



Chemical
Engineering
Journal
Storage

PEMANFAATAN KULIT SALAK SEBAGAI KARBON AKTIF UNTUK ADSORPSI RHODAMINE B

Togu Sahat, Muhammad*, Zainuddin Ginting, Rizka Mulyawan, Azhari

Program Studi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia,
Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh

Kampus Utama Cot Teungku Nie Reuleut, Muara Batu, Aceh Utara – 24355

Korespondensi: HP: 082362297587, e-mail: Mhdtk@unimal.ac.id

Abstrak

Telah diteliti pemanfaatan limbah kulit salak sebagai adsorben Rhodamine B dengan kajian kesetimbangan adsorpsi dan kinetika adsorpsi. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kesetimbangan serta menganalisa model kinetika adsorpsi. Sampel yang digunakan adalah variasi konsentrasi Rhodamine B 10 ppm, 25 ppm, dan 50 ppm. Analisa kinetika adsorpsi diuji dengan menggunakan dua model persamaan laju adsorpsi yaitu persamaan laju orde satu semu dan persamaan laju orde dua semu. Sedangkan untuk persamaan kesetimbangan yang diuji adalah persamaan adsorpsi isoterm Langmuir dan Freundlich. **Penelitian ini sudah pernah dilakukan sebelumnya, yang menjadi pembeda dari penelitian sebelumnya adalah konsentrasi aktivator dan waktu pengeringan pada adsorben.** Hasil kajian menunjukkan bahwa model persamaan Langmuir dan orde dua semu adalah yang paling sesuai diaplikasikan untuk adsorpsi Rhodamine B terhadap karbon aktif dari kulit salak. Dari persamaan langmuir diperoleh konstanta adsorpsi sebesar 10,35808 L/mg dan q_{maks} sebesar 0,258759 mg/g. Sedangkan untuk persamaan orde dua semu didapatkan nilai $q_{e,exp}$ dan $q_{e,cal}$ yang tidak jauh berbeda. Didapatkan nilai $q_{e,cal}$ sebesar 0,1476 mg/g, 0,2252 mg/g, dan 0,3117 mg/g untuk variasi konsentrasi 10 ppm, 25 ppm, dan 50 ppm. Didapatkan nilai k dengan rentang 1,2252-0,2851 dan nilai R^2 dengan rentang 0,9701- 0,9999 untuk variasi konsentrasi 10 ppm, 25 ppm, dan 50 ppm. Karena model isoterm Langmuir mampu menginterpretasikan proses adsorpsi Rhodamine B dengan baik, maka sistem adsorpsi Rhodamine B menggunakan karbon aktif dari molase dari penelitian ini adalah homogen dan monolayer. Kajian kinetika menunjukkan bahwa model persamaan orde dua semu yang paling sesuai diaplikasikan. Dari model orde dua semu, laju proses adsorpsi Rhodamine B dikendalikan oleh adsorpsi kimia.

Kata Kunci : Adsorpsi, Kesetimbangan, Kinetika, Kulit Salak, Rhodamine B

DOI: <https://doi.org/10.29103/cejs.v4i4.17534>

1. Pendahuluan

Aplikasi utama dari karbon aktif adalah menghilangkan kotoran dari gas dan cairan. Permukaan karbon aktif dapat mengikat molekul dari fase gas atau cair

oleh gaya *Van Der Waals* sehingga terbentuk konsentrasi molekul yang tinggi pada permukaannya. Selain itu ada juga yang disebut *Chemisorption* yaitu pengikatan oleh gaya yang lebih kuat yang berasal dari daerah aktif dari permukaan karbon. Hal ini membuat karbon aktif menjadi adsorben yang sangat berguna dalam banyak aplikasi industri. Karbon aktif mampu menyerap senyawa organik seperti organik volatil, pestisida, dan benzena. Karbon aktif juga efektif dalam menyerap klorin dan beberapa logam (Enrico, 2019)

Dalam beberapa tahun terakhir telah disadari pentingnya limbah pertanian sebagai sumber bahan baku murah dan terbarukan untuk produksi karbon aktif. Studi tentang produksi karbon aktif dari limbah pertanian seperti biji kurma, serabut kelapa, tongkol jagung, tempurung kelapa, kulit kacang tanah, kulit buah teh, kulit singkong, biji mangga, dan limbah apel telah dilakukan sebelumnya dan menghasilkan karbon aktif yang layak pakai. Kulit salak juga merupakan salah satu limbah pertanian yang berpotensi sebagai karbon aktif.

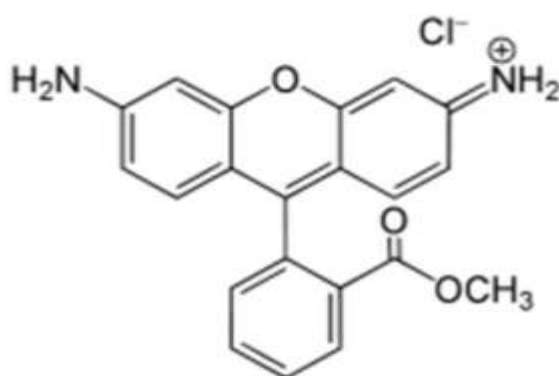
Salak berasal dari Asia tenggara. Buah ini memiliki bentuk menyerupai telur. Kulit buah berwarna coklat dan tampak seperti kulit. Di Indonesia ada banyak jenis salak namun sebagian besar memiliki rasa sepat. Setelah dikupas, kulitnya menjadi limbah dan dalam penelitian ini digunakan sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif.

Salah satu zat pewarna dalam industri tekstil yaitu *Rhodamine B*. *Rhodamine B* adalah zat warna sintetis yang berbentuk serbuk kristal, tidak memiliki bau, berwarna hijau atau ungu kemerahan. *Rhodamine B* umumnya digunakan untuk pewarna kapas, wol, jerami, sutera, dan bambu (Nina Jusnita Lioba Sripadma, 2017).

Untuk membantu menurunkan terjadinya pencemaran lingkungan yang diakibatkan dari zat warna tekstil seperti *Rhodamine B*, salah satu metode yang dapat dilakukan adalah adsorpsi dengan memanfaatkan limbah pertanian menjadi adsorban (karbon aktif). Karbon aktif adalah salah satu jenis adsorben yang umum digunakan. Hal ini dikarenakan karbon aktif memiliki luas permukaan yang besar

dan memiliki daya serap yang tinggi. Dalam pengolahan sumber air, karbon aktif dapat menghilangkan warna, bau, dan polutan sehingga meningkatkan kualitas air menjadi sumber air yang layak (Lubis et al, 2020).

Rhodamin B merupakan senyawa yang merupakan bahan pewarna buatan yang berbentuk bubuk hijau, bila dicampurkan konsentrasi tinggi menjadi merah dan merah muda pada konsentrasi rendah (6). *Rodhamin B* memiliki struktur senyawa yang dapat dilihat di gambar 1



Gambar 1 Zat Rodhamin B

Banyak penelitian tentang pembuatan karbon aktif yang telah dilakukan sebelumnya. Pradhan (2011) membuat karbon aktif dari limbah lumpur kertas dengan aktivator $ZnCl_2$. Aktivasi dengan $ZnCl_2$ menghasilkan karbon aktif dengan porositas yang baik. Dihasilkan karbon aktif dengan luas permukaan spesifik sebesar ($737,6 \text{ m}^2/\text{g}$) dan nilai iodin yang tinggi $764,8 \text{ mg/g}$. Namasivayam dan Sangeetha (2005) membuat karbon aktif serabut kelapa dengan aktivator $ZnCl_2$ menghasilkan absorben yang efektif untuk menghilangkan nitrat dari larutan. Sodeinde (2012) membuat karbon aktif dari tempurung kelapa dengan aktivator KOH dan disimpulkan bahwa karbon aktif yang dibuat mengkatalisis reduksi *hexamine kobalt*. *Hexamine kobalt* meningkat dengan adanya karbon aktif tersebut.

Penelitian yang sebelumnya dilakukan membahas tentang membuat karbon aktif dari kulit salak dengan aktivator K_2CO_3 (A Andreas, dkk., 2017). Berdasarkan referensi diatas, penulis memutuskan untuk menggunakan karbon aktif sebagai

adsorben pada adsorpsi Rhodamine B dari kulit salak dikarenakan karbon aktif lebih selektif, efektif, murah, dan memiliki jangkauan pH yang tinggi.

2. Bahan dan Metode

Seperangkat alat serta bahan eksperimen kali ini antara lain adalah Labu Ukur, Pipet Tetes, *Magnetic Stirrer*, Kertas Saring, Oven, *Furnace*, *Beaker Glass*, *Erlenmeyer*, Blender, Ayakan, Cawan Porselin, Spektrofotometer UV-Vis, Bola Penghisap, Wadah *Sample*, Kulit salak, NaOH 0,1 M, *Rhodamine B*, Aquades.

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahap dimulai dengan pembuatan karbon aktif dari kulit salak, aktivasi karbon aktif, pembuatan limbah *Rhodamine B*, dan proses pengujian. Pembuatan karbon aktif dimulai dengan Kulit salak dipotong berukuran kecil dan dicuci hingga bersih. Setelah dicuci bersih, Kulit salak di oven dengan suhu 100°C selama 100 menit. Kulit salak yang telah dioven selanjutnya di *furnace* dengan suhu 300°C selama 60 menit. Karbon keluaran dari *furnace* digiling menggunakan blender lalu diayak hingga ukuran karbon 80 mesh. Selanjutnya, proses aktivasi dengan cara Karbon bubuk kemudian diaktivasi dengan larutan NaOH 0,1 M selama 24 jam. Selanjutnya karbon aktif dicuci menggunakan aquades hingga pH nya netral, disaring, dan dikeringkan didalam oven dengan suhu 100°C selama 60 menit. Dibuat larutan *rhodamine b* berkonsentrasi 100 mg/L dengan melarutkan 0,1 gram *rhodamine b* dan aquades sebanyak 1000 ml. Selanjutnya dilakukan pengenceran untuk membuat variasi konsentrasi *rhodamine b* 10, 25, dan 50 mg/L dengan cara larutan *rhodamine b* 100 mg/L dipipet secara seri dengan volume masing-masing sebanyak 5; 12,5 dan 25 ml kedalam labu ukur. Selanjutnya kedalam labu ukur ditambah aquades hingga tanda batas dan dihomogenkan. Larutan homogen kemudian diuji dengan Spektrofotometer UV-Vis pada gelombang 484 nm (MZ, S., dkk., 2017).

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Kapasitas Dan Efisiensi Penyerapan

Adapun hasil dari penelitian yang telah dilakukan, kapasitas dan efisiensi penyerapan adsorpsi zat warna *Rhodamine B* menggunakan adsorben kulit salak dapat dilihat pada Tabel 3.1

No	Konsentrasi <i>Rhodamine B</i> (mg/L)	Waktu Kontak (menit)	Kapasitas Penyerapan (mg/g)	Efisiensi Penyerapan (%)
1	10	10	0.0450	45.1
		20	0.0506	50.7
		30	0.0514	51.5
		40	0.0909	91
		50	0.0979	98
2	25	10	0.1287	51.5
		20	0.1457	58.3
		30	0.1817	72.2
		40	0.1942	77.7
		50	0.2135	85.4
3	50	10	0.1745	34.9
		20	0.2276	45.5
		30	0.277	55.5
		40	0.3334	66.7
		50	0.3615	72.3

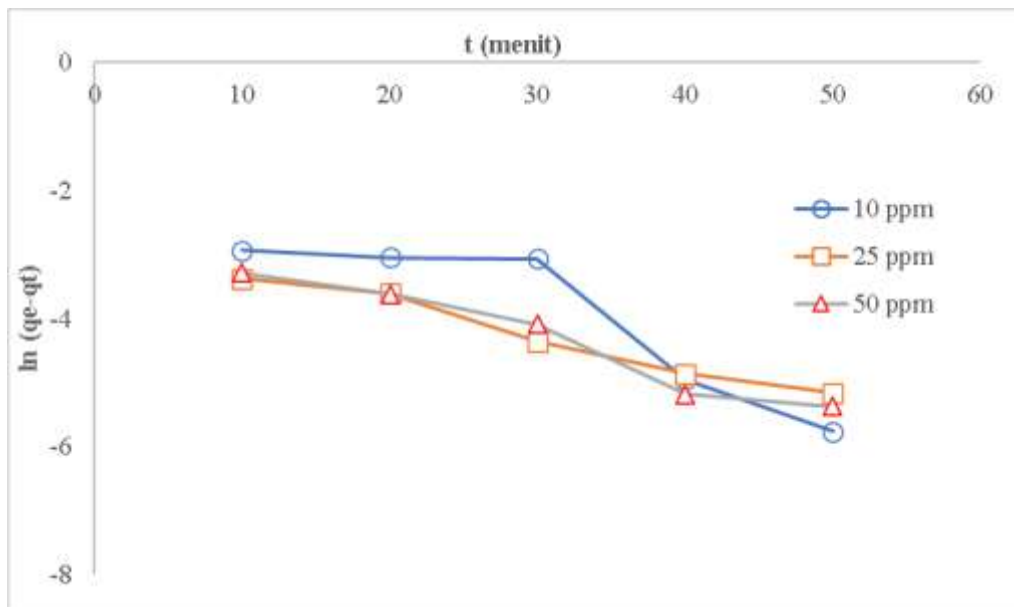
Tabel 1 Kapasitas dan Efisiensi Penyerapan *Rhodamine B*

Tabel 1 menunjukkan kapasitas dan efisiensi penyerapan dengan waktu kontak yang lebih lama cenderung lebih tinggi di masing-masing konsentrasi adsorbat. Hal ini menjelaskan bahwa semakin lama waktu kontak yang terjadi antara adsorben (kulit salak) dengan adsorbat (*Rhodamine B*) maka kapasitas dan efisiensi penyerapan juga akan semakin tinggi (Ariyanto Eko, dkk, 2021).

4. Pengujian Kemampuan Adsorpsi oleh Adsorben Kulit Salak

4.1 Orde Satu Semu (*Pseudo First Orde*)

Kinetika orde satu semu mengasumsikan bahwa kinetika dipengaruhi oleh salah satu reaktan yaitu konsentrasi adsorbat. Orde Satu Semu mengasumsikan bahwa konsentrasi adsorbat berlebih dibandingkan jumlah sisi aktif yang tersedia pada permukaan adsorben. Untuk menentukan persamaan linier dengan memplotkan nilai $\ln(q_e - q_t)$ dan t pada masing-masing konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Kurva persamaan Orde Satu Semu

Gambar 2 merupakan kurva persamaan orde satu semu untuk konsentrasi 10, 25, dan 50 mg/L dengan parameter nilai pada Tabel 2.

Co (mg/L)	Q _{e,exp}	Q _{e,calc}	K ₁ (1/mg.min)	R ²
10	0.0979	0.4634	0.0608	0.6524
25	0.1854	0.1793	0.0519	0.9644
50	0.2723	0.2792	0.0615	0.9238

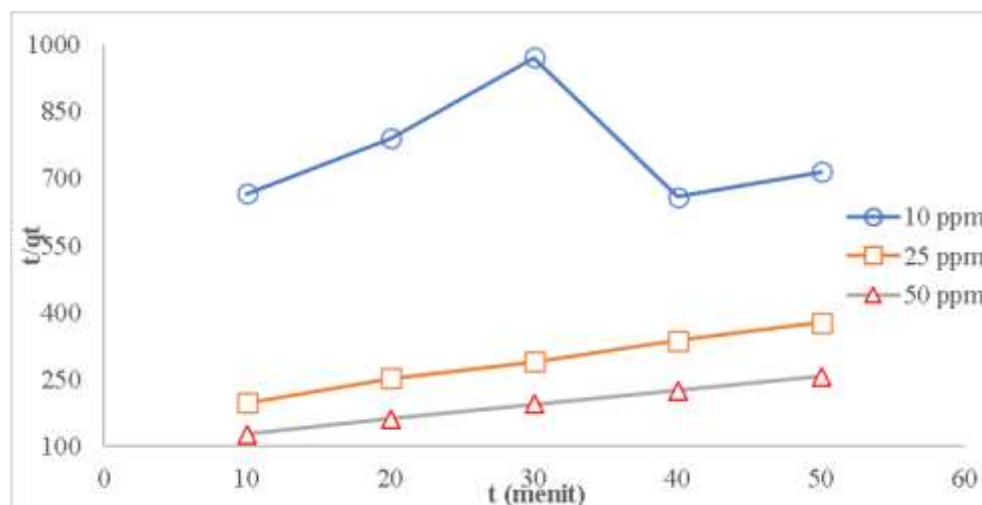
Tabel 2 Parameter Orde Satu Semu

Hasil pengamatan dari Tabel 2 parameter yang menggunakan persamaan kinetika orde satu semu mendapatkan nilai-nilai koefisien korelasi (R^2), yaitu 0.6524 dengan persamaan $y = -0.0608x - 0.769$ untuk konsentrasi awal 10 mg/L, 0.9644 dengan persamaan $y = -0.0519x - 1.7183$ untuk konsentrasi awal 25 mg/L, dan 0.9238 dengan persamaan $y = -0.0615x - 1.2756$ untuk konsentrasi awal 50.

Dari Tabel 2 juga menginformasikan bahwa tetapan laju K_1 memiliki nilai berturut-turut 0.0608, 0.0519 dan 0.0615 $\text{mg}^{-1}\text{min}^{-1}$ untuk konsentrasi 10, 25 dan 50 mg/L. Hal ini mengungkapkan bahwa adsorpsi lebih cepat mencapai keseimbangan dengan konsentrasi awal rhodamine b sebesar 50 mg/L. Hasil tersebut menunjukkan kesesuaian dengan teori dimana semakin besar konsentrasi maka adsorpsi akan semakin cepat mencapai kesetimbangan. Atau dalam artian, semakin besar konsentrasi suatu polutan, maka akan semakin besar penyerapannya serta semakin cepat mencapai titik jenuh penyerapan.

4.2 Orde Dua Semu (*Pseudo Second Orde*)

Model kinetika orde dua semu (*pseudo second order*) dianalisa untuk mengasumsikan bahwa kapasitas adsorpsi proporsional terhadap jumlah *active site* pada adsorben. Untuk menentukan persamaan linier dengan memplotkan nilai t/q_t vs q_e dengan variasi konsentrasi untuk mendapatkan persamaan linier seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Kurva persamaan Orde Dua Semu

Gambar 3 merupakan kurva persamaan orde dua semu untuk konsentrasi 10, 25, dan 50 mg/L dengan parameter nilai pada Tabel 3.

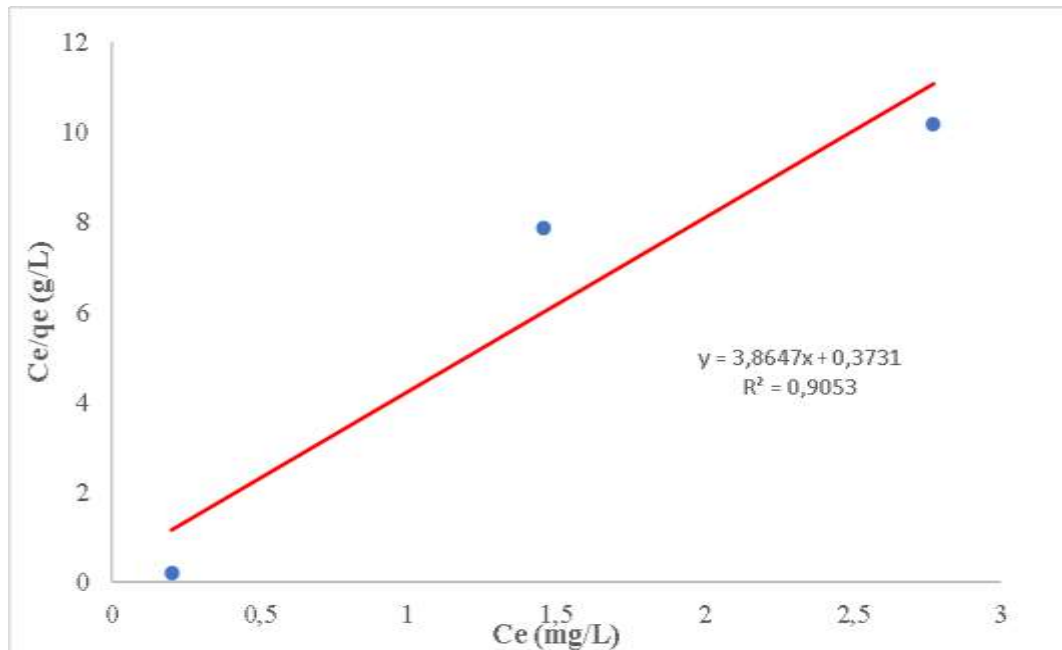
Co (mg/L)	Q _{e,exp}	Q _{e,calc}	K ₂	R ²
10	0.0979	0.1476	1.2252	0.9701
25	0.1854	0.2252	0.2851	0.9966
50	0.2723	0.3117	0.3091	0.9999

Tabel 3 Parameter Orde Dua Semu

Hasil pengamatan pada Tabel 3 menunjukkan nilai-nilai koefisien korelasi (R²) berturut-turut untuk konsentrasi larutan 10, 25, dan 50 mg/L, yaitu 0.9701 dengan persamaan $y = 6.7722x - 37.433$; 0.9966 dengan persamaan $y = 4.4393x + 69.11$, dan 0.9999 dengan persamaan $y = 3.2077x + 33.283$, dengan nilai q_{e,calc} 0.1476 mg/g untuk 10 mg/L, 0.2252 mg/g untuk 25 mg/L, dan 0.3117 mg/g untuk 50 mg/L. Didapatkan nilai K₂ sebesar 1.2252 untuk 10 mg/L, 0.285160 untuk 25 mg/L, dan 0.309147 untuk 50 mg/L. Dengan mempertimbangkan nilai koefisien korelasi (R²) masing-masing konsentrasi diatas, dapat disimpulkan bahwa model orde dua semu dapat menjelaskan dengan baik adsorpsi yang terjadi karena nilainya sangat dekat dengan 1 serta nilai K₂ yang didapat menjelaskan bahwa adsorpsi lebih cepat mencapai keseimbangan dengan konsentrasi awal *rhodamine b* yang lebih rendah. Dari pembahasan diatas, dapat disimpulkan bahwa adsorpsi zat warna *rhodamine b* menggunakan adsorben kulit salak mengikuti model kinetika Ho dan McKay orde dua semu karena dianggap cukup mampu untuk menjelaskan model kinetika dengan baik.

4.3 Isoterm Langmuir

Gambar 4 merupakan Hasil pemetaan dengan grafik untuk persamaan Langmuir. Hasil *ploting* menghasilkan suatu persamaan linier yang dapat digunakan untuk menghitung konstanta, yaitu $y = 3,8647x - 0,3731$, dengan R² = 0,9053.



Gambar 4 Kurva persamaan Langmuir

Persamaan Langmuir ditinjau pada penyerapan adsorpsi monolayer ke permukaan yang memiliki nilai terbatas pada *active site*. q_{\max} adalah jumlah maksimum adsorbat untuk membentuk seluruh pada permukaan adsorben (Loukidou et al., 2004). Parameter pada isotherm Langmuir dapat dilihat pada tabel 4 berikut:

Isotherm Langmuir		
q_{\max} (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2
0.258759	10.35808	0.9053

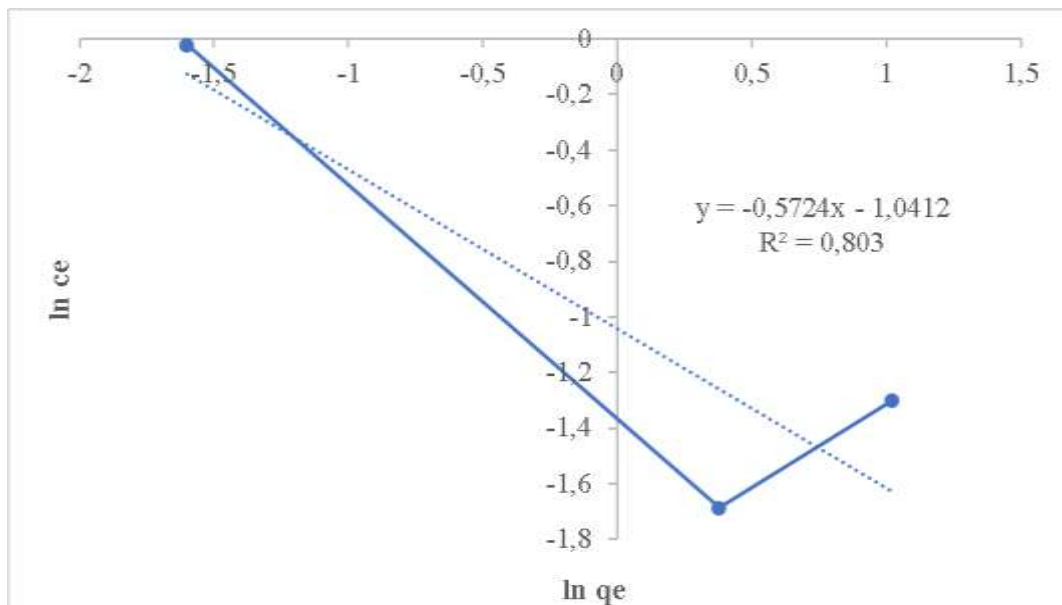
Tabel 4 Parameter Isotherm Langmuir

Proses adsorpsi menggunakan isotherm Langmuir menghasilkan R^2 sebesar 0.9053, q_{\max} sebesar 0.258759 mg/g serta K_L sebesar 10.35808 L/mg. Parameter q_{\max} merupakan konstanta yang menunjukkan zat terlarut yang teradsorpsi pada saat massa adsorben dalam keadaan jenuh atau menunjukkan adsorpsi satu lapis (monolayer) atau dengan kata lain q_{\max} merupakan kapasitas adsorpsi maksimum suatu adsorben dengan satuan mg/g .

Langmuir konstanta adsorpsi (K_L) menunjukkan derajat interaksi adsorbat terhadap adsorben. K_L lebih tinggi nilai yang menunjukkan kuat adsorbat-adsorben berinteraksi sedangkan nilai K_L lebih kecil menunjukkan interaksi yang lemah antara adsorbat molekul dan permukaan adsorben. Apabila nilai K_L -nya untuk semua sistem adsorpsi menunjukkan angka yang besar berarti interaksi antara molekul penyerap dan penyerap relatif kuat karena situs aktif menyerap banyak molekul. Setelah polutan menempati situs, tidak ada adsorpsi lebih lanjut yang dapat terjadi di situs itu. Tidak ada interaksi antara molekul yang teradsorpsi di situs tetangganya, adsorpsi pada permukaan terlokalisasi, yang berarti bahwa atom atau molekul yang teradsorpsi diserap di situs yang pasti dan terlokalisasi (Langmuir, 1917).

Proses adsorpsi *Rhodamine B* oleh karbon aktif dari kulit salak dijelaskan dengan baik oleh bentuk persamaan linier dari isotherm Langmuir. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Xiao et al., (2015) yang menyatakan bahwa adsorpsi zat warna *Rhodamine B* dijelaskan dengan baik menggunakan persamaan langmuir.

4.4 Isotherm Freundlich



Gambar 5 Kurva persamaan Freundlich

Gambar 5 merupakan Hasil pemetaan dengan grafik untuk persamaan Freundlich. Hasil *ploting* menghasilkan suatu persamaan linier yang dapat digunakan untuk menghitung konstanta, yaitu $y = -0.5724x - 1.0412$ dengan $R^2 = 0,8030$. Persamaan regresi linear dari kurva tersebut maka dapat ditentukan koefisien Freundlich (K_F) dan juga nilai koefisien intensitas (n) dari adsorben tersebut. Koefisien adsorpsi (K_F) dapat digunakan sebagai indikator kapasitas adsorpsi dan n adalah intensitas adsorpsi. Parameter pada isotherm Freundlich dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Isotherm Freundlich		
K_F (L/g)	N	R^2
2.83261	-1.74703	0.803

Tabel 5 Parameter Isotherm Freundlich

Dari tabel 5 didapatkan nilai K_F sebesar 2.83261 L/g, dan nilai n sebesar -1.74703. Isotherm Freundlich menggambarkan adsorpsi reversibel dan tidak terbatas pada pembentukan lapisan tunggal (Ahmad et al., 2006). Secara umum semakin tinggi nilai K_F maka semakin tinggi kapasitas adsorpsi (Malik, 2003).

Salah satu konstanta Konstanta Freundlich lainnya adalah n . Intensitas adsorpsi (n) adalah ukuran deviasi dari linearitas adsorpsi yang pada umumnya digunakan untuk mengetahui tingkat kebenaran suatu adsorpsi. Jika nilai untuk $n = 1$ maka adsorpsi yang terjadi adalah linear. Jika nilai untuk $n < 1$ maka proses adsorpsi tersebut adalah proses adsorpsi kimia, namun jika nilai untuk $n > 1$ maka adsorpsi tersebut merupakan adsorpsi fisik. Pada nilai $n > 1$ dapat diidentifikasi bahwa penyerapan adsorben terhadap adsorbat yang digunakan dapat dikatakan baik (Özcan et al., 2005).

5. Simpulan dan Saran

Isotherm adsorpsi Rhodamine B menunjukkan kesesuaian dengan model Langmuir, dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.9053 dengan q_{maks} sebesar 0,258759 mg/g dan K_L sebesar 10,35808 L/mg. Laju adsorpsi zat warna Rhodamine B mengikuti model kinetika orde dua semu, dengan konstanta laju

reaksi (K_2) yang cukup besar yaitu antara 1.2252-0,2851 g/mg.min serta nilai koefisien determinasi (R^2) antara 0.9701-0.9999. Kulit salak sangat layak digunakan sebagai adsorben dan berpotensi menjadi adsorben untuk penyerapan zat warna *Rhodamine B*.

Diharapkan penelitian kedepannya dapat menggunakan rentang variasi massa adsorben dan konsentrasi yang lebih tinggi sehingga dapat diketahui kapasitas adsorpsi maksimal. Diharapkan penelitian selanjutnya dapat menggunakan persamaan kinetika dan kesetimbangan yang berbeda.

6. Daftar Pustaka

- [1] Arasteh, R., Masoumi, M., Rashidi, A. M., Moradi, L., Samimi, V., & Mostafavi, S. T. (2010). Adsorption of 2-nitrophenol by multi-wall carbon nanotubes from aqueous solutions. *Applied Surface Science*, 256(14), 4447–4455. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.01.057>
- [2] Benhammou, A., Yaacoubi, A., Nibou, L., & Tanouti, B. (2005). Adsorption of metal ions onto Moroccan stevensite: Kinetic and isotherm studies. *Journal of Colloid and Interface Science*, 282(2), 320–326. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.08.168>
- [3] Cheremisinoff, P. N., & Fred Ellerbusch. (1980). Carbon adsorption handbook: Edited by Paul N. Cheremisinoff and Fred Ellerbusch. Ann Arbor Science, Ann Arbor. 1978. Pp. 1054. *Environmental Pollution Series B, Chemical and Physical*, 1(2), 165. [https://doi.org/10.1016/0143-148X\(80\)90043-9](https://doi.org/10.1016/0143-148X(80)90043-9)
- [4] Crini, G., & Badot, P. M. (2008). Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: A review of recent literature. *Progress in Polymer Science (Oxford)*, 33(4), 399–447. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2007.11.001>
- [5] da Silva Lacerda, V., López-Sotelo, J. B., Correa-Guimarães, A., Hernández Navarro, S., Sánchez-Báscones, M., Navas-Gracia, L. M., Martín-Ramos, P., & Martín-Gil, J. (2015). Rhodamine B removal with activated carbons obtained from lignocellulosic waste. *Journal of Environmental Management*, 155, 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.03.007>

- [6] Dewi, R., Azhari, A., & Nofriadi, I. (2021). Aktivasi Karbon Dari Kulit Pinang Dengan Menggunakan Aktivator Kimia Koh. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 9(2), 12. <https://doi.org/10.29103/jtku.v9i2.3351>
- [7] Enrico. (2019). Dampak Limbah Cair Industri Tekstil Terhadap Lingkungan dan Aplikasi Tehnik Eco Printing sebagai Usaha Mengurangi Limbah. *Moda*, 1(1), 5–13.
- [8] Kim, T. S., Song, H. J., Dar, M. A., Lee, H. J., & Kim, D. W. (2018). Fast adsorption kinetics of highly dispersed ultrafine nickel/carbon nanoparticles for organic dye removal. *Applied Surface Science*, 439, 364–370. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.01.061>
- [9] Ragadhita, R., Bayu, A., & Nandiyanto, D. (2021). Indonesian Journal of Science & Technology How to Calculate Adsorption Isotherms of Particles Using Two Parameter Monolayer Adsorption Models and Equations. 6(1), 205–234.
- [10] Setiadi, T., Kusmaya, M., & Halim, M. B. (2017). Adsorpsi cadmium (II) dan kromium (II) dalam air oleh limbah lumpur aktif. In *Reaktor* (Vol. 7, Issue 02, p. 77). <https://doi.org/10.14710/reaktor.7.02.77-83>