

LAPORAN PENELITIAN MANDIRI



**PEMBUATAN BIOSORBEN BIJI PEPAYA (*Carica papaya*)
MENGUNAKAN AKTIVATOR ASAM SULFAT**

**PENELITI
(ANDI NURALIYAH/0920017403)**

**PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR
MAKASSAR**

HALAMAN PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : Pembuatan Biosorben Biji Pepaya (Carica papaya) Menggunakan Aktivator Asam Sulfat
2. Peneliti
 - a. Nama Lengkap : Dr. Andi Nuradiyah, ST., MT
 - b. NIDN : 0920017403
 - c. Jabatan Fungsional : Lektor
 - d. Program Studi : S1 Teknik Kimia
 - e. Alamat Institusi : Jl. Prof. Abdul Rahman Basalamah No. 101
 - f. Telpon/E-mail : 081328263640 / andi.nuradiyah@yahoo.co.id
3. Jumlah Anggota
 - a. Nama Anggota : Muhammad Ali
 - b. Nama Anggota 2 : -
4. Biaya Penelitian : -
5. Sumber Dana Penelitian : Mandiri

Makassar, 30 Maret 2022

Ketua LPPM

Universitas Fajar



LEMBAGA PENELITIAN
PENGABDIAN PADA MASYARAKAT

Dr. Habib Muhammad Shahib, SE.,M.Si.,Ak.,CA

Peneliti

Dr. Andi Nuradiyah, ST., MT

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	2
DAFTAR ISI	3
ABSTRAK.....	4
BAB I PENDAHULUAN.....	5
I.1 Latar Belakang.....	5
I.2 Rumusan Masalah	6
I.3 Tujuan Penelitian.....	6
I.4 Batasan Masalah.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
II.1 Biji Pepaya (<i>Carica papaya</i>).....	7
II.2 Biosorben	8
II.3 Proses Pembuatan Biosorben	11
II.4 Proses Aktivasi dengan Asam Sulfat	12
II.5 Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Biosorben	13
II.6 Metilen Biru	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	14
III.1 Waktu dan Tempat	14
III.2 Alat dan Bahan	14
III.3 Prosedur Penelitian	14
III.4 Diagram Alir	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	22
IV.1 Pembuatan Biosorben dari Limbah Biji Pepaya	22
IV.2 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Bilangan Iodin Biosorben pada Berbagai Konsentrasi Asam Sulfat.....	22
IV.3 Pengaruh Waktu Dan Konsentrasi Terhadap Luas Permukaan	24
Biosorben.....	24
BAB V PENUTUP.....	28
V.1 Kesimpulan	28
V.2 Saran	28
DAFTAR PUSTAKA.....	28

ABSTRAK

Limbah padat biji pepaya masih belum banyak diolah menjadi produk yang bermanfaat. Biji pepaya memiliki unsur karbohidrat yang merupakan unsur terpenting dalam pembuatan biosorben. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi terbaik dalam pembuatan biosorben dari biji pepaya menggunakan aktivator H_2SO_4 . Pada penelitian ini, biji pepaya kering dihaluskan. Selanjutnya biji pepaya diaktivasi dengan asam sulfat dengan perbandingan biosorben:asam sulfat (b:v) 1:1, dengan konsentrasi asam sulfat 12,5% dan 15% dan diaktivasi pada suhu $110^\circ C$ selama 12 jam. Setelah itu dicuci sampai pH netral dan dikeringkan dalam oven pada suhu $110^\circ C$ selama 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, dan 150 menit. Karakteristik biosorben ditentukan dengan analisis bilangan iod dan luas permukaan. Analisis bilangan iod untuk mengukur penyerapan larutan yodium oleh biosorben melalui metode titrasi. Luas permukaan diukur dengan menggunakan larutan metilen biru. Hasil penelitian menunjukkan bilangan iodin tertinggi sebesar 488,42 mg/g dicapai pada waktu pengeringan 60 menit dengan konsentrasi asam sulfat 15%, sedangkan bilangan iodin terendah 463,52 mg/g pada waktu pengeringan 30 menit pada konsentrasi asam sulfat 15%. Luas permukaan tertinggi sebesar 896,74 m^2/g untuk waktu pemanasan 60 menit dengan konsentrasi asam sulfat 15%.

Kata kunci: aktivator, biosorben, biji pepaya, bilangan iodin, luas permukaan

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Pada tahun 2019, Indonesia merupakan penghasil buah pepaya yang cukup besar yaitu 986.992,00 ton/tahun (Badan Pusat Statistik, 2019). Biji pepaya merupakan salah satu bahan limbah pertanian yang dapat digunakan sebagai biosorben dengan biaya yang sangat murah. Biji pepaya mengandung beberapa senyawa aktif, seperti alkaloid, flavonoid, antrakuinon glikosida, tanin, triterpenoid/steroid dan saponin (Pangesti dkk., 2013). Selain kandungan tersebut, biji pepaya juga mengandung 32,2 g unsur karbohidrat yang dipercaya sebagai unsur terpenting dalam biosorben (Pavan dkk., 2014), namun nilai ekonomis limbah biji pepaya tersebut masih sangat rendah. Untuk mengatasi masalah tersebut maka perlu dilakukan inovasi dengan memanfaatkan biji pepaya sebagai biosorben. Sementara konsumsi biosorben di dunia terus meningkat setiap tahunnya mencapai 530.000 ton/tahun pada tahun 2014 (Roop dkk., 2014). Salah satu pemanfaatan biosorben adalah digunakan untuk menghilangkan logam berat. Ada banyak teknik untuk menghilangkan logam berat, termasuk kontrol zat, filtrasi film, penukar partikel, ekstraksi cairan atau elektrodialisis (Sunil dkk., 2014). Meskipun demikian, teknik ini belum digunakan secara luas karena biayanya yang signifikan dan pencapaian yang rendah dalam bisnis lingkup terbatas. Memang, karena produktivitasnya yang tinggi dan biaya yang minimal (Sunil dkk., 2014). Inovasi adsorpsi merupakan salah satu strategi yang dapat menghilangkan logam substansial. Proses adsorpsi mampu memperlihatkan kemampuan suatu adsorbat agar dapat menempel pada adsorben, yaitu dengan memisahkan polutan terlarut atau mengambil kembali bahan yang memiliki nilai yang tinggi tetapi dengan jumlah yang sedikit dalam suatu campuran (Niken, 2014).

Penelitian mengenai biosorben biji papaya telah banyak dilakukan diantaranya penelitian Hameed (2009) yang memanfaatkan biosorben biji pepaya untuk penyerapan *methyl blue*. Ukuran partikel yang digunakan sebesar 60 mesh.

Kapasitas adsorpsi dengan metode Langmuir sebesar 55,557 mg/g. Penelitian lainnya memanfaatkan biosorben biji pepaya untuk penyerapan

cristal violet dilakukan oleh Pavan dkk. (2009). Diperoleh luas permukaan adsorben 1,38 m²/g dari ukuran partikel 60 mesh dan aktivator asam sulfat 98%. Sunil dkk. (2014) memperoleh luas permukaan biosorben biji pepaya untuk penyerapan larutan Pb(II) sebesar 27,5 m²/g dari ukuran partikel 60 mesh dan aktivator asam sulfat 98%.

Mempertimbangkan hal-hal di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alternatif bahan baku biji pepaya sebagai biosorben melalui metode preparasi pengeringan biji pepaya dan konsentrasi aktivator asam sulfat yang lebih rendah. Penggunaan biji pepaya sebagai biosorben diharapkan dapat meningkatkan nilai ekonomis bahan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan biji pepaya dalam pembuatan biosorben dengan pengaruh bahan kimia pengaktif dan waktu pemanasan.

I.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini yang menjadi rumusan masalah adalah:

1. Bagaimana cara pembuatan biosorben dari limbah biji pepaya?
2. Bagaimana kondisi optimum dalam proses pembuatan biosorben dari limbah biji pepaya dengan menggunakan aktivator H₂SO₄ yang memiliki daya serap maksimum terhadap biru metilen?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini yaitu untuk:

1. Mengetahui cara pembuatan biosorben dari limbah biji pepaya.
2. Mengetahui kondisi optimum dalam proses pembuatan biosorben dari limbah biji pepaya dengan menggunakan aktivator H₂SO₄ yang memiliki daya serap maksimum terhadap biru metilen.

I.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah menggunakan pepaya kampung, aktivator asam sulfat dengan konsentrasi 12.5% dan 15%. dengan waktu pemanasan 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit dan 150 menit. Biru metilen sebagai media penyerap dengan konsentrasi 200 ppm.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Biji Pepaya (*Carica papaya*)

Pepaya (*Carica papaya*) seperti pada Gambar 2.1 berasal dari Meksiko Selatan dan Amerika Tengah. Pepaya adalah bagian dari keluarga *Annonaceae*. Di Australia disebut "Pawpaw" atau nama lain dari pepaya. Tanaman pepaya biasanya tumbuh setinggi sekitar 5-10 m, dengan akar yang kokoh. Tanaman tidak memiliki ujung yang lancip tetapi memiliki cabang dan daun yang bergerigi, termasuk cabang tunggal. Tulang daunnya berbentuk jari, panjang 25-100 cm. Menurut Tijitrosoepomo (2004) tanaman pepaya (*Carica papaya*) berdasarkan sistem taksonominya adalah sebagai berikut:

- Kingdom : *Plantae*
- Divisi : *Spermatophyta*
- Class : *Dicotyledoneae*
- Ordo : *Cistales*
- Famili : *Caricaceae*
- Genus : *Carica S*
- Spesies : *Carica papaya L.*
- Nama lokal : Pepaya



Gambar 2.1. *Carica papaya*

Komposisi yang terkandung dalam biji pepaya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi biji pepaya dalam 100 gram biji pepaya

Senyawa	Berat kandungan
Protein	22,3 g
Lemak	22,3 g
Karbon total	30,5 g
Serat	17, 0 g
Abu	15,8 g
Minyak atsiri	0,09 g
Alkaloid	-
Steroid	-
Tannin	-

Unuahbonah dkk. (2009)

Pada biji pepaya kadar abu dalam setiap 100 gram biji pepaya adalah 15,8 gram. Jika abunya larut dalam air, beberapa unsur yang terkandung di dalamnya akan terlarut dan dapat dipisahkan sesuai kelarutannya dalam air. Unsur berupa oksida basa akan menjadi basa, dan unsur berupa oksida asam akan menjadi asam. Pada penelitian Falahiyah (2015), unsur abu yang efektif sebagai senyawa penyerap adalah silika (SiO_2). Senyawa SiO_2 banyak terkandung dalam berbagai macam abu tergantung pada jenis sumber abunya. Senyawa silikon dioksida (SiO_2) yang terkandung dalam abu merupakan sisi aktif karena memiliki atom oksigen (O^-) yang cukup aktif, sehingga dapat berperan sebagai adsorben. Silika memiliki struktur ikatan kovalen yang sangat besar dan dapat menampung sejumlah besar zat yang teradsorpsi.

II.2 Biosorben

Martins dkk. (2006) mengatakan, biosorpsi merupakan teknologi pengolahan limbah terbaru yang dapat menyingkirkan/menghilangkan logam berat beracun. Oleh karena itu, biosorpsi dapat dianggap sebagai teknologi alternatif yang ramah lingkungan untuk pengolahan air limbah industri dan ekonomis.

Proses biosorpsi dapat terjadi karena adanya bahan biologis yang disebut biosorben dan adanya larutan yang mengandung logam berat afinitas tinggi sehingga mudah berikatan dengan biosorben. Saat ini, penelitian tentang biosorben yang murah dan mudah sedang dipertimbangkan (Falahiyah, 2015). Fenglian dkk. (2010) mengatakan bahwa karbon aktif berpori merupakan bentuk karbon amorf dengan luas permukaan yang besar dan tingkat absorpsi yang tinggi. Luas permukaan merupakan sifat fisik terpenting dari karbon berpori, sehingga dapat digunakan sebagai bahan biosorpsi.

Biosorpsi adalah kemampuan zat bawaan untuk mengikat logam berat dalam larutan melalui tahapan metabolisme atau fisikokimia, termasuk membuang racun dari bahan yang mengandung zat berbahaya (Kurniasari, 2012). Keunggulan penggunaan bahan biosorben adalah biaya yang relatif murah, efisiensi larutan encer yang tinggi, pembentukan lumpur yang minimal dan proses regenerasi yang mudah. Penggunaan bahan mikroorganisme memiliki kelemahan yaitu mudah dipengaruhi oleh kontaminan lain dan perlu adanya perlakuan seperti penambahan nutrisi. Hal ini menyebabkan penggunaan bahan biologis alternatif seperti limbah pertanian. Selain dapat mengurangi jumlah sampah, sampah pertanian juga dapat dimanfaatkan untuk menjadikan sampah menjadi produk yang bermanfaat dan memiliki nilai jual yang tinggi (Rajeshkannan dkk., 2011).

Dalam penelitian Darmansyah (2015), adsorben dapat digolongkan menjadi 2 jenis, yaitu adsorben tidak berpori (*nonporous sorbents*) dan adsorben berpori (*porous sorbents*).

II.2.1 Biosorben tidak berpori (*nonporous sorbents*)

Biosorben non-porous dapat diperoleh dengan pengendapan sedimen kristal (seperti $BaSO_4$) atau pemurnian padatan kristal. Luas permukaan spesifiknya kecil, tidak lebih dari $10 \text{ m}^2/\text{g}$, biasanya antara $0.1\text{-}1 \text{ m}^2/\text{g}$. Biosorben tidak berpori, seperti filter karet dan karbon hitam grafit,

merupakan biosorben tidak berpori yang telah diolah secara khusus dengan luas permukaan ratusan m^2/g .

II.2.2 Biosorben berpori (*porous sorbents*)

Biosorben berpori memiliki luas permukaan spesifik mulai dari 100 hingga 1000 m^2/g , dan biasanya digunakan sebagai pendukung katalis, agen dehidrasi dan pemilih komponen. Adsorben ini umumnya berbentuk granular. Selain itu, karbon aktif memiliki klasifikasi pori, dengan masing-masing klasifikasi mempunyai fungsi tersendiri.

Secara umum ada beberapa macam klasifikasi pori (Siti, 2012) yaitu:

1. Diameter pori mikropori kurang dari 2 nm, yang merupakan daerah dimana adsorpsi utama terjadi. Volume pori 0.15 – 0.5 ml/g.
2. Diameter pori mesopori adalah 2-50 nm, yang merupakan area adsorpsi utama kedua setelah mikropori. Mesopori sering disebut sebagai pori-pori transisi atau zona transisi. Volume mesopori berkisar antara 0.02 - 10 ml/g.
3. Makropori adalah pori-pori dengan ukuran lebih dari 50 nm yang digunakan sebagai pintu masuk zat teradsorpsi untuk masuk ke dalam mikropori.

Struktur pori biosorben biasanya digabungkan antara pori mikro, mesopori dan kombinasi pori makro yang sama (Asbahani, 2013). Igwe dan Abia (2006) mengatakan struktur pori biosorben mempengaruhi perbandingan antara luas permukaan dan ukuran partikel. Struktur pori merupakan faktor utama dalam proses adsorpsi. Distribusi ukuran pori menentukan distribusi molekul yang masuk ke partikel karbon untuk adsorpsi. Baku mutu karbon aktif SNI 06-37301995 dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Standar kualitas karbon aktif menurut SNI 06-3730-1995

Uraian	Persyaratan Kualitas	
	Butiran	Serbuk
Bagian yang hilang pada pemanasan 950 °C	Maks. 15	Maks. 25
Konsentrasi air	Maks. 4.5	Maks. 15
Konsentrasi abu	Maks. 2.5	Maks. 15
Daya serap terhadap Larutan I ₂	≥760 mg/g	≥760 mg/g
Luas permukaan	300 sampai 3500 m ² /g	300 sampai 3500 m ² /g

II.3 Proses Pembuatan Biosorben

Dalam penelitian Sahira dkk. (2013), bahan yang mengandung karbon biasanya kita temui pada tumbuhan dan sebagainya, berasal dari mineral yang memiliki fiksasi karbon tinggi sehingga dapat diubah menjadi biosorben. Bahan mentah yang paling umum digunakan dalam pembuatan biosorben adalah kayu, kulit kacang, kulit berwarna tanah, batu bara, tulang, biji-bijian dan lain-lain. Pemilihan metode aktivasi juga tergantung pada bahan awal dan apakah berupa padatan ataupun suspensi, karbon yang diinginkan bubuk atau butiran, bubuk atau butiran karbon yang ideal. Dalam Jurnal Dedi dan Erin (2010) ada dua metode utama dalam pembuatan biosorben, yaitu:

1. Proses Fisika (*physical activation*)

Proses pembuatan karbon aktif menggunakan cara fisika biasanya terdiri dari dua tahap, yaitu tahap karbonisasi dimana bahan dasarnya di panaskan hingga suhu mencapai 700°C dan tahap berikutnya dengan mengalirkan uap karbon dioksida atau pemanasan pada suhu 800 - 1000°C.

2. Proses Kimia (*chemical activation*)

Dalam interaksi senyawa ini, dilakukan pencetakan bahan pengikat penting dengan bantuan bahan padat yang mengering, seperti korosif

fosfat, korosif sulfur, dll. Setelah itu pada suhu 400-800°C yang berarti membungkus karbon sebagaimana mestinya untuk mengaktifkannya. Menurut Rajeshkannan dkk. (2011), keunggulan cara aktivasi kimiawi dibandingkan dengan aktivasi fisik diantaranya adalah:

1. Dalam proses aktivasi kimia, terdapat bahan kimia aktif dalam proses preparasi, yang terbentuk selama proses karbonisasi dan proses aktivasi karbon. Metode ini biasa disebut metode aktivasi satu langkah.
2. Aktivasi kimia biasanya terjadi pada suhu yang lebih rendah daripada metode aktivasi fisik.
3. Efek agen dehidrasi dapat meningkatkan ekspansi pori dalam struktur karbon.
4. Ada lebih banyak produk yang menggunakan metode ini daripada yang diaktifkan secara fisik. Berbagai aktivator kimia telah digunakan untuk membuat karbon aktif, termasuk asam fosfat, kalium hidroksida, seng klorida, dan kalium karbonat.

II.4 Proses Aktivasi dengan Asam Sulfat

Aktivasi adalah perlakuan terhadap adsorben, yang bertujuan untuk memperluas pori-pori dan mengubah sifat kimia dan fisik adsorben, yaitu meningkatkan luas permukaan dan mempengaruhi kapasitas adsorpsi (Brady, 1999). Kapasitas adsorpsi adsorben sangat ditentukan oleh luas permukaan (porositas) dan volume pori adsorben. Sebuah adsorben dengan porositas besar memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan adsorben dengan porositas kecil. Metode aktivasi yang umum digunakan meliputi aktivasi fisik dan aktivasi kimia (Kinoshita, 1988).

Aktivasi fisika adalah proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas dan uap karbon dioksida. Metode aktivasi fisik meliputi uap air, gas CO₂, O₂ dan N₂. Fungsi dari gas-gas tersebut adalah untuk membentuk struktur rongga pada adsorben, memperluas permukaan, dan menghilangkan komponen volatil dan membuang produksi

tar atau hidrokarbonhidrokarbon pengotor pada adsorben (Sembiring dan Sinaga, 2003).

Aktivasi kimia adalah penggunaan bahan kimia untuk aktivasi (Triyana dan Sarma, 2003). Aktivasi kimia memiliki beberapa keuntungan, antara lain kebutuhan akan suhu yang lebih rendah, hasil yang lebih tinggi, dan pengendalian pori mikro (Rodenas dkk., 2003). Aktivator yang sering digunakan adalah hidroksida logam alkali, klorida, sulfat, fosfat logam alkali tanah dan asam anorganik seperti H_2SO_4 dan H_3PO_4 (Triyana dan Tuti, 2003).

Asam sulfat merupakan senyawa asam kuat yang stabil, mudah larut atau dapat berdisosiasi dalam air, sebagai *dehydrating agent*, pengoksidasi yang kuat dan memiliki banyak situs aktif (Jawad dkk., 2016). Selain itu, keunggulan H_2SO_4 sebagai pengaktif adalah waktu aktivasi yang relatif pendek, dan daya adsorpsi terhadap suatu adsorbat akan lebih baik (Jankowska, 1991). Mukhlis dkk. (2021) pada penelitiannya menyatakan bahwa kemampuan H_2SO_4 dan HCl tidak berbeda signifikan.

Dalam penelitian Dewi dkk. (2015), menyatakan bahwa kulit pisang raja yang di aktivasi dengan H_2SO_4 dapat mengurangi ion Pb(II) sebesar 16.3666 mg/g. Menurut Doroty dan Midden (2015), karbon aktif dari sekam padi yang diaktivasi dengan H_2SO_4 dapat menyerap metilen biru sebesar 66% sedangkan penelitian Fahma dan Loekitowati (2003) menggunakan aktivator H_2SO_4 pada ampas kopi dan diperoleh daya serap metilen biru sebesar 158.07 mg/g.

II.5 Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Biosorben

II.5.1 Bilangan Yodium

Nilai yodium merupakan parameter utama untuk mengukur karakteristik biosorben dan karbon aktif. Angka tersebut biasanya ditulis dalam mg/g. Angka ini mengukur kandungan pori dengan menyerap iodium dari larutan (Itodo dkk., 2010). Yodium merupakan indikator tingkat keefektifannya (Verla dkk., 2012). Jumlah yodium yang terserap pada

biosorben merupakan dasar untuk menilai sifat biosorben. Sesuai SNI 06-3730-1995, nilai standar yodium adalah ≥ 760 mg/g. Semakin besar nilai yodium yang diberikan, semakin kuat kapasitas adsorbat atau zat terlarutnya. Salah satu strategi untuk membedah batas konsumsi yodium dalam biosorben adalah dengan menggunakan titrasi iodometri (Alfiyani dkk., 2013).

Kapasitas biosorben untuk menyerap senyawa yodium menunjukkan kemampuan biosorben tersebut untuk mempertahankan bagian dengan berat atom rendah. Yodium adalah senyawa yang sedikit larut di udara dan senyawa nonpolar. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara adsorpsi campuran nonpolar oleh adsorben dan biosorben dengan memperkirakan batas adsorpsi susunan yodium (Siti, 2012).

Yodium merupakan senyawa dengan tekanan asap yang tinggi, sehingga efektif lenyap pada suhu kamar. Dalam siklus adsorpsi, yodium diadsorpsi dan dikonsumsi oleh karbon yang digerakkan atau biosorben yang disesuaikan dalam tahap kuat. Interaksi adsorpsi terjadi karena kekuatan antarmolekul yang lebih penting atau daya tarik yang umumnya lemah antara adsorbat dan permukaan biosorben termasuk kekuatan *van der Waals* dan penahan hidrogen (Siti, 2012).

Siklus adsorpsi dimulai ketika partikel adsorbat dalam susunan yodium berdifusi melalui lapisan batas ke permukaan luar biosorben yang dikenal sebagai dispersi luar. Pada saat itu, adsorbat berada di luar biosorben dan sebagian besar berdifusi lebih lanjut di pori-pori biosorben yang disebut diseminasi ke dalam. Jika batas adsorpsinya masih sangat besar maka akan teradsorpsi dan melekat pada permukaan (Ramadhani dkk., 2015).

Pada proses titrasi iodine dengan natrium tiosulfat akan terjadi reaksi seperti berikut:



Jumlah yodium dalam biosorben ditentukan oleh reaksi redoks. Reaksi redoks adalah reaksi oksidasi-reduksi di mana oksidasi adalah setiap perubahan kimia di mana peningkatan bilangan oksidasi dikaitkan dengan hilangnya elektron, sedangkan reduksi digunakan untuk setiap penurunan jumlah oksidasi dengan perolehan elektron (Mugiyono, 2010).

II.5.2 Luas Permukaan Biosorben

Jumlah partikel teradsorpsi meningkat dengan luas permukaan dan volume pori biosorben. Dalam interaksi adsorpsi, biosorben sering diperlakukan terlebih dahulu untuk meningkatkan luas permukaannya, karena luas permukaan biosorben merupakan salah satu sifat utama yang mempengaruhi proses adsorpsi. Semakin besar wilayah permukaan biosorben maka batas adsorpsinya semakin menonjol. Ukuran molekul dan wilayah permukaan penting dalam biosorben. Ukuran partikel tidak terlalu mempengaruhi luas permukaan total sebagian besar meliputi pori-pori partikel karbon (Abedi dkk., 2010). Ukuran molekul tidak terlalu mempengaruhi wilayah permukaan absolut yang sebagian besar menutupi poripori partikel. Daerah permukaan biosorben biasanya 300-3000 m²/g, yang sebanding dengan desain pori biosorben. Struktur pori membuat ukuran atom yang teradsorpsi menjadi terbatas, sedangkan ukuran molekulnya tidak signifikan, dan ukuran bahan yang dikonsumsi oleh bagian luar permukaan biosorben (Ashraf, 2010).

II.6 Metilen Biru

Metilen biru adalah suatu senyawa kimia aromatik, yang memiliki rumus kimia C₁₆H₁₈N₃SCl. Senyawa metilen biru banyak digunakan pada bidang biologi dan kimia. Metilen biru memiliki sifat fisik yang tak berbau, berbentuk padatan pada suhu ruangan, berwarna hijau tua saat berbentuk serbuk dan berwarna biru tua jika dilarutkan pada air, massa molar sebesar 319,85 g/mol, titik lebur 100-110°C dan titik didih terdekomposisi (Wikipedia, 2021).

Metilen biru merupakan parameter yang menentukan kemampuan adsorben untuk menyerap makromolekul. Uji metilen biru menunjukkan

jumlah relatif makropori yang terkandung dalam adsorben (Saragih, 2008). Metilen biru yang memiliki warna komplementer dalam bentuk biru memiliki spektrum pada rentang panjang gelombang tampak, yaitu antara 500-700 nm, sehingga dalam menentukan panjang gelombang maksimum, gunakan rentang dalam rentang panjang gelombang (Day and Underwood, 2002). Dalam penelitian Dandri (2017), UV-Vis digunakan untuk mengukur absorbansi metilen biru pada panjang gelombang 664 nm, yang konsisten dengan puncak serapan maksimum metilen biru.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Fakultas Teknik Universitas Fajar, Laboratorium Terpadu Jurusan Kimia F.MIPA Universitas Hasanuddin, dan Laboratorium Kimia SMK-SMAK Makassar. Penelitian ini dilaksanakan selama lebih kurang 3 bulan.

III.2 Alat dan Bahan

III.2.1 Alat

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah erlenmeyer, timbangan digital, gelas ukur, buret, pipet tetes, ayakan 60 *mesh*, kertas whatman No.1, corong gelas, batang pengaduk, spatula, *blender*, *beaker glass*, statif dan klem, oven, spektrofotometer ultra violet-tampak dan *magnetic stirrer*.

III.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji pepaya (*Carica papaya*), asam sulfat (H_2SO_4), aquadest, iodine 0,0911 N, natrium tiosulfat ($Na_2S_2O_3$) 0,0930 N, metilen biru dan indikator kanji 1%.

III.3 Prosedur Penelitian

III.3.1 Pembuatan Biosorben Biji Pepaya

Pada penelitian ini proses pembuatan biosorben biji pepaya dilakukan sesuai dengan penelitian Hameed (2009). Adapun proses pembuatan biosorbennya sebagai berikut :

1. Mencuci biji pepaya dengan air dan mengeringkannya di bawah sinar matahari selama 48 jam.
2. Menghaluskan biji pepaya dengan *blender* hingga berbentuk serbuk dan mengayak dengan menggunakan saringan berukuran 60 *mesh*.
3. Mengaktifkan serbuk biji pepaya dengan larutan asam sulfat (H_2SO_4) 12.5% dengan rasio biosorben: asam sulfat (b/v) yaitu 1:1 (b/v) dan memanaskannya pada suhu $110^{\circ}C$ selama 12 jam.

4. Setelah dingin, dilanjutkan dengan mencucinya beberapa kali menggunakan air untuk menghilangkan pengotor terlarut sampai pH netral.
5. Menyaring serbuk biji pepaya dengan kertas whatman No.1, kemudian memasukkan serbuk biji pepaya ke dalam oven pada suhu 110° C selama 30 menit.
6. Hasil pengovenan berupa biosorben, dan mendinginkannya di dalam desikator selama 30 menit kemudian dilanjutkan dengan analisis.
7. Mengulangi prosedur untuk konsentrasi aktivator 15% serta waktu pemanasan 60 menit, 90 menit, 120 menit dan 150 menit.

III.3.2 Prosedur Analisa Penelitian

III.3.2.1 Penentuan Bilangan Iodin pada Biosorben

Adapun proses penentuan bilangan iodin berdasarkan ASTM: *American Oil Chemistry Society* (1999) adalah sebagai berikut:

1. Menimbang 1 gram biosorben biji pepaya yang telah dikeringkan dalam desikator.
2. Selanjutnya menambahkan 50 mL larutan iodin 0.1 N dan mengaduknya dengan magnetic stirer selama 15 menit.
3. Menyaring dan mengambil sebanyak 10 mL filtrat. Menitrasi dengan larutan Na₂S₂O₃ 0.1 N sampai warna kuning berkurang.
4. Selanjutnya menambahkan beberapa tetes indikator amilum 1% dan mentitrasi kembali sampai larutan berwarna bening.
5. Mencatat volume Na₂S₂O₃ 0.1 N yang terpakai.

Persamaan bilangan iodin dihitung menggunakan persamaan III.1.

$$\text{Bilangan Iodin } \left(\frac{mg}{g}\right) = \frac{10 - \frac{V \times N1}{N2}}{W2} \times W_1 \times fp \quad (III.1)$$

Dimana,

V = volume natrium tiosulfat yang diperlukan (mL)

N1 = normalitas natrium tiosulfat (N)

N2 = normalitas iodin (0.1 N)

W1 = jumlah iodine untuk setiap 1 ml larutan natrium tiosulfat 0.1 N
(12.69 mg/mL)

W2 = massa sampel (g)

Fp = faktor pengenceran (5)

III.3.2.2 Penentuan Luas Permukaan Biosorben

Adapun proses penentuan luas permukaan biosorben (Unuahbonah et al., 2009) adalah sebagai berikut:

1. Menambahkan sebanyak 0,5 gram biosorben biji pepaya ke dalam 25 mL larutan metilen biru 200 ppm.
2. Mengaduk larutan tersebut selama 2 jam dengan kecepatan pengaduk 180 rpm.
3. Menyaring hasil pengadukan dengan menggunakan kertas saring.
4. Mengukur absorbansi filtratnya dengan menggunakan Spektrofotometer Ultra Violet-Tampak.
5. Hasil pengukuran akan berupa konsentrasi dari filtratnya.
6. Berat teradsorpsi maksimum dan memasukkan ke dalam rumus.

Persamaan luas permukaan biosorben dihitung menggunakan persamaan III.2.

$$S = \frac{Xm \cdot N \cdot a}{Mr} \quad (III.2)$$

Keterangan:

S = luas permukaan adsorben (m^2/g)

N = bilangan Avogadro ($6,02214 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$)

Xm = berat adsorbat teradsorpsi (g/g)

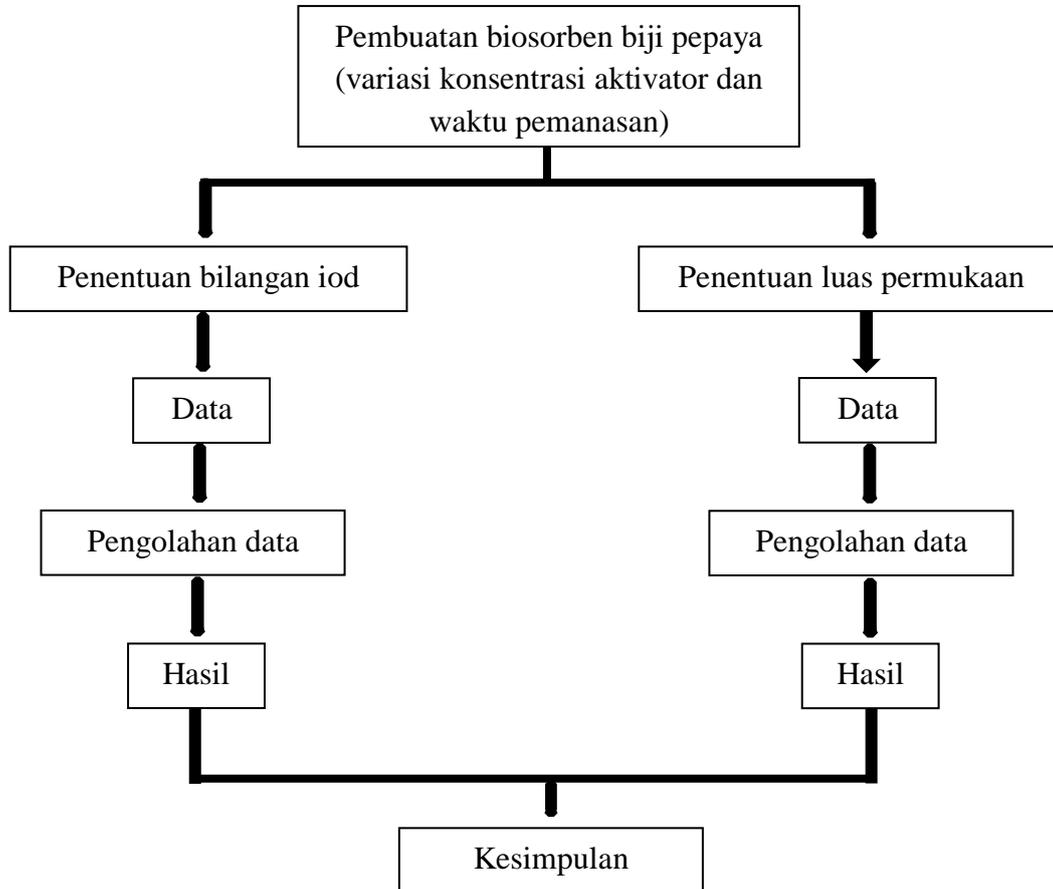
a = luas penutupan oleh 1 molekul metilen biru ($197 \times 10^{-20} m^2$)

Mr = massa molekul relatif metilen biru (320.5 g/mol)

III.4 Diagram Alir

III.4.1 Diagram Alir Keseluruhan

Adapun diagram alir keseluruhan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.

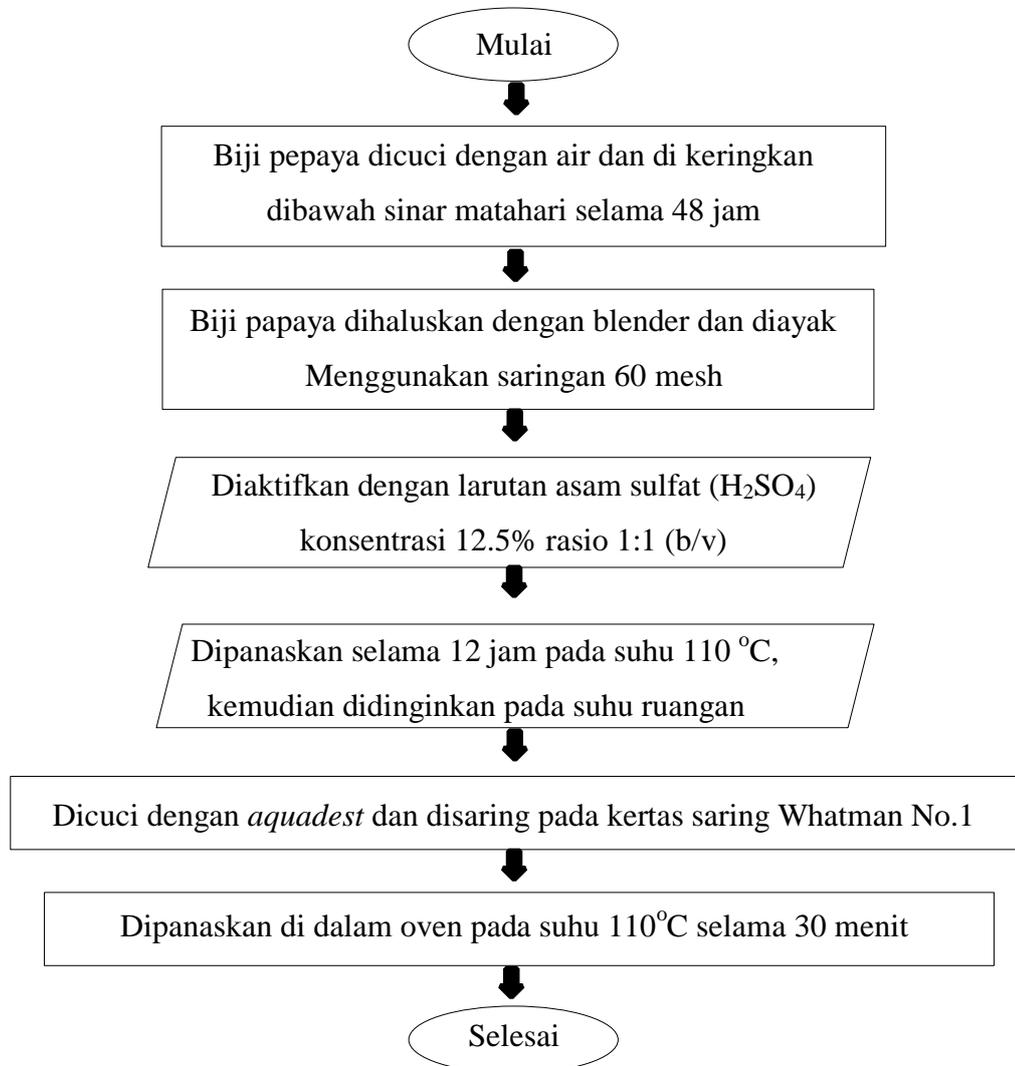


Gambar 3.1 Diagram keseluruhan penelitian

III.4.2 Diagram Penelitian

III.4.2.1 Pembuatan Biosorben Biji Pepaya

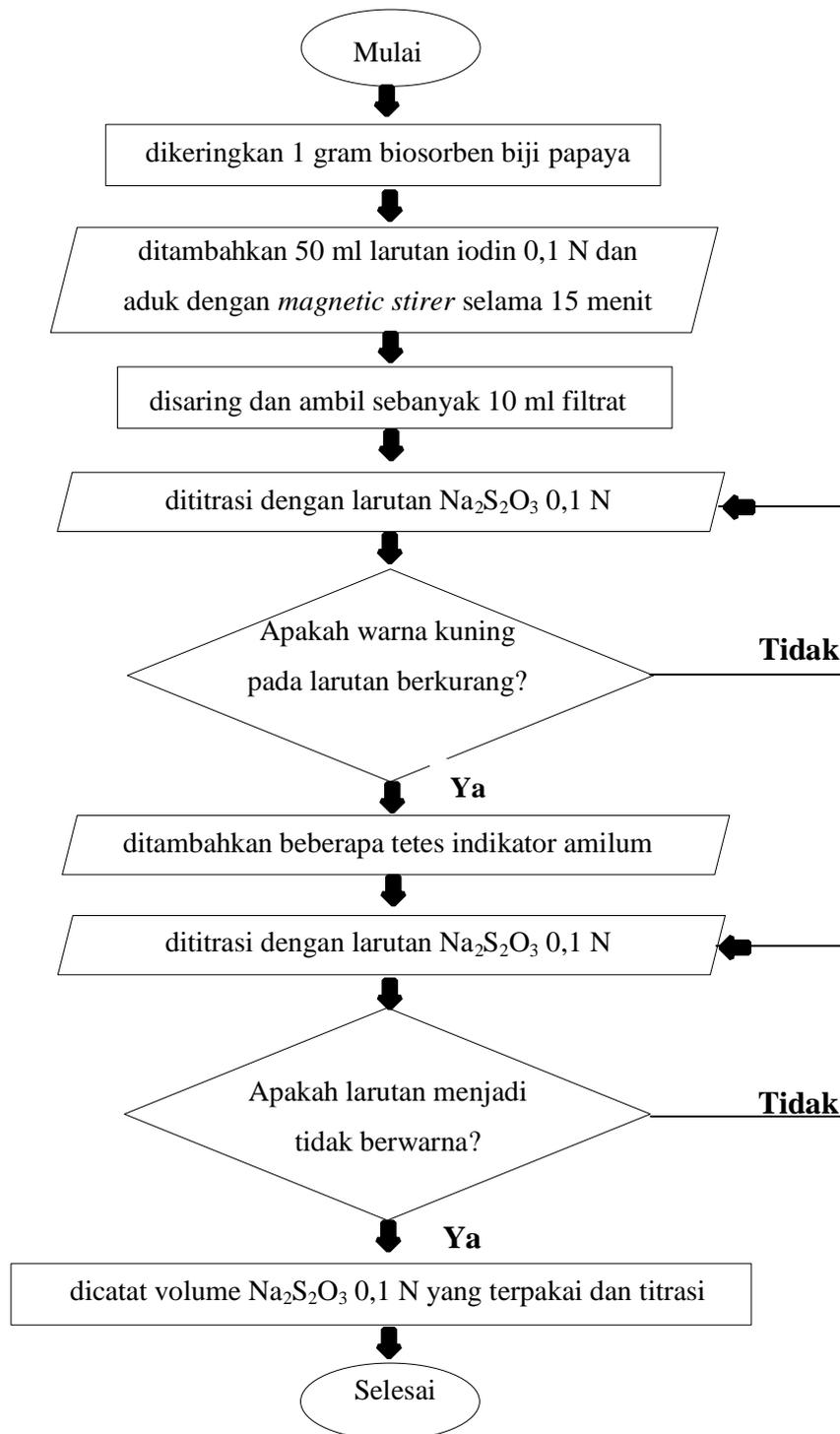
Adapun diagram alir pada pembuatan biosorben biji pepaya dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Pembuatan Biosorben Biji Pepaya

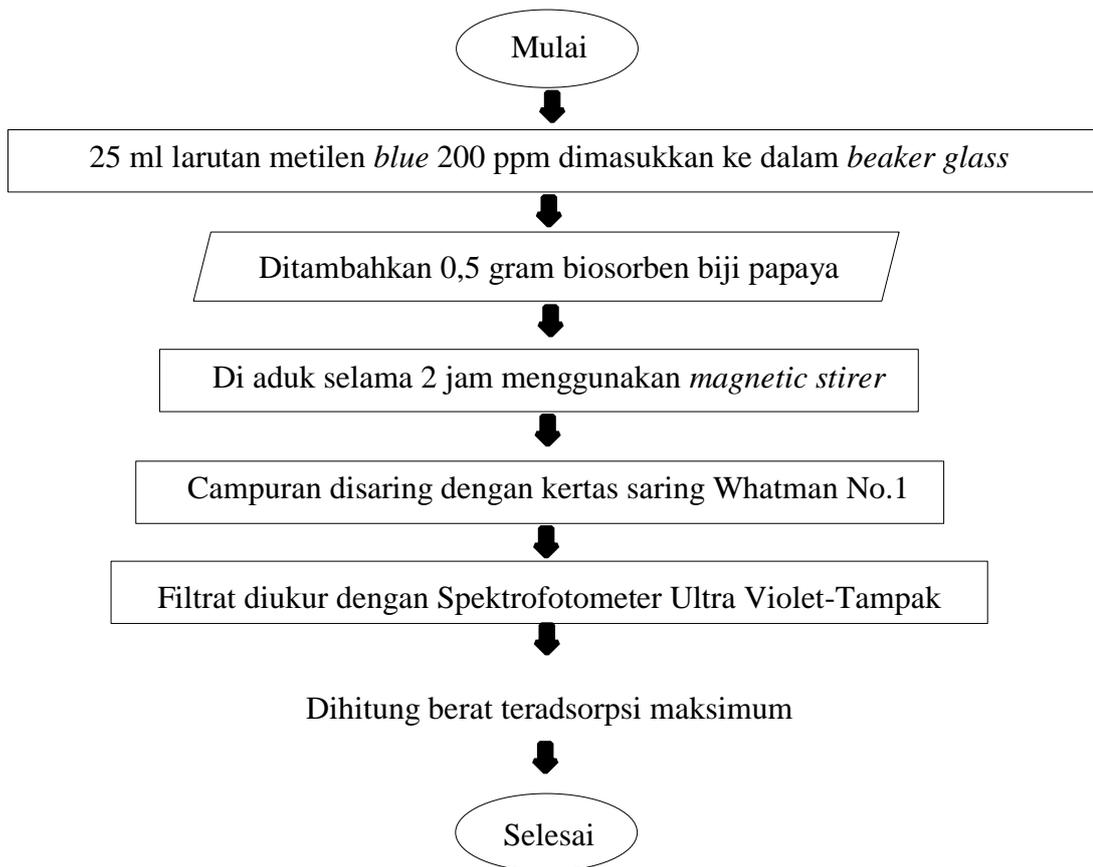
III.4.2.2 Penentuan Bilangan Iodin pada Biosorben

Adapun diagram alir pada penentuan bilangan iodin pada biosorben dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram Analisa Bilangan Iodin pada Biosorben
III.4.2.3 Penentuan Luas Permukaan Biosorben

Adapun diagram alir pada penentuan luas permukaan biosorben dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Diagram Penentuan Luas Permukaan Biosorben

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Pembuatan Biosorben dari Limbah Biji Pepaya

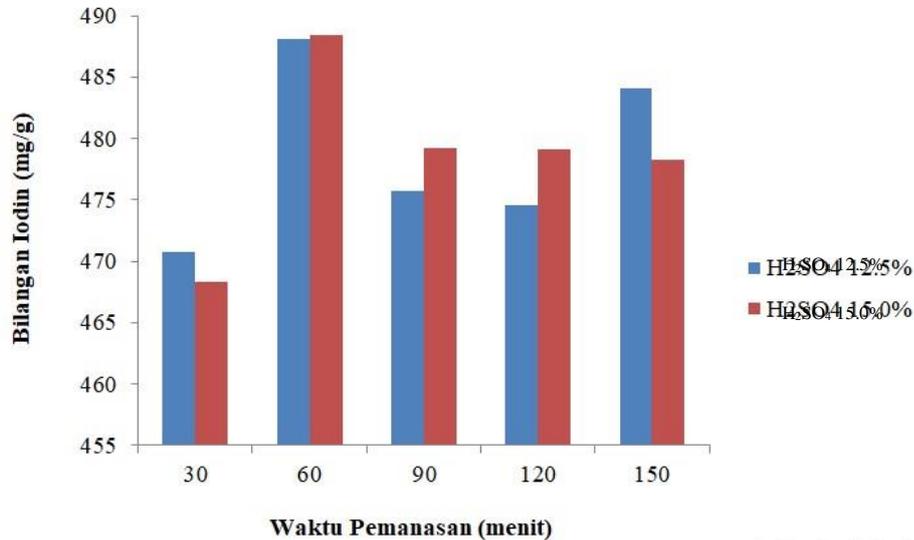
Pada penelitian ini biosorben limbah biji pepaya diaktivasi secara kimia dengan aktivator asam sulfat (H_2SO_4) pada suhu $110^\circ C$ selama 12 jam, dan perbandingan biosorben:asam sulfat adalah 1:1 (b/v), konsentrasi asam sulfat adalah 12,5% dan 15%, dan waktu pemanasan dalam oven adalah 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit dan 150 menit. Menurut Nuryono (2002), penambahan konsentrasi asam yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan struktur biji pepaya. Siklosan (Si-O-Si) berubah menjadi silanol (-Si-OH) yang merupakan gugus aktif untuk berinteraksi dengan adsorbat. Hasil penelitian Dandri (2017) menyatakan bahwa penambahan aktivator asam sulfat kurang dari 10% tidak menyebabkan perubahan gugus fungsi pada biosorben biji pepaya. Pada penelitian ini, tidak dilakukan analisa FTIR sehingga tidak dapat dipastikan ada tidaknya perubahan gugus fungsi yang terjadi setelah proses aktivasi dengan asam sulfat.

Asam sulfat merupakan senyawa asam kuat yang stabil, mudah larut atau dapat berdisosiasi dalam air, sebagai *dehydrating agent*, pengoksidasi yang kuat dan memiliki banyak situs aktif (Jawad dkk., 2016). Selain itu, penggunaan bahan-bahan mineral seperti H_2SO_4 sebagai pengaktif adalah waktu aktivasi yang relatif pendek, dan daya adsorpsi terhadap suatu adsorbat akan lebih baik (Jankowska, 1991). Sebelum dan setelah diaktivasi, dilakukan analisa bilangan iodin terhadap biosorben (mg I_2/g biosorben). Bilangan iodin sebelum diaktivasi adalah 463.52 mg/g.

IV.2 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Bilangan Iodin Biosorben pada Berbagai Konsentrasi Asam Sulfat

Bilangan iodium merupakan parameter yang digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi suatu biosorben. Nilai yodium dapat digunakan sebagai perkiraan luas permukaan dan mikropori biosorben presisi tinggi (Shamala, 2010). Penyerapan yodium oleh biosorben terkait dengan karakteristik porositasnya ketika mengukur aksesibilitasnya ke molekul. Bilangan iodium dinyatakan dalam mg/g. Porositas diukur pada 1,0-1,5 nm. Nilai yodium yang rendah dapat diperkirakan memiliki struktur pori karbon kurang dari 1,0 nm (Srisa, 2014). Pada penelitian ini, dari berbagai perubahan waktu pemanasan dalam oven dan perbandingan konsentrasi aktivator tertentu

dinyatakan dalam bilangan iod (mg/g), yaitu jumlah miligram iod yang dapat diserap, kapasitas adsorpsi yang terbaik biosorben dapat dilihat pada diagram pada Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4.1 Pengaruh Waktu Pemanasan terhadap Bilangan Iodin Biosorben pada berbagai Rasio Konsentrasi Asam sulfat

Gambar 4.1 diatas dapat dilihat bahwa grafik bersifat fluktuatif. Bilangan iod tertinggi berada pada waktu pemanasan 60 menit untuk konsentrasi asam sulfat 15% sebesar 488.42 mg/g dan terendah pada waktu pemanasan 30 menit pada konsentrasi asam sulfat 15%. Namun pada 90 menit, 120 menit, dan 150 menit, bilangan iod menurun untuk setiap konsentrasi asam sulfat. Hal ini dapat terjadi karena beberapa sebab. Pertama, biosorben yang telah diaktivasi dengan asam sulfat selama 12 jam, seiring bertambahnya waktu aktivasi volume asam sulfat semakin berkurang sehingga mejadi kering. Hal ini menyebabkan ukuran partikel yang awalnya seragam yaitu 60 mesh menjadi tak seragam yang otomatis membuat penyerapan iodin juga tidak seragam. Hal ini sesuai dengan hasil Afrianita dkk. (2013) yang menyatakan bahwa kapasitas penyerapan pada proses adsorpsi tergantung area permukaan yang tersedia untuk interaksi antara larutan dengan permukaan. Dengan kata lain penyerapan dari material yang mempunyai ukuran partikel lebih kecil dapat mengadsorpsi substansi lebih banyak bila dibandingkan dengan partikel berukuran lebih besar.

Kedua waktu kontak antara adsorben dan larutan iod yang tidak maksimal. Selama proses kontak adsorben dan larutan iod, *magnetic stirrer* yang digunakan memiliki performa yang kurang baik, proses pengadukan kadang terhenti sehingga proses penyerapan iodin terganggu dan tidak konstan. Hal ini memungkinkan waktu kontak yang harusnya 15 menit (menggunakan *stopwatch*) menjadi kurang atau lebih dari 15 menit yang menyebabkan waktu kontak tidak seragam. Menurut Gia dkk. (2015) dalam jurnalnya, waktu kontak pada proses adsorpsi memiliki kemampuan penyerapan yang akan meningkat sampai batas tertentu dan setelahnya konstan.

Dari penelitian ini, kondisi optimum yang memiliki nilai iod tertinggi adalah pada pemanasan 60 menit, yaitu 488.42 mg/g dengan konsentrasi asam sulfat 15%.

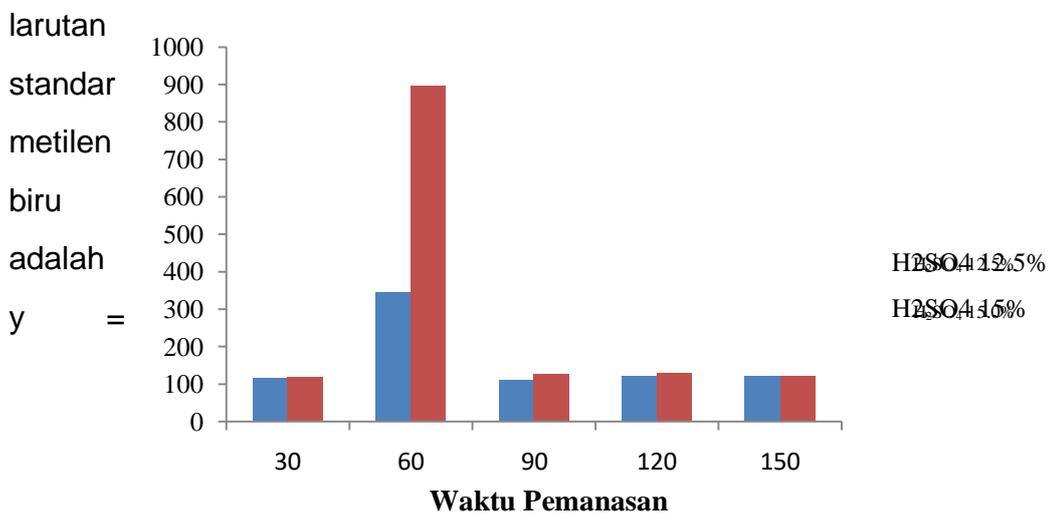
IV.3 Pengaruh Waktu Dan Konsentrasi Terhadap Luas Permukaan Biosorben

Luas permukaan biosorben merupakan salah satu sifat fisik yang penting, dan hal ini berhubungan langsung dengan kapasitas adsorpsi biosorben terhadap zat yang teradsorpsi (Jun dkk., 2010). Luas permukaan diukur dari satu lapisan standar adsorbat, kemudian nilainya diperoleh dari kerapatan adsorbat dan ukuran molekul (Divya dkk., 2013). Semakin besar luas permukaan biosorben maka semakin besar luas kontak yang diberikannya, sehingga lebih banyak menyerap zat yang teradsorpsi, dan proses adsorpsi semakin efektif (Harry, 2006). Beberapa karbon aktif memiliki struktur mesopori yang dapat mengadsorpsi molekul berukuran sedang (Lina, 2012). Mesopori akan terbentuk dengan terbentuknya pori mikro yang dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi terutama untuk adsorbat dengan molekul yang lebih besar (Jun dkk., 2010).

Dalam penelitian ini, metilen biru dipilih karena diketahui kekuatan adsorpsi padat dan kegunaannya untuk mengkarakterisasi adsorpsi bahan (Hamid dkk., 2013). Metilen biru merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui kemampuan suatu biosorben dalam menyerap molekul besar. Ukuran penyerapan metilen biru menggambarkan molekul yang teradsorpsi oleh biosorben dengan ukuran 15 Amstrong. Uji metilen biru menunjukkan jumlah relatif makropori yang terkandung dalam biosorben (Siti, 2012).

Untuk menentukan luas permukaan biosorben biji pepaya, terlebih dahulu digunakan spektrofotometer ultraviolet tampak untuk menentukan panjang gelombang maksimum larutan metilen biru. Dalam larutan biru metilen dengan konsentrasi 200 ppm, panjang gelombang maksimum adalah 664 nm, yang sesuai dengan penyerapan maksimum. Kemudian, spektrofotometer tampak ultraviolet digunakan untuk mengukur absorbansi larutan standar metilen biru yang memiliki konsentrasi 40 ppm sampai 200 ppm pada panjang gelombang maksimum untuk membuat kurva standar metilen biru. Berdasarkan data absorbansi berbagai konsentrasi larutan metilen biru menurut hukum *Lambert Beer*, dibuat kurva antara konsentrasi larutan metilen biru dengan absorbansinya.

Berdasarkan data dan perhitungan, persamaan regresi linier untuk



Luas Permukaan (m^2/g) = $0,00244x + 3,82622$ dengan nilai $R^2 = 0,96860$. Nilai R^2 yang diperoleh mendekati 1, maka dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien korelasi layak, yaitu titik-titik kurva kalibrasi mendekati kemiringan.

Proses adsorpsi dilakukan secara *batch*. ■

Dengan menggunakan kurva standar metilen biru, ■

absorbansi pada konsentrasi yang berbeda dari larutan diperoleh. Konsentrasi metilen biru yang teradsorpsi digunakan untuk menghitung luas biosorben.

Gambar 4.3 Pengaruh Waktu dan Konsentrasi Aktivator Terhadap Luas Permukaan Biosorben

Pada Gambar 4.3 diatas dapat dilihat pada waktu 60 menit pada konsentrasi 15% luas permukaan yang dihasilkan sebesar 896.74 m²/g. Pemanasan 60 menit dengan konsentrasi aktivator 15% sangat berbeda signifikan jika dibandingkan dengan dengan variasi konsentrasi dan variasi pemanasan lainnya. Seperti halnya bilangan iodin, ukuran partikel dan waktu kontak sangat berpengaruh pada biosorben. Afrianita dkk. (2013) menyatakan bahwa kapasitas penyerapan pada proses adsorpsi tergantung area permukaan yang tersedia untuk interaksi antara larutan dengan permukaan. Dengan kata lain penyerapan dari material yang mempunyai ukuran partikel lebih kecil dapat mengadsorpsi substansi lebih banyak bila dibandingkan dengan partikel berukuran lebih besar. Begitupula dengan waktu kontak, menurut Gia dkk. (2015) dalam jurnalnya, waktu kontak pada proses adsorpsi memiliki kemampuan penyerapan yang akan meningkat sampai batas tertentu dan setelahnya konstan. Karena *magnetic stirrer* yang digunakan memiliki performa yang kurang baik, waktu kontak biosorben dan metilen biru juga terganggu dan tidak konstan.

Kapasitas penyerapan metilen biru ditunjukkan oleh nilai kapasitas adsorpsi. Peningkatan kapasitas adsorpsi ini disebabkan oleh semakin banyaknya metilen biru yang diserap oleh larutan yang menempel pada permukaan biosorben. Saat mencapai titik kesetimbangan, luas biosorben bertambah hingga mencapai titik kesetimbangan. Saat mencapai titik kesetimbangan, biosorben tertutup sepenuhnya dengan metilen biru, diserap dan biosorben mengalami titik jenuh, sehingga biosorben tidak dapat lagi menyerap zat warna (Intan dkk., 2010).

Tingginya penyerapan tergantung pada kondisi optimal proses aktivasi, meliputi konsentrasi aktivator, jenis aktivator dan lama aktivasi (Siti, 2012). Pengaruh jumlah mol asam sulfat sebagai aktivator merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kapasitas adsorpsi. Semakin tinggi jumlah mol asam sulfat maka semakin tinggi nilai kapasitas adsorpsi biosorben tersebut. Nilai kapasitas tukar kation masing-masing biosorben meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah mol aktivator (Alhusnalia dkk., 2015).

Kapasitas adsorpsi biosorben tergantung pada permukaan internal dan volume pori-pori. Secara umum, semakin tinggi luas permukaan spesifik biosorben, semakin baik kinerja adsorpsinya. Falahiyah (2015) menyatakan

bahwa aktivasi dengan aktivator asam sulfat dapat meningkatkan luas permukaan spesifik dan kandungan asam permukaan serta meningkatkan kapasitas adsorpsinya pada logam.

Biosorben biji pepaya yang dibuat oleh peneliti sebelumnya memiliki luas permukaan 33,43556 m²/g (Dandri, 2017). Hasil penelitian ini memiliki luas permukaan optimum yang lebih besar yaitu 896,74 m²/g dengan waktu pemanasan 60 menit pada konsentrasi asam sulfat 15%. Hasil pengukuran luas permukaan biosorben yang diperoleh pada penelitian ini telah memenuhi standar SNI (Tabel 2.2).

BAB V PENUTUP

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian, kesimpulan yang diperoleh penelitian ini adalah:

1. Biji pepaya dapat dibuat dengan melalui proses pengeringan dan aktivasi H_2SO_4 .
2. Kondisi optimum biji pepaya di capai pada konsentrasi asam sulfat 15% dan waktu pemanasan 60 menit dengan bilangan iodin sebesar 488.42 mg/g sedangkan luas permukaan sebesar 896.74 m²/g.

V.2 Saran

Saran yang dapat diberikan kepada peneliti selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui karakteristik biosorben, seperti karakteristik gugus fungsi biosorben, diameter pori dan porositas untuk menambah informasi sifat biosorben dan kesesuaiannya dengan biosorben komersial. standar dan SNI.
2. Uji perbandingan dilakukan dengan biosorben yang memiliki bahan baku, ukuran, rasio dan waktu yang sama, tetapi diaktifkan dengan karbonisasi untuk mengetahui perbedaan kapasitas adsorpsi.
3. Uji perbandingan dilakukan dengan biosorben dengan bahan baku, ukuran, rasio dan waktu yang sama, tetapi konsentrasi aktivator lebih tinggi, misalnya 1:2 dan 1:3.

DAFTAR PUSTAKA

Africanita, R., Dewilda, Y. and Fitri, R.. 2013. "Efisiensi dan Kapasitas Penyerapan FLY ASH Sebagai Adsorben dalam Penyisihan Logam

- Timbal (Pb) Limbah Cair Industri Percetakan di Kota Padang”. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*, 10(1), pp.1-10.
- Alfiandy Herlin, Syaiful Bahri , Nurakhirawati. 2013. “Kajian Penggunaan Arang Aktif Tongkol Jagung Sebagai Adsorben Logam Pb Dengan Beberapa Aktivator Asam”. *Jurnal Natural Science*. ISSN: 2338-0950 Vol. 2 (3). 7586
- Asbahani. 2013. Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu Sebagai Karbon Aktif Untuk Menurunkan Kadar Besi Pada Air Sumur. *Jurnal Teknik Sipil Untan*. Vol. 13 No. 1. hal. 105-114.
- Ashraf, MA., Maah, MJ., dan Yusoff, I.. 2010. “Study of Banana Peel (*Musa sapientum*) as a Cationic Biosorben” *American-Eurasian J. Agric & Environ. Sci*, Vol. 8(1): 7-17.
- Atabak. Hamid Reza Hafizi, Hamid Ghanbari- Tuedeshki, Anita Shafaroudi Mahdi Akbari, Javad Safaei-Ghomi dan Mojtaba Shariaty Niassar. “Production of Activated Carbon from Cellulose Wastes”. *Journal of Chemical and Petroleum Engineering, University of Tehran*, Vol. 47, No.1: hal. 13-25
- B.H Hameed. 2009. “Evaluation of Papaya Seed as a Novel Non-Conventional Low-Cost Adsorbent for Removal of Methylene Blue”. *Jurnal Of Hazardous Materiel*.
- Badan Pusat Statistik. 2021. „*Pertanian dan Industri*” <http://www.bps.go.id> diunduh pada tanggal 1 Mei 2021.
- Badan Standarisasi Nasional. 1995. SNI 06-3730-1995. Arang Aktif Teknis. In *Badan Standarisasi Nasional*.
- Brady, J. 1999. *Kimia Untuk Universitas*. Jakarta: Erlangga.
- Chand Bansal, Roop dan Meenakshi Goyal. 2005. “Activated Carbon Adsorption”. *Lewis Publisher*. United States of America, hal 125.
- Dandri Safitri. 2017. ”Pembuatan Biosorben Biji Pepaya (*Carica papaya*) Menggunakan Aktivator Asam Sulfat (H_2SO_4)”. *Skripsi*. Medan: Universitas Sumatra Utara.
- Darmansyah S.T.,M.T.. 2015. ”Pemodelan Metode Ono Pada Material Alumina silikat Mcm Adsorpsi Biogas Dengan Ono-Kondo Dan Langmuir”. *Skripsi*. Sumatera Selatan: Lampung.
- Day, R.A dan A.L Underwood. 2002. “Analisis Kimia Kuantitatif Edisi Keenam”. Jakarta : Erlangga.

- Dedy Suhedra dan Erin Ryantin Gunawan. 2010. "Pembuatan Arang Aktif dari Batang Jagung Menggunakan Aktivator Asam Sulfat dan Penggunaannya Pada Penjerapan Ion Tembaga (II)". *Makalah Sains*, Vol 14.No.1.
- Devi. A Shamala, Puziah Abdul Latif And Taufiq Yap Yun Hin. 2010. "Preparation And Characterization of Activated Carbon Derived From Mangosteen Peel In Treating Benzene Vapour". *Proceedings of Postgraduate Qolloquium Semester 1*.
- Dewi., M. S., Budi, E., & Susilaningsih, E.. 2015. "Pemanfaatan Arang Aktif Kulit Pisang Raja untuk Menurunkan Kadar Ion Pb(II)". *Indonesian Journal of Cemical Science*, 4(3).
- Dorothy, A., & Mideen, A. S.. 2015. "Adsorption of Methylene Blue Dye On Activated Carbon from Rice Husk". Available Online www.Jocpr.com *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(2), 761-765. Fahma, R., & Loektiowati, P. 2003. "Pengaruh Konsentrasi H₂SO₄ dan Temperatur Karbonisasi Terhadap Kualtias Karbon Aktif dan Ampas Kopi". *Jurnal Penelitian Sains*. (Issue 13, pp. 13-20).
- Falahiyah. 2015. "Adsorpsi methylene blue menggunakan abu dari sabut dan tempurung kelapa teraktivasi asam sulfat". *Skripsi*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Fenglian Fu, Qi Wang. 2010. "Removal of Heavy Metal Ions from Wastewaters: A Review" *Journal of Environmental Management*, 92 hal. 407 - 414.
- Itodo A. U., Abdulrahman F. W., Hassan L. G., Maigandi S.A., Itodo H.U.. 2010. "Application of Methylene Blue and Iodine Adsorption in the Measurement of Specific Surface Area by Four Acid and Salt Treated Activated Carbons". *New York Science Journal*, 3(5): hal. 25 - 26.
- Jankowska, H., Swiatkowski, A., Chorna, J. 1991. *Active Carbon*. London Horwood.
- Jawad, A.H., Rashid, R. A., Ishak, M. A., & Wilson, L., D. 2016. "Adsorption of Methylene Blue onto Activated Carbon Developed from biomass waste by H₂SO₄ Activation: Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic Studies". *Desalination and Water Treatment*, 57(52), 2514-25206.
- JC Igwe, dan AA Abia. 2006. "A Bioseparation Process for Removing Heavy Metals from Waste Water Using Biosorbents". *African Journal of Biotechnology*, 5(12): 1167-1179.
- Jun Wang, Fu-An Wul, Meng Wang, Ning Qiu, Yao Liang, Shui-Qin Fang dan Xing Jiang. 2010. "Preparation of Activated Carbon from a Renewable Agricultural Residue of Pruning Mulberry Shoot". *African Journal of Biotechnology* Vol. 9 (19): Hal. 2762-2767.

- Kinoshita, K. 1988. *Carbon Electrochemical and Physicochemical Properties*. New York: John Wiley & Sons.
- L.Kurniasari, I.Riwayati, dan Suwardiyono. 2012. "Pektin Sebagai Alternatif Bahan Baku Biosorben Logam Berat". *Skripsi*. Semarang: Universitas Wahid Hasyim. Vol.8.No.1.
- Marsh. Harry. 2006. "Activated Carbon". *Elsevier Science & Technology Books*. Sanfransisco. Hal. 121.
- Martins, B.L., Cruz C.V., Luna, A.S., and Henriques, C.A. 2006. "A Sorption and desorption of Pb^{2+} ions by dead *Sargassum sp.* Biomass". *Biochemical Engineering Journal*, Vol. 27, No. 3, p. 310-314.
- Metilen Biru. 2021. Dalam *Wikipedia*. Diakses melalui <https://id.wikipedia.org/wiki/MetilenBiru>, 1 Mei 2021.
- Mugiyono Saputro. 2010. "Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Kacang Tanah (*Arachis hypogaea*) dengan Aktivator Asam Sulfat". *Laporan Tugas Akhir*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Mukhlis, Itnawita, Ayu Chandra Kartika dan Fika Filia Cani. 2021. "Evaluasi Kemampuan HCl dan H_2SO_4 sebagai Aktivator Adsorben Bubuk Kulit Batang Sagu (*Metroxylon Sagu*)". *Jurnal Sains dan Kesehatan*. Pekanbaru: Universitas Riau Kampus Bina Widya.
- Niken N.Paramesti. 2014. "Efektivitas Ekstrak Biji Pepaya (*Carica papaya*) Sebagai Anti Bakteri Terhadap Bakteri *Escherichia coli*". *Skripsi*. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.
- Nuryono, Narsito, Sutarno, 2004. "Penggunaan NaOH dan Na_2CO_3 pada Pembuatan Silica Gel dari Abu Sekam Padi". *Seminar Nasional MIPA*. Yogyakarta: Universitas Yogyakarta.
- Pavan, Flavio A., Eveline S.Campicho, Ederc. Lima., Guilherme L.Petty, and Vivian T.A Branco., Silvio L.P Dias. 2014. "Formossa Papaya Seed Powder (FPSP):Preparation, Characterization And Application As On Alternative Adsorben For The Removal Of Crystal Violet From Aqueous Phase". *Jurnal Of Envioronmenta Chemical Engineering 2* (2014) 230-238.
- Pavia, Donald L,iGary M.Lampman, George S.Kriz. 2016. "Introduction To Spectroscopy". Washington: Department of Chemistry, Western Washington University
- Rajeshkannan, R., M. Rajasimman., and N. Rajamohan. 2011. "Decolourization of Malachite Green Using Tamarind Seed: Optimazation, Isotherm, and Kinetic Studies", *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, Vol. 17, No. 1, 67-79.
- Ramdhani, Alhusnalia, Muhdarina, Amilia Linggawati. 2015. "Kapasitas Adsorpsi Metilen Biru Oleh Lempung Cengar Teraktivasi Asam Sulfat". Riau: Universitas Riau.

- Rodenas, L *et al.*. 2003. "Understanding Chemical Reactions Between Carbons and NaOH and KOH: An Insight Into the Chemical Activation Mechanism *Carbon*,41: 267-275. DOI: 10.1016/S0008-6223(02)00279-8.
- Sahira, Joshi, Adhikari Mandira, Pokharel Bhadra Prasad and Pradhananga Raja Ram. 2013. "Effects of Activating Agents on the Activated Carbons Prepared from Lapsi Seed Stone". *Research Journal of Chemical Sciences*. ISSN 2231- 606X ; Vol. 3(5) : hal. 19-24.
- Saragih S. A. 2008. "Pembuatan dan Karakterisasi Karbon Aktif Dari Batubara". *Skripsi*. Jakarta: Fakultas Teknik .Universitas Indonesia
- Sari, Intal Permata dan Nurul Widiastuti. 2010. "Adsorpsi Methylen Blue dengan Abu Dasar PT.IPMOMI Probolinggo Jawa Timur dan Zeolit Berkarbon". Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Sembiring, M.T dan Sinaga. T.S. 2003. "Arang aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatan)". Medan: Universitas Sumatra Utara.
- Siti Tias Miranti. 2012. "Pembuatan Karbon Aktif dari Bambu dengan Metode Aktivasi Terkontrol Menggunakan Activating Agent H₃PO₄ dan KOH". *Skripsi hal 5 - 26*. Depok: Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Srisa. Samarn -ard.. 2014. "Preparation of Activated Carbon from Sindora Siamensis Seed and Canarium Sublatum Guillaumin fruit for Methylene Blue Adsorption". *International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies*. ISSN 2228-9860. Volume 5 No.4: hal. 235-245
- Suhendarwati. Lina, Bambang Suharto, dan Liliya Dewi Susanawati. 2012. "Pengaruh Konsentrasi Larutan Kalium Hidroksida pada Abu Dasar Ampas Tebu Teraktivasi". *Jurnal Sumberdaya Alam & Lingkungan* Vol. 19.
- Sunil Kumar Yadav, Dhrur Kumar Singh, Shishir Sinha. 2014. "Chemical Carbonization of Papaya Seed Originated Charcoals for Sorpstion of Pb (II) from Aqueus Solution". *Jurnal of Environmental Chemical Engineering*.
- Teja, D.Divya, M.Bhavani, V.Sridevi, P.Snehalatha, dan M. Lohita. 2013. "Biosorption Of Methylene Blue Dye From Aqueous Solution Using Papaya Peel". *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. Vol. 2: hal. 125-128

- Tika Pangesti, Ika Nur Fitriani, Firdiawan Ekaputra, dan And Hermawan. 2013. "Sweet Papaya Seed Candy Antibacterial Escherichia coli Candy With Papaya Seed (Carica papaya l)". *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Triana, Gia Yulandani. 2015. " Pengaruh Aktivasi dan Dosis Adsorben Sekam Padi untuk Mengurangi Konsentrasi Methylene Blue pada Limbah Cair Industri Tekstil". *Tugas Akhir*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Triyana, M. dan Sarma, T. 2003. "Arang Aktif (Pengenalan dan Proses Pembuatanya)". *Jurnal skripsi*. Sumatra Utara: Universitas Sumatra Utara.
- Unuahbonah, Emmanuel 1, Gilberl U. Adie, Lora O.Onah and Olalera G.Adeyemi. 2009. "Multistage Optimization of the Adsoption of Methylene Blue Dye onto Defatted Carica Papaya Seeds". *Chemical Engineering Journal* 155 (2009)567-579.
- Verla, A. W1, M. Horsfall (Jnr), E.N Verla, A.I. Spiff1, dan O.A. Ekpete 3. 2012. "Preparation And Characterization Of Activated Carbon From Fluted Pumpkin (Telfairia Occidentalis Hook.F) Seed Shell". Vol. 1. No. 3.