

EFEKTIFITAS KARBON AKTIF LIMBAH KULIT KACANG TERMODIFIKASI DENGAN METODE KOPRESIPITASI SEBAGAI ADSORBEN TEMBAGA DAN BESI PADA LIMBAH CAIR ELEKTROPLATING *ARTIFICIAL*

Shabrina Adani Putri, Millenina Sulung Hanavia, Rosita Dwi Chrisandari, Wahyuni Ningsih,
Noor Isnaini Azkiya

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia
[shabrina.adani.putri@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Limbah dari elektroplating yang mengandung tembaga (Cu) dan besi (Fe) sangat beracun dan dapat menyebabkan gejala keracunan logam berat pada manusia jika masuk ke dalam organ pada konsentrasi yang cukup tinggi. Karbon aktif yang dimodifikasi dari limbah kulit kacang tanah dapat digunakan untuk mengatasi masalah limbah elektroplating melalui proses adsorpsi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas karbon aktif dari limbah kulit kacang yang dimodifikasi menggunakan metode kopresipitasi sebagai adsorben logam Cu dan Fe dalam limbah elektroplating *artificial*, dengan variasi massa karbon aktif dan waktu kontak adsorpsi. Pirolisis pada suhu 350 °C dilakukan selama 120 menit, kemudian diikuti dengan proses aktivasi selama 2 jam menggunakan NaOH 20% untuk menghasilkan arang aktif. Kopresipitasi dalam larutan garam besi 90°C dilakukan untuk memodifikasi karbon aktif. Kualitas karbon aktif untuk mengurangi logam berat dalam limbah elektroplating buatan ditentukan oleh variasi massa karbon aktif yang dimodifikasi sebesar 5%, 10%, dan 15% b/v dan durasi waktu kontak selama 30, 60, 90 menit. Hasil menunjukkan bahwa penurunan kadar logam berat Cu dalam limbah Cu adalah 94,51%, kadar logam Fe dalam limbah Fe adalah 83,52%, dan kadar logam Cu dalam campuran limbah Cu Fe adalah 92,67%, menurut pemeriksaan kapasitas absorpsi.

Kata kunci: elektroplating, karbon aktif, kopresipitasi, kulit kacang, logam berat

ABSTRACT

Waste from electroplating containing copper (Cu) and iron (Fe) is highly toxic and can cause symptoms of heavy metal poisoning in humans if it enters the organs at sufficiently high concentrations. Activated carbon modified from peanut shell waste can be used to solved the problem of electroplating waste through the adsorption process. This study aims to analyze the effectiveness of activated carbon from peanut shell waste modified using the coprecipitation method as an adsorbent for Cu and Fe metals in artificial electroplating waste, with variations in activated carbon mass and adsorption contact time. Pyrolysis at a temperature of 350 °C was carried out for 120 minutes, followed by an activation process for 2 hours using 20% NaOH to produce activated charcoal. Coprecipitation in a 90°C iron salt solution was performed to modify the activated carbon. The quality of activated carbon for reducing heavy metals in synthetic electroplating waste is determined by varying the mass of modified activated carbon at 5%, 10%, and 15% b/v and contact durations of 30, 60, and 90 minutes. The results show that the reduction in heavy metal content of Cu in Cu waste is 94.51%, the Fe metal content in Fe waste is 83.52%, and the Cu metal content in the Cu-Fe waste mixture is 92.67%, according to the absorption capacity examination.

Keywords: electroplating, activated carbon, coprecipitation, peanut shell, heavy metal

1. PENDAHULUAN

Keseimbangan ekosistem sangat dipengaruhi oleh pencemaran lingkungan, seperti pencemaran air, udara, dan tanah dapat merusak ekosistem makhluk hidup. Pencemaran tersebut berasal dari limbah yang belum diolah terlebih dahulu, maupun sudah diolah tetapi belum memenuhi standar keamanan lingkungan [1], misalnya pencemaran air akibat limbah industri dan limbah rumah tangga sehari-hari. Elektroplating, atau pelapisan logam, baik skala besar maupun kecil, adalah salah satu sektor yang sangat berkembang di Indonesia [2]. Berkembangnya industri ini tidak hanya memiliki efek positif, tetapi juga memiliki efek negatif. Salah satu efek negatif yang dimaksud adalah limbah yang dihasilkan dari proses elektroplating, yang merupakan proses pelapisan logam. Beberapa unsur logam yang terdapat dalam limbah cair elektroplating antara lain besi, krom, seng, nikel, mangan, dan tembaga. Logam merupakan zat dengan konduktivitas tinggi listrik, kelenturan, dan kilau yang memberikan elektron untuk membentuk kation [3]. Sehingga logam berat merupakan senyawa kimia yang memiliki densitas lebih besar dari 5 g/cm^3 , nomor atom 22 sampai 92 yang terletak pada periode III sampai VII dalam susunan berkala. Biasanya logam berat dalam limbah berada dalam berbagai kondisi seperti tidak larut, terlarut, anorganik, tereduksi, teroksidasi, logam bebas, dan terserap [4].

Penurunan kandungan logam berat yang ada di dalam limbah elektroplating dapat dilakukan melalui proses pengolahan secara kimia yaitu dengan presipitasi (pengendapan), adsorpsi (penyerapan), filtrasi (penyaringan), dan koagulasi [5]. Metode adsorpsi menjadi salah satu alternatif penanganan limbah elektroplating yaitu dengan menggunakan karbon aktif sebagai adsorben. Penelitian yang telah dilakukan oleh Hardoyo, dkk. (2018), dihasilkan bahwa kandungan logam dalam limbah elektroplating dapat diturunkan dengan menggunakan bioadsorben hingga efisiensi penurunan 99% [6]. Sehingga, proses adsorpsi lebih banyak digunakan dalam industri karena memiliki keuntungan seperti lebih ekonomis, tidak menimbulkan efek samping yang beracun, serta mampu menghilangkan bahan-bahan organik [7]. Dalam pengolahan air pun, karbon aktif dapat digunakan untuk menghilangkan atau menyaring zat bau, warna, dan bahan pencemar. Selain itu, karbon aktif juga dapat menjernihkan air limbah rumah tangga dengan menghasilkan air yang jernih, tidak berbau, dan memenuhi pH standar air 7-7,5 [8].

Dalam pembuatan karbon aktif dapat memanfaatkan biomassa yang ada di sekitar. Biomassa yang jumlahnya melimpah dan dapat dimanfaatkan dalam pembuatan karbon aktif ini adalah limbah kulit kacang tanah. Penggunaan kulit kacang tanah yang biasanya hanya digunakan sebagai bahan bakar pada tungku serta kandungan selulosa dan lignin masing-masing sebesar 63,5% dan 13,2% mendukung limbah ini untuk diolah menjadi produk yang memiliki nilai guna sebagai penyerap limbah cair logam berat. Hal tersebut didukung penelitian Cai dkk (2018) yang menyatakan bahwa karbon aktif dari kulit kacang mampu menurunkan kadar logam berat Cr(IV) dan Cu(II) sebesar 99,97% dan 100% pada limbah electroplating di Wuhan [9]. Selain itu, arang aktif kulit kacang tanah memiliki efektivitas daya serap 9 kali dalam penggunaan yang berulang untuk penurunan kadar besi [10].

Metode pirolisis merupakan salah satu metode pembuatan karbon aktif yang efektif karena memanfaatkan kondisi dengan kekurangan oksigen. Kelebihan metode pirolisis ini dapat digunakan suhu tinggi dalam proses pengarang, dapat menjaga suhu operasi (konstan), dapat mereduksi dan menghasilkan karbon yang optimal. Kekurangan metode ini

yaitu pada suhu pengarangan yang terlalu tinggi akan menghasilkan jumlah tar yang banyak, Selanjutnya arang yang dihasilkan diaktivasi secara kimia dengan merendam karbon ke dalam larutan kimia yaitu larutan bersifat basa, asam, atau garam. Dalam penelitian ini perendaman dilakukan dalam larutan basa NaOH dengan konsentrasi 20%. Putu, dkk. (2019) menjelaskan bahwa proses aktivasi kimia dengan larutan NaOH konsentrasi 2,5% memberikan hasil yang baik dalam proses daya serap ion Cr (III) dan Pb (II) [11]. Modifikasi karbon aktif dapat dilakukan dengan menggunakan metode kopresipitasi. Metode kopresipitasi merupakan metode sintesis senyawa anorganik dengan menggunakan suhu rendah dalam prosesnya serta menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil. Metode ini mencampurkan logam garam besi dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer*. Hal tersebut bertujuan untuk memperluas pori-pori karbon sehingga proses penyerapan karbon aktif terhadap limbah elektroplating dapat berjalan maksimal.

Berdasarkan latar belakang di atas, akan dilakukan penelitian pembuatan karbon aktif termodifikasi dengan metode kopresipitasi berbahan dasar limbah kulit kacang tanah sebagai adsorben logam berat pada *artificial* limbah elektroplating. Penurunan kadar logam berat pada *artificial* limbah cair elektroplating dapat diketahui dengan meninjau massa serta lama kontak karbon aktif dengan limbah yang digunakan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain seperangkat alat pirolisis, pengayak 60 mesh, *furnace*, *oven*, pompa vakum, *magnetic stirrer*, desikator, cawan porselen, labu ukur, gelas ukur, erlenmeyer, dan *thermometer*.

2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain kulit kacang tanah, NaOH, limbah logam Cu dan Fe (*artificial*), indikator pH, larutan garam besi (III) klorida heksahidrat ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (*Merck*), besi (II) sulfida heptahidrat ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (*Merck*), Natrium Tiosulfat ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) (*Merck*) 0,1 N, amilum (*One Medika*) 1%, Kalium Tiosianat (KSCN) (*Merck*) 4 M, asam nitrat (HNO_3) 2 M.

2.3 Prosedur Penelitian

Prosedur utama penelitian ini adalah pembuatan karbon dengan metode pembakaran pirolisis, proses aktivasi, modifikasi karbon aktif, dan analisa hasil produk. Proses pirolisis dilakukan menggunakan *unstirred stainless steel batch reactor* dengan tekanan operasi 1 atmosfer. Sampel limbah kulit kacang tanah yang digunakan, sebelumnya dibersihkan, dikeringkan dan dipotong kecil-kecil terlebih dahulu sebelum dipirolisis dengan suhu 350°C , waktu tinggal 120 menit, kemudian diayak 60 mesh. Proses aktivasi dilanjutkan dengan proses aktivasi dengan NaOH 20% selama 24 jam dan dioven dengan suhu 110°C selama 3 jam.

Selanjutnya proses modifikasi dengan larutan garam besi (50 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan 25 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dalam 3 L aquades) menggunakan metode kopresipitasi yaitu dengan memanaskan pada suhu 90°C dan ditambahkan NaOH 5M secara perlahan kemudian diaduk. Saring dan cuci endapan dengan aquadest hingga pH netral, kemudian dioven 110°C selama 3 jam. Proses adsorpsi dilakukan dengan variasi massa karbon aktif sebesar 2,5; 5; dan 7,5 gram dalam 50 mL limbah cair elektroplating atau 5; 10; dan 15 %b/v diaduk

selama 20 menit menggunakan *magnetic stirrer* kecepatan 120 rpm, kemudian didiamkan dengan variasi waktu adsorpsi selama 30; 60; dan 90 menit. Jenis logam berat pada limbah *artificial* yang digunakan adalah logam Cu dan Fe. Penurunan kadar logam berat dianalisis menggunakan Spektrofotometri UV-VIS.

Analisis yang dilakukan terdiri dari perhitungan rendemen dengan cara menghitung selisih massa sampel setelah dan sebelum pirolisis, kualitas karbon aktif berupa kadar air yang dilakukan dengan cara membandingkan massa sampel sebelum dan setelah dioven dengan suhu 110°C, kadar abu didapatkan dengan cara membandingkan massa sampel setelah dan sebelum dipanaskan pada *furnace* pada suhu 815°C, kadar *volatile matter* didapatkan dengan cara membandingkan massa sampel setelah dan sebelum dipanaskan pada suhu 915°C sampel pada *furnace*, kadar *fixed carbon* merupakan kadar sisa dari seluruh total kadar yang sudah ditemukan sebelumnya, serta daya serap limbah elektroplating logam berat menggunakan Spektrofotometri UV-VIS dan karakteristik karbon aktif termodifikasi menggunakan Spektrofotometri FTIR.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Preparasi Karbon Aktif Termodifikasi dengan Metode Kopresipitasi sebagai Adsorben

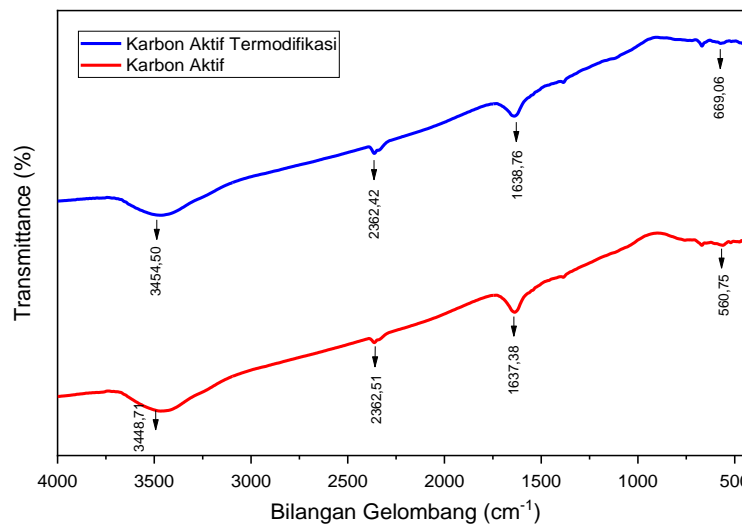
Bahan dasar pembuatan karbon aktif termodifikasi ini adalah kulit kacang tanah yang dipirolisis terlebih dahulu pada suhu 350°C selama 2 jam, kemudian karbon diaktivasi dengan larutan NaOH 20% untuk memperbesar pori-pori dengan menghilangkan endapan hidrokarbon atau molekul organik yang dihasilkan saat proses dan pirolisis, sehingga luas permukaan karbon bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi [12]. Selanjutnya, karbon aktif dimodifikasi dengan metode kopresipitasi pada suhu 90°C dengan menggunakan larutan garam besi yaitu $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dengan penambahan larutan basa NaOH 5 M. Proses modifikasi dengan larutan garam besi ini bertujuan untuk memperluas permukaan pori-pori karbon aktif sehingga proses penyerapan dapat berjalan maksimal. Penambahan NaOH 5 M bertujuan untuk membentuk endapan hidroksida besi $\text{Fe}(\text{OH})_2$ dan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ kemudian membentuk oksida besi (Fe_3O_4) karena proses dehidrasi pada pemanasan 90°C dan terkomposit pada struktur karbon aktif [13].



Karakteristik karbon aktif kulit kacang tanah dalam penelitian ini diidentifikasi dengan menggunakan Spektrofotometer FTIR (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*). Tujuan identifikasi ini adalah untuk mengetahui komponen kimia berupa gugus fungsi penyusun karbon aktif. Gugus fungsi merupakan karakteristik yang terkandung dalam karbon aktif sehingga dapat ditentukan sifat dari permukaan karbon yang terbentuk. Analisis gugus fungsi karbon aktif dari kulit kacang tanah ini dapat diamati pada rentang bilangan gelombang 4000-400 cm^{-1} . Pada penelitian ini dianalisis perbandingan komponen kimia masing-masing penyusun karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi pada Gambar 1.

Hasil FTIR yang diperoleh pada Tabel 1 menunjukkan bahwa karbon aktif kulit kacang tanah baik sebelum dan sesudah dimodifikasi didapatkan gugus fungsi yang sama diantara keduanya. Frekuensi yang tinggi pada gugus O-H (hidroksil) menunjukkan bahwa terdapat ikatan hidrogen yang kuat. Selain itu, ditinjau dari penelitian Fletcher, dkk. (2024) bahwa vibrasi gugus O-H ini dipengaruhi adanya kandungan uap air setelah pada proses aktivasi

arang aktif dan saat penghalusan arang aktif untuk persiapan sampel. Gugus tersebut dapat berasal dari reaksi antara uap air dengan senyawa bebas pada permukaan arang yang diaktivasi [14]. Adanya gugus O-H juga berasal dari selulosa dan lignin yang terkandung pada kulit kacang tanah. Selain itu, gugus O-H ini berasal dari serapan O-H dari NaOH yang bertindak sebagai aktivator [15]. Namun, gugus O-H antara karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi yang dihasilkan memiliki sedikit perbedaan di mana puncak vibrasi gugus O-H terlihat lebih melebar pada karbon aktif modifikasi. Puncak vibrasi gugus O-H mengindikasikan ikatan hidrogen berinteraksi dengan molekul air yang teradsorp oleh sampel [16]. Gugus O-H dapat terbentuk dari adanya sisa uap air pada proses aktivasi karbon aktif dan saat pirolisis. Adanya gugus tersebut juga menandakan bahwa karbon aktif tersebut cenderung bersifat lebih polar. Gugus tersebut bersifat polar karena memiliki gugus -OH dan keelektronegatifan cukup besar sehingga dapat larut dalam air. Sifat kepolaran tersebut menjadikan karbon aktif sebelum dan sesudah modifikasi dapat digunakan sebagai penjernihan air atau penyerap senyawa dalam larutan [17].



Gambar 1. Karakteristik Karbon Aktif dan Karbon Aktif Termodifikasi dengan Spektrofotometri FTIR

Tabel 1. Gugus Fungsi pada karbon aktif yang terdeteksi pada Spektrofotometer FTIR

No.	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)		Frekuensi	Gugus Fungsi
	Karbon Aktif	Karbon Aktif Termodifikasi		
1.	3448,7159	3454,5013	3650-3200	O-H
2.	2362,514	2362,42	2400-2250	C ≡ C
3.	1637,376	1638,757	1660-1580	C=C aromatik
4.	560,755	669,059	700-400	C-H aromatik

Gugus C ≡ C menunjukkan adanya gugus fungsi C rangkap tiga dari jenis senyawa alkuna. Selain itu, adanya gugus C=C juga menunjukkan bahwa adanya ikatan aromatik. Adanya gugus C ≡ C alkuna dan C=C aromatik tersebut menandakan bahwa proses pirolisis, aktivasi, dan modifikasi dapat meningkatkan ikatan gugus karbon. Adanya ikatan hidrogen yang terbentuk akan menguap dan terurai akibat proses aktivasi dan mengindikasikan

untuk membentuk ikatan C rangkap yang lebih stabil [18]. Gugus $C \equiv C$ alkuna dan $C=C$ aromatic merupakan ikatan rangkap dengan gugus karbon yang memiliki jumlah kemurnian yang tinggi. Di mana terjadi pelepasan unsur O dan H yang awalnya menyatu dengan unsur C [17].

Berdasarkan hasil karakteristik karbon aktif sebelum maupun setelah dimodifikasi memiliki vibrasi regangan atau pita serapan O-H, $C=C$, $C \equiv C$, dan C-H dengan bilangan gelombang yang berdekatan. Hal tersebut dikarenakan proses modifikasi karbon aktif penelitian ini menggunakan metode kopresipitasi. Metode kopresipitasi dilakukan dengan mencampurkan karbon aktif ke dalam larutan garam besi. Larutan garam merupakan senyawa bersifat ionik. Jika larutan garam dilarutkan dalam air, maka ikatan antara ion positif dan negative terputus dan ion-ion akan berinteraksi dengan molekul air. Ion-ion tersebut akan bergerak bebas diseluruh bagian larutan [14].

Hasil karakteristik karbon aktif dan karbon aktif termodifikasi pada penelitian ini jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yaitu memiliki persamaan dengan ditunjukkan pada pita serapan dengan rentang bilangan gelombang 3400 cm^{-1} merupakan vibrasi gugus O-H. Pada bilangan gelombang 700 cm^{-1} terdapat ikatan C-H. Namun pada karakteristik karbon aktif termodifikasi penelitian ini tidak terdapat vibrasi peregangan dari ikatan Fe-O [13]. Hal tersebut dapat terjadi karena proses pencucian dan pengovenan setelah proses modifikasi sehingga mengakibatkan hilangnya peregangan ikatan Fe^{3+} dan O^{2-} .

Penetapan rendemen karbon bertujuan untuk mengetahui jumlah karbon aktif yang dihasilkan dari proses pirolisis. Massa awal kulit kacang tanah sebesar 600gram mengalami penurunan massa menjadi 255,25gram setelah dilakukan pirolisis. Sehingga nilai rendemen yang dihasilkan sebesar 42,55%. Hasil rendemen karbon tersebut dapat disebabkan oleh proses pengeringan dan pembakaran bahan baku. Hal ini sesuai dengan penelitian Nurfitriya, dkk. (2019) dan Qiram, dkk (2015), bahwa semakin lama proses pengeringan bahan dan semakin tinggi suhu pembakaran maka massa yang hilang akan semakin tinggi sehingga rendemen akan semakin meningkat [19,20].

Tabel 2. Hasil Kualitas Karbon Aktif dari Kacang Tanah yang telah dimodifikasi dengan metode kopresipitasi

No	Karakteristik	Satuan	SNI. 06-3730-1995	Hasil
1	Kadar Air	%	Maks. 15	3,54
2	Kadar Abu	%	Maks. 10	28,78
3	Kadar Zat yang Menguap	%	Maks. 25	11,32
4	Karbon Terikat	%	Min. 65	56,36
5	Daya Serap Iodium	mg/gram	Min 750	5870,51

Kadar air karbon aktif yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2 yaitu sebesar 3,54%. Hasil ini sesuai dengan SNI 06-3730-1995 yaitu kandungan kadar air karbon aktif tidak lebih dari 15%. Kandungan kadar air pada karbon aktif akan semakin kecil apabila suhu pirolisis dan konsentrasi zat aktivator yang digunakan semakin tinggi. Hal tersebut dapat terjadi karena semakin tinggi suhu pirolisis dan konsentrasi aktivator maka pori-pori karbon aktif akan semakin luas. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa semakin tinggi suhu

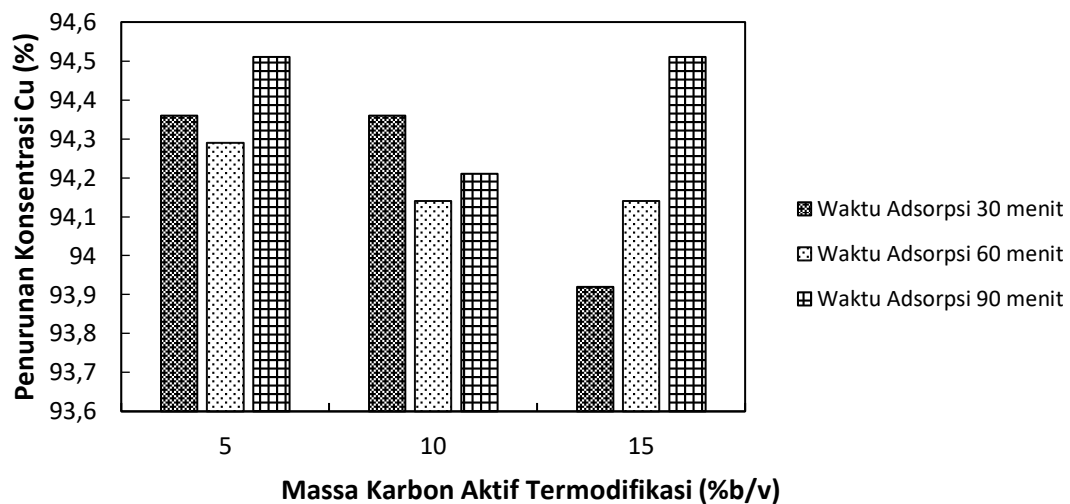
pengarangan dan konsentrasi aktivator yang digunakan maka luas pori-pori karbon aktif akan semakin besar.

Penentuan kadar abu karbon aktif bertujuan untuk mengetahui jumlah oksida yang terkandung dalam karbon aktif. Kadar abu karbon aktif yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 2 yaitu sebesar 28,8%. Hasil tersebut belum memenuhi standar SNI 06-3730-1995 yang menyatakan bahwa kandungan kadar abu karbon aktif tidak lebih dari 10%. Kadar abu karbon aktif ini dihasilkan cukup besar, hal itu dapat disebabkan oleh pengaruh aktivator NaOH, konsentrasi aktivator, dan waktu perendaman. Aktivator NaOH memiliki kandungan logam berupa natrium, kalium, dan magnesium yang dapat menghalangi pori-pori karbon aktif. Oksida-oksida logam yang terjebak dalam permukaan karbon aktif akan menyerap air pada udara dan meningkatkan kandungan air sehingga sisa-sisa mineral masih tersisa dan tidak menguap saat proses pengabuan [21]. Peningkatan kadar abu juga dapat terjadi karena terbentuknya garam-garam mineral saat proses pengarangan, partikel-partikel halus akan terbentuk dari garam-garam mineral yang ada dalam larutan aktivator [22].

Penentuan kadar *volatile matter* pada karbon aktif menunjukkan bahwa seberapa banyak zat yang menguap dari suatu bahan. Zat-zat tersebut terdiri atas gas-gas yang mudah terbakar, seperti hidrogen, karbon monoksida, dan sebagian kecil uap yang dapat menguap atau mengembun. Kadar *volatile matter* yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 1 yaitu sebesar 11,32%. Hasil tersebut memenuhi standar SNI 06-3730-1995 yang menyatakan bahwa kandungan kadar *volatile matter* karbon aktif tidak lebih dari 25%. Kadar *volatile matter* karbon aktif akan besar nilainya jika suhu pembakaran dilakukan pada suhu yang relatif rendah dan waktu yang digunakan singkat [23]. Besar konsentrasi aktivator dan lama perendaman menjadikan kadar *volatile matter* pada karbon aktif juga akan semakin meningkat. Lamanya waktu aktivasi dan besarnya konsentrasi aktivator akan menyebabkan karbon terkikis dan terbuang saat proses pencucian [24]. Senyawa non karbon yang menempel pada permukaan karbon aktif terutama atom H maupun atom O yang terikat kuat pada atom C pada permukaan karbon aktif dalam bentuk CO₂, CO, CH₄, dan H₂ [11].

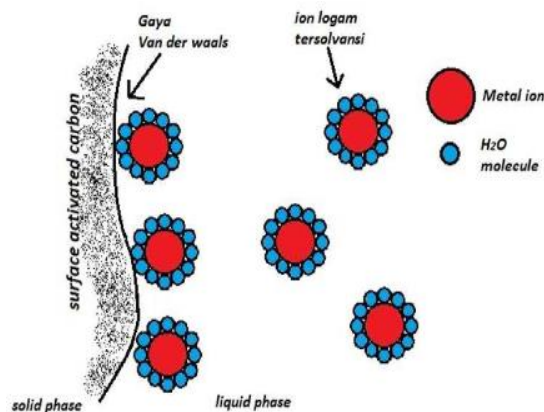
3.2 Pengaruh Waktu Adsorpsi dan Massa Karbon Aktif terhadap Efektifitas Adsorpsi Logam Berat Cu dan Fe

Karbon aktif dari kulit kacang yang dimodifikasi menggunakan metode kopresipitasi ini, digunakan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi logam berat Cu dan Fe dalam limbah electroplating *artificial*. Efektifitas adsorpsi ini dilihat dari kemampuan adsorben untuk mengurangi kadar logam berat sehingga semakin besar penurunan konsentrasi logam berat maka efektifitas adsorpsi pada adsorben tersebut semakin baik. Berdasarkan grafik pada Gambar 2 diketahui bahwa dihasilkan penurunan kadar Cu setelah proses adsorpsi berkisar 94%. Hasil terbaik terdapat pada massa karbon aktif termodifikasi 5% dan 15% b/v dengan waktu adsorpsi limbah 90 menit yaitu dengan hasil penurunan sebesar 94,51%. Pada penelitian ini diketahui bahwa pengaruh massa adsorben dan waktu adsorpsi karbon aktif termodifikasi mampu menurunkan kadar logam Cu dalam limbah *artificial*. Menurut batas maksimum industri elektroplating dengan penurunan konsentrasi mencapai 27,7 ppm dapat diketahui bahwa kandungan tembaga yang ada dalam limbah elektroplating ini cukup rendah.



Gambar 2. Pengaruh waktu adsorpsi dan massa karbon aktif termodifikasi terhadap penurunan konsentrasi logam Cu

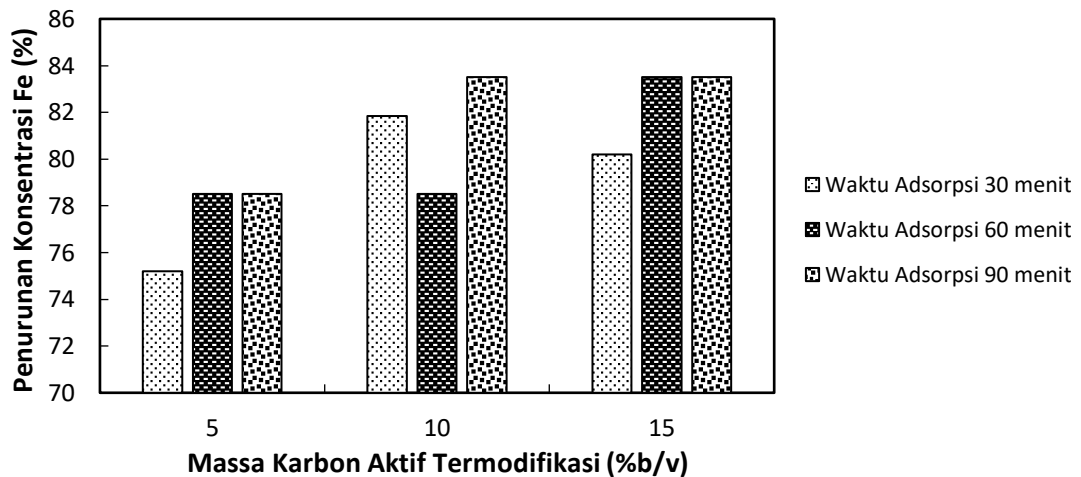
Proses adsorpsi karbon aktif terhadap limbah logam berat Cu mengakibatkan ion logam Cu^{2+} dari limbah *artificial* $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ diikat oleh karbon aktif. Mulanya, ion logam (Cu^{2+}) yang terlarut dalam air akan mengalami ikatan dengan molekul air (H_2O). Ion logam akan dikelilingi oleh molekul air. Selanjutnya, adsorbat ion logam akan membentuk sebuah lapisan tunggal pada permukaan adsorben. Proses adsorpsi pada karbon aktif terjadi karena adanya gaya Van der Waals. Karbon aktif merupakan molekul nonpolar, sedangkan molekul air merupakan molekul polar. Interaksi karbon aktif dengan ion logam (Cu^{2+}) diungkapkan pada penelitian Alverina, dkk. (2014) pada Gambar 3.



Gambar 3. Interaksi ikatan antara ion logam dengan karbon aktif [25]

Berdasarkan Gambar 4 didapatkan hasil presentase hasil penurunan konsentrasi Fe. Penurunan kadar Fe setelah proses adsorpsi pada penelitian ini berkisar 75-83%. Hasil terbaik terdapat pada massa karbon aktif termodifikasi 15% b/v dengan waktu adsorpsi limbah 60 dan 90 menit yaitu dengan hasil penurunan sebesar 83,52%. Dalam penelitian sebelumnya efektivitas adsorpsi kadar besi terbaik sebesar 79,65% yang didapatkan dari waktu kontak 60 menit dan bobot karbon aktif sebanyak 3 gram [26]. Sehingga dengan waktu 60 menit karbon aktif termodifikasi dapat mengadsorpsi larutan dengan optimal. Dalam penelitian sebelumnya juga dihasilkan bahwa kadar logam yang dipengaruhi oleh

waktu kontak tidak sepenuhnya turun seiring bertambahnya waktu adsorpsi. Hal tersebut dapat dikarenakan waktu yang dibutuhkan dalam pengontakan melebihi batas waktu kemampuan adsorben dalam proses penyerapan sehingga nantinya akan terjadi desorpsi [26].



Gambat 4. Pengaruh waktu adsorpsi dan massa karbon aktif termodifikasi terhadap penurunan konsentrasi Fe

Berdasarkan ketiga jenis limbah logam berat dapat diketahui bahwa karbon aktif termodifikasi dengan metode kopresipitasi dapat menurunkan kadar logam berat pada limbah elektroplating. Pada limbah campuran Cu Fe, karbon aktif termodifikasi dapat menurunkan salah satu kandungan logam saja. Proses adsorpsi dengan massa 5%, 10%, dan 15% b/v dengan waktu kontak 30, 60, dan 90 menit dapat menurunkan kadar logam berat dalam limbah elektroplating. Proses adsorpsi akan semakin meningkat apabila waktu kontak semakin lama dengan massa adsorben yang semakin banyak pula. Akan tetapi, menurut Putu, dkk. (2019) semakin tinggi massa adsorben maka kapasitas adsorpsinya akan semakin menurun, hal tersebut dapat terjadi karena adanya sisi aktif adsorben yang belum semuanya berkaitan dengan adsorbat [11].

Efisiensi dan kapasitas adsorpsi meningkat dengan bertambahnya waktu adsorpsi [13]. Semakin banyak adsorben dan semakin lama waktu adsorpsi maka semakin tinggi pula penurunan konsentrasi kadar logam dalam limbah elektroplating. Faktor pengadukan juga mempengaruhi proses adsorpsi, di mana pengadukan dilakukan menggunakan *magnetit stirrer* dengan kecepatan 120 rpm. Semakin cepat proses pengadukan maka semakin meningkat pula konsentrasi zat yang akan teradsorpsi. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa semakin cepat kekuatan pengadukan maka jumlah konsentrasi yang teradsorpsi akan semakin meningkat, tetapi jika pengadukkan terlalu cepat dapat merusak struktur adsorben sehingga proses adsorpsi kurang maksimal [27].

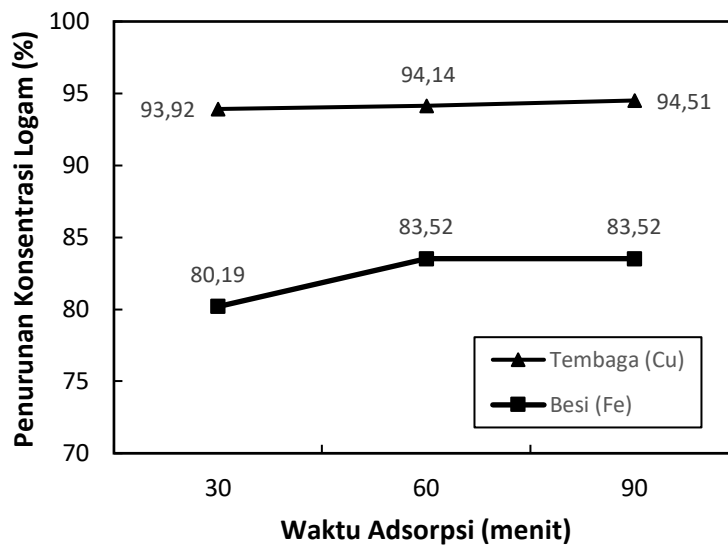
Faktor lain yang mempengaruhi proses adsorpsi yaitu karakteristik karbon aktif, luas permukaan adsorben, dan pH. Karakteristik karbon dapat dilihat dari ukuran partikel arang yang dapat mempengaruhi kecepatan adsorpsi. Pada pembuatan karbon aktif termodifikasi ini dibuat dengan ukuran partikel sebesar 60 mesh sehingga karbon aktif yang dihasilkan berupa serbuk. Semakin kecil ukuran partikel maka semakin cepat daya adsorpsi. Jika ditinjau dari penelitian sebelumnya bahwa ukuran partikel 100 mesh memberikan hasil

yang efektif dalam menyerap kandungan suatu sampel [28]. Luas permukaan adsorben juga dapat meningkatkan daya serap. Semakin luas permukaan adsorben, semakin banyak adsorbat yang dapat diserap, sehingga proses adsorpsi semakin efektif [19]. Selain faktor-faktor tersebut, jika ditinjau dari penelitian sebelumnya, pengaruh pH terhadap daya adsorpsi pada penyisihan logam timbal, dengan pH rendah daya adsorpsi ion logam timbal juga menjadi rendah. Pada pH rendah permukaan adsorben dikelilingi ion H^+ . Dalam kondisi asam permukaan adsorben juga bermuatan positif yang akan menyebabkan tolakan antara permukaan adsorben dengan ion logam, sehingga adsorpsinya menjadi rendah pula. Sedangkan pada pH 6 terjadi penyisihan logam timbal yang optimum, karena permukaan adsorben dikelilingi oleh ion OH^- sehingga permukaannya menjadi negatif. Antara ion OH^- dengan permukaan adsorben terjadi gaya Tarik menarik antara permukaan adsorben dengan ion logam timbal yang bermuatan positif [29].

Pada grafik di Gambar 3 dan 4 didapatkan bahwa penurunan konsentrasi limbah logam berat pada setiap waktu adsorpsi cenderung mengalami fluktuasi. Hal tersebut dapat disebabkan oleh suhu pembakaran awal karbon, aktivator NaOH, dan proses modifikasi. Semakin tinggi suhu dan lama waktu pembakaran maka akan semakin tinggi pula daya adsorpsi karbon aktif terhadap limbah. Akan tetapi jika semakin tinggi suhu dan lama pembakaran pula dapat merusak struktur pori karbon. Hal ini didukung dengan adanya penelitian sebelumnya bahwa ukuran pori yang semakin besar dapat merusak dinding antar pori sehingga dapat menurunkan porositasnya dan akan terbakar dibawah suhu radiasi yang lebih tinggi [14]. Faktor lainnya adalah konsentrasi aktivator NaOH 20%. Konsentrasi aktivator NaOH 20% memungkinkan sebagai penyebab perubahan struktur karbon aktif sehingga daya serapnya menjadi turun [29]. Begitu juga dengan proses pencampuran dan perendaman dalam larutan garam besi proses modifikasi karbon aktif. Proses modifikasi dengan metode kopresipitasi melalui pencampuran Fe^{3+} dan Fe^{2+} dengan penambahan basa (NaOH 5M) dapat menyebabkan keadaan karbon akan semakin jenuh. Proses modifikasi ini diawali dengan penjerapan ion-ion Fe^{3+} dan Fe^{2+} oleh karbon aktif. Ion-ion tersebut akan membentuk endapan hidroksida besi lalu membentuk oksida besi karena proses hidrasi pada pemanasan $90^\circ C$. Proses modifikasi dengan larutan garam besi ini dapat menyebabkan karbon aktif jenuh. Penambahan larutan basa kuat dapat menyebabkan struktur pori karbon rusak. Oksida-oksida logam akan terbentuk kembali meskipun telah dilakukan proses aktivasi. Oksida logam terjepit dan menutupi permukaan karbon aktif sehingga pori dan permukaan bidang kontak menjadi lebih kecil [13].

3.3 Perbandingan Efektifitas Adsorpsi logam Cu dengan Fe menggunakan Adsorben Karbon Aktif Termodifikasi dari Kulit Kacang

Analisis efektivitas adsorpsi logam berat pada karbon aktif kulit kacang termodifikasi dapat dilihat dengan membandingkan penurunan adsorpsi tembaga (Cu) dan besi (Fe) pada massa adsorben 15 %b/v dengan variasi waktu 30, 60, 90 menit. Efektifitas adsorpsi oleh karbon aktif dipengaruhi oleh beberapa factor antara lain sifat fisikokimia dari logam, karakteristik permukaan karbon aktif, serta kondisi operasional seperti pH, konsentrasi awal, dan waktu kontak. Berdasarkan berbagai penelitian, tembaga cenderung memiliki afinitas yang lebih tinggi terhadap karbon aktif dibandingkan dengan besi, sehingga karbon aktif biasanya lebih efektif dalam mengadsorpsi tembaga daripada besi [30-31].



Gambat 5. Perbandingan penurunan konsentrasi logam Cu dan Fe dengan menggunakan adsorben limbah kacang dengan karbon aktif termodifikasi 15 %b/v

Pada Gambar 5 terlihat bahwa ada perbedaan besarnya penurunan konsentrasi logam setelah diadsorpsi, yaitu penurunan konsentrasi Cu^{2+} (93,92%-94,51%) lebih besar daripada Fe^{2+} (80,19% - 83,52%) dikarenakan ion tembaga (Cu^{2+}) umumnya lebih mudah ditarik oleh permukaan karbon aktif yang bermuatan negatif, karena muatan ion tembaga yang lebih tinggi dibandingkan dengan besi. Ion besi (Fe^{2+} atau Fe^{3+}) memiliki sifat yang sedikit berbeda, yang membuat adsorpsinya kurang efisien [30]. Ukuran ion tembaga (Cu^{2+}) sedikit lebih kecil daripada ion besi, sehingga memungkinkan tembaga lebih mudah diadsorpsi ke pori-pori karbon aktif, terutama pada karbon aktif yang memiliki pori-pori mikroskopis [31]. Karbon aktif memiliki kelompok fungsional di permukaannya (misalnya, gugus hidroksil, karbonil, dan karboksil) yang dapat berinteraksi lebih kuat dengan ion tembaga daripada besi, meningkatkan daya adsorpsi terhadap tembaga [30].

Hal tersebut sesuai dengan penelitian Vasu (2008) menunjukkan bahwa karbon aktif dapat menghilangkan lebih dari 90% ion tembaga dari larutan, sedangkan efisiensi penghilangan ion besi hanya sekitar 70-80% di bawah kondisi yang sama [31]. Moreno-Pirajan, dkk. (2011) juga mengungkapkan bahwa Cu(II) lebih mudah diadsorpsi daripada Fe(II) , Mn(II) , Ni(II) menggunakan karbon aktif dari kulit kelapa [30]. Hal ini membuktikan bahwa karbon aktif memiliki selektivitas yang lebih tinggi terhadap tembaga. Secara keseluruhan, tembaga cenderung lebih mudah diadsorpsi oleh karbon aktif dibandingkan dengan besi, dan efektivitas adsorpsinya dapat dimaksimalkan dengan pengaturan pH dan konsentrasi awal logam yang sesuai [31].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian di atas, maka didapatkan kesimpulan dari penelitian ini adalah efektivitas karbon aktif dari limbah kulit kacang yang dimodifikasi menggunakan metode kopresipitasi sebagai adsorben logam berat didapatkan hasil presentase penurunan kadar logam Cu mencapai 94,51%, sedangkan penurunan kadar logam berat Fe mencapai 83,52%. Hasil penurunan kadar logam berat terbesar tersebut didapatkan dari kondisi

adsorpsi terbaik yaitu dengan massa adsorben sebanyak 5% b/v selama 90 menit. Sedangkan bila dibandingkan kemampuan untuk mengadsorpsi logam Cu lebih baik dibandingkan dengan logam Fe, karena muatan ion Cu lebih tinggi dibandingkan ion Fe sehingga lebih mudah ditarik oleh permukaan karbon aktif yang bermuatan negatif. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa karbon aktif dari limbah kulit kacang yang dimodifikasi menggunakan metode kopresipitasi sangat efektif untuk mengadsorpsi logam berat yang ada di limbah elektroplating *artificial*.

Penelitian ini diharapkan menjadi rujukan bagi penelitian selanjutnya untuk mengkaji lebih mendalam tentang penggunaan limbah kulit kacang yang sudah termodifikasi dengan metode kopresipitasi sebagai adsorben logam berat lainnya karena dalam penelitian ini dapat dilihat bahwa adsorben karbon aktif kulit kacang terbukti efektif untuk mengadsorpsi logam berat Cu dan Fe dengan penurunan kadar logam berat yang besar yaitu 83-95%. Variasi yang perlu dilakukan penelitian selanjutnya seperti variasi pH optimum.

REFERENSI

- [1] Y. G. Yudhistira, E. Susilaningsih, dan N. Widiarti, "Efisiensi Penurunan Kadar Logam Berat (Cr dan Ni) dalam Limbah Elektroplating secara Elektrokoagulasi Menggunakan Elektroda Aluminium," *Indonesian Journal of Chemical Science*, vol. 7. no. 1, hal. 28–34, 2018.
- [2] A. Praseyaningrum, "Aplikasi Teknologi Elektrokoagulasi Pada Pengolahan Limbah Industri Elektroplating Sebagai Upaya Menghasilkan Produksi Kerajinan Logam Berbasis Green Technology," *Jurnal Riptek Bappeda Kota Semarang*, vol. 12, no. 1, hal. 37–44, 2018.
- [3] C. Haddaji, S. K. Rifi, K. Digua, A. Madinzi, M. Chatui, A. Drioich, Z. Ettaloui, T. A. Kurniawan, A. Anouzla, dan S. Souabi, "Optimization of the coagulation-flocculation process using response surface methodology for wastewater pretreatment generated by vegetable oil refineries: A path towards environmental sustainability," *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, vol. 2, no. 2, 2024.
- [4] S. Reena, G. Neetu, M. Anurag, G. Rajiv, "Heavy metals and living systems : An overview," *Indian Journal of Pharmacology*, vol. 43, no. 2, hal. 246-253, 2011.
- [5] S. Rajoria, M. Vashishta, dan V. K. Sangal, "Treatment of electroplating industry wastewater: a review on the various techniques," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, hal. 72196-72246, 2022.
- [6] H. Hardoyo, N. M. Prilitasari, dan N. Natalina, "Penurunan Kadar Kromium Total pada Limbah Elektroplating Menggunakan Adsorben dari Daun Sukun (*Artocarpus altilis*) dengan Aliran Kontinu," *Teknik : Jurnal Ilmiah Bidang Ilmu Kerekayasaan*, vol. 39, no. 2, hal. 114–119, 2018.
- [7] S. Alva, "Decrease Levels of Chromium, Copper, and Nickel in Liquid Waste of The Electroplating Laboratory of Medan Polytechnic with Electrocoagulation Method," *Journal of Chemical Natural Resources*, vol. 3, no. 2, 2021.
- [8] Z. Heidarinejad, M. H. Dehghani, dan M. Sillanpaa, "Methods for preparation and activation of activated carbon: a review," *Environmental Chemistry Letters*, vol.18, hal. 393-415, 2020.
- [9] W. Cai, Z. Li, J. Wei, Y. Liu, "Synthesis of peanut shell based magnetic activated carbon

- with excellent adsorption performance towards electroplating wastewater”, *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 140, hal. 23-32, 2018.
- [10] O. Talunoe, M. Mirzan, N. Nurhaeni. “Pemanfaatan Arang aktif Kulit Kacang Tanah sebagai Adsorben Besi (Fe) pada Air Sumur di Desa Pendolo, Kec. Pamona Selatan, Kab. Poso”. *Kovalen*, vol. 1, no. 1, hal. 7–12, 2015.
- [11] N. Putu, A. Krismayanti, M. Manurung, N. Gusti, A. Made, D. Adhi, “Sintesis Arang Aktif Dari Limbah Batang Bambu Dengan Aktivator NaOH Sebagai Adsorben Ion Krom (III) Dan Timbal (II)”. *Cakra Kimia*, vol. 7, no. 3, hal. 189–197, 2019.
- [12] L. F. Ramadhani, M. Imaya, R. Yulistiani, A. Erwan, Saputro. “Review: teknologi aktivasi fisika pada pembuatan karbon aktif dari limbah tempurung kelapa,” *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 26, no. 2, hal. 42–53, 2020.
- [13] S. Istiana dan T. Prasetya, “Preparasi Arang Aktif Trembesi Magnetit Untuk Adsorpsi Senyawa Tannin Dalam Limbah Cair,” *Indonesian Journal of Chemical Science*, vol. 9, no. 1, hal. 17–23, 2020.
- [14] A. Fletcher, T. Somorin, dan O. Aladeokin, “Production of High Surface Area Activated Carbon from Peanut Shell by Chemical Activation with Zinc Chloride: Optimisation and Characterization”, *BioEnergy Research*, vol.17, hal. 467-478, 2024.
- [15] N. Mastiani, V. Amalia, dan T.D. Rosahdi, “Potensi Penggunaan Tempurung Kelapa sebagai Adsorben Ion Logam Fe(III),” *al-Kimiya*, vol.5, no. 1, hal. 42–47, 2018.
- [16] L. Efiyanti, S. A. Wati, dan M. Maslahat, “Pembuatan dan Analisis Karbon Aktif dari Cangkang Buah Karet dengan Proses Kimia dan Fisika”. *Jurnal Ilmu Kehutanan*, vol.14, no. 1, hal. 94-99, 2020.
- [17] N.N. Hijrah, M. Anas, dan E. Erniwati, “Analisis Variasi Temperatur Aktivasi terhadap Gugus Fungsi Arang Aktif Tandan Aren (Arenca Pinnata Merr.) dengan Agen Aktivasi Potassium Silicate (K_2SiO_3),” *Jurnal Penelitian Pendidikan Fisika*, vol. 5, no. 4, hal. 295-299, 2020.
- [18] F. P. Perdani, C.A. Riyanto, dan Y. Martono, “Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Singkong (Manihot esculenta Crantz) Berdasarkan Variasi Konsentrasi H_3PO_4 dan Lama Waktu Aktivasi,” *IJCA (Indonesian Journal of Chemical Analysis)*, vol. 4, no. 2, hal. 72–81, 2021.
- [19] N. Nurfitriya, K. Febriyantiningrum, W.P. Utomo, Z. V. Nugraheni, D. D. Pangastuti, H. Maulida, F. N. Ariyanti, “Pengaruh Konsentrasi Aktivator Kalium Hidroksida (KOH) pada Karbon Aktif dan Waktu Kontak terhadap Daya Adsorpsi Logam Pb dalam Sampel Air Kawasan Mangrove Wonorejo, Surabaya,” *Akta Kimia Indonesia*, vol.4, no.1, 2019.
- [20] I. Qiram, D. Widhiyanuriyawan, dan W. Wijayanti, “Pengaruh Variasi Temperatur terhadap Massa dan Energi yang Dihasilkan Pirolisis Serbuk Kayu Mahoni (Switenia Macrophylla) pada Rotary Kiln”, *Rotor : Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 8, no. 2, 2015
- [21] A. Husin, dan A. Hasibuan, “Studi Pengaruh Variasi Konsentrasi Asam Posfat (H_3PO_4) dan Waktu Perendaman Karbon terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Kulit Durian,” *Jurnal Teknik Kimia USU*, vol. 9, no. 2, hal. 80–86, 2020.
- [22] M. Meilianti, “Karakteristik Karbon Aktif Dari Cangkang Buah Karet Menggunakan Aktivator H_3PO_4 ”. *Jurnal Distilasi*, vol. 2, no. 2, hal. 1-9, 2018.
- [23] S. Hartanto dan Ratnawati. “Pembuatan Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa Sawit dengan Metode Aktivasi Kimia”. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, vol.12, no. 1, hal. 12–16, 2010.

- [24] Y. Hendrawan, S.M. Sutan, dan R.Y.R. Kreative, "Pengaruh Variasi Suhu Karbonisasi dan Konsentrasi Aktivator terhadap Karakteristik Karbon Aktif dari Ampas Tebu (Bagasse) Menggunakan Activating Agent NaCl". *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, vol. 5, no. 3, hal. 200–207, 2017.
- [25] N. Alverina, U.P. Juswono, dan L. Nuriyah, "Efektifitas Penyerapan Logam Berat Cu dan Cr oleh Karbon Aktif Bonggol Jagung dan Karbon Aktif dari Sekam Padi pada air lindi TPA (Tempat Pembuangan Akhir) Sampah," *Brawijaya Physics Student Journal*, 2014.
- [26] A. Imani, T. Sukwika, dan L. Febrina, "Karbon Aktif Ampas Tebu Sebagai Adsorben Penurun Kadar Besi Dan Mangan Limbah Air Asam Tambang", *Jurnal Teknologi Universitas Muhammadiyah Jakarta*, vo.13, no.1, 2021.
- [27] A. Priatni, Rusdiansyah, dan S. Sitorus, "Efektivitas Karbon Aktif dari Palm Kernel Cake sebagai Adsorben Ion Logam Mn, Fe dan Pb Pada Air Limbah AAS Terkonsentrat," *Balai Riset dan Standarisasi Industri Samarinda*, hal. 250–264, 2017.
- [28] P. Takarani, S. F. Novita, dan R. Fathoni, "Pengaruh Massa dan Waktu Adsorben Selulosa dari Kulit Jagung terhadap Konsentrasi Penyerapan," *Prosiding Seminar Nasional Teknologi V*, vol. 2, no. 1, hal. 117–121, 2019.
- [29] S. Atminingtyas, W. Oktiawan, dan I. W. Wardhana, "Pengaruh Konsentrasi Aktivator NaOH dan Tinggi Kolom pada Arang Aktif dari Kulit Pisang terhadap Efektivitas Penurunan Logam Berat Tembaga (Cu) dan Seng (Zn) Limbah Cair Industri Elektroplating," *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 5, no. 1, hal. 1–11, 2016
- [30] J.C. Moreno-Pirajan, V.S. Garcia-Cuello, dan L. Giraldo, "The removal and kinetic study of Mn, Fe, Ni and Cu ions from wastewater onto activated carbon from coconut shells", *Adsorption : Journal of the International Adsorption Society*, vol. 17, hal. 505-514, 2011.
- [31] A.E. Vasu, "Adsorption of Ni(II), Cu(II) and Fe(III) from aqueous Solution using Activated Carbon," *E-Journal Chemistry*, vol. 5, no. 1, hal. 1-9, 2008.