

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu komoditas perkebunan yang memiliki peranan penting dalam perekonomian Indonesia sebagai negara penghasil minyak nabati terbesar di dunia. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS, 2024), luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai sekitar 16,83 juta hektare dengan total produksi minyak sawit mentah (*crude palm oil*/CPO) sekitar 46,82 juta ton per tahun. Perkebunan kelapa sawit tersebar di berbagai provinsi, terutama di wilayah Sumatra dan Kalimantan sebagai sentra utama produksi nasional.

Di kawasan Sulawesi Selatan, industri kelapa sawit menunjukkan pertumbuhan yang cukup signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Menurut BPS Provinsi Sulawesi Selatan (2024), total produksi kelapa sawit mencapai sekitar 112.377 ton per tahun dengan luas areal perkebunan sekitar 44.014 hektare. Meskipun kontribusinya masih relatif kecil dibandingkan provinsi-provinsi penghasil utama seperti Riau, Kalimantan Tengah, dan Sumatra Utara, sektor kelapa sawit di Sulawesi Selatan terus berkembang dan memberikan kontribusi ekonomi yang penting, baik bagi masyarakat sekitar perkebunan maupun bagi pendapatan daerah. Pertumbuhan ini juga diikuti dengan peningkatan volume limbah padat seperti tandan kosong, serat, dan cangkang kelapa sawit (Rahman et al., 2022; Nasution et al., 2021).

Cangkang kelapa sawit merupakan limbah padat hasil pengolahan buah sawit yang jumlahnya cukup besar seiring dengan meningkatnya produksi minyak sawit di Indonesia (BPS, 2023), yaitu mencapai 60% dari produksi minyak (Faiz, 2015). Selama ini, cangkang kelapa sawit sering kali hanya dianggap sebagai limbah tanpa nilai tambah dan juga belum sepenuhnya diberdayakan secara ekonomis (Nasution et al., 2021), padahal memiliki potensi besar sebagai bahan bakar alternatif, bahan baku industri, maupun material konstruksi ramah lingkungan (Hidayat et al., 2020). Pemanfaatan cangkang kelapa sawit sebagai sumber karbon aktif dapat menjadi solusi strategis dalam mengatasi permasalahan limbah padat yang selama ini banyak ditinggalkan di area perkebunan atau bahkan dibakar secara terbuka. Selain berpotensi mengurangi pencemaran lingkungan, pendekatan ini juga dapat memberikan nilai ekonomi



mengubah limbah menjadi produk yang bernilai tinggi seperti memiliki aplikasi luas di bidang adsorpsi dan pemurnian air (2).

ssa kelapa sawit memiliki kandungan senyawa hidrokarbon gnin (12,50%), selulosa (25,88%), hemiselulosa (16,40%), 3%) dan pentosa (10,06%) yang dapat dijadikan sebagai

bahan baku pembuatan karbon aktif (Jaya dan Khair, 2021). Cangkang kelapa sawit mempunyai komposisi kandungan selulosa sebesar 26,7%, hemiselulosa sebesar 21,6%, dan lignin sebesar 44% (Rugayah et al., 2014). Karbon aktif dari cangkang kelapa sawit diketahui mengandung *fixed carbon* sebesar 68,25 % (Irawan et al., 2010). Limbah cangkang kelapa sawit dimanfaatkan dengan cara dibakar dalam *incinerator* sebagai sumber energi dan digunakan juga secara langsung untuk pengerasan jalan di perkebunan kelapa sawit. Teknik ini ternyata tidak efektif dan menimbulkan pencemaran udara, sehingga diperlukan alternatif lain dalam pemanfaatan cangkang kelapa sawit sehingga memperoleh nilai tambah secara ekonomis. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan mengolah cangkang kelapa sawit menjadi karbon aktif (Erna, 2010).

Karbon aktif hasil dari limbah biomassa ini berpotensi besar digunakan sebagai adsorben dalam proses pengolahan air limbah, terutama untuk menghilangkan zat warna yang sulit terurai. Zat warna metilen biru adalah salah satu pewarna yang sering digunakan dalam industri tekstil dan juga merupakan salah satu limbah cair yang paling banyak dihasilkan oleh industri tekstil. Senyawa metilen biru memiliki rumus kimia $C_{16}H_{18}N_3SCl$ yang merupakan senyawa hidrokarbon aromatik yang dikenal beracun (Achmad et al., 2021). Senyawa metilen biru bersifat toksik karena dapat menyebabkan mutasi genetik serta dapat membahayakan reproduksi. Senyawa ini memiliki titik lebur pada 105 °C dengan berat molekul 319,86 g mol⁻¹, berwarna biru tua serta mudah larut dalam air (Khuluk, 2016). Kehadirannya dalam limbah industri dapat menjadi masalah lingkungan karena sifatnya yang sulit terurai dan cenderung bertahan dalam lingkungan air. Meskipun metilen biru dapat terurai dengan bantuan cahaya matahari (fotodegradasi), proses ini berlangsung lambat, dan kecepatannya tidak sebanding dengan laju pembentukan dan akumulasi metilen biru dalam air. Sehingga, konsentrasinya tetap tinggi dalam lingkungan. Selain itu, zat warna memiliki struktur aromatik yang menyebabkan ukuran molekulnya akan menjadi lebih besar sehingga sulit mengalami biodegradasi (Anwar & Mulyadi, 2015). Metilen biru juga memiliki dampak negatif pada tubuh manusia dan menyebabkan beberapa masalah kesehatan misalnya sianosis, kematian dini sel pada jaringan, mual dan muntah, sakit kuning, pembekuan sel darah merah, dan peningkatan detak jantung (Oladoye et al., 2022). Zat warna selain berbahaya dan beracun bagi manusia juga dapat menyebabkan kerusakan pada lingkungan (Lellis et al., 2019). Oleh karena itu, penghilangan pewarna dari air limbah merupakan masalah lingkungan yang sangat penting untuk dipecahkan.



ode telah dikembangkan untuk menghilangkan zat warna dari taranya adsorpsi, biosorpsi, koagulasi–flokulasi, oksidasi filtrasi membran, serta ekstraksi cair–cair. Teknik-teknik nyak digunakan dalam pengolahan air limbah yang warna, dan berbagai penelitian telah meninjau secara n serta kekurangannya (Hameed, 2009; Salleh et al., 2011).

Menurut Wang dan Li (2013), sebagian besar metode konvensional tersebut memiliki kelemahan karena prosesnya yang kompleks dan biayanya yang tinggi, bahkan beberapa di antaranya membutuhkan bahan kimia tambahan yang dapat menimbulkan produk samping beracun. Dari berbagai metode tersebut, adsorpsi dianggap sebagai teknik yang paling efisien dan praktis karena memiliki biaya awal yang relatif rendah, desain sederhana, mudah dioperasikan, serta tidak mudah terpengaruh oleh adanya senyawa beracun (Patel dan Suresh, 2008; Gupta dan Bhattacharyya, 2005; Salleh et al., 2011).

Adsorpsi adalah peristiwa penyerapan suatu zat pada permukaan zat lain. Adsorpsi terjadi pada permukaan zat karena adanya gaya tarik antar atom atau molekul zat padat. Adsorben adalah zat yang memiliki kemampuan penyerapan, sedangkan adsorbat adalah zat yang diserap. Adsorben yang baik mampu mempertahankan senyawa yang terperangkap selama proses adsorpsi (Kusumaningrum et al., 2022). Terdapat dua jenis adsorpsi berdasarkan interaksi molekul antara permukaan adsorben dengan adsorbat yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika dihasilkan oleh interaksi gaya antarmolekul (ikatan van der Waals) terjadi efek tarik-menarik antar molekul yang lemah antara permukaan adsorben dan molekul adsorbat sehingga energi adsorpsi kecil. Sedangkan adsorpsi kimia terjadi karena permukaan adsorben dan adsorbat membentuk adanya ikatan kimia berupa ikatan ion dan ikatan kovalen antara adsorben dan adsorbat (Danarto, 2007).

Dalam konteks ini, karbon aktif menjadi salah satu adsorben yang paling banyak digunakan karena memiliki luas permukaan berpori yang besar, struktur pori yang dapat dikendalikan, stabilitas termal yang baik, serta reaktivitas asam-basa yang rendah (Apriansyah et al., 2024). Karbon aktif adalah adsorben yang memiliki permukaan luas dibandingkan dengan adsorben lainnya, permukaan yang luas ini membuat daya adsorpsi dari karbon aktif menjadi lebih baik. Bahan yang dapat dijadikan sebagai karbon aktif adalah semua bahan yang mengandung selulosa tinggi seperti kayu, tulang, cangkang kelapa sawit, kulit kopi, kulit durian 12 dan kulit pinang (Fitriansyah et al., 2021). Syarat utama bahan yang digunakan dalam pembuatan karbon aktif adalah mengandung unsur karbon (Rijali et al., 2015). Karbon aktif dapat dibuat dari berbagai macam bahan dasar selama bahan dasar tersebut mengandung karbon. Salah satu bahan dasar yang dapat digunakan sebagai bahan dasar karbon aktif adalah cangkang kelapa sawit karena mengandung komponen-komponen serat seperti selulosa, hemiselulosa, dan lignin.

dihasilkan melalui proses karbonisasi dan aktivasi. Proses ya dilakukan dengan metode pirolisis dengan memanaskan entang suhu 300-650 °C dalam kondisi oksigen rendah (Basu, onisasi lain yang dapat digunakan adalah metode hidrotermal. rmal adalah proses konversi termokimia yang menggunakan c mengubah biomassa menjadi produk bernilai tinggi.



Keuntungan proses hidrotermal adalah penggunaan energi yang lebih rendah dibandingkan proses pirolisis karena suhu operasinya lebih rendah. Proses hidrotermal dilakukan pada rentang suhu 150-350 °C (Jain et al., 2016). Proses aktivasi dibagi menjadi dua yaitu fisika dan kimia. Namun, aktivasi kimia lebih ekonomis, karena aktivasi terjadi pada suhu rendah dan dalam waktu yang relatif singkat untuk memberikan karbon aktif porositas tinggi dan luas permukaan yang besar. Proses kimia meliputi aktivasi basa dengan kalium hidroksida (KOH), natrium hidroksida (NaOH), kalsium klorida (CaCl_2), dan kalium karbonat (K_2CO_3). Aktivasi asam dilakukan dengan menggunakan asam yang berbeda seperti asam fosfat (H_3PO_4) dan asam sulfat (H_2SO_4) (Negm et al., 2024).

Di antara berbagai aktivator kimia tersebut, asam fosfat (H_3PO_4) merupakan salah satu aktivator kimia yang paling efektif untuk bahan berbasis lignoselulosa, termasuk cangkang kelapa sawit. Aktivator ini memiliki kemampuan tinggi dalam membuka pori-pori besar dan meningkatkan luas permukaan spesifik karbon aktif, sehingga menghasilkan kapasitas adsorpsi yang lebih besar dibandingkan dengan aktivator basa seperti kalium hidroksida (KOH) dan natrium hidroksida (NaOH) (Foo & Hameed, 2011; Zaini et al., 2022). Mekanisme aktivasi kimia menggunakan H_3PO_4 melibatkan interaksi antara asam fosfat dengan komponen penyusun biomassa, yaitu selulosa, hemiselulosa, dan lignin, yang menyebabkan terjadinya dehidrasi, depolimerisasi, serta pembentukan struktur aromatik terkarbonisasi (Jagtoyen & Derbyshire, 1998; Li et al., 2018).

Selama proses aktivasi, H_3PO_4 berperan sebagai agen dehidrasi dan fosforilasi, yang memecah ikatan eter dan glikosidik pada struktur lignoselulosa sehingga memperluas sistem pori dan meningkatkan kestabilan struktur karbon (Saka et al., 2019). Selain itu, H_3PO_4 juga dapat mengikat dan mengeliminasi senyawa volatil seperti tar atau senyawa organik ringan, menghasilkan matriks karbon yang lebih bersih dan permeabel (Rashidi & Yusup, 2017). Proses ini memungkinkan terbentuknya jaringan mikropori dan mesopori yang seragam, yang secara langsung meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap polutan, baik dalam bentuk gas maupun zat warna organik seperti metilen biru. Dengan demikian, aktivasi menggunakan H_3PO_4 tidak hanya efektif dalam meningkatkan luas permukaan dan volume pori karbon aktif, tetapi juga menghasilkan produk yang lebih stabil, ramah lingkungan, serta memiliki performa adsorpsi yang unggul dibandingkan aktivator berbasis basa kuat seperti KOH dan NaOH (Chen et al., 2020). Keunggulan H_3PO_4 dibandingkan aktivator kimia lainnya terletak pada sifatnya yang lebih ramah lingkungan, tidak bersifat korosif, serta aman untuk produk yang berhubungan dengan industri farmasi dan pangan (Saka et al., 2019). Selain itu, H_3PO_4 tidak meninggalkan residu berbahaya seperti yang dihasilkan oleh aktivator berbasis klorida lainnya ZnCl_2 , sehingga proses pengolahan limbahnya lebih aman dan tidak mencemari lingkungan (Rashidi & Yusup, 2017).



Berbagai penelitian melaporkan bahwa karbon aktif yang dihasilkan melalui aktivasi menggunakan H_3PO_4 menunjukkan kinerja adsorpsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan aktivator basa seperti KOH dan NaOH. Hal ini disebabkan oleh kemampuan H_3PO_4 dalam membentuk sistem pori yang lebih seragam dan luas permukaan spesifik yang lebih besar (Li et al., 2018). Sebagai contoh, kapasitas adsorpsi iodine dari karbon aktif hasil aktivasi H_3PO_4 dapat mencapai lebih dari 700 mg/g, sedangkan karbon aktif yang diaktivasi dengan KOH umumnya menunjukkan kapasitas di bawah nilai tersebut (Zaini et al., 2022; Rahman et al., 2022). Selain itu, aktivator seperti ZnCl_2 , meskipun mampu menghasilkan luas permukaan tinggi, memiliki efek korosif dan toksik yang cukup besar terhadap lingkungan dan peralatan proses (Jagtoyen & Derbyshire, 1998). Oleh karena itu, penggunaan H_3PO_4 sebagai aktivator dianggap lebih efisien dan berkelanjutan untuk sintesis karbon aktif berbasis material lignoselulosa seperti cangkang kelapa sawit. Aktivasi menggunakan H_3PO_4 tidak hanya mampu meningkatkan kualitas karbon aktif dari segi porositas dan kapasitas adsorpsi, tetapi juga mendukung prinsip green chemistry dalam pengembangan material ramah lingkungan (Chen et al., 2020).

Berdasarkan hasil penelitian lain menunjukkan bahwa waktu optimum adsorpsi karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi sebagai adsorben metilen biru yaitu 20 menit dan 15 menit dengan nilai kapasitas adsorpsi (q_e) yaitu 2,63 mg/g dan 2,82 mg/g. Penentuan kapasitas adsorpsi karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi sebagai adsorben metilen biru sesuai dengan persamaan adsorpsi Langmuir dimana kapasitas adsorpsinya yaitu 9,7847 mg/g dan 10,7642 mg/g. Hal ini juga dapat dilihat berdasarkan hasil penelitian dari (Widyastuti et al., 2013) menyatakan bahwa cangkang kelapa sawit memiliki potensi yang besar sebagai adsorben karbon aktif dengan aktivasi kimia menggunakan H_3PO_4 untuk menyerap gas CO_2 sehingga kadar CH_4 dalam biogas dapat meningkat. Hal ini dapat dilihat dari peningkatan kadar CH_4 dalam biogas yang diserap dengan adsorben karbon aktif kimia dengan H_3PO_4 sebesar 65,5% dan karbon aktif komersial sebesar 70,5% dibandingkan sebelum menggunakan adsorben sebesar 58,5%. Berdasarkan paparan diatas, peneliti tertarik untuk melakukan studi terhadap aktivitas karbon aktif dari cangkang sawit yang diperoleh dari limbah buangan sebagai adsorben zat warna metilen biru.

Berdasarkan uraian tersebut, pemanfaatan cangkang kelapa sawit sebagai bahan baku karbon aktif berbasis H_3PO_4 diharapkan dapat menjadi solusi inovatif untuk menurunkan pencemaran limbah industri tekstil, khususnya dalam metilen biru. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dan efektivitasnya sebagai adsorben metilen biru, sehingga dapat memberikan nilai tambah pada limbah sebagai solusi pengolahan limbah cair tekstil yang lebih ramah



1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. bagaimana pengaruh aktivator H_3PO_4 terhadap kemampuan karbon aktif dalam mengadsorpsi metilen biru?
2. bagaimana pengaruh parameter adsorpsi (pH dan waktu kontak) terhadap kemampuan karbon aktif dalam mengadsorpsi metilen biru?
3. bagaimana kapasitas dan model isothermal adsorpsi yang sesuai pada adsorpsi metilen biru?

1.3 Maksud dan Tujuan

1.3.1 Maksud Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk membuat karbon aktif dari cangkang kelapa sawit yang diaktivasi menggunakan asam fosfat (H_3PO_4) untuk digunakan sebagai adsorben zat warna metilen biru dalam limbah cair.

1.3.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. menentukan pengaruh aktivasi karbon aktif cangkang kelapa sawit dengan menggunakan H_3PO_4 terhadap kemampuan mengadsorpsi metilen biru.
2. menentukan pH dan waktu kontak optimum adsorpsi metilen biru oleh karbon aktif cangkang kelapa sawit.
3. menentukan kapasitas dan model isothermal adsorpsi yang sesuai pada adsorpsi metilen biru oleh karbon aktif cangkang kelapa sawit.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang kimia lingkungan dan teknologi adsorpsi, dengan menyediakan data terkait karakteristik dan kinerja karbon aktif dari cangkang kelapa sawit dalam proses adsorpsi zat warna metilen biru.



BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah cangkang kelapa sawit (*Elaeis Guineensis*), akuades, akuabides (*Onemed*), metilen biru, H_3PO_4 85% (*Merck*), NaHCO_3 , (*Merck*), NaOH (*Merck*), n-heksan (*Bratachem*), alkohol 96% (*Onemed*), Na_2CO_3 (*Merck*), HCl 37% (*Merck*), *Whatman* No.42 dan kertas pH universal (*Merck*).

2.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat-alat gelas laboratorium, cawan porselin, ayakan ukuran 100 mesh (ASTM E11), labu semprot plastik, oven (*SPN 150 SFD*), desikator, sonikator (*Elmasonic S 40 H*), pH meter, *hot plate* (*Taffware DLD-101B*), *aluminium foil*, pengaduk magnetik (*Model 04802-02*), lumpang, neraca analitik (*Ohaus Analytical Plus*), *furnance* (*Naberthem*), Spektrofotometer FT-IR (*Shimadzu IR Prestige 21*), Spektrofotometer UV-Vis (*PG Instruments T60*), dan SAA (*Altamira Micro-200*).

2.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni 2025 hingga September 2025 di Laboratorium Kimia Fisika, Laboratorium Kimia Terpadu, FMIPA, Universitas Hasanuddin, Makassar.

2.4 Prosedur Penelitian

2.4.1 Preparasi Sampel

Cangkang kelapa sawit dicuci dengan air mengalir untuk menghilangkan partikel-partikel kotor atau serabut yang melekat pada permukaan cangkang kelapa sawit kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari kemudian dipecah menjadi bagian-bagian kecil lalu dihaluskan dan diayak menggunakan ayakan ukuran 100 mesh (Diharyo et al., 2020). Selanjutnya, ditimbang sampel berukuran 100 mesh sebanyak 10 g ke dalam gelas kimia 250 mL dan ditambahkan n-heksan sebanyak 100 mL kemudian disonikasi selama 30 menit lalu disaring menggunakan corong buchner. Residu dari pencucian sebelumnya ditambahkan alkohol 96% sebanyak 100 mL kemudian disonikasi selama 30 menit lalu disaring menggunakan corong buchner. Residu dari pencucian sebelumnya ditambahkan k 100 mL kemudian disonikasi selama 30 menit pada suhu ng menggunakan corong buchner dan dibilas hingga bersih. il residunya dan dikeringkan dalam oven pada suhu $\pm 105^\circ\text{C}$ buk yang telah bersih dianalisis menggunakan FTIR dan SAA.



2.4.2 Karbonisasi

Cangkang kelapa sawit yang berukuran 100 mesh ditimbang sebanyak 7 gram dan dimasukkan ke dalam reaktor hidrotermal (autoklaf) ditambahkan akuabides sebanyak 70 mL sehingga diperoleh campuran dengan rasio massa cangkang kelapa sawit : volume akuabides adalah 1:10. Proses hidrotermal dilakukan pada temperatur 180 °C. Reaktor kemudian dipanaskan hingga temperatur yang telah ditetapkan. Setelah tercapai, temperatur reaktor dijaga konstan selama 8 jam. Karbon yang diperoleh kemudian disaring untuk dipisahkan cairannya dan dicuci hingga pH netral. Setelah itu karbon dikeringkan pada temperatur 105 °C selama 24 jam untuk mendapatkan produk akhir berupa karbon (*hydrochar*) (Larasati et al., 2021). Karbon yang telah bersih dan kering dianalisis menggunakan FTIR dan SAA.

2.4.3 Pembuatan Larutan H₃PO₄ 20%

H₃PO₄ 85% dipipet sebanyak 2,4 mL ke dalam labu ukur 10 mL yang berisi sedikit akuabides kemudian dihipitkan dengan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan.

2.4.4 Aktivasi

Sebanyak 5 gram karbon cangkang kelapa sawit direndam dalam 10 mL larutan H₃PO₄ 20% selama 24 jam. Kemudian campuran tersebut disaring dengan proses filtrasi vakum menggunakan kertas saring Whatman dan corong Buchner. Karbon kelapa sawit yang sudah disaring lalu dicuci menggunakan akuabides sambil diaduk hingga pH mendekati netral saat diukur dengan pH meter. Selanjutnya, diambil residunya dan dikeringkan dalam oven pada suhu ± 105 °C selama 3 jam. Setelah itu, disimpan dalam desikator hingga berat karbon stabil (Sahara et al., 2017). Karbon aktif dianalisis menggunakan FTIR dan SAA.

2.4.5 Penentuan Kadar Air

Cawan porselin yang telah bersih dikeringkan dalam oven pada suhu 115 °C selama 2 jam. Cawan didinginkan dalam desikator selama 30 menit, kemudian cawan ditimbang bobot kosongnya. Karbon aktif sebanyak 1 gram dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 3 jam. Kemudian dimasukkan ke dalam desikator, kemudian ditimbang bobot akhirnya. Ulangi sampai bobotnya tetap dan ditentukan kadar airnya dalam persen (%). Kadar karbon tetap dalam sampel dihitung dengan menggunakan rumus pada persamaan (1) (SNI 06-3730-1995).



$$\frac{\text{berat uap air}}{\text{berat awal sampel}} \times 100\% \quad (1)$$

Kadar Abu

yang telah bersih dikeringkan dalam oven pada suhu 115 °C dan didinginkan dalam desikator selama 30 menit, kemudian

cawan ditimbang bobot kosongnya. Karbon aktif dimasukkan kedalam cawan tersebut dan ditimbang sebanyak 1 gram. Sampel dipanaskan dalam tanur pada suhu 800 °C selama 2 jam. Selanjutnya sampel didinginkan dalam desikator, kemudian ditimbang bobot akhirnya. Ulangi sampai bobotnya tetap dan ditentukan kadar abunya dalam persen (%). Kadar karbon tetap dalam sampel dihitung dengan menggunakan rumus pada persamaan (2) (SNI 06-3730-1995).

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{\text{berat abu}}{\text{berat awal sampel}} \times 100\% \quad (2)$$

2.4.7 Penentuan Kadar Senyawa Volatil

Cawan porselin yang telah bersih dikeringkan dalam oven pada suhu 115 °C selama 2 jam. Cawan didinginkan dalam desikator selama 30 menit, kemudian cawan ditimbang bobot kosongnya. Karbon aktif dimasukkan kedalam cawan tersebut dan ditimbang sebanyak 1 gram dan dipanaskan dalam tanur pada suhu 900 °C selama 7 menit. Kemudian sampel didinginkan dalam desikator, dan timbang bobot akhirnya. Ulangi sampai bobotnya tetap dan ditentukan kadar senyawa volatilnya dalam persen (%). Kadar karbon tetap dalam sampel dihitung dengan menggunakan rumus pada persamaan (3) (SNI 06-3730-1995).

$$\text{Kadar volatile (\%)} = \frac{\text{berat senyawa volatil}}{\text{berat awal sampel}} \times 100\% \quad (3)$$

2.4.8 Penentuan Kadar Karbon Tetap

Karbon tetap dihitung dari 100% dikurangi dengan nilai kadar air, kadar abu dan kadar zat menguap dalam sampel. Kadar karbon tetap dalam sampel dihitung dengan menggunakan rumus pada persamaan (4) (SNI 06-3730-1995).

$$\text{Karbon tetap (\%)} = 100 \% - (\text{kadar abu} + \text{zat menguap}) \% \quad (4)$$

2.4.9 Pembuatan Larutan Na_2CO_3 0,05 N

Na_2CO_3 ditimbang sebanyak 0,6625 g, kemudian dilarutkan dengan sedikit akuabides, dipindahkan ke dalam labu ukur 250 mL, dihipitkan dengan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan.

2.4.10 Pembuatan Larutan NaHCO_3 0,05 N

NaHCO_3 ditimbang sebanyak 1,05 g, dilarutkan dengan sedikit akuabides, dipindahkan ke dalam labu ukur 250 mL, dihipitkan dengan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan.



Larutan NaOH 0,05 N

sebanyak 2,0795 g, dilarutkan dengan sedikit akuabides, am labu ukur 1000 mL, dihipitkan dengan akuabides hingga omogenkan.

2.4.12 Pembuatan Larutan HCl 0,05 N

HCl 37% dipipet sebanyak 4,144 mL ke dalam labu ukur 1000 mL, kemudian dihomogenkan dengan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan.

2.4.13 Pembuatan Larutan $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 0,05 N

$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ditimbang sebanyak 0,9531 g, kemudian dilarutkan dengan sedikit akuabides, dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL, dihomogenkan dengan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan.

2.4.14 Pembuatan Larutan $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,05 N

$\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ditimbang sebanyak 0,3150 g, kemudian dilarutkan dengan sedikit akuabides, dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL, dihomogenkan dengan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan.

2.4.15 Standarisasi Larutan HCl dengan larutan $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 0,05 N

Larutan $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ dipipet sebanyak 10 mL dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer, ditambahkan indikator *Red Methyl* sebanyak 2-3 tetes lalu dititrasi dengan HCl hingga terjadi perubahan warna. Dicatat volume HCl yang digunakan, dilakukan titrasi secara triplo dan dihitung konsentrasi larutan HCl.

2.4.16 Standarisasi Larutan NaOH dengan larutan $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,05 N

Larutan $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 0,05 N dipipet sebanyak 10 mL ke dalam erlenmeyer, ditambahkan 2-3 tetes indikator *Phenolphthalein*, dititrasi dengan larutan NaOH hingga terjadi perubahan warna dari bening menjadi merah muda, dicatat volume NaOH yang digunakan, dilakukan titrasi secara triplo dan dihitung konsentrasi larutan NaOH.

2.4.17 Karakterisasi Permukaan Karbon Aktif Secara Kimia melalui Metode Titrasi Boehm

Karbon aktif cangkang kelapa sawit (KACKS) ditimbang sebanyak 0,1 gram, dimasukkan ke dalam 4 buah gelas kimia yang berisi larutan Na_2CO_3 0,05 N, NaHCO_3 0,05 N, NaOH 0,05 N dan HCl 0,05 N masing-masing sebanyak 25 mL (Vp), kemudian campuran didiamkan selama 24 jam. Kemudian dilakukan penyaringan. Filtrat yang diperoleh, masing-masing dipipet sebanyak 5 mL (Vs) dari larutan Na_2CO_3 , NaHCO_3 dan NaOH, kemudian ditambahkan HCl 0,05 N sebanyak 10 mL, lalu dititrasi balik dengan menggunakan larutan NaOH 0,05 N dan dicatat volume NaOH 0,05 N yang digunakan. Sedangkan filtrat HCl dipipet n ditambahkan NaOH 0,05 N sebanyak 10 mL, kemudian n menggunakan HCl 0,05 N dan dicatat volume HCl 0,05 N osedur yang sama dilakukan untuk sampel SCKS dan KCKS. s fungsional asam dan basa total dapat menggunakan rumus – 8) (Goertzen et al., 2010).



$$n_{\text{carboxylic}} = \frac{[V_{\text{NaHCO}_3} N_{\text{NaHCO}_3} - (N_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}} - N_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}})] \frac{V_p}{V_s}}{W} \quad (5)$$

$$n_{\text{lactonic}} = \frac{[V_{\text{Na}_2\text{CO}_3} N_{\text{Na}_2\text{CO}_3} - (N_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}} - N_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}})] \frac{V_p}{V_s}}{W} - n_{\text{carboxylic}} \quad (6)$$

$$n_{\text{phenolic}} = \frac{[V_{\text{NaOH}} N_{\text{NaOH}} - (N_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}} - N_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}})] \frac{V_p}{V_s}}{W} - n_{\text{carboxylic}} - n_{\text{lactonic}} \quad (7)$$

$$n_{\text{total base}} = \frac{[V_{\text{HCl}} N_{\text{HCl}} - (N_{\text{NaOH}} V_{\text{NaOH}} - N_{\text{HCl}} V_{\text{HCl}})] \frac{V_p}{V_s}}{W} \quad (8)$$

Keterangan :

n = jumlah gugus karboksil; lakton; fenol; dan basa total pada permukaan sampel (meq/g)

V = volume larutan (mL)

N = normalitas masing-masing larutan

V_p = volume awal Na_2CO_3 , NaHCO_3 , NaOH , dan HCl (mL)

V_s = volume Na_2CO_3 , NaHCO_3 , NaOH , dan HCl setelah penyaringan (mL)

W = berat karbon (g)

2.4.18 Pembuatan Larutan Induk Metilen Biru 1000 mg/L

Zat warna metilen biru ditimbang sebanyak 0,1 gram kemudian dilarutkan dengan sedikit akuabides lalu dimasukkan ke dalam labu ukur ukuran 100 mL, dihomogenkan dan dihomogenkan (Latupeirissa et al., 2018).

2.4.19 Pembuatan Larutan Zat Warna Metilen Biru 500 mg/L

Larutan induk 1000 mg/L dipipet sebanyak 50 mL ke dalam labu ukur 100 mL kemudian ditambahkan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan (Latupeirissa et al., 2018).

2.4.20 Pembuatan Larutan Zat Warna Metilen Biru 50 mg/L

Larutan induk 500 mg/L dipipet sebanyak 10 mL ke dalam labu ukur 100 mL kemudian ditambahkan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan (Latupeirissa et al., 2018).

2.4.21 Pembuatan Larutan Standar Zat Warna Metilen Biru (0; 0,5; 1; 2; 4; 8) mg/L

Larutan zat warna metilen biru 50 mg/L dipipet sebanyak 0 mL, 1 mL, 2 mL, 4 mL ke dalam masing-masing 6 buah labu ukur ukuran 100 mL mpai tanda batas dan dihomogenkan (Latupeirissa et al.,



2.4.22 Penentuan pH Optimum

Larutan metilen biru 50 mg/L diatur menjadi pH 5 dengan menambahkan HCl 0,1 M atau NaOH 0,1 M. Kemudian 0,1 gram KACKS dimasukkan ke larutan dan diaduk menggunakan *shaker* selama 30 menit dan disaring. Absorbansi filtratnya diukur dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 665 nm. Dilakukan hal yang sama pada pH 6, 7, 8, dan 9 (Pasa et al., 2024) serta pada sampel KCKS. Daya serap (adsorpsi) dihitung menggunakan persamaan (9):

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (9)$$

Keterangan :

q_e = kapasitas adsorpsi (mg/g)

C_0 = konsentrasi awal adsorbat (mg/L)

C_e = konsentrasi akhir adsorbat (mg/L)

V = volume adsorbat (L)

m = massa adsorben (g)

2.4.23 Penentuan Waktu Kontak Optimum

KACKS sebanyak 0,1 gram dan larutan metilen biru 50 mg/L pada pH optimum sebanyak 25 mL dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 mL. Diaduk menggunakan *shaker* selama 15 menit dan saring. Absorbansi filtratnya diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 665 nm. Dilakukan hal yang sama untuk waktu kontak 30, 45, 60, dan 75 menit (Pasa et al., 2024) serta pada sampel KCKS. Daya serap (adsorpsi) dihitung menggunakan persamaan (9).

2.4.24 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi

KACKS sebanyak 0,1 gram dan larutan metilen biru 25 mg/L pada pH optimum sebanyak 25 mL ke dalam erlenmeyer 100 mL. Diaduk dengan *shaker* selama waktu kontak optimum, lalu disaring. Absorbansi filtratnya diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 665 nm. Langkah tersebut diulangi dengan menggunakan larutan metilen biru 50, 75, 100, dan 125 mg/L (Pasa et al., 2024) serta pada sampel KCKS. Daya serap (adsorpsi) dihitung menggunakan persamaan (9).

