

STUDI ISOTERM, KINETIKA, DAN TERMODINAMIKA ADSORPSI SURFAKTAN LINEAR ALKYLBENZENE SULFONATE (LAS) PADA KOPOLIMER-g-POLIAKRILAMIDA

N. M. C. S. Rahayuningsih, I G. A. K. S. P. Dewi*,
J. Sibarani, dan P. Ramadhani

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana,
Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia
*Email: kuntipancadewi@unud.ac.id

Article Received on: 30th July 2025

Revised on: 2nd December 2025

Accepted on: 21st January 2026

ABSTRAK

Kopolimer kitosan-g-poliakrilamida dengan persen grafting sebesar 326,97% telah digunakan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi *Linier Alkylbenzene Sulfonate* (LAS) dari larutan. Studi isoterm, kinetika, dan termodinamika adsorpsi tersebut dipelajari pada kondisi optimum (waktu kontak pada 60 menit, pH 5, konsentrasi awal LAS sebesar 2 mg/L). Hasil penelitian menunjukkan bahwa isoterm adsorpsi dari LAS mengikuti model isoterm Langmuir dan nilai kapasitas adsorpsi maksimum yang diperoleh sebesar 0,0146 mg/g, dengan kinetika adsorpsi mengikuti model orde psudo-kedua. Perubahan entalpi (ΔH°) dan perubahan entropi (ΔS°) berturut-turut bernilai -86,3575 kJ/mol dan -0,2346 kJ/mol. Sementara perubahan energi bebas Gibbs (ΔG°) pada suhu 30°C; 35°C; 55°C berturut-turut bernilai -15,2737; -14,1087; -9,4087 kJ/mol. Nilai negatif dari ΔG° ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi LAS pada kopolimer kitosan-g-poliakrilamida berlangsung secara spontan.

Kata kunci: kitosan-g-poliakrilamida, isoterm, kinetika, termodinamika

ABSTRACT

Chitosan-g-polyacrylamide copolymer with a grafting percentage of 326.97% has been used as an adsorbent to adsorb Linear Alkylbenzene Sulfonate (LAS) from solution. The adsorption isotherm, kinetics, and thermodynamics of this process were studied under optimum conditions, namely a contact time of 60 minutes, pH 5, and an initial LAS concentration of 2 mg/L. The results showed that the LAS adsorption isotherm follows the Langmuir isotherm model, with a maximum adsorption capacity of 0.0146 mg/g. The adsorption kinetics follow the pseudo-second-order model. The enthalpy change (ΔH°) and entropy change (ΔS°) were -86.3575 kJ/mol and -0.2346 kJ/mol, respectively. Meanwhile, the Gibbs free energy change (ΔG°) at temperatures of 30°C, 35°C, and 55°C were -15.2737 kJ/mol, -14.1087 kJ/mol, and -9.4087 kJ/mol, respectively. The negative values of ΔG° indicate that the LAS adsorption process on the chitosan-g-polyacrylamide copolymer occurs spontaneously.

Keywords: chitosan-g-polyacrylamide, isotherm, kinetics, thermodynamic

PENDAHULUAN

Penggunaan surfaktan LAS ini banyak digunakan dalam berbagai industri seperti produk pembersih (detergen). Meskipun efektif dalam menghilangkan kotoran, surfaktan LAS mempunyai potensi toksik yang signifikan terhadap ekosistem perairan. Luo, *et al.*, (2023) menyatakan secara global konsentrasi surfaktan LAS yang terkandung di perairan berkisar 10-83.000 mg/L. Konsentrasi tersebut melebihi ambang batas Peraturan Pemerintah Nomor 82 Tahun 2001 kadar normal surfaktan anionik di perairan sebesar 0,2 mg/L (Zahra, *et al.*, 2023). Oleh karena itu, usaha dalam

penurunan kadar surfaktan LAS menggunakan metode yang paling sering digunakan adalah adsorpsi karena lebih ekonomis dan pengoperasian alatnya sederhana.

Adsorpsi surfaktan LAS sebelumnya telah dilakukan Khairiyah, *et al.*, 2016 menggunakan arang aktif kulit singkong. Namun, kapasitas adsorpsi arang aktif singkong diperoleh sebesar 0,1114 mg/g dalam konsentrasi 2 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa adsorben yang digunakan dalam penelitian Khairiyah, *et al.*, 2016 masih kurang efisien dalam mengadsorpsi surfaktan LAS. Kondisi ini perlu diperbaiki untuk meningkatkan kualitas adsorben atau memperbanyak situs aktif

dengan memodifikasi suatu adsorben. Modifikasi kitosan melalui proses *grafting* polimer poliakrilamida menjadi salah satu perbaikan adsorben untuk memperbanyak situs aktif adsorben dan memberikan karakteristik adsorben yang lebih baik. Gugus amina (-NH₂) inilah yang diharapkan berperan penting dalam proses adsorpsi surfaktan LAS serta proses adsorpsi dapat terjadi karena dipengaruhi oleh pH asam (pH < 7) (Wijayanti dan Mahatmanti, 2022). pH asam akan cenderung mengakibatkan gugus amina terprotonasi dan terjadilah interaksi elektrostatik dengan gugus sulfonat surfaktan LAS.

Penelitian ini lebih spesifik mengkaji kemampuan penyerapan kopolimer kitosan-g-poliakrilamida melalui studi isoterm, kinetika, dan termodinamika adsorpsi. Lebih terperincinya menentukan mekanisme adsorpsi, besarnya laju adsorpsi, dan spontanitas adsorpsi yang terjadi.

MATERI DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi kitosan dengan derajat deasitisilasi 75-85% *Sigma-Aldrich*, akrilamida (C₃H₅NO), serium(IV) sulfat (Ce(SO₄)₂.4H₂O), gliserin, gas nitrogen (N₂), asam asetat *Merck*, natrium asetat *Merck*, metilen biru *Sigma-Aldrich*, kloroform *Merck*, buffer asetat *Merck*, buffer fosfat *Merck*, buffer karbonat-bikarbonat *Merck*, asam sulfat pekat (H₂SO₄) *Merck*, *Linier Alkylbenzene Sulfonate* (LAS), padatan natrium dihidrogen fosfat monohidrat (NaH₂PO₄.H₂O) *Merck*, dan aquades.

Peralatan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi neraca analitik, *hot plate*, *magnetic stirrer*, penangas minyak, *thermostat*, kertas pH, termometer, peralatan gelas kimia, peralatan instrumen berupa spektrofotometer UV-Vis 1800 Shimadzu.

Cara Kerja

Sintesis Kopolimer Kitosan-g-Poliakrilamida

Kitosan sebanyak 5 g dan larutan akrilamida dengan konsentrasi 10% (b/v) dilarutkan dalam 500 mL asam asetat 1%. Campuran larutan dialiri gas nitrogen selama 30 menit. Inisiator serium (IV) sulfat ditimbang dengan massa 0,50 g, kemudian dicampurkan ke dalam campuran larutan kitosan dan akrilamida. Campuran ini dikocok hingga homogen lalu dipanaskan dalam gliserin menggunakan *hot plate* dengan suhu konstan 70°C selama 24 jam dengan keadaan tertutup. Campuran kitosan-g-poliakrilamida lalu dipresipitasi dalam 500 mL

aseton selama 24 jam. Endapan putih yang dihasilkan lalu dikeringkan dengan suhu konstan 40°C selama 48 jam (Arsita, 2020).

Karakterisasi Kopolimer Kitosan-g-Poliakrilamida Persen Cangkok (%Grafting)

Persen grafting (%G) dihitung dengan metode gravimetri menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\%G = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\%$$

Dimana:

W₀ = Berat kitosan kering (g)

W = Berat kopolimer cangkok yang dihasilkan (g)

Daya serap air swelling kitosan-g-poliakrilamida

Kitosan-g-poliakrilamida disiapkan sebanyak 0,10 g dan direndam dalam 10,0 mL larutan buffer asetat 0,1M pH 5 (pH asam untuk kopolimer) pada suhu kamar dengan perendaman selama 720 menit (12 jam) (Arsita, 2024). Jika kopolimer yang telah mengembang dan jenuh dapat dipisahkan dari larutan dan gel yang terbentuk dapat dikeringkan untuk menghilangkan cairan yang menempel pada gel menggunakan tisu. Maka dari itu, diperolehnya tingkat penyerapan cairan pada gel setelah mengalami *swelling* dengan persamaan berikut:

$$\%Q = \frac{W - W_0}{W_0} \times 100\%$$

Dimana :

Q = Tingkat penyerapan air (g_{air}/g_{kitosan})

W₀ = Berat kitosan kering (g)

W = Berat basah gel (g)

Penentuan pH Optimum Adsorpsi Surfaktan LAS

Gel kitosan-g-poliakrilamida ditimbang 0,25 g dan gel direndam dalam larutan surfaktan LAS 2 ppm sebanyak 20 mL dengan variasi pH 4, 5, 6, 7, 8, dan 10 menggunakan larutan buffer. Larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 60 menit. Kemudian, filtratnya diambil melalui proses dekantasi sehingga filtrat dapat diukur absorbansinya menggunakan spetrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 652 nm dengan metode *Methylene Blue Active Substances* (MBAS) SNI 06-6989.51-2005.

Penentuan Konsentrasi Optimum dan Studi Isoterm Adsorpsi

Gel kitosan-g-poliakrilamida ditimbang sebanyak 0,25 g, kemudian gel direndam dalam masing-masing 20 mL larutan surfaktan LAS dengan variasi konsentrasi yaitu 1,2; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 2; 2,2; dan 2,4 ppm pada pH optimum dan sesuai suhu percobaan. Campuran tersebut diaduk selama 60

menit menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 200 rpm. Setelah itu, filtratnya diambil melalui proses dekantasi sehingga filtrat dapat diukur absorbansinya menggunakan spketrofoto-meter UV-Vis pada panjang gelombang 652 nm dengan metode MBAS.

Penentuan Waktu Optimum dan Studi Kinetika Adsorpsi

Gel kitosan-g-poliakrilamida ditimbang sebanyak 0,25 g, kemudian gel direndam pada larutan surfaktan LAS sebanyak 20 mL dalam konsentrasi optimum, pH optimum, dan sesuai suhu percobaan. Campuran tersebut diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 200 rpm selama 10 ; 20 ; 30 ; 40 ; 60 ; 75 ; 90 menit. Kemudian, filtratnya diambil melalui proses dekantasi sehingga filtrat dapat diukur absorbansinya menggunakan spketro-fotometer UV-Vis pada panjang gelombang 652 nm dengan metode MBAS.

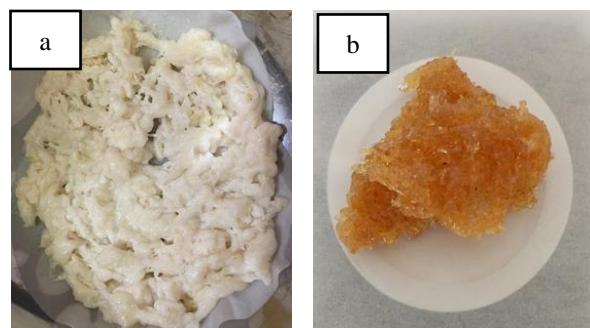
Pengaruh Suhu dan Penentuan Termodinamika Adsorpsi

Gel kitosan-g-poliakrilamida ditimbang sebanyak 0,25 g, kemudian gel direndam pada larutan surfaktan LAS sebanyak 20 mL dalam konsentrasi optimum, pH optimum, dan sesuai suhu percobaan. Lalu, campuran tersebut diatur suhunya terlebih dahulu dengan variasi suhu 30; 35; dan 55°C menggunakan *thermostat* sekaligus termometer untuk menjaga suhunya agar relatif konstan. Kemudian, campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 200 rpm selama waktu optimum. Setelah diaduk, filtratnya diambil melalui proses dekantasi sehingga filtrat dapat diukur absorbansinya menggunakan spketrofoto-meter UV-Vis pada panjang gelombang 652 nm dengan metode MBAS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

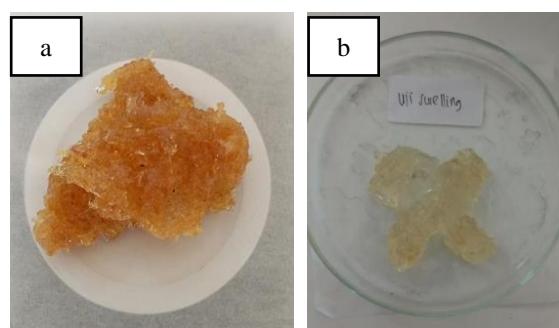
Sintesis dan Karakterisasi Kopolimer Kitosan-g-Poliakrilamida

Proses sintesis kopolimer *grafting* menggunakan akrilamida sebagai monomer yang disisipkan (dicangkok) pada polimer dasar kitosan dan inisiator yang digunakan adalah serium(IV) sulfat. Hasil sintesis kopolimer kitosan-g-poliakrilamida dapat diperhatikan pada Gambar 1.



Gambar 1. (a) Endapan putih sebelum dioven,
(b) Sampel kopolimer-g-poliakrilamida setelah dioven

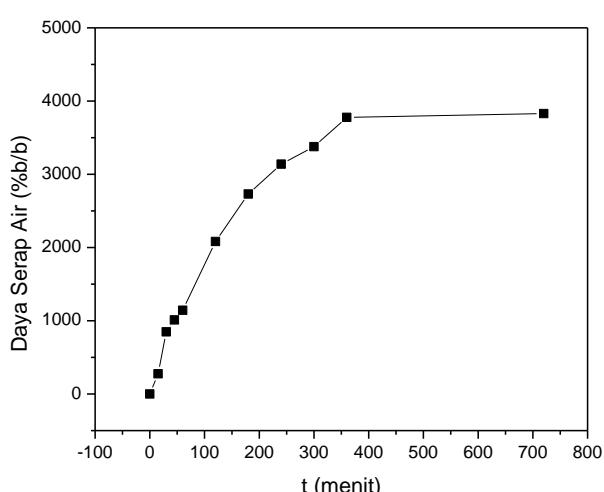
Suatu monomer yang telah berhasil dicangkokkan pada suatu polimer induk selama proses *grafting* dapat dinyatakan dalam persen *grafting* (%b/b). Gambar 1 (b) menunjukkan bahwa kopolimer telah berhasil disintesis karena monomer akrilamida telah berhasil *tergrafting* ke dalam induk kitosan dan persen *grafting* yang diperoleh sebesar 326,97 %b/b. Kopolimer-g-poliakrilamida juga terbentuk melalui mekanisme reaksi *grafting*, saat dilakukannya pemanasan, molekul inisiator terdisosiasi membentuk radikal bebas yang melepas-kan atom hidrogen sehingga menghasilkan mikro-radikal kitosan. Makroradikal kitosan mengikat molekul monomer akrilamida menghasilkan heteropolimer radikal. Situs radikal kemudian mengarahkan reaksi ke tahap propagasi dimana penyerangan radikal berpindah ke molekul monomer yang akan menjadi donor radikal bebas untuk molekul tetangganya. Setelah tahap propagasi, reaksi berantai tersebut akan berhenti (tahap terminasi) karena telah terjadi penggabungan makroradikal kitosan terhadap molekul monomer sehingga menghasilkan kopolimer-kitosan-g-poliakrilamida.



Gambar 2. (a) Kopolimer kitosan-g-poliakrilamida sebelum uji *swelling*,
(b) Kopolimer kitosan-g-poliakrilamida setelah uji *swelling*

Hasil karakterisasi lainnya untuk kopolimer berupa uji *swelling*, uji ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan kopolimer menyerap cairan setelah dilakukan perendaman dalam kondisi asam. Berikut adalah hasil pengamatan uji *swelling* yang disajikan pada Gambar 2.

Gambar 2 (b) menunjukkan perendaman pada kondisi asam memberikan perubahan warna menjadi transparan, bentuk teksturnya semakin lunak, dan mengembang. Namun, hasil kuantitatifnya dinyatakan dalam daya serap air (%*b/b*) sehingga diperoleh kurva daya serap air pada kopolimer kitosan-g-poliakrilamida pada Gambar 3.

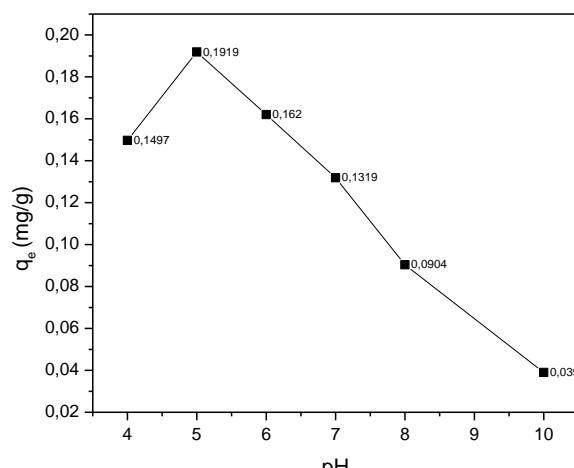


Gambar 3. Kurva daya serap air pada kopolimer kitosan-g-poliakrilamida

Gambar 3 menunjukkan bahwa daya serap cairan meningkat seiring dengan bertambahnya waktu perendaman dan mengalami kejemuhan pada waktu 360 menit sebesar 3778,039% serta kondisi ini dipengaruhi oleh ikatan hidrogen antara kitosan terhadap poliakrilamida. Ikatan hidrogen kitosan terhadap poliakrilamida menjadi semakin lemah, bahkan struktur kopolimer menjadi lebih terbuka dan dapat digantikan dengan ikatan hidrogen kuat antara gugus amida pada poliakrilamida terhadap air (Sibarani, *et al.*, 2020).

Penentuan pH Optimum Surfaktan LAS

Variasi pH larutan mampu mempengaruhi kemampuan kopolimer kitosan-g-poliakrilamida dalam mengadsorpsi surfaktan LAS seperti yang ditunjukkan kurva pada Gambar 4.

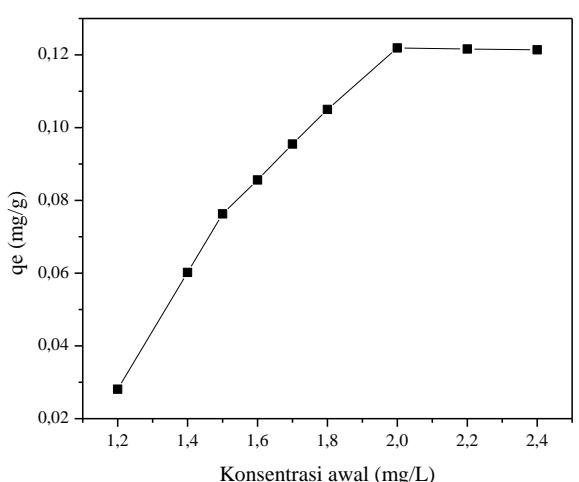


Gambar 4. Kurva pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi (q_e)

Gambar 4 menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi surfaktan LAS terhadap kopolimer ini mengalami kenaikan dan mencapai titik optimum pada pH 5 sebesar 0,1919 mg/g. Seiring dengan meningkatnya pH larutan, kapasitas adsorpsinya menurun dimulai dari pH 6 hingga pH 10. Hal ini dikarenakan peningkatan pH dipengaruhi oleh kondisi ionisasi pada permukaan adsorben. Ketika kondisi asam, ion H^+ akan berpindah dari larutan LAS ke permukaan adsorben kopolimer (Utami, *et al.*, 2024). Permukaan kopolimer menjadi bermuatan positif, khususnya gugus amina yang terkandung dalam kopolimer cenderung mengalami protonasi menjadi gugus ammonium (NH_3^+). Kondisi ini menjadikan situs aktif pada kopolimer lebih bermuatan positif, bahkan mampu meningkatkan interaksi elektrostatik antara ion sulfonat (SO_3^-) pada surfaktan LAS terhadap gugus ammonium (NH_3^+). Namun, kondisi basa cenderung mengalami deprotonasi sehingga terjadi interaksi tolak-menolak terhadap gugus anionik surfaktan LAS dan mampu mengurangi kemampuan kopolimer dalam menyerap surfaktan LAS.

Penentuan Konsentrasi Optimum dan Isoterm Adsorpsi

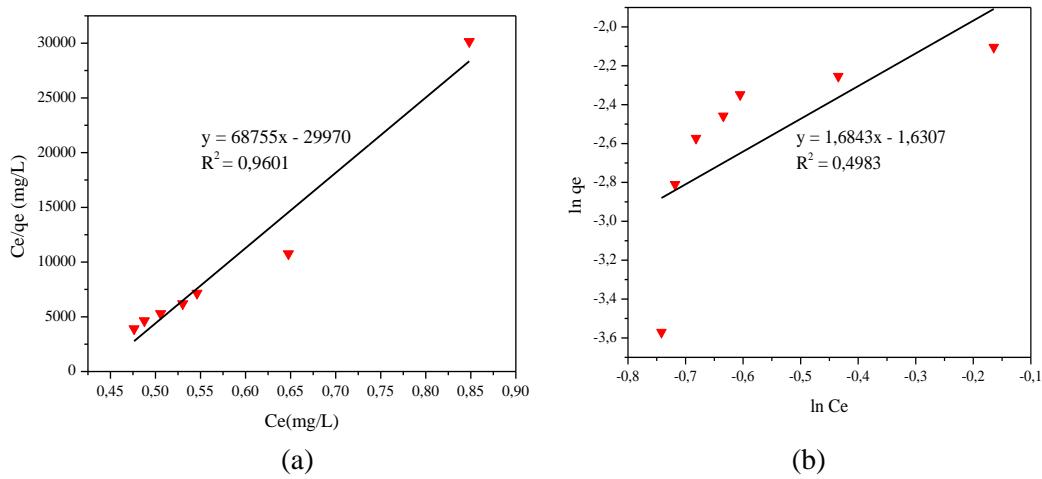
Variasi konsentrasi mampu mempengaruhi mobilitas jumlah molekul surfaktan LAS yang mampu berkompetisi mencapai sisi aktif adsorben sehingga memperoleh konsentrasi optimum. Oleh karena itu, pengaruh konsentrasi terhadap kapasitas adsorpsi dapat ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva pengaruh konsentrasi terhadap kapasitas adsorpsi (q_e)

Gambar 5 menunjukkan jumlah molekul surfaktan LAS yang teradsorpsi semakin meningkat seiring meningkatnya konsentrasi yang digunakan. Namun, konsentrasi 2,2 dan 2,4 ppm kapasitas adsorpsinya mengalami penurunan yang tidak signifikan. Oleh karena itu, konsentrasi optimum dapat dikatakan pada konsentrasi 2 ppm karena mampu menghasilkan kapasitas adsorpsi paling optimal dengan kapasitas adsorpsi yang diperoleh sebesar 0,1219 mg/g. Hal ini dapat terjadi ketika penyerapan material oleh adsorben telah mencapai titik jenuh serta tidak dapat kembali menyerap molekul adsorbatnya.

Data kapasitas adsorpsi tersebut dapat digunakan juga dalam menentukan pola isoterm adsorpsi yang sesuai. Model isoterm yang sesuai untuk adsorpsi ditentukan dengan membandingkan nilai linearitas kedua persamaan tersebut. Kurva isoterm adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 6 sedangkan karakteristik masing-masing parameter isoterm adsorpsi disajikan pada Tabel 1.



Gambar 6. (a) Kurva Isoterm Langmuir, (b) Kurva Isoterm Freundlich.

Berdasarkan Gambar 6 dan Tabel 1 menunjukkan bahwa pola isotermnya mengikuti pola isoterm Langmuir. Pola isoterm Langmuir yang mengindikasikan surfaktan LAS membentuk lapisan *monolayer* pada situs-situs aktif permukaan adsorben kopolimer kitosan-*g*-poliakrilamida yang bersifat homogen. Selain itu, interaksinya lebih dominan menggunakan interaksi kimia serta membentuk lapisan *monolayer* yang artinya suatu gugus aktif adsorben hanya dapat mengakomodasikan satu mengikat satu molekul adsorbat. Ketika penyerapan material oleh adsorben telah mencapai titik jenuh serta tidak dapat kembali menyerap molekul adsorbatnya.

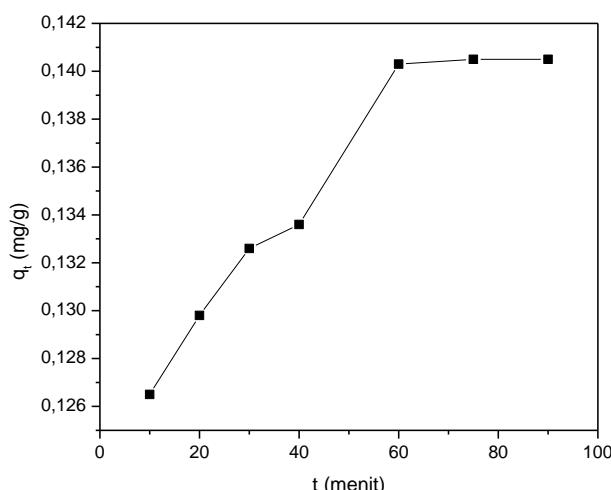
Persamaan isoterm Langmuir juga dapat menghitung beberapa parameter yang telah dilampirkan pada Tabel 1. Nilai kapasitas adsorpsi maksimumnya sebesar 0,0146 mg/g sedangkan secara eksperimen diperoleh sebesar 0,1219 mg/g. Hal ini terjadi perbedaan yang signifikan karena perhitungan model Langmuir tidak selalu akurat dalam merepresentasikan kondisi nyata serta dipengaruhi oleh adsorben yang belum mencapai kondisi jenuh. Akibatnya jumlah adsorbat yang terikat pada adsorben terus meningkat sehingga kapasitas adsorpsi yang diperoleh lebih tinggi daripada yang diperkirakan secara teori. Adapun parameter lain seperti faktor pemisah (R_L) untuk mengetahui sifat adsorpsi yang terjadi. Hasil perhitungan menunjukkan nilai koefisien R_L berkisar $0,1789 - 0,2665$ artinya $0 < R_L < 1$ sifat adsorpsi yang terjadi menguntungkan atau proses adsorpsi berjalan dengan baik (Atkins, *et al.*, 2018). Selain itu, informasi terkait energi adsorpsi yang tercantum sebesar $-2,0561$ kJ/mol dan teori dari Castellan, (1982) menyatakan apabila energi adsorpsi yang dihasilkan bertanda negatif, maka proses adsorpsinya berjalan secara spontan.

Tabel 1. Karakteristik Parameter Isoterm Adsorpsi.

Isoterm	Parameter	Value
Langmuir	R^2	0,9601
	q_e teoritis (mg/g)	0,0146
	q_e eksperimen (mg/g)	0,1219
	K_L	2,2941
	R_L	0,1789 - 0,2665
	E (kJ/mol)	-2,0561
Freundlich	R^2	0,4983
	n	0,6067
	K_F	0,1958
	E (kJ/mol)	+4,1079

Penentuan Waktu Optimum dan Kinetika Adsorpsi

Variasi waktu kontak adsorben dilakukan dengan kondisi pH optimum dan konsentrasi optimum 2 mg/L surfaktan LAS adalah 10, 20, 30, 40, 60, 75, dan 90 menit. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas penyerapan adsorpsi (q_e) surfaktan LAS disajikan pada Gambar 7.



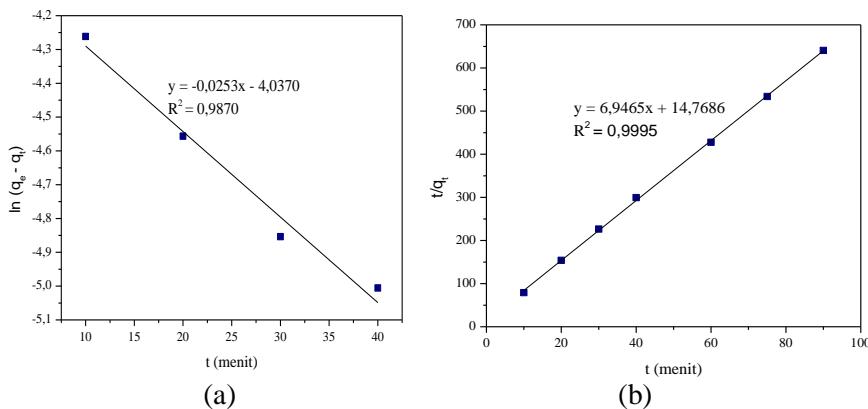
Gambar 7. Kurva pengaruh waktu terhadap kapasitas adsorpsi (q_e)

Gambar 7 menunjukkan bahwa waktu optimum ditunjukkan pada waktu 60 menit dengan menghasilkan kapasitas adsorpsi optimal sebesar 0,1403 mg/g sedangkan waktu kontak 75 dan 90 menit menghasilkan kapasitas adsorpsi sebesar 0,1405 mg/g. Hal ini cenderung tidak mengalami

perubahan yang signifikan karena permukaan adsorben telah mencapai titik jenuh (Wahyuningsih, et al., 2018).

Variasi waktu kontak juga digunakan untuk mempelajari parameter kinetika adsorpsi atau mengetahui laju adsorpsi dari suatu adsorben dengan adsorbatnya. Pada penelitian model kinetika adsorpsi yang digunakan adalah orde satu semu dan orde dua semu sehingga penentuan kinetika adsorpsi ini diperoleh melalui nilai linearitas yang mendekati 1. Hasil plot kurva dan karakteristik parameter untuk masing-masing orde tersebut dapat disajikan pada Gambar 8 dan Tabel 2.

Penentuan kinetika adsorpsi surfaktan LAS diperoleh melalui nilai linearitas yang mendekati 1, yaitu orde pseudo-pertama (orde satu semu) nilai korelasi linier R^2 sebesar 0,9870 sedangkan orde pseudo-kedua (orde dua semu) nilai korelasi R^2 sebesar 0,9995. Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa kinetika adsorpsi surfaktan LAS mengikuti model kinetika orde pseudo-kedua (orde dua semu). Tabel 2 juga menunjukkan hasil parameter kapasitas adsorpsi (q_e) secara eksperimen sebesar 0,1403 mg/g telah mendekati kapasitas adsorpsi secara teori sebesar 0,1440 mg/g. Hal ini didasarkan dengan kemampuan penyerapan pada fasa solid menggunakan mekanisme interaksi *chemisorption* (Atkins, et al., 2018). Terjadinya interaksi kimia dipengaruhi oleh pH 5 yang berperan sebagai pengontrol laju adsorpsi sehingga mampu melibatkan interaksi kimia adsorbatnya akan terikat lebih kuat pada permukaan adsorben.



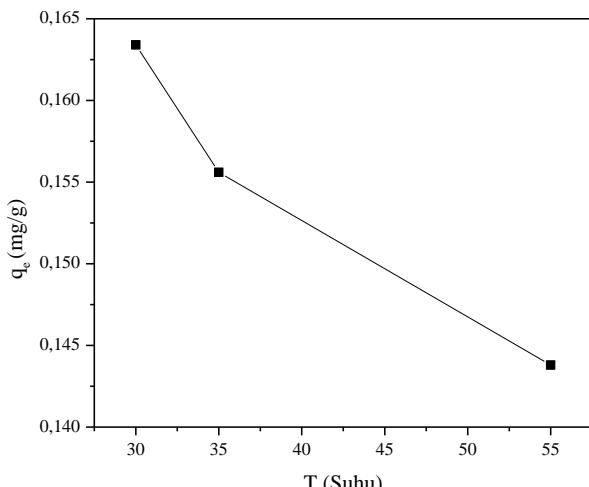
Gambar 8 (a). Kurva Orde pseudo-pertama, (b). Kurva orde pseudo-kedua

Tabel 2. Karakteristik Parameter Kinetika Adsorpsi

Jenis Orde	R ²	k _{1,2}	q _e (mg/g)	q _e eksperimen (mg/g)
Orde satu semu	0,9870	0,0253	0,0176	0,1403
Orde dua semu	0,9995	3,2712	0,1440	0,1403

Pengaruh Suhu dan Termodinamika Adsorpsi

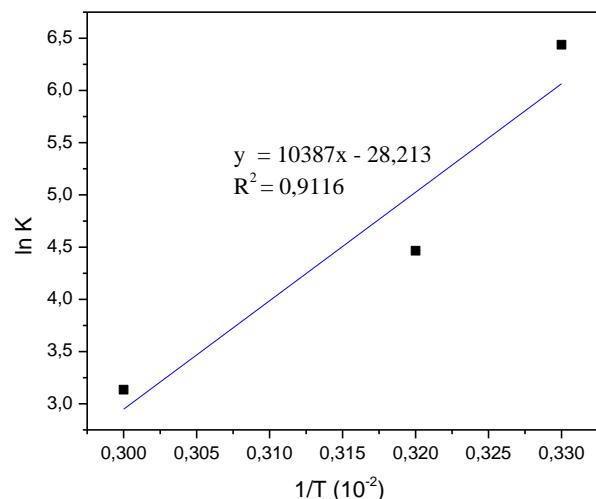
Adsorpsi surfaktan LAS menggunakan adsorben kopolimer kitosan-g-poliakrilamida dilakukan dengan memvariasikan suhu 30°C, 35°C, dan 55°C. Pengaruh suhu terhadap adsorpsi surfaktan LAS dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Pengaruh suhu terhadap kapasitas adsorpsi (q_e)

Gambar 9 menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu yang digunakan maka jumlah zat yang teradsorpsi semakin kecil atau terjadi penurunan nilai kapasitas adsorpsi. Hal ini dikarenakan kenaikan suhu adsorpsi menyebabkan peningkatan energi kinetiknya. Aisyahlika, *et al.*, 2018 menyatakan bahwa peningkatan energi kinetik ini akan mengakibatkan partikel-partikel di dalam larutan bergerak lebih cepat. Maka dari itu, adsorbat

cenderung terlepas dari permukaan adsorben atau terlepas kembali ke larutan dengan cepat.



Gambar 10. Kurva van't Hoff proses adsorpsi LAS pada kopolimer kitosan-g-poliakrilamida

Parameter termodinamika adsorpsi dihitung dengan nilai konstanta kesetimbangan termodinamika adsorpsi (K_{ads}) yang diperoleh pada variasi suhu. Kemudian, nilai $\ln K_{ads}$ diplotkan dengan $1/T$ mengikuti bentuk linier persamaan van't Hoff sesuai Gambar 10.

Kurva van't Hoff ini dapat digunakan untuk memperoleh nilai dari masing-masing parameter, yaitu perubahan entalpi (ΔH°) sebesar -86,3575 kJ/mol dan perubahan entropi (ΔS°) sebesar -0,2346 kJ/mol yang berarti molekul surfaktan LAS yang teradsorp ke dalam adsorben mengalami penurunan

ketidakteraturan. Kemudian, nilai perubahan energi bebas Gibbs (ΔG°) secara keseluruhan tandanya negatif dan energi bebas Gibbs semakin meningkat seiring dengan meningkatnya suhu sebesar -15,2737; -14,1087; -9,4087 kJ/mol. Oleh karena itu, perubahan entalpi (ΔH°) bertanda negatif terhadap perubahan energi bebas Gibbs (ΔG°) bertanda negatif akan memberikan gambaran bahwa proses adsorpsi terjadi secara spontan dan cenderung melepaskan panas. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tersebut mengarah pada keadaan stabil dengan mengurangi panas dari eksternal.

SIMPULAN

Studi adsorpsi kopolimer kitosan-g-poliakrilamida terhadap surfaktan LAS berdasarkan model isoterm yakni mengikuti model isoterm Langmuir serta model kinetika adsorpsinya mengikuti pseudo-orde kedua. Parameter termodinamika yang diperoleh terdiri dari perubahan entalpi ΔH° sebesar -86,3575 kJ/mol tanda negatif menunjukkan proses adsorpsinya berlangsung secara eksotermik. Sementara perubahan entropi ΔS° sebesar -0,2346 kJ/mol tanda negatif ini menunjukkan adsorben mengalami penurunan ketidakteraturan dan perubahan energi bebas Gibbs ΔG° pada suhu 30; 35; dan 55°C berturut-turut bernilai -15,2737; -14,1087; dan -9,4087 kJ/mol sehingga nilai negatif menunjukkan proses adsorpsinya berjalan secara spontan. Selain itu, studi ini juga dapat menentukan mekanisme yang terjadi pada adsorpsi surfaktan LAS terhadap kopolimer kitosan-g-poliakrilamida melalui interaksi elektrostatik. Interaksi ini dapat terjadi pada kondisi asam sehingga mampu meningkatkan penyerapan kopolimer terhadap surfaktan LAS.

DAFTAR PUSTAKA

Aisyahlika, S.Z., Firdaus, M.L., & Elvia, R. 2018. Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif Cangkok

- Bintaro (Cerbera odollam) terhadap zat Warna Sintesis Reactive Red-120 dan Reactive Blue-198. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia*. 2(2): 148-155.
- Atkins,P., Paula,J.De., Keeler, J. 2018. *Physical Chemistry*. 11th ed. Oxford University Express.
- Khoiriyah, W., Sunarto, W., & Susatyo, E.B. 2016. Adsorpsi Linear Alkylbenzene Sulfonate Limbah Laundry oleh Arang Aktif Kulit Singkong. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 5(2): 148-151.
- Luo,Y., Jin,X., Xie,H., Ji,X., Liu,Y., Guo,C., Glesy,J.P., & Xu,J. 2023. Linear Alkylbenzene Sulfonate Threats to Surface Waters at the National Scale: A Neglected Traditional Pollutant. *Journal of Environmental Management*. 342: 1006-1113.
- Sibarani, J., Damayanti, A., Irdhawati, Manurung, M., dan Puspawati, N. M. 2018. Sintesis Kopolimer Cangkok Kitosan-g-Poli(Asam Akrilat) sebagai Adsorben Kation Cu^{2+} , Pb^{2+} , dan Cr^{3+} . *Cakra Kimia (Indonesian E-Journal of Applied Chemistry)*. 6(2): 99-105.
- Utami, M.R., Riyani, K., & Setyaningtyas, T. 2024. Pengaruh Perlit sebagai Adsorben pada Adsorpsi Zat Warna Metilen Biru. *Jurnal Chimica et Natura Acta*. 12(2): 91-97.
- Wahyuningsih, A.W.K., Ulfin, I., & Suprapto. 2018. Pengaruh pH dan Waktu Kontak pada Adsorpsi Remazol Brilliant Blue R menggunakan Adsorben Ampas Singkong. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 7(2): 2337-3520.
- Wijayanti, I.L. & Mahatmanti, F.W. 2022. Synthesis of Chitosan/Activated Carbon Composite Beds as an Adsorbent of $Pb(II)$ and $Cu(II)$ ions in Aqueous Solution: A Review. *Indonesian Journal of Chemical Science*. 11(2): 191-195.
- Zahra, Y.A., Rahmadani, Hidayah, N., & Alawiyah, T. 2023. Analisis Kadar Surfaktan Anionik pada Air Sungai Negara Menggunakan Metode Spektrofotometri Visible. *Jurnal Innovative*. 3(6): 8067-8073.