

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Masalah

Meningkatnya kebutuhan masyarakat pada produk tahan karat menyebabkan meningkatnya perkembangan produksi elektroplating di Indonesia. Berdasarkan data Kementerian Perindustrian, dicatat bahwa kebutuhan logam dasar dalam negeri meningkat sebanyak 15% per tahun. Hal ini tentu menjadikan pengolahan logam semakin menjamur begitu pula dengan limbah yang dihasilkan. Limbah cair elektroplating yang dibuang diindikasikan mengandung bahan berbahaya (B3), dan jika limbah dibuang kelingkungan dapat membuat kualitas air menurun untuk kehidupan sehari-hari. Efek racun B3 tersebut dapat merusak sistem jaringan organ manusia dan karsinogenik. Menurut Alshendra dan Ridawati (2013), limbah yang sangat berpotensi merusak lingkungan ialah limbah yang mengandung bahan berbahaya. Menurut Siti Marwati, *et al.* (2007), air limbah elektroplating mengandung berbagai jenis logam berat seperti kromium (Cr), tembaga (Cu), timbal (Pb), seng (Zn), Sianida (CN), cadmium (Cd), dan sebagainya.

Elektroplating merupakan pelapis/*coating* logam yang melekat pada elektroda untuk menjaga substrat yang memberikan permukaan dengan sifat dan dimensi berbeda daripada logam basisnya tersebut. Tujuan elektroplating untuk memberikan penampilan pada logam agar bagus, mengkilap, dan perlindungan terhadap korosi (Anton J. Hartono, 1995). Kehadiran logam berat seperti tembaga (Cu) dan perak (Ag) di lingkungan alam merupakan sumber toksin yang dapat mengkontaminasi perairan. Kehadiran logam berat di perairan dapat menyebabkan kontaminasi pada biota perairan dan juga berdampak tidak langsung pada manusia. Hal ini terkait dengan sifat-sifat logam berat yang sulit terurai dan cenderung mengakumulasi di lingkungan perairan, sulit dihilangkan secara alami. Logam berat dapat mengakumulasi dalam biota perairan seperti ikan, kerang, dan sedimen, serta tingkat keberadaannya cenderung meningkat jika terus menerima pencemaran secara berkelanjutan (Darmono, 2001).

Arang merupakan padatan dengan pori-pori dan kandungan karbon berkisar antara 85% hingga 95%. Hoque (2002) mengemukakan bahwa karbon aktif yang dibuat dari tempurung kelapa memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan yang terbuat dari bahan lain, seperti tingkat kekerasan yang mempermudah penanganan, luas permukaan yang besar, daya serap tinggi, produksi abu yang sedikit, dan tingkat kemurnian yang tinggi. Pembuatan arang bisa dilakukan dari berbagai bahan dengan kandungan karbon yang cukup tinggi. Namun, arang tempurung kelapa awalnya tidak memiliki daya serap yang optimal, sehingga perlu diaktifkan terlebih dahulu. Biasanya, aktivasi dilakukan dengan memanaskan bahan pada suhu tinggi dan kemudian menambahkan bahan kimia. Menurut Cooney (1980) dan Guerrero (1870) dalam Jamlatun *et al.* (2015), aktivasi adalah proses untuk menghilangkan hidrokarbon yang melapisi permukaan arang guna meningkatkan porositas karbon. Luas permukaan partikel akan menentukan daya serapnya, dan aktivasi dapat meningkatkan kemampuan serap arang tersebut. Dalam penelitian ini, larutan basa NaOH digunakan sebagai aktivator untuk meningkatkan porositas karbon aktif.

Beberapa penelitian telah dilakukan dalam pengolahan limbah elektroplating menggunakan beberapa metode proses pengolahan secara kimia seperti dengan presipitasi (pengendapan), adsorpsi (penyerapan), filtrasi (penyaringan) dan koagulasi. Penelitian sebelumnya dilakukan Wulandari *et al.* (2015) yaitu pengaruh konsentrasi larutan NaOH pada karbon aktif tempurung kelapa untuk adsorpsi logam Cu^{2+} . Dalam penelitian ini, proses aktivasi kimia arang tempurung kelapa menggunakan larutan NaOH dengan variasi konsentrasi 1%, 2%, 4%, dan 7% selama 24 jam. Proses aktivasi fisika dilakukan dengan memanaskan arang hasil aktivasi kimia pada suhu 400°C selama 1 jam di dalam tungku horizontal dan dialirkan gas argon. Hasil uji AAS dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa karbon aktif yang berasal dari arang tempurung kelapa dapat digunakan untuk mengadsorpsi logam Cu^{2+} . Terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan NaOH, persentase logam Cu^{2+} yang teradsorpsi cenderung menurun. Persentase tertinggi dari logam Cu^{2+} yang teradsorpsi terjadi pada karbon aktif yang diaktivasi dengan larutan NaOH 1%, mencapai 80,87%. Berbeda dengan penelitian yang akan dilakukan, pada penelitian ini dilakukan pengolahan limbah elektroplating untuk

menurunkan kandungan logam berat Cu dan Ag menggunakan proses adsorpsi. Dalam penelitian ini, untuk adsorpsi digunakan adsorben dari tempurung kelapa yang diaktivasi natrium hidroksida (NaOH). Variasi yang digunakan adalah variasi suhu dan waktu pada proses aktivasi adsorben. Variasi waktu (t) yang digunakan adalah 2 jam, 2,5 jam, dan 3 jam. Variasi suhu (T) yang digunakan adalah 110°C, 130°C, dan 150°C. Kecepatan yang digunakan untuk pengadukan adalah 500 rpm. Sampel akan di uji daya serap karbon aktif menggunakan air yang direndam selama 24 jam, kemudian dilakukan proses adsorpsi pada limbah elektroplating dan di analisa menggunakan ICP-OES (*Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry*) dan untuk sampel dengan variasi suhu 110°C dengan waktu 2 jam (A1) dan suhu 150°C dengan waktu 3 jam (A9) akan dikarakterisasi menggunakan SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope-EDS*).

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian Pemanfaatan Arang Tempurung Kelapa Sebagai Adsorben Menggunakan Aktivator NaOH dalam Penyerapan Logam Berat pada Limbah Elektroplating yaitu :

1. Mengoptimalkan limbah organik (tempurung kelapa) dengan cara diolah menjadi arang aktif.
2. Mengetahui kemampuan daya serap karbon aktif sesudah diaktivasi menggunakan uji daya serap adsorben dan kemampuan penurunan kandungan logam berat Cu dan Ag pada limbah elektroplating menggunakan metode adsorpsi.
3. Mengetahui efisiensi adsorben yang sudah diaktivasi menggunakan variasi suhu dan waktu pada penurunan kandungan logam berat pada limbah elektroplating.
4. Mengetahui karakteristik karbon aktif sesudah diaktivasi pada sampel A1 (2 jam 110°C) dan A9 (3 jam 150°C) menggunakan SEM-EDX.

1.3 Kerangka Pemikiran

Industri elektroplating merupakan salah satu sektor industri yang menghasilkan limbah berupa logam berat. Penggunaan logam berat dalam proses

ini disebabkan oleh sifat-sifatnya yang memungkinkan untuk menghantarkan listrik dan panas serta membentuk paduan dengan logam lain. Logam berat yang umum ditemukan dalam limbah elektroplating meliputi kromium (Cr), besi (Fe), tembaga (Cu), mangan (Mn), dan perak (Ag). Tembaga (Cu) dan perak (Ag) termasuk dalam kelompok logam berat yang dapat menjadi toksin alam. Kehadiran logam berat di lingkungan perairan mengakibatkan kontaminasi pada biota air, yang pada gilirannya dapat berdampak tidak langsung pada manusia. Tidak mudah terdegradasi, logam berat cenderung mengakumulasi dalam lingkungan perairan dan sulit dihilangkan secara alami. Akibatnya, logam berat dapat terakumulasi dalam organisme perairan seperti ikan, kerang, dan sedimen, dengan konsentrasinya meningkat jika pencemaran berlanjut (Darmono, 2001). Bahaya dari logam berat lain yang terdapat dalam limbah elektroplating juga dapat memiliki dampak negatif terhadap kesehatan masyarakat jika terakumulasi dalam tubuh dalam jangka waktu yang lama. Oleh karena itu, penanganan terhadap kandungan logam berat dalam limbah elektroplating menjadi suatu kebutuhan yang mendesak. Limbah tempurung kelapa, yang biasanya melimpah dan masih belum dimanfaatkan secara optimal, seringkali hanya digunakan sebagai bahan bakar sekali pakai setelah bagian isinya dikonsumsi. Namun, sebenarnya tempurung kelapa memiliki kemampuan adsorpsi yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi kadar logam berat seperti Cu dan Ag dalam limbah elektroplating menggunakan proses adsorpsi, dengan menggunakan arang tempurung kelapa yang diaktivasi oleh larutan NaOH serta variasi suhu dan waktu. Keunggulan dari penggunaan proses adsorpsi meliputi biaya yang relatif murah, efisiensi tinggi dalam mengatasi larutan encer, minimalisasi pembentukan lumpur, serta kemudahan dalam proses regenerasinya (Ashraf, 2010, Kurniasari 2014).

1.4 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan kerangka pemikiran maka dapat ditarik suatu hipotesis yaitu sebagai berikut :

1. Limbah elektroplating mengandung logam berat yaitu yaitu kromium (Cr), besi (Fe), tembaga (Cu), mangan (Mn), dan perak (Ag).

2. Pengolahan limbah digunakan proses adsorpsi karena memiliki banyak keuntungan yaitu pembiayaan yang rendah, operasional yang mudah, serta kapasitas pengikatan logam berat yang tinggi
3. Penurunan kadar logam berat Cu dan Ag pada limbah elektroplating agar sesuai baku mutu limbah cair, tidak mencemari lingkungan sekitar dan masyarakat.

1.5 Kontribusi Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat dan berkontribusi untuk pengolahan limbah elektroplating sehingga limbah yang dibuang ke lingkungan akan sesuai dengan baku mutu. Manfaat lain dari penelitian ini adalah :

1. Bagi penulis, memberikan tambahan ilmu pengetahuan dan juga pengalaman tentang pengolahan limbah elektroplating.
2. Bagi lingkungan, diharapkan dapat menjadi solusi mengurangi pencemaran lingkungan sekitar dan inovasi dalam pengolahan limbah elektroplating.
3. Bagi pemerintah, diharapkan penelitian ini bermanfaat untuk inovasi pengolahan limbah di lingkungan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah

Menurut Endang Widjajanti (2009), pencemaran lingkungan sering kali disebabkan oleh limbah, yang merupakan hasil buangan dari aktivitas industri maupun domestik yang tidak diinginkan oleh lingkungan karena tidak memiliki nilai ekonomis. Limbah, atau polutan, dapat dikelompokkan berdasarkan jenis, sifat, dan asalnya. Secara kategoris, limbah dapat berupa padat atau cair. Limbah padat mencakup berbagai sisa yang tidak lagi berguna dalam bentuk padat, seperti kaleng bekas minuman, daun, atau kertas. Sedangkan limbah cair adalah jenis zat sisa yang dibuang dalam bentuk larutan atau cairan. Berdasarkan asalnya, limbah dapat dibedakan menjadi limbah rumah tangga dan limbah industri. Limbah industri merujuk pada beragam limbah yang dihasilkan sebagai hasil samping dari kegiatan industri. Limbah industri memiliki potensi untuk mencemari lingkungan dan menjadi berbahaya bagi manusia karena mengandung senyawa organik dan anorganik yang melebihi batas yang telah ditetapkan.

Pencemaran lingkungan dapat mengambil berbagai bentuk, seperti perubahan aroma, warna, atau kebisingan, bahkan menyebabkan gangguan serius dalam ekosistem dengan kehilangan organisme tertentu. Sumber pencemaran yang seringkali merusak lingkungan alam adalah limbah yang sangat berbahaya dan beracun. Limbah yang tergolong sangat beracun biasanya terdiri dari senyawa kimia, entah itu dalam bentuk senyawa kompleks atau unsur tunggal yang telah terionisasi. Senyawa dengan kandungan logam berat cenderung memiliki tingkat toksisitas yang tinggi bagi organisme, termasuk manusia. Toksisitas logam berat dapat mengganggu fungsi enzim dalam proses fisiologis atau metabolisme tubuh, mengakibatkan gangguan dalam proses tersebut. Selain itu, zat-zat beracun dalam senyawa tersebut cenderung menumpuk di dalam tubuh dan dapat menyebabkan keracunan kronis.

Sifat beracun dan berbahaya dari limbah tercermin dalam karakteristik fisik dan kimianya, baik dalam jumlah maupun kualitasnya. Ada beberapa kriteria yang

menunjukkan tingkat bahaya dan keberacunan suatu bahan, seperti kemudahan terbakar, kecenderungan meledak, sifat korosif, kemampuan sebagai oksidator atau reduktor yang kuat, serta sifat mudah terurai, dan sebagainya. Kehadiran limbah dengan kriteria-kriteria tersebut dalam konsentrasi dan volume tertentu dapat memberikan dampak negatif pada lingkungan dalam jangka waktu tertentu. Kandungan pencemar dalam limbah bervariasi berdasarkan berbagai parameter. Semakin sedikit parameter yang terdapat dalam limbah dan semakin rendah konsentrasinya, semakin kecil kemungkinan pencemaran lingkungan terjadi. Faktor-faktor seperti volume limbah, konsentrasi zat pencemar, dan frekuensi pembuangan limbah mempengaruhi kualitas limbah.



Gambar 1. Limbah
(Sumber : Budi Setiawan, 2022)

2.2 Limbah Elektroplating

Proses elektroplating, selain menghasilkan produk yang berguna, juga menghasilkan limbah dalam bentuk padat, gas, dan cair. Limbah padat berasal dari proses penghilangan kerak, penghalusan permukaan, dan residu kotoran pada wadah elektroplating. Limbah gas terutama berasal dari penguapan larutan elektrolit, pelarut, uap asam, dan cairan pembersih. Limbah cair terdiri dari air sisa pencucian, pembersihan, dan proses elektroplating itu sendiri. Air limbah mengandung logam-logam terlarut, pelarut, serta senyawa organik dan anorganik terlarut lainnya (Sari, 2010). Limbah yang dihasilkan pada industri elektroplating umumnya sangat beragam kandungannya tergantung pada proses *plating* atau pelapisannya yaitu pelapisan perak, emas, tembaga, nikel dan krom.

Dalam proses pelapisan, berbagai bahan kimia seperti perak, kalium sianida, tembaga sianida, tembaga sulfat, nikel klorida, nikel sulfat, asam kromat, natrium karbonat, amonium, dan natrium hidroksida digunakan untuk mencuci dan mempercepat proses pelapisan. Akibatnya, limbah yang dihasilkan mengandung konsentrasi logam yang tinggi. Jika dibuang ke lingkungan, limbah tersebut dapat mencemari habitat sekitarnya karena logam-logam tersebut dapat menumpuk di tanah dan mencemari perairan (Sari, 2009). Logam berat Cu dapat terakumulasi dalam jaringan tubuh, maka apabila konsentrasinya cukup besar logam berat ini akan meracuni manusia tersebut. Pengaruh racun yang ditimbulkan dapat berupa muntah- muntah, rasa terbakar di daerah *esofagus* dan lambung, *kolik*, diare, yang kemudian disusul dengan hipotensi, nekrosis hati dan koma (Supriharyono, 2000).

Secara alami, perak umumnya hadir dalam bentuk yang sangat tidak larut, terutama dalam bentuk senyawa sulfida dan beberapa garam lainnya. Kandungan perak dapat ditemukan dalam sumber air, air permukaan, dan bahkan air minum dengan konsentrasi yang melebihi 5 mg/l, walaupun hanya sebagian kecil dari perak yang dapat diserap oleh tubuh. Jika terjadi paparan, perak yang tertelan dapat mengendap pada kulit, mata, dan membran mukosa, yang mengakibatkan perubahan warna kulit menjadi abu-abu tanpa reaksi yang jelas, sebuah kondisi yang disebut *argyria*. Percobaan pada tikus telah menunjukkan bahwa paparan perak dapat menyebabkan kerusakan pada ginjal (Waluyo, 2018).

2.3 Karakteristik Limbah Cair Elektroplating

Berdasarkan penelitian literatur sebelumnya, telah diketahui bahwa limbah cair dari proses elektroplating memiliki karakteristik tertentu. Ditemukan bahwa beberapa parameter dalam limbah cair elektroplating melebihi standar yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 mengenai Baku Mutu Air Limbah untuk Industri dan kegiatan usaha lainnya, khususnya bagi industri elektroplating (Tabel 1).

Tabel 1. Baku Mutu Limbah Cair Industri Pelapisan Logam

Parameter	Kadar Paling tinggi Pelapisan Logam (mg/L)	Beban Paling Tinggi Pelapisan Logam (gr/m ²)
Cu	0,5	0,01
Ag	0,5	0,01

Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No 5 Tahun 2014

2.4 Logam Berat

Logam berat merupakan sekelompok logam yang memiliki sifat khas yang membedakannya dari logam lainnya, terutama terkait dengan dampaknya saat terikat atau terakumulasi dalam organisme. Sekitar 75% unsur dalam tabel periodik adalah logam, yang tersebar hampir di seluruh golongan kecuali Golongan VII-A dan Golongan VIII-A. Unsur-unsur logam ini juga dikelompokkan berdasarkan karakteristiknya (Palar, 2008). Contoh logam berat esensial seperti Zn, Cu, Fe dan Mn. Pada logam berat non esensial adalah logam berat yang memiliki sifat toksik atau beracun. Contoh dari logam berat non esensial adalah Hg, Cd, Pb dan Cr (Happy *et al.*, 2012). Kepadatan logam yang signifikan di lingkungan alami dapat menimbulkan dampak negatif pada ekosistem. Logam berat cenderung terakumulasi dalam air, endapan, dan organisme hidup, serta dapat berinteraksi dengan logam berat lainnya. Niebor dan Richardson telah memperkenalkan istilah "logam berat" sebagai pengganti dari pengelompokan ion-ion logam ke dalam tiga kategori biologi dan kimia (bio-kimia) sebagai berikut :

1. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur oksigen atau disebut juga dengan *oxygen seeking metal*.
2. Logam-logam yang dengan mudah mengalami reaksi kimia bila bertemu dengan unsur nitrogen dan atau unsur belerang (sulfur) atau disebut juga nitrogen/*sulphur seeking metal*.
3. Logam antara atau logam transisi yang memiliki sifat khusus (spesifik) sebagai logam pengganti (ion pengganti) untuk logam-logam atau ion-ion logam dari kelas A dan logam dari kelas B.

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, pencemaran air merujuk pada proses dimasukkannya zat-zat, energi, organisme hidup, atau komponen lain ke

dalam air oleh aktivitas manusia. Hal ini mengakibatkan penurunan kualitas air hingga tingkat tertentu sehingga air tidak dapat memenuhi fungsinya dengan baik. Limbah industri, seperti limbah dari proses elektroplating yang mengandung logam berat kromium, merupakan salah satu sumber pencemar yang berpotensi. Jika sungai tercemar dengan logam berat kromium dan digunakan oleh masyarakat sebagai sumber air bersih untuk keperluan seperti mandi, mencuci, dan kebutuhan sanitasi, hal ini dapat membahayakan kesehatan manusia. Kontak langsung dengan kulit atau mata terhadap air yang terkontaminasi dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan seperti dermatitis, luka, dan pembengkakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kandungan logam berat yang termasuk dalam kategori limbah B3 (Bahan Beracun Berbahaya) (Purwanto, 2005). Beberapa unsur logam yang terdapat dalam limbah cair elektroplating antara lain besi (Fe), krom (Cr), seng (Zn), nikel (Ni), mangan (Mn), dan tembaga (Cu).



Gambar 2. Limbah Cair Logam Berat
(Sumber : Muchlisin Riadi, 2019)

2.5 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses di mana molekul-molekul tertentu diambil oleh permukaan luar atau dalam suatu material adsorben atau larutan. Tingkat adsorpsi menentukan waktu yang diperlukan untuk pengolahan dan skala sistem adsorpsi yang akan digunakan. Kinetika proses menggambarkan bagaimana molekul berpindah dari larutan ke pori-pori partikel adsorben. Secara alternatif, adsorpsi dapat didefinisikan sebagai peristiwa penyerapan pada permukaan atau antar fasa, di mana molekul tertentu terkumpul pada material pengadsorpsi atau adsorben.

Daya adsorpsi adalah ukuran kemampuan suatu adsorben untuk menarik sejumlah adsorbat. Proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk luas permukaan adsorben, konsentrasi atau tekanan adsorbat dalam kesetimbangan, suhu, dan sifat-sifat adsorbat dan adsorben. Semakin luas permukaan adsorben, semakin kuat pula daya adsorpsinya. Sifat adsorpsi pada permukaan zat padat cenderung sangat selektif, di mana hanya satu komponen dari campuran zat yang diadsorpsi oleh zat padat tertentu.

Adsorpsi melibatkan perpindahan massa dan mencapai kesetimbangan distribusi dari satu atau lebih larutan antara fasa cair dan partikel. Fasa yang menyerap disebut sebagai adsorben, yaitu zat yang mampu menyerap zat lain (cairan atau gas) dalam proses adsorpsi. Biasanya, adsorben memiliki sifat yang spesifik, hanya menyerap zat tertentu. Dalam pemilihan adsorben untuk proses adsorpsi, dipilih berdasarkan sifat dan kondisi zat yang akan diserap. Karbon aktif dan silika gel adalah contoh bahan yang sering digunakan sebagai adsorben.

Adsorben adalah zat padat yang mampu menyerap komponen tertentu dari fase fluida. Sebagian besar adsorben memiliki struktur berpori yang sangat besar, dimana proses adsorpsi terutama terjadi di dinding pori atau pada posisi-posisi khusus di dalam partikel tersebut. Karena pori-pori biasanya sangat kecil, luas permukaan dalamnya jauh lebih besar dari pada luas permukaan luarnya, bahkan mencapai beberapa orde besaran lebih besar hingga $2000 \text{ m}^2/\text{g}$. Pemisahan terjadi karena adanya perbedaan bobot molekul atau perbedaan polaritas, yang menyebabkan sebagian molekul melekat pada permukaan dengan lebih kuat daripada molekul lainnya.

2.5.1 Mekanisme Adsorpsi

Menurut Reynolds (1982), mekanisme penyerapan adsorben terhadap zat terlarut terbagi menjadi 4 tahap diantaranya :

1. Transfer molekul-molekul zat terlarut yang teradsorpsi menuju lapisan *film* yang mengelilingi adsorben.
2. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui lapisan film yang mengelilingi adsorben (*film diffusion process*).

3. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui kapiler atau pori dalam adsorben (*pore diffusion process*).
4. Adsorpsi zat terlarut yang teradsorpsi pada dinding pori atau permukaan adsorben.

2.5.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi

Berikut ini merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi suatu adsorben (Treybal, 1980).

1. Jenis Adsorbat

a. Ukuran Molekul Adsorbat

Penting untuk memperhatikan ukuran molekul dalam proses adsorpsi agar proses tersebut berjalan efisien. Ukuran molekul adsorbat memengaruhi pilihan ukuran pori adsorben yang sesuai. Molekul adsorbat yang berhasil teradsorpsi biasanya memiliki diameter yang lebih kecil daripada diameter pori-pori adsorben yang digunakan.

b. Kepolaran Zat

Polaritas adsorbat dan adsorben juga berperan penting dalam proses adsorpsi. Sebagai contoh, meskipun memiliki diameter yang sama, karbon aktif cenderung memiliki adsorpsi yang lebih kuat terhadap molekul yang bersifat polar dibandingkan dengan molekul yang bersifat nonpolar.

2. Karakteristik Adsorben

a. Kemurnian Adsorben

Dalam peran sebagai zat yang mengadsorpsi, keberadaan adsorben yang lebih murni menjadi prioritas karena memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik.

b. Luas Permukaan dan Volume Pori Adsorben

Peningkatan jumlah molekul adsorbat yang teradsorpsi sejalan dengan peningkatan luas permukaan dan volume pori dari adsorben. Dalam proses adsorpsi, sering kali diperlukan peningkatan luas permukaan adsorben karena faktor ini menjadi salah satu faktor kunci yang memengaruhi efektivitas proses adsorpsi.

3. Temperatur

Menurut prinsip Le Chatelier, dalam proses adsorpsi yang bersifat eksotermis, kenaikan suhu pada tekanan yang tetap akan menyebabkan penurunan jumlah senyawa yang teradsorpsi.

4. Tekanan Adsorbat

Dalam berbagai jenis adsorpsi yang ditentukan oleh interaksi molekular, tekanan adsorbat memainkan peran penting dalam menentukan jumlah molekul yang teradsorpsi. Pada adsorpsi fisika, peningkatan tekanan adsorbat menyebabkan peningkatan jumlah molekul adsorbat. Namun, pada adsorpsi kimia, peningkatan tekanan adsorbat akan menyebabkan penurunan jumlah molekul adsorbat.

2.6 Tempurung Kelapa

Kelapa (*Cocos nucifera*) adalah tanaman yang lazim ditemui di Indonesia, sehingga buah kelapa tersedia secara melimpah di negara ini. Tanaman kelapa termasuk dalam keluarga palma dan sering tumbuh subur di wilayah tropis seperti Indonesia. Untuk dapat tumbuh dan menghasilkan dengan baik, tanaman kelapa memerlukan lingkungan yang sesuai. Faktor lingkungan yang penting termasuk paparan sinar matahari, suhu, curah hujan, tingkat kelembaban udara, dan kondisi tanah (Amin, 2010). Salah satu komponen utama dari tanaman kelapa adalah buah kelapanya. Buah kelapa terdiri dari beberapa bagian, termasuk *epicarp* (kulit luar yang licin dan keras), *mesocarp* (atau sabut, yang terdiri dari serat-serat keras dengan ketebalan sekitar 3-5 cm), *endocarp* (tempurung yang sangat keras dengan ketebalan sekitar 3-6 mm), dan *endosperm* (bagian dalam yang menempel pada kulit luar *endosperm*, dengan ketebalan sekitar 8-10 mm). Buah kelapa yang sudah matang umumnya terdiri dari sekitar 35% sabut, 12% tempurung, 28% *endosperm*, dan 25% air (Purnama, 2013).

Bagian dari buah kelapa yang sering dikonsumsi dalam makanan sehari-hari adalah daging buah dan air kelapa, sementara tempurung kelapa seringkali diabaikan dan kurang dimanfaatkan. Untuk mengurangi dampak lingkungan dari limbah tempurung kelapa, diperlukan penanganan yang tepat, salah satunya adalah dengan mengubahnya menjadi karbon aktif untuk digunakan sebagai adsorben.

Tempurung kelapa dipilih sebagai bahan baku untuk karbon aktif karena memiliki sejumlah keunggulan, termasuk ketersediaan yang mudah, biaya yang ekonomis, kemampuan mikropori, kadar abu yang rendah, reaktivitas yang tinggi, dan kelarutan yang baik dalam air.



Gambar 3. Tempurung Kelapa
(Sumber : UNAIR News, 2020)

2.7 Pengertian Karbon Aktif

Karbon aktif adalah bentuk karbon *amorf* yang terdiri dari pelat-pelat datar yang tersusun secara kovalen dalam kisi heksagonal datar, dengan satu atom karbon di setiap sudutnya. Karbon aktif memiliki luas permukaan yang bervariasi, berkisar antara 300 m²/g hingga 3500 m²/g, tergantung pada struktur pori internalnya. Sifat-sifat ini memungkinkannya berperan sebagai adsorben (Jamilatun & Setiyawan, 2014).

Arang aktif merupakan bentuk karbon yang memiliki kemampuan menyerap yang baik terhadap anion, kation, dan molekul dalam bentuk senyawa organik dan anorganik, baik dalam larutan maupun gas. Bahan-bahan yang banyak mengandung karbon, terutama yang memiliki pori-pori yang signifikan, umumnya dapat digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan arang aktif. Proses pembuatan arang aktif ini melibatkan aktivasi arang melalui metode fisika atau kimia dalam suatu *retort*. Perbedaan dalam bahan baku dan proses aktivasi yang digunakan dapat menghasilkan arang aktif dengan sifat dan mutu yang berbeda pula (Lempang, 2014).

Karbon aktif adalah bentuk arang yang telah melalui proses pengolahan lanjutan pada suhu tinggi menggunakan gas CO₂, uap air, atau bahan kimia lainnya. Proses ini membuka pori-pori arang sehingga dapat berfungsi sebagai adsorben. Kemampuan adsorpsi karbon aktif terjadi karena adanya banyak pori mikro yang menyebabkan fenomena kapilari, yang pada akhirnya meningkatkan daya adsorpsinya (Polii, 2017). Produksi karbon aktif melibatkan dua tahap utama, yaitu karbonisasi dan aktivasi. Karbonisasi adalah proses pemanasan arang dalam lingkungan tanpa oksigen dan tanpa bahan kimia tambahan. Aktivasi, di sisi lain, adalah langkah yang ditujukan untuk memperluas pori-pori arang dengan cara memecah ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul permukaan, mengakibatkan perubahan sifat fisik dan kimia arang (Verlina, 2014).



Gambar 4. Karbon Aktif Tempurung Kelapa
(Sumber : Afif Amirudin, 2021)

2.7.1 Fungsi Arang Aktif

Pada umumnya arang aktif dapat digunakan sebagai bahan pembersih, dan penyerap, juga sebagai bahan pengemban katalisator. Pada industri karet ban arang aktif yang mempunyai sifat radikal dan serbuk sangat halus, digunakan sebagai bahan aditif kopolimer.

1. Karbon aktif berfungsi sebagai filter untuk menjernihkan air
2. Karbon aktif berfungsi sebagai adsorben pemurnian gas
3. Karbon aktif berfungsi sebagai filter industri minuman
4. Karbon aktif berfungsi sebagai penyerap hasil tambang dalam industri pertambangan.

5. Karbon aktif berfungsi sebagai pemucat atau penghilang warna kuning pada gula pasir.
6. Karbon aktif berfungsi untuk mengolah limbah B3 (Bahan Beracun Berbahaya)
7. Dapat berfungsi sebagai penyegar/pembersih udara ruangan dari kandungan uap air.

2.7.2 Sifat Karbon Aktif

Sifat adsorpsi karbon aktif sangat dipengaruhi oleh porositas permukaannya, namun dalam konteks industri, karakterisasi karbon aktif lebih difokuskan pada kemampuan adsorpsi daripada struktur porinya. Pori karbon aktif dapat memiliki berbagai bentuk, termasuk silinder, persegi panjang, dan bentuk tidak teratur lainnya. Selama proses aktivasi, gugus fungsi dapat terbentuk pada karbon aktif melalui interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen, yang berasal dari proses produksi atau dari atmosfer. Gugus fungsi ini membuat permukaan karbon aktif menjadi reaktif secara kimiawi dan memengaruhi sifat adsorpsinya. Oksidasi permukaan karbon aktif selama proses produksi menghasilkan gugus hidroksil, karbonil, dan karboksilat, yang memberikan sifat amfoterik pada karbon, memungkinkannya berperan sebagai asam maupun basa (Sudirjo, 2006).

2.7.3 Faktor yang Mempengaruhi Daya Serap Karbon Aktif

a. Sifat Serapan

Ada banyak senyawa yang bisa diadsorpsi oleh arang aktif, namun kemampuannya dalam mengadsorpsi berbeda-beda untuk setiap senyawa. Tingkat adsorpsi cenderung meningkat seiring dengan peningkatan ukuran molekul yang diadsorpsi dari struktur yang serupa. Selain itu, adsorpsi juga dipengaruhi oleh keberadaan gugus fungsi, posisi gugus fungsi, ikatan rangkap, dan struktur rantai dari senyawa yang diadsorpsi.

b. Temperatur

Pada penggunaan arang aktif, disarankan untuk memantau suhu selama proses berlangsung. Faktor-faktor yang memengaruhi suhu dalam proses adsorpsi

meliputi viskositas dan stabilitas termal dari senyawa yang diadsorpsi. Jika pemanasan tidak mengubah sifat-sifat dari senyawa yang diadsorpsi, seperti perubahan warna atau dekomposisi, maka perlakuan dilakukan pada titik didih senyawa tersebut.

c. pH (Derajat Keasaman)

Pada asam organik, penurunan pH dengan menambahkan asam mineral akan meningkatkan adsorpsi karena asam mineral dapat mengurangi ionisasi asam organik tersebut. Sebaliknya, peningkatan pH dengan menambahkan alkali akan mengurangi adsorpsi karena terbentuknya garam.

d. Waktu Kontak

Penambahan arang aktif ke dalam cairan membutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan, di mana waktu yang dibutuhkan berbanding terbalik dengan tingkat pengadukan. Pengadukan bertujuan untuk memungkinkan partikel arang aktif berkontak dengan senyawa yang akan diadsorpsi. Pada larutan dengan viskositas tinggi, waktu kontak yang lebih lama diperlukan.

2.8 Aktivasi

2.8.1 Pengertian Aktivasi

Aktivasi dapat memperbesar pori dan membentuk beberapa pori baru dengan cara memecah ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan agar karbon yang dihasilkan dapat berubah sifatnya, baik secara fisika maupun kimia, yaitu luas permukaan yang bertambah besar dan daya serap yang tinggi (Sembiring, 2003). Produk akhir karbonisasi tidak dapat langsung digunakan sebagai adsorben tanpa adanya proses aktivasi karena struktur porinya tidak berkembang. Pada proses aktivasi diperoleh karbon oksida yang menyebar di permukaan karbon karena terjadi reaksi yang melibatkan karbon dengan zat pengoksidasi (Kinoshita, 1988).

Hal tersebut dapat dikatakan sebagai mekanisme reaksi pada proses aktivasi dimana terjadi interaksi antara zat pengoksidasi dengan struktur atom karbon hasil karbonisasi. Selama aktivasi, karbon direndam agar dihasilkan jumlah atau volume

pori dan luas permukaan yang besar melalui proses eliminasi atau penguapan zat volatile produk karbonisasi. Menurut Tawalbeh (2005) dalam penelitian Hartanto & Ratnawati (2010), faktor-faktor yang berpengaruh dalam proses aktivasi adalah waktu dan suhu aktivasi yang digunakan, ukuran partikel karbon, rasio massa aktivator dan karbon yang ditambahkan serta jenis aktivator.

2.8.2 Jenis-Jenis Aktivasi

Kualitas karbon aktif yang dihasilkan tergantung pada penggunaan bahan baku, aktivator dan jenis aktivasinya. Proses aktivasi dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu aktivasi fisika dan kimia :

a. Aktivasi Fisika

Aktivasi fisika meliputi dua tahapan proses. Pertama, dilakukan tahap karbonisasi, kemudian aktivasi yang menghasilkan karbon pada suhu tinggi yang melibatkan CO₂, uap air, N₂ dan O₂ yang berfungsi sebagai gas pengoksidasi. CO₂ dan uap air biasanya digunakan sebagai gas pengoksidasi karena mudah ditangani, bersih dan memiliki laju reaksi yang lambat pada suhu sekitar 800°C, yang memfasilitasi kontrol proses aktivasi.

Pada beberapa penelitian, ditemukan kisaran 400°C sampai 850°C untuk suhu aktivasi, namun menurut Manocha (2003) dalam penelitian Lempang (2014) suhu aktivasi yang digunakan dapat lebih dari 1000°C namun dapat menyebabkan kerusakan kisi-kisi heksagonal karbon.

Karbon aktif yang diproduksi menggunakan metode aktivasi fisika terkadang memiliki kualitas yang kurang baik sehingga tidak layak untuk digunakan sebagai filter atau sebagai adsorben. Aktivasi fisika dapat dilakukan untuk berbagai residu biomassa pertanian seperti sekam padi, serbuk gergaji, cangkang bunga matahari, tongkol jagung, limbah kayu, sekam jagung, residu kapas, batang tembakau, bonggol jagung, sabut kelapa, cangkang almond dan kacang tanah (Wookeun dkk., 2014).

b. Aktivasi Kimia

Menurut Sembiring dan Sinaga (2003), aktivasi kimia adalah proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik menggunakan bahan-bahan kimia sebagai aktivator. Proses aktivasi kimia melibatkan beberapa langkah proses yang

terjadi secara bersamaan. Proses aktivasi secara kimia pada suhu yang lebih rendah menghasilkan struktur pori karbon aktif yang lebih baik karena bahan kimia akan masuk ke dalam karbon aktif serta akan membuka permukaan karbon yang awalnya tertutup oleh deposit tar (Tutik dan Faizah, 2001).

Perlu diperhatikan mengenai perlindungan lingkungan yang dapat membatasi penggunaan bahan kimia untuk aktivasi. Beberapa bahan kimia yang digunakan sebagai activating agent antara lain seng klorida ($ZnCl_2$), kalium hidroksida (KOH), natrium hidroksida (NaOH), asam fosfat (H_3PO_4), kalium karbonat (K_2CO_3) dan lain-lain. Limbah pertanian yang dapat diaktivasi secara kimia terdiri dari biji zaitun, kulit kemiri, kulit kacang tanah, kulit almond, tongkol jagung, kulit hazelnut, sekam padi, dan kulit singkong (Ioannidou & Zabaniotou, 2005). Menurut Suhendra dan Gunawan (2010), aktivasi kimia memiliki kelebihan jika dibandingkan aktivasi fisika, di antaranya adalah :

1. Pada aktivasi kimia dilakukan metode aktivasi satu langkah atau *one-step activation*, dimana proses karbonisasi dan proses aktivasi dilakukan secara bersamaan. Setelah proses karbonisasi langsung dilakukan tahap aktivasi.
2. Suhu yang digunakan pada aktivasi kimia lebih rendah jika dibandingkan dengan suhu pada aktivasi fisika.
3. Pada aktivasi kimia penggunaan larutan kimia akan mempengaruhi pembentukan dan pengembangan pori dalam karbon aktif.
4. Pada aktivasi kimia produk yang dihasilkan lebih banyak jika dibandingkan dengan aktivasi fisika.

2.9 Logam Tembaga (Cu)

Tembaga, yang disimbolkan dengan Cu, memiliki nomor atom 29 dan berat atom sebesar 63,546 gram/mol. Titik lelehnya terjadi pada suhu 1084 derajat Celsius, sementara titik didihnya terjadi pada suhu 2310 derajat Celsius. Berat jenisnya adalah 8,90 gram per sentimeter kubik, dengan partikelnya memiliki ukuran di bawah 100 nanometer. Tembaga memiliki kristalinitas yang berwarna kemerahan. Secara alami, tembaga memasuki lingkungan melalui proses erosi pada batuan mineral atau partikel tembaga yang terendapkan bersama hujan. Sumber

tembaga yang berasal dari aktivitas manusia di lingkungan meliputi limbah industri seperti cat, tekstil, dan proses pelapisan logam (Tarigan *et al.*, 2021).

Tembaga sangat digunakan dalam industri pelapisan logam dan pembuatan kuningan, yang merupakan campuran tembaga dan seng. Dalam tubuh manusia, tembaga memegang peran krusial dalam pembentukan sel darah merah dan putih, pembentukan tulang, serta dalam proses pelepasan zat besi untuk membentuk hemoglobin. Kekurangan tembaga dalam tubuh dapat mengakibatkan berbagai masalah kesehatan seperti anemia, diare akut, dan defisiensi nutrisi (Amir *et al.*, 2021).

Tetapi, penumpukan tembaga dalam tubuh manusia dalam jumlah yang signifikan dapat mengakibatkan keracunan. Paparan langsung terhadap tembaga dalam dosis besar dapat menyebabkan gejala seperti mual, muntah, diare, dan kejang, sedangkan paparan secara berkelanjutan dapat mengganggu kinerja organ penting seperti ginjal dan hati, bahkan dapat berakibat fatal (Indah, 2020).

2.10 Logam Perak (Ag)

Perak, sebuah logam dengan nomor atom 47 dan berat atom 107,8682 gram per mol. Dalam keadaan teroksidasi, perak memiliki empat bentuk: Ag^0 dan Ag^{+1} yang umum dijumpai secara alami, serta Ag^{+2} dan Ag^{+3} yang jarang terjadi karena cenderung tidak stabil, terutama dalam lingkungan air dan sering memiliki ukuran partikel antara 10 nm hingga 50 nm. Sifat-sifat perak mencakup kemampuannya yang sangat mudah ditempa, resistensi terhadap korosi, serta konduktivitas listrik dan termal yang tinggi. Bahkan, perak memiliki konduktivitas listrik tertinggi di antara semua logam dan hambatan listrik yang sangat rendah. Perak juga dikenal memiliki ketahanan kimia yang baik, yang sebanding dengan logam-logam seperti emas, platina, dan tembaga. Lapisan perak dapat melindungi logam tembaga dari korosi dan mampu bertahan dalam larutan asam klorida selama 24 jam.

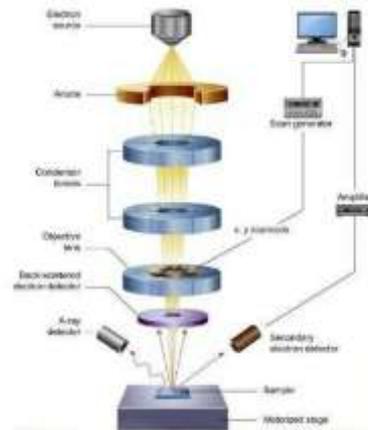
2.11 Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)

Menurut Anderson dan Gerbing (1988), penggunaan teknik *Scanning Electron Microscopy* (SEM) memberikan pendekatan yang komprehensif bagi

peneliti dalam mengevaluasi dan memodifikasi model-model teoritis. SEM mengintegrasikan analisis faktor eksploratori dan analisis jalur struktural, memungkinkan evaluasi pengukuran dan model struktural secara simultan. Pendekatan SEM seringkali lebih diutamakan karena lebih mungkin diterima oleh pemeriksa dan dipublikasikan, serta memberikan kinerja yang lebih baik dan lebih dapat diprediksi daripada metode regresi berganda (Lee *et al.*, 2011 dan Babin *et al.*, 2008).

Cara kerja SEM serupa dengan mikroskop optik, tetapi memanfaatkan elektron untuk mengenai sampel dan menghasilkan gambar topografi. Dengan kemampuan perbesaran yang tinggi, SEM memungkinkan pengamatan yang lebih terperinci terhadap struktur permukaan sampel (Mutalib, 2017). Sebagian besar perangkat SEM dilengkapi dengan teknologi *Energy Dispersive X-Ray* (EDX) untuk menganalisis komposisi kimia permukaan sampel. EDX menghasilkan sinar-X yang ditujukan ke area yang ingin dianalisis komposisinya, lalu diterapkan pada lokasi yang diinginkan untuk mengidentifikasi elemen yang ada di permukaan sampel. Selain itu, EDX memungkinkan pemetaan elemen dengan memberikan warna yang berbeda untuk setiap elemen pada permukaan sampel (Budiarto *et al.*, 2020).

Teknik SEM-EDX dapat digunakan untuk mengevaluasi proporsi tiap unsur secara kuantitatif dan memberikan informasi mengenai topografi, morfologi, dan komposisi sampel yang sedang dianalisis. Topografi merujuk pada analisis permukaan dan struktur tekstur, morfologi berkaitan dengan analisis bentuk dan dimensi spesimen, sedangkan komposisi mencakup kemampuan untuk menilai penyusun permukaan objek baik secara kuantitatif maupun kualitatif (Budiarto *et al.*, 2020). Dalam SEM-EDX, ruang sampel dilapisi dengan lapisan timah yang tebal untuk menyerap sinar-X yang dapat berpotensi berbahaya bagi kesehatan (Inkson, 2016).



Gambar 5. Prinsip Kerja SEM-EDX
(Sumber : Inkson, 2016)

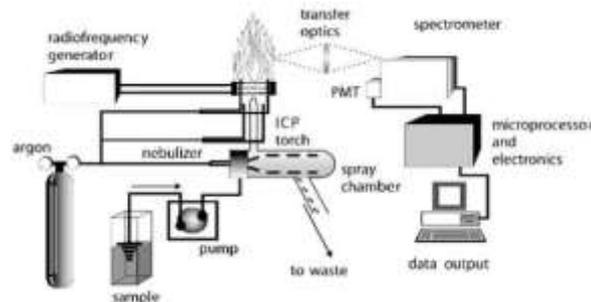
2.12 Inductively Coupled Plasma (ICP)

Inductively Coupled Plasma (ICP) merupakan metode analisis yang sering digunakan untuk mengidentifikasi logam-logam jejak dalam sampel lingkungan. Prinsip utama dari ICP adalah mengubah unsur-unsur menjadi bentuk ion sehingga mereka menghasilkan cahaya yang dapat diukur pada panjang gelombang tertentu. Teknik ICP mulai diperkenalkan pada awal 1960-an untuk mengembangkan teknik analisis (Thomas, 2008).

Secara prinsip, ICP mengukur kandungan logam dalam sampel dengan menggunakan plasma sebagai sumber energi. Setiap atom memiliki berbagai tingkat energi, dan perpindahan elektronik antar tingkat energi ini menghasilkan spektrum sesuai dengan prinsip mekanika kuantum. Saat atom menerima energi, mereka mengalami ionisasi, menyebabkan elektron berpindah ke tingkat energi yang lebih tinggi sebelum kembali ke tingkat energi dasarnya. Dengan komponen seperti *nebulizer*, ruang semprot, *torch*, generator listrik, sistem optik, sistem pemrosesan sinyal, dan spektral, ICP mampu menganalisis konsentrasi dalam rentang dinamis yang luas, mulai dari bagian per miliar (ppb) hingga persen. Untuk memastikan hasil yang akurat, recalibrasi perlu dilakukan setelah serangkaian pengukuran (Syarbaini, 2015).

Perangkat keras ICP dipakai untuk menghasilkan plasma, yaitu fase gas di mana atom telah diionisasi. Konfigurasi dasar ICP terdiri dari tiga tabung konsentris, yang umumnya terbuat dari bahan seperti silikon dioksida, membentuk cincin plasma. Medan magnet induksi menghasilkan arus frekuensi tinggi yang

memanaskan plasma, dan isolasi termal dicapai melalui aliran gas melalui sistem. Tiga jenis gas yang digunakan adalah gas luar, gas tengah, dan gas dalam (atau gas pembawa). Gas luar (biasanya argon atau nitrogen) berfungsi untuk menjaga dan mengisolasi plasma, gas tengah menstabilkan posisi plasma, sementara gas dalam atau pembawa bertugas membawa sampel ke dalam plasma (Syarbaini, 2015).



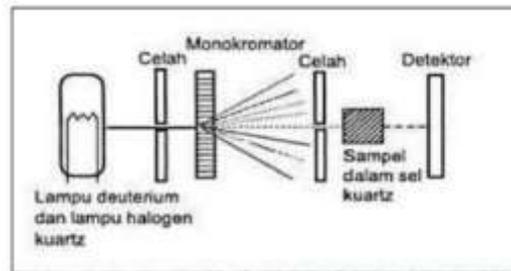
Gambar 6. Prinsip Kerja ICP-OES
(Sumber : Pratiwi, 2018)

2.13 Spektrofotometri UV-Vis

Spektrofotometri merupakan perangkat yang digunakan untuk menilai transmisi atau absorbansi sampel berdasarkan panjang gelombang cahaya yang diterapkan. Sampel menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu, bergantung pada senyawa atau warna yang terdapat dalamnya (Cairns, 2009). Spektrofotometri UV-Vis seringkali dimanfaatkan untuk analisis kuantitatif, terutama dalam menetapkan konsentrasi senyawa organik yang memiliki struktur kromofor atau mengandung gugus kromofor. Penentuan konsentrasi dilakukan dengan cara mengukur absorbansi pada panjang gelombang maksimum (puncak kurva) dan memetakan nilai absorbansi tertinggi dengan setiap konsentrasi (Cahyadi, 2006).

Ada berbagai macam kuvet yang digunakan di laboratorium, termasuk yang terbuat dari kaca dan plastik. Kuvet kaca dapat digunakan kembali, tetapi hanya kuvet kuarsa yang sesuai untuk pengukuran dalam rentang UV karena kuvet kaca tidak menyerap sinar UV dan tidak cocok untuk pengukuran pada area yang panas. Pemilihan bahan kuvet didasarkan pada panjang gelombang yang akan digunakan. Kuvet plastik biasanya hanya digunakan sekali. Meskipun baik kaca maupun plastik dapat menjadi pilihan yang baik untuk wadah sampel, wadah kaca lebih disarankan untuk sampel yang rentan terhadap reaksi dengan plastik (Sastrohamidjojo, 2007).

Radiasi ultraviolet (UV) memiliki panjang gelombang yang berkisar antara 200 hingga 400 nm, sementara radiasi cahaya tampak memiliki panjang gelombang dari 400 hingga 750 nm. Meskipun biasanya digunakan untuk analisis kuantitatif, spektrofotometri UV-Vis juga dapat berguna untuk melakukan pengukuran kuantitatif (Rohman, 2007).



Gambar 7. Diagram Skematik Spektrofotometri UV-Vis
(Sumber : Watson, 2017)

2.14 Analisis Proksimat

Analisis proksimat dilakukan untuk mengevaluasi kualitas karbon aktif yang diproduksi sesuai dengan standar SNI 06-3730-1995 mengenai Karbon Aktif.

a. Kadar Air (*Moisture Content*)

Karbon aktif memiliki sifat higroskopis yang memungkinkannya untuk menyerap air baik dalam bentuk cairan maupun uap. Kemampuan ini memengaruhi daya serap atau pelepasan air tergantung pada suhu dan kelembaban lingkungan sekitarnya. Kandungan air dalam karbon aktif biasanya diukur dalam bentuk persentase dan dihitung menggunakan rumus yang ditentukan:

$$K_r = (a-b)/a \times 100\% \quad \dots(1)$$

Keterangan :

K_r : Kadar air (%)

a : Massa karbon mula-mula (gram)

b : Massa karbon setelah dikeringkan (gram)

b. Kadar Abu (*Ash Content*)

Kadar abu adalah residu mineral yang tersisa setelah proses pembakaran karbon pada kondisi tertentu, termasuk suhu, waktu, dan tekanan. Jumlah abu yang

dihasilkan setelah pembakaran dikenal sebagai kadar abu (Kf) dan biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase menggunakan rumus yang spesifik:

$$Kf = (c/b) \times 100\% \quad \dots(2)$$

Keterangan :

Kf : Kadar abu (%)

b : Massa karbon setelah dikeringkan (gram)

c : Massa abu (gram)

c. Kadar *Volatile Matter*

Kadar bahan mudah menguap adalah jumlah substansi yang dapat menguap saat dipanaskan pada suhu di bawah 90°C. Komposisi ini juga dinyatakan dalam bentuk persentase dengan menggunakan rumus yang telah ditentukan:

$$Kr = (a-b)/b \times 100\% \quad \dots(3)$$

Keterangan :

Kv : Kadar *volatile matter* (%)

a : Massa karbon mula-mula (gram)

b : Massa karbon setelah dipanaskan (gram)

d. Kadar *Fixed Carbon*

Setelah mengukur kadar air, abu, dan bahan mudah menguap, dapat dihitung kadar karbon terikat. Kandungan karbon yang ada di dalam material bahan mentah disebut kadar karbon terikat (Kk) dan dihitung menggunakan rumus yang telah ditentukan:

$$Kk = (a-b)/b \times 100\% \quad \dots(4)$$

Keterangan :

Kk : Kadar *fixed carbon* (%)

Kr : Kadar air (%)

Kf : Kadar abu (%)

Kv : Kadar *volatile matter* (%) (Nuraini, 2012)

2.15 Penelitian Terdahulu

Tabel 2. Penelitian Terdahulu

Judul	Metode	Hasil
Pengaruh Konsentrasi Larutan NaOH pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa untuk Adsorpsi Logam Cu^{2+} (Wulandari <i>et al.</i> , 2015)	Studi ini memanfaatkan metode aktivasi kimia dan fisika untuk menyerap logam Cu^{2+} . Aktivasi kimia dilakukan menggunakan larutan NaOH dengan variasi konsentrasi 1%, 2%, 4%, dan 7% selama 24 jam, sedangkan aktivasi fisika dilakukan dengan memanaskan arang hasil aktivasi kimia pada suhu 400°C selama 1 jam. Analisis hasil dilakukan menggunakan metode AAS.	Berdasarkan hasil uji AAS pada penelitian ini, karbon aktif dari arang tempurung kelapa ternyata efektif dalam menyerap logam Cu^{2+} . Penggunaan larutan NaOH dengan konsentrasi yang semakin tinggi menghasilkan penurunan persentase logam Cu^{2+} yang teradsorpsi. Karbon aktif dengan larutan NaOH 1% memperoleh persentase logam Cu^{2+} teradsorpsi maksimum sebesar 80,87%.
Pengaruh Konsentrasi Aktivator Natrium Hidroksida (NaOH) terhadap Kualitas Karbon Aktif Arang Tempurung Kelapa sebagai adsorben Logam Cu dan Fe pada Limbah Cair (Wulandari, 2015)	Penelitian ini memanfaatkan metode aktivasi kimia dan fisika untuk menyerap logam Cu dan Fe. Proses aktivasi kimia melibatkan penggunaan larutan NaOH dengan variasi konsentrasi 1%, 2%, 4%, 7%, dan 11% selama periode 24 jam. Sementara itu, aktivasi fisika dilakukan dengan memanaskan arang hasil aktivasi kimia pada suhu 400°C selama 1 jam. Analisis hasil dilakukan menggunakan metode AAS.	Hasil uji AAS dalam penelitian ini menunjukkan bahwa karbon aktif yang berasal dari arang tempurung kelapa mampu mengadsorpsi logam Cu dan Fe. Penambahan aktivator NaOH memengaruhi secara signifikan kemampuan adsorpsi karbon aktif, sementara variasi konsentrasi NaOH berpengaruh pada hasil adsorpsi karbon aktif. Persentase maksimum logam Cu yang teradsorpsi tercapai oleh karbon aktif yang diaktivasi dengan larutan NaOH 11% sebesar 80,91%, sedangkan untuk logam Fe, persentase maksimum teradsorpsi dicapai oleh karbon aktif dengan larutan NaOH 7% sebesar 30,52%.
Efektifitas Arang Tempurung Kelapa dalam Menurunkan Kadar Logam Perak dan Kromium pada Limbah Laboratorium (Putra, 2019)	Studi ini melibatkan aktivasi kimia menggunakan larutan ZnCl_2 dengan konsentrasi 25% selama periode 16-18 jam. Variasi dalam bobot karbon aktif (0,5 gr, 1,5 gr, 2,5 gr, dan 3,5 gr) dilakukan terhadap 50 ml sampel limbah yang digunakan. Analisis hasil dilakukan dengan menggunakan metode AAS.	Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan arang tempurung kelapa secara signifikan mengurangi konsentrasi logam perak (Ag) sebesar 85,48%, 89,27%, 93,01%, dan 96,71%, serta kromium (Cr) sebesar 13,81%, 24,73%, 31,92%, dan 38,60% dengan penambahan 0,5 gr, 1,5 gr, 2,5 gr, dan 3,5 gr arang.