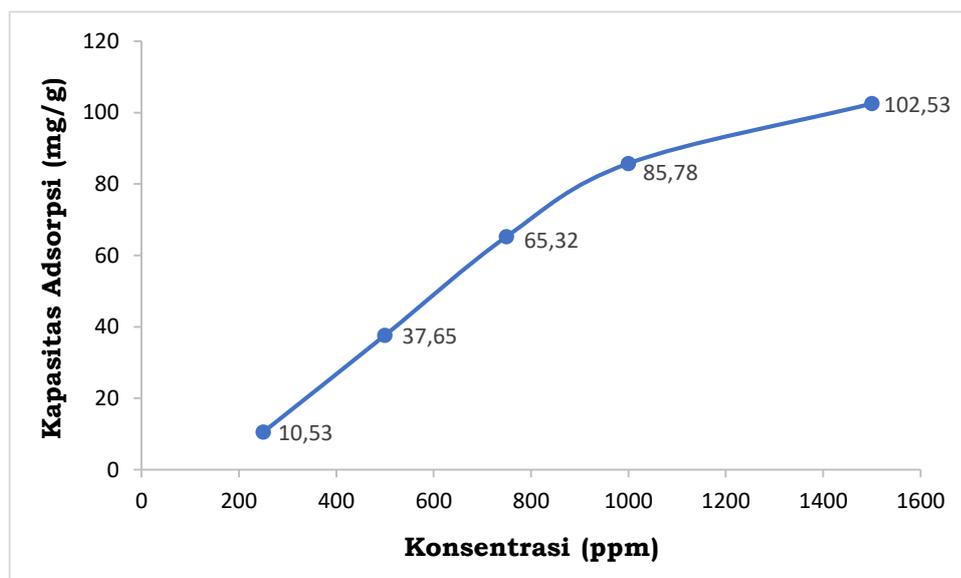
Pengaruh Variasi Konsentrasi terhadap penyerapan Indigozol

Penentuan konsentrasi optimum dilakukan untuk mengetahui besarnya konsentrasi optimum adsorben dapat mengadsorpsi adsorbat paling banyak. Konsentrasi juga sangat berpengaruh pada proses adsorpsi. Maka dari itu, untuk aplikasi penggunaan adsorben karbon aktif kulit buah aren perlu diketahui konsentrasi larutan zat warna Indigozol yang optimum sehingga proses adsorpsi zat warna Indigozol maksimal. Pada penelitian ini, variasi konsentrasi Indigozol yang digunakan yaitu 250 ppm, 500 ppm, 750 ppm, 1000 ppm dan 1500 ppm. Dan selanjutnya diperoleh hasil persen efisiensi dan konsentrasi adsorbansi optimum seperti pada gambar.



Gambar 14. Grafik pengaruh konsentrasi terhadap efisiensi adsorpsi zat warna indigozol

Pada gambar 14 terlihat bahwa efisiensi adsorpsi optimum berada pada variasi konsentrasi meningkat dari 250-750 ppm. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi Indigozol, maka jumlah Indigozol di dalam larutan semakin banyak. Selanjutnya, pada konsentrasi 1000 ppm dan 1500 ppm efisiensi adsorpsi semakin menurun. Semakin besar konsentrasi zat warna, maka persentase adsorpsi zat warna oleh karbon aktif semakin sedikit. Hal ini disebabkan karena gugus aktif dan luas permukaan adsorben tidak sebanding dengan jumlah zat warna yang ada dalam larutan sehingga adsorben tidak dapat mengikat zat warna. Zat warna Indigozol pada konsentrasi yang lebih tinggi mencapai keadaan jenuh dan hampir semua situs adsorpsi yang tersedia pada karbon aktif kulit buah aren ditempati oleh Indigozol. Pada kondisi ini maka tidak terjadi lagi peningkatan proses adsorpsi. Jumlah Indigozol yang teradsorpsi akan sebanding dengan gugus aktif yang terdapat pada karbon aktif. Jika gugus aktif karbon aktif (adsorben) belum jenuh, maka kapasitas adsorpsi dan efisiensi adsorpsi Indigozol akan semakin besar. Ketika gugus aktif karbon aktif kulit buah aren telah jenuh, maka peningkatan gugus aktif Indigozol akan menurun.



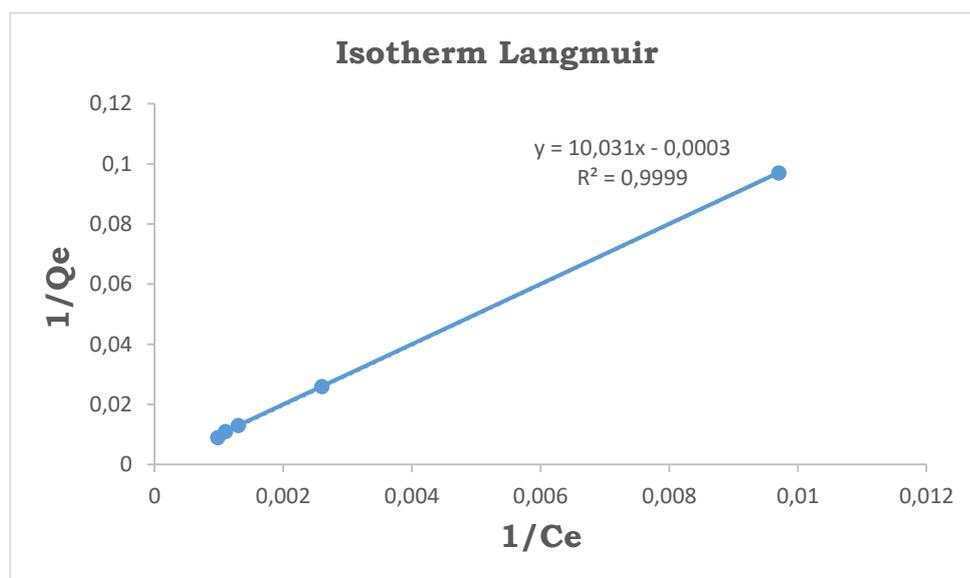
Gambar 15. Grafik pengaruh konsentrasi terhadap kapasitas adsorpsi zat warna indigozol

4.5 Penentuan Model Isotherm Adsorpsi

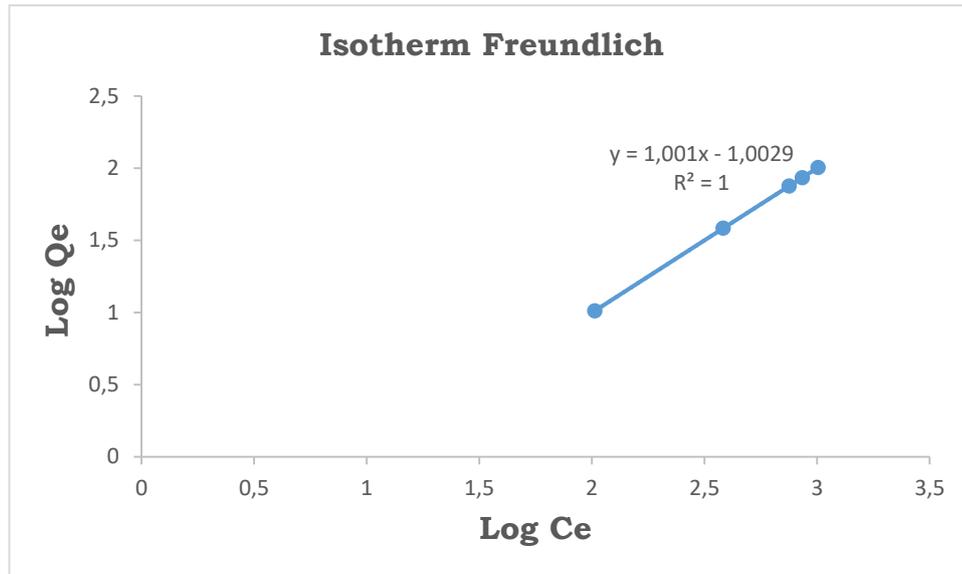
Kesetimbangan adsorpsi dapat diartikan sebagai penjabaran secara matematis dalam isothermal tertentu pada adsorben yang digunakan. Secara umum, prediksi adsorpsi secara keseluruhan dapat dilakukan dengan memodelkan data isotherm dengan analisis linier sebagai pendekatan matematis. Model isotherm yang umum digunakan dalam penentuan model kesetimbangan

dari suatu adsorpsi di berbagai penelitian yaitu isotherm Langmuir dan Freundlich. Isotherm adsorpsi merupakan hubungan kesetimbangan antara konsentrasi pada fase cair dan konsentrasi pada partikel adsorben pada suhu tertentu. Adsorben yang baik memiliki kapasitas adsorpsi dan efisiensi adsorpsi yang tinggi. Isotherm adsorpsi adalah proses adsorpsi yang berlangsung pada temperatur tetap. Model isotherm adsorpsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah model isotherm Langmuir dan model isotherm Freundlich.

Persamaan Freundlich dan Langmuir umumnya digunakan dalam pengolahan data adsorpsi dari larutan. Isotherm Freundlich merupakan persamaan yang menyatakan hubungan antara jumlah zat yang teradsorpsi dengan konsentrasi zat dalam larutan. Persamaan adsorpsi Freundlich diturunkan secara empiris dan berlaku untuk gas yang bertekanan rendah. Isotherm adsorpsi terjadi pada beberapa lapis dan ikatannya tidak kuat. Sedangkan isotherm Langmuir menunjukkan bahwa pada permukaan adsorben terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan. Pada setiap situs aktifnya hanya ada satu molekul yang dapat diadsorpsi. Ikatan antara zat teradsorpsi dengan adsorben terjadi secara fisika atau kimia (Wahyuni et al., 2019). Isotherm adsorpsi Langmuir dapat diturunkan secara teoritis dengan menganggap bahwa hanya sebuah adsorpsi tunggal yang terjadi. Adsorpsi tersebut disebut adsorpsi terlokalisasi, artinya molekul-molekul zat hanya dapat diserap pada tempat-tempat tertentu dan panas adsorpsi tidak tergantung pada permukaan yang tertutup oleh adsorben. Isotherm adsorpsi Langmuir digunakan untuk menggambarkan adsorpsi kimia (Fatimah et al., 2021).



Gambar 16. Grafik isotherm Langmuir



Gambar 17. Grafik isotherm Freundlich

Gambar 16 menunjukkan plot $1/q_e$ terhadap $1/C_e$ (isoterm adsorpsi Langmuir) dan gambar 17 menunjukkan plot $\log q_e$ terhadap $\log C_e$ (isoterm adsorpsi Freundlich). Koefisien regresi isoterm adsorpsi Langmuir (R^2) menunjukkan hasil sebesar 0,9999. Pada isoterm adsorpsi Freundlich menunjukkan nilai R^2 sebesar 1. Hal ini mengindikasikan bahwa isoterm adsorpsi zat warna Indigozol menggunakan karbon aktif kulit buah aren optimal pada isotherm Freundlich. Model isoterm yang sesuai dengan data hasil penelitian diuji dengan analisis regresi linear sederhana yaitu dengan melihat data nilai koefisien korelasinya (R^2). Jika nilai R^2 semakin mendekati 1 maka dapat dikatakan bahwa terdapat pengaruh yang semakin besar dan keterkaitan antar variabel semakin kuat.

Tabel 5. Parameter model isoterm Langmuir dan Freundlich

Isoterm Langmuir	Isoterm Freundlich
$Q_m = 3.333,33 \text{ mg/g}$	$n = 0,999$
$K_L = 0,0000299 \text{ L/g}$	$K_f = 10,0669 \text{ L/g}$
$r^2 = 0,9999$	$r^2 = 1$
$r = 0,9999$	$r = 1$

Berdasarkan parameter pada tabel 5 menunjukkan bahwa karakteristik adsorpsi dari adsorben karbon aktif kulit buah aren mengarah ke isotherm Freundlich. Hal ini dikarenakan koefisien korelasi (R^2) yang diperoleh lebih besar pada isotherm Freundlich dengan hasil R^2 adalah 1 jika dibandingkan dengan isotherm Langmuir dengan R^2 adalah 0,9999. Hasil tersebut menandakan bahwa adsorpsi yang terjadi adalah secara fisorpsi multilayer. Fisorpsi multilayer ini

merupakan proses adsorpsi yang terdiri dari banyak lapisan, sehingga kemampuan adsorpsi menjadi lebih baik untuk digunakan. Pendekatan Freundlich mengasumsikan permukaan adsorben bersifat heterogen, adsorpsi membentuk banyak lapisan dan terdapat tapak aktif adsorpsi yang memiliki afinitas tinggi dibandingkan afinitas bagian lainnya.

Pada isoterm Freundlich menunjukkan data penyerapan dimana $1/n$ adalah intensitas adsorpsi atau heterogenitas permukaan yang menunjukkan distribusi relatif energi dan heterogenitas situs adsorbat. Apabila $0 < 1/n < 1$ maka adsorpsi menguntungkan, tidak menguntungkan apabila $1/n > 1$, dan tidak dapat diubah apabila $1/n = 1$. Harga dari n yang dihasilkan adalah 1, maka adsorpsi yang berlangsung pada monolayer dan tidak bergantung pada konsentrasi. Pada parameter Freundlich, harga K_f menunjukkan indikator relatif kapasitas adsorpsi maksimum yang terkait dengan energi ikatan dari suatu adsorben. Dimana semakin besar K_f maka kapasitas adsorpsinya semakin besar, dan apabila semakin kecil K_f maka kapasitas adsorpsinya semakin kecil.

Dari hasil penelitian Herfiani *et al* (2017) mengenai adsorpsi arang aktif batok kelapa terhadap limbah cair zat warna jenis indigosol *blue* menyebutkan bahwa parameter warna R^2 tertinggi dimiliki oleh isotherm Freundlich dengan nilai 1 serta R^2 yang dimiliki oleh isotherm Langmuir adalah 0,9983. Adsorpsi tipe Langmuir dianggap sebagai proses adsorpsi monolayer. Kapasitas maksimum adsorpsi per unit massa adsorben ditentukan bersamaan dengan konstanta Langmuir menunjukkan afinitas zat terlarut pada adsorben. Sedangkan adsorpsi jenis Freundlich dianggap sebagai lapisan multilayer, proses dimana jumlah zat terlarut yang diadsorpsi per unit adsorben massa meningkat secara bertahap dan permukaan adsorben bersifat heterogen.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian diatas, dapat disimpulkan bahwa

1. Hasil dari karakterisasi dari karbon aktif kulit buah aren sebelum aktivasi menggunakan instrument FTIR menunjukkan terdapat gugus fungsi C-H, C=C, C=O dan OH pada bilangan gelombang 871,83; 1403,20; 1996,79 dan 3740,39 cm^{-1} . Karbon aktif kulit buah aren setelah aktivasi terdapat gugus fungsi C-H, C-O, C=C, C=O, OH pada bilangan gelombang 746,67; 1074,92; 1546,23; 1996,07 dan 3746,82 cm^{-1} . Dan karbon aktif setelah adsorpsi menunjukkan terdapat gugus fungsi C-H, C-O, C=C, C=O dan OH pada bilangan gelombang 746,32; 1092,81; 1575,55; 1993,27 dan 3782,58 cm^{-1} . Pada hasil SEM karbon kulit buah aren sebelum dan setelah diaktivasi menunjukkan terdapat perbedaan. Pori pada permukaan karbon kulit buah aren yang telah diaktivasi menjadi lebih besar dan lebih banyak. Hasil yang sama ditunjukkan oleh spektrum EDX dengan %massa unsur karbon yang terkandung pada karbon kulit buah aren setelah aktivasi lebih besar daripada sebelum aktivasi yaitu sebesar 82,21%.
2. Adsorpsi zat warna Indigozol menggunakan adsorben karbon aktif kulit buah aren menghasilkan pH optimum pada pH 2 dengan efisiensi adsorpsi sebesar 99% dan kapasitas adsorpsi sebesar 148,52 mg/g. hasil untuk waktu kontak optimum berada pada waktu 10 menit dengan efisiensi adsorpsi sebesar 95,5% dan kapasitas adsorpsi sebesar 143,11 mg/g. Dan konsentrasi optimum yaitu pada konsentrasi 750 ppm dengan efisiensi adsorpsi sebesar 87,7% dan kapasitas adsorpsi sebesar 65,32 mg/g.
3. Dari hasil regresi yang diperoleh dari karbon aktif kulit buah aren sebagai adsorben zat warna indigozol pada isotherm Langmuir dan Freundlich sama, dimana nilai r yang didapat adalah 1.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka saran untuk penelitian selanjutnya adalah

1. Sebaiknya dilakukan proses karbonisasi dengan alat dan tempat yang memang ditujukan untuk melakukan proses tersebut.
2. Zat warna indigozol yang digunakan sebaiknya zat warna yang murni sehingga hasil yang didapatkan bagus dan konsisten.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawi, T. F., I. M. L. Aji dan D. S. Rini. 2021. Pengaruh Suhu dan Konsentrasi Asam Fosfat (H_3PO_4) Terhadap Kualitas Arang Aktif Cabang Bambu Duri (*Bambusa blumeana* Bl. Ex. Schult. F.). *Jurnal Penelitian Kehutanan Faloak*. Vol 5 (1) : 62-73.
- Andiani, B. Y., C. A. Riyanto dan Y. Martono. 2022. Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Singkong (*Manihot esculenta* Crantz) Berdasarkan Rasio Impregnasi dan Suhu Aktivasi. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*. Vol 4 (2) : 19-26.
- Anggriani, U. M., A. Hasan dan I. Purnamasari. 2021. Kinetika Adsorpsi Karbon Aktif dalam Penurunan Konsentrasi Logam Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb). *Jurnal Kinetika*. Vol 12 (2) : 29-37.
- Aisyah, S., Alimuddin dan S. Sitorus. 2019. "Pengaruh Variasi Waktu pada Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif dari Limbah Batang Pisang (*Musa paradisiaca* L.) terhadap Benzena". *Jurnal Atomik*. Vol 4(2) : 90-95.
- Atirza, V dan D. P. Soewondo. 2018. Penyisihan Zat Warna Naphthol pada Limbah Cair Batik dengan Metode Adsorpsi Menggunakan Adsorben Tanah Liat dan Regenerasinya. *Jurnal Teknik Lingkungan* Vol 24 (1) : 90-99.
- Belhamdi, B., Z. Merzougui., H. Laksaci dan M. Triani. 2019. The Removal and Adsorption Mechanism of Free Amino Acid I-Tryptophan from Aqueous Solution by Biomass-Based Activated Carbon by H_3PO_4 Activation. *Journal Physics and Chemistry of the Earth*. Vol 5 (3) : 13-22.
- Cintia, M., N. L. G. R. Juliasih., D. Herasari., A. A. Kiswandono dan R. Supriyanto. 2022. Studi Karbon Aktif Kayu Bakau (*Rhizophora mucronata*) Sebagai Adsorben Pewarna Tekstil Biru Tua Kode 5 Menggunakan Spektrofotometer UV-VIS. *Jurnal Analit*. Vol 7 (1) : 54-67.
- Darmawan S. 2008. *Sifat Arang Aktif Tempurung Kemiri dan Pemanfaatannya Sebagai Penyerap Emisi Formaldehida Papan Serat Berkerapatan Sedang*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Diharyo., Salampak., Z. Damanik dan S. Gumiri, S. 2020. Pengaruh Lama Aktifasi dengan H_3PO_4 dan Ukuran Butir Arang Cangkang Kelapa Sawit Terhadap Ukuran Pori dan Luas Permukaan Butir Arang Aktif. *Jurnal Lingkungan*. Vol 5 (1) : 48-54.
- Doke, K. M dan E. M. Khan. 2017. Equilibrium, Kinetic and Diffusion Mechanism of Cr(VI) Adsorption Onto Activated Carbon Derived from Wood Apple Shell. *Arabian Journal of Chemistry*. Vol 3 (1) : 252-260.
- Efiyanti, L., S. A. Wati dan M. Maslahat. 2020. Pembuatan dan Analisis Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet dengan Proses Kimia dan Fisika. *Jurnal Ilmu Kehutanan*. Vol 14 (6) : 94-108.
- Eliyana, A dan T. Winata. 2017. Karakterisasi FTIR pada Studi Awal Penumbuhan CNT dengan Prekursor Nanokatalis Ag dengan Metode HWC-VHF-PECVD. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*. Vol 13 (2) : 39-43.
- Erawati, E dan A Fernando. 2018. Pengaruh Jenis Aktivator Dan Ukuran Karbon Aktif Terhadap Pembuatan Adsorbent Dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon (*Paraserianthes Falcataria*). *Jurnal Integrasi Proses*. Vol 7 (2) : 58-66.

- Esterlita, M. O dan N. Herlina. 2015. Pengaruh Penambahan Aktivator $ZnCl_2$, KOH , dan H_3PO_4 dalam Pembuatan Karbon Aktif dari Pelepeh Aren (*Arenga pinnata*). *Jurnal Teknik Kimia USU*. Vol 4 (1) : 47-52.
- Fatah, A dan H. Sutejo. 2015. Tinjauan Keragaan Tanaman Aren (*Arenga pinnata merr*) di Kabupaten Kutai Barat. *Jurnal Agrifor*. Vol 14 (1) : 1-14.
- Fathoni, I dan Rusmini. 2016. Pemanfaatan Bentonit Teknis Sebagai Adsorben Zat Warna. *Journal of Chemistry*. Vol 5 (3) : 18-22.
- Fatimah., S. R. Effendi dan C. D. Sofith. 2021. Pengaruh Ukuran Partikel Zeolit Alam yang Diaktivasi dan Diimpregnasi HCl dan MG^{2+} pada Penjerapan Ion Fosfat. *Jurnal Teknik Kimia USU*. Vol 10 (1) : 13-18.
- Fitriansyah, A., H. Amir dan Elvinawati. 2021. Karakterisasi Adsorben Karbon Aktif dari Sabut Pinang (*Areca catecu*) Terhadap Kapasitas Adsorpsi Zat Warna *Indigosol Blue* 04-B. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*. Vol 5 (1) : 42-54.
- Handrian., W. B. Sediawan dan A. Mindaryani. 2017. Adsorpsi Air dari Campuran Uap Etanol-Air dengan Zeolit Sintetis 4A pada Packed Bed Dalam Rangka Produksi Fuel Grade Ethanol. *Jurnal Rekayasa Proses*. Vol 11 (2) 68-77.
- Hartanto, S dan Ratnawati. 2016. Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. Vol 12 (1) : 12-16.
- Haryono., M. D. Faizal., C. N. Liamita dan A. Rostika. 2018. Pengolahan Limbah Zat Warna Tekstil Terdispersi dengan Metode Elektroflotasi. *Jurnal Kimia dan Pendidikan*. Vol 3 (1) : 94-105.
- Hasanah, H., R. Sirait dan R. Y. Lubis. 2022. Pengaruh Konsentrasi Aktivator H_3PO_4 Terhadap Karbon Aktif Ampas Tebu. *Jurnal Kimia*. Vol 8 (1) : 11-15.
- Herfiani, Z. H., A. Rezagama dan M. Nur. 2017. Pengolahan Limbah Cair Zat Warna Jenis *Indigosol Blue* (C.I Vat *Blue* 4) Sebagai Hasil Produksi Kain Batik Menggunakan Metode Ozonasi dan Adsorpsi Arang Aktif Batok Kelapa Terhadap Parameter COD dan Warna. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol 6 (3) : 1-10.
- Hijrah, N. N., M. Anas dan Erniwati. 2020. Analisis Variasi Temperatur Aktivasi terhadap Gugus Fungsi Arang Aktif Tandan Aren (*Arenga pinnata Merr.*) dengan Agen Aktivasi *Potassium Silicate* (K_2SiO_3). *Jurnal Penelitian Pendidikan Fisika*. Vol 5 (4) : 295-299.
- Humaira, I dan H. Sanjaya. 2023. Degradasi Zat Warna *Indigozol Red Ir* Menggunakan Metode Sonolisis Dengan Bantuan Massa Katalis ZnO . *Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang*. Vol 12 (2) : 75-77.
- Husin, A dan A. Hasibuan. 2020. Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Posfat (H_3PO_4) dan Waktu Perendaman Karbon terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Kulit Durian. *Jurnal Teknik Kimia USU*. Vol 9 (2) : 80-86.
- Irawan, A. 2019. Spektrofotometer Sebagai Penjaminan Mutu Hasil Pengukuran dalam Kegiatan Penelitian dan Pengujian. *Indonesian Journal of Laboratory* Vol 1 (2) : 1-9.
- Jaya, D. D dan M. Khair. 2020. Pembuatan Karbon Aktif melalui Karbonisasi Batang Kelapa Sawit. *Chemistry Journal of State University of Padang*. Vol 9 (1) : 7-10.

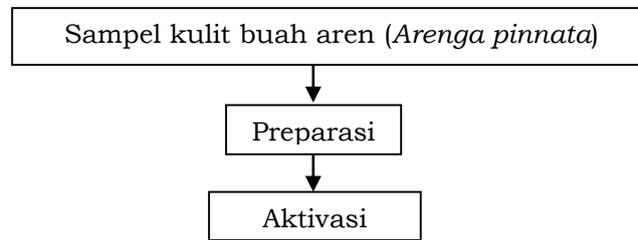
- Junaedi, N. F., Maricar. F, E. H dan Selintung. M. 2017. Pemanfaatan Arang Sekam Padi Sebagai Adsorben untuk Menurunkan Ion Logam Berat dalam Air Limbah Timbal (Pb). *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol 2 (1) : 1-13.
- Khan, E. A., Shahjahan dan T. A. Khan. 2018. Adsorption of Methyl Red on Activated Carbon Derived From Custard Apple (*Annona squamosa*) Fruit Shell : Equilibrium Isotherm and Kinetic Studies. *Journal of Molecular Liquids*. Vol 249 (8) : 1195-1211.
- Kustomo. 2020. Uji Karakterisasi dan Mapping Magnetik Nanopartikel Terlapisi Asam Humat dengan *Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX). *Indonesian Journal of Chemical Science*. Vol 9 (3) : 149-153.
- Laksono, E. P., S. Sunardi dan H. Oktavianity. 2022. Sintesis Adsorben dari Kulit Kolang-Kaling (*Arenga pinnata*) pada Limbah. *Biofoodtech: Journal of Bioenergy and Food Technology*. Vol 1 (1) : 58-64.
- Lau, S. M. O., I. W. B. Suyasa dan J. Sibarani. 2018. Biodegradasi Zat Warna Indigosol Golden Yellow IRK Menggunakan Biosistem Vertikal. *Jurnal Ecotrophic*. Vol 12 (1) : 86-93.
- Maryam., N. Effendi dan Kasmah. 2019. Produksi dan Karakterisasi Gelatin dari Limbah Tulang Ayam dengan Menggunakan Spektrofotometer Ftir (Fourier Transform Infra Red). *Jurnal Farmaseutik*. Vol 15(2) : 96-104.
- Mau, Y. P., I. W. B. Suyasa dan I. E. Suprihatin. 2018. Biodegradasi Zat Warna Naphtol Blue Black Menggunakan Biosistem Horizontal. *Jurnal Kimia*. Vol 12 (2) : 201-206.
- Maysharoh, S., I. D. Faryuni dan J. Sampurno, J. 2018. Karakterisasi Pola Distribusi Pori Karbon Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit Teraktivasi H₃PO₄ Berbasis Geometri Fraktal. *Jurnal Prisma Fisika* . Vol 6 (1) : 44-48.
- Mendame, L. L., P. Silangen dan A. Rampengan. 2021. Perbandingan Karakteristik Karbon Aktif Arang Tempurung Kelapa dan Arang Tempurung Kemiri Menggunakan *Scanning Electron Microscopic* dan *Fourier Transform Infra Red*. *Jurnal Fista*. Vol 2 (2) : 105-108.
- Muhajir, A., i. Machdar dan Mariana. 2021. Produksi Karbon Aktif Arang Tempurung Kelapa Menggunakan Kombinasi Metode Aktvasi Secara Kimia dan Steam Tekanan Darah. *Jurnal Litbang Industri*. Vol 11 (2) : 110-116.
- Murtono, J dan Iriany. 2017. Pembuatan Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet dengan Aktivator H₃PO₄ dan Aplikasinya Sebagai Penjerap. *Jurnal Teknik Kimia USU*. Vol 6 (1) : 43-48.
- Nabilasari, R. R dan Widiastuti. 2022. Pengaruh Formula Pencampuran Zat Warna Indigozol Oranye HR Dengan Kuning IGK Terhadap Warna yang Dihasilkan Pada Pencelupan Kain Mori Primissima, Sutra dan Satin. *Journal UNY*. Vol 2 (5) : 13-21.
- Nasution, H., Mayudendi dan S. H. Siregar. 2019. Penentuan Waktu Kontak dan pH Optimum Penyerapan Zat Warna *Direct Yellow* Menggunakan Abu Terbang (*Fly Ash*) Batubara. *Jurnal Universitas Tanjungpura*. Vol 3 (1) : 747-756.
- Nasution, M. I., R. S. Budi dan C. Siregar. 2020. Pengaruh Pemberian Pupuk Kandang Sapi dan Air Kelapa Terhadap Pertumbuhan Tanaman Aren (*Arenga pinnata* Merr.) *Jurnal Ilmu Pertanian*. Vol 8 (1) : 1-5.

- Nika, N., I. Gauru.,L. Kadang dan T. Y. K. Lulan. 2022. Adsorpsi Zat Warna Naphtol Menggunakan Adsorben Kulit Buah Kakao (*Theobroma Cacao L.*). *Jurnal Fisika Sains dan Aplikasinya*. Vol 7 (1) : 101-108.
- Novita, D., B. W. Kesuma dan E. Susilo, D. 2017. Aplikasi Pupuk Organik Cair Berbahan Limbah Kulit Buah Aren (*Arenga pinnata merr.*) untuk Meningkatkan Potensi Pertumbuhan dan Hasil Kedelai di Tanah Ultisol. *Jurnal Agroqua*. Vol 15 (1) : 20-28.
- Noviyanto, F. 2020. *Penetapan Kadar Ketoprofen dengan Metode Spektrofotometer UV-Vis*. Bandung : Media Sains Indonesia.
- Oktaviany, H., S, Sunardi dan E. P. Laksono. 2021. Optimization of Activated Charcoal Synthesis from Sugar Palm Shells for the Adsorption of Iron Ions in Batik Waste. *CHEESA: Chemical Engineering Research Articles*. Vol 4 (2) : 109 - 118
- Pujiono, F. E., dan A. Mulyati. 2017. Potensi Karbon Aktif dari Limbah Pertanian Sebagai Material Pengolahan Air Limbah. *Jurnal Wiyata*. Vol 4 (1) : 37-45.
- Rattanapan, S., J. Srikram dan P Kongsune. 2017. Adsorption od Methyl Orange on Coffee Grounds Activated Carbon. *Journal Energy*. Vol 138 (11) : 949-954.
- Ridanti, C., Dharmono dan M. K. Riefani. 2022. Kajian Etnobotani Aren (*Arenga pinnata Merr.*) di Desa Sabuhur Kecamatan Jorong Kabupaten Tanah Laut. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Sosial*. Vol 1 (3) : 200-215.
- Ruslan, S. M., Baharuddin dan I. Taskirawati. 2018. Potensi dan Pemanfaatan Tanaman Aren (*Arenga pinnata*) dengan Pola Agroforestri di Desa Palakka, Kecamatan Barru, Kabupaten Barru. *Jurnal Perennial*. Vol 14 (1) : 24-27.
- Sahara, E., W. D. Sulihingtyas dan I. P. A. S. Mahardika. 2019. Pembuatan dan Karakterisasi Arang Aktif dari Batang Tanaman Gunitir (*Tagetes erecta*) yang Diaktivasi H₃PO₄. *Jurnal Kimia*. Vol 11 (1) : 1-9.
- Sandi, A. P dan Astuti. 2018. Pengaruh Waktu Aktivasi Menggunakan H₃PO₄ Terhadap Struktur dan Ukuran Pori Karbon Berbasis Arang Tempurung Kemiri (*Aleurites moluccana*). *Jurnal Fisika Unand*. Vol 3 (2) : 115-120.
- Sanyang, M. L., S. M. Sapuan., M. Jawaid., M. R. Ishak dan J. Sahari 2016. Effect of Sugar Palm-Derived Cellulose Reinforcement On The Mechanical and Water Barrier Properties of Sugar Palm Starch Biocomposite Films. *Journal of BioResources*. Vol 11 (2) : 4134-4145.
- Saptati, A. S dan N. F. Himma. 2018. *Perlakuan Fisiko-Kimia Limbah Cair Industri*. Malang : UB Press.
- Sari dan D. Kartika. 2019. Adsorpsi Pewarna Sintetis *Indigosol Golden Yellow* IRK Menggunakan Karbon Aktif. *Jurnal ITS*. Vol 5 (2) : 7-12.
- Savitri, A. 2016. *Tanaman Ajaib! Basmi Penyakit dengan TOGA (Tanaman Obat Keluarga)*. Depok : Bibit Publisher.
- Shamsuddin, M. S., N. R. N. Yusoff dan M. A. Sulaiman. 2016. Synthesis and Characterization of Activated Carbon Produced from Kenaf Core Fiber Using H₃PO₄ Activation. *Journal of Chemistry*. Vol 19 (3) : 558-565.
- Sholikhah, H. I., H. R. Putri dan Inayati. 2021. Pengaruh Konsentrasi Aktivator Asam Fosfat (H₃PO₄) pada Pembuatan Karbon Aktif dari Sabut Kelapa terhadap Adsorpsi Logam Kromium. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol 5 (1) : 45-50.

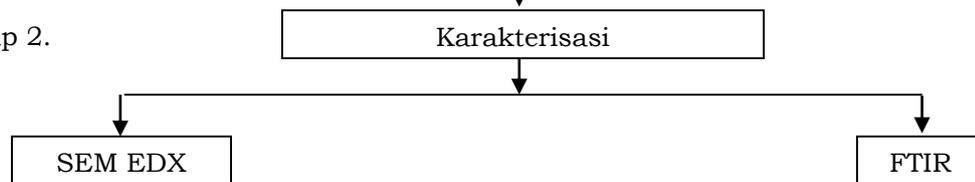
- Sitohang, R. G., N. J. R. Turnip dan A. Aditia. 2022. Optimasi Proses Adsorpsi Zat Warna Indigozol di Air Limbah Artifisial Menggunakan *Response Surface Methodology* Dengan Pendekatan *Desirability Function*. *Jurnal Rekayasa Proses*. Vol 16 (2) : 60-65.
- Srivastava, N., M. Srivastava., P. K. Mishra dan V. K. Gupta. 2021. *Green Synthesis of Nanomaterials for Bioenergy Applications*. USA : Wiley Blackwell.
- Sujarwata dan Astuti. B. 2018. *Sensor Ofet Berbasis Film Tipis untuk Deteksi Gas Beracun*. Yogyakarta : Deepublish.
- Widi, R. K. 2018. *Pemanfaatan Material Anorganik : Pengenalan dan Beberapa Inovasi di Bidang Penelitian*. Yogyakarta : Deepublish.
- Widiyastuti, D. A. 2016. Pengamatan Scanning Electron Microscope (SEM) pada Struktur dan Mineral Batuan dari Sungai Aranio Kabupaten Banjar. *Jurnal Sains dan Terapan*. Vol 4 (2) : 16-21.
- Winata, B. Y., N. K. Erliyanti., R. R. Yogaswara dan E. A. Saputro. 2020. Pra Perancangan Pabrik Karbon Aktif Tempurung Kelapa dengan Proses Aktifasi Kimia pada Kapasitas 20.000 ton/tahun. *Jurnal Teknik ITS*. Vol 9 (2) : 399-404.
- Yorgun, S dan D. Yildiz. 2018. Preparation and Characterization of Activated Carbons from Paulownia Wood by Chemical Activation with H₃PO₄. *Journal of Taiwan*. Vol 53 (4). 85-93.
- Yustinah., Hudzaifah., M. Aprilia dan Syamsudin. 2019. “Keseimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) dengan Adsorben Tanah Diatomit Secara Batch”. *Jurnal Konversi*. Vol 9(1) : 17-28.
- Zein, R., D. A. Hidayat., M. Elfia., N. Nazarudin dan E. Munaf. 2014. Sugar palm *Arenga pinnata* Merr (Magnoliophyta) fruit shell as biomaterial to remove Cr(III), Cr(VI), Cd(II) and Zn(II) from aqueous solution. *Journal of Water Supply*. Vol 63 (7) : 553–559.
- Zulichatun, S., Jumaeri dan E. Kusumastuti. 2018. Pembuatan Karbon Aktif Ampas Tahu dan Aplikasinya sebagai Adsorben Zat Warna *Crystal Violet* dan *Congo Red*. *Indonesian Journal of Chemical Science*. Vol 7 (3) : 228-235.

LAMPIRAN**Lampiran 1.** Alur Penelitian

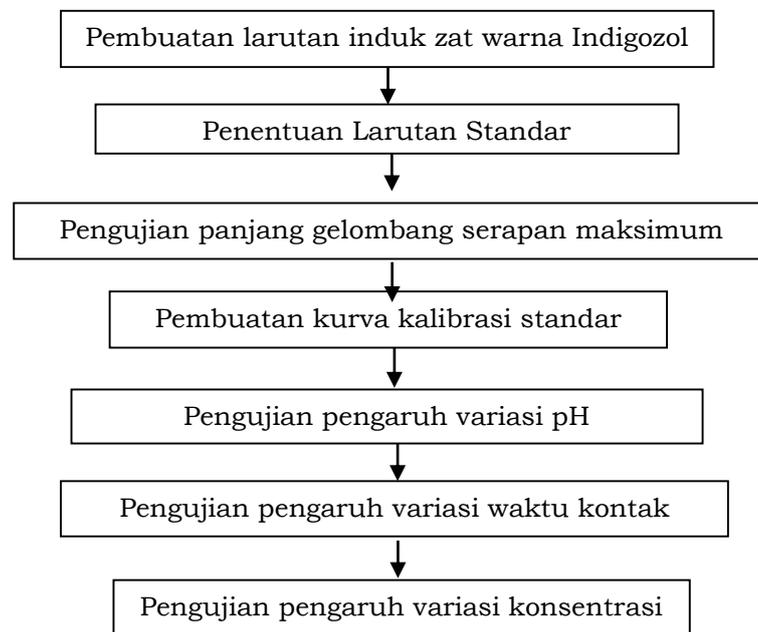
Tahap 1.



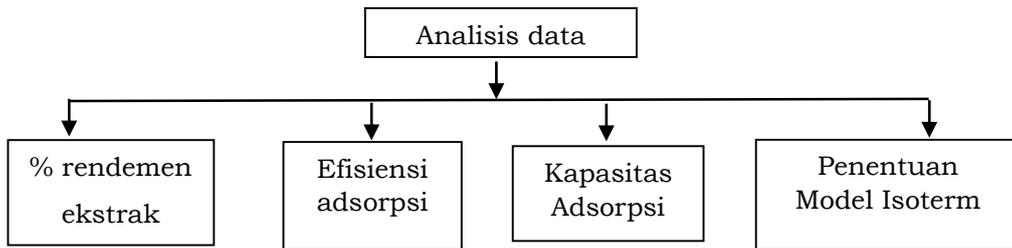
Tahap 2.



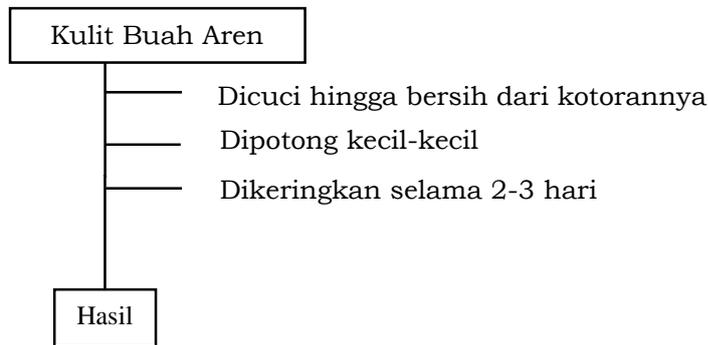
Tahap 3.



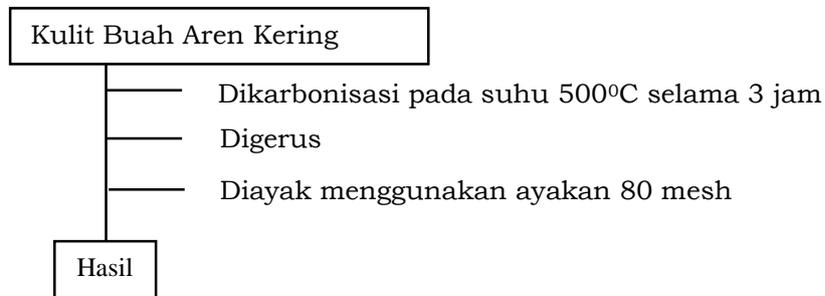
Tahap 4.



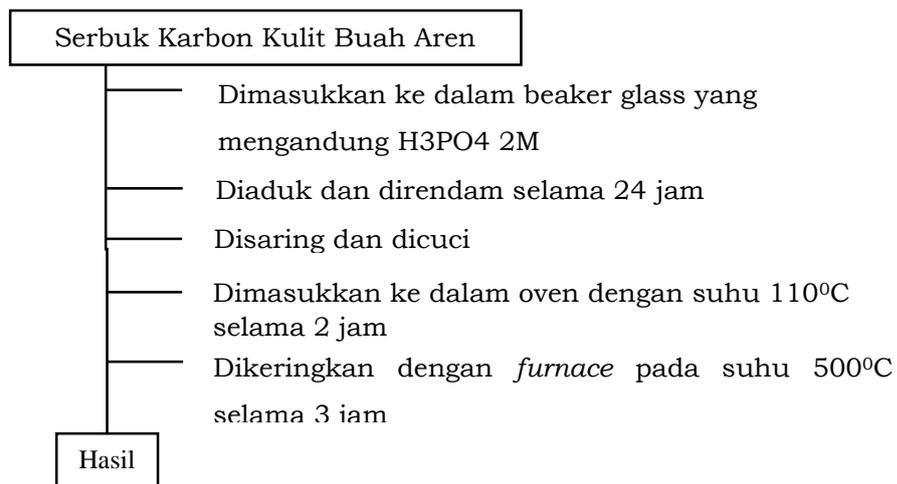
Lampiran 2. Diagram Alir Penelitian
Preparasi Sampel



Tahap Karbonisasi



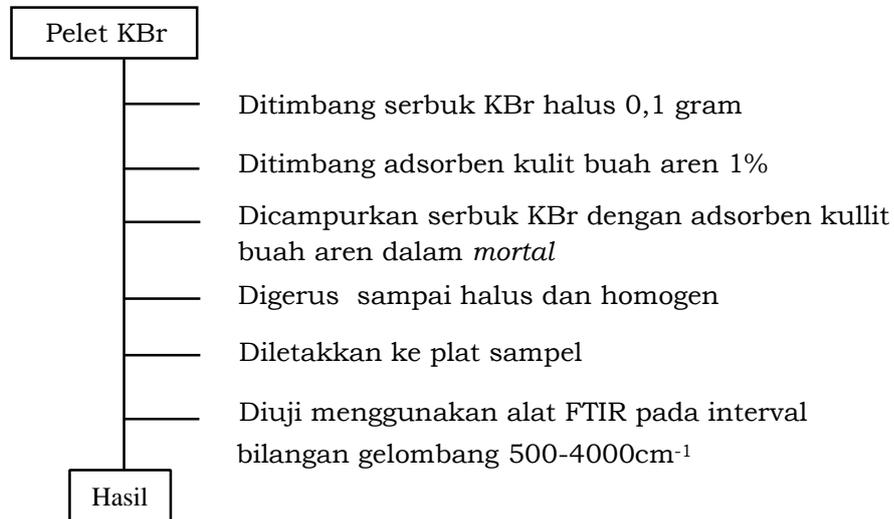
Tahap Aktivasi Kimia



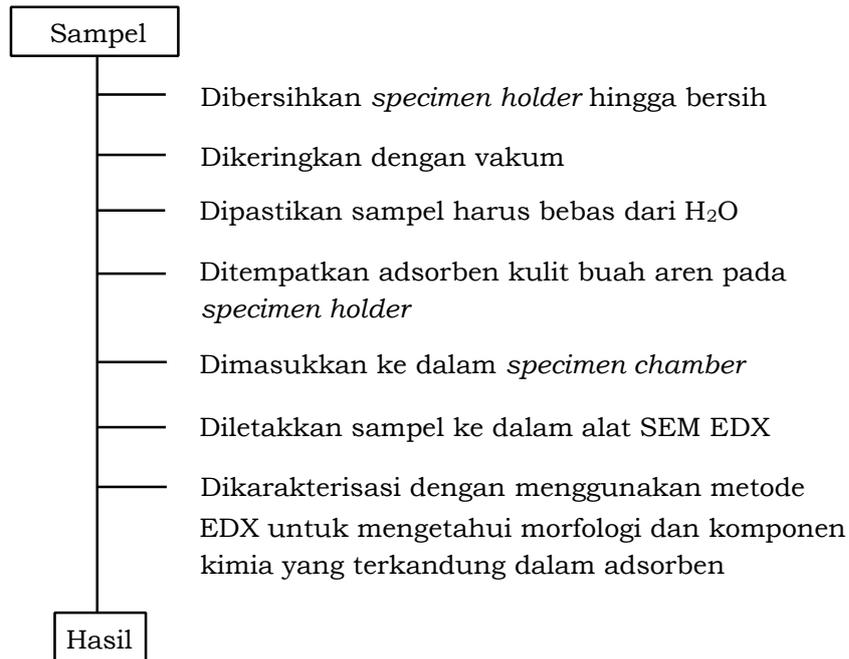
Karakterisasi Karbon Aktif

a. Menggunakan FTIR dan SEM-EDX

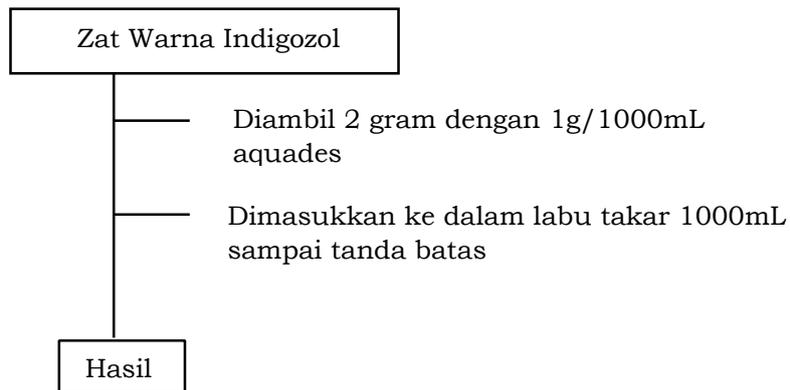
- FTIR



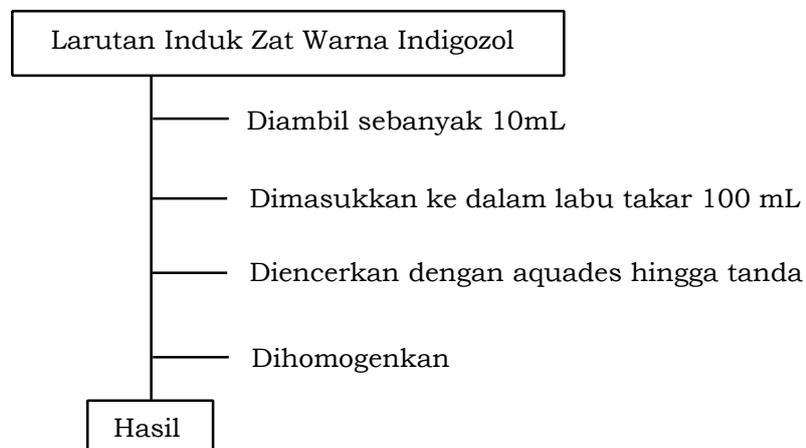
- SEM



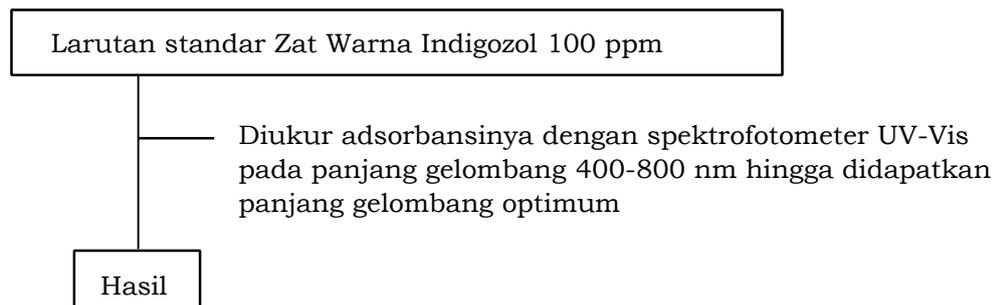
b. Pembuatan larutan Induk Zat Warna Indigozol



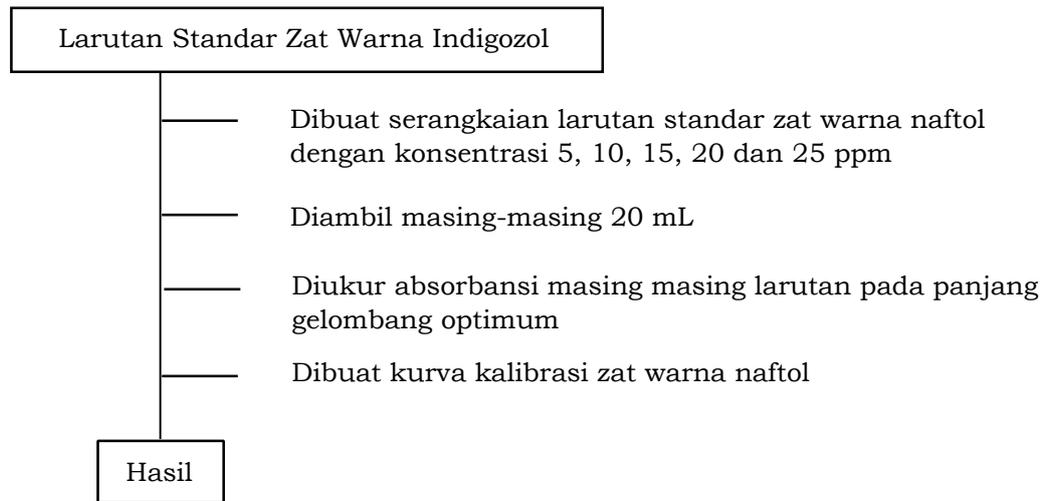
c. Pembuatan Larutan Standar Zat Warna Indigozol



d. Penentuan Panjang Gelombang Optimum

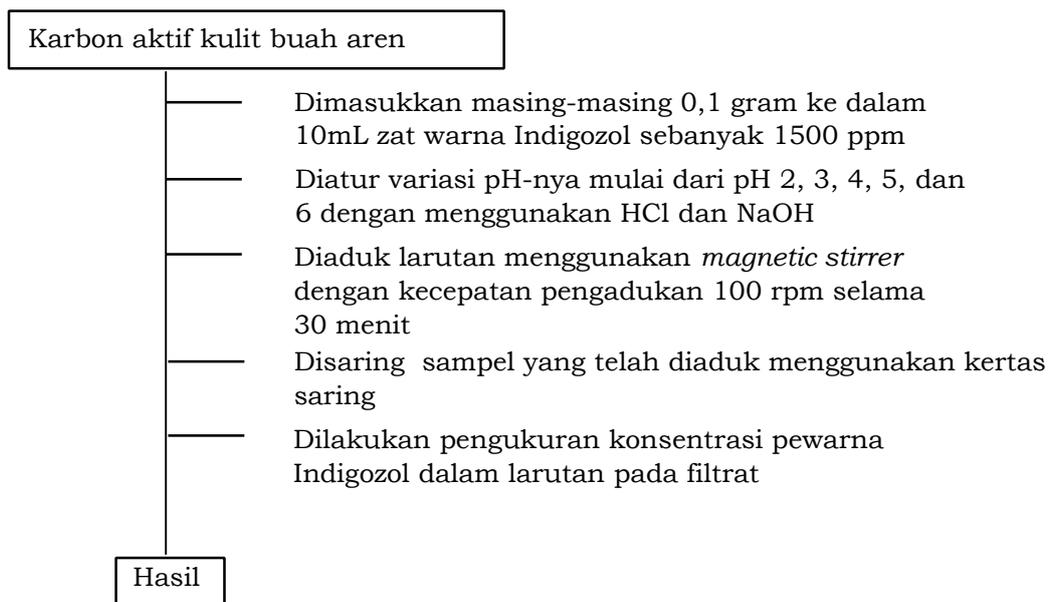


e. Pembuatan kurva kalibrasi Standar

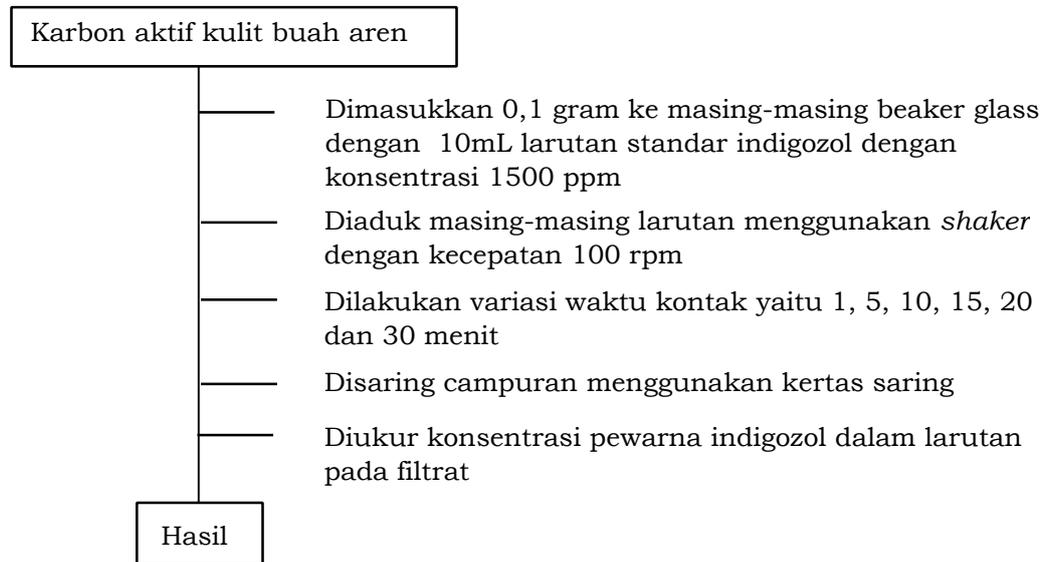


Adsorpsi

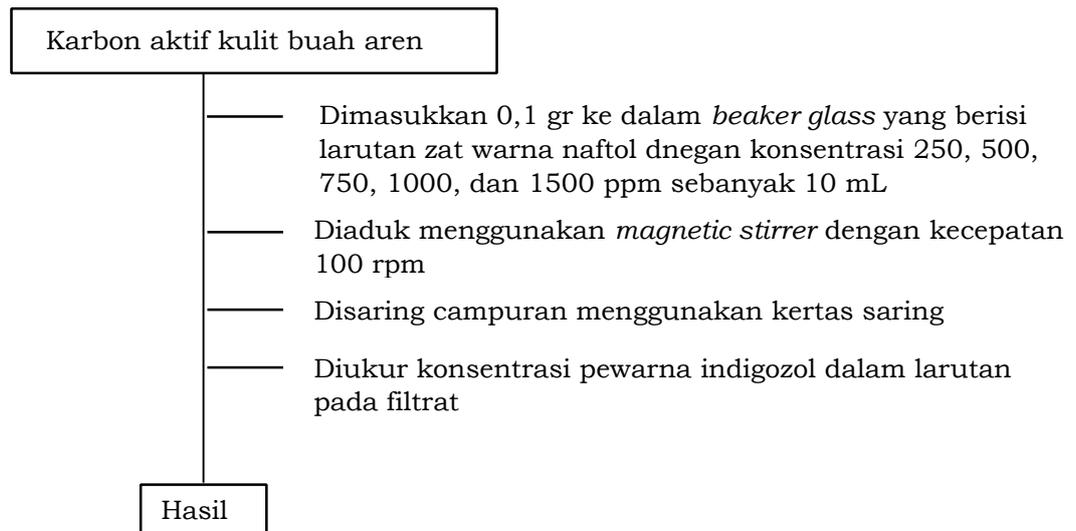
a. Penentuan Variasi pH



b. Pengaruh Variasi Waktu Kontak



c. Pengaruh Variasi Konsentrasi



Lampiran 3. Perhitungan

A. Pembuatan Larutan Indigozol 2000 ppm

Larutan induk indigozol dibuat dengan melarutkan serbuk indigozol 2 gram dengan 1000 mL aquades. Untuk pengenceran selanjutnya dilakukan pengenceran bertingkat. Dalam perhitungan berikut ini:

- Larutan Indigozol 250 ppm
 $M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$
 $2000 \text{ ppm} \times V_1 = 250 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$
 $V_1 = 12,5 \text{ mL}$
- Larutan Indigozol 500 ppm
 $M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$
 $2000 \text{ ppm} \times V_1 = 500 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$
 $V_1 = 25 \text{ mL}$
- Larutan Indigozol 750 ppm
 $M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$
 $2000 \text{ ppm} \times V_1 = 750 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$
 $V_1 = 37,5 \text{ mL}$
- Larutan Indigozol 1000 ppm
 $M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$
 $2000 \text{ ppm} \times V_1 = 1000 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$
 $V_1 = 50 \text{ mL}$
- Larutan Pb(II) 50 ppm
 $M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$
 $2000 \text{ ppm} \times V_1 = 50 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$
 $V_1 = 5 \text{ mL}$
- Larutan Indigozol 1500 ppm
 $M_1 \times V_1 = M_2 \times V_2$
 $2000 \text{ ppm} \times V_1 = 1500 \text{ ppm} \times 100 \text{ mL}$
 $V_1 = 75 \text{ mL}$

B. Nilai Efisiensi (%) dan Kapasitas Adsorpsi (mg/g) Terhadap Zat Warna Indigozol

1. Penentuan pH Optimum

pH	$C_{awal} (C_0)$ (ppm)	$C_{akhir} (C_e)$ (ppm)	Jumlah zat warna Indigozol yang terserap (ppm)	Efisiensi Adsorpsi (ϵ) (%)	Kapasitas adsorpsi (q_e) (mg/g)
2	1500	14,770	1485,23	99	148,52

3	1500	16,081	1483,91	98,9	148,39
4	1500	52,311	1447,68	96,5	144,76
5	1500	69,196	1430,8	95,3	143,08
6	1500	75,09	1424,91	94,9	142,49

Efisiensi Adsorpsi:

$$\varepsilon = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

Ket: C_o = Konsentrasi awal (ppm)

C_e = Konsentrasi akhir (ppm)

q_e = Kapasitas Adsorpsi (mg/g)

ε = Efisiensi Adsorpsi (%)

Kapasitas Adsorpsi:

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

pH 2

$$\varepsilon = \frac{1500 - 14,770}{1500} \times 100\% = \frac{1485,23}{1500} \times 100\% = 99\%$$

$$q_e = \frac{1500 - 14,770}{0,1 \text{ g}} \times 0,01 \text{ mL} = \frac{1485,23}{0,1 \text{ gr}} \times 0,01 \text{ mL} = 148,52 \text{ mg/g}$$

pH 3

$$\varepsilon = \frac{1500 - 16,081}{1500} \times 100\% = \frac{1483,91}{1500} \times 100\% = 98,9\%$$

$$q_e = \frac{1500 - 16,081}{0,1 \text{ g}} \times 0,01 \text{ mL} = \frac{1483,91}{0,1 \text{ gr}} \times 0,01 \text{ mL} = 148,39 \text{ mg/g}$$

pH 4

$$\varepsilon = \frac{1500 - 52,311}{1500} \times 100\% = \frac{1447,68}{1500} \times 100\% = 96,5\%$$

$$q_e = \frac{1500 - 52,311}{0,1 \text{ g}} \times 0,01 \text{ mL} = \frac{1447,68}{0,1 \text{ gr}} \times 0,01 \text{ mL} = 144,76 \text{ mg/g}$$

pH 5

$$\varepsilon = \frac{1500 - 69,196}{1500} \times 100\% = \frac{1430,8}{1500} \times 100\% = 95,3\%$$

$$q_e = \frac{1500 - 69,196}{0,1 \text{ g}} \times 0,01 \text{ mL} = \frac{1430,8}{0,1 \text{ gr}} \times 0,01 \text{ mL} = 143,08 \text{ mg/g}$$

pH 6

$$\varepsilon = \frac{1500 - 75,09}{1500} \times 100\% = \frac{1424,91}{1500} \times 100\% = 94,9\%$$

$$q_e = \frac{1500 - 75,09}{0,1 \text{ g}} \times 0,01 \text{ mL} = \frac{1424,91}{0,1 \text{ gr}} \times 0,01 \text{ mL} = 142,49 \text{ mg/g}$$

2. Penentuan Waktu Optimum

Waktu (menit)	$C_{awal} (C_o)$ (ppm)	$C_{akhir} (C_e)$ (ppm)	Jumlah zat warna Indigozol yang terserap (ppm)	Efisiensi Adsorpsi (ε) (%)	Kapasitas adsorpsi (q_e) (mg/g)
1	1500	89,524	1410,47	94	141,04

5	1500	80,672	1419,32	94,6	141,93
10	1500	68,868	1431,13	95,4	143,11
15	1500	114,77	1385,23	92,3	138,52
20	1500	121	1379	91,9	137,9
30	1500	123,29	1376,71	91,7	137,67

Efisiensi Adsorpsi:

Kapasitas Adsorpsi:

$$\varepsilon = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

Ket: C_o = Konsentrasi awal (ppm)

C_e = Konsentrasi akhir (ppm)

q_e = Kapasitas Adsorpsi (mg/g)

ε = Efisiensi Adsorpsi (%)

1 menit

$$\varepsilon = \frac{1500 - 89,524}{1500} \times 100\% = \frac{1410,47}{1500} \times 100\% = 94\%$$

$$q_e = \frac{1500 - 89,542}{0,1 \text{ g}} \times 0,01 \text{ mL} = \frac{1410,47}{0,1 \text{ gr}} \times 0,01 \text{ mL} = 141,04 \text{ mg/g}$$

5 menit

$$\varepsilon = \frac{1500 - 80,672}{1500} \times 100\% = \frac{1419,32}{1500} \times 100\% = 94,6\%$$

$$q_e = \frac{1500 - 80,672}{0,1 \text{ g}} \times 0,01 \text{ mL} = \frac{1419,32}{0,1 \text{ gr}} \times 0,01 \text{ mL} = 141,93 \text{ mg/g}$$

10 menit

$$\varepsilon = \frac{1500 - 68,868}{1500} \times 100\% = \frac{1431,13}{1500} \times 100\% = 95,4\%$$

$$q_e = \frac{1500 - 68,868}{0,1 \text{ g}} \times 0,01 \text{ mL} = \frac{1431,13}{0,1 \text{ gr}} \times 0,01 \text{ mL} = 143,11 \text{ mg/g}$$

15 menit

$$\varepsilon = \frac{1500 - 114,77}{1500} \times 100\% = \frac{1385,23}{1500} \times 100\% = 92,3\%$$

$$q_e = \frac{1500 - 114,77}{0,1 \text{ g}} \times 0,01 \text{ mL} = \frac{138,52}{0,1 \text{ gr}} \times 0,01 \text{ mL} = 138,52 \text{ mg/g}$$

20 menit

$$\varepsilon = \frac{1500 - 121}{1500} \times 100\% = \frac{1379}{1500} \times 100\% = 91,9\%$$

$$q_e = \frac{1500 - 121}{0,1 \text{ g}} \times 0,01 \text{ mL} = \frac{1379}{0,1 \text{ gr}} \times 0,01 \text{ mL} = 137,9 \text{ mg/g}$$

30 menit

$$\varepsilon = \frac{1500 - 123,29}{1500} \times 100\% = \frac{1376,71}{1500} \times 100\% = 91,7$$

$$q_e = \frac{1500 - 123,79}{0,1 \text{ g}} \times 0,01 \text{ mL} = \frac{1376,71}{0,1 \text{ gr}} \times 0,01 \text{ mL} = 137,67 \text{ mg/g}$$

3. Penentuan Konsentrasi Optimum

Konsentrasi (ppm)	C _{awal} (C _o) (ppm)	C _{akhir} (C _e) (ppm)	Jumlah zat warna Indigozol yang terserap (ppm)	Efisiensi Adsorpsi (ε) (%)	Kapasitas adsorpsi (q _e) (mg/g)
250	250	144,66	105,34	42,1	10,53
500	500	123,46	376,54	73,5	37,65
750	750	96,73	653,27	87	65,32
1000	1000	142,12	857,88	85,7	85,78
1500	1500	474,63	1052,37	68	102,53

Efisiensi Adsorpsi:

$$\varepsilon = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

Kapasitas Adsorpsi:

$$q_e = \frac{C_o - C_e}{m} \times V$$

Ket: C_o = Konsentrasi awal (ppm)

C_e = Konsentrasi akhir (ppm)

q_e = Kapasitas Adsorpsi (mg/g)

ε = Efisiensi Adsorpsi (%)

250 ppm

$$\varepsilon = \frac{250 - 144,66}{250} \times 100\% = \frac{105,34}{250} \times 100\% = 42,1\%$$

$$q_e = \frac{250 - 144,66}{0,1 \text{ g}} \times 0,01 \text{ mL} = \frac{105,34}{0,1 \text{ gr}} \times 0,01 \text{ mL} = 10,53 \text{ mg/g}$$

500 ppm

$$\varepsilon = \frac{500 - 123,46}{500} \times 100\% = \frac{376,54}{500} \times 100\% = 75,3\%$$

$$q_e = \frac{500 - 123,46}{0,1 \text{ g}} \times 0,01 \text{ mL} = \frac{376,54}{0,1 \text{ gr}} \times 0,01 \text{ mL} = 37,65 \text{ mg/g}$$

750 ppm

$$\varepsilon = \frac{750 - 96,73}{750} \times 100\% = \frac{653,27}{750} \times 100\% = 87\%$$

$$q_e = \frac{750 - 96,73}{0,1 \text{ g}} \times 0,01 \text{ mL} = \frac{653,27}{0,1 \text{ gr}} \times 0,01 \text{ mL} = 65,32 \text{ mg/g}$$

1000 ppm

$$\varepsilon = \frac{1000 - 142,12}{1000} \times 100\% = \frac{857,88}{1000} \times 100\% = 85,7\%$$

$$q_e = \frac{1000 - 142,12}{0,1 \text{ g}} \times 0,01 \text{ mL} = \frac{857,88}{0,1 \text{ gr}} \times 0,01 \text{ mL} = 85,78 \text{ mg/g}$$

1500 ppm

$$\varepsilon = \frac{1500 - 474,63}{1500} \times 100\% = \frac{1025,37}{1500} \times 100\% = 68\%$$

$$q_e = \frac{1500 - 474,63}{0,1 \text{ g}} \times 0,01 \text{ mL} = \frac{1025,37}{0,1 \text{ gr}} \times 0,01 \text{ mL} = 102,53 \text{ mg/g}$$

C. Penentuan Isotherm Adsorpsi

1. Penentuan Model Isotherm Adsorpsi

Co (ppm)	Ce (ppm)	Qe (mg/g)	Isotherm Langmuir		Isotherm Freundlich	
			1/Ce	1/Qe	Log Ce	Log Qe
250	103,04	10,3	0,0097	0,097	2,013	1,012
500	383,64	38,36	0,0026	0,026	2,583	1,583
750	752,57	75,25	0,0013	0,013	2,876	1,876
1000	859,98	85,99	0,0011	0,011	2,934	1,934
1500	1012,77	101,27	0,0009	0,009	3,005	2,005

Isotherm Langmuir

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{K_L Q_m} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{Q_m}$$

$$\text{Persamaan } y = 10,031x + 0,0003$$

$$r^2 = 0,9999 \text{ atau } r = 0,9999$$

Sehingga diperoleh:

$$\frac{1}{Q_m} = 0,0003$$

$$Q_m = \frac{1}{0,0003}$$

$$Q_m = 3333,33 \text{ mg/g}$$

$$\frac{1}{K_L Q_m} = 10,031$$

$$K_L = \frac{1}{3333,33 \times 10,031}$$

$$K_L = \frac{1}{33436,63}$$

$$K_L = 0,0000299 \text{ L/g}$$

Isotherm Freundlich

$$\text{Log } Q_e = \text{Log } K_f + (1/n)\text{Log } C_e$$

$$\text{Persamaan } y = 1,001x - 1,0029$$

$$r^2 = 1 \text{ atau } r = 1$$

Sehingga diperoleh:

$$\frac{1}{n} = 1,001$$

$$n = \frac{1}{1,001}$$

$$n = 0,999$$

$$\text{Log } K_f = 1,0029$$

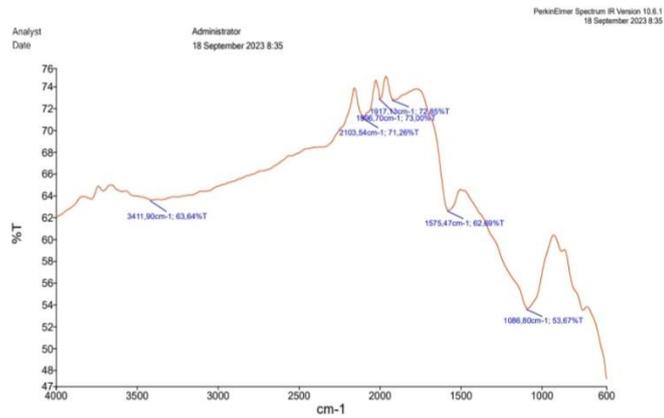
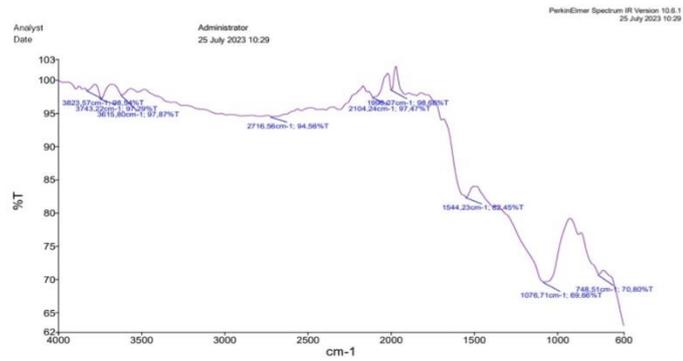
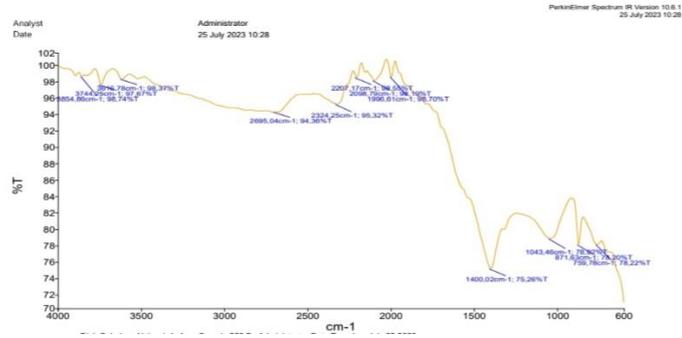
$$K_f = \text{Inv. Log } (1,0029)$$

$$K_f = 10^{1,0029}$$

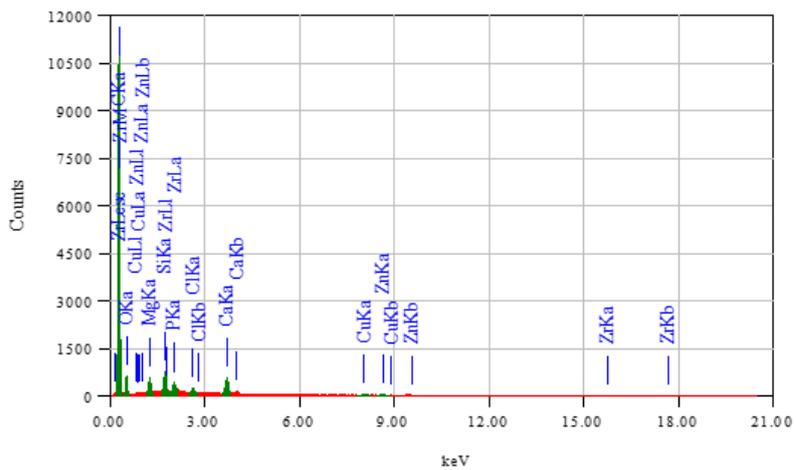
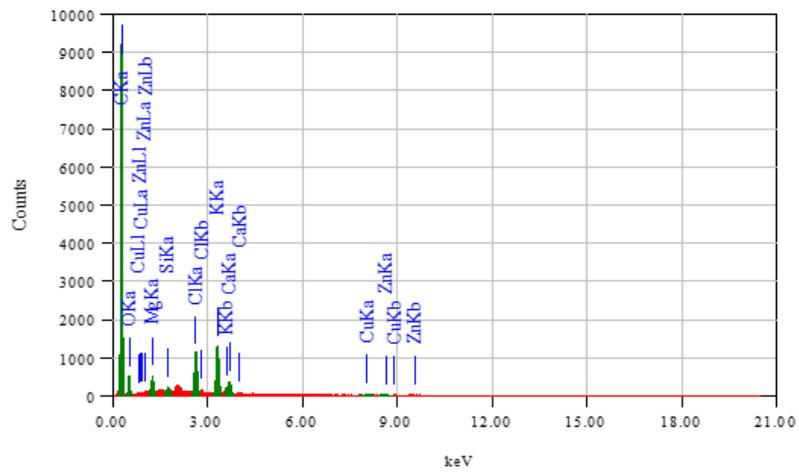
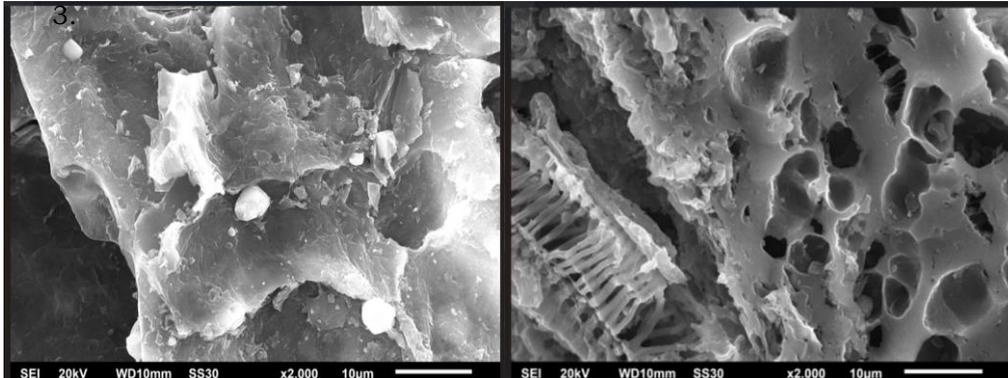
$$K_f = 10,0669 \text{ L/g}$$

Lampiran 4. Hasil karakterisasi

1. Karakterisasi FTIR



2. Karakterisasi SEM EDX



Lampiran 5. Dokumentasi



Buah Aren



Kulit Buah Aren yang sudah dikeringkan



Kulit Buah Aren yang sudah dipotong kecil



Tahap Karbonisasi



Tahap Aktivasi Kimia



Tahap Penyaringan dan Pencucian Karbon Aktif



Karbon Aktif di Furnance



Pembuatan Larutan Indigozol



Proses Adsorpsi dengan Orbital Shaker



Penyaringan Sampel



Sampel setelah diadsorpsi