



Pengolahan Air Asam Tambang dengan Limbah Tempurung Sawit untuk Adsorpsi Fe, Mn, dan pH Pond

Evo Kristina¹, Agus Wirnarno², Harjuni Hasan³, Windhu Nugroho⁴,
Lucia Litha Respati⁵

^{1,2,3,4,5}, Program Studi S1 Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik,
Universitas Mulawarman, Indonesia

Jl. Kuaro, Gn. Kelua, Kec. Samarinda Ulu, Kota Samarinda,
Kalimantan Timur 75119, (0541) 749343.

*Korespondensi penulis: evokristina10@gmail.com

Abstract. One of the negative impacts of the mining process is acid mine drainage which is formed from the oxidation of minerals containing iron sulfur, such as pyrite (FeS₂) and pyrothite (FeS) by oxidizers such as water and oxygen. To handle or control acid mine drainage, one way is to use activated carbon or often referred to as activated charcoal, which is a type of carbon that has a very large surface area. Charcoal is a porous solid that contains 85% to 95% carbon, produced from materials containing carbon by heating at high temperatures without oxygen (pyrolysis). Activated carbon made from palm shells is an adsorbent that can be used to treat coal mine acid water, so that the water meets standards for flowing into the environment. This study used concentration variants of 4 grams, 6 grams, 8 grams and contact times of 30 minutes, 60 minutes and 150 minutes. The results of this study show that the concentration of palm oil shell activated carbon adsorbent influences the reduction of iron (Fe) and manganese (Mn) metal levels as well as the pH conditions in acid mine drainage water. The higher the concentration and the longer the contact time, the more heavy metals are adsorbed, the contact time is the highest. The optimal concentration in this study was 150 minutes and the optimal concentration was 8 grams with physical activation.

Keywords: AAT, Activated Carbon, Palm Shell, Adsorption, Activation, pH, Fe, Mn.

Abstrak. Salah satu dampak negatif dari proses penambangan adalah air asam tambang yang terbentuk dari oksidasi mineral yang mengandung besi sulfur, seperti pirit (FeS₂) dan pirotit (FeS) oleh oksidator seperti air dan oksigen. Untuk menangani atau mengendalikan air asam tambang salah satunya menggunakan Karbon aktif atau sering juga disebut sebagai arang aktif, merupakan suatu jenis karbon yang memiliki luas permukaan sangat besar. Arang merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85% hingga 95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi tanpa oksigen (pirolisis). Karbon aktif yang terbuat dari tempurung sawit adalah adsorben yang dapat dimanfaatkan untuk pengolahan air asam tambang batubara, agar air tersebut memenuhi standar untuk dialirkan kelingkungan. Pada penelitian ini menggunakan varian massa sebanyak 4 gram, 6 gram, 8 gram serta waktu kontak 30 menit, 60 menit dan 150 menit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa massa adsorben karbon aktif tempurung kelapa sawit mempengaruhi penurunan kadar logam besi (Fe) dan mangan (Mn) serta kondisi pH pada air asam tambang semakin banyak massa dan semakin lama waktu kontak maka makin teradsorpsi pula logam berat, waktu kontak paling optimal pada penelitian ini ialah 150 menit serta massa paling optimal ialah 8 gram dengan aktivasi fisik.

Kata kunci : AAT, Karbon Aktif, Tempurung Sawit, Adsorpsi, Aktivasi, pH, Fe, Mn.

1. LATAR BELAKANG

Salah satu dampak negatif dari proses penambangan adalah air asam tambang yang terbentuk dari oksidasi mineral yang mengandung besi sulfur, seperti pirit (FeS₂) dan pirotit (FeS) oleh oksidator seperti air dan oksigen. Hasil oksidasi *pyrite* membentuk air asam tambang dengan pH 2-4 yang menyebabkan menurunnya kualitas air permukaan. Logam yang terkena air dengan kondisi pH ini bisa terlarut dan meningkatkan dampak pencemaran terhadap lingkungan (Azwari, 2009).

Pengendalian terhadap air asam tambang merupakan hal yang harus dilakukan baik selama kegiatan penambangan berlangsung ataupun setelah kegiatan penambangan berakhir. Air asam tambang (*Acid Mine Drainage*) dapat mengakibatkan menurunnya kualitas air, Air permukaan dengan air tanah. Selain itu jika dialirkan ke sungai akan berdampak terhadap masyarakat yang tinggal di sepanjang aliran sungai serta akan mengganggu biota yang hidup di darat juga biota perairan (Hidayat, 2017).

Untuk menangani atau mengendalikan air asam tambang salah satunya menggunakan Karbon aktif atau sering juga disebut sebagai arang aktif, merupakan suatu jenis karbon yang memiliki luas permukaan sangat besar. Arang merupakan suatu padatan berpori yang mengandung 85% hingga 95% karbon, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi tanpa oksigen (pirolisis). Arang selain digunakan sebagai bahan bakar, juga dapat digunakan sebagai adsorben (penyerap). Daya serap ditentukan oleh luas permukaan partikel dan ini dapat menjadi lebih tinggi jika arang tersebut dilakukan aktivasi (Djarmiko dkk, 2008 dan Sigih, 2010)

2. KAJIAN PUSTAKA

Litologi dan Statigrafi

Litologi yang terdapat pada bagian bawah formasi warukin tersusun atas batu lempung dengan sisipan batubara serta lapisan batupasir kuarsa. Pada bagian tengah formasi ini masih diendapkan oleh batu lempung, batubara dan sisipan batupasir kuarsa. Pada bagian atas diendapkan batulempung, sisipan batupasir kuarsa serta sisipan batubara tebal. Dari litologi tersebut diketahui bahwa formasi batuan pembawa air (*aquifer*). Formasi ini termasuk kedalam *confined aquifer* (akuifer tertekan) dikarenakan dibatasi oleh lempung pada bagian atas dan pada bagian bawah dibatasi oleh batubara sebagai *impermeabel* (lapisan kedap air) dan memiliki tekanan air lebih besar dari tekanan atmosfer.

Tempurung Kelapa Sawit

Kelapa sawit (*Elais Guineensis*) merupakan salah satu komoditas perkebunan yang mempunyai peranan penting di Indonesia dan laju pertumbuhan areal perkebunan kelapa sawit ditandai dengan peningkatan kenaikan produksi *crude palm oil* (CPO). Seiring dengan peningkatan luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia, limbah hasil pengolahan kelapa sawit juga meningkat. Dalam proses pengolahan tandan buah segar (TBS) menjadi minyak kelapa sawit akan dihasilkan sisa produksi berupa limbah padat dan cair (Sastrosaryono, 2003).

Karbon Aktif

Menurut Lubis (2020), karbon aktif atau arang aktif didefinisikan sebagai bahan karbon

dengan struktur amorf dan luas permukaan internal yang besar dengan tingkat porositas yang tinggi. Karbon aktif memiliki bentuk karbon mikrokristalin dan non-grafit. Bentuk non-grafit berarti terdiri dari sejumlah kecil hidrogen atau sejumlah besar oksigen dalam strukturnya. Karbon aktif memiliki kinerja tinggi dalam konduktivitas listrik, stabilitas termal yang baik, serta reaktivitas permukaan yang menjadi alasan utama karbon aktif digunakan. Karbon aktif mengandung *mikropori*, *mesopori*, dan *makropori* dalam strukturnya. Struktur ini memiliki peran penting dalam menentukan kinerja karbon aktif sebagai adsorben. Karbon aktif dikategorikan dalam karbon nongrafit karena memiliki kerapatan rendah dan struktur berpori. Karbon aktif dapat diproduksi dari bahan yang mengandung karbon salah satunya dari limbah pertanian seperti cangkang kelapa sawit, kulit buah, tempurung, akar, batang, kulit kayu, bunga, daun, kulit buah. Beberapa kriteria pemilihan bahan baku untuk membuat karbon aktif yaitu kandungan karbon tinggi, kandungan zat anorganik rendah agar hasil abu rendah, berlimpah sehingga biayanya rendah, dan kemungkinan menghasilkan karbon aktif dengan hasil persen tinggi.

Karbonisasi

Karbonisasi adalah proses meningkatkan bahan dasar yang mengandung karbon pada suhu dibawah tertentu dalam tekanan atmosfer *inert*. Selama proses karbonisasi berlangsung akan menghilangkan sebagian besar unsur non karbon (oksigen, hidrogen dan nitrogen) kedalam bentuk/jenis gas yang diuapkan (Mudaim, 2021)

Aktivasi

Proses aktivasi merupakan proses untuk menghilangkan zat-zat pengotor yang melapisi permukaan arang sehingga meningkatkan porositas karbon aktif. Arang yang dihasilkan, selanjutnya diaktivasi dengan menggunakan bahan kimia yang berbeda, antara lain: HCL, HNO₂, H₂SO₄, H₃PO₄, NaOH, NaCl, KCl, ZnCl₂ dan CaCl₂. Dari percobaan yang dilakukan, ternyata daya serap arang aktif ditentukan oleh jenis bahan dasar dan aktivator yang digunakan. Pada karbon aktif yang mengalami perlakuan khusus berupa proses aktivasi secara fisika maupun aktivasi secara kimia. Aktivasi tersebut menyebabkan pori- pori yang terdapat pada struktur molekulnya terbuka lebar sehingga daya serapnya akan semakin besar untuk menyerap bahan berfase cair maupun berfase gas (Sembiring dan Sinaga, 2003).

Adsorpsi

Adsorpsi merupakan peristiwa penyerapan suatu zat pada permukaan zat lain. Zat yang diserap disebut adsorbat dan zat yang menyerap disebut adsorben. Secara umum adsorpsi adalah penggumpalan substansi terlarut yang berada di dalam larutan oleh zat penyerap. Adsorpsi juga

masuknya bahan yang mengumpul dalam suatu zat padat. Keduanya sering muncul secara bersama dengan suatu proses dan disebut dengan absorpsi (Giyatmi, 2008).

Air Asam Tambang

Menurut Emer dkk., (2005) dan Gautama (2007) dalam Devy (2019) air asam tambang yang bersifat asam yang timbul aktivitas penambangan, seperti air lindi (*leachate*), rembesan (*seepage*), dan saluran terbuka tambang. Air yang bersifat asam mempunyai keasaman besar, yang sering ditandai dengan pH rendah (< 5), hasil dari reaksi oksidasi mineral sulfida seperti pirit (FeS_2), yang membentuk endapan ferihidroksida, sulfat, dan pelepasan H^+ kedalam air.

Logam Berat

Logam berat adalah unsur kimia yang memiliki berat jenis lebih besar dari 5 mg/m^3 . Logam berat terdiri atas logam berat esensial dan *nonessential*. Logam berat esensial adalah logam berat yang diperlukan untuk proses metabolisme makhluk hidup dalam kadar tertentu, misalnya seng (Zn), tembaga (Cu), besi (Fe), kobalt (Co) dan mangan (Mn). Logam berat esensial diperoleh secara alamiah dari aktifitas logam berat nonessential, logam berat yang tidak diperlukan dalam metabolisme makhluk hidup. Keberadaan logam berat nonessential dapat menimbulkan efek toksik, misalnya merkuri (Hg), kadmium (Cd), timbal (Pb), dan krom (Cr). Kementerian negara kependudukan dan lingkungan hidup mengelompokkan logam berat berdasarkan sifat toksisitasnya. Logam berat yang memiliki toksisitas tinggi antara lain Hg, Cd, Pb, Cu dan Zn. Logam Cr, Ni, dan Co memiliki toksisitas sedang. Sementara Fe dan Mn termasuk logam berat dengan toksisitas rendah (Rumhayati, 2019).

pH

pH atau derajat keasaman adalah teori yang dipergunakan untuk menjelaskan sifat-sifat senyawa dalam air berupa asam dan basa. Asam adalah senyawa yang menghasilkan ion hidrogen (H^+) bila dilarutkan dalam air, sedangkan basa adalah senyawa-senyawa yang menghasilkan ion hidroksil (OH^-) bila dilarutkan dalam air. Cirinya ialah larutan asam yang didasarkan atas aktivitas ion hidrogen (H^+), H^+ dan OH^- berasal dari ionisasi molekul H_2O , pengukuran hidrogen (H) dinyatakan dalam satuan pH diartikan logaritma dari kebalikan kegiatan ion H^+ yang ditulis (Effendi, 2003)

Regresi

Pada analisis korelasi terdapat suatu angka yang disebut dengan koefisien determinasi, yang besarnya adalah kuadrat dari koefisien korelasi (R^2). Koefisien ini disebut dengan koefisien penentu. Karena *varians* yang terjadi pada variabel dependen dapat dijelaskan melalui *varians* yang terjadi pada variabel independen. Analisis korelasi ini memiliki hubungan

yang fungsional terhadap analisis regresi. Setiap uji regresi otomatis ada uji korelasinya, tetapi sebaliknya uji korelasi belum tentu diteruskan untuk uji regresi (Riduwan, 2003).

3. METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi Penelitian

Adapun proses dalam penelitian ini dilakukan pada beberapa lokasi meliputi :

- Lokasi pengambilan sampel air asam tambang dilakukan di *settling pond* di PT. Adimitra Baratama Nusantara yang secara geografis terletak pada koordinat sebagai berikut X : 528002 Y: 9921597 dan Z : 12
- Pengambilan sampel tempurung kelapa sawit dilakukan di salah satu perusahaan sawit PT. Dharma Satya Nusantara.
- Proses pembuatan karbon aktif tempurung kelapa sawit serta pengujian karakteristi karbon aktif tempurung kelapa sawit sesuai dengan SNI 06-3720-1995, dilaksanakan di laboratorium Teknologi Mineral dan Batubara, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
- Proses aktivasi Kimia dan Fisik Karbon aktif tempurung sawit dilakukan di laboratorium Lingkungan, Fakultas Teknik Lingkungan.
- Pengujian Kadar logam besi (Fe) dan mangan menggunakan *Spektrometer* Serapan Atom (SSA) dilakukan di laboratrium Kimia Politeknik Negri Samarinda.

Waktu Penelitian

Waktu penelitian ini berlangsung selama kurang lebih 3 bulan, dari bulan Juli - September 2024 terhitung sejak tahapan persiapan dan pelaksanaan penelitian hingga pada proses analisis pengolahan data.

Tahapan Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan pendekatan masalah berupa pengambilan bahan, baik berupa dasar teori maupun data-data yang diambil langsung dilapangan, sehingga dilakukan beberapa tahapan yang meliputi tahap pralapangan, tahap lapangan dan tahap pasca lapangan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Air Asam Tambang (ATT)

Pada penelitian ini menggunakan karbon aktif yang terbuat dari tempurung kelapa sawit sebagai adsorben dalam pengolahan air asam tambang dengan skala laboratorium, penelitian

ini bermanfaat sebagai alternatif pemanfaatan limbah tempurung kelapa sawit terhadap air asam tambang, karbon aktif tempurung kelapa sawit merupakan salah satu bahan baku pembuatan karbon aktif yang berpotensi sebagai karbon aktif yang baik dalam penelitian ini karbon aktif tempurung kelapa sawit digunakan untuk mengadsorpsi kandungan Logam berat besi (Mn) dan Mangan (Mn) pada air asam tambang. Sampel air asam tambang pada penelitian ini diambil dari *inlet settling pond* PT ABN.

Tabel 1 Hasil Awal Sampel Air asam Tambang

No	Parameter	Satuan	Kondisi awal	Baku mutu menurut PerMen LHK No 05 Tahun 2022
1	pH	-	3,34	6-9
2	Logam Besi (Fe)	Mg/L	20,2788	7
3	Logam Mangan (Mn)	Mg/L	5,8317	4

Berdasarkan dengan Tabel 1 diatas didapatkan kondisi awal pada sampel air asam tambang (ATT) pada penelitian ini kandungan logam besi (Fe) sebesar 20,2788 mg/l, kandungan logam mangan (Mn) sebesar 5,817 mg/l dan pH awal sampel air asam tambang sebesar 3,34. Hasil dari kondisi awal ini maka sampel air asam tambang ini menunjukkan tidak memenuhi baku mutu menurut PerMen LHK No 05 tahun 2022 dimana standar baku mutu yang dapat beredar pada perairan menurut PerMen LHK No 05 tahun 2022 adalah untuk kandungan logam besi (Fe) sebesar 7 mg/l, untuk kandungan logam mangan (Mn) sebesar 4 mg dan kondisi pH aman sebesar 6-9 sehingga pada penelitian ini dilakukanya proses adsorpsi sehingga menghasilkan air yang sesuai dengan standar baku mutu pada proses adsorpsi ini digunakan karbon aktif tempurung kelapa sawit yang akan berperan sebagai adsorben.

Karbon Aktif Tempurung Sawit

Bahan baku utama dalam pembuatan karbon aktif pada penelitian ini adalah tempurung kelapa sawit, tahapan pembuatan karbon aktif tempurung kelapa sawit ini meliputi, Preparasi, karbonisasi, dan aktivasi. Pada penelitian ini ada 2 aktivasi yaitu fisik dan kimia menggunakan cairan aktivator NaOH 1 M. Sebelum melakukan penelitian ini karbon aktif tersebut harus memenuhi syarat baku mutu arang aktif sesuai dengan SNI 06-3730-1990 antara lain pengujian kadar air, kadar abu, *volatile matter*, dan *fixed carbon* agar proses pengaplikasian dalam *mentreatment* limbah air asam tambang mencapai tingkat adsorpsi terbaik, dengan penguraian sebagai berikut :

Kadar air pada karbon aktif tempurung sawit

Pengujian kadar air (Tabel 2) dilakukan dengan 3 sampel dengan 2 aktivasi karbon aktif yang berbeda, berdasarkan pengujian kadar air aktivasi kimia didapatkan pada sampel 1

dengan berat cawan kosong sebesar 18,8115 gram, berat cawan kosong + berat sampel 19,820 gram dan berat setelah dioven sebesar 19,7602 gram sehingga pada sampel 1 didapatkan kadar air sebesar 5,939 %. Sampel 2 dengan berat cawan kosong sebesar 15,3837 gram, berat cawan kosong + berat sampel 16,392 gram dan berat setelah dioven sebesar 16,3361 gram sehingga pada sampel 2 didapatkan kadar air sebesar 5,544 %. Sampel 3 dengan berat cawan kosong sebesar 15,4211 gram, berat cawan kosong + berat sampel 16,429 gram dan berat setelah dioven sebesar 16,3756 gram sehingga pada sampel 3 didapatkan kadar air sebesar 5,336 %. Sehingga didapatkan rata-rata dari pengujian kadar air aktivasi kimia ini ialah sebesar 5,606 %.

Tabel 2 Hasil Pengujian Kadar air

karbon aktif	Berat cawan kosong + tutup (gram)	Berat cawan kosong + Sampel (gram)	Berat Cawan + Sampel kering (gram)	Kadar air (%)	Kadar air rata- rata (%)
aktivasi kimia	18,8115	19,820	19,7602	5,939	5,606
	15,3837	16,392	16,3361	5,544	
	15,4211	16,429	15,4211	5,336	
aktivasi fisik	15,0844	16,086	16,0481	3,784	3,647
	12,6932	13,695	13,6593	3,554	
	15,1350	16,137	16,1005	3,604	

Kadar abu pada karbon aktif tempurung sawit

Pengujian kadar abu pada penelitian ini dilakukan menggunakan 3 sampel dengan 2 aktivasi yaitu aktivasi kimia dan aktivasi fisik. Pada aktivasi kimia didapatkan pada sampel 1 berat cawan kosong sebesar 43,5302 gram, berat cawan + berat sampel sebesar 44,5310 gram, berat cawan + sampel kering sebesar 43,6145 gram didapatkan kadar abu sampel 1 sebesar 8,423 %. Pada sampel 2 berat cawan kosong sebesar 41,4036 gram, berat cawan + berat sampel sebesar 42,4040 gram, berat cawan + sampel kering sebesar 41,2857 gram didapatkan kadar abu sampel 2 sebesar 8,207 %. Pada sampel 3 berat cawan kosong sebesar 42,3817 gram, berat cawan + berat sampel sebesar 43,3819 gram, berat cawan + sampel kering sebesar 42,4717 gram didapatkan kadar abu sampel 3 sebesar 8,998 % , untuk rata-rata kadar abu pada aktivasi kimia adalah sebesar 8,543 %.

Tabel 3 Hasil Pengujian Kadar abu

karbon aktif	Berat cawan kosong + tutup (gram)	Berat cawan kosong + Sampel (gram)	Berat Cawan + Sampel kering (gram)	Kadar abu (%)	Kadar abu rata-rata (%)
aktivasi kimia	43,5302	44,5310	43,6145	8,423	8,543
	41,4036	42,4040	41,2857	8,207	

	42,3817	43,3819	42,4717	8,998	
aktivasi fisik	42,4202	43,4214	42,5178	9,748	10,268
	42,3071	43,3086	42,4109	10,364	
	41,7250	42,7267	41,8320	10,682	

Kadar *volatile metter* karbon aktif tempurung sawit

Pengujian *volatile matter* pada penelitian ini menggunakan 3 sampel dengan 2 aktivasi yaitu aktivasi kimia dan aktivasi fisik, pada aktivasi kimia sampel 1 didapatkan berat cawan kosong sebesar 41,1645 gram, berat cawan kosong + sampel sebesar 42,1678 gram, berat cawan + sampel kering sebesar 41,9481 gram, didapatkan kadar zat mudah menguap sebesar 21,878 %. Pada sampel 2 didapatkan berat cawan kosong sebesar 43,3081 gram, berat cawan kosong + sampel sebesar 44,3113 gram, berat cawan + sampel kering sebesar 44,0942 gram, didapatkan kadar zat mudah menguap sebesar 21,641 %. Pada sampel 3 didapatkan berat cawan kosong sebesar 42,2192 gram, berat cawan kosong + sampel sebesar 43,2226 gram, berat cawan + sampel kering sebesar 43,0024 gram, didapatkan kadar zat mudah menguap sebesar 21,945 %. Untuk rata-rata *volatile matter* untuk aktivasi kimia adalah 21,821 %

Tabel 4 Hasil kadar *Volatile matter*

karbon aktif	Berat cawan kosong + Tutup (gram)	Berat cawan kosong + Sampel (gram)	Berat Cawan + Sampel kering (gram)	Kadar <i>Volatile matter</i> (%)	rata-rata VM (%)
aktivasi kimia	41,1645	42,1678	41,9483	21,878	21,821
	43,3081	44,3113	44,0942	21,641	
	42,2192	43,2226	43,0024	21,945	
aktivasi fisik	43,1429	44,1459	43,8989	24,626	23,936
	40,2106	41,2139	40,9711	24,200	
	40,6984	41,7000	41,4698	22,983	

Kadar *fixed carbon* karbon aktif tempurung sawit

Fixed carbon atau massa karbon yang tersisa pada saat proses pirolisis, pada aktivasi kimia didapatkan nilai *fixed carbon* sebesar 64,030 %, pada aktivasi fisika didapatkan nilai *fixed carbon* sebesar 62,151 %. Dimana nilai *fixed carbon* pada penelitian ini sesuai atau memadai dengan Standar Nasional Indonesia 06-3730-1995 tentang arang aktif.

Tabel 5 Hasil *fixed carbon*

<i>Fixed carbon (%)</i>	
Aktivasi kimia	64,030
Aktivasi fisik	62,151

karakteristik karbon aktif

Dari rangkaian proses pembuatan karbon aktif tempurung sawit dengan aktivasi fisik

dan aktivasi kimia sesuai dengan standar mutu arang aktif teknis yang termuat pada SNI 06-3730-1995, antara lain termuat : kadar air, kadar abu, *volatile matter*, *fixed carbon*, dan uji rendemen. Tabel 6 merupakan hasil pengujian dari karakteristik karbon aktif tempurung sawit (Perhitungan terlampir pada lampiran B):

Tabel 6 Karakteristik Karbon Aktif Tempurung Sawit

No	Parameter Pengujian	Syarat Mutu Arang aktif (%)	Hasil Pengujian (%)	
			Aktivasi kimia	Aktivasi Fisik
1	Kadar air	Maks 15 %	5,0606	3,0647
2	Kadar abu	Maks 10 %	8,543	10,265
3	<i>Volatile metter</i>	Maks 25 %	21,821	23,936
4	<i>Fixed Carbon</i>	Maks 65 %	64,030	62,151

Berdasarkan Tabel 6 diatas maka karbon aktif tempurung sawit memenuhi syarat baku mutu arang aktif pada SNI 06-3730-1990.

Hubungan massa adsorben karbon aktif tempurung sawit dan waktu kontak terhadap kondisi pH air asam tambang

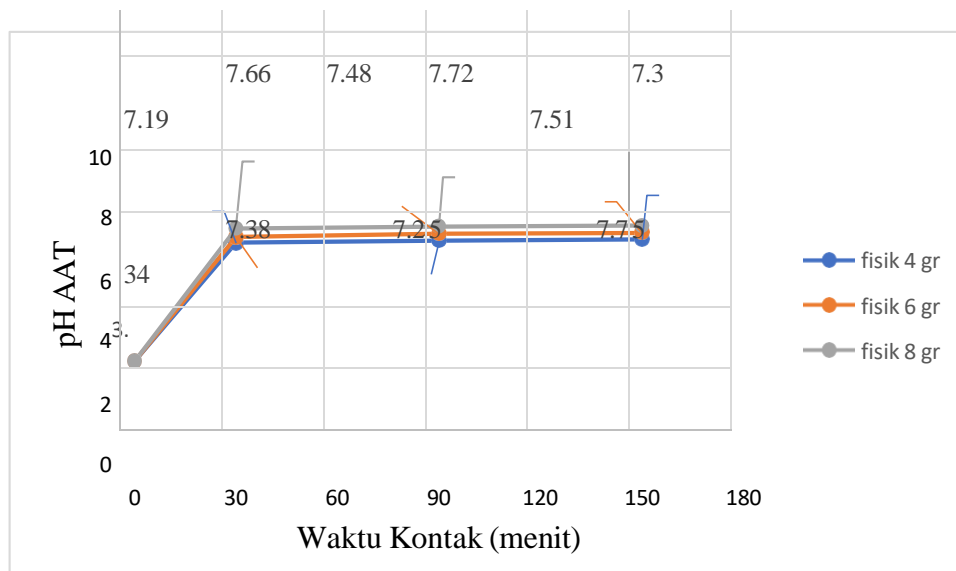
Analisis kondisi awal pH air asam tambang pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh massa adsorben dan waktu kontak dari karbon aktif tempurung kelapa sawit dengan kondisi pH air asam tambang, massa karbon aktif dalam penelitian ini yaitu 4 gram, 6 gram dan 8 gram. Dengan lama waktu kontak karbon aktif dalam penelitian ini yaitu 30 menit, 90 menit dan 150 menit dengan laju pengadukan 100 rpm.

Tabel 7 Hasil pengaruh perubahan pH AAT

Aktivasi	Nama <i>sample</i>	Volume AAT	Massa	Konsentrasi	Waktu Kontak	RPM	Nilai pH AAT		% Kenaikan
		(ml)		mg/L	(Menit)		Awal	Akhir	
		(Gram)							
Fisik	F 4/30		4	0,016	30			7,19	53,55
	F 4/90				90			7,25	53,93
	F 4/150				150			7,3	54,25
	F 6/30		6	0,024	30			7,38	54,74
	F 6/90				90			7,48	55,35
	F 6/150				150			7,51	55,53
	F 8/30		8	0,032	30			7,66	56,40
	F 8/90				90			7,72	56,74
	F 8/150				150			7,75	56,90
	K 4/30				30			8,25	59,52
	K 4/90				90			8,33	59,90

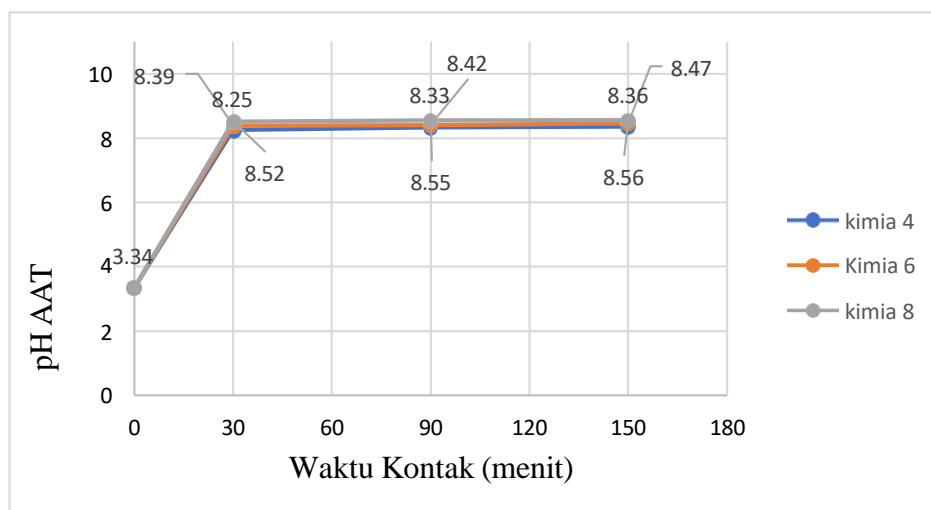
Kimia	K	250	4	0,016	150	100	3,34	8,36	60,05
	4/150								
	K 6/30				30			8,39	60,19
	K 6/90	6	0,024	150	90			8,42	60,33
	K								
	6/150				150			8,47	60,57
	K 8/30	8	0,032	30	90			8,52	60,80
	K 8/90							8,55	60,94
	K				150			8,56	60,98
	8/150								

Tabel 7 nilai pH terendah pada massa 4 gram dengan waktu kontak 30 menit dimana perubahan pH dari 3,34 menjadi 7,19 dan perubahan pH tertinggi di massa karbon aktif 8 gram dengan waktu kontak 150 menit dari pH 3,34 menjadi 8,56. Penelitian ini didapatkan bahwa massa karbon aktif dan waktu kontak karbon aktif berpengaruh terhadap perubahan pH air asam tambang, semakin banyak massa yang digunakan dan semakin lama waktu kontak karbon aktif maka semakin tinggi nilai pH.



Gambar 1 Hubungan pH AAT aktivasi fisik karbon aktif dengan waktu Kontak

Berdasarkan grafik pada Gambar 1 perubahan pH aktivasi fisik dapat dilihat karbon aktif tempurung sawit dan waktu kontak berpengaruh terhadap perubahan pH air asam tambang, pada massa 4 gram dengan waktu kontak 30 menit didapatkan pH akhir 7,19 waktu kontak 90 menit pH akhir 7,25 dan waktu kontak 150 menit didapatkan pH akhir 7,3. Pada massa 6 gram dengan waktu kontak 30 menit didapatkan pH akhir 7,38 waktu kontak 90 menit pH akhir 7,48 dan waktu kontak 150 menit didapatkan pH akhir 7,51. Pada massa 8 gram dengan waktu kontak 30 menit didapatkan pH akhir 7,66 waktu kontak 90 menit pH akhir 7,72 dan waktu kontak 150 menit pH akhir 7,76.



Gambar 2 Hubungan pH AAT aktivasi kimia karbon aktif dengan waktu Kontak

Hubungan antara pH AAT karbon aktif yang diaktivasi secara kimia dengan waktu kontak berpengaruh terhadap perubahan pH air asam tambang, pada massa 4 gram dengan waktu kontak 30 menit didapatkan pH 8,25 waktu kontak 90 menit didapatkan pH 8,33 dan waktu kontak 150 menit didapatkan pH 8,36 , pada massa 6 gram dengan waktu kontak 30 menit didapatkan pH 8,39 waktu kontak 90 menit didapatkan pH 8,42 dan waktu kontak 150 menit didapatkan pH 8,47. Pada massa 8 gram dengan waktu kontak 30 menit didapatkan pH 8,52 waktu kontak 90 menit didapatkan pH 8,55 dan waktu kontak 150 menit didapatkan pH 8,56 dapat dilihat pada Gambar 2.

Perubahan Massa adsorben terhadap Konsentrasi kadar besi (Fe) air asam tambang

Perubahan kondisi kadar besi pada air asam tambang yang diujikan dapat diamati pada Tabel 8

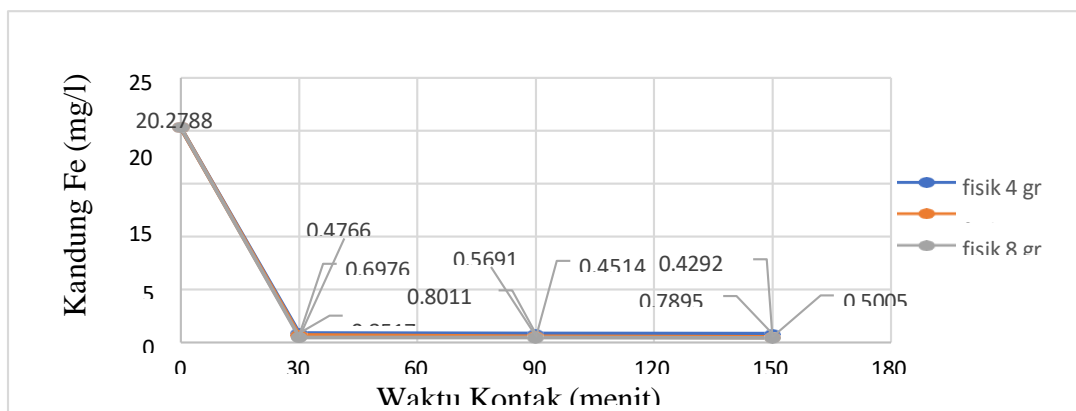
Tabel 8 Perubahan Nilai Kadar Besi (Fe) pada air asam tambang

Aktivasi	Nama sample	Massa (Gram)	Waktu Kontak (Menit)	Nilai Fe		% Penurunan
				Awal	akhir	
Fisik	F 4/30	4	30		0,8517	95,80
	F 4/90		90		0,8011	96,05
	F 4/150		150		0,7895	96,11
	F 6/30	6	30		0,6976	96,56
	F 6/90		90		0,5691	97,19
	F 6/150		150		0,5005	97,53
	F 8/30	8	30		0,4766	97,65
	F 8/90		90		0,4514	97,77
	F 8/150		150		0,4292	97,88

Kimia	K 4/30	4	30	20,2788	0,3901	98,08
	K 4/90		90		0,389	98,08
	K 4/150		150		0,3142	98,45
	K 6/30	6	30		0,2871	98,58
	K 6/90		90		0,2772	98,63
	K 6/150		150		0,2302	98,86
	K 8/30	8	30		0,1901	99,06
	K 8/90		90		0,1297	99,36
	K 8/150		150		0,1072	99,47

Penelitian ini menggunakan karbon aktif tempurung kelapa sawit sebagai adsorben sebagai media adsorpsi besi (Fe), tempurung sawit dimasukan kedalam 250 ml air asam tambang yang memiliki nilai kadar besi sebesar 20,2788 mg/L dalam penelitian ini massa adsorben yang digunakan ialah sebesar 4 gram, 6 gram, dan 8 gram dengan variasin waktu kontak 30 menit, 60 menit dan 150 menit.

Berdasarkan (Tabel 8) didapatkan perubahan kondisi awal kadar logam berat besi (Fe) pada air asam tambang yang kondisi awalnya 20,2788 mg/L, lalu dilakukan adsorpsi menjadi rata-rata 0,4378 mg/L, perubahan nilai kondisi kadar besi (Fe) dapat juga dilihat pada Grafik 4

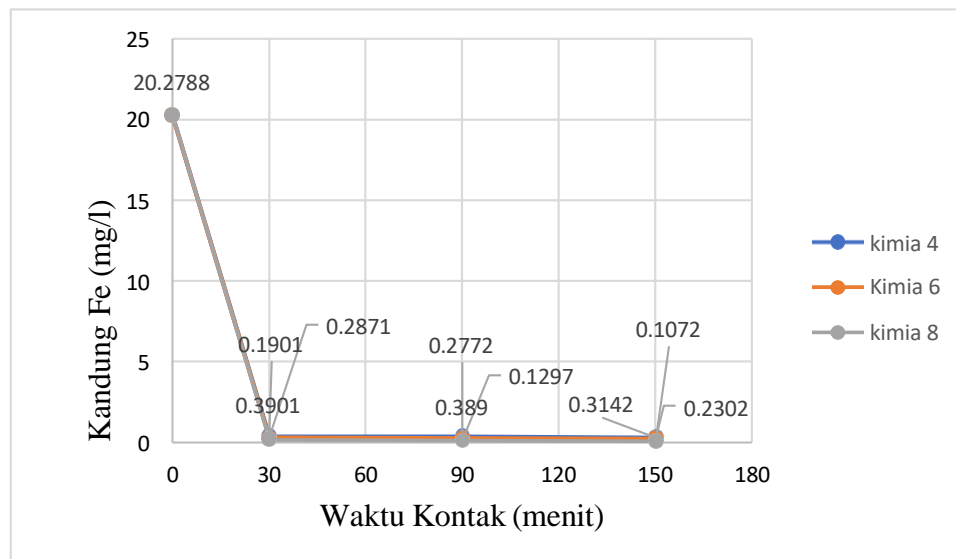


Gambar 3 Grafik perubahan nilai kadar besi (Fe) aktivasi fisik

Perubahan kadar besi (Fe) untuk aktivasi fisik penggunaan karbon aktif tempurung kelapa sawit massa 4 gram dengan variasi waktu 30 menit didapatkan nilai akhir kandungan besi (Fe) sebesar 0,8517 mg/L, dengan variasi waktu kontak 90 menit didapatkan nilai akhir kandungan besi (Fe) sebesar 0,8011 mg/L, dengan variasi waktu kontak 150 menit didapatkan nilai akhir kandungan besi (Fe) sebesar 0,7895 mg/L (Gambar 4)

Karbon aktif tempurung kelapa sawit aktivasi fisik massa 6 gram dengan variasi waktu 30 menit didapatkan nilai akhir kandungan besi (Fe) sebesar 0,6976 mg/L, dengan variasi waktu kontak 90 menit didapatkan nilai akhir kandungan besi (Fe) sebesar 0,5691 mg/L, dengan

variasi waktu kontak 150 menit didapatkan nilai akhir kandungan besi (Fe) sebesar 0,5005 mg/L.



Gambar 4 Grafik perubahan nilai kadar besi (Fe) aktivasi kimia

Perubahan kadar besi (Fe) untuk aktivasi kimia penggunaan karbon aktif kelapa sawit massa 4 gram dengan variasi waktu 30 menit didapatkan nilai akhir kandungan besi (Fe) sebesar 0,3901 mg/L, dengan variasi waktu kontak 90 menit didapatkan nilai akhir kandungan besi (Fe) sebesar 0,389 mg/L, , dengan variasi waktu kontak 150 menit didapatkan nilai akhir kandungan besi (Fe) sebesar 0,3142 mg/L pada Gambar 5.

Untuk aktivasi kimia penggunaan karbon aktif tempurung kelapa sawit massa 6 gram dengan variasi waktu 30 menit didapatkan nilai akhir kandungan besi (Fe) sebesar 0,2871 mg/L, dengan variasi waktu kontak 90 menit didapatkan nilai akhir kandungan besi (Fe) sebesar 0,2771 mg/L, dengan variasi waktu kontak 150 menit didapatkan nilai akhir kandungan besi (Fe) sebesar 0,2302 mg/L.

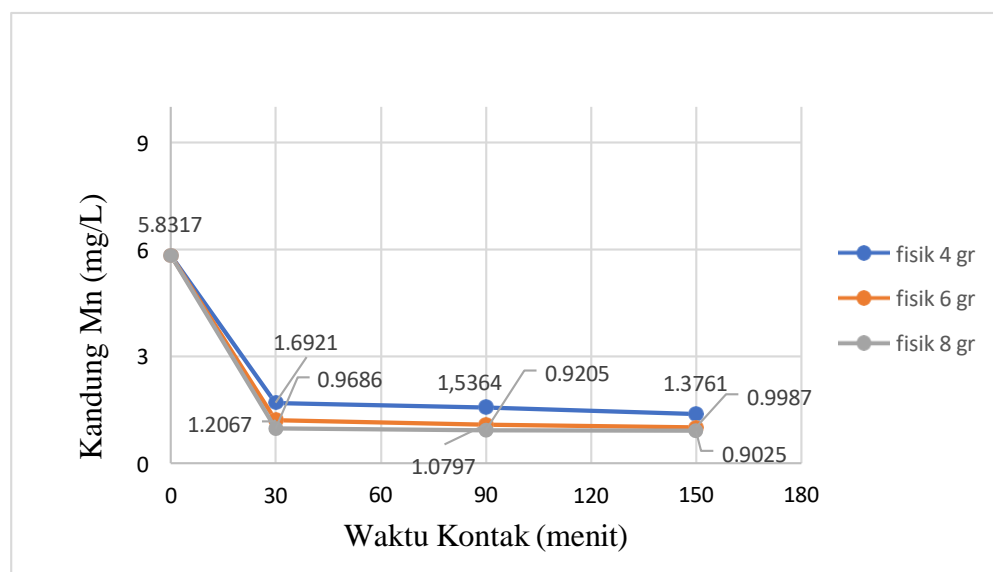
Pengaruh massa adsorben dan lama waktu kontak karbon aktif tempurung kelapa sawit terhadap perubahan kandungan kadar Mangan (Mn) Terhadap air asam tambang

Mangan (Mn) merupakan logam berat alami yang sering ditemukan didalam air, kandungan mangan yang berlebih dapat menyebabkan banyak masalah bagi lingkungan dan manusia, kandungan mangan dapat dijumpai pada air asam tambang yang memiliki pH rendah kadar minimum mangan tentang pengolahan limbah batubara bagi badan atau usaha kegiatan pertambangan ialah maksimum 4 mg/L sesuai dengan peraturan menteri lingkungan hidup kehutanan No. 05 tahun 2022.

Tabel 9 Hasil uji Parameter Mangan (Mn)

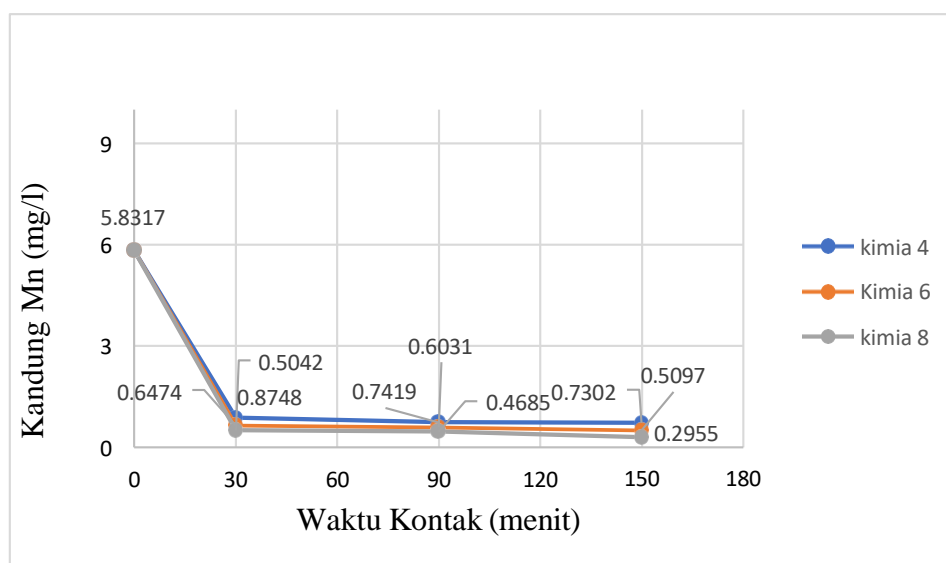
Aktivasi	Nama sample	Massa (Gram)	Waktu Kontak (Menit)	Nilai Mn		% Penurunan
				Awal	akhir	
Fisik	F 4/30	4	30	5,8317	1,6921	70,98
	F 4/90		90		1,5634	73,19
	F 4/150		150		1,3761	76,40
	F 6/30	6	30		1,2067	79,31
	F 6/90		90		1,0797	81,49
	F 6/150		150		0,9987	82,87
	F 8/30	8	30		0,9686	83,39
	F 8/90		90		0,9205	84,22
	F 8/150		150		0,9025	84,52
Kimia	K 4/30	4	30		0,8748	85,00
	K 4/90		90		0,7419	87,28
	K 4/150		150		0,7302	87,48
	K 6/30	6	30		0,6474	88,90
	K 6/90		90		0,6031	89,66
	K 6/150		150		0,5097	91,26
	K 8/30	8	30		0,5042	91,35
	K 8/90		90		0,4685	91,97
	K 8/150		150		0,2955	94,93

Proses adsorpsi menggunakan karbon aktif tempurung sawit teraktivasi fisik sebagai adsorben, didapatkan nilai terendah mangan pada massa 4 gram dengan waktu kontak selama 30 menit dengan aktivasi fisik dengan nilai kadar berdasarkan uji laboratorium sebesar 1,6921 mg/L, dan untuk hasil adsorpsi tertinggi pada aktivasi kimia dengan massa karbon aktif 8 gram dan waktu kontak 150 menit dengan nilai kadar mangan berdasarkan uji laboratorium sebesar 0,2955 mg/L.



Gambar 5 Grafik Perubahan Kadar Mangan Aktivasi fisik

Perubahan kadar mangan pada air asam tambang untuk aktivasi fisik dengan massa 4 gram dengan waktu kontak 30 menit didapatkan nilai kadar akhir sebesar 1,6921 Mg/L, waktu kontak 90 kadar akhir sebesar 1,5364 mg/L, waktu kontak 150 kadar akhir sebesar 1,3761 mg/L. Untuk massa 6 gram dengan waktu kontak 30 menit didapatkan nilai kadar akhir sebesar 1,2067 Mg/L, waktu kontak 90 kadar akhir sebesar 1,0797 Mg/L, waktu kontak 150 kadar akhir sebesar 0,9987 Mg/L. Untuk massa 8 gram dengan waktu kontak 30 menit didapatkan nilai kadar akhir sebesar 0.9686 Mg/L, waktu kontak 90 kadar akhir sebesar 0,9205 Mg/L, waktu kontak 150 kadar akhir sebesar 0,9025 Mg/L dilihat pada Gambar 6



Gambar 6 Grafik Perubahan Kadar Mangan Aktivasi Kimia

Perubahan kadar mangan dalam air asam tambang untuk aktivasi kimia dengan massa 4 gram dengan waktu kontak 30 menit didapatkan nilai kadar akhir sebesar 0,8748 Mg/L, waktu kontak 90 kadar akhir sebesar 0,7419 Mg/L, waktu kontak 150 kadar akhir sebesar 0,7302 Mg/L. Untuk massa 6 gram dengan waktu kontak 30 menit didapatkan nilai kadar akhir sebesar 0,6474 Mg/L, waktu kontak 90 kadar akhir sebesar 0,6031 Mg/L, waktu kontak 150 kadar akhir sebesar 0,5097 Mg/L. Untuk massa 8 gram dengan waktu kontak 30 menit didapatkan nilai kadar akhir sebesar 0,5042 Mg/L, waktu kontak 90 kadar akhir sebesar 0.4685 Mg/L, waktu kontak 150 kadar akhir sebesar 0,2955 Mg/L.

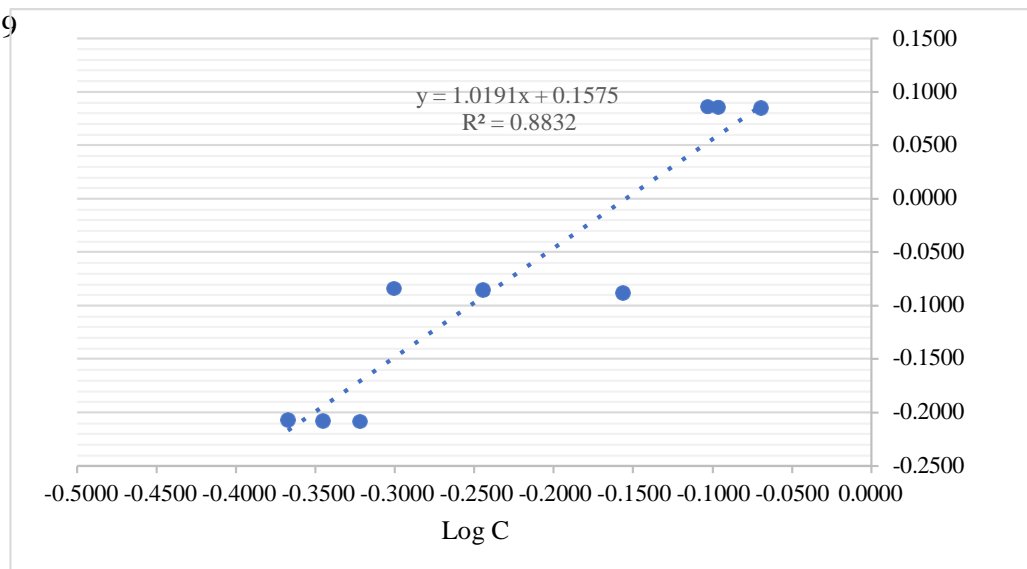
Analisis persamaan isoterm *Langmuir* dan *Freundlich* pada aktivasi fisik dalam proses adsorpsi besi (Fe) dalam air asam tambang

Dari hasil penelitian didapatkan efektifitas penurunan parameter logam berat besi (Fe) menggunakan adsorben karbon aktif tempurung kelapa sawit, berikutnya didapatkan data *isoterm Freundlich* dan *isoterm Langmuir* terlampir pada tabel 10

Tabel 10 Hasil Isoterm Besi (Fe)

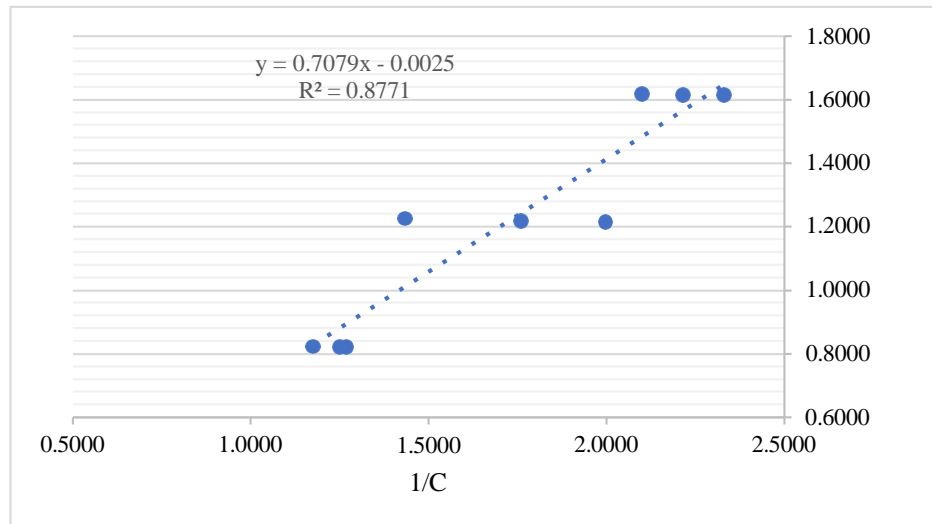
Aktivasi	Massa (gr)	waktu (menit)	Fe (mg/L)	C Fe (mg/L)	x (mg)	$\frac{x}{m}$	Isoterm Freundlich		Isoterm Langmuir	
						(mg/g)	$\log \left(\frac{x}{m} \right)$	$\log C$	$1\left(\frac{x}{m}\right)$	$\frac{1}{C}$
Fisik	4	30	20,2788	0,8517	4,86	1,21	0,08	-0,07	0,82	1,17
		90		0,8011	4,87	1,22	0,09	-0,10	0,82	1,25
		150		0,7895	4,87	1,22	0,09	-0,10	0,82	1,27
	6	30		0,6976	4,90	0,82	-0,09	-0,16	1,23	1,43
		90		0,5691	4,93	0,82	-0,09	-0,24	1,22	1,76
		150		0,5005	4,94	0,82	-0,08	-0,30	1,21	2,00
	8	30		0,4766	4,95	0,62	-0,21	-0,32	1,62	1,10
		90		0,4514	4,96	0,62	-0,21	-0,35	1,61	1,22
		150		0,4292	4,96	0,62	-0,21	-0,37	1,61	2,33

Berdasarkan *isoterm* parameter besi dengan aktivasi fisik pada Tabel 4.10, diperoleh nilai x (mg), x/m , $\log (x/m)$, $\log (C)$, $1(x/m)$ dan $1/C$ yang kemudian digunakan untuk membuat grafik linearitas *Freundlich* dan *Langmuir*, yang dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan Gambar 9



Gambar 7 Kurva isoterm Freundlich

Berdasarkan dari (Gambar 8), diperoleh persamaan $y = 0,0191 + 0,1575$, yang menyimpulkan bahwa untuk menghitung persamaan *Freundlich*, nilai kemiringan $1/n$ adalah 0,0191 dan intercept $\log K + 0,1575$, dengan K merupakan konstanta kesetimbangan pada persamaan *Freundlich*. Dari perhitungan tersebut, didapatkan model persamaan *Freundlich* $x/m = 1,4371 C_e^{1/0,9812}$.



Gambar 8 Kurva isoterm Langmuir

Dari persamaan isoterm *langmuir* dan *freundlich* diatas, terlihat bahwa adsorpsi dari karbon aktif tempurung sawit mengikuti model isoterm *freundlich* Gambar 4.8 dimana nilai R^2 mendekati 1, dibuktikan dengan nilai koefisien relasi R^2 yang lebih mendekati 1 dibanding model isoterm *langmuir*, dapat diasumsikan bahwa karbon aktif aktivasi fisik bersifat homogen dan konsep adsorpsinya memiliki bentuk tunggal (Monolayer) (Murthihapsari, dkk 2012). Oleh karena itu, persamaan *isoterm* adsorpsi *Freundlich* lebih tepat digunakan untuk menentukan nilai kapasitas adsorpsi.

Tabel 11 Hasil Perhitungan persamaan *Freundlich* dan *Langmuir*

Fisik			
Persamaan <i>Freundlich</i>		Persamaan <i>Langmuir</i>	
Keterangan	Nilai	Keterangan	Nilai
Persamaan	$y = 1,0191x + 0,1575$	Persamaan	$y = 0,7079x - 0,0025$
Slope ($\frac{1}{n}$)	1,02	Slope ($\frac{1}{n}$)	0,71
<i>Intercept</i> (ln K)	0,16	<i>Intercept</i> (ln K)	0,00
Regresi (R^2)	0,88	Regresi (R^2)	0,88
Persamaan Adsorpsi	$x = 1,44Ce^{\frac{1}{0,98}}$	Persamaan Adsorpsi	$x = \frac{1,01 \times 1,41.C}{1,41.C}$
K	1,44	K	1,01
n	0,98	n	1,41

Berdasarkan Tabel 11, diperoleh model persamaan adsorpsi *freundlich* dengan nilai $x = 1,44 Ce^{\frac{1}{0,98}}$, dimana nilai perhitungan k = 1,44 dan nilai n = 0,98. Sementara itu,

m untuk adsorpsi *langmuir*, nilai K 1,01 dan nilai $n = 1,41$ $x = \frac{1,01 \times 1,41.C}{1.41.C}$

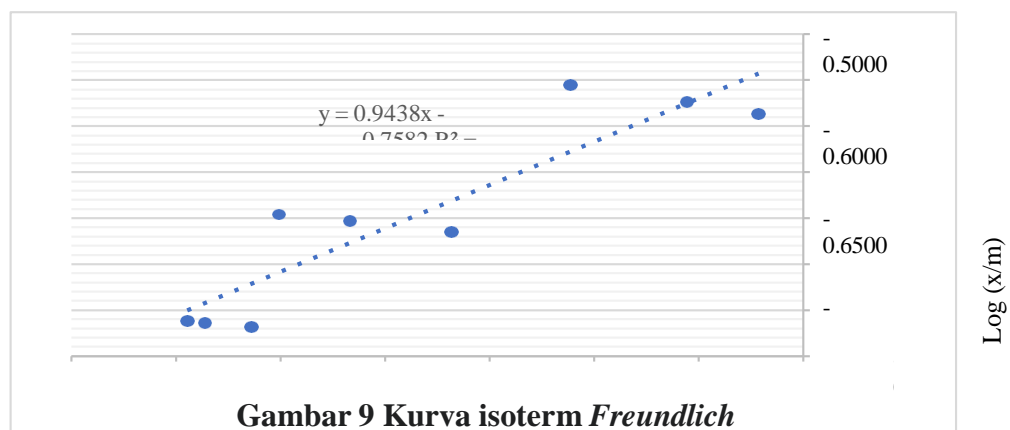
Persamaan isoterm *Langmuir* dan *Freundlich* pada aktivasi fisik dalam proses adsorpsi logam berat Mangan (Mn) dalam air asam tambang

Dari hasil pengujian, diperoleh data mengenai efektivitas penurunan konsentrasi logam besi dengan menggunakan karbon aktif tempurung kelapa sawit pada aktivasi Kimia. Sehingga data tersebut kemudian disusun dalam tabel untuk *isoterm Freundlich* dan *Langmuir*. Untuk menentukan persamaan *isoterm Freundlich* dan *Langmuir*, dihitung nilai- nilai seperti : x (mg), x/m , $\text{Log} (C)$, $1(x/m)$, dan $1/C$, yang dapat dilihat pada tabel 12

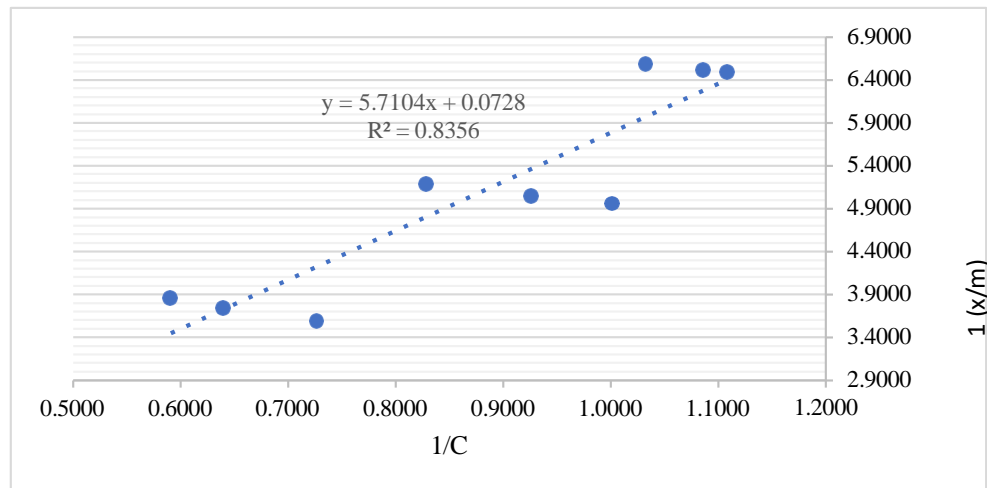
Tabel 12 Hasil Isoterm Mangan (Mn)

Aktivasi	massa (gr)	waktu	Mn	C Mn	x	$\frac{x}{m}$	Isoterm Freundlich		Isoterm Langmuir	
		(menit)	(mg/L)	(mg/L)	(mg)	(mg/g)	Log $(\frac{x}{m})$	log C	$1(\frac{x}{m})$	$\frac{1}{C}$
Fisik	4	30	5,8317	1,6921	1,03	0,26	-0,59	0,23	3,87	0,59
		90		1,5634	1,07	0,27	-0,57	0,19	3,75	0,64
		150		1,3761	1,11	0,28	-0,56	0,14	3,59	0,73
	6	30		1,2067	1,16	0,19	-0,72	0,08	5,19	0,83
		90		1,0797	1,19	0,20	-0,70	0,03	5,05	0,93
		150		0,9987	1,21	0,20	-0,70	0,00	4,97	1,00
	8	30		0,9686	1,22	0,15	-0,82	-0,01	6,58	1,03
		90		0,9205	1,23	0,15	-0,81	-0,04	6,52	1,09
		150		0,9025	1,23	0,15	-0,81	-0,04	6,49	1,11

isoterm parameter mangan (Mn) dengan aktivasi fisik pada Tabel 9, diperoleh nilai x (mg), x/m , $\text{Log} (x/m)$, $\text{Log} (C)$, $1(x/m)$ dan $1/C$ yang kemudian digunakan untuk membuat grafik hubungan linearitas *Freundlich* dan *Langmuir*, yang dapat dilihat pada (Gambar 9) dan (Gambar 10)



Berdasarkan dari Gambar 9, diperoleh persamaan $y = 0,9438x - 0,7582$, yang menyimpulkan bahwa untuk menghitung persamaan *Freundlich*, nilai kemiringan $1/n$ adalah 0,9438 dan *intercept* $\log K$ -0,7582, dengan K merupakan konsanta kesetimbangan pada persamaan *Freundlich*. Dari perhitungan tersebut, didapatkan model persamaan *Freundlich* $x = 5,73 Ce^{1/1,06}$ (Perhitungan lebih lanjut dapat dilihat lampiran D). Kurva m



Gambar 10 Kurva isoterm *Langmuir*

Gambar 9 dan Gambar 10 diatas didapatkan nilai determinasi R^2 yang paling mendekati 1 ialah *isoterm langmuir*, nilai R^2 sebesar 0,8356 maka karbon aktif sawit aktivasi fisik untuk adsorpsi ion mangan mengikuti model *Langmuir*. Model ini bersifat permukaan homogen terjadi pada penyerapan tunggal (Monolayer) pada permukaan dinding sel (Amri,dkk 2004) dalam (Anggriani, 2021)

Tabel 13 Hasil Perhitungan untuk persamaan *Freundlich* dan *Langmuir*

Fisik			
Persamaan <i>Freundlich</i>		Persamaan <i>Langmuir</i>	
Keterangan	Nilai	Keterangan	Nilai
persamaan	$y = 0,9438x - 0,7582$	persamaan	$y = 5,7104x + 0,0728$
<i>Slope</i> ($1/n$)	0,94	<i>Slope</i> ($1/n$)	5,71
<i>Intercept</i> ($\ln K$)	0,76	<i>Intercept</i> ($\ln K$)	0,07
Regresi (R^2)	$R^2 = 0,8249$	Regresi (R^2)	$R^2 = 0,8356$
Persamaan Adsorpsi	$x/m = 5,73 Ce^{1/1,06}$	Persamaan Adsorpsi	$x = \frac{1,18 \times 0,18 \cdot C}{0,18 \cdot C + 1,18}$
k	5,73	k	1,18
n	1,06	n	0,18

Berdasarkan Tabel 4.13, diperoleh model persamaan adsorpsi *freundlich* dengan nilai $x = 5,73 Ce^{1/1,06}$, dimana nilai perhitungan $k = 5,73$ dan nilai $n = 1,06$. Sementara itu,

$$m \text{ untuk adsorpsi langmuir, nilai } K \text{ 1,18 dan nilai } n = 0,18 \quad x = \frac{1,18 \times 0,18.C}{0,18.C}$$

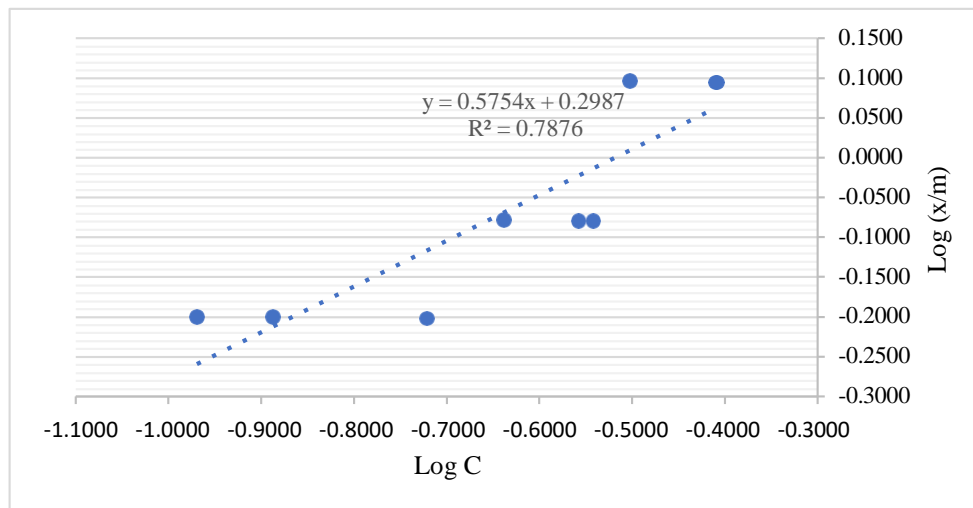
Persamaan isotherm Langmuir dan Freundlich pada aktivasi kimia dalam proses adsorpsi logam berat besi (fe) dalam air asam tambang

Proses pada pengujian dalam penelitian ini menghasilkan nilai konsentrasi logam besi serta efektivitas pengurangan logam besi menggunakan karbon aktif dari tempurung sawit yang melalui aktivasi kimia. Selanjutnya, dibuat tabel data untuk isotherm *freundlich* dan isotherm *langmuir*. Dari perhitungan tersebut, diperoleh nilai-nilai seperti x (mg), x/m, Log (C),1(x/m), dan 1/ C, seperti tercantum pada Tabel 1

Tabel 14 Hasil Isotherm Parameter Besi (Fe)

Aktivasi	massa (gr)	waktu (menit)	Fe (mg/l)	C Fe (mg/L)	x (mg)	$\frac{x}{m}$	Isotherm Freundlich		Isotherm Langmuir	
						(mg/g)	Log (x/m)	log C	$\frac{1}{m}$	$\frac{1}{C}$
kimia	4	30	20,2788	0,3901	4,97	1,24	0,09	-0,41	0,80	2,56
		90		0,389	4,97	1,24	0,09	-0,41	0,80	2,57
		150		0,3142	4,99	1,25	0,10	-0,50	0,80	3,18
	6	30		0,2871	5,00	0,83	-0,08	-0,54	1,20	3,48
		90		0,2772	5,00	0,83	-0,08	-0,56	1,20	3,61
		150		0,2302	5,01	0,84	-0,08	-0,64	1,20	4,34
	8	30		0,1901	5,02	0,63	-0,20	-0,72	1,59	5,26
		90		0,1297	5,04	0,63	-0,20	-0,89	1,59	7,71
		150		0,1072	5,04	0,63	-0,20	-0,97	1,59	9,33

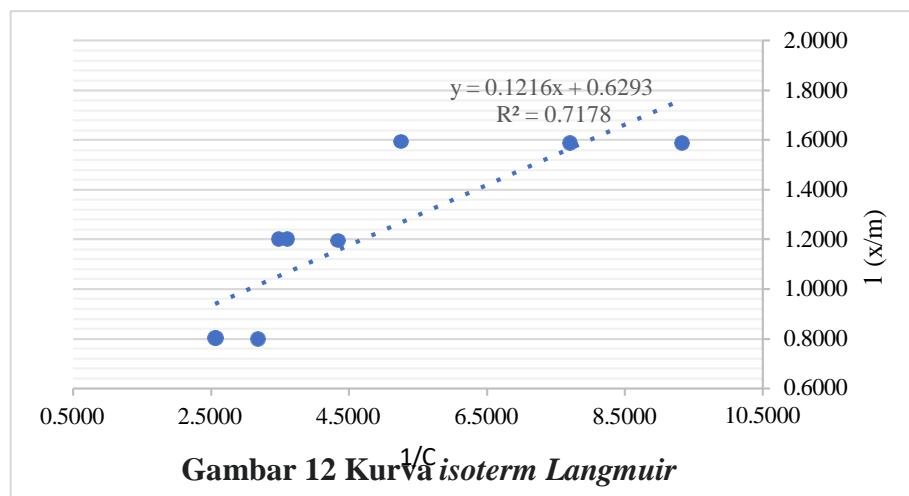
Berdasarkan Analisa *isotherm* parameter besi (Fe) dengan aktivasi kimia pada tabel 4.13, diperoleh nilai x (mg), x/m, Log (x/m), Log (C), 1(x/m) dan 1/C yang kemudian digunakan untuk membuat grafik hubungan linearitas *Freundlich* dan *Langmuir*, yang dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 11 Kurva isoterm *Freundlich*

Berdasarkan dari Gambar 11, diperoleh persamaan $y = 0,5754x + 0,2987$, yang menyimpulkan bahwa untuk menghitung persamaan *Freundlich*, nilai kemiringan $1/n$ adalah 0,5754 dan *intercept* $\log K$ 0,2987, dengan K merupakan konsanta kesetimbangan pada persamaan *Freundlich*. Dari perhitungan tersebut, didapatkan model persamaan *Freundlich* $x = 1,9893 C_e^{1/1,7379}$.

m Kurva *Langmuir* dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12 Kurva isoterm *Langmuir*

Pada Gambar 12, diperoleh persamaan $y = 0,1216x + 0,6293$ dengan nilai $R^2 = 0,7178$. Berdasarkan persamaan tersebut, diperoleh *Slope* $(1/n) = 0.1216$ dan *intercept* in $K = 0,6293$. Penggunaan persamaan adsorpsi diatas menggunakan tipe isoterm *freundlich* karena pada hasil analisa perhitungan pada Tabel 4.15, Grafik 4.11 dan Grafik 4. 12 diketahui bahwa, nilai regresi R^2 mendekati 1 yang memiliki kapasitas yang lebih besar dibandingkan isoterm *Langmuir*, yang artinya pengendali adsorpsi pada aktivasi ini ialah isoterm *freundlich*.

Tabel 15 Perhitungan Parameter Besi (Fe) untuk persamaan *Freundlich* dan *Langmuir*

Kimia			
Persamaan <i>Freundlich</i>		Persamaan <i>Langmuir</i>	
Keterangan	Nilai	Keterangan	Nilai
Persamaan	$y = 0,5754x + 0,2987$	Persamaan	$y = 0,1216x + 0,6293$
Slope (1/n)	0,58	Slope (1/n)	0,12
Intercept (ln K)	0,30	Intercept (ln K)	0,63
Regresi (R^2)	$R^2 = 0,7876$	Regresi (R^2)	$R^2 = 0,7178$
Persamaan Adsorpsi	$x/m = 1,99 C_e^{1/1,74}$	Persamaan Adsorpsi	$x = \frac{4,26 \times 8,22 \cdot C}{8,22 \cdot C + 4,26}$
K	1,99	K	4,26
n	1,74	n	8,22

Berdasarkan Tabel 15, diperoleh model persamaan adsorpsi *freundlich* dengan nilai $x = 1,99 C_e^{1/1,74}$, dimana nilai perhitungan K = 1,99 dan nilai n = 1,74. Sementara itu, m untuk adsorpsi *langmuir*, nilai K 4,26 dan nilai $1/n = 8,22$ $x = \frac{4,26 \times 8,22 \cdot C}{8,22 \cdot C + 4,26}$

Persamaan *Isoterm Langmuir* Dan *Freundlich* Pada Aktivasi Kimia Dalam Proses Adsorpsi Logam Berat Mangan (Mn) Dalam Air Asam Tambang

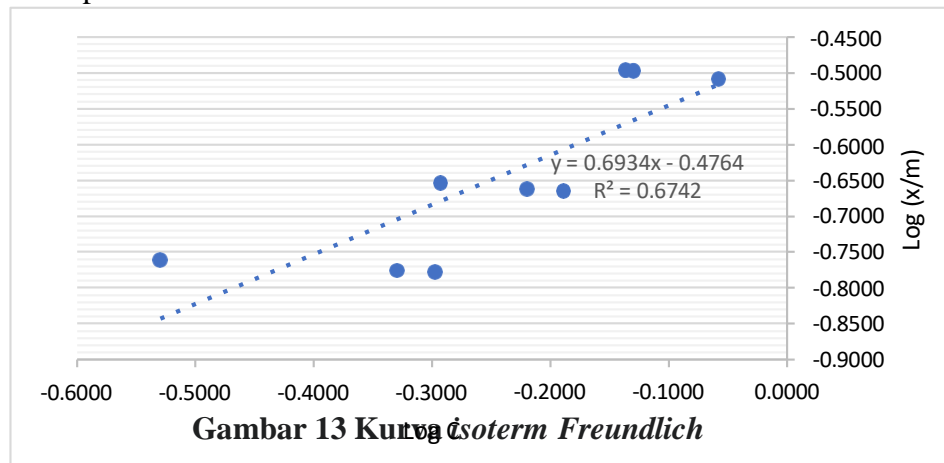
Proses pengujian adsorpsi untuk aktivasi kimia logam berat mangan (Mn) menghasilkan nilai konsentrasi Mangan (Mn) dan efektifitas pengurangan logam mangan (Mn) dengan menggunakan karbon aktif yang dibuat dari tempurung sawit melalui aktivasi kimia. Selanjutnya, disusun tabel data untuk isoterm *freundlich* dan isoterm *langmuir*. Dari perhitungan tersebut, diperoleh nilai-nilai seperti x(mg), Log (C), 1(x/m), 1/c, yang tercantum dalam Tabel 15

Tabel 16 Hasil Isoterm Parameter Mangan (Mn)

Aktivasi	massa (gr)	waktu	Mn	C Mn	x	$\frac{x}{m}$	Isoterm <i>freundlich</i>		Isoterm <i>Langmuir</i>	
		(menit)	(mg/L)	(mg/L)	(mg)	(mg/g)	Log (x/m)	log C	1(x/m)	1/C
	4	30	5,8317	0,8748	1,24	0,31	-0,51	-0,06	3,23	1,14
		90		0,7419	1,27	0,32	-0,50	-0,13	3,14	1,35
		150		0,7302	1,28	0,32	-0,50	-0,14	3,14	1,37
	6	30		0,6474	1,30	0,22	-0,67	-0,19	4,63	1,54
		90		0,6031	1,31	0,22	-0,66	-0,22	4,59	1,66
		150		0,5097	1,33	0,22	-0,65	-0,29	4,51	1,96

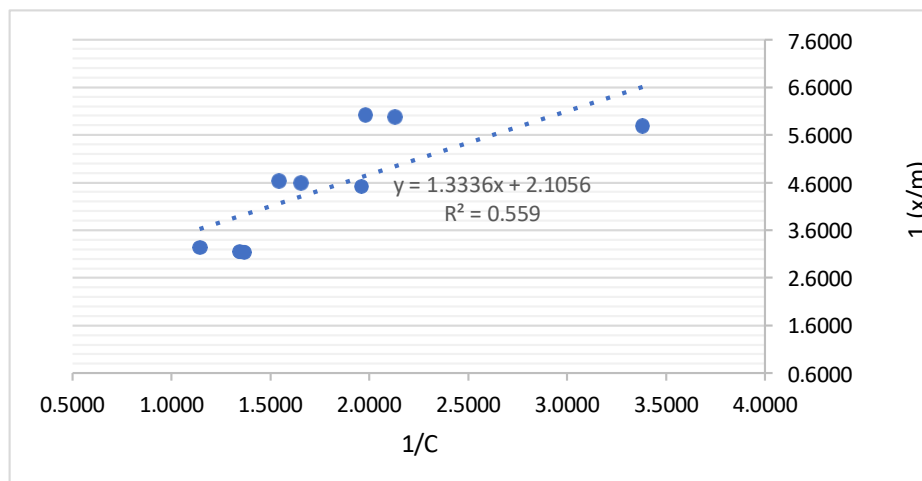
kimia	8	30	0,5042	1,33	0,17	-0,78	-0,30	6,01	1,98
		90	0,4685	1,34	0,17	-0,78	-0,33	5,97	2,13
		150	0,2955	1,38	0,17	-0,76	-0,53	5,78	3,38

Berdasarkan analisis *isoterm* parameter mangan (Mn) dengan aktivasi kimia pada Tabel 16 diatas, diperoleh nilai seperti $x(\text{mg})$, $\text{Log}(C)$, $1(x/m)$, dan $1/c$. Nilai nilai tersebut kemudian digunakan untuk menyusun grafik hubungan linearitas isoterm *freundlich* dan *langmuir*, yang dapat dilihat pada Gambar kurva 13 & Gambar 14 dibawah.



Gambar 13 Kurva isoterm Freundlich

Berdasarkan dari Gambar 13, diperoleh persamaan $y = 0,6934x - 0,4764$, yang menyimpulkan bahwa untuk menghitung persamaan *Freundlich*, nilai kemiringan $1/n$ adalah $0,6934x$ dan *intercept* $\log K - 0,4764$, dengan K merupakan konsanta kesetimbangan pada persamaan *Freundlich*. Dari perhitungan tersebut, didapatkan model persamaan *Freundlich* $x = 2,995 C_e^{1/0,59}$ (perhitungan dilihat pada lampiran E). Kurva *Langmuir* dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Kurva isoterm Langmuir

Pada Gambar 14, diperoleh persamaan $y = 1,3336x + 2,1056$ dengan nilai $R^2 = 0.559$. Berdasarkan persamaan tersebut, diperoleh *Slope* $(1/n) = 0.3336x$ dan *intercept* $\ln K = 2,1056$. Untuk perhitungan persamaan langmuir dan *freundlich* dapat dilihat pada Tabel

17 dibawah.

Tabel 17 Hasil Perhitungan parameter Mangan (Mn) untuk persamaan *Freundlich* dan *Langmuir*

Kimia			
Persamaan <i>Freundlich</i>		Persamaan <i>Langmuir</i>	
Keterangan	Nilai	Keterangan	Nilai
persamaan	$y = 0,6934x - 0,4764$	persamaan	$y = 1,3336x + 2,1056$
<i>Slope</i> (1/n)	0,69	<i>Slope</i> (1/n)	1,33
<i>Intercept</i> (In K)	0,48	<i>Intercept</i> (In K)	2,11
Regreasi (R^2)	$R^2 = 0,6742$	Regreasi (R^2)	$R^2 = 0,559$
Persamaan Adsorpsi	$\frac{x}{m} = 3,00 C_e^{1/1,44}$	Persamaan Adsorpsi	$x = \frac{127,53 \times 0,75 \cdot C}{0,75 \cdot C + 127,53}$
K	3,00	K	127,53
n	1,44	n	0,75

Model persamaan adsorpsi *freundlich* dengan nilai $x = 3,00 C_e^{1/1,44}$, pada Tabel 17 m dimana nilai perhitungan $K = 3,00$ dan nilai $n = 1,44$. Sementara itu, untuk adsorpsi *langmuir*, nilai K 127,53 dan nilai $1/n = 0,75$

$$= \frac{127,53 \times 0,75 \cdot C}{0,75 \cdot C + 127,53}$$

Hasil dalam (Kasih, 2020) pada (Tabel 1) mengindikasikan bahwa data lebih cenderung mengikuti persamaan *isoterm freundlich* karena nilai R^2 lebih mendekati nilai 1, dibuktikan dengan nilai koefisien korelasi (R^2) untuk persamaan *Langmuir* 0,0831, sementara *isoterm freundlich* sebesar 0,0835. pada penelitian ini didapatkan nilai R^2 untuk besi (Fe) aktivasi fisik *isoterm freundlich* yaitu 0,8832 untuk persamaan *langmuir* yaitu 0,8771, untuk pengujian besi aktivasi kimia nilai korelasi (R^2) persamaan *freundlich* yaitu 0,7876 untuk persamaan *langmuir* 0,7178. Nilai R^2 untuk logam berat mangan (Mn) pada pengujian ini pada aktivasi fisik didapatkan *isoterm freundlich* 0,8249 untuk *langmuir* 0,8356, untuk aktivasi kimia didapatkan nilai R^2 untuk persamaan *freundlich* yaitu 0,6742 untuk persamaan *langmuir* sebesar 0,559. Karbon aktif kelapa sawit dengan aktivasi fisik dan kimia pada limbah air asam tambang terkontaminasi besi (Fe) dan karbon aktivasi kimia pada limbah air asam tambang yang terkontaminasi mangan cenderung mengikuti persamaan *freundlich* pada karbon aktif tempurung kelapa sawit aktivasi fisik pada air asam tambang yang terkontaminasi mangan mengikuti persamaan *langmuir* dengan sifat permukaan adsorpsi homogen.

Kemampuan Adsorpsi Logam Berat Besi (Fe) Dan Mangan (Mn) Dengan Menggunakan Karbon Aktif Tempurung Sawit

Penentuan kemampuan adsorpsi dari karbon aktif yang terbuat dari tempurung sawit, menggunakan persamaan 2 persamaan *isoterm freundlich* dan *langmuir*. Berdasarkan nilai regresi (R^2) hasil dari Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12 Hasil perhitungan kemampuan adsorpsi yang tercantum dalam lampiran E disajikan dalam bentuk Tabel 18 dibawah ini.

Kemampuan Adsorpsi Karbon Aktif Tempurung Kelapa Sawit Terhadap Logam Berat Besi (Fe)

Penentuan kemampuan adsorpsi dari karbon aktif yang terbuat dari tempurung sawit, menggunakan persamaan *isoterm freundlich*. (Hasil perhitungan kemampuan adsorpsi yang tercantum dalam lampiran E) disajikan dalam bentuk Tabel 18.

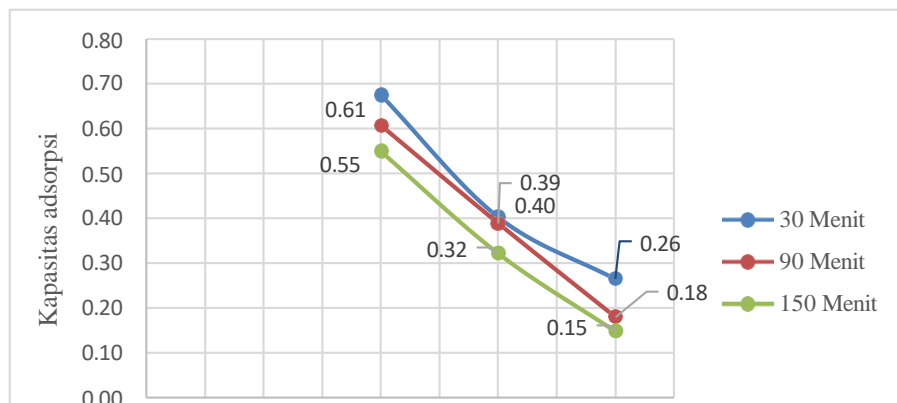
Pada Tabel 18 kemampuan adsorpsi besi (Fe) dengan aktivasi fisik tertinggi terjadi pada massa adsorben 4 gram, dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,68 mg/g. Sementara itu kemampuan adsorpsi besi (Fe) dengan aktivasi fisik terendah terjadi pada massa adsorben 8 gram dengan kemampuan 0,15 mg/g. Untuk aktivasi Kimia, kemampuan adsorpsi besi (Fe) dengan aktivasi kimia tertinggi terjadi pada massa adsorben 4 gram, dengan kapasitas adsorpsi sebesar 2,39 mg/g, sedangkan kemampuan adsorpsi terendah terjadi pada massa adsorben 8 gram, dengan kapasitas adsorpsi sebesar 0,99 mg/g.

Tabel 18 Hasil Kemampuan adsorpsi

Aktivasi Fisik				
Konsentrasi awal (mg/L)	Waktu kontak (Menit)	Massa (gr)	entrasi akhir Adsorpsi (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
20,2788	30	4	0,48	0,68
	90		0,43	0,61
	150		0,39	0,55
	30	6	0,29	0,40
	90		0,28	0,39
	150		0,23	0,32
	30	8	0,19	0,26
	90		0,13	0,18
	150		0,11	0,15
Aktivasi Kimia				
Konsentrasi awal (mg/L)	Waktu kontak (Menit)	Massa (gr)	Konsentrasi akhir Adsorpsi (mg/L)	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
	30	4	1,38	2,39
	90		1,08	2,08
	150		1,69	2,69

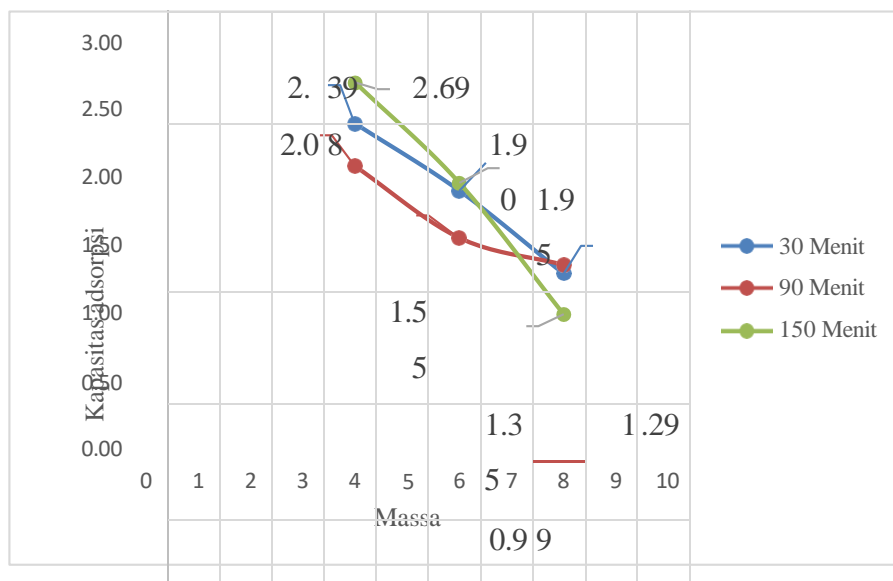
20,2788	30	6	0,92	1,90
	90		0,65	1,55
	150		0,97	1,95
	30	8	0,47	1,29
	90		0,51	1,35
	150		0,30	0,99

Hasil Tabel 18 tentang kemampuan adsorpsi juga dapat dilihat dalam bentuk grafik yang disajikan pada Gambar 15 di bawah ini.



Gambar 15 Grafik Kemampuan adsorpsi Besi (Fe) dengan aktivasi fisik

Pada grafik Gambar 16 massa dan waktu kontak berpengaruh pada kapasitas adsorpsi dari logam berat Besi (Fe), semakin lama waktu kontak dan semakin meningkat massa karbon aktif tempurung kelapa sawit maka semakin meningkat kapasitas dari hasil adsorpsi, pada aktivasi fisik menunjukkan penambahan waktu kontak menyebabkan penurunan dan fluktuasi dalam kapasitas adsorpsi yang tidak tetap, sebaliknya untuk aktivasi kimia terjadi menunjukkan kapasitas adsorpsi bergerak secara kontan dan tercapai kesetimbangan yang baik.



Gambar 16 Grafik Kemampuan adsorpsi Besi (Fe) dengan aktivasi kimia

Gambar 15 dan Gambar 16 didapatkan hasil kemampuan adsorpsi tertinggi pada aktivasi fisik 0,61 mg/g, terendah pada 0,15 mg/g untuk aktivasi kimia kemampuan adsorpsi

terendah pada 0,99 mg/g dan tertinggi pada 2,69 mg/g, ini terjadi adanya perbedaan jenis karbon aktif, massa, waktu kontak, dan larutan aktivator yang digunakan sehingga mempengaruhi kapasitas adsorpsi, efisiensi karbon aktif terbaik pada proses adsorpsi ini pada aktivasi kimia dengan 4 gram dengan pengaruh waktu kontak selama 150 menit.

Kemampuan Adsorpsi Logam Mangan (Mn) Oleh Karbon Aktif Tempurung Sawit

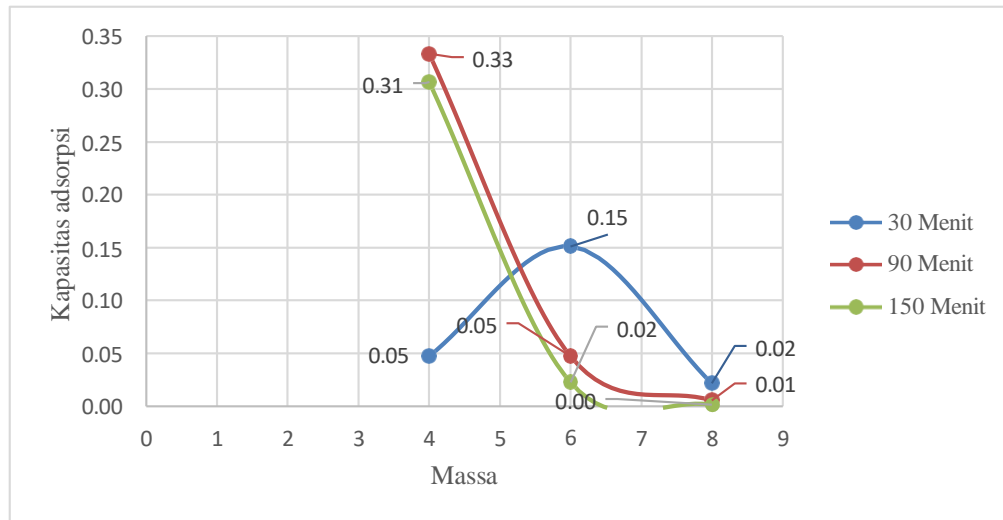
Tabel 19 Hasil kemampuan adsorpsi logam mangan (Mn) menggunakan karbon aktif tempurung sawit menggunakan aktivasi fisik dan kimia, dengan waktu kontak terlama pada 150 menit dan waktu kontak tercepat pada 30 menit dengan massa adsorben 4 gram, 6 gram dan 8 gram. Perhitungan kemampuan adsorpsi logam mangan menggunakan persamaan isoterm freundlich, didapatkan bahwa untuk aktivasi fisik, kapasitas adsorpsi tertinggi pada 0,47 mg/g dan terendah pada 8 gram 0,00016 mg/g. Untuk kapasitas adsorpsi mangan aktivasi kimia tertinggi pada 4 gram 30 menit 3,41 mg/g dan terendah pada 8 gram waktu kontak 150 sebesar 1,86 mg/g.

Tabel 19 Kemampuan adsorpsi

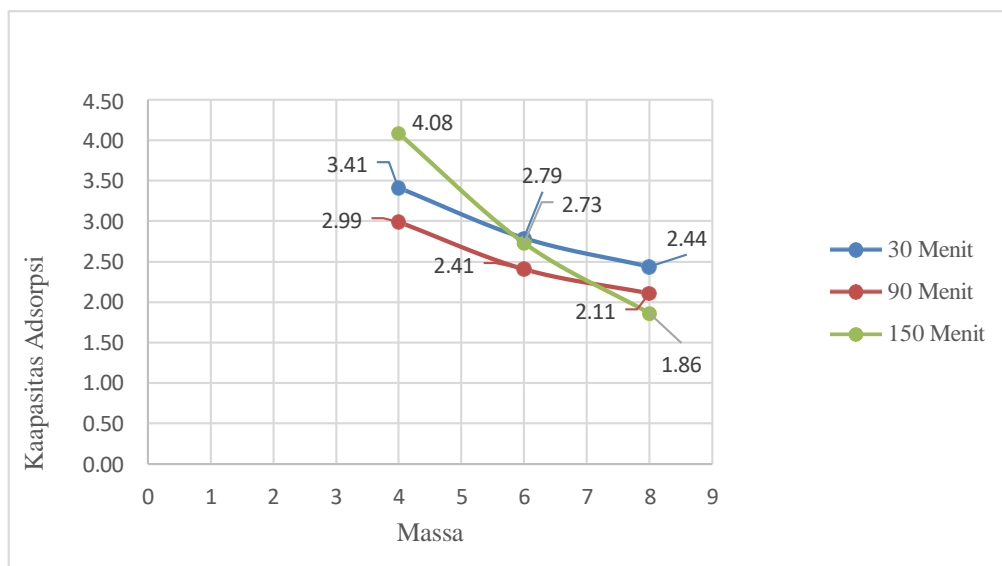
Aktivasi Fisik				
Konsentrasi awal (mg/L)	waktu kontak (menit)	Massa (gr)	konsentrasi akhir adsorpsi (mg/L)	s adsorpsi (mg/g)
5,8317	30	4	0,85	0,47
	90		0,80	0,33
	150		0,79	0,31
	30	6	0,70	0,15
	90		0,57	0,05
	150		0,50	0,02
	30	8	0,45	0,02
	90		0,39	0,01
	150		0,31	0,00
Aktivasi Kimia				
Konsentrasi awal (mg/L)	waktu kontak (menit)	Massa (gr)	konsentrasi akhir adsorpsi (mg/L)	s adsorpsi (mg/g)
5,8317	30	4	1,21	3,41
	90		1,00	2,99
	150		1,56	4,08
	30	6	0,90	2,79
	90		0,73	2,41
	150		0,87	2,73
	30	8	0,74	2,44
	90		0,60	2,11
	150		0,50	1,86

Hasil dari perhitungan Tabel 19 tentang kemampuan adsorpsi juga dapat dilihat dalam

bentuk grafik yang disajikan pada Gambar 16.



Gambar 17 Kemampuan adsorpsi Mangan (Mn) dengan aktivasi fisik



Gambar 18 Kemampuan adsorpsi Mangan (Mn) dengan aktivasi Kimia

penelitian penggunaan karbon aktif tempurung kelapa sawit aktivasi fisik didapatkan 0,33 mg/g pada aktivasi kimia kapasitas tertinggi didapatkan 4.08 mg/g untuk terendah pada 1,87 mg/g.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- Massa adsorben karbon aktif tempurung kelapa sawit mempengaruhi penurunan kadar logam besi (Fe), mangan (Mn), serta meningkatkan pH pada sampel limbah air *settling pond*

Air asam tambang. Maka semakin banyak massa karbon aktifnya dan semakin lama waktu kontak maka semakin teradsorpsi juga kadar besi (Fe) dan mangan (Mn) dalam air asam tambang.

- Perpanjangan lama waktu pengadukan karbon aktif dapat meningkatkan pH dan menurunkan kadar logam berat besi (Fe) dan Mangan (Mn) dengan efisiensi penghilangan tertinggi tercapai pada waktu kontak 150 menit dengan penggunaan karbon aktif tempurung kelapa sawit massa 8 gram untuk aktivasi fisik.
- Proses adsorpsi yang paling efektif untuk menghasilkan air yang memenuhi standar baku mutu limbah air pertambangan menurut Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 05 Tahun 2022 adalah dengan menggunakan karbon aktif tempurung kelapa sawit massa 4 gram dengan waktu kontak 30 menit dengan aktivasi kimia.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut adalah beberapa saran yang dapat diberikan :

- Pada penelitian selanjutnya, disarankan untuk menggunakan aktivator yang lebih bervariasi, agar dapat dibandingkan hasilnya
- Pada penelitian selanjutnya, disarankan menggunakan variasi suhu aktivasi sehingga didapatkan tingkat paling optimal pada saat proses adsorpsi.
- Pada penelitian selanjutnya, disarankan penambahan parameter-parameter logam berat lain atau parameter lain seperti TSS (*Total Suspended Solid*) dan lainnya.

DAFTAR REFERENSI

- Achmad, R. F. (2021). Pembuatan dan modifikasi karbon aktif pelepah kelapa sawit (*Cocos nucifera* L.) sebagai adsorben metilen biru [Preparation and modification of activated carbon from palm oil (*Cocos nucifera* L.) as adsorbent of blue methylene]. *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*. <https://doi.org/10.26418/indonesian.v3i2.46309>
- Anggriani, U. M. (2021). Kinetika adsorpsi karbon aktif dalam penurunan konsentrasi logam tembaga (Cu) dan timbal (Pb). *Jurnal Kinetika*, 29–37.
- Azwari, F. A. (2019). Fitoremediasi logam Fe dalam air asam tambang menggunakan eceng gondok (*Eichhornia crassipes*). *Buletin LOUPE*, 42–45.
- Devy, S. D. (2019). *Hidrogeologi pertambangan*. Samarinda: Mulawarman University Press.
- Effendi. (2003). *Telaah kualitas air*. Yogyakarta: Kanisius.

- Giyatmi. (2008). Penurunan kadar Cu, Cr, dan Ag dalam limbah cair industri perak di Kotagede setelah diadsorpsi dengan tanah liat dari daerah Godean. Dalam *Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta* (hlm. 99–106).
- Hidayat, L. (2017). Pengelolaan lingkungan areal tambang batubara (Studi kasus pengelolaan air asam tambang *acid mining drainage* di PT. Bhumi Rantau Energi Kabupaten Tapin Kalimantan Selatan). *Jurnal ADHUM*, 7(1).
- Kasih, T. S. (2020). Pembuatan karbon aktif dari limbah cangkang kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) menggunakan ultrasonik. *Periodic: Jurnal Press*, 9(2), 60–64.
- Kusnanto, F. A. (2023). Penggunaan kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dan aluminium sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) untuk pengolahan air limbah settling pond PT. Internasional Prima Coal. Dalam *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVIII* (hlm. 941–946).
- Muchlisriyah, J. (2017). *Kimia fisik pangan*. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Mudaim, S. (2021). Analisis proksimat karbon kulit kemiri dengan karbonisasi. *JlIF (Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika)*, 157–163.
- Rumhayati, B. (2019). *Sedimen perairan: Kajian kimiawi, analisis dan peran*. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Rusdianto, T. A. (2022). Efisiensi adsorpsi tempurung kelapa (*Cocos nucifera L.*) dalam menurunkan kadar BOD, COD, TSS dan pH pada limbah cair detergen rumah tangga. *JURNALIS*, 5(1). <https://doi.org/10.xxxx/jurnal.v5i1.xxxx> (ganti dengan DOI jika tersedia)
- Sastrosayono, S. (2003). *Budidaya kelapa sawit*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Sembiring, M. T., & Tim. (2003). *Arang aktif (Pengenal dan proses pembuatannya)*. Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. (Tidak dipublikasikan).
- Sukandarrumidi. (2016). *Bahan galian industri*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Sumardiono, & Budiyo. (2013). *Teknik pengolahan air*. Semarang: Graha Ilmu.
- Susilo. (2012). *Status riset reklamasi bekas tambang batubara*. Samarinda: Andi.
- Syauqiah. (2011). Analisis variasi waktu dan kecepatan pengaduk pada proses adsorpsi limbah logam berat dengan arang aktif. *Info Teknik*, 12(1), 104–109.