

PENENTUAN ADSORBSI ISOTERM ARANG AKTIF TEMPURUNG KELAPA PADA SAMPEL AIR SUMUR DESA BATUAH

Achmad Fariqin¹, Firman², Fataa Kusumattaqin³
Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Samarinda
Email: fariqina@gmail.com

ABSTRAK

Konsentrasi zat besi yang melampaui standar pada air sumur dapat menyebabkan masalah kesehatan pada masyarakat yang mengkonsumsinya. Mengurangi konsentrasi besi dapat dilakukan dengan memanfaatkan arang aktif. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui adsorpsi isoterm yang tepat dan menentukan massa yang tepat dalam mengaplikasikan arang aktif pada sampel air sumur, sehingga diperoleh air yang memenuhi standar baku mutu PERMENKES No. 32 Tahun 2017. Arang dari tempurung kelapa diperoleh daengan proses pirolisis oksidasi parsial selama 5 jam dan dilanjutkan dengan aktivasi dengan larutan H₃PO₄ 8%. Dalam penentuan adsorpsi isoterm dilakukan dengan menambahkan 1, 2, 3, 4, dan 5 gram arang aktif untuk setiap 100 ml larutan Fe 10 ppm. Kemudian larutan diaduk selama 120 menit dengan kecepatan 200 rpm dan dianalisa dengan AAS. Berdasarkan tiga persamaan adsorpsi isoterm yaitu Langmuir, Freundlich, dan BET. Diperoleh persamaan adsorpsi isoterm yang terbaik adalah adsorpsi isoterm Langmuir dengan R² = 0,9993 dan kapasitas adsorpsi 0,4340 mg/g. Kemudian dilanjutkan dengan mengaplikasikan kondisi terbaik untuk dilakukan adsorpsi pada sampel air sumur. Hasil dari aplikasi pada sampe air sumur diperoleh konsentrasi akhir larutan sampel yaitu 0,1433mg/L dan telah memenuhi standar baku mutu PERMENKES No. 32 Tahun 2017.

Kata kunci: Politik, Tan Malaka, Negara Indonesia.

PENDAHULUAN

Kelapa merupakan tanaman yang sangat melimpah di Indonesia. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik tahun 2021, Indonesia menghasilkan 2,8 juta ton kelapa (Badan Pusat Statistik, 2021). Namun, jumlah kelapa yang melimpah tidak diimbangi dengan pemanfaatannya, pemanfaatan kelapa masih terbatas pada daging buahnya yang diolah menjadi minyak kelapa atau kopra. Limbah dari pengolahan kelapa berupa tempurung kelapa dianggap tidak terlalu memiliki nilai ekonomis dan ketersediaannya pun melimpah, jika meninjau dari komponen buah kelapa terdiri dari 35% serat, 12% tempurung, 28% daging buah, dan 25% air (Towaha et al., 2008). Dengan banyaknya 12% tempurung kelapa dalam 1 buah, maka akan ada 342 ribu ton tempurung kelapa yang dihasilkan pada tahun 2021. Sehingga perlu adanya pengolahan tempurung kelapa agar tidak menumpuk sebagai limbah. Sebagai upaya pemanfaatan tempurung kelapa, maka salah satu pemanfaatannya adalah dengan dimanfaatkan menjadi arang tempurung kelapa. arang merupakan material yang dihasilkan dari proses pembakaran dan memiliki kandungan dasar karbon. Arang yang telah diaktivasi permukaannya disebut sebagai arang aktif. Penggunaan arang aktif sebagai adsorben banyak digunakan dalam penyerapan polutan (Hidayu & Muda, 2016). Arang aktif dapat menyerap polutan pada udara yang terkontaminasi atau pada air yang membutuhkan proses penjernihan. Penggunaan karbon aktif sebagai bahan adsorben dalam penjernihan air dapat mengatasi pencemaran logam berat (Sujiono et al., 2022). Pencemaran logam besi pada sumber air merupakan salah satu masalah yang masih terjadi. Salah satu sumber pencemaran yang banyak ditemukan di kota-kota besar di Indonesia khususnya Provinsi Kalimantan Timur adalah kandungan senyawa pirit atau besi

sulfida pada batubara. Air tanah yang mengandung senyawa besi terjadi secara alamiah karena adanya kontaminasi pirit atau lokasi tanah yang kaya akan senyawa besi. Senyawa besi yang berlebihan dapat menimbulkan dampak kesehatan pada makhluk hidup, terutama manusia. Oleh karena itu, penelitian tentang aplikasi penyerapan logam Fe dapat menjadi solusi untuk mengatasi pencemaran besi pada air tanah (Azwari, 2020).

Pada penelitian yang dilakukan Khairiah (Khairiah et al., 2021), dilakukan penelitian mengenai aplikasi karbon aktif dengan bahan baku kulit pisang dengan proses karbonisasi dan menggunakan diaktivasi dengan aktivator HCl. Aplikasi yang telah dilakukan dengan senyawa adsorbat yaitu Mn, Zn, Pb, dan Fe yang dibuat dalam konsentrasi tertentu. Pada hasil penelitian ini, dilakukan variasi pada massa, waktu kontak, dan kecepatan pengadukan. Adsorpsi isoterm yang diterapkan pada penelitian ini adalah adsorpsi isoterm Langmuir dengan variasi massa adsorben 0,5 gram, 1 gram, 1,5 gram, dan 2 gram. Dan dari hasil penelitian didapatkan persentase adsorpsi terbaik sebesar 99,27% pada massa 2 gram dengan kecepatan pengadukan 200 rpm dan waktu adsorpsi 120 menit.

Selanjutnya pada penelitian Bindhu yang melakukan beberapa percobaan adsorpsi air sadah dengan menggunakan karbon aktif tempurung kelapa (Bindhu et al., 2021). Tempurung kelapa yang digunakan dikarbonisasi pada suhu 420°C. Terdapat beberapa perlakuan tetap, seperti yaitu kecepatan pengadukan 200 rpm dan volume sampel 100 mL. Variasi yang dilakukan seperti waktu kontak dan penambahan adsorben. Untuk waktu adsorpsi divariasikan 30, 60, 90, 120, dan 180 menit. Untuk variasi adsorben yang ditambahkan setelah didapatkan kondisi waktu kesetimbangan yaitu 1 gram, 2 gram, 2,5 gram, 3 gram, dan 3,5 gram. Waktu kesetimbangan pada penelitian ini terjadi pada waktu 120 menit, dengan persentase adsorpsi air sadah sebesar 62,5%. Variasi massa tertinggi memperoleh persentase adsorpsi tertinggi sebesar 62,5%. Mengenai adsorpsi isoterm yang ditentukan antara adsorpsi isoterm Langmuir dan Freundlich. Persamaan adsorpsi isoterm Langmuir didapatkan bahwa persamaan adsorpsi isoterm Langmuir cocok untuk mengadsorpsi air sadah karena nilai R^2 yang didapatkan sebesar 0,899 lebih mendekati nilai 1 dibandingkan dengan isoterm adsorpsi Freundlich.

Adapun penelitian yang dilakukan oleh Rizqie Chandra yang menentukan adsorpsi isoterm larutan besi dan aplikasinya pada air sumur dengan menggunakan karbon aktif daun nanas (Rizqie Chandra, 2018). Proses analisa adsorpsi telah dilakukan dengan kecepatan pengadukan 100 rpm, volume sampel 100 mL dengan konsentrasi 10 ppm, dan waktu kontak 180 menit. Hasil dari variasi massa 1 gram, 1,5 gram, 2 gram, 2,5 gram, 3 gram, dan 3,5 gram dan adsorpsi yang dihasilkan sebesar 99% pada massa adsorben 3,5 gram. Dan didapatkan adsorpsi isoterm terbaik untuk penyerapan kadar besi (Fe) pada air sumur dengan menggunakan karbon aktif daun nanas diperoleh pada adsorpsi isoterm Langmuir dengan nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 0,9869 dan kapasitas adsorpsi 0,3449 mg/g.

Dengan menggunakan karbon aktif tempurung kelapa, dilakukan penelitian untuk menentukan isoterm adsorpsi untuk menurunkan kadar besi berdasarkan penelitian sebelumnya. Berdasarkan penelitian tentang larutan besi untuk mengidentifikasi tipe adsorpsi isoterm yang paling sesuai dan diaplikasikan untuk mengidentifikasi massa yang ideal untuk menurunkan kadar besi pada air sumur, maka pada penelitian ini digunakan karbon aktif tempurung kelapa yang divariasikan massanya (1, 2, 3, 4, dan 5 gram) (Khairiah et al., 2021). Karena air sumur umumnya digunakan oleh masyarakat untuk kebutuhan sehari-hari sebagai air sanitasi yang higienis dan memenuhi kriteria kualitas PERMENKES No. 32 Tahun 2017, maka digunakan sampel air sumur dari pengolahan air PAMSIMAS Dusun Karya Makmur, KM 27, Desa Batuah, Loa Janan, Kutai Kartanegara. untuk penelitian ini.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode analisis, yaitu dengan menerapkan adsorpsi logam besi dari air sumur yang digunakan secara bersama-sama oleh masyarakat desa Batuah. Diharapkan dengan metode ini dapat menjadi solusi dalam mengatasi logam berat, khususnya logam besi dalam air. Terdapat berbagai parameter seperti pengujian pH dan aroma air yang dapat menjadi salah satu indikator air menurut PERMENKES No 32 Tahun 2017 akan tetapi dalam penelitian ini adalah menentukan kadar logam besi. Metode ini didasarkan pada penentuan isoterm adsorpsi yang dilakukan terlebih dahulu berdasarkan beberapa kondisi optimum adsorpsi yang telah dilakukan dan variasi massa adsorben. Variasi massa adsorben dilakukan sebagai bentuk nyata pengaruh adsorpsi terhadap kuantitas adsorbat. Kemudian hasil adsorpsi dengan arang akan dianalisis dengan spektroskopi serapan atom untuk mengetahui konsentrasi akhir larutan (Sahraeni et al., 2019).

Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian ini yaitu tempurung kelapa, asam fosfat, padatan besi anhidrat, dan sampel air sumur. Dan untuk peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu reaktor pirolisis oksidasi parsial untuk mendapatkan karbon tempurung kelapa, crusher dan screening untuk proses pengecilan ukuran arang, beaker glass sebagai tempat aktivasi, erlenmeyer dan shaker sebagai media adsorpsi, dan alat spektroskopi serapan atom untuk menganalisa konsentrasi larutan setelah adsorpsi.

Tahap Persiapan

Tempurung kelapa dikumpulkan dari pasar lokal di Kota Samarinda, Kalimantan Timur. Kemudian tempurung kelapa dibersihkan dari serat dan isinya. Kemudian dilanjutkan dengan mengeringkan tempurung kelapa hingga kering dan tidak ada bagian yang lembab. Setelah itu, tempurung kelapa kering dikarbonasi dalam reaktor pirolisis oksidasi parsial selama 5 jam dengan laju alir pompa 35 L/menit. Setelah itu, reaktor didinginkan selama 24 jam. Selanjutnya, arang yang telah dihasilkan akan diperkecil ukurannya dengan crusher dan dilanjutkan dengan penyaringan hingga diperoleh ukuran arang yang serupa. Arang yang dihasilkan akan diaktivasi dengan asam fosfat dengan konsentrasi 8% (Yustinah et al., 2019).

Penentuan Adsorpsi Isoterm

Penentuan adsorpsi isoterm dilakukan untuk mengetahui adsorpsi isoterm optimum pada karbon aktif tempurung kelapa sebelum diaplikasikan pada sampel air sumur. Variasi massa yang digunakan sebanyak 1, 2, 3, 4, dan 5 gram dengan kecepatan pengadukan 200 rpm dan lama waktu kontak 120 menit. Larutan Fe awal yang diadsorpsi sebanyak 100 mL dengan konsentrasi 10 ppm. Kemudian larutan hasil adsorpsi akan dianalisa kandungan besi total yang tersisa dengan Spektrofotometri Serapan Atom. Dilanjutkan dengan perhitungan isoterm adsorpsi berdasarkan persamaan isoterm Langmuir, isoterm Freundlich, dan isoterm Brunauer-Emmett-Teller. Perhitungan dilakukan untuk mendapatkan nilai R^2 dan kapasitas adsorpsi (Sirajuddin & Harjanto, 2018). Dilanjutkan dengan pemilihan adsorpsi isoterm terbaik sebagai persamaan untuk menentukan massa adsorben optimum dalam aplikasi adsorpsi pada sampel air sumur. Menganalisis konsentrasi Fe total dari larutan sampel air sumur untuk menentukan berapa banyak Fe yang teradsorpsi. Melanjutkan proses adsorpsi Fe pada air sumur dan menambahkan karbon aktif pada sampel air sesuai dengan persamaan adsorpsi isoterm. Melakukan proses adsorpsi dengan menggunakan bantuan shaker control dengan kecepatan 200 rpm dengan waktu pengadukan 120 menit. Menyaring sampel dengan kertas saring.

Dilanjutkan dengan menganalisa konsentrasi sampel air dengan menggunakan Spektrofotometri Serapan Atom.

HASIL DAN DISKUSI

Penentuan Adsorpsi Isoterm

Sebelum melakukan aplikasi adsorpsi pada sampel air sumur, diperlukan penentuan isoterm adsorpsi. Dalam penentuan isoterm adsorpsi didasarkan pada 3 persamaan yaitu isoterm adsorpsi Langmuir, Freundlich, dan Brauner Emmet Teller.. Hasil tersebut dapat ditampilkan pada tabel 1 yang menunjukkan perbandingan antara variasi massa karbon aktif terhadap persentase adsorpsi.

Tabel 1
Tabel hasil adsorpsi larutan besi

No	Massa Arang Aktif	Konsentrasi awal larutan	Konsentrasi akhir larutan	Persentase penyerapan
1	1 gram	10 ppm	6,0060 ppm	39,94 %
2	2 gram	10 ppm	2,7884 ppm	72,12 %
3	3 gram	10 ppm	1,2882 ppm	87,12 %
4	4 gram	10 ppm	0,5750 ppm	94,25 %
5	5 gram	10 ppm	0,4029 ppm	95,97 %

Dapat disimpulkan bahwa jika massa bertambah dalam adsorpsi, maka persentase adsorpsi semakin besar (A`yunina et al., 2022). Persentase adsorpsi terbesar diperoleh pada massa 5 gram yaitu sebesar 95,97%. Dari hasil tabel tersebut dapat dilakukan perhitungan dengan ketiga persamaan adsorpsi isoterm. Dilanjutkan dengan penentuan isoterm adsorpsi, berdasarkan hasil penentuan isoterm disimpulkan pada data nilai R^2 dan kapasitas adsorpsi. Persamaan Langmuir yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q^0 b} + \frac{1}{Q^0} C_e \quad 1$$

Q_e : konsentrasi fase adsorben kesetimbangan adsorbat (mg/L)

C_e : konsentrasi fase air kesetimbangan adsorbat (mg/L)

Q_0 : kapasitas adsorpsi lapisan tunggal (mg/g)

b : konstanta energi adsorpsi bebas (Aljeboree et al., 2017)

Kemudian untuk persamaan adsorpsi Freundlich sebagai berikut.

$$\log \frac{x}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C_e \quad 2$$

x/m : jumlah adsorbat yang teradsorpsi per berat adsorben (mg/g)

C_0 : konsentrasi adsorbat awal (mg/L)

C_e : konsentrasi kesetimbangan adsorbat setelah adsorpsi (mg/L)

n : Konstanta isoterm Freundlich (g / L)

b : konstanta isoterm Langmuir (L / mg)

k : kapasitas adsorpsi isoterm Freundlich (mg / g) (Hami et al., 2021)

Dana untuk persamaan Breuner Emmet Teller sebagai berikut.

$$\frac{C_e}{(C_0 - C_e) q} = \frac{1}{k_B \cdot q_m} + \left(\frac{k_B - 1}{k_B \cdot q_m} \right) \left(\frac{C_e}{C_0} \right) \quad 3$$

q : jumlah adsorbat yang teradsorpsi per berat adsorben (mg/g)

- qm : adsorbat teradsorpsi maksimum atau kapasitas adsorpsi (mg/g)
 Ce : konsentrasi kesetimbangan adsorbat setelah adsorpsi (mg/L)
 Co : konsentrasi awal larutan (mg/L)
 kB : konstanta interaksi energi pada permukaan (Busroni et al., 2022)

Dari ketiga persamaan tersebut dapat dihitung dan diperoleh data nilai x dan y dari masing-masing persamaan adsorpsi isotherm.

Tabel 2
Tabel data nilai x dan y

Massa karbon aktif (gram)	adsorpsi isotherm langmuir		adsorpsi isotherm freundlich		adsorpsi isotherm BET	
	X	Y	X	Y	X	Y
	(Ce)	(Ce/(x/m))	(log Ce)	(log(x/m))	(Ce/Co)	(Ce/q.(Co-Ce))
1	6,0060	15,0375	0,7786	-0,3986	0,6006	3,7650
2	2,7884	7,7331	0,4454	-0,4430	0,2788	1,0723
3	1,2882	4,4361	0,1100	-0,5370	0,1288	0,5092
4	0,5750	2,4403	-0,2403	-0,6278	0,0575	0,2589
5	0,4029	2,0991	-0,3948	-0,7168	0,0403	0,2187

Berdasarkan data nilai x dan y dari masing-masing persamaan dapat diperoleh nilai R² dan hasil persamaan. Data tersebut ditampilkan dalam tabel 3.

Tabel 3
Tabel hasil proyeksi nilai x dan y

No	Parameter	Langmuir	Freundlich	BET
1	R ²	0,9993	0,9641	0,9652
2	Kapasitas adsorpsi (mg/g)	0,4340	0,2619	0,1642
3	Konstanta Freundlich (g/L)	-	3,7637	-
4	Konstanta Langmuir (L/mg)	1,8450	-	-
5	Tetapan interaksi BET	-	-	-26,0708

Dari ketiga persamaan ditentukan persamaan adsorpsi isotherm Langmuir yang digunakan sebagai persamaan adsorpsi pada proses aplikasi penyerapan Fe pada air sumur. Pemilihan penggunaan persamaan adsorpsi isotherm Langmuir karena pada hasil analisa perhitungan diketahui bahwa, nilai koefisien regresinya mendekati nilai 1 dan memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar dibandingkan hasil persamaan adsorpsi isotherm lainnya. Maka dengan diperolehnya hasil dilanjutkan pada proses aplikasi penyerapan pada air sumur.

Aplikasi Adsorpsi Isotherm

Kondisi air sumur sebelum dilakukan adsorpsi memiliki pengotor yang dapat diamati dengan air yang samar-samar berwarna kuning dan terdapat sedikit endapan. Adapun kondisi lain yang dapat diketahui seperti pH, rasa, dan aromanya. Pada kondisi awal pH air sumur sebesar 6 dan tidak memiliki bau khas sebagaimana air pada umumnya. Dibuat sebanyak 3 pengujian sampel dengan kode sampel AA,

AB, dan AC. Adapun perlakuan kondisi adsorpsi dibuat sama yaitu, waktu pengadukan 120 menit dan kecepatan pengadukan 200 rpm. Untuk massa arang aktif yang digunakan sebanyak 0,3153 gram untuk mengurangi kandungan Fe sebanyak 0,8867 ppm berdasarkan persamaan adsorpsi Langmuir. Diperoleh hasil analisa AAS dari proses penyerapan pada air sumur adalah sebagai berikut.

Tabel 4
Hasil analisa AAS terhadap aplikasi arang aktif

Lokasi Sampel Air	Konsentrasi Awal Sampel	Kode Sampel	Massa Arang Aktif	Konsentrasi Akhir Sampel
Sumur Batuah	1,8867 ppm	Sampel AA	0,3153 gram	0,1202 ppm
		Sampel AB		0,1469 ppm
		Sampel AC		0,1630 ppm

Setelah dilakukan adsorpsi maka dilanjutkan dengan menganalisa pada beberapa parameter pengujian. Sebagai parameter yang utama ialah kandungan Fe total larutan, hasil analisa Fe total untuk sampel AA, AB, dan AC berturut-turut 0,1202 ppm, 0,1469 ppm, dan 0,1630 ppm. Hasil perolehan diketahui nilai hasil adsorpsi berada dibawah 0,2 ppm atau dengan rata-rata konsentrasi 0,1434 ppm. Perolehan Fe total hasil adsorpsi yang berada dibawah 1 ppm ini telah memenuhi standar baku mutu maksimum Fe. Akan tetapi secara teoritis dugaan hasil adsorpsi dengan arang aktif ini berada di kisaran 1 ppm. Hasil konsentrasi Fe total dibawah 1 ppm ini dapat disimpulkan jika kandungan logam berat pada sampel air sumur ini lebih banyak kandungan besi (Fe) dibandingkan logam berat lainnya. Berdasarkan teori jika adsorpsi suatu bahan dipengaruhi oleh banyaknya jenis senyawa yang terdapat dalam larutan. Semakin beragam jenis senyawa dalam larutan maka akan semakin kecil persentase adsorpsi pada salah satu senyawa. Sehingga hasil proses adsorpsi dengan arang aktif berbahan tempurung kelapa dapat digunakan dalam menurunkan kandungan Fe total dan dapat menjernihkan air sumur sesuai dengan PERMENKES No. 32 Tahun 2017.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat diperoleh kesimpulan yaitu adsorpsi isotherm yang sesuai untuk melakukan adsorpsi adalah adsorpsi isotherm Langmuir dengan persamaan regresi linearnya $y = 2.3042x + 1.252$ dan nilai $R^2 = 0.9993$. Serta kapasitas adsorpsinya sebesar 0.4340 mg/g. Aplikasi penyerapan Fe pada sampel air sumur dapat menurunkan kadar senyawa Fe pada larutan sampel air sumur dengan konsentrasi 1.8867 ppm menjadi 0.1434 ppm. Hasil proses adsorpsi memiliki kadar senyawa Fe dibawah 1 ppm. Sehingga adsorpsi dengan menggunakan arang aktif berbahan tempurung dapat memenuhi PERMENKES No. 32 Tahun 2017. Untuk kedepannya sebaiknya dapat dilakukan penelitian yang dapat melakukan pengujian mengenai penurunan persentase adsorpsi dan terkait beberapa parameter lain. Sehingga dapat diperoleh data persentase optimum adsorpsi arang aktif dan diperoleh air yang memenuhi standar baku mutu pada PERMENKES No. 32 Tahun 2017 pada bagian Higine Sanitasi.

REFERENCES

A`yunina, U., Moelyaningrum, A. D., & Ellyke, E. (2022). Pemanfaatan Arang Aktif Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*) untuk Mengikat Kromium (Cr) (Study Pada Limbah Cair Batik). *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(1), 93–98.

<https://doi.org/10.14710/jkli.21.1.93-98>

- Aljeboree, A. M., Alshirifi, A. N., & Alkaim, A. F. (2017). Kinetics and equilibrium study for the adsorption of textile dyes on coconut shell activated carbon. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S3381–S3393. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.01.020>
- Azwari, F. (2020). Fitoremediasi Logam Fe dalam Air Asam Tambang Menggunakan Eceng Gondok (Eichhornia Crassipes). *Buletin Loupe*, 15(02), 45. <https://doi.org/10.51967/buletinloupe.v15i02.41>
- Badan Pusat Statistik. (2021). *Badan Pusat Statistik*. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1040325>
- Bindhu, B. K., Shaji, H., Kuruvila, K. J., Nazerine, M., & Shaji, S. (2021). Removal of total hardness using low cost adsorbents. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1114(1), 012089. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1114/1/012089>
- Busroni, B., Siswanta, D., Jumina, J., Santosa, S. J., & Anwar, C. (2022). Adsorption of Pb(II) on Calix[4]arene Derivatives: Kinetics and Isotherm Studies. *Indonesian Journal of Chemistry*, 22(6), 1480–1489. <https://doi.org/10.22146/ijc.70665>
- Hami, H. K., Abbas, R. F., Azeez, S. A., & Mahdi, N. I. (2021). Azo dye adsorption onto cobalt oxide: Isotherm, kinetics, and error analysis studies. *Indonesian Journal of Chemistry*, 21(5), 1148–1157. <https://doi.org/10.22146/IJC.62326>
- Hidayu, A. R., & Muda, N. (2016). Preparation and Characterization of Impregnated Activated Carbon from Palm Kernel Shell and Coconut Shell for CO₂ Capture. *Procedia Engineering*, 148, 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.463>
- Khairiah, K., Frida, E., Sebayang, K., Sinuhaji, P., & Humaidi, S. (2021). Data on characterization, model, and adsorption rate of banana peel activated carbon (*Musa Acuminata*) for adsorbents of various heavy metals (Mn, Pb, Zn, Fe). *Data in Brief*, 39, 107611. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.107611>
- Rizqie Chandra, P. (2018). *Penentuan Isoterm Adsorpsi Larutan Besi (Fe) dan Aplikasinya Pada Air Sumur Menggunakan Karbon Aktif Daun Nanas*.
- Sahraeni, S., Syahrir, I., & Bagus. (2019). Aktivasi kimia menggunakan NaCl pada pembuatan karbon aktif dari tanah gambut. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2019, 2019*, 145–150.
- Sirajuddin, & Harjanto. (2018). Pengaruh Ukuran Adsorben dan Waktu Adsorpsi Terhadap Penurunan Kadar COD pada Limbah Cair Tahu Menggunakan Arang Aktif Tempurung Kelapa. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M)*, 2018, 42–46.
- Sujiono, E. H., Zabrian, D., Zurnansyah, Mulyati, Zharvan, V., Samnur, & Humairah, N. A. (2022). Fabrication and characterization of coconut shell activated carbon using variation chemical activation for wastewater treatment application. *Results in Chemistry*, 4, 100291. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2022.100291>
- Towaha, J., Indriati, G., & Rusli. (2008). Komponen Buah dan Fitokimia Daging Buah Kelapa Genjah. *Agrin*, 12(1), 1410–1439.
- Yustinah, Hudzaifah, Aprilia, M., & AB, S. (2019). Kesetimbangan Adsorpsi Logam Berat (Pb) Dengan Adsorben Tanah Diatomit Secara Batch. *Jurnal KONVERSI*, 9(1), 17–28.