

Adsorpsi Zat Warna Remazol Red menggunakan Nanokomposit Silika Aerogel-Karbon Aktif

Fania Faradila Yuniarizky¹, Nazriati^{1*}

¹ Jurusan Kimia, Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang, Indonesia.

email: nazriati.fmipa@um.ac.id

Article history

Received: 22nd February 2021

Received in revised form:

10th June 2021

Accepted: 13th December 2021

DOI:

10.17977/um0260v5i22021p025

Kata-kata kunci:

Adsorpsi,

Remazol red

Nanokomposit

Abstrak

Remazol red merupakan zat warna yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan, sehingga digunakan metode adsorpsi untuk mengurangi konsentrasi zat warna remazol red sebelum dibuang ke perairan dengan adsorben nanokomposit silika aerogel-karbon aktif. Nanokomposit silika aerogel-karbon aktif disintesis menggunakan metode sol-gel dan pengeringan pada tekanan ambient dengan bahan dasar abu bagasse. Keberhasilan sintesis dapat ditinjau dari hasil karakterisasi FT-IR, yang kemudian hasil sintesis diaplikasikan untuk adsorpsi remazol red dengan memvariasikan pH, waktu kontak, temperatur, dan konsentrasi, sehingga dapat diketahui kapasitas adsorpsinya. Kapasitas adsorpsi remazol red oleh nanokomposit silika aerogel-karbon aktif diperoleh pada waktu kontak optimum 80 menit, massa adsorben 0,01 gram dan konsentrasi remazol red 40 mg/L pada pH 2 yaitu 3,9375 mg/g. Kapasitas adsorpsi menurun seiring dengan bertambahnya pH dan temperatur serta meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi remazol red. Adsorpsi remazol red menggunakan nanokomposit silika aerogel-karbon aktif mengikuti model kinetika orde dua dan isoterm Freundlich. Termodinamika adsorpsi diperoleh nilai $\Delta G^\circ = -454,478 \text{ J/mol}$ (45°C), $\Delta H^\circ = -13659,902 \text{ J/mol}$, dan $\Delta S^\circ = -40,662 \text{ J/Kmol}$ yang menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara spontan, eksotermik, serta molekul remazol red yang terserap pada permukaan adsorben menjadi lebih teratur.

Abstract

Remazol red is a color substance that can cause environmental pollution, so adsorption methods are used to reduce the concentration of remazol red color substances before being dumped into the water with silica aerogel-activated carbon nanocomposite adsorbent. Silica aerogel-activated carbon nanocomposite are synthesized using sol-gel methods and drying at ambient pressure with the base material of bagasse ash. The success of synthesis can be reviewed from the results of FT-IR characterization, which then synthesis results are applied to red remazol adsorption by varying pH, contact time, temperature, and concentration, so that its adsorption capacity can be known. Adsorption capacity of remazol red by silica aerogel-activated carbon nanocomposite was obtained at optimum contact time of 80 minutes, adsorbent mass of 0.01 grams and remazol red concentration of 40 mg/L at pH 2 is 3.9375 mg/g. Adsorption capacity decreases as the pH and temperature increase and increases as the concentration of remazol red. Adsorption of remazol red using silica aerogel-activated carbon nanocomposite follows the two-order kinetic model and Freundlich isotherm. Adsorption thermodynamics obtained $\Delta G^\circ = -454,478 \text{ J/mol}$ (45°C), $\Delta H^\circ = -13659,902 \text{ J/mol}$, and $\Delta S^\circ = -40,662 \text{ J/Kmol}$ which indicates that the adsorption process takes place spontaneously, exothermically, as well as remazol red molecules absorbed on the adsorbent surface become more regular.

PENDAHULUAN

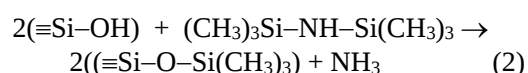
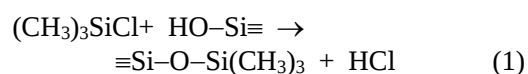
Zat warna reaktif azo merupakan zat warna sintetik yang sering digunakan pada industri tekstil. Zat warna reaktif azo mengandung paling sedikit satu ikatan ganda N=N dan gugus-gugus reaktif lainnya (Sastrawidana, dkk., 2008). Kelebihan dari zat warna ini antara lain, kemampuannya untuk terikat kuat pada kain, memberikan warna yang baik, dan tidak mudah luntur (Sastrawidana, 2011). Namun, zat warna ini bersifat *non-biodegradabel*, mutagenik, dan karsinogenik (Ara, dkk., 2013). Salah satu zat warna reaktif azo yang digunakan pada industri tekstil adalah *remazol red*. *Remazol red* memiliki rumus molekul $C_{18}H_{14}N_2Na_2O_{10}S_3$ dengan berat molekul 560,5 g/mol. Beberapa gangguan kesehatan pada manusia yang ditimbulkan akibat zat warna *remazol red* antara lain, iritasi mata, iritasi kulit, kanker, serta mutagen (Setiyanto, dkk., 2007). Selain itu, zat warna bila dibuang ke perairan akan tetap bertahan dalam jangka waktu yang cukup lama sehingga dapat menghambat sinar matahari masuk ke dalam air yang mengakibatkan proses fotosintesis terganggu dan menimbulkan bau yang tak sedap. Oleh sebab itu, diperlukan suatu metode untuk mengurangi konsentrasi zat warna sebelum dibuang ke perairan. Beberapa metode yang telah diterapkan antara lain, koagulasi, separasi, elektrokimia, ekstraksi pelarut, dan adsorpsi (de Luna, dkk., 2013).

Metode adsorpsi memiliki kelebihan yakni mudah dilakukan dan tekniknya sederhana (Yagub, dkk., 2014). Adsorpsi didefinisikan sebagai suatu proses penyerapan oleh zat padat terhadap fluida (dapat berupa gas maupun cairan) yang akan membentuk sebuah lapisan tipis pada permukaan zat padat. Adsorpsi dapat dibedakan menjadi dua yaitu adsorpsi fisik dan adsorpsi kimia. Adsorpsi secara fisik melibatkan gaya van der Waals, sedangkan adsorpsi secara kimia melibatkan pembentukan ikatan kimia yaitu ikatan kovalen (Oscik, 1982). Proses adsorpsi membutuhkan adsorben yang memiliki daya adsorpsi tinggi (Givianrad, dkk., 2013).

Adsorben yang dapat digunakan dalam proses adsorpsi *remazol red* yaitu silika aerogel. Silika aerogel merupakan suatu padatan berpori yang memiliki porositas tinggi (80-99%), densitas rendah (0,003-0,35 g/cm³), konduktivitas termal rendah (<0,005 W/mK), indeks bias rendah (~1,05), dan luas permukaan tinggi (500-1600 m²/g) (Rosmawati, dkk., 2013). Silika aerogel

dapat disintesis dari abu *bagasse* karena dalam abu *bagasse* terdapat kandungan silika yang cukup tinggi yakni 55,5% (Nazriati, dkk., 2010). Selain silika aerogel, adsorben lain yang dapat digunakan adalah karbon aktif. Karbon aktif merupakan suatu padatan berpori yang memiliki luas permukaan spesifik tinggi, stabil pada lingkungan asam maupun basa, dan memiliki struktur yang stabil pada suhu tinggi (Babaei, dkk., 2017). Namun, karbon aktif memiliki selektivitas yang rendah dan tidak memiliki gugus fungsi yang cukup untuk adsorpsi. Adanya kelemahan dari karbon aktif, maka dilakukan perpaduan karbon aktif dan silika aerogel membentuk nanokomposit. Pembentukan nanokomposit bertujuan agar diperoleh luas permukaan yang lebih besar, kapasitas adsorpsi meningkat dan memiliki banyak sisi aktif.

Irfan (2018) telah berhasil melakukan sintesis nanokomposit silika aerogel-karbon aktif. Nanokomposit silika aerogel-karbon aktif dapat terbentuk karena karbon aktif menempel pada rongga-rongga silika aerogel. Sintesis nanokomposit silika aerogel-karbon aktif dilakukan dengan metode sol-gel dan pengeringan pada tekanan *ambient*, sehingga diperlukan zat pemodifikasi agar tidak terjadi pengerutan pada saat pengeringan (Akhinov, dkk., 2010). Zat pemodifikasi yang digunakan pada sintesis nanokomposit silika aerogel-karbon aktif adalah TMCS (*trimethylchlorosilane*) dan HMDS (*hexamethyldisilazane*). Zat pemodifikasi tersebut berfungsi sebagai agen pemodifikasi permukaan yang menggantikan atom hidrogen (-H) pada gugus silanol (Si-OH) dengan gugus silana (Si-CH₃) (Nazriati, dkk., 2011). Reaksi yang terjadi pada saat penambahan TMCS (*trimethylchlorosilane*) dan HMDS (*hexamethyldisilazane*) dapat ditunjukkan pada persamaan:



Hasil sintesis nanokomposit silika aerogel-karbon aktif telah berhasil diaplikasikan pada adsorpsi zat warna metilen biru (Putri, 2018) dan zat warna rhodamin-B (Karomah, 2017). Kedua zat warna tersebut termasuk ke dalam golongan zat warna ionik yang dapat terserap oleh adsorben nanokomposit silika-aerogel karbon aktif karena

adanya gaya van der Waals. Oleh sebab itu, nanokomposit silika aerogel-karbon aktif diharapkan berpotensi sebagai adsorben untuk adsorpsi zat warna *remazol red* yang juga zat warna ionik.

Pada proses adsorpsi kemampuan suatu adsorben dalam mengadsorpsi zat warna dapat diketahui dari kapasitas adsorpsinya. Kapasitas adsorpsi dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti pH, waktu kontak, temperatur, dan konsentrasi. Kapasitas adsorpsi diperlukan untuk mengetahui kinetika dan termodinamika adsorpsi tersebut. Kinetika adsorpsi bertujuan untuk mengetahui laju reaksi pada proses adsorpsi dengan mengkaji berdasarkan *pseudo first order* dan *pseudo second order*, sedangkan termodinamika adsorpsi bertujuan untuk mengetahui nilai energi bebas Gibbs (ΔG°), perubahan entalpi (ΔH°), dan entropi (ΔS°). Selain itu, diperlukan kajian data menggunakan isoterm adsorpsi dengan model isoterm adsorpsi Langmuir dan Freundlich. Berdasarkan latar belakang di atas, tujuan penelitian ini adalah mensintesis dan mempelajari karakter adsorben nanokomposit silika aerogel-karbon aktif, mengetahui kapasitas adsorpsi, kinetika, termodinamika dan isoterm adsorpsi zat warna *remazol red* menggunakan adsorben nanokomposit silika aerogel-karbon aktif.

METODE

Bahan

Bahan yang digunakan adalah abu bagasse dari limbah pabrik gula Krebet, Bululawang-Malang, NaOH (p.a/Merck), HCl 37% (p.a/Smart Lab), hexamethyldisilazane (HMDS) (p.a/Merck), trimethylchlorosilane (TMCS) (p.a/Merck), karbon aktif, resin penukar kation, *remazol red*, aquades, kertas saring Whatman-40, dan indikator universal (Merck).

Alat

Alat yang digunakan adalah neraca analitik dengan ketelitian 0,0001 (Shimadzu ATX 224), alat gelas, oven (Mettler), batang pengaduk, spatula, desikator, hotplate stirrer (Thermo Scientific Cer 7'' 230V SP + UK plug), shaker (Boeco Germany PSU-15i), shaker waterbatch (EYELA Unit Thermo NTS-1300), penyaring Buchner (Sugano Electric Lab, LTD), FTIR (Shimadzu Type FT-IR 8400S), Spectronic (B-One), dan kuvet.

Prosedur

Ekstraksi Silika dari Abu Bagasse

Sebanyak 10 gram abu *bagasse* dimasukkan ke dalam gelas beaker 250 mL. Abu *bagasse* ditambahkan dengan 60 mL larutan NaOH 2N, kemudian ditutup dengan aluminium foil. Campuran tersebut dididihkan selama 1 jam pada temperatur 100°C dan diaduk dengan *magnetic stirrer* pada kecepatan 250 rpm. Selanjutnya, campuran didinginkan hingga temperatur ruang dan disaring menggunakan kertas saring Whatman-40 sehingga diperoleh filtrat berupa natrium silikat (Na_2SiO_3).

Sintesis Adsorben Nanokomposit Silika Aerogel-Karbon Aktif

Sebanyak 10 mL natrium silikat ditambahkan ke dalam 30 mL resin penukar kation dan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit pada kecepatan 250 rpm, sehingga diperoleh asam silikat. 10 mL asam silikat ditambahkan dengan 0,03 gram karbon aktif, 0,3 mL TMCS dan 0,6 mL HMDS. Setiap penambahan karbon aktif, TMCS dan HMDS diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit. Hidrogel yang terbentuk, di *aging* pada temperatur 40°C selama 18 jam dan dipanaskan pada temperatur 60°C selama 1 jam yang bertujuan untuk pematangan jaringan. Selanjutnya, hidrogel dicuci menggunakan air demineralisasi hingga pH 7. Nanokomposit silika aerogel-karbon aktif dapat diperoleh setelah proses pengeringan pada temperatur 80°C selama 24 jam.

Karakterisasi Adsorben Nanokomposit Silika Aerogel-Karbon Aktif

Karakterisasi adsorben nanokomposit silika aerogel-karbon aktif dilakukan dengan uji FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) yang bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada adsorben.

Pengaruh pH terhadap Adsorpsi Remazol Red

Larutan *remazol red* 60 mg/L dilakukan pengkondisian pada berbagai pH yaitu 2, 4, 6, 7 dan 8 dengan cara menambahkan larutan HCl 0,1N atau NaOH 0,1N. Selanjutnya, 25 mL larutan *remazol red* pada berbagai pH ditambahkan dengan 0,01 gram adsorben nanokomposit silika aerogel-karbon aktif. Campuran tersebut di aduk menggunakan *shaker* dengan kecepatan 150 rpm selama 90 menit, kemudian disaring. Filtrat yang diperoleh, diukur

absorbansinya menggunakan instrumen *Spectronic*.

Pengaruh Waktu Kontak terhadap Adsorpsi Remazol Red

Sejumlah 0,1 gram adsorben nanokomposit silika aerogel-karbon aktif dicampurkan dengan 25 mL zat warna *remazol red* 40 mg/L pada pH 2. Campuran diaduk menggunakan *shaker* dengan variasi waktu kontak 10, 20, 30, 40, 60, 70, 80, dan 90 menit dengan kecepatan 150 rpm. Campuran disaring dan filtrat yang diperoleh diukur absorbansinya menggunakan *Spectronic*.

Pengaruh Temperatur terhadap Adsorpsi Remazol Red

Sebanyak 25 mL zat warna *remazol red* 40 mg/L pada pH 2 ditambahkan dengan 0,1 gram adsorben nanokomposit silika aerogel-karbon aktif. Campuran diaduk menggunakan *waterbath shaker* pada kecepatan 150 rpm selama 80 menit dengan variasi temperatur 27°C, 35°C dan 45°C. Campuran disaring hingga diperoleh filtrat kemudian dianalisis menggunakan *Spectronic*.

Pengaruh Konsentrasi terhadap Adsorpsi Remazol Red

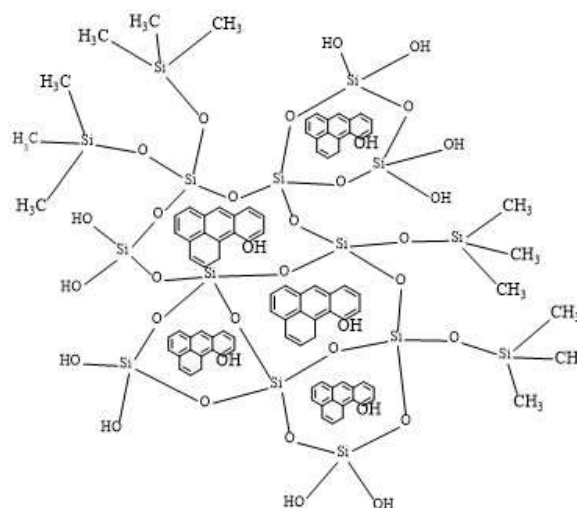
Sebanyak 25 mL zat warna *remazol red* dengan variasi konsentrasi 40, 45, 50, 55, dan 60 mg/L pada pH 2 dimasukkan ke dalam Erlenmeyer yang berbeda. Setiap Erlenmeyer yang berbeda konsentrasi, ditambahkan dengan 0,1 gram adsorben nanokomposit silika aerogel-karbon aktif dan diaduk menggunakan *shaker* dengan kecepatan 150 rpm selama 80 menit. Campuran disaring hingga diperoleh filtrat kemudian dianalisis menggunakan *Spectronic*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sintesis Nanokomposit Silika Aerogel-Karbon Aktif

Proses sintesis adsorben menggunakan metode sol-gel dan pengeringan pada tekanan *ambient*. Metode sol-gel terdiri dari tiga tahapan yaitu kondensasi-polimerisasi, pematangan jaringan (*aging*), dan pengeringan (*drying*). Natrium silikat hasil ekstraksi diubah menjadi asam silikat dengan bantuan resin penukar kation. Pada resin penukar kation mengandung ion H^+ yang akan menggantikan ion Na^+ dari natrium silikat untuk membentuk asam silikat. Asam silikat akan mengalami reaksi kondensasi dan polimerisasi membentuk jaringan hidrogel yang

lebih kompleks. Asam silikat yang terbentuk, kemudian ditambahkan dengan karbon aktif dan zat pemodifikasi berupa TMCS dan HMDS. Penambahan zat pemodifikasi TMCS dan HMDS berfungsi sebagai zat pemodifikasi permukaan untuk mengganti atom hidrogen (-H) pada silanol dengan gugus alkil (-CH₃) agar tidak terjadi pengerutan pada saat pengeringan, serta mencegah terjadinya kondensasi berlanjut pada silika aerogel. Gel yang terbentuk memiliki warna abu-abu kehitaman yang kemudian di *aging* pada temperatur 40 °C selama 18 jam untuk pembentukan jaringan. Selanjutnya, dilanjutkan dengan pemanasan pada temperatur 60 °C selama 1 jam untuk pematangan jaringan, kemudian dikeringkan pada temperatur 80 °C selama 24 jam untuk menghilangkan air yang masih terdapat di dalam gel. Hasil yang diperoleh dari proses sintesis nanokomposit silika aerogel-karbon aktif yaitu serbuk berwarna abu-abu. Struktur nanokomposit silika aerogel-karbon aktif dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur Nanokomposit Silika Aerogel-Karbon Aktif

Hasil spektrum FT-IR diperoleh pita melebar pada bilangan gelombang 3219 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus O-H dari silanol (Si-OH). Selain itu, muncul pita tajam pada bilangan gelombang 2962 cm^{-1} yang mengidentifikasi adanya gugus C-H dari silana (Si-CH₃) dan terdapat pita melebar pada bilangan gelombang 1080 cm^{-1} yang menunjukkan adanya gugus siloksan (Si-O-Si). Gugus fungsi identik yang terdapat pada karbon aktif antara lain C-O, C=O, dan C=C. Adanya gugus C-O dapat diketahui dari munculnya pita melebar pada bilangan gelombang 1255 cm^{-1} , sedangkan gugus C=O terdapat pita tajam pada bilangan gelombang

1409 cm^{-1} dan gugus C=C adanya pita melebar pada bilangan gelombang 2308 cm^{-1} . Munculnya gugus fungsi identik dari silika aerogel dan karbon aktif pada spektrum FT-IR menunjukkan bahwa nanokomposit silika aerogel-karbon aktif berhasil disintesis.

Aplikasi Nanokomposit Silika Aerogel-Karbon Aktif sebagai Adsorben Remazol Red

Adsorpsi *remazol red* dilakukan dengan beberapa variasi yaitu variasi pH, waktu kontak, konsentrasi, dan suhu. Sisa *remazol red* setelah proses adsorpsi diukur menggunakan *spectronic*. Konsentrasi *remazol red* setelah adsorpsi (C_{akhir}) dapat diketahui menggunakan kurva standar. Kurva standar yang digunakan diperoleh dari hasil pengukuran larutan standar *remazol red* menggunakan *spectronic* dan diperoleh persamaan garis linier kurva standar yaitu $y = 0,0084x - 0,0034$. Persamaan tersebut dapat digunakan untuk menentukan konsentrasi sisa setelah proses adsorpsi. Persentase penyerapan *remazol red* oleh adsorben yang digunakan ditentukan setelah mengetahui konsentrasi sisa *remazol red*. Persentase penyerapan *remazol red* oleh adsorben ditentukan dengan persamaan 3.

$$\% \text{ adsorpsi remazol red} = \frac{(C_o - C_t)}{C_o} \times 100\% \quad (3)$$

dengan C_o merupakan konsentrasi awal dan C_t konsentrasi akhir *remazol red*. Sedangkan kapasitas adsorpsi untuk mengetahui besarnya kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi zat warna *remazol red* ditentukan dengan persamaan:

$$q_t = \frac{(C_o - C_t) \times V}{m} \quad (4)$$

Keterangan:

q_t = Kapasitas adsorpsi saat waktu t (mg/g);

C_o = Konsentrasi awal *remazol red* (mg/L);

C_t = Konsentrasi akhir *remazol red* (mg/L);

V = Volume larutan *remazol red* (L) dan;

m = Massa nanokomposit silika aerogel-karbon aktif (g)

Pengaruh pH

Pengaruh pH terhadap adsorpsi *remazol red* dengan adsorben nanokomposit silika aerogel-karbon aktif dilakukan untuk mengetahui pH optimum. Variasi pH yang digunakan untuk menentukan pH optimum penyerapan *remazol red*

antara lain 2, 4, 6, 7, dan 8. Adsorpsi *remazol red* dengan variasi pH menggunakan larutan *remazol red* konsentrasi 60 mg/L sebanyak 25 mL dengan massa adsorben yang digunakan sebesar 0,01 gram selama 90 menit. Data adsorpsi dengan variasi pH dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Persentase dan Kapasitas Adsorpsi *Remazol Red* pada Variasi pH

pH	C_o (mg/L)	C_t (mg/L)	% teradsorpsi	q_e (mg/g)
2	60	48,8	18,7	28
4	60	51,52	14,13	21,2
6	60	58,34	2,8	4,15
7	60	59,60	1,6	2,45
8	60	59,02	0,6	1,00

Adsorpsi *remazol red* dengan variasi pH menggunakan larutan *remazol red* konsentrasi 60 mg/L sebanyak 25 mL dengan massa adsorben yang digunakan sebesar 0,01 gram selama 90 menit. Data pada Tabel 1, menunjukkan semakin bertambahnya pH maka semakin menurun kapasitas dan persentase adsorpsi, serta pH optimum berada pada pH 2 dengan kapasitas adsorpsi 28 mg/g dan persentase adsorpsi 18,7%. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung pada suasana asam, karena pada suasana asam jumlah ion hidrogen (H^+) dalam larutan akan lebih banyak sehingga mampu memprotonasi ion hidroksida (OH^-) yang terdapat pada sisi aktif adsorben menjadi H_3O^+ . Selain itu, zat warna anionik akan bermuatan negatif apabila pH di atas 1 (Silva, dkk., 2012) dan zat warna dalam larutan akan terdisosiasi menjadi ion-ionnya sehingga gugus sulfonat (SO_3^{2-}) dalam zat warna akan berinteraksi dengan H_3O^+ dari adsorben.

Pengaruh Variasi Waktu Kontak

Variasi waktu kontak berkaitan dengan waktu yang dibutuhkan dalam interaksi antara adsorben dengan adsorbat hingga proses adsorpsi selesai. Penentuan waktu kontak optimum *remazol red* menggunakan massa adsorben nanokomposit silika aerogel-karbon aktif sebesar 0,1 gram dan 25 mL zat warna *remazol red* 40 mg/L pada pH 2 dalam berbagai variasi waktu. Variasi waktu yang digunakan antara lain 10, 20, 30, 40, 60, 70, 80, dan 90 menit. Data variasi waktu kontak dapat digunakan untuk menentukan kinetika adsorpsi *remazol red*. Data pada Tabel 2, menunjukkan semakin bertambahnya waktu kontak, maka semakin bertambah nilai kapasitas dan persentase adsorpsi, serta waktu kontak

optimum yang diperoleh pada menit ke-80 dengan kapasitas adsorpsi 3,9375 mg/g dan persentase adsorpsi 39,375%. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu kontak, maka semakin lama interaksi yang terjadi antara adsorben dengan *remazol red*, sehingga jumlah zat teradsorpsi bertambah. Namun, setelah mencapai waktu kontak optimum, kapasitas dan persentase adsorpsi mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena setelah mencapai waktu kontak optimum, interaksi antara adsorben dengan *remazol red* menurun karena sisi aktif dari adsorben telah terisi dengan *remazol red* sehingga mengakibatkan daya adsorpsi akan berkurang.

Tabel 2. Persentase dan Kapasitas Adsorpsi *Remazol Red* pada Variasi Waktu Kontak

Waktu kontak (menit)	C ₀ (mg/L)	C _t (mg/L)	% teradsorpsi	q _e (mg/g)
10	40	29,59	26,025	2,6025
20	40	29,25	26,875	2,6875
30	40	27,43	31,425	3,1425
40	40	26,86	32,85	3,285
60	40	24,7	38,25	3,825
70	40	24,48	38,8	3,88
80	40	24,25	39,375	3,9375
90	40	29,82	25,45	2,545

Pengaruh Variasi Konsentrasi

Tabel 3. Persentase dan Kapasitas Adsorpsi *Remazol Red* pada Variasi Konsentrasi

C ₀ (mg/L)	C _t (mg/L)	% teradsorpsi	q _e (mg/g)
40	24,25	39,375	3,9375
45	25,84	42,578	4,79
50	27,89	44,22	5,5275
55	29,25	46,818	6,4375
60	30,84	48,6	7,29

Proses adsorpsi *remazol red* dengan berbagai konsentrasi dilakukan menggunakan 25 mL larutan *remazol red* pada pH 2 dengan konsentrasi 40, 45, 50, 55, dan 60 mg/L. Adsorben nanokomposit silika aerogel-karbon aktif yang digunakan sebanyak 0,1 gram dengan waktu adsorpsi selama 80 menit. Data variasi konsentrasi pada Tabel 3 yang diperoleh yaitu seiring dengan bertambahnya konsentrasi, maka semakin meningkat nilai kapasitas dan persentase adsorpsi. Nilai kapasitas meningkat dari 3,9375 mg/g hingga 7,29 mg/g dan persentase adsorpsi meningkat dari 39,375% hingga 48,6%. Hal ini disebabkan adanya daya penggerak yang berasal dari transfer massa pada fasa larutan menuju fasa

padat menjadi lebih besar, sehingga interaksi antara adsorben nanokomposit silika aerogel-karbon aktif dengan *remazol red* meningkat.

Pengaruh Variasi Temperatur

Variasi temperatur mengkaji tentang proses adsorpsi berlangsung secara eksotermik atau endotermik. Data variasi temperatur dapat digunakan untuk menentukan studi termodinamika yang meliputi energi bebas Gibbs, perubahan entalpi dan entropi. Data variasi temperatur pada Tabel 4 yang diperoleh yakni seiring dengan meningkatnya temperatur, maka nilai kapasitas dan persentase adsorpsi menurun. Nilai kapasitas menurun dari 3,9375 mg/g hingga 1,58 mg/g dan persentase adsorpsi menurun dari 39,375% hingga 15,8%. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara eksotermik akibat adanya pelepasan energi karena interaksi yang terjadi antara adsorbat dengan adsorben.

Tabel 4. Persentase dan Kapasitas Adsorpsi *Remazol Red* pada Variasi Temperatur

Suhu (°C)	C ₀ (mg/L)	C _t (mg/L)	% teradsorpsi	q _e (mg/g)
27	40	24,25	39,375	3,9375
35	40	26,07	34,825	3,4825
45	40	33,68	15,8	1,58

Selain itu, adsorpsi yang terjadi merupakan adsorpsi secara fisika yang tidak membutuhkan temperatur tinggi dalam prosesnya. Namun, penentuan eksotermik atau endotermik pada proses adsorpsi dijelaskan lebih lanjut pada kajian termodinamika.

Studi Kinetika Adsorpsi *Remazol Red*

Kinetika adsorpsi mempelajari tentang laju reaksi pada proses penyerapan *remazol red* oleh nanokomposit silika aerogel-karbon aktif. Kinetika adsorpsi yang diuji adalah kinetika orde satu semu (*Pseudo First-Order*) serta orde dua semu (*Pseudo Second-Order*) yang mengikuti persamaan (Lagergren, 1898):

Model orde satu semu

$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2,303} t \quad (5)$$

Model orde dua semu

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (6)$$

dengan k_1 dan k_2 adalah konstanta laju orde satu semu (menit^{-1}) dan orde dua semu (g/mg menit), t adalah waktu (s).

Penentuan kinetika adsorpsi ditinjau dari kelinearan persamaan garis menggunakan persamaan orde satu dan orde dua. Pada kurva orde satu diperoleh nilai $R^2 = 0,3529$, sedangkan pada kurva orde dua diperoleh nilai $R^2 = 0,9918$. Berdasarkan nilai R^2 dari kedua kurva, nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan kelinearan data tersebut sehingga yang linier pada orde dua. Hal ini menunjukkan bahwa kinetika adsorpsi *remazol red* oleh nanokomposit silika aerogel-karbon aktif sesuai dengan kinetika adsorpsi orde dua semu.

Studi Isoterm Adsorpsi Remazol Red

Model isoterm adsorpsi yang diujikan pada data proses adsorpsi *remazol red* menggunakan nanokomposit silika aerogel-karbon aktif adalah model isoterm Langmuir dan Freundlich. Persamaan isoterm Langmuir dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_0 b_L} + \frac{C_e}{Q_0} \quad (7)$$

Keterangan:

q_e = kapasitas adsorpsi kesetimbangan (mg/g)

C_e = konsentrasi kesetimbangan adsorbat (mg/L)

b_L = konstanta Langmuir (L/mg)

Q_0 = kapasitas adsorpsi Langmuir (mg/g)

Berdasarkan persamaan tersebut dapat dibuat kurva hubungan antara C_e/q_e dengan C_e . C_e/q_e sebagai sumbu x dan C_e sebagai sumbu y. Kurva tersebut dapat digunakan untuk menentukan kapasitas adsorpsi (Q_0) dan konstanta Langmuir (b_L). Berikut adalah persamaan isoterm Freundlich:

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (8)$$

Nilai K_f dan n adalah konstanta isoterm Freundlich, sedangkan q_e merupakan kapasitas adsorpsi, serta C_e konsentrasi akhir adsorbat.

Model isoterm Freundlich menjelaskan bahwa adsorbat yang terserap pada permukaan adsorben membentuk lapisan banyak (*multilayer*). Penentuan model isoterm dapat ditinjau dari kelinearan persamaan garis pada kurva isoterm Langmuir dan Freundlich. Pada kurva isoterm Langmuir diperoleh nilai $R^2 = 0,7348$, sedangkan pada kurva isoterm Freundlich diperoleh nilai $R^2 = 0,9941$. Berdasarkan kedua kurva tersebut, nilai R^2 yang lebih mendekati 1 adalah kurva isoterm Freundlich. Hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi *remazol red* menggunakan nanokom-

posit silika aerogel-karbon aktif mengikuti model isoterm Freundlich yang mengindikasikan proses adsorpsi bersifat *multilayer* dan heterogen.

Studi Termodinamika Adsorpsi Remazol Red

Studi termodinamika pada proses adsorpsi mengkaji tentang perubahan entalpi (ΔH°), entropi (ΔS°) dan energi Gibbs (ΔG°) yang dapat ditentukan dengan persamaan:

$$K_c = \frac{C_0}{C_e} \quad (9)$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_c \quad (10)$$

$$\ln K_c = \frac{-\Delta H^\circ}{RT} + \frac{\Delta S^\circ}{R} \quad (10)$$

C_0 adalah konsentrasi awal adsorbat sedangkan C_e adalah konsentrasi adsorbat pada keadaan setimbang. R adalah tetapan gas ideal ($8,314 \text{ J/mol K}$) dan T adalah temperatur (K). Energi bebas Gibbs dapat diketahui dari nilai $\ln K_c$, sedangkan nilai dari perubahan entalpi (ΔH°) dan perubahan entropi (ΔS°) dapat diperoleh dari $\ln K_c$ terhadap $1/T$. Dengan menggunakan data pada Tabel 4, dapat dihitung nilai K_c dan ΔG° pada berbagai suhu seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data Energi Bebas Gibbs *Remazol Red* pada Termodinamika Adsorpsi

T (K)	K_c	ΔG° (J/mol)
300	1,6495	-1248,35
308	1,5343	-1096,24
318	1,1877	-454,478

Besaran ΔH° dan ΔS° dapat ditentukan menggunakan persamaan 10 dan diperoleh perubahan entalpi (ΔH°) sebesar $-13659,902 \text{ J/mol}$ yang menunjukkan bahwa proses adsorpsi *remazol red* terjadi secara eksotermik. Nilai ΔH° yang kurang dari 80.000 J/mol mengindikasikan bahwa jenis adsorpsi *remazol red* oleh nanokomposit silika aerogel-karbon aktif merupakan adsorpsi fisik. Nilai perubahan entropi (ΔS°) yang diperoleh sebesar $-40,662 \text{ J/Kmol}$ yang menunjukkan bahwa entropi setelah proses adsorpsi *remazol red* lebih rendah, sehingga molekul *remazol red* yang terserap pada permukaan adsorben menjadi lebih teratur.

KESIMPULAN

Kapasitas adsorpsi nanokomposit silika aerogel-karbon aktif terhadap *remazol red* pada variasi pH mengalami penurunan seiring dengan

bertambahnya pH dan diperoleh pH optimum yaitu pH 2. Kapasitas adsorpsi maksimum *remazol red* pada waktu kontak 80 menit dengan konsentrasi 40 mg/L sebesar 3,9375 mg/g. Kapasitas adsorpsi *remazol red* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya temperatur dan mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya konsentrasi *remazol red*. Selain itu, diperoleh kinetika adsorpsi *remazol red* mengikuti kinetika orde dua semu (*Pseudo Second-Order*). Kajian termodinamika adsorpsi *remazol red* menunjukkan energi bebas Gibbs

($\Delta G^\circ = -454,478 \text{ J/mol}$) pada temperatur 45°C dan perubahan entalpi ($\Delta H^\circ = -13659,902 \text{ J/mol}$) sehingga proses adsorpsi secara spontan, eksotermik. Nilai perubahan entropi ($\Delta S^\circ = -40,662 \text{ J/Kmol}$) menunjukkan entropi setelah adsorpsi lebih rendah, sehingga kondisi menjadi lebih teratur. Adsorpsi *remazol red* menggunakan nanokomposit silika aerogel-karbon aktif mengikuti model isoterm Freundlich.

DAFTAR RUJUKAN

- Adjid, F. 2019. Adsorpsi Kadmium menggunakan Adsorben Nanokomposit Silika Aerogel-Karbon Aktif. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang.
- Aeni N. 2012. Spektrofotometer UV-Visible. Palu (ID): Untad press.
- Affandi, S., Setyawan, H., Winardi, S., Purwanto, A., & Balgis, R. 2009. A Facile Method for Production of High-Purity Silica Xerogels from Bagasse Ash. *Advanced Powder Technology*, 20(5), 468–472.
<https://doi.org/10.1016/j.appt.2009.03.008>
- Akhinov, A. F., Hati, D. P., & Setyawan, H. 2010. Pengeringan pada Tekanan Ambient E-01-2. *Seminar Rekayasa Kimia Dan Proses*, 1–7.
- Ara, N. J., Hasan, M. A., Rahman, M. A., Salam, M. A., Salam, A., & Alam, A. S. 2013. Removal of Remazol Red from Textile Waste Water Using Treated Sawdust - An Effective Way of Effluent Treatment. *Bangladesh Pharmaceutical Journal*, 16(1), 93–98.
<https://doi.org/10.3329/bpj.v16i1.14501>
- Ardiyansyah, M., & Rafi, M. 2009. Spektrofotometri UV-Vis dan Spektroskopik 20D+. Laporan Praktikum Analisis Instrumental. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor.
- Babaei, A. A., Kakavandi, B., Rafiee, M., Kalantarhormizi, F., Purkaram, I., Ahmadi, E., & Esmaeili, S. 2017. Comparative treatment of textile wastewater by adsorption, Fenton, UV-Fenton and US-Fenton using magnetic nanoparticles-functionalized carbon (MNP@C). *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 56, 163–174.
- <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.07.009>
- de Luna, M. D. G., Flores, E. D., Genuino, D. A. D., Futralan, C. M., & Wan, M. W. 2013. Adsorption of Eriochrome Black T (EBT) Dye Using Activated Carbon Prepared from Waste Rice Hulls-Optimization, Isotherm and Kinetic Studies. *Journal of The Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 44(4), 646–653.
<https://doi.org/10.1016/j.jtice.2013.01.010>
- Firdiyono, F., Handayani, M., Sulistiyono, E., Antoro, I. D., & Serpong, K. P. 2012. *Unsur Minor dalam Larutan Natrium Silikat*. Majalah Metalurgi V, ISSN 0216-3188, 15-26.
- Fisli, A., Ariyani, A., Wardiyati, S., & Yusuf, S. 2012. Adsorben Magnetik Nanokomposit Fe₃O₄-Karbon Aktif untuk Menyerap Thorium. *Indonesian Journal of Material Science*, 13(3), 192–197.
- Givianrad, M. H., Rabani, M., Saber-Tehrani, M., Aberoomand-Azar, P., & Hosseini Sabzevari, M. 2013. Preparation and Characterization of Nanocomposite, Silica Aerogel, Activated Carbon and its Adsorption Properties for Cd (II) Ions from Aqueous Solution. *Journal of Saudi Chemical Society*, 17(3), 329–335.
<https://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.07.006>
- Irfan. 2018. Pengaruh Komposisi Silika Aerogel-Karbon Aktif terhadap Karakteristik Nanokomposit yang disintesis dengan Metode Sol-Gel. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang.
- Karim, A. M., Juniar, H., & Ambarsari, P. F. M. 2017. Adsorpsi Ion Logam Fe dalam Limbah Tekstil Sintesis dengan menggunakan Metode Batch. *Distilasi*, 2(2), 68-81.

- Karomah, R. 2017. Aplikasi Nanokomposit Silika Aerogel-Karbon Aktif sebagai Adsorben Rhodamin-B. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang.
- Mufrodi, Z., Widiastuti, N., & Kardika, R. C. 2002. Adsorpsi Zat Warna Tekstil dengan menggunakan Abu Terbang (*Fly Ash*) untuk Variasi Massa Adsorben dan Suhu Operasi. *Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Universitas Ahmad Dahlan*, 90–93.
- Nazriati, Setyawan, H., Winardi, S., Arizanova, R., & Eka V., E. 2011. Sintesis Silika Aerogel dengan Bahan Dasar Abu Bagasse. *Reaktor*, 13(4), 220–224.
- Putri, K. Y. V. 2018. Aplikasi Nanokomposit Silika Aerogel-Karbon Aktif sebagai Adsorben Metilen Biru. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang.
- Rahayu, Isma. 2019. Adsorpsi Kadar Cd^{2+} menggunakan Adsorben Silika Xerogel Berbasis Abu Bagasse. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Fakultas MIPA Universitas Negeri Malang.
- Rosmawati, A., Tjahjanto, R. T., & Prananto, Y. P. 2013. Variasi Metode Preparasi Gel Pada Sintesis Aerogel Silika Dari Lumpur Lapindo. *Kimia Student Journal*, 1(2), 161–167.
- Sastrawidana, K. D. I., Lay, W. B., Fauzi, M. A., Santosa, A. D. 2008. Pengolahan Limbah Tekstil Sistem Kombinasi Anaerobik , Aerobik Menggunakan Biofilm Bakteri Konsorsium. *Ecotrophic*, 3(2), 74–80.
- Sastrawidana, K. D. I. 2011. Studi Perombakan Zat Warna Tekstil Remazol Red RB secara Aerob menggunakan Bakteri Enterobacter Aerogenes yang diisolasi dari Lumpur Limbah Tekstil. *Jurnal Kimia* 5 (2), 117-124
- Setiyanto, Riwayati, I., & Kurniasari, L. 2007. Adsorpsi Pewarna Tekstil Rhodamin B Menggunakan Senyawa Xanthat Pulpa Kopi. 24–28.
- Setyawan, H., Winardi, S., & Arizanova, R. 2010. Sintesis Silika Aerogel Berbasis Abu Bagasse. *Seminar Rekayasa Kimia Dan Proses 2010, 2009*, E-10-1-E-10-5.
- Sutrisno. 2018. Struktur Organik dari Spektromassa, UV-Vis, dan IR. Malang: PT. Bookmart Indonesia.
- Shin W E, Karthikeyan G K. 2006. Adsorption Mechanism of Cadmium On Juniper Bark And Wood. *Bioresource Technology*. 98.588–594
- Ubit, P. D., Yusmaniar, Erdawati. 2019. Adsorpsi Pewarna Direct Black 38 menggunakan Komposit Silika Mesopori dari Abu Sekam Padi/Karbon Aktif dari Tempurung Kelapa. *Jurnal Riset Sains Dan Kimia Terapan*, 8(1), 14–20.
<https://doi.org/10.21009/JRSKT.081.05>