

Pemanfaatan Arang Aktif Tempurung Kemiri (*Aleurites moluccanus L. Willd*) yang Dimodifikasi dengan Cremophor RH 40 sebagai Adsorben Limbah Parasetamol

Nada Sa'idah¹, Gatut Ari Wardani^{2*}, Winda Trisna Wulandari³
Program Studi S1 Farmasi, Fakultas Farmasi Universitas Bakti Tunas Husada
Jl. Cilolohan No. 36 Tasikmalaya, Indonesia

*Corresponding author: gatutariwardani@universitas-bth.ac.id

Abstract

Paracetamol has the potential to pollute water bodies, hence requiring wastewater treatment to reduce contamination. One of the methods employed is adsorption using activated carbon as the adsorbent. This research investigates the characteristics of activated carbon, activated carbon modified with Cremophor RH 40, adsorption kinetics, and adsorption isotherms. The batch method was utilized for this purpose. Based on functional group analysis, cellulose hydroxyl groups (O-H) play a crucial role in adsorption. Morphological analysis of modified activated carbon reveals larger pores than pure and activated carbon. The crystallinity analysis shows an amorphous structure. The adsorption kinetics mechanism for the three modifications follows the pseudo-second-order kinetic model (Ho) with R² values of 0.9998, 0.9999, and 1. Adsorption isotherms for modifications 10:25 and 10:50 follow the Freundlich equation with R² values of 0.9981 and 0.9803, respectively, while modification 10:75 follows the Langmuir equation with an R² value of 0.9913. The adsorption capacity of modified candlenut shell-activated carbon with Cremophor RH 40 is 0.0359 mmol/g.

Keywords: Paracetamol, Candlenut shell, Cremophor RH 40, Adsorption kinetics, Adsorption Isotherm.

Abstrak

Parasetamol berpotensi mencemari perairan, sehingga diperlukan penanganan limbah untuk mengurangi pencemaran. Salah satunya dengan menggunakan metode adsorpsi dengan adsorben dari arang aktif. Dilakukannya penelitian ini untuk mengetahui karakteristik dari arang aktif, arang aktif yang dimodifikasi dengan cremophor RH 40, kinetika adsorpsi, dan isoterm adsorpsi. Metode yang dipakai yaitu metode batch. Berdasarkan analisis gugus fungsi ditemukan gugus O-H (Hidroksil) pada selulosa berperan penting dalam adsorpsi. Analisis morfologi arang aktif yang dimodifikasi memiliki pori lebih besar dari pada arang murni dan aktivasi. Untuk analisis kristalisasi terbentuk amorf. Mekanisme adsorpsi kinetika ketiga modifikasi mengikuti model persamaan pseudo orde dua (Ho) dengan nilai R² = 0,9998, 0,9999, dan 1. Sedangkan isoterm adsorpsi modifikasi 10:25 dan 10:50 mengikuti persamaan Freundlich nilai R² = 0,9981 dan 0,9803, modifikasi 10:75 mengikuti persamaan Langmuir dengan nilai R² = 0,9913. Kapasitas adsorpsi arang aktif tempurung kemiri termodifikasi cremophor RH 40 yaitu 0,0359 mmol/g.

Kata kunci: Parasetamol, Tempurung kemiri, Cremophor RH 40, Kinetika adsorpsi, Isoterm Adsorpsi.

PENDAHULUAN

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh berbagai faktor telah sangat mengancam perairan. Sebagian besar dari pencemaran air telah mengganggu kehidupan biota air serta manusia. Salah satu sumbernya adalah limbah farmasi, yang mencakup obat-obatan seperti

parasetamol. Produksi tahunan parasetamol diperkirakan mencapai 145.000 ton (Wardi, 2023). Oleh sebab itu, limbah obat perlu ditangani lebih dulu sebelum dibuang, sehingga tidak mengakibatkan dampak negatif pada lingkungan sekitarnya.

Salah satu solusi yang diusulkan untuk

mengatasinya adalah penggunaan arang aktif sebagai adsorben. Arang aktif, dikenal mempunyai luas permukaan yang besar dan kemampuan adsorpsi yang tinggi, yang dapat dibuat dari berbagai bahan organik, salah satunya tempurung kemiri. Tempurung kemiri, yang memiliki kandungan karbon tinggi dan nilai kalor cukup besar, dapat diolah menjadi arang aktif yang efektif (Dwijayanti, 2023). Namun, arang aktif tempurung kemiri cenderung bersifat hidrofobik, sehingga perlu dimodifikasi untuk meningkatkan daya serapnya (Wardani et al., 2022).

Modifikasi arang aktif dengan surfaktan seperti Cremophor RH 40, yang memiliki nilai Hydrophilic-Lipophilic Balance (HLB) tinggi, dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi. Surfaktan ini dapat meningkatkan hidrofilitas arang aktif, membuatnya lebih efektif dalam mengadsorpsi parasetamol dari perairan. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa modifikasi arang aktif dengan surfaktan dapat meningkatkan efisiensi adsorpsi secara signifikan. Dalam hal ini, Cremophor RH 40 diharapkan dapat meningkatkan adsorpsi dari arang aktif dari tempurung kemiri lebih baik dibandingkan surfaktan lain seperti tween 80 (Shah et al., 2020).

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengembangkan arang aktif dari tempurung kemiri yang dimodifikasi dengan Cremophor RH 40 sebagai solusi inovatif untuk mengadsorpsi limbah parasetamol. Tujuan spesifiknya untuk menentukan karakteristik dari arang aktif tempurung kemiri, mempelajari kinetika dan isoterm adsorpsi parasetamol oleh arang aktif tempurung kemiri yang termodifikasi cremophor RH 40, serta melepaskan kapasitas adsorpsinya dalam menghilangkan parasetamol dari perairan. Dengan itu, penelitian yang dilakukan diharapkan mampu memberikan kontribusi yang berarti dalam upaya mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah farmasi, serta memanfaatkan limbah tempurung kemiri secara lebih optimal. Berdasarkan uraian diatas akan dilakukan

modifikasi arang aktif tempurung kemiri menggunakan surfaktan cremophor RH 40 dengan metode batch, hal tersebut mendorong peneliti untuk melakukan penelitian pengembangan baru yaitu mengenai modifikasi arang aktif tempurung kemiri dengan cremophor RH 40 sebagai adsorben parasetamol.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Pada penelitian ini bahan yang dipakai yaitu: Tempurung kemiri diperoleh di Kampung Cibungur, Desa Karya Mukti, Kecamatan Cibatu, Kabupaten Garut. Asam fosfat 15% (H_3PO_4), *Aquadest* (H_2O), Larutan iodin, Natrium tiosulfat ($Na_2S_2O_3$), Cremophor RH 40, Parasetamol *Pharmaceutical Grade*, Etanol diperoleh dari Laboratorium Terpadu UBTH.

Alat

Pada penelitian ini alat yang dipakai yaitu: Spektrofotometri UV-Vis (*Genesys*), *Scanning Electron Microscop* (SEM) (*Hitachi TM 3000*), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FT-IR) (*Thermo Scientific Nicolet Summit*).

Metode

Karbonisasi Tempurung kemiri

Pembuatan karbon dimulai dengan membersihkan tempurung kemiri dengan dicuci, kemudian dijemur selama 5 hari dan di oven pada temperatur $100^{\circ}C$ dengan waktu 6 jam (Putri et al., 2023). Tempurung kemiri yang sudah dioven ditimbang kemudian dikarbonasi menggunakan tungku pembakaran pada suhu $300 - 450^{\circ}C$, lubang untuk memasukan dan mengeluarkan arang ditutup. Untuk mencegah proses pembakaran berhenti, sesekali 5 – 10 menit lubang untuk mengeluarkan arang dibuka. Dilakukan sampai didapat arang dari tempurung kemiri. Arang dari tempurung kemiri lalu digerus sampai berbentuk serbuk dan kemudian diayak dengan ayakan ukuran mesh 80. Arang dikarakterisasi memakai FTIR, SEM, dan XRD (Rahayu et al., 2021).

Aktivitas Arang Aktif dari Tempurung Kemiri

50 gram arang aktif direndam dalam larutan 250 mL H_3PO_4 15% dalam waktu 24 jam. Lalu arang disaring dan dibilas dengan *aquades* hingga mencapai pH netral. Hasil penyaringan kemudian keringkan memakai oven pada temperatur $100^\circ C$ dalam waktu 1 jam, dan didiamkan dalam desikator. Arang aktif yang dihasilkan selanjutnya dikarakterisasi memakai teknik FTIR, SEM, dan XRD (Wardani et al., 2022).

Penetapan Kadar Air

1 gram arang aktif disimpan ke dalam botol timbang yang sudah diketahui bobotnya dalam keadaan kering. Arang aktif tersebut kemudian keringkan dalam oven pada suhu $105^\circ C$ dalam waktu 1 jam sampai bobotnya stabil, lalu didiamkan dalam desikator selama

15 menit sebelum ditimbang ulang. Proses pengeringan dan penimbangan diulang setiap 1 jam sampai didapat bobot yang stabil.

Penetapan Kadar Abu

Sampel arang aktif dari tempurung kemiri 2 gram disimpan ke dalam krus yang sudah dikeringkan dalam oven dan bobot keringnya telah dicatat. Kemudian, krus yang berisi sampel arang aktif dipanaskan dalam tanur pada temperatur $650^\circ C$ dalam waktu 3 jam. Sesudah proses pemanasan selesai, krus didiamkan dalam desikator lalu ditimbang. Proses penimbangan dilakukan setiap 1 jam sekali hingga diperoleh bobot yang stabil

Penetapan Daya Serap Iodine

Sampel arang aktif 0,5 gram dimasukkan ke dalam erlenmeyer, lalu dicampur dengan larutan iodin 0,1 N dan dikocok dalam waktu 15 menit sebelum disaring filtrat sebanyak 10 mL diambil dan diencerkan dengan 30 mL

aquades, lalu dititrasikan dengan larutan natrium tiosulfat 0,1 N sampai terbentuk kuning muda kemudian ditambahkan larutan amilum 1% beberapa tetes sebagai indikator. Proses titrasi dilanjutkan sampai warna biru tua pada larutan hilang. Prosedur yang sama dilakukan untuk blanko sebagai kontrol.

Modifikasi Arang Aktif dari Tempurung Kemiri

100 mL cremophor RH 40 kental ditambahkan ke 10 gram arang aktif. Selanjutnya campuran dikocok memakai shaker dengan suhu ruang dalam waktu 8 jam dengan laju 120 rpm. Setelah itu, campuran tadi disaring memakai kertas saring, lalu dibilas dengan *aquades* dan keringkan dalam oven pada temperatur $120^\circ C$ dengan waktu 4 jam. Modifikasi arang aktif ini kemudian dikarakterisasi memakai teknik FTIR, SEM, dan XRD. Variasi modifikasi dilakukan dengan perbandingan 75 mL cremophor RH 40 : 10 gram arang aktif, 50 mL cremophor RH 40 : 10 gram arang aktif, 25 mL cremophor RH 40 : 10 gram arang aktif (Wardani et al., 2022).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji kualitas arang aktif dari tempurung kemiri dilakukan sesuai dengan SNI 06-3730-1995 untuk menilai kualitasnya, meliputi pengukuran kadar air, kadar abu, dan daya serap iodin. Dalam penelitian ini, arang dari tempurung kemiri diaktivasi memakai larutan H_3PO_4 15%. Proses dari aktivasi dilakukan untuk memperbesar pori-pori karbon dengan cara mengadsorpsi molekul-molekul dari zat pengaktif dan melarutkan pengotor seperti mineral anorganik yang ada di pori-pori karbon. Parameter arang aktif selanjutnya dibandingkan dengan standar SNI 06-3730-1995 dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 1 Data hasil dari karakteristik arang aktif

No	Pengujian	SNI 06-3730-1995	Hasil Penelitian
1	Kadar air	Max 15%	1,0%
2	Kadar abu	Max 10%	0,13%
3	Daya serap iodine	Min 750 mg/g	985 mg/g

Penetapan Kadar Air

Uji kadar air dilakukan untuk mengukur berapa banyak air yang menguap, agar tidak menyumbat pori-pori dari arang aktif. Jika jumlah kadar air sedikit maka pori-pori menjadi terbuka dan jika sebaliknya maka air akan menyumbat pori-pori (Yuliawati & Rizaldi, 2023). Kandungan air yang besar dapat menurunkan kualitas arang aktif karena mengurangi kemampuannya menyerap gas atau cairan. Kadar air berlebih memungkinkan lebih banyak molekul lain masuk ke dalam arang aktif, sehingga mengurangi efektivitasnya.

Pada pembuatan arang aktif tempurung kemiri dengan menggunakan aktivator asam posfat 15%, berdasarkan hasil penetapan kadar air yang diperoleh dari arang aktif tempurung kemiri yaitu 1,0% yang menunjukkan kualitas kadar air arang aktif tempurung kemiri memenuhi parameter kualitas menurut SNI 06-3730-1995 yaitu max 15%.

Penetapan Kadar Abu

Selain dari kadar air, kadar abu juga sangat mempengaruhi kualitas dari arang aktif. Kadar abu sendiri yaitu sisa dari mineral yang masih tertinggal sewaktu karbonisasi, karena bahan alam bahan dasarnya arang aktif bukan hanya memiliki kandungan karbon saja tetapi terdapat kandungan mineral, yang akan hilang mineralnya sewaktu melakukan proses karbonisasi dan aktivasi (Erawati & Helmy, 2018).

Arang aktif dibentuk oleh lapisan-lapisan bertumpuk yang membentuk pori. Pada pori karbon, umumnya ada pengotor berupa mineral anorganik dan oksida logam yang dapat menutupi pori-pori tersebut (Nitsae et al., 2020). Pada proses aktivasi, pengotor akan menguap bersamaan dengan pori-pori yang membesar menyebabkan luas permukaan arang aktif bertambah, yang pada gilirannya meningkatkan kualitasnya. Kadar abu yang memenuhi standar kualitas arang aktif adalah maksimal 10% menurut SNI 06-3730-1995 (Yuliawati & Rizaldi, 2023).

Pada hasil penelitian didapat kadar abu yaitu 0,13%, yang berarti memenuhi parameter

kualitas arang aktif sesuai dengan SNI 06-3730-1995, karena lebih rendah dari 10%. Ini memperlihatkan bahwa arang aktif yang dihasilkan memiliki kualitas kadar abu yang baik.

Penetapan Daya Serap Iodine

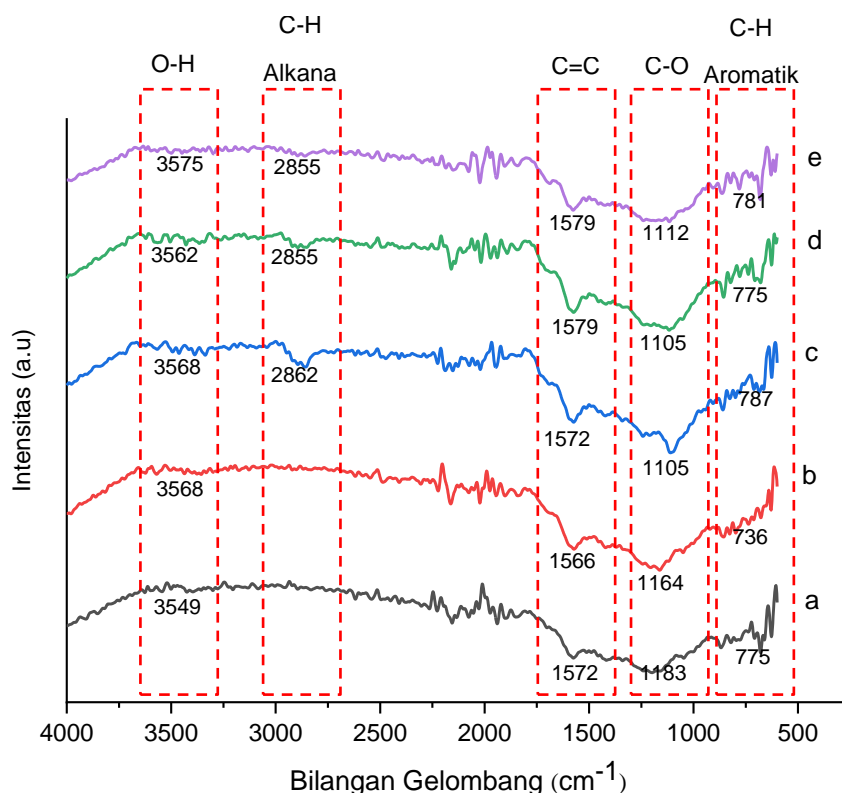
Uji daya serap iodine dilakukan untuk mengevaluasi kapasitas dari arang aktif dalam menyerap suatu larutan berwarna (Andriansyah, 2023). Daya serap iodine juga menjadi salah satu kriteria penting untuk menilai potensi arang aktif dalam menyerap partikel dengan ukuran molekul yang sangat kecil yang kurang dari 1 nm (Putri et al., 2023). Proses pengukuran daya serap iodine memakai iodium sebagai adsorbat yang akan diserap oleh arang aktif. Potensi adsorpsi arang aktif terhadap iodine berkorelasi langsung dengan luas permukaannya. Semakin tinggi nilai daya serap iodine, semakin besar potensi arang aktif dalam mengadsorpsi zat terlarut (Andriansyah, 2023). Analisis dilakukan dengan metode titrasi iodometri untuk menentukan jumlah iodine yang diserap oleh arang aktif, yang kemudian dihitung sebagai daya serapnya dalam satuan mg/gram (Sahara et al., 2019). Kemampuan reaktif arang aktif dalam mengadsorpsi substrat dapat dilihat dari nilai daya adsorpsi, yang tercermin dalam angka iodine. Semakin tinggi nilai angka iodine, semakin besar potensi arang aktif dalam mengadsorpsi (Rahman et al., 2020). Penambahan larutan iodine bertindak sebagai adsorbat yang akan diserap oleh arang aktif sebagai adsorben. Penurunan konsentrasi larutan iodine menunjukkan keberhasilan proses adsorpsi oleh arang aktif. Pengukuran konsentrasi iodine yang tersisa dapat dilakukan dengan menitrasi larutan menggunakan larutan natrium tiosulfat 0,1 N dengan indikator amilum (Pratiwi et al., 2022). Peningkatan nilai angka iodine terjadi karena pengeluaran pengotor dari permukaan arang aktif akibat kenaikan suhu. Pengotor yang semula menutupi pori-pori karbon akan terlepas, memperluas area permukaan dari arang aktif. Semakin besar area permukaan dari arang aktif, semakin tinggi kapasitasnya

dalam mengadsorpsi zat terlarut (Pratiwi et al., 2022). Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh nilai daya serap iodin sebesar 985 mg/g, yang memperlihatkan bahwa kualitas arang aktif memenuhi parameter SNI 06-3730-1995 yang minimal 750 mg/g.

Gugus Fungsi pada Adsorben

Tujuan dilakukannya analisis gugus fungsi untuk membandingkan gugus aktif pada arang murni tempurung kemiri, arang aktif tempurung kemiri, arang aktif termodifikasi cremophor RH 40 10:25, 10:50 dan 10:75 dengan

menggunakan FTIR. Tempurung kemiri mengandung senyawa organik dalam bentuk lignin, kadar holoselulosa (selulosa dan hemiselulosa) sebagai sumber karbonnya (Eso et al., 2021). Gugus hidroksil pada selulosa memainkan peran penting dalam proses adsorpsi oleh tempurung kemiri. Pada Gambar 1 terlihat spektra FTIR dari kelima senyawa mirip satu sama lain, meskipun ada beberapa puncak yang mengalami sedikit pergeseran. Berikut ini adalah hasil dari analisis FTIR pada



Gambar 1 Hasil analisis FTIR (a) Arang murni, (b) arang aktif, (c) Arang aktif modifikasi 10:25, (d) Arang aktif modifikasi 10:50, (e) Arang aktif modifikasi 10:75

Pada hasil karakteristik FTIR menunjukkan bahwa arang, arang aktif, arang aktif modifikasi 10:25, arang aktif modifikasi 10:50 dan arang aktif modifikasi 10:75 mempunyai bilangan gelombang yang agak berbeda, namun memiliki gugus fungsi yang identik seperti C-O, C=C, C-H, dan O-H. Gugus fungsi O-H (hidroksil) mempunyai ikatan hidrogen yang kuat seperti pada alkohol. Gugus fungsi C=C meningkatkan kadar arang, sementara gugus fungsi C-H aromatik dan C-H menyebabkan

daya penyerapannya rendah. Gugus fungsi C-O dan O-H menunjukkan bahwa arang, arang aktif, dan arang aktif termodifikasi dengan cremophor RH 40 bersifat polar. Beberapa di antaranya mampu membersihkan air (Mendame et al., 2021). Analisis yang telah dilakukan menggunakan FTIR terhadap kelima senyawa pada gugus fungsi O-H menunjukkan terdapat perubahan bentuk spektra, pergeseran dan pengurangan intensitas setelah proses aktivasi dan

modifikasi 10:25, 10:50 dan 10:75. Gugus fungsi O-H diidentifikasi pada bilangan gelombang 3549 cm^{-1} yang muncul pada arang tempurung kemiri. Namun setelah diaktivasi dan modifikasi mengalami pergeseran gelombang seiring dengan perbedaan konsentrasi (Eso et al., 2021), untuk aktivasi menggunakan asam fosfat 15% dimana memiliki bilangan gelombang gugus fungsi O-H yang sama seperti arang aktif modifikasi 10:25 yaitu 3568 cm^{-1} menuju frekuensi yang lebih tinggi, untuk arang aktif modifikasi 10:50 dan 10:75 juga memiliki bilangan gelombang cenderung meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi yang digunakan. Arang aktif yang diaktivasi menggunakan asam fosfat 15% memiliki gugus O-H dari senyawa asam fosfat, serta gugus O-H yang terbentuk dari uap air dan permukaan arang aktif. Cremophor RH 40 yang mengandung asam fosfat juga mempunyai gugus O-H (Mendame et al., 2021).

Pada bilangan gelombang 1572 cm^{-1} yang teridentifikasi sebagai gugus fungsi C=C (aromatik) yang muncul pada arang tempurung kemiri dan arang aktif modifikasi 10:25. Sedangkan arang aktif modifikasi 10:50 dan 10:75 memiliki bilangan gelombang 1579 cm^{-1} dan arang aktif memiliki bilangan gelombang 1566 cm^{-1} . Gugus fungsi C=C dari kelima senyawa memiliki puncak yang mirip namun memiliki bilangan gelombang yang sedikit berbeda dan terjadi pergeseran puncak karena disebabkan semakin kecil ukuran partikel pita serapan akan bergeser ke bilangan gelombang yang lebih besar. Gugus fungsi C-O teridentifikasi dengan puncak pada serapan bilangan gelombang 1183, 1164, 1105, 1105 dan 1112 cm^{-1} . Adanya pergeseran puncak sama seperti yang disebutkan sebelumnya yang disebabkan semakin kecil ukuran partikel pita serapan akan bergeser ke bilangan gelombang yang lebih besar. Gugus fungsi C-O dan O-H bersifat polar, O-H sendiri terdapat pada senyawa asam fosfat, cremophor RH 40 dan terbentuk dari uap air dan permukaan arang aktif yang sebelumnya sudah disebutkan (Eso et al., 2021).

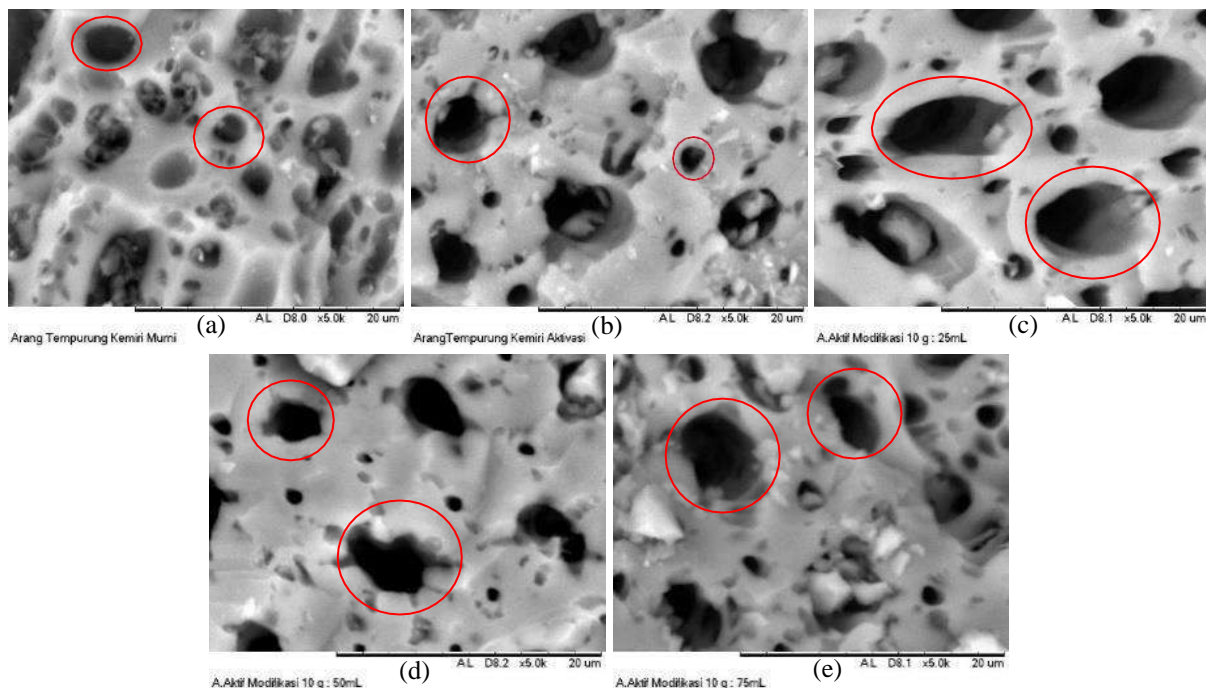
Gugus fungsi C-H senyawa alkana ada pada serapan bilangan gelombang 2862 dan 2855 cm^{-1} yang hanya terdapat pada arang aktif hasil modifikasi saja sedangkan arang sebelum diaktivasi dan arang aktif puncak memiliki serapan yang lemah tidak seperti arang aktif modifikasi yang terlihat jelas puncaknya. Hal tersebut dikarenakan gugus hidrokarbon panjang yang telah terhidrogenasi mengandung rantai alifatik yang memiliki gugus C-H (alkana). Dengan demikian, cremophor RH 40 memang mengandung gugus C-H (alkana) sebagai bagian dari rantai hidrokarbon panjang yang telah terhidrogenasi. Dan yang terakhir gugus fungsi C-H (aromatik) diidentifikasi dengan puncak bilangan gelombang 775, 736, 787, 775 dan 781 cm^{-1} . Menunjukkan terjadinya perubahan bentuk, pergeseran, pengurangan intensitas, dan munculnya puncak baru pada gugus fungsi arang aktif dari tempurung kemiri yang dihasilkan, pita serapan pada rentang 3200-3600 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan gugus fungsi O-H. Pita serapan pada rentang 1500-1600 cm^{-1} memperlihatkan keberadaan gugus fungsi C=C. Pita serapan pada rentang 1050-1300 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan gugus fungsi C-O. Pita serapan pada rentang 2850-2970 cm^{-1} menunjukkan keberadaan gugus fungsi C-H senyawa alkana. Dan pita serapan pada rentang 675-995 cm^{-1} mengindikasikan keberadaan gugus fungsi C-H (aromatik). Perubahan ini mencerminkan modifikasi struktur dan komposisi arang aktif dari tempurung kemiri (Mendame et al., 2021). Setelah melalui proses aktivasi dan modifikasi dengan cremophor RH 40, gugus fungsi pada struktur arang tempurung kemiri mengalami perubahan. Gugus fungsi seperti O-H, C=C, C-H, dan C-O menunjukkan pergeseran, perubahan intensitas, dan munculnya puncak baru. Modifikasi ini meningkatkan polaritas dan kapasitas adsorpsi arang aktif, terutama dalam interaksi dengan senyawa organik dan air. Perubahan pada gugus-gugus tersebut menguatkan indikasi bahwa arang aktif yang dimodifikasi memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik.

Morfologi Permukaan Adsorben

Tujuan dari analisis menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) pada permukaan arang aktif dari tempurung kemiri adalah untuk mempelajari morfologi arang sebelum diaktivasi, setelah diaktivasi, dan setelah dimodifikasi. Analisis dilakukan dengan menggunakan SEM pada pembesaran objek 5000 kali.

Hasil dari karakterisasi morfologi memakai

Scanning Electron Microscopy (SEM) menunjukkan gambaran morfologi permukaan arang aktif tempurung kemiri, arang aktif tempurung kemiri, dan arang aktif yang dimodifikasi dengan perbandingan 10:25, 10:50, dan 10:75. Gambar 2 memperlihatkan morfologi permukaan arang aktif dari tempurung kemiri. Hasil data analisis SEM disajikan pada **Gambar 2**



Gambar 2 Hasil karakteristik SEM pada pembesaran 5000 kali (a) arang murni, (b) arang aktif, (c) arang aktif modifikasi 10:25, (d) arang aktif modifikasi 10:50, (e) arang aktif modifikasi 10:75

Berdasarkan hasil penelitian, gambar 2 (a) menunjukkan morfologi dari permukaan arang aktif dari tempurung kemiri sebelum diaktivasi, dengan terlihatnya pori-pori yang mulai terbentuk tetapi masih terdapat penyumbatan pada beberapa pori, sehingga luas permukaan pori belum optimal. Untuk meningkatkan luas permukaan pori, dilakukan aktivasi menggunakan larutan asam fosfat 15%, yang membantu menghilangkan pengotor dari permukaan karbon setelah proses karbonisasi. Gambar 2 (b) menunjukkan arang tempurung kemiri yang telah diaktivasi, dengan terlihatnya penggabungan pori yang lebih lebar dibandingkan dengan arang sebelum

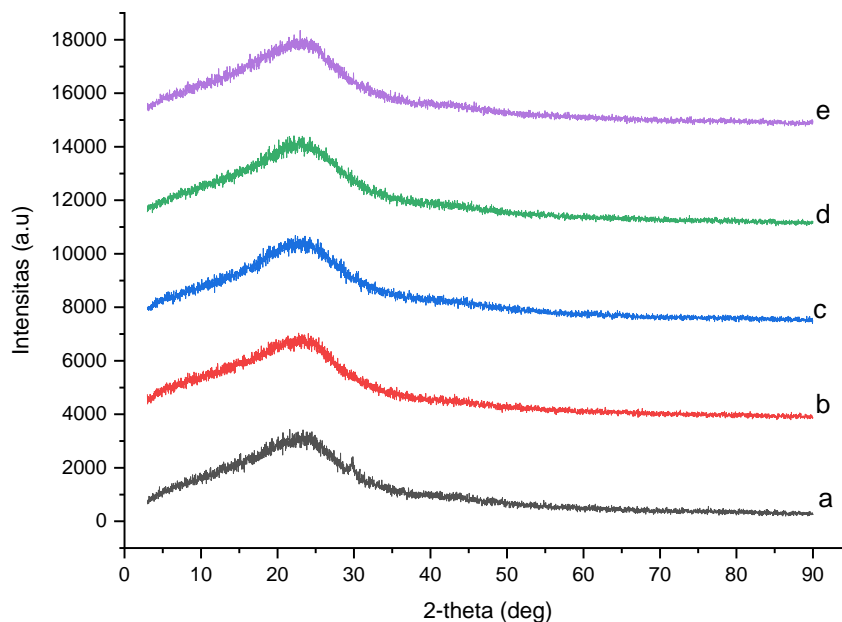
diaktivasi.

Selanjutnya, gambar 2 (c) menampilkan arang aktif hasil modifikasi dengan perbandingan 10:25, yang menunjukkan pori yang lebih besar terbentuk dibandingkan dengan arang setelah diaktivasi, dengan bentuk permukaan pori yang terbuka dan juga ukuran pori yang lebih besar dari yang lain. Namun, pada gambar 2 (d), arang aktif modifikasi 10:50 menunjukkan penurunan luas permukaan pori karena adanya surfaktan cremophor RH 40 atau karena perbandingan yang kurang tepat, yang menyebabkan agen aktivasi terjebak dalam pori karbon dan mengalami kerusakan,

sehingga luas permukaan karbon sedikit mengecil. Terakhir, gambar 2 (e) menunjukkan arang aktif modifikasi 10:75, yang menampilkan ukuran pori hampir sama dengan arang aktif modifikasi 10 : 25 (Eso et al., 2021).

Kristalinitas Adsorben

Pada analisis difraksi sinar X, dilakukan memakai X-ray Diffraction (XRD) dengan tujuan untuk mengidentifikasi tingkat kristalinitas dari arang tempurung kemiri, arang aktif tempurung kemiri, dan arang aktif yang dimodifikasi dengan cremophor RH 40 dengan variasi konsentrasi 10:25, 10:50, dan 10:75. Hasil analisis disajikan pada **Gambar 3**



Gambar 3 Hasil karakteristik XRD (a) Arang, (b) arang aktif, (c) Arang aktif modifikasi 10:25, (d) Arang aktif modifikasi 10:50, (e) Arang aktif modifikasi 10:75

Berdasarkan hasil difraktogram *X-ray Diffraction* (XRD) menunjukkan bahwa arang, arang aktif, arang aktif modifikasi 10:25, 10:50 dan 10:75 terlihat bahwa pola difraksi memperlihatkan struktur arang yang cenderung amorf diindikasikan dengan puncak difraksi melebar dan lemah. Pada arang yang sudah dilakukan aktivasi dengan asam fosfat 15% dan dilakukan modifikasi dengan cremophor RH 40 tidak terbentuk fase kristal (Putri et al., 2023). Puncak-puncak karbon yang diperoleh memiliki struktur amorf, dengan ditandai ketidakteraturan puncak-puncak tersebut. Tinggi atau rendahnya puncak-puncak yang terlihat dipengaruhi oleh proses aktivasi, yang mengubah pelat heksagonal dari kondisi teratur (kristalin) menjadi tidak teratur (amorf) (Sandi & Astuti, 2014).

Panjang Gelombang Parasetamol

Panjang gelombang maksimum parasetamol, dilakukan memakai Spektrofotometri UV-Vis pada rentang panjang gelombang 200-400 nm. Larutan parasetamol memiliki konsentrasi 400 ppm, yang menghasilkan panjang gelombang maksimum pada 248 nm. Bertujuan untuk mengetahui pada rentang berapa panjang gelombang serapan parasetamol paling optimal yang ditandai dengan puncak tertinggi (Rahayu et al., 2021).

Kurva Baku Standar

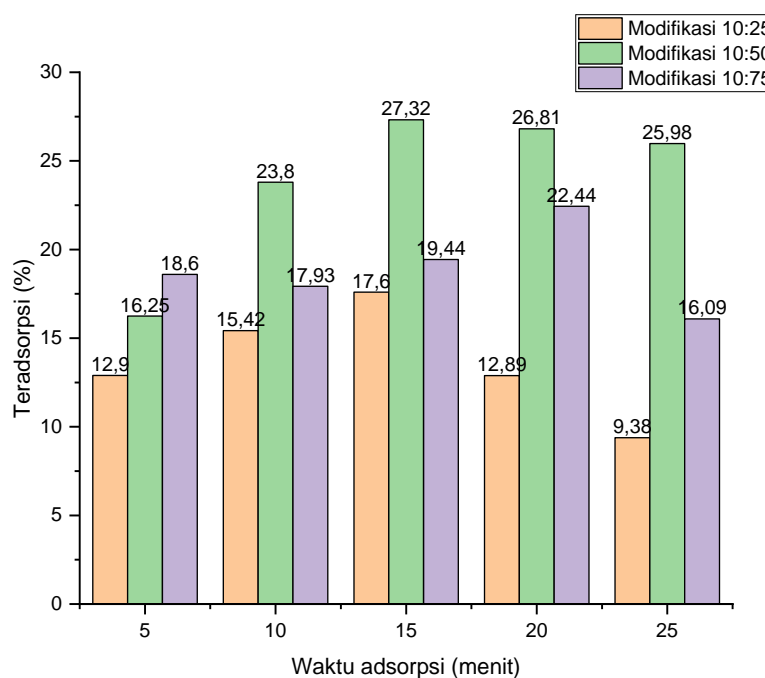
Pada penetapan kadar parasetamol sesudah diadsorpsi oleh adsorben dapat ditentukan dengan menggunakan kurva baku standar. Sampel diukur adsorbansinya pada panjang gelombang 248 nm dan dihitung kadarnya

melalui persamaan regresi linear yang dihasilkan. Parasetamol dapat menyerap radiasi pada panjang gelombang di daerah ultraviolet, khususnya pada panjang gelombang 248 nm. Hasil analisis menunjukkan persamaan regresi linear adalah $y = 0,768x + 0,0648$ dengan koefisien relasi $R^2 = 0,9994$. Koefisien determinasi yang mendekati 1 menunjukkan bahwa hubungan antara variabel-variabel tersebut dapat

dijelaskan secara linear dengan baik.

Kinetika Adsorpsi

Pengaruh kinetika adsorpsi atau waktu kontak yang dibutuhkan oleh arang aktif yang dimodifikasi cremophor RH 40 dengan perbandingan 10:25, 10:50 dan 10:75 untuk berinteraksi dengan parasetamol sebagai adsorbatnya. Dapat dilihat pada **Gambar 4**



Gambar 4 Pola adsorpsi parasetamol oleh arang aktif termodifikasi cremophor RH 40

Pada waktu kontak dibutuhkan guna melihat ketercapaian kondisi kesetimbangan adsorpsi hasil adsorpsi pada beberapa variasi waktu kontak. Menurut gambar 4 dengan bertambahnya waktu maka parasetamol yang terserap semakin meningkat. Tetapi pada waktu kontak 25 menit arang aktif modifikasi 10:50 dan 10:75 parasetamol yang terserap menurun menjadi 25,98% dan 16,09%, sedangkan arang aktif modifikasi 10:25 pada waktu kontak 20 dan 25 menit parasetamol yang terserap menurun menjadi 12,89% dan 9,38%. Penurunan persentase adsorpsi terjadi karena adsorben mengalami penurunan di atas konsentrasi optimum yang

penyebabnya dikarenakan sudah jenuhnya lapisan luar arang aktif. Akibatnya, adsorben tidak lagi mampu menyerap dengan efektif (Wijayanti & Kurniawati, 2019). Maka diperoleh kapasitas adsorpsi pada arang aktif modifikasi 10:25 sebesar 0,0139 mmol/gram pada menit ke 15 dan efisiensi adsorpsi sebesar 17,60%, arang aktif modifikasi 10:50 sebesar 0,0335 mmol/g pada menit ke 15 dan efisiensi adsorpsi mencapai 27,32%, dan arang aktif modifikasi 75 sebesar 0,0359 mmol/g pada menit ke 20 dan efisiensi adsorpsi sebesar 22,44%. Dimana dari ketiga modifikasi tersebut mengikuti model kinetika Pseudo Orde Dua (Ho). Hasil parameter dari ketiga persamaan

model kinetika adsorpsi tersebut disajikan

dalam **Tabel 2**

Tabel 2 Hasil parameter dari kinetika adsorpsi

Model kinetika	Adsorben	Parameter	Nilai
Langmuir – Hinshelwood	Arang aktif modifikasi 10 : 25	R^2 k qe	0,5203 -0,0043 g/mg.min 1,3734 mg/g = $9,0953 \times 10^{-3}$ mmol/g
Ho	Arang aktif modifikasi 10 : 25	R^2 k qe	0,9998 0,0430 g/mg.min 4,8169 = 0,0139 mmol/g
Santosa	Arang aktif modifikasi 10 : 25	R^2 k K	0,1653 -0,0032 g/mg.min -0,2936 mg/g
Langmuir – Hinshelwood	Arang aktif modifikasi 10 : 50	R^2 k qe	0,8153 -0,0109 g/mg.min 1,4441 mg/g = $9,5635 \times 10^{-3}$
Ho	Arang aktif modifikasi 10 : 50	R^2 k qe	0,9999 0,0389 g/mg.min 5,0684 mg/g = 0,0335 mmol/g
Santosa	Arang aktif modifikasi 10 : 50	R^2 k K	0,6653 -0,0105 g/mg.min -0,3128 mg/g
Langmuir – Hinshelwood	Arang aktif modifikasi 10 : 75	R^2 k qe	0,3178 0,0014 g/mg.min 1,4410 mg/g = $9,5430 \times 10^{-3}$
Ho	Arang aktif modifikasi 10 : 75	R^2 k qe	1 0,0412 g/mg.min 4,9212 mg/g = 0,0359 mmol/g
Santosa	Arang aktif modifikasi 10 : 75	R^2 k K	0,3399 -0,0051 g/mg.min -0,2967 mg/g

Berdasarkan data pada tabel 2 dapat dilihat bahwa ketiga modifikasi mengikuti model kinetika adsorpsi pseudo orde dua (Ho) karena memperoleh nilai koefisien determinasi R^2 paling besar yaitu 0,9998,

0,9999 dan 1, jika dibandingkan dengan model kinetika Santosa dan Langmuir-Hinshelwood. Model kinetika persamaan pseudo orde kedua menunjukkan bahwa terjadi proses kemisorpsi dalam reaksi, di mana adsorpsi yang terjadi adalah reaksi yang tidak dapat dibalik (irreversible) yang melibatkan suatu ikatan kimia (kimisorpsi) antara adsorben dengan adsorbat. Proses ini membentuk lapisan monolayer di permukaan adsorben

(Anugrahwati et al., 2021). Proses adsorpsi larutan parasetamol model persamaan kinetika pseudo orde dua yang dikembangkan oleh Ho dengan konstanta laju adsorpsi pada ketiga modifikasi sebesar 0,0430 g/mg.min, 0,0389 g/mg.min dan 0,0412 g/mg.min. Hal tersebut memperlihatkan bahwa laju adsorpsi larutan parasetamol dipengaruhi oleh konsentrasi adsorbat dan sisi aktif pada adsorben (Kurniati et al., 2019).

Isoterm Adsorpsi

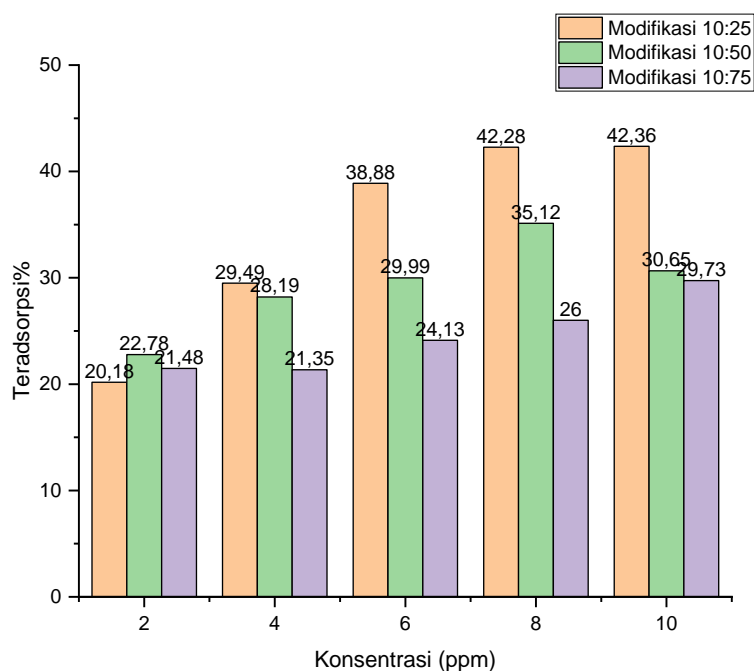
Tujuan dilakukannya penentuan konsentrasi

optimum agar dapat memahami besaran konsentrasi adsorbat optimum yang bisa diadsorpsi oleh adsorben. Pada model persamaan isoterm Langmuir berfungsi dalam menetapkan kapasitas adsorpsi maksimum yang terjadi pada monolayer di permukaan padatan adsorben. Ini karena model ini mengasumsikan adanya sejumlah tetap situs aktif yang tersedia untuk adsorpsi.

Sementara itu, pada isoterm Freundlich, bahwa energi permukaan adalah heterogen dan dapat dipakai dalam menentukan kapasitas penyerapan maksimum yang terjadi pada multilayer atau lapisan- lapisan yang

lebih dari satu.

Jadi, kedua model ini digunakan tergantung pada kondisi permukaan adsorben dan sifat adsorpsi yang diinginkan, apakah lebih cenderung terjadi pada satu lapisan (monolayer) atau lebih dari satu lapisan (multilayer) (Anugrahwati et al., 2021). Ketiga pengaruh konsentrasi arang aktif modifikasi cremophor RH 40 dengan perbandingan 10:25, 10:50 dan 10:75 dapat dilihat pada gambar 5 yang menampilkan hasil variasi konsentrasi yaitu 2, 4, 6, 8 dan 10 ppm terhadap adsorpsi parasetamol.



Gambar 5 Hasil adsorpsi parasetamol dengan variasi konsentrasi

Pada gambar 5 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi yang dikontakan dengan adsorben dari ketiga modifikasi, maka jumlah terjerap juga semakin tinggi, dengan bertambahnya konsentrasi parasetamol mulai dari 2 ppm hingga 10 ppm. Hal tersebut dikarenakan banyaknya molekul parasetamol yang dapat berinteraksi dengan arang aktif tempurung kemiri termodifikasi cremophor RH 40 sehingga kapasitas adsorpsi terus meningkat. Semakin tinggi konsentrasi,

jumlah molekul yang berinteraksi pada arang aktif akan meningkat, maka proses adsorpsi juga meningkat. Tetapi pada modifikasi 10:50 konsentrasi yang lebih dari 8 ppm mengalami penurunan yang artinya adsorben sudah mengalami kejenuhan oleh adsorbat sehingga arang aktif tidak mampu menyerap parasetamol lebih banyak. Maka konsentrasi maksimum yang dicapai oleh modifikasi 10:25 dan 10:75 pada konsentrasi 10 ppm sebesar 21,1849 mg/g atau 0,1402 mmol/g dan 0,8467

mg/g atau 0,0056 mmol/g. sedangkan pada konsentrasi maksimum yang dicapai oleh modifikasi 10:50 pada konsentrasi 8 ppm sebesar 14,0494 mg/g atau 0,0930 mmol/g. Pengaruh konsentrasi modifikasi 10:25 dan 10:50 mengikuti model persamaan isoterm

adsorpsi freundlich sedangkan modifikasi 10:75 mengikuti model persamaan isoterm adsorpsi Langmuir. Hasil parameter dari model persamaan isoterm Freundlich dan Langmuir dapat disajikan pada **Tabel 3**

Tabel 3 Hasil parameter dari isoterm adsorpsi

Model kinetika	Adsorben	Parameter	Nilai
Langmuir	g aktif modifikasi 10 : 25	R ² Kl Qm	0,9371 17,6991 L/mg -4,1254 mg/g = -0,0273 mmol/g
Freundlich	g aktif modifikasi 10 : 25	R ² K N	0,9881 0,8584 L/mg 0,5255 mg/g = 0,0034 mmol/g
Langmuir	aktif modifikasi 10:50	R ² Kl qm	0,7298 66,6666 L/mg -3,2733 mg/g = -0,0216 mmol/g
Freundlich	aktif modifikasi 10:50	R ² Kn	0,9803 1,3421 L/mg 0,7523 mg/g = 0,0049 mmol/g
Langmuir	aktif modifikasi 10:75	R ² Kl qm	0,9913 75,1879 L/mg -3,4129 mg/g = -0,0226 mmol/g
Freundlich	aktif modifikasi 10:75	R ² Kn	0,9844 1,1189 L/mg 0,7885 mg/g = 0,0052 mmol/g

Hasil tabel 3 mengenai hasil parameter model isoterm Freundlich dan Langmuir terlihat bahwa adsorpsi larutan parasetamol menggunakan arang aktif tempurung kemiri modifikasi 10:25 dan 10:50 lebih mengikuti model isoterm Freundlich dimana nilai R² = 0,9881 dan 0,9803 dibandingkan langmuir yang memiliki nilai R² = 0,9371 dan 0,7298. Pada model isoterm Freundlich modifikasi 10:25 konstanta kesetimbangan adsorpsi dan desorpsi (K) sebanyak 0,8584 L/mg dan

konstanta empiris (n) sebanyak 0,5255 mg/g atau 0,0034 mmol/g dan modifikasi 10:50 konstanta kesetimbangan adsorpsi dan desorpsi (K) sebanyak 1,3421 L/mg dan konstanta empiris (n) sebanyak 0,7523 mg/g atau 0,0049 mmol/g. Model persamaan Freundlich menjelaskan bahwa terdapat beberapa lapisan permukaan (multilayer) yang bersifat heterogen, dengan ikatan energi yang berbeda pada setiap sisinya (Wijayanti & Kurniawati, 2019). Isoterm adsorpsi

Freundlich terjadi melalui proses fisik, di mana penyerapan terutama terjadi pada permukaan arang aktif. Adsorpsi fisik ini ditimbulkan oleh gaya tarik-menarik Van der Waals yang lemah antara adsorbat dan permukaan adsorben, memungkinkan adsorbat untuk bergerak dari satu area permukaan ke area permukaan lain (Gova & Oktasari, 2019). Sedangkan pada modifikasi 10:75 lebih mengikuti model isoterm Langmuir dimana nilai $R^2 = 0,9913$ dibandingkan Freundlich yang memiliki nilai $R^2 = 0,9844$. Hal ini mengindikasikan bahwa mekanisme interaksi antara larutan parasetamol dengan permukaan arang aktif dari tempurung kemiri yang dimodifikasi dengan cremophor RH 40 cenderung bersifat kemisorpsi dan juga terjadi lapisan tunggal atau (monolayer). Lapisan ini lebih kuat dibandingkan dengan multi-layer (Wijayanti & Kurniawati, 2019).

Persamaan Langmuir q_m memperlihatkan kapasitas adsorpsi maksimum yang dapat diserap oleh adsorben, sedangkan K_L mengindikasikan energi adsorpsi. Nilai K_L positif menunjukkan bahwa reaksi tidak bersifat spontan, sementara nilai K_L negatif menunjukkan reaksi bersifat spontan. Pada adsorpsi ini, didapat kapasitas adsorpsi maksimum sebanyak $-3,4129$ mg/g atau $0,0052$ mmol/g, dengan nilai K_L sebanyak $75,1879$ L/mg, yang menunjukkan bahwa reaksi berlangsung tidak bersifat spontan dan juga kemungkinan memerlukan energi dalam terjadinya terjadi adsorpsi (Anugrahwati et al., 2021).

KESIMPULAN

Pada hasil penelitian yang diperoleh, karakteristik arang aktif tempurung kemiri menunjukkan kadar air, kadar abu, dan daya serap iodin memenuhi SNI 06-3730-1995 terkait arang aktif teknis. Pada analisis gugus fungsi memakai FTIR, Gugus O-H (hidroksil) pada selulosa berperan penting dalam proses adsorpsi oleh tempurung kemiri. Analisis SEM arang aktif tempurung kemiri sesudah aktivasi dan modifikasi memiliki pori-pori yang lebih terbuka dan analisis XRD terbentuk amorf. Pengujian kinetika adsorpsi arang aktif

terhadap parasetamol dari ketiga variasi arang aktif modifikasi 10 : 25, 10 : 50 dan 10 : 75 mengikuti model persamaan pseudo orde dua Ho. Isoterm adsorpsi modifikasi 10 : 25 dan 10 : 50 mengikuti model persamaan Freundlich dan modifikasi 10 : 75 mengikuti model persamaan Langmuir. Kapasitas adsorpsi arang aktif termodifikasi cremophor RH 40 yaitu $0,0359$ mmol/g.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis kepada Universitas Bakti Tunas Husada, serta pihak

DAFTAR PUSTAKA

- Andriansyah, R. (2023). Pembuatan Karbon Aktif Dari Limbah Pelepeh Kelapa Sawit ((Elaies Guineensis Jacq .) Sebagai Media Peyerapan Ion Logam Fe Air Sumur Menggunakan Aktivator Asam Fosfat (H 3 PO 4). *Jurnal Ristera (Jurnal Riset, Inovasi, Teknologi Dan Terapan)*, 1(2), 30–34.
- Anugrahwati, M., Indah Fajarwati, F., & Awalun Safitri, R. (2021). Adsorpsi Pb(II) dari Air dengan Karbon Aktif dari Kulit Salak Pondoh: Kinetika dan Isoterm Adsorpsi. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 6(2), 1–11. <https://doi.org/10.20885/ijcr.vol6.iss1.art1>
- Dwijayanti, E., Munadi, E., & Hasbi, H. (2023). Pengaruh Arang Aktif Tempurung Kemiri (Aleurites Moluccanus L . Willd) dengan Variasi Suhu terhadap Kualitas Minyak Jelantah. *Jurnal Kolaboratif Sains*, 6(9), 1207–1213. <https://doi.org/10.56338/jks.v6i9.4088>
- Erawati, E., & Helmy, E. R. (2018). Pembuatan Karbon Aktif dari Serbuk Gergaji Kayu Jati (Tectona grandis L.f.) (Suhu dan Waktu Karbonasi). *Urecol (University Research Colloquium)*, 105–112.
- Eso, R., Luvi, & Ririn. (2021). Efek Variasi Konsentrasi Zat Aktivator H₃PO₄ Terhadap Morfologi Permukaan dan Gugus Fungsi Karbon Aktif Cangkang Kemiri. *Gravitasi*, 20(1), 19–23. <https://doi.org/10.22487/gravitasi.v20i1.15519>

- Gova, M. A., & Oktasari, A. (2019). Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Adsorben Logam Berat Merkuri (Hg). *Prosiding Seminar Nasional Sains*.
- Kurniati, Y., Prastuti, O. P., & Septiani, E. L. (2019). Studi Kinetika Adsorpsi Metil Biru Menggunakan Karbon Aktif Limbah Kulit Pisang. *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan*, 3(1), 34–38. <https://doi.org/10.33795/jtkl.v3i1.87>
- Mendame, L. L., Silangen, P., & Rampengan, A. (2021). Perbandingan Karakterisasi Karbon Aktif Arang Tempurung Kelapa dan Arang Tempurung Kemiri Menggunakan Scanning Electron Microscopic dan Fourier Transform Infra Red. *Fisika Dan Terapan*, 2(2), 105–108.
- Nitsae, M., Lano, L. A., & Ledo, M. E. (2020). Pembuatan Arang Aktif dari Tempurung Siwalan (*Borassus flabellifer* L.) yang Diaktivasi dengan Kalium Hidroksida (KOH). *Biota: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Hayati*, 5(1), 8–15. <https://doi.org/10.24002/biota.v5i1.2948>
- Pratiwi, D., Islami, D., & Ningsih, I. F. (2022). Utilization of Pineapple Peel (*Ananas comosus*) as a Basic Ingredient of Activated Charcoal Pemanfaatan Kulit Nanas (*Ananas comosus*) Sebagai Bahan Dasar Arang Aktif. *Jurnal Proteksi Kesehatan*, 11(1), 35–40.
- Putri, A. R., Wardani, G. A., Fathurohman, M., & Hidayat, T. (2023). *Sintetis Nanoplatelet Berbahan Dasar Kulit Jengkol Aplikasinya Sebagai Adsorben Amoksisilin*. 3(September), 75–81.
- Rahayu, S., Vifta, R., & Susilo, J. (2021). Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Etanol Bunga Telang (*Clitoria Ternatea* L.) dari Kabupaten Lombok Utara dan Wonosobo Menggunakan Metode FRAP. *Generics: Journal of Research in Pharmacy*, 1(2), 1–9. <https://doi.org/10.14710/genres.v1i2.9836>
- Rahman, A., Aziz, R., Indrawati, A., & Usman, M. (2020). Pemanfaatan beberapa jenis arang aktif sebagai bahan adsorben logam berat cadmium (Cd) pada tanah sedimen drainase kota medan sebagai media tanam. *Jurnal Agroteknologi Dan Ilmu Pertanian*, 1(1), 42–54.
- Sahara, E., Permatasari, D. E., & Suarsa, I. W. (2019). Pembuatan dan Karakterisasi Arang Aktif dari Batang Limbah Tanman Gumitir dengan Aktivator ZnCl₂. *Jurnal Kimia*, 13(1), 95. <https://doi.org/10.24843/jchem.2019.v13.i01.p15>
- Sandi, A. P., & Astuti. (2014). Pengaruh Waktu Aktivasi menggunakan H₃PO₄ terhadap Struktur dan Ukuran Pori Karbon Berbasis Arang Tempurung Kemiri (*Aleurites moluccana*). *Jurnal Fisika Unand*, 3(2), 115–120.
- Shah, H., Jain, A., Laghate, G., & Prabhudesai, D. (2020). Pharmaceutical excipients. *Remington: The Science and Practice of Pharmacy*, 633–643. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820007-0.00032-5>
- Wardani, G. A., Ramdani, W. W., & Fathurohman, M. (2022). Arang aktif cangkang telur bebek termodifikasi tween 80 sebagai adsorben tetrasiklin hidroklorida. *Prosiding Seminar Nasional Diseminasi*, 2, 30–40.
- Wardi, E, S., Fendri, S, T, J., & Tanjung, L. (2023). Biosorpsi Senyawa Parasetamol yang Berpotensi dalam Penanganan Limbah Obat. *Jurnal Katalisator*, 8(1), 24–41.
- Wijayanti, I. E., & Kurniawati, E. A. (2019). Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Abu Gosok sebagai Adsorben. *EduChemia (Jurnal Kimia Dan Pendidikan)*, 4(2), 175. <https://doi.org/10.30870/educhemia.v4i2.6119>
- Yuliawati, Y., & Rizaldi, L. H. (2023). Sifat Mutu Arang Aktif Kayu Bidara (*Ziziphus Mauritiana*) Dengan Larutan Kimia Natrium Hidroksida Berdasarkan Variasi Suhu Aktivasi. *Food and Agro-Industry Journal*, 4(2), 1–10. <https://doi.org/10.36761/fagi.v4i2.3583>