

ARANG AKTIF TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT SEBAGAI ADSORBEN LOGAM BERAT MERKURI (Hg)

Muhammad Agil Gova¹, Ade Oktasari^{1*}

¹Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Raden Fatah Palembang,
Palembang 30126, Indonesia

*e-mail Korespondensi: adeoktasari@radenfatah.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui variasi waktu penjerapan, variasi massa adsorben terhadap logam berat merkuri, dan variasi adsorbat terhadap arang aktif tandan kosong kelapa sawit. Adapun metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode adsorpsi/penjerapan. Pada metode ini adsorben yang digunakan adalah arang aktif tandan kosong kelapa sawit.

Kondisi optimum adsorpsi Hg pada arang aktif tandan kosong kelapa sawit terjadi pada waktu kontak 10 menit dengan nilai kapasitas adsorpsi 599,958 mg g⁻¹. Pada hasil variasi massa adsorben arang aktif tandan kosong kelapa sawit didapat massa optimum kedua yaitu sebesar 6 gram yang memiliki nilai kapasitas adsorpsi 599,944 mg g⁻¹. Adapun kapasitas adsorpsi maksimum tandan kosong kelapa sawit sebesar 2.999,631 mg g⁻¹ mengikuti pola isoterm Freundlich yang memiliki nilai R² 0,3053.

Kata Kunci: Adsorpsi, arang aktif, tandan kosong kelapa sawit, merkuri

Abstract. In this research aims to determine the effect of time variations of adsorption, the mass of adsorbent toward mercury metal, and the effect of adsorbate toward activated charcoal of oil palm empty fruit bunches. As for the method used in this research is adsorption. In this method the adsorbent used is oil palm empty fruit bunches. In this research result of the effect of time variations toward mercury metal optimum time is obtained in the first minute is 10 minutes with an adsorption capacity of 599,958 mg g⁻¹. On the result of the effect of mass adsorbent variation obtained the mass of the optimum second that is equal to 6 gram which had a rated capacity of 599,944 mg g⁻¹. The adsorption capacity maximum of oil palm empty fruit bunches by 2.999,631 mg g⁻¹ followed the pattern of the isotherms Freundlich that had a value of R² 0,3053.

Keyword: Adsorption, activated charcoal, oil palm empty fruit bunches, mercury

PENDAHULUAN

Pencemaran logam berat semakin meningkat sejalan dengan proses meningkatnya industrialisasi. Keberadaan lingkungan industri yang akan menghasilkan logam berat antara lain Industri, Percetakan, Garment, Besi Stainless, dan lain-lain. Limbah industri anorganik lebih sulit untuk diatasi dan memiliki potensi bahaya yang lebih besar. Menurut [1] Suyanto dkk, 2010, bahwa efek toksik dari logam berat mampu menghalangi kerja enzim sehingga mengganggu metabolisme tubuh, dan menyebabkan alergi. Menurut Said bahwasannya industri kimia berbahaya mengeluarkan limbah berbahaya yang mengandung senyawa yang bersifat racun (*toxic material*) serta logam berat yang bersifat toksik [2].

Adapun pada penelitian ini menggunakan proses adsorpsi. Imelda dkk mengadsorpsi logam berat merkuri dengan menggunakan adsorben *Sargassum crassifolium* didapat

penjerapan logam merkuri sebesar 2,90 mmol/g [3]. Hasan dan Abdullah melakukan penelitian adsorpsi logam berat merkuri didapat nilai adsorpsi yang dijerap oleh karbon aktif tempurung kelapa pada limbah pengolahan emas di Kabupaten Buru Propinsi Maluku sebesar 0,1235 mg/g adsorben dengan penurunan konsentrasi Hg pada limbah sebesar 99,4% [4]. Jatmiko melakukan penelitian pada penjerapan logam berat merkuri dengan menggunakan limbah tempurung kemiri dengan penjerapan logam merkuri sebesar 89%. Adapun pada penelitian ini bahan baku yang digunakan sebagai metode adsorpsi (penjerapan) pada penelitian ini adalah dengan memanfaatkan limbah tandan kosong kelapa sawit [5].

Kelapa sawit merupakan komoditi perkebunan penghasil minyak sawit *Crude palm oil* (CPO) yang menjanjikan. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Taer dkk mengenai pemanfaatan tandan kosong kelapa sawit sebagai karbon aktif dalam penjerapan logam berat bahwasannya tandan kosong kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai karbon aktif untuk menjerap logam berat dalam hal ini logam berat Fe dan Zn dengan penjerapan sebesar 78,52% dan 77,23% [6].

Tandan kosong kelapa sawit ini dipilih karena memiliki kandungan senyawa lignin, selulosa, dan hemiselulosa [7]. Tandan kosong kelapa sawit merupakan 23% dari tandan buah segar yang memiliki bahan lignoselulosa sebesar 55-60% berat kering. Lignoselulosa merupakan komponen penyusun utama TKKS yang memiliki kemampuan mengadsorpsi logam berat karena TKKS mengandung gugus aktif $-OH$ dan $-COOH$ [8]. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Sopiah dkk mengenai arang aktif dari tandan kosong kelapa sawit yang memiliki senyawa lignoselulosa mampu menjerap logam berat dalam hal ini Kadmium (Cd) [9].

Proses pengaktifan arang tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dilakukan dengan menambahkan larutan garam berupa natrium asetat (CH_3COONa) sebagai aktivator sehingga pori-pori pada permukaan arang aktif akan menjadi lebih luas dan dapat menjerap logam berat dengan baik. Sopiah dkk melakukan penelitian dengan membuat karbon aktif dari tandan kosong kelapa sawit terhadap adsorpsi kadmium terlarut menggunakan larutan garam yaitu natrium asetat (CH_3COONa) sebagai aktivator arang aktif karena larutan natrium asetat memungkinkan garam tersebut untuk melakukan penetrasi ke dalam sampel dan secara efektif mampu menghilangkan produk dekomposisi yang dihasilkan selama karbonisasi, pada saat proses aktivasi dilakukan dengan cara pemanasan pada suhu $120^\circ C$ selama 1 jam karena keadaan ini cukup efisien untuk menghasilkan arang aktif yang memiliki daya jerap yang baik terhadap logam berat, sehingga natrium asetat pada penelitian ini memiliki nilai penjerapan logam berat kadmium (Cd) sebesar 100% [9]. Hasan dan Abdullah melakukan penelitian adsorpsi logam berat merkuri (Hg) menggunakan tempurung kelapa dengan aktivator garam yaitu seng klorida ($ZnCl_2$) dengan penjerapan logam berat merkuri (Hg) sebesar 13,9027 mg/g [10].

Berdasarkan penelitian yang ada, peneliti tertarik untuk melanjutkan kembali penelitian tentang pembuatan arang aktif dengan judul “Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Adsorben Logam Berat Merkuri (Hg)”.

Metodologi Penelitian Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Furnace*, Gelas Ukur, *Oven*, *Beaker glass*, Neraca Analitik, tungku, pipet tetes, corong, kertas saring, cawan porselen, labu ukur, pengaduk, ayakan 100 mesh dan *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS) AA-

7000 SHIMADZU. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Tandan Kosong Kelapa Sawit, Natrium Asetat (CH_3COONa) 1 N, larutan standar HgCl_2 , Aquadest.

Prosedur Penelitian

Karbonisasi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Karbonisasi TKKS dilakukang dengan menimbang 1 kg TKKS, kemudian dipanaskan di dalam *Furnace* pada suhu 350°C dengan lama waktu 1 jam. Sebelum dimasukan ke dalam *Furnace*, TKKS dimasukan kedalam tungku. Kemudian ditentukan persen kehilangan air TKKS setelah proses karbonisasi.

Aktivasi CH_3COONa 1 N

Arang TKKS yang telah dikarbonisasi, diayak menggunakan ayakan 100 mesh dan diaktivasi dengan larutan garam CH_3COONa 1 N. Perbandingan campuran antara berat adsorben atau TKKS dan larutan aktivator adalah 1:5 (b/v), perbandingan ini ditetapkan agar TKKS yang akan diaktivasi terendam dengan sempurna dalam larutan aktivator. Proses aktivasi dilakukan dengan pemanasan pada suhu 120°C selama 1 jam, proses selanjutnya difiltrasi dan dicuci dengan *Aquadest* beberapa kali untuk menghilangkan sisa garam, kemudian arang tersebut dikeringkan di dalam oven pada suhu 110°C selama 3 jam dan ditimbang berat arang yang telah teraktivasi tersebut.

Penjerapan Logam Berat Hg dengan Berbagai Variasi

Adapun proses penjerapan/adsorpsi logam berat Hg dilakukan dengan variasi sebagai berikut:

Variasi Waktu Kontak, 3 gram TKKS dimasukkan ke dalam *beaker glass* yang telah berisi 45 mL HgCl_2 dengan konsentrasi 40 ppm, digojok menggunakan *shaker* selama variasi waktu, 10, 50, 100, 150, 200 menit. Kemudian difiltrasi dan dianalisis menggunakan AAS.

Variasi Konsentrasi, 3 gram TKKS dimasukan kedalam *beaker glass* yang telah berisi 45 mL HgCl_2 dengan variasi konsentrasi 40, 80, 120, 160, 200 ppm, digojok menggunakan *shaker* selama 1 jam, kemudian difiltrasi dan dianalisis menggunakan AAS.

Variasi Massa, TKKS dengan variasi massa 5, 6, 9, 12, 15 gram, dimasukan kedalam *beaker glass* yang telah berisi larutan HgCl_2 dengan rasio 1:15 (b/v) dan konsentrasi 40 ppm digojok menggunakan *shaker* selama 1 jam, kemudian difiltrasi dan dianalisis menggunakan (ASS).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karbonisasi Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Proses karbonisasi bertujuan untuk menguraikan senyawa hidrokarbon seperti selulosa dan hemiselulosa agar dapat menjadi karbon murni dan menghasilkan butiran yang mempunyai daya serap [11]. Pada penelitian ini proses karbonisasi, berlangsung selama 1 jam dengan suhu 350°C . Waktu dan suhu merupakan kondisi yang optimum untuk pembuatan karbon. Hal ini telah dilakukan oleh sopiah dkk dalam pembuatan arang aktif tandan kosong kelapa sawit untuk penjerapan logam berat yang menggunakan suhu karbonisasi 350°C dengan lama waktu 1 jam memiliki daya adsorpsi logam berat yang lebih baik dibandingkan dengan suhu yang lain [9].

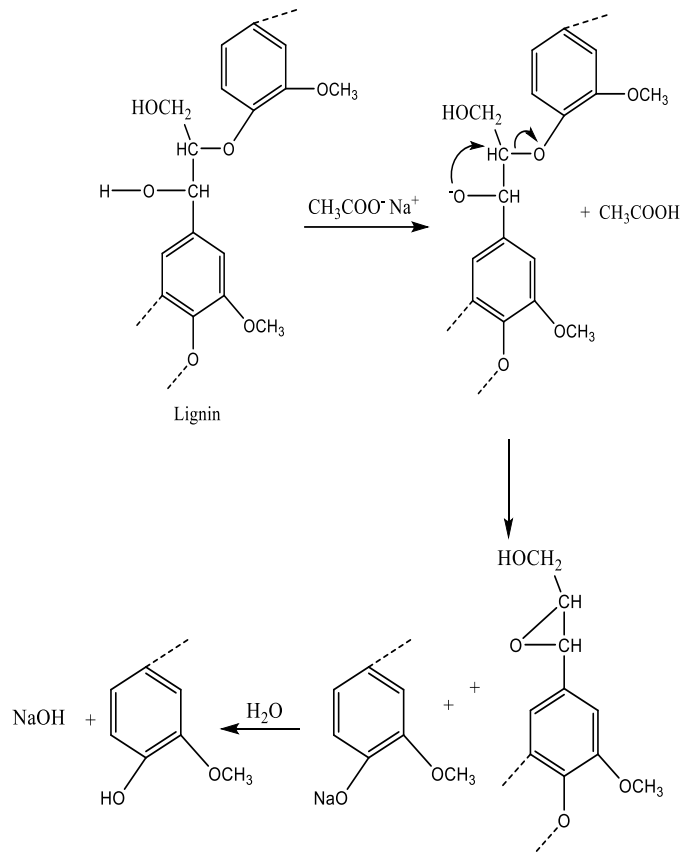
Tandan kosong kelapa sawit yang telah dikarbonisasi, kemudian diambil 1 gram tandan

kosong kelapa sawit tersebut untuk menentukan persen kehilangan air, persen kehilangan air didapat 0,2%, kadar air ini telah memenuhi standar kualitas karbon aktif, berdasarkan SNI No. 06-3730-1995 yaitu maksimum 15%. Penetapan kadar air ini bertujuan untuk mengetahui sifat higroskopis arang aktif tersebut. Rendahnya kadar air ini menunjukkan bahwa kandungan air bebas dan air terikat yang terdapat pada bahan telah menguap selama proses karbonisasi [11]. Kemudian, tandan kosong kelapa sawit yang telah dikarbonisasi dimasukkan ke dalam *grinding* dan *ball mill* agar mendapatkan karbon dengan ukuran yang lebih halus. Karena ukuran partikel yang kecil akan mempengaruhi proses adsorpsi dan dapat menjerap logam berat dengan jumlah yang cukup banyak. Setelah itu karbon dimasukkan ke dalam *siever* atau ayakan 100 *mesh* guna mendapatkan ukuran karbon aktif yang seragam. Pada karbon aktif 100 mesh terdapat ukuran pori mikro yang cukup besar, oleh karena itu karbon aktif 100 mesh akan lebih optimal dalam proses adsorpsi [12]. Selanjutnya TKKS yang telah dipreparasi kemudian di aktivasi menggunakan larutan Natrium Asetat (CH_3COONa).

Aktivasi Tandan Kosong Kelapa Sawit

Pada proses aktivasi, tandan kosong kelapa sawit diaktivasi menggunakan larutan Natrium Asetat (CH_3COONa). Proses aktivasi ini berfungsi sebagai pembuka pori-pori karbon TKKS tersebut dan dapat menghilangkan pengotor pada karbon TKKS, karena pada saat karbonisasi masih mengandung dekomposisi berupa tar maupun karbon amorf yang dapat menghalangi proses adsorpsi, dengan hilangnya zat pengotor tersebut dapat menambah luas permukaan karbon aktif TKKS. Luas permukaan TKKS memberikan perkembangan struktur pori yang lebih baik pada karbon aktif dari pada sebelumnya.

Penggunaan jenis aktivator Natrium Asetat ini didasari adanya pasangan elektron bebas yang dimiliki oleh aktivator garam, sehingga dengan terikatnya senyawa kimia tersebut pada arang aktif, maka akan mampu meningkatkan kemampuan dalam menjerap logam [9]. Pada saat proses aktivasi, perbandingan TKKS dengan zat aktivator berbanding 1:5 (b/v). Perbandingan ini ditetapkan supaya TKKS yang akan diaktivasi terendam dengan sempurna dalam larutan aktivator. Proses aktivasi dilakukan selama 1 dengan pemanasan 120°C dan diaduk menggunakan magnetik *stirrer*. Proses aktivasi dengan pemanasan ini akan membuat proses penetrasi berlangsung lebih cepat serta membuka pori-pori karbon TKKS yang masih tertutup sehingga akan menghasilkan luas permukaan yang relatif lebih tinggi dibandingkan aktivasi yang tidak dilakukan secara pemanasan. Hal ini telah dilakukan oleh Sopiah dkk bahwasannya proses aktivasi yang dibantu oleh pemanasan akan mempercepat proses penetrasi dan akan membuka pori-pori karbon yang tertutup sehingga dihasilkan luas permukaan yang relatif lebih tinggi (C-aktif) dibandingkan aktivasi yang dilakukan tanpa pemanasan. Keadaan ini cukup efisien untuk menghasilkan karbon aktif yang mempunyai daya jerap yang baik terhadap logam berat [9]. Struktur pori ini berhubungan dengan luas permukaan, semakin kecil pori-pori arang aktif TKKS, menyebabkan luas permukaan semakin besar. Oleh sebab itu kecepatan adsorpsinya akan bertambah. Selain adanya struktur pori, gugus fungsi yang terdapat pada arang aktif TKKS sangat mempengaruhi daya adsorpsi arang aktif. Adapun mekanisme reaksi proses aktivasi menggunakan Natrium Asetat dapat dilihat pada gambar 1.



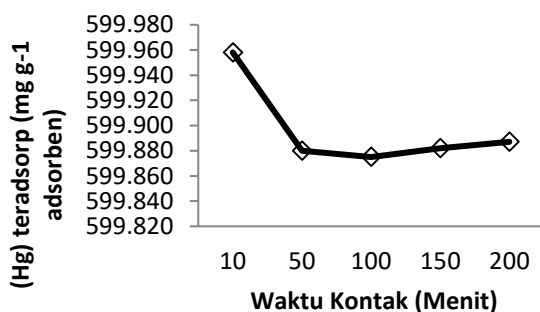
Gambar 1. Mekanisme reaksi pemutusan ikatan Lignin

Pada gambar 1 terdapat senyawa Lignoselulosa, ikatan pada senyawa tersebut akan terputus karena proses aktivasi. Larutan Natrium Asetat ini akan terionisasi menjadi CH_3COO^- dan Na^+ . Ion CH_3COO^- dari Natrium Asetat akan menyerang atom H dari gugus OH lignin. Kemudian ikatan antara atom H dan atom O akan terputus dan menghasilkan senyawa CH_3COOH . Hal ini membuat atom O menjadi reaktif atau lebih elektronegatif dan memiliki pasangan elektron bebas, kemudian atom O akan menghasilkan muatan negatif, muatan negatif tersebut akan menyerang atom C yang mengikat hetero atom dan membentuk cincin epoksi (C-O-C). Kemudian elektron ikatan antara atom C dan atom O akan terputus, sehingga atom O akan menarik elektron

ikatan antara atom C dan atom O. Setelah itu terbentuk dua cincin benzen yang terpisah dan memiliki masing-masing atom O yang reaktif. Atom O yang reaktif tersebut akan mengikat Na^+ dan lignin pun terurai. Proses selanjutnya adalah pencucian arang aktif TKKS dengan *aquadest* beberapa kali, supaya sisa-sisa garam yang masih menempel dipermukaan arang aktif TKKS dapat dihilangkan. Menurut Arif dkk bahwasannya aktivasi dengan aktivator dapat memberikan pengaruh terhadap gugus aktif pada arang aktif. Peningkatan gugus aktif terjadi karena adanya reaksi *ion exchange*, dimana gugus aktif dari aktivator yang menempel pada arang aktif akan digantikan oleh gugus $-\text{OH}$ pada pencucian dengan *aquadest* [13]. Pencucian arang aktif dilakukan hingga pH netral. Arang aktif TKKS yang telah netral dikeringkan di dalam *oven* pada temperatur 110°C selama 3 jam untuk menguapkan airnya, setelah proses pengeringan maka didapatkan arang aktif TKKS tersebut.

Optimasi Waktu Kontak Logam Berat Merkuri (Hg) pada Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit

Waktu kontak pada proses adsorpsi arang aktif TKKS merupakan salah satu parameter penting dalam proses adsorpsi. Menurut Nafi'ah bahwasannya waktu interaksi yang cukup diperlukan arang aktif agar dapat mengadsorpsi logam secara optimal. Semakin lama waktu interaksi, maka semakin banyak logam yang teradsorpsi karena semakin banyak kesempatan partikel arang aktif untuk bersinggungan dengan logam [14]. Penentuan waktu setimbang penyerapan bertujuan untuk mengetahui waktu optimum yang dibutuhkan oleh adsorben arang aktif dalam menyerap logam secara maksimum hingga tercapai keadaan yang sama antara logam terserap (adsorben) dengan logam yang terlepas (desorpsi). Dalam prosesnya, penyerapan berlangsung terus menerus sebelum tercapai kesetimbangan [15]. Kesetimbangan proses adsorpsi arang aktif TKKS tercapai apabila penambahan waktu kontak tidak lagi menambah jumlah logam yang teradsorpsi pada adsorben. Dalam hal ini adsorpsi dengan variasi waktu kontak logam merkuri dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik penentuan waktu kontak terhadap logam merkuri yang terjerap.

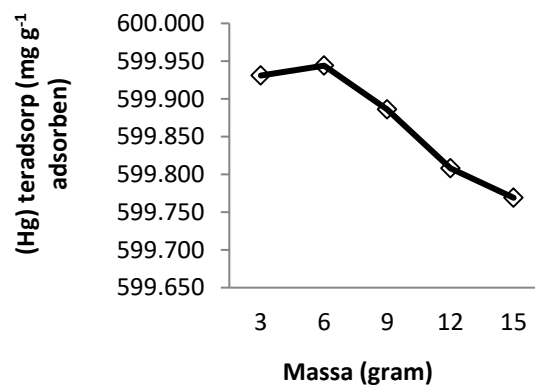
Optimasi waktu adsorpsi logam berat merkuri ditentukan dengan melakukan variasi waktu kontak sebagai berikut ; 10, 50, 100, 150, dan 200 menit. Waktu kontak yang divariasikan menunjukkan waktu yang dibutuhkan pada saat kesetimbangan adsorpsi tercapai dan untuk mengetahui kemampuan adsorpsi arang aktif TKKS.

Gambar 2 menunjukkan bahwa adsorpsi logam merkuri yang terbaik terdapat pada menit ke 10 dengan nilai penjerapan sebesar $599,958 \text{ mg g}^{-1}$. Pada waktu kontak 50 menit hingga 200 menit tidak mengalami peningkatan penjerapan logam berat merkuri yang signifikan dikarenakan adsorben telah mencapai titik jenuh yang tidak dapat mengadsorpsi logam berat lagi. Berdasarkan teori pada saat bertambahnya waktu kontak, maka adsorbat akan sering mengalami interaksi dengan adsorben, sehingga logam berat akan semakin banyak teradsorpsi oleh adsorben. Namun, pada penelitian ini waktu optimum terdapat pada awal waktu kontak 10 menit. Penurunan laju adsorpsi diakibatkan oleh kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi logam semakin berkurang hingga pada waktu tertentu adsorben tidak dapat menyerap logam lagi yang ditunjukkan oleh penurunan kapasitas adsorpsi [16]. Hal ini disebabkan adsorpsi terjadi secara multilapis sehingga adsorben tidak dapat mengadsorpsi logam merkuri kemudian terjadilah proses desorpsi dan adsorben mengalami kejenuhan yang tidak akan mengalami proses adsorpsi. Hal ini pula dilakukan oleh Bangun dkk bahwasannya penurunan adsorpsi terjadi pada waktu

kontak disebabkan karena pori dari arang aktif sudah terisi penuh sehingga permukaan arang aktif menjadi jenuh dan kemampuan adsorpsinya pun menurun [17].

Optimasi Massa Adsorben Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Penjerapan Logam Berat Merkuri (Hg)

Massa adsorben arang aktif TKKS sangat berpengaruh pada proses adsorpsi atau penjerapan, karena pada dasarnya semakin banyak jumlah adsorben pada arang aktif TKKS maka pori yang terdapat pada arang aktif juga semakin meningkat sehingga logam berat merkuri akan semakin banyak terjerap. Menurut Arya bahwa massa adsorben berpengaruh terhadap proses adsorpsi karena semakin bertambahnya massa adsorben, maka nilai penyerapan merkuri yang telah teradsorpsi juga semakin meningkat dan mencapai kesetimbangan [18]. Dalam hal ini variasi massa adsorben TKKS pada proses adsorpsi logam merkuri dapat dilihat pada gambar 3.

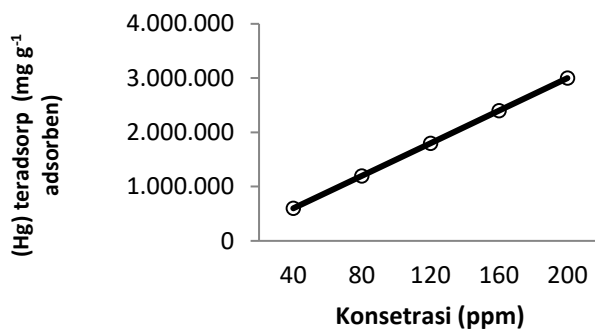


Gambar 3. Grafik penentuan kesetimbangan massa adsorben terhadap penjerapan logam berat merkuri.

Optimasi massa arang aktif TKKS untuk menjerap logam berat merkuri ditentukan dengan variasi sebagai berikut ; 3, 6, 9, 12, 15 gram. Pada gambar 3 diatas menunjukkan adanya peningkatan adsorpsi dari massa 3 gram ke 6 gram terhadap logam berat merkuri dan variasi massa yang memiliki adsorpsi paling baik adalah 6 gram dengan kapasitas adsorpsi sebesar 599,944 mg g⁻¹. Namun pada massa 9 gram hingga 15 gram tidak mengalami peningkatan adsorpsi hal ini dikarenakan adsorben telah mengalami kesetimbangan pada massa 6 gram dan jumlah molekul adsorbat yang berikatan dengan adsorben semakin sedikit. Pada proses kesetimbangan ini adsorben tidak lagi mengadsorpsi logam berat merkuri. Menurut Anjani dan Toeti bahwasannya jumlah adsorben mempengaruhi proses adsorpsi dimana semakin bertambahnya massa menyebabkan adsorben telah mencapai titik jenuh jika permukaannya telah terisi penuh oleh adsorbat [19]. Namun, pada massa 9 gram hingga 15 gram mengalami penurunan adsorpsi logam berat merkuri karena berdasarkan kapasitas Hg teradsorpsi telah mendekati kesetimbangan dan jumlah molekul logam berat merkuri sebagai adsorbat yang berikatan dengan adsorben semakin sedikit. Demikian pula pada penelitian Arif dkk tentang pengaruh massa karbon aktif yang menunjukkan nilai kapasitas adsorpsi menurun dengan bertambahnya massa adsorben. Hal ini dikarenakan pada saat ada peningkatan massa adsorben maka ada peningkatan persentase nilai efisiensi adsorpsi dan penurunan kapasitas adsorpsi [13].

Penentuan Isoterm dan Kapasitas Adsorpsi Logam Merkuri (Hg) Pada Adsorben Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit

Kapasitas adsorpsi merupakan suatu parameter yang menunjukkan kemampuan adsorben untuk mengadsorpsi adsorbat. Kapasitas adsorpsi dapat ditentukan melalui suatu persamaan isoterm adsorpsi, yang menggambarkan hubungan antara zat teradsorpsi dalam sejumlah tertentu berat adsorben dalam proses kesetimbangan yang berlangsung pada temperatur konstan [8]. Menurut Jasmal dkk bahwasannya persamaan isothermal adsorpsi yang umum digunakan adalah persamaan Langmuir dan Freundlich [20]. Penentuan isoterm adsorpsi pada penelitian ini dilakukan dengan melakukan variasi konsentrasi larutan ion merkuri yang diinteraksikan pada adsorben arang aktif tandan kosong kelapa sawit, dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik penentuan isoterm dan kapasitas adsorpsi logam merkuri terhadap adsorben arang aktif tandan kosong kelapa sawit.

Gambar 4 diatas menunjukkan bahwasannya kenaikan kapasitas adsorpsi logam merkuri yang teradsorpsi oleh adsorben arang aktif tandan kosong kelapa sawit semakin meningkat, seiring dengan meningkatnya konsentrasi logam merkuri mulai dari 40 ppm hingga 200 ppm dengan nilai kapasitas adsorpsi terbesar 2.999,631 mg g⁻¹ pada 200 ppm. Hal ini disebabkan karena banyaknya ion merkuri yang berinteraksi dengan arang aktif tandan kosong kelapa sawit sehingga kapasitas adsorpsi terus meningkat dan mengindikasikan bahwa kondisi setimbang belum tercapai. Menurut Imawati dan Adhitiyawarman melakukan penelitian isoterm adsorpsi logam berat bahwasannya semakin naiknya konsentrasi maka semakin banyak molekul yang berinteraksi dengan arang aktif sehingga adsorpsi semakin meningkat [21]. Penentuan kapasitas adsorpsi logam berat merkuri dilakukan dengan menguji variasi konsentrasi adsorbat ke dalam model isoterm Langmuir dan Freundlich. Pengujian model kesetimbangan dilakukan untuk menentukan model kesetimbangan yang sesuai digunakan pada suatu penelitian. Penentuan isoterm adsorpsi dilakukan dengan merubah persamaan isoterm langmuir dan freundlich menjadi kurva kesetimbangan garis lurus [22]. Isoterm Freundlich digunakan dengan asumsi bahwa lapisan multilayer yang ikatan antara adsorben dengan adsorbatnya terjadi karena adanya gaya *Van Der Waals* sehingga ikatannya tidak terlalu kuat, sedangkan isoterm Langmuir digunakan dengan asumsi bahwa lapisan yang terbentuk adalah lapisan monolayer yang ikatan adsorben dengan adsorbatnya cukup kuat karena terbentuknya suatu ikatan kimia [13]. Penentuan model kesetimbangan tergantung pada harga koefisien

determinan (R^2) dengan harga yang tinggi.

Perbandingan data perhitungan parameter adsorpsi logam merkuri pada arang aktif tandan kosong kelapa sawit hasil penelitian menggunakan model isoterm Langmuir dan Freundlich dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perbandingan Isoterm Langmuir dan Freundlich untuk Adsorpsi Logam Berat Merkuri pada Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit

Adsorben	Model Isoterm Adsorpsi	Parameter Adsorpsi	Nilai Hasil Perhitungan
Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit	Langmuir	b (mol/g) K(mmol/L) ⁻¹ E (kJ/mol) R ²	526 ×10 ⁻³ 23764 25131,56 0,0673
	Freunlindch	B (mmol g ⁻¹) n R ²	522275,916 1,66 0,3053

Pada tabel 4.4 menunjukkan bahwa adsorpsi logam berat merkuri terhadap arang aktif tandan kosong kelapa sawit lebih mengikuti model isoterm Freundlich. Hal ini dibuktikan dengan harga koefisien korelasi (R^2) lebih besar model isoterm Freundlich dibandingkan Langmuir dengan nilai harga (R^2) yaitu 0,3053.

Isoterm adsorpsi Freundlich mengindikasikan bahwasannya proses adsorpsi terjadi secara fisik (*Physisorption*) dan terbentuk lapisan *Multilayer* yang artinya penyerapan lebih banyak terjadi pada permukaan arang aktif, dimana logam merkuri menempel pada adsorben dengan gaya *Van Der Walls* yang ikatannya tidak terlalu kuat. Hal ini sesuai dengan penelitian Jasmal dkk bahwasannya isotherm adsorpsi Freundlich mengasumsikan bahwa adsorpsi terjadi secara fisik artinya penyerapan lebih banyak terjadi pada permukaan arang aktif. Pada adsorpsi fisik adsorbat tidak terikat kuat pada permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke permukaan yang lain, dan pada permukaan yang ditinggalkan dapat digantikan oleh adsorbat yang lainnya. Adsorpsi fisik ini terjadi karena adanya ikatan *Van Der Walls* yaitu gaya tarik menarik yang lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben [20].

KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian dan pembahasan yang telah dikemukakan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Optimasi waktu waktu kontak pada arang aktif tandan kosong kelapa sawit pada penelitian ini terdapat pada menit ke 10 yang memiliki kapasitas adsorpsi logam merkuri sebesar 599,958 mg g⁻¹.
2. Optimasi Massa adsorben arang aktif tandan kosong kelapa sawit terbaik pada penelitian ini terdapat pada massa 6 gram dengan kapasitas adsorpsi logam berat merkuri yaitu

599,944 mg g⁻¹.

3. Isoterm adsorpsi pada penelitian ini mengikuti model Freundlich. Hal ini dapat diketahui berdasarkan perbandingan linieritas kurva yang ditunjukkan dengan harga R² isoterm Freundlich lebih besar dibandingkan dengan harga R² isoterm Langmuir. Harga nilai R² pada isoterm Freundlich 0,3053 sedangkan harga R² isoterm Langmuir 0,0673.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Suyanto, S. Kusmiyati, and C. Retnaningsih, “Residu Logam Berat Ikan dari Perairan Tercenmar di Pantai Utara Jawa Tengah,” vol. 01, no. 02, 2010.
- [2] N. I. Said, “Metoda Penghilangan Logam Merkuri di dalam Air Limbah Industri,” *JAI*, vol. 6, no. 1, pp. 11–23, 2010.
- [3] I. H. Silalahi, T. Anita, and H. Martua, “Kapasitas Adsorpsi Merkuri Menggunakan Adsorben *Sargassum crassifolium*.” *TERAKTIVASI*,” vol. 3, no. 1, 2012.
- [4] N. La Hasan and A. Derlean, “Kinetika Adsorpsi Logam Merkuri (Hg) oleh Karbon Aktif Tempurung Kelapa pada Limbah Pengolahan Emas di Kabupaten Buru Propinsi Maluku,” *Bimafika*, vol. 6, pp. 763–769, 2015.
- [5] T. H. Jatmiko, “Pemanfaatan Karbon Aktif Dari Limbah Tempurung Kemiri untuk Adsorpsi Limbah Merkuri-Hg (II),” *Pros. Semin. Nas. Peran Teknol. di Era Glob.*, pp. 121–125, 2013.
- [6] S. Taer Erman , Mustika Widya Sinta, “Pemanfaatan Potensi Tandan Kosong Kelapa Air Limbah Aktivitas Penambangan Emas,” no. C, pp. 852–858, 2016.
- [7] H. Simatupang, A. Nata, and N. Herlina, “Studi Isolasi dan Rendemen Lignin Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS),” *J. Tek. Kim.*, vol. 1, no. 1, pp. 20–24, 2012.
- [8] I. M. Rahmalia, Winda , Yulistira Fitria, Ningrum Janiar, Qurbaniah Mahwar, “Pemanfaatan Potensi Tandan Kosong Kelapa Sawit (*Elais guineensis jacq*) sebagai Bahan Dasar C-Aktif untuk Adsorpsi Logam Perak dalam Larutan,” pp. 1–10, 2015
- [9] B. A. D. Sopiah Nida, Prasetyo Djoko, “Pengaruh Karbon Aktif dari Tandan Kosong Kelapa Sawit terhadap Adsorpsi Kadmium Terlarut.” pp. 55–66, 2017.
- [10] N. La Hasan and A. Derlean, “Kinetika Adsorpsi Logam Merkuri (Hg) oleh Karbon Aktif Tempurung Kelapa pada Limbah Pengolahan Emas di Kabupaten Buru Propinsi Maluku,” *Bimafika*, vol. 6, pp. 763–769, 2015.
- [11] L. Hartini, E. Yulianti, and R. Mahmuda, “Karakterisasi Karbon Aktif Teraktivasi NaCl dari Ampas Tahu,” *ALCHEMY*, vol. 3, no. 2, pp. 145–153, 2014.

- [12] K. N. Irma, N. Wahyuni, and T. A. Zahara, "Adsorpsi Fenol Menggunakan Adsorben Karbon Aktif Dengan Metode Kolom," *JKK*, vol. 4, no. 1, pp. 24–28, 2015.
- [13] A. R. Arif, A. Saleh, J. Saokani, and J. Kimia, "Adsorpsi Karbon Aktif dari Tempurung Kluwak (*Pangium edule*) terhadap Penurunan Fenol," *Alkimia*, pp. 34–47, 2015.
- [14] R. Nafi'ah, "Kinetika Adsorpsi Pb (II) dengan Adsorben Arang Aktif dari Sabut Siwalan," *J. Farm. Sains dan Prakt.*, vol. 1, no. 2, pp. 28–37, 2016.
- [15] S. Jayanti, N. K. Sumarni, and Musafira, "Kajian Aktivasi Arang Aktif Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica* Linn) Menggunakan Aktivator H₃PO₄ pada Penyerapan Logam Timbal," *KOVALEN*, vol. 1, no. 1, pp. 13–19, 2015.
- [16] Fitriani, T. Kurniati, and Hambali, "Penyerapan Ion Logam Pb (II) dari Larutan Menggunakan Serbuk Daun Puring," *J. Pendidik. Metematika dan IPA*, vol. 8, no. 1, pp. 34–42, 2017.
- [17] T. A. Bangun, T. A. Zaharah, and A. Shofiyani, "Pembuatan Aarang Aktif dari Cangkang Buah Karet untuk Adsorpsi Ion Besi (II) dalam Larutan," *JKK*, vol. 5, no. 3, pp. 18–24, 2016.
- [18] Y. Arya, "Studi Adsorpsi Merkuri pada Limbah Pengolahan Emas Menggunakan Karbon Aktif Berbahan Baku Janjang Buah Pohon Aren (Arenga Pinnata) (Studi Kasus Pertambangan Emas Rakyat Di Kec. Penyabungan Kab. Mandailing Natal)," Universitas Sumatera Utara, 2018.
- [19] R. P. Anjani and T. Koestiari, "Penentuan Massa dan Waktu Kontak Optimum Adsorpsi Karbon Granular sebagai Adsorben Logam Berat Pb(II) Dengan Pesaing Ion Na⁺," *J. Chem.*, vol. 3, no. 3, pp. 159–163, 2014.
- [20] S. Jasmal and Ramlawati, "Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Ijuk Pohon Aren (Arenga pinnata) terhadap Pb²⁺," *J. Sainsmart*, vol. 4, no. 1, pp. 57–66, 2015.
- [21] A. Imawati and Adhitiyawarman, "Kapasitas Adsorpsi Maksimum Ion Pb (II) oleh Arang Aktif Ampas Kopi Teraktivasi HCl dan H₃PO₄," *JKK*, vol. 4, no. 2, pp. 50–61, 2015.
- [22] A. S. Sanjaya and R. P. Agustine, "Studi Kinetika Adsorpsi Pb Menggunakan Arang Aktif dari Kulit Pisang," *Konversi*, vol. 4, no. 1, pp. 17–24, 2015.