

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini, polusi lingkungan merupakan masalah serius di seluruh dunia. Pengembangan industri dan penggunaan senyawa sintetis untuk budidaya tanaman dan keperluan industri memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Bahan-bahan ini sering ditemukan dalam limbah cair dari berbagai industri, seperti tekstil, kulit, kertas, percetakan, dan kosmetik (Khuluk et al., 2019).

Industri tekstil dan pakaian jadi di Indonesia telah mengalami pertumbuhan yang berkelanjutan, didorong oleh meningkatnya permintaan akan produk pakaian dan aktivitas ekspor yang berkembang pesat. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2022 dalam publikasi Statistik Industri Manufaktur Indonesia, terdapat 275 unit usaha di industri tekstil dan 597 unit usaha di industri pakaian jadi, yang tersebar merata di berbagai wilayah di seluruh Indonesia. Secara khusus di Provinsi Sulawesi Selatan, berdasarkan data dari BPS Provinsi Sulawesi Selatan tahun 2022, terdapat 20 unit usaha industri tekstil dan 6 unit usaha industri pakaian jadi yang berkontribusi pada kegiatan produksi tekstil nasional. Perkembangan sektor industri ini memang telah memberikan kontribusi yang signifikan terhadap kemajuan ekonomi regional, namun juga berisiko menimbulkan limbah yang merusak lingkungan jika tidak dikelola dengan baik.

Kegiatan industri yang berkembang pesat saat ini dapat menimbulkan permasalahan lingkungan. Hal ini disebabkan meningkatnya limbah akibat peningkatan produksi. Limbah cair yang dibuang tanpa pengolahan merupakan masalah serius bagi kehidupan manusia karena mempengaruhi kualitas air dan bersifat racun bagi ekosistem perairan. Salah satu kontaminan air adalah metilen biru, pewarna beracun (Utami et al., 2024).

Salah satu komponen utama dalam limbah cair industri tekstil adalah zat warna sintesis. Penggunaan zat warna sintetik pada industri tekstil terutama pada proses pencelupan dan pewarnaan, dimana zat warna yang digunakan ini tidak semua terserap ke dalam serat kain, sehingga sisa zat warna tersebut terbuang bersama limbah cair. Metilen biru merupakan salah satu zat warna sintetik yang paling umum digunakan pada industri tekstil. Metilen biru mempunyai gugus benzene sehingga sulit terdegradasi secara alami sehingga a di lingkungan perairan (Ristianingsih et al., 2022).

Industri di suatu wilayah dapat membantu meningkatkan masyarakat setempat. Namun akibat adanya proses industri, rebut akan mengeluarkan hasil sampingan berupa limbah. harusnya tidak menjadi masalah jika dikelola dengan baik atau perusahaan terdapat keterbatasan dana dan kurangnya



kepedulian pelaku pengusaha industri, maka limbah tersebut tidak dikelola, sehingga cepat atau lambat tentu akan menimbulkan masalah di kemudian hari (Widiyanto dan Kuswanto, 2015). Pengelolaan limbah yang tidak memadai menyebabkan polutan dari aktivitas industri meresap ke lingkungan, sehingga berdampak pada kualitas air di wilayah sekitarnya.

Cemaran yang terjadi di badan perairan akan meresap ke dalam air tanah menunjukkan bahwa pencemaran air telah mencapai tingkat yang mengkhawatirkan yang pada akhirnya menyerap ke sumber air warga. Manusia membutuhkan air untuk seluruh proses hidupnya terutama untuk air minum. Air minum adalah bagian dari siklus air global, yang merupakan fungsi dari abiotik dan biotik. Siklus ini semakin dipengaruhi oleh kegiatan manusia dari penggunaan air dan pembuangannya. Proyeksi perubahan iklim, perkotaan dan pengembangan industri mengancam kualitas air minum dan ketersediaan air yang digunakan. Populasi, konsumsi, dan degradasi sumber meningkat seolah-olah tidak ada batas untuk pasokan air bersih. Pengembangan pendekatan jangka panjang untuk menggunakan air yang berkelanjutan membutuhkan pengelolaan yang baik (Widiyanto dan Kuswanto, 2015). Oleh karena itu, sangat penting untuk mengevaluasi kembali ketersediaan dan kualitas air bersih, yang merupakan kebutuhan dasar bagi kehidupan manusia.

Air bersih merupakan kebutuhan mendasar bagi kehidupan manusia dan menjadi faktor utama dalam menjaga kesehatan masyarakat. Air memiliki peran yang sangat penting bagi kehidupan, baik untuk konsumsi, kebutuhan rumah tangga, pertanian maupun industri. Berdasarkan fungsinya, air dapat diklasifikasikan menjadi air bersih dan air minum. Air bersih dimanfaatkan untuk aktivitas sehari-hari seperti mandi, mencuci, dan memasak, sedangkan air minum adalah jenis air yang telah memenuhi persyaratan kesehatan serta aman untuk dikonsumsi oleh manusia (Bachri et al., 2025). Jika sumber air bersih terkontaminasi oleh bahan kimia berbahaya akibat aktivitas industri, potensi masalah kesehatan akan meningkat.

Ketidaktersediaannya air minum yang bersih merupakan salah satu masalah kesehatan yang signifikan di era modern. Pewarna industri merupakan salah satu bahan kimia dominan yang membuat air tidak layak konsumsi. Di antara pewarna tersebut, metilen biru (MB) bersifat toksik, karsinogenik, dan tidak dapat terurai secara alami, serta dapat menimbulkan ancaman serius bagi kesehatan manusia dan keamanan lingkungan. MB biasanya dilepaskan ke sumber air alami, menimbulkan ancaman kesehatan bagi manusia dan organisme hidup. Oleh

an pengembangan teknologi ramah lingkungan dan efisien an MB dari limbah cair (Khan, et al., 2022).

ji melaporkan efek toksik akut yang dilaporkan pada hewan tilen biru meliputi hemokonsentrasi, hipotermia, asidosis, ia, peningkatan tekanan darah, perubahan laju dan amplitudo akan kornea, dan kerusakan konjungtiva. Pada manusia,



dosis besar metilen biru (sekitar 500 mg) yang diberikan secara intravena dilaporkan menyebabkan mual, nyeri perut dan dada, sianosis, keringat berlebihan, pusing, sakit kepala, dan kebingungan. Banyak laporan menunjukkan toksisitas pada bayi yang terpapar metilen biru selama prosedur diagnostik atau terapeutik, yaitu hiperbilirubinemia, anemia, sel Heinz, sel blister eritrosit, perubahan warna kulit, dan fotosensitisasi (Auerbach et al., 2010). Selain itu, metilen biru juga berpotensi membahayakan kesehatan manusia karena paparan metilen biru dapat mengakibatkan iritasi pada kulit, iritasi pada saluran pencernaan serta jika terhirup akan mengakibatkan sianosis (Ristianingsih et al., 2022).

Karena metilen biru berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan dan berbahaya bagi kesehatan manusia, maka sebelum dibuang ke lingkungan perlu dilakukan pengolahan terhadap limbah industri tekstil yang mengandung zat warna metilen biru. Pengolahan zat warna dapat dikategorikan menjadi 3 metode yaitu secara biologi menggunakan alga, enzim, bakteri, jamur dan mikroorganisme lainnya, sedangkan kimia, seperti *advanced oxidation*, fenton, oksidasi, ozoninasi, fotokatalis, elektrokimia dan lain sebagainya, dan fisika, seperti adsorpsi, koagulasi, flokulasi, pertukaran ion, iradiasi, membrane filtrasi, nano dan ultra filtrasi, dan lain sebagainya. Salah satu metode yang paling sederhana dan lebih ekonomis untuk mengurangi tingkat pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh zat warna metilen biru adalah dengan proses adsorpsi. Untuk menekan biaya proses produksi diperlukan jenis adsorben yang murah dan mudah dalam pembuatannya. Selain murah, adsorben yang digunakan harus ramah lingkungan agar tidak menimbulkan dampak samping berupa pencemaran lingkungan. Karbon aktif dari limbah biomassa merupakan salah satu adsorben yang sangat potensial untuk dikembangkan karena biaya produksi yang murah dan ramah lingkungan (Ristianingsih et al., 2022).

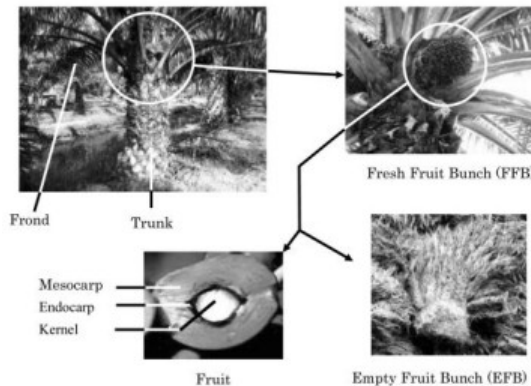
Dengan meningkatnya permintaan akan adsorben yang efektif, ramah lingkungan, dan ekonomis untuk mengolah limbah pewarna seperti metilen biru, berbagai penelitian kini berfokus pada pemanfaatan limbah biomassa sebagai bahan baku karbon aktif. Di Indonesia, kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan sumber biomassa yang melimpah dengan potensi besar, karena menghasilkan berbagai jenis limbah padat, termasuk cangkang, tandan buah kosong, dan serat buah.

Produksi minyak sawit di Indonesia telah mengalami pertumbuhan yang konsisten dari tahun ke tahun. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS) publikasi Statistik Minyak Sawit Indonesia 2023, produksi nasional telah mencapai 46,99 juta ton. Peningkatan produksi ini juga berkontribusi pada peningkatan volume limbah padat dari kelapa sawit, seperti serat mesokarp dan cangkang buah sawit. Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPDPKS) tahun 2022 mencatat bahwa setiap ton tandan buah segar (TBS) menghasilkan sekitar 64



kg limbah cangkang. Secara nasional, Indonesia menghasilkan antara 12-16 juta ton limbah cangkang kelapa sawit setiap tahun (InfoSawit, 2025).

Setiap 1 ton kelapa sawit mampu menghasilkan limbah berupa tandan kosong kelapa sawit sebanyak 23%, limbah cangkang (shell) sebanyak 6,5%, lumpur sawit (wet decanter solid) 4%, serabut (fiber) 13% serta limbah cair sebanyak 50%. Cangkang kelapa sawit mengandung 29,7% selulosa, 47,7% holoselulosa, dan 53,4% lignin sehingga berpotensi sebagai bahan baku pembuatan arang aktif dengan metode dehidrasi, karbonisasi, dan aktivasi.



Gambar 1. Struktur dan bagian-bagian tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis*)

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) terdiri dari berbagai komponen, seperti batang, daun, mesokarp, cangkang, biji, dan tandan buah kosong (EFB). Setiap komponen memiliki komposisi kimia yang unik; kulit buah menonjol dengan struktur lignoselulosa terkuat dan kandungan lignin yang paling dominan. Pernyataan ini diperkuat oleh penelitian Edmund et al. (2014) komposisi cangkang kelapa sawit meliputi lignin 53,85%, selulosa 6,92% dan hemiselulosa 26,16% kandungan lignoselulosa yang tinggi tersebut memberikan potensi yang baik untuk proses karbonisasi karena struktur lignin dapat membantu pembentukan pori mikro dan kestabilan karbon aktif.

Proses aktivasi kimia merupakan tahap penting dalam pembuatan karbon aktif karena menentukan luas permukaan, struktur pori, dan keberadaan gugus fungsional pada material yang dihasilkan. Aktivator yang umum digunakan seperti KOH, K_2CO_3 , dan H_3PO_4 memang efektif, namun memiliki kelemahan seperti sifat korosif, toksik, dan biaya tinggi, serta memerlukan proses pencucian <s. Oleh karena itu, dibutuhkan aktivator alternatif yang lebih <gkungan. Salah satu aktivator yang mulai banyak digunakan <bonat (Na_2CO_3), karena memiliki sifat basa ringan, tidak <angani, serta mampu menghasilkan karbon aktif dengan <mia yang baik.



Penelitian Paluch et al. (2023) menunjukkan bahwa aktivasi menggunakan Na_2CO_3 menghasilkan karbon aktif dengan struktur mesopori dominan, luas permukaan tinggi, dan kapasitas adsorpsi metilen biru sebesar 150–200 mg/g. Aktivator Na_2CO_3 mampu memperluas pori dan meningkatkan reaktivitas permukaan karbon tanpa menyebabkan degradasi berlebih pada struktur dasar karbon. Selain itu, penggunaannya juga lebih ramah lingkungan dibandingkan aktivator asam seperti H_3PO_4 karena tidak menghasilkan limbah asam yang berbahaya. Hasil ini membuktikan bahwa Na_2CO_3 dapat menjadi aktivator yang efektif untuk meningkatkan performa adsorpsi karbon aktif terhadap zat warna.

Temuan tersebut diperkuat oleh penelitian Maulina, (2020) dan Hadisoebroto et al. (2023), yang masing-masing menggunakan Na_2CO_3 pada bahan baku berbeda dan memperoleh hasil serupa. Aktivasi pelepah kelapa sawit dengan Na_2CO_3 menghasilkan luas permukaan dan daya adsorpsi metilen biru lebih tinggi dibanding NaCl (Maulina, 2020), sedangkan aktivasi kulit nangka dengan Na_2CO_3 5% menurunkan kadar air menjadi 8% dan meningkatkan daya serap MB hingga 162,61 mg/g disertai terbentuknya gugus $-\text{OH}$, $\text{C}=\text{O}$, dan $-\text{COOH}$ pada spektrum FTIR (Hadisoebroto et al., 2023). Berdasarkan hasil tersebut, Na_2CO_3 terbukti mampu meningkatkan porositas, memperbanyak gugus oksigen aktif, serta menghasilkan karbon aktif yang efektif dan ramah lingkungan, sehingga sangat tepat digunakan sebagai aktivator dalam pembuatan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit untuk aplikasi adsorpsi metilen biru.

Berdasarkan informasi yang telah diuraikan, penelitian ini dilakukan untuk mengadsorpsi metilen biru menggunakan karbon aktif dari cangkang kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) dengan aktivator Na_2CO_3 . Karbon aktif cangkang kelapa sawit digunakan sebagai adsorben dalam upaya mengadsorpsi metilen biru.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. bagaimana pengaruh aktivasi karbon aktif cangkang kelapa sawit dengan menggunakan Na_2CO_3 terhadap kemampuan adsorpsi metilen biru
2. bagaimana pengaruh pH dan waktu optimum oleh karbon aktif Na_2CO_3 terhadap kemampuan adsorpsi metilen biru
3. bagaimana kapasitas dan model isothermal adsorpsi yang sesuai pada adsorpsi metilen biru oleh karbon aktif Na_2CO_3



ajuan

elitian

ian ini adalah untuk mengadsorpsi karbon aktif dari cangkang diaktivasi menggunakan Natrium Karbonat (Na_2CO_3) untuk npuan dalam mengadsorpsi zat warna metilen biru.

1.3.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. menentukan pengaruh aktivasi karbon dari cangkang kelapa sawit dengan menggunakan aktivasi Na_2CO_3 terhadap kemampuan adsorpsi metilen biru
2. menentukan pH dan waktu optimum oleh karbon aktif Na_2CO_3 terhadap kemampuan adsorpsi metilen biru
3. menentukan kapasitas dan model isothermal adsorpsi yang sesuai pada adsorpsi metilen biru oleh karbon aktif Na_2CO_3

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai pemanfaatan cangkang kelapa sawit sebagai bahan baku karbon aktif ramah lingkungan dan penggunaan Na_2CO_3 untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi metilen biru. Hasilnya dapat mendukung pengembangan teknologi pengolahan limbah cair industri tekstil yang efisien dan berkelanjutan.



BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah cangkang kelapa sawit, akuades, akuabides, zat warna metilen biru, n-heksan, etanol 96%, Na_2CO_3 , NaHCO_3 (merck), NaOH (merck), HCl 37%, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (merck), $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (merck), indikator *red methyl*, indikator *phenolphthalein*, kertas saring *Whatman* No. 42, kertas pH universal, *plastic wrap*, aluminium foil, dan *tissue*.

2.2 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat gelas laboratorium, cawan porselin, labu semprot, ayakan ukuran 100 mesh (ASTM E11), oven (SPN 150 SFD), hot plate (*Taffware DLD-101B*), autoklaf, pompa vakum, desikator, pengaduk magnetik (Model 04802-02), furnace (*Naberthem furnace 30-3000 °C*), Sonikator (Elmasonic S 40 H), pH meter (Mediatech), termometer, neraca analitik (*Ohaus Analytical Plus*), lumpang dan alu, instrumen spektrofotometer UV-Vis (PG Instruments T60), instrumen FTIR (*Shimadzu IR Prestige 21*) dan instrumen 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 ke dalam gelas kimia 250 mL kemudian ditambahkan n-heksan sebanyak 100 mL kemudian disonikasi selama 30 menit lalu disaring menggunakan corong Buchner. Residu dari pencucian sebelumnya ditambahkan ke dalam gelas kimia 250 mL kemudian ditambahkan n-heksan sebanyak 100 mL kemudian disonikasi selama 30 menit pada suhu kamar kemudian disaring menggunakan corong Buchner dan dibilas hingga bersih. Hasil residunya dan dikeringkan dalam oven pada suhu ± 105 °C.



°C selama 24 jam untuk mendapatkan produk akhir berupa serbuk cangkang kepala sawit (SCKS) yang telah bersih kemudian di analisis menggunakan FTIR dan SAA.

2.4.2 Karbonisasi

Serbuk cangkang kelapa sawit (SCKS) 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 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. Setelah itu karbon dikeringkan pada temperatur 105°C selama 24 jam untuk mendapatkan produk akhir berupa karbon cangkang kelapa sawit (KCKS) kemudian di analisis menggunakan FTIR dan SAA (Larasati et al., 2021).

2.4.3 Pembuatan Larutan Na_2CO_3 5%

Na_2CO_3 ditimbang sebanyak 5 g, kemudian dilarutkan dengan sedikit akuabides, dipindahkan ke dalam labu ukur 100 mL, dihipitkan dengan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan.

2.4.4 Aktivasi

Karbon cangkang kelapa sawit (KCKS) ditimbang sebanyak 5 g ke dalam gelas kimia lalu di tambahkan larutan Na_2CO_3 5% sebanyak 100 mL, kemudian di aduk dengan *magnetic stirrer* selama 2 jam dan didiamkan 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 ± 110 °C selama 3 jam untuk mendapatkan produk akhir berupa karbon aktif cangkang kelapa sawit (KACKS). Setelah itu, disimpan dalam desikator hingga berat karbon stabil (Hadisoebroto et al., 2023).

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 bobot kosongnya. Sampel SCKS, KCKS dan KACKS ditimbang dalam cawan porselin dan dikeringkan dalam oven pada suhu 115 °C selama 2 jam. Kemudian dimasukkan ke dalam desikator, kemudian ditimbang hiranya. Ulangi sampai bobotnya tetap dan ditentukan kadar air (%). Kadar karbon tetap dalam sampel dihitung dengan menggunakan persamaan (1) (SNI 06-3730-1995).



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

2.4.6 Penentuan Kadar Abu

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. Sampel SCKS, KCKS dan KACKS ditimbang sebanyak 2 g ke dalam cawan porselin dan 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. Sampel SCKS, KCKS dan KACKS ditimbang sebanyak 1 g ke dalam cawan porselin 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).

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

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 akubides, dipindahkan ke dalam labu ukur 250 mL, dihimpitkan dengan anda batas dan dihomogenkan.



Larutan NaHCO_3 0,05 N

sebanyak 1,05 g, dilarutkan dengan sedikit akubides, am labu ukur 250 mL, dihimpitkan dengan akuabides hingga omogenkan.

2.4.11 Pembuatan Larutan NaOH 0,05 N

NaOH ditimbang sebanyak 2,0795 g, dilarutkan dengan sedikit akuabides, dipindahkan ke dalam labu ukur 1000 mL, dihipitkan dengan akuabides hingga tanda batas dan dihomogenkan.

2.4.12 Pembuatan Larutan HCl 0,05 N

HCl 37% dipipet sebanyak 4,144 mL ke dalam labu ukur 1000 mL, kemudian dihipitkan 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, dihipitkan 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, dihipitkan 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 $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ 0,05 N dipipet sebanyak 10 mL dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 250 mL, kemudian ditambahkan indikator *Red Methyl* sebanyak 2-3 tetes lalu dititrisasi dengan HCl hingga berubah 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*, dititrisasi 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 g dimasukkan ke dalam 4 buah gelas kimia yang berisi larutan Na_2CO_3 0,05 N, NaOH 0,05 N dan HCl 0,05 N masing-masing sebanyak 25 mL. Sampuran didiamkan selama 24 jam. Kemudian larutan disaring. Pisahkan, masing-masing dipipet sebanyak 5 mL (V_s) dari NaHCO_3 dan NaOH, kemudian ditambahkan HCl 0,05 N 10 mL, lalu dititrisasi balik dengan menggunakan larutan NaOH. Filtrat HCl dipipet sebanyak 10 mL dan ditambahkan NaOH



0,05 N berlebih sebanyak 10 mL, kemudian dititrasi balik dengan menggunakan HCl 0,05 N. Analisis kadar gugus fungsional asam dan basa total dapat menggunakan rumus pada persamaan (5-8) (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

V = Volume larutan (mL)

N = Normalitas larutan

V_p = Volume awal Na₂CO₃, NaHCO₃, NaOH, HCl (mL)

V_s = Volume Na₂CO₃, NaHCO₃, NaOH, HCl yang dipipet setelah penyaringan (mL)

W = Massa sampel (g)

2.4.18 Pembuatan Larutan Induk Metilen biru 1000 mg/L

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

2.4.19 Pembuatan Larutan Zat Warna Metilen biru 500 mg/L

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



Larutan Zat Warna Metilen biru 50 mg/L

500 mg/L dipipet sebanyak 10 mL ke dalam labu ukur ukuran 100 mL kemudian dihimpitkan akuabides hingga tanda batas (Latupeirissa et al., 2018).

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

Larutan metilen biru 50 mg/L dipipet sebanyak 0 mL, 1 mL, 2 mL, 4 mL, 8 mL dan 16 mL ke dalam masing-masing 6 buah labu ukur ukuran 100 mL lalu dihomogenkan (Latupeirissa et al., 2018).

2.4.22 Penentuan pH Optimum

pH larutan metilen biru 50 mg/L diatur menjadi pH 3 dengan menambahkan HCl 0,1 M atau NaOH 0,1 M. Kemudian 0,05 g sampel karbon cangkang kelapa sawit (KCKS) dan karbon aktif cangkang kelapa sawit (KACKS) dimasukkan ke larutan dan diaduk menggunakan *shaker* selama 30 menit dan dipisahkan larutan menggunakan sentrifugasi selama 15 menit. Absorbansi filtratnya diukur dengan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum (665 nm). Dilakukan hal yang sama untuk pH 5, 7, 9, 11 (Pasa et al., 2024). Kapasitas adsorpsi dihitung menggunakan persamaan (9):

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

2.4.23 Penentuan Waktu Kontak Optimum

Sampel karbon cangkang kelapa sawit (KCKS) dan karbon aktif cangkang kelapa sawit (KACKS) ditimbang sebanyak 0,05 g dan 25 mL larutan metilen biru 50 mg/L pada pH optimum (pH 9) dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 mL kemudian diaduk menggunakan *shaker* selama 15 menit dan dipisahkan larutan menggunakan sentrifugasi selama 15 menit. Absorbansi filtratnya diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum (665 nm). Langkah tersebut diulangi dengan waktu kontak 30, 45, 60, dan 75 menit (Pasa et al., 2024).

2.4.24 Penentuan Model Isoterm Adsorpsi

Sampel karbon cangkang kelapa sawit (KCKS) dan karbon aktif cangkang kelapa sawit (KACKS) ditimbang sebanyak 0,05 g dan 25 mL larutan metilen biru 25 mg/L pada pH optimum (pH 9) dimasukkan ke dalam erlenmeyer 100 mL kemudian diaduk menggunakan *shaker* selama waktu kontak optimum (45 menit), dan dipisahkan larutan menggunakan sentrifugasi selama 15 menit. Absorbansi filtratnya diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang maksimum (665 nm). Langkah tersebut diulangi dengan larutan metilen biru 50, 75, 100, dan 125 mg/L (Pasa et al., 2024).

