

## PEMANFAATAN KULIT SINGKONG GUNA MENURUNKAN pH DAN KADAR Fe Mn PADA AIR ASAM TAMBANG PADA PT ANUGERAH KRIDA UTAMA KALIMANTAN TIMUR

Mutiara Eli<sup>1</sup>, Henny Magdalena<sup>2</sup>, Windhu Nugroho<sup>3</sup>, Shalaho Dina Devi<sup>4</sup>, Agus Winarno<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Fakultas Teknik Universitas Mulawarman

Corresponden author: [henny\\_magdalena@ft.unmul.ac.id](mailto:henny_magdalena@ft.unmul.ac.id)

**Abstrack :** Air asam tambang (AAT) adalah air pada kegiatan penambangan atau pengolahan yang bersifat asam atau memiliki keasaman tinggi dan terbentuk sebagai akibat teroksidasinya mineral sulfida disertai keberadaan air. Sumber keasaman adalah mineral sulfida yang dapat teroksidasi. Sumber pengoksidasian yang utama adalah oksigen dalam udara. Air merupakan salah satu reaktan dalam proses pembentukan AAT dan juga sebagai media yang “mencuci” atau melarutkan hasil oksidasi. Sumber air dapat berupa air limpasan hujan atau air tanah atau air proses untuk kasus *tailing*. Jenis penelitian ini, merupakan jenis penelitian evaluasi dari segi metodenya yang bertujuan untuk mencari, menghitung, menganalisis, dan memberikan solusi berupa evaluasi agar tercapai hal-hal yang semestinya atau sesuai dengan standar yang berlaku. hasil uji menunjukkan bahwa arang aktif tanpa aktivasi kimia lebih memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi dibanding dengan arang aktif aktivasi terhadap konsentrasi logam Fe dimana hasil terbaik yaitu pada menit 30 dengan kapasitas adsorpsi 14,2589 mg/g dan waktu mempengaruhi kapasitas adsorpsi pada arang aktif aktivasi kimia dengan lama waktu yang digunakan maka kapasitas adsorpsi semakin meningkat pula. Dan kapasitas adsorpsi pada arang aktif tanpa aktivasi kimia memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik dibandingkan dengan kapasitas adsorpsi arang aktif aktivasi terhadap konsentrasi logam Mn dimana hasil terbaik yaitu pada menit 90 dengan kapasitas adsorpsi yaitu 5,4714 mg/g.

**Kata Kunci :** Pemanfaatan, pH dan kadar Fe Mn, Asam Tambang

### PENDAHULUAAN

Air asam tambang (AAT) adalah air pada kegiatan penambangan atau pengolahan yang bersifat asam atau memiliki keasaman tinggi dan terbentuk sebagai akibat teroksidasinya mineral sulfida disertai keberadaan air. Sumber keasaman adalah mineral sulfida yang dapat teroksidasi. Sumber pengoksidasian yang utama adalah oksigen dalam udara. Air merupakan salah satu reaktan dalam proses pembentukan AAT dan juga sebagai media yang “mencuci” atau melarutkan hasil oksidasi. Sumber air dapat berupa air limpasan hujan atau air tanah atau air proses untuk kasus *tailing*.

Sumber pembentukan AAT adalah mineral sulfida yang terkandung dalam batuan. Kegiatan penggalian dan penimbunan memungkinkan mineral sulfida yang terkandung dalam batuan di bawah permukaan menjadi terekspos di udara terbuka. Kontak antar oksigen dan mineral sulfida serta air akan menyebabkan terjadinya reaksi oksidasi yang menghasilkan ion-ion besi ferro dan asam sulfat (Gautama, 2019).

Dalam Putri dan Hersoelityorini (2012) menyatakan singkong adalah tanaman rakyat yang telah dikenal diseluruh pelosok Indonesia. Saat ini produksi singkong di Indonesia telah mencapai kurang lebih 20 juta ton per tahun, Singkong merupakan hasil pertanian yang jumlahnya berlimpah dan perlu *alternative* lain dalam pemanfaatannya untuk menunjang program ketahanan pangan sesuai dengan PP Nomor 68 Tahun 2002 tentang Ketahanan Pangan yang mengatur ketersediaan pangan, cadangan pangan, penganeekaragaman pangan, pencegahan pangan, dan penanggulangan masalah pangan.

Pengelolaan singkong secara terpadu merupakan upaya memanfaatkan seluruh bagian dari singkong tanpa ada yang terbuang termasuk kulitnya. Komponen kimia dan gizi dalam 100 g kulit singkong adalah sebagai berikut: Protein 8,11 g; serat kasar 15,20 g; pectin 0,22 g; lemak 1,29 g, kalsium 0,63 g sedangkan komponen kimia dan gizi daging singkong dalam 100g adalah protein 1 g; kalori 154 g; karbohidrat 36,8 g; lemak 0,1 g.

Kulit singkong merupakan salah satu limbah padat yang dihasilkan pada pembuatan keripik singkong hasil olahan industri rumah tangga. Limbah ini mengandung unsur karbon yang cukup tinggi sebesar 59,31%. Keaktifan daya menyerap dari karbon aktif tergantung dari jumlah senyawa karbonnya. Daya serap karbon aktif ditentukan oleh luas permukaan partikel. Dan kemampuan ini dapat menjadi lebih tinggi, jika karbon aktif tersebut telah dilakukan aktivasi dengan faktor bahan-bahan kimia ataupun dengan pemanasan pada temperatur tinggi. Dengan demikian, karbon akan mengalami perubahan sifat-sifat fisika dan kimia. Karbon aktif yang berwarna hitam, tidak berbau, tidak berasa dan mempunyai daya serap yang jauh lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif yang belum menjalani proses aktivasi, serta mempunyai permukaan yang luas, yaitu memiliki luas antara 300 sampai 200 m<sup>2</sup>/g. Luas permukaan yang luas disebabkan karbon mempunyai



permukaan dalam (*internal surface*) yang berongga, sehingga mempunyai kemampuan menyerap gas dan uap atau zat yang berada di dalam suatu larutan (Ariyani, dkk, 2017).

Oleh karena itu dengan melakukan penelitian Pemanfaatan Kulit Singkong Guna Menurunkan pH dan kadar Fe Mn pada Air Asam Tambang dapat membantu mengatasi dua permasalahan lingkungan sekaligus, yaitu pertama mengatasi limbah dapur kulit singkong dan kedua mengatasi masalah air asam tambang yang diakibatkan karena adanya proses penambangan.

## METODE PENELITIAN

### A. Jenis Penelitian

Adapun jenis penelitian ini yaitu menguji manfaat dari teori-teori ilmiah yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu serta mengetahui hubungan empiris dan analisis bidang-bidang tertentu. Jenis penelitian ini, merupakan jenis penelitian evaluasi dari segi metodenya yang bertujuan untuk mencari, menghitung, menganalisis, dan memberikan solusi berupa evaluasi agar tercapai hal-hal yang semestinya atau sesuai dengan standar yang berlaku.

### B. Tahap Penelitian

Metode yang digunakan dalam penulisan yaitu dengan pendekatan masalah yang berupa pengambilan bahan, baik berupa dasar teori maupun data-data objek yang diamati secara langsung dilapangan. Sehingga dilakukan dalam beberapa tahapan yang meliputi tahap pra lapangan, tahap lapangan, dan tahap pasca lapangan.

### C. Tahap Lapangan

Tahap ini ditujukan untuk memperoleh data yang akan dianalisis, pengambilan data-data di lapangan dilakukan dengan observasi dan pengamatan langsung dilapangan dan juga data yang didapatkan dari perusahaan, adapun data-data yang diambil berupa data primer dan data sekunder.

#### 1. Data Primer

Data Primer merupakan sumber data yang diperoleh dengan melakukan pengambilan data secara langsung dilapangan.

#### 2. Data sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh secara tidak langsung. Adapun data sekunder yang digunakan pada penelitian ini yaitu berupa pembuatan peta kesampaian daerah bersumber dari peta Rupa Bumi Indonesia (RBI).

### D. Tahap Pasca Lapangan

Pada tahap pasca lapangan yaitu tahapan pengolahan data dan analisis data yang telah didapatkan pada tahap lapangan dan tahap pengujian sampel dilaboratorium. Adapun tahap pasca lapangan pada penelitian ini adalah:

#### 1. Preparasi Kulit Singkong

Tahapan pembuatan arang aktif teknis kulit singkong mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995. Tahapan pembuatan arang aktif teknis yang akan dilalui pertama siapkan kulit singkong yang telah dibersihkan dari kotoran yang menempel pada kulit singkong, pada penelitian ini hanya menggunakan kulit singkong, bagian yang lain tidak digunakan. Kulit singkong yang sudah dibersihkan dikumpulkan pada suatu wadah kemudian dijemur selama beberapa hari di bawah sinar matahari untuk menghilangkan kadar air yang terkandung dalam kulit singkong.

#### 2. Karbonisasi (Pengarangan) kulit singkong

Setelah kulit singkong sudah kering proses selanjutnya yaitu tahap karbonisasi pada kulit singkong, adapun langkah-langkah karbonisasi kulit singkong sebagai berikut:

- a) Disiapkan kulit singkong yang sudah kering
  - b) Diblender kulit singkong sesuai ukuran yang diinginkan yang bertujuan untuk memudahkan saat melakukan karbonisasi dengan *furnace*
  - c) Selanjutnya kulit singkong yang telah diblender dimasukkan dalam loyang aluminium kemudian dioven dalam suhu 105°C yang bertujuan untuk mengurangi kadar air yang masih tersisa pada kulit singkong
  - d) Kemudian dilakukan proses karbonisasi dengan menggunakan *furnace* dalam kisaran suhu 300°C - 350°C selama 60 menit dengan tujuannya agar arang yang dihasilkan tetap terjaga unsur karbonnya dan tidak menjadi abu (pembakaran tidak sempurna)
  - e) kemudian arang kulit singkong dihaluskan dan diayak dengan ayakan 100 mesh
  - f) Selanjutnya dilakukan proses pencucian arang kulit singkong dengan menggunakan akuades Kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C selama 5 jam.
- #### 3. Aktivasi kimia

Proses aktivasi dilakukan setelah proses pembuatan arang aktif teknis telah selesai, adapun langkah-langkah aktivasi kimia kulit singkong sebagai berikut:

- a) Arang aktif teknis yang telah diayak dibersihkan kemudian dikeringkan
- b) Selanjutnya dimasukkan ke dalam *breaker glass* kemudian ditimbang sebanyak 50 gram dengan menggunakan neraca analitik

- c) kemudian direndam dengan konsentrasi larutan KOH 3M sebanyak 200 mL, perendaman dilakukan pada suhu ruang selama 24 jam.
- d) Kemudian arang aktif dicuci dengan akuades pH netral dan disaring dengan menggunakan kertas saring
- e) Kemudian arang aktif teknis dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 105°C selama 5 jam.

4. Analisis kualitas arang aktif kulit singkong.

Pada tahapan ini dilakukan uji proximat untuk mengetahui kualitas dari arang aktif kulit singkong dari analisis kadar air, kadar abu, zat terbang dan *fixed carbon*, serta efisiensi penyerapan dari arang aktif kulit singkong.

5. Analisis awal air asam tambang

Air asam tambang diambil dari pit pada tambang terbuka PT. Anugerah Krida Utama kemudian dimasukkan ke dalam wadah jergen 20L, proses analisis air asam tambang dilakukan dengan menganalisa nilai parameter besi (Fe), Mangan (Mn) dan pH berdasarkan uji laboratorium dengan standar acuan SNI 06-3730-1995. Parameter nilai pH air menggunakan alat pH meter dengan metode potensiometri spesifikasi dari SNI 6989.11–2019, untuk analisis besi (Fe) diukur dengan metode spektrofometri serapan atom (SSA) dari SNI 6989.6–2009 dan untuk mangan (Mn) diukur dengan metode spektrofometri serapan atom (SSA) dari SNI 6989.5–2009.

6. Percobaan adsorpsi arang aktif kulit singkong terhadap logam Fe dan Mn

Setelah melalui proses penentuan awal nilai parameter di atas, dilakukan proses percobaan adsorpsi arang aktif dan air asam tambang yang memiliki konsentrasi logam besi (Fe), Mangan (Mn) dan pH. Pertama-tama siapkan arang aktif kulit singkong sebanyak 3 gram masing-masing dimasukkan ke dalam breaker glass 500 ml kemudian dicampurkan dengan limbah air asam tambang sebanyak 500 ml, kemudian diaduk hingga tercampur secara menyeluruh dengan menggunakan alat magnetic stirrer dengan waktu pengadukan 30, 60, dan 90 menit dan kecepatan pengadukan 100 rpm sehingga memperoleh hasil yang diinginkan dengan mengukur kadar logam hasil adsorpsi dari arang aktif kulit singkong dengan menggunakan spektrometer serapan atom (SSA) dan pH dengan menggunakan pH meter.

E. Tahap Analisis Data

Adapun pada tahapan ini, penulis setelah melalui tahapan pra lapangan yaitu, melakukan analisis data hasil pengujian dari sampel yang diperoleh dari tahap sebelumnya yang dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Analisis tingkat keasamaan air asam tambang

Untuk menganalisis tingkat keasam pada air asam tambang diperlukan data pH awal air asam tambang, kadar Fe, dan kadar Mn.

2. Analisis karakteristik arang kulit singkong

Karakteristik arang aktif kulit singkong perlu dilakukan untuk mendukung data kualitas arang aktif kulit singkong, berdasarkan syarat mutu SNI 06-3730-1995, karakteristik arang aktif kulit singkong dilakukan dengan analisis proksimat yaitu pengujian kadar air (*moisture*), kadar abu (*ash content*), kadar uap (*volatile matter*), dan kadar karbon (*fixed carbon*).

3. Analisis Isoterm dan Kapasitas Adsorpsi Arang Aktif kulit singkong

Proses yang digunakan pada penelitian ini yaitu proses batch dengan cara memberi kontak antara sample limbah cair dengan Adsorben arang kulit singkong selama waktu kontak tertentu sehingga dapat diketahui efisiensi penyisihan penurunan parameter limbah cair selama proses adsorpsi waktu kontak.

4. Analisis Efisiensi Adsorpsi Arang Aktif kulit singkong

Analisis efisiensi dari arang aktif kulit singkong merupakan tahap dimana hasil dari proses adsorpsi arang aktif kulit singkong dari setiap perlakuan yang telah diperoleh dibandingkan dengan konsentrasi logam Fe, Mn dan pH limbah awal. Selanjutnya dilakukan analisis efisiensi seberapa efektif penyerapan yang diperoleh dari arang aktif kulit singkong.

F. Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan yang didapatkan merupakan jawaban dari tujuan penelitian yang ingin dicapai. Sedangkan saran merupakan hal-hal yang menjadi pertimbangan untuk penelitian selanjutnya dan kekurangan yang dihadapi selama penelitian.

**HASIL PENELITIAN**

**1. Hasil Analisis Air asam Tambang**

Air asam tambang (AAT) adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan air yang terkontaminasi dan asam akibat dari aktivitas pertambangan yang mengandung berbagai logam berat dan senyawa berbahaya. Dari hasil penelitian dilakukan pengujian air asam tambang, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kandungan logam Fe, Mn dan nilai pH.

**Tabel 4.1 Hasil Uji awal air asam tambang**

Parameter	Perda Kaltim No. 02 Tahun 2011	Sampel Air Asam Tambang
pH	6-9	2,62
Fe (mg/L)	7	86,10

Mn (mg/L)	4	49,64
-----------	---	-------

Berdasarkan Tabel 4.1 hasil dari uji awal air asam tambang menunjukkan kandungan logam yang terdapat dalam air asam tambang tinggi dengan nilai kadar logam Fe yaitu 86,08 mg/L dan pada logam Mn yaitu 49,64 mg/L. Air asam tambang juga mengandung tingkat keasaman air yang tinggi dimana nilai pH mencapai 2,62. Dari hasil yang diperoleh nilai Fe, Mn dan pH jika mengacu pada Perda Kaltim No. 02 Tahun 2011 tentang syarat mutu air limbah kegiatan penambangan ketiga parameter yang ditentukan tidak memenuhi standar kegiatan yang telah ditetapkan.

### 1.1 Karakteristik Arang Aktif kulit singkong

Bahan yang digunakan merupakan kulit singkong yang dijadikan sebagai Adsorben untuk proses adsorpsi. Pada penelitian ini menggunakan dua jenis arang aktif yaitu arang aktif non aktivasi dan arang aktif aktivasi kimia. Arang aktif tanpa aktivasi dan aktivasi kimia dibuat menjadi Adsorben dengan melalui tahap karbonisasi dengan menggunakan furnace pada suhu 300°C - 350°C dengan waktu pengarang 2 jam sehingga menghasilkan arang yang diinginkan. Kemudian dihaluskan dengan ukuran ayakan 100 mesh dan kemudian arang aktif dibagi menjadi dua bagian untuk diaktivasi kimia. Hasil dari pengujian karakteristik arang aktif kulit singkong dapat dilihat pada Tabel 1.1

**Tabel 1.1 Hasil Uji Kualitas arang aktif kulit singkong**

No.	Parameter	Tanpa Aktivasi (%)	Aktivasi Kimia (%)	Standar Kualitas Arang Aktif Teknis 06-3730-1995
1	Kadar Air	5,30	6,11	Maks. 15%
2	Kadar Abu	8,36	7,78	Maks. 10%
3	Volatille Matter	20,12	21,05	Maks. 25%
4	Fixed Carbon	66,23	65,06	Min. 65%

Daya serap pada Tabel 1.1 di atas menunjukkan pada arang aktif tanpa aktivasi memiliki kadar air 5,30% sedangkan aktivasi kimia 6,11%, yang menunjukkan bahwa kadar air telah memenuhi syarat mutu arang aktif teknis namun kadar air pada aktivasi kimia lebih tinggi karena adanya perlakuan perendaman dengan aktivator yang mempengaruhi banyaknya kadar air yang terkandung pada arang aktif aktivasi kimia. Kadar abu pada arang aktif tanpa aktivasi memiliki persentase nilai 8,36% sedangkan pada aktivasi kimia memiliki nilai persentase lebih tinggi yaitu 7,78% kedua jenis arang katif ini memenuhi standar kualitas dari arang aktif teknis. Proses pencucian pada arang aktif mempengaruhi kadar abu yang ada pada arang aktif karena dapat melarutkan logam-logam atau mineral yang ada pada arang aktif. Volatile matter atau kadar zat mudah menguap pada arang aktif tanpa aktivasi memiliki persentase kadar sebesar 20,12% sedangkan untuk arang aktif aktivasi kimia mempunyai kadar 21,05% nilai yang dihasilkan telah memenuhi syarat mutu arang aktif teknis Penentuan kadar. Fixed carbon pada arang aktif tanpa aktivasi memiliki kadar fixed karbon 66,23% sedangkan pada arang aktif aktivasi kimia memiliki nilai kadar sebesar 65,06% dan keduanya telah memenuhi syarat mutu arang aktif teknis.

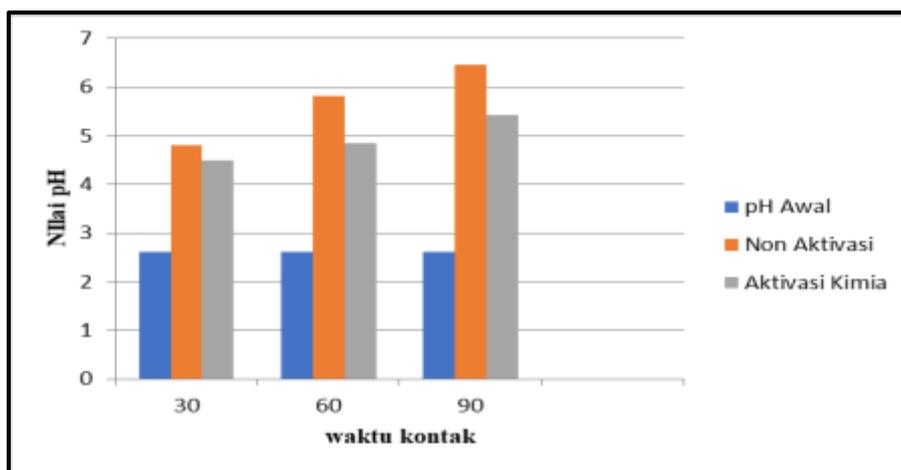
### 1.2 Pengaruh Waktu arang aktif kulit singkong terhadap Kenaikan pH AAT

Pada penelitian ini menggunakan variasi waktu untuk membandingkan penyerapan yang mampu dilakukan arang aktif kulit singkong dalam meningkatkan pH dan menurunkan kandungan logam pada air asam tambang. Variasi waktu arang aktif kulit singkong yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 30 menit, 60 menit dan 90 menit dengan 500 ml limbah air asam tambang, dengan massa arang aktif kulit singkong 3 gram dan kecepatan pengadukan 100 rpm. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1.2.

**Tabel 1.2 Perbandingan Hasil Nilai pH**

pH Awal	Massa Arang Aktif (gram)	Variasi waktu (menit)	Volume AAT (ml)	pH akhir	
				Non Aktivasi	Aktivasi Kimia
2,62	3	30	500	4,81	4,49
		60		5,82	4,85
		90		6,46	5,42

Berdasarkan table 1.2 pH air asam tambang dapat dilihat nilai dari pH awal yaitu 2.62 kemudian mengalami kenaikan pH yang tertinggi pada waktu 90 menit yaitu 6,46 pada arang aktif tanpa aktivasi dan 5,42 pada aktivasi kimia. Kenaikan nilai pH pada air asam tambang meningkat sesuai dengan lama waktu yang digunakan. Semakin lama waktu yang digunakan maka, semakin tinggi juga kenaikan nilai pH pada air asam tambang. Nilai hasil pengujian peningkatan pH air asam tambang menggunakan variasi waktu arang aktif kulit singkong yang dapat dilihat dalam bentuk grafik dalam Gambar 1.1.



**Gambar 1.1 Grafik pengujian perbandingan hasil uji kenaikan pH AAT**

Berdasarkan Gambar 1.1 perbandingan nilai pH yang ditunjukkan setelah proses adsorpsi dengan menggunakan arang aktif kulit singkong tanpa aktivasi dan aktivasi kimia menghasilkan peningkatan pH yang kurang maksimal dimana nilai tertinggi yang diperoleh pada arang aktif non aktivasi terjadi pada waktu 90 menit dengan pH 6,4 dan pada arang aktif aktivasi kimia hanya mencapai 5,42. Pada grafik memperlihatkan kenaikan pH yang signifikan dengan banyaknya waktu arang aktif yang digunakan, namun arang aktif tanpa aktivasi memiliki nilai peningkatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan arang aktif aktivasi kimia, hal ini disebabkan adanya pengaruh kualitas arang aktif dan tidak maksimalnya aktivasi kimia yang dilakukan.

### 1.3 Pengaruh Waktu dan efisiensi arang aktif kulit singkong terhadap penurunan logam Fe Air Asam

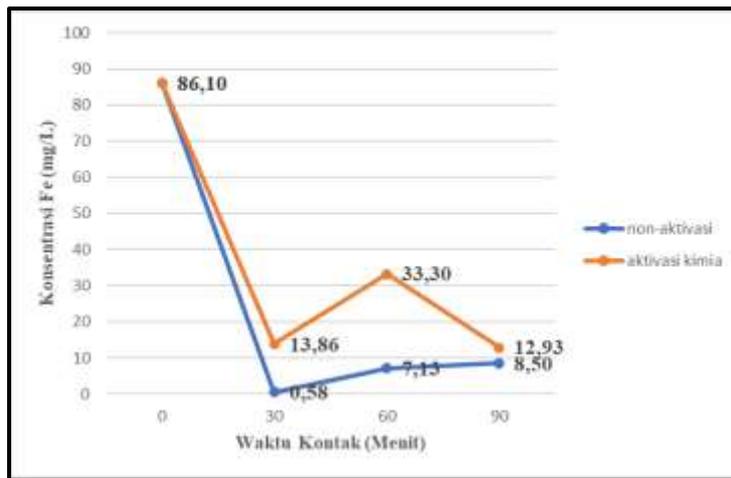
#### Tambang (AAT)

Pada penelitian ini dilakukan perlakuan waktu untuk melihat pengaruh waktu kontak dari arang aktif aktivasi kimia dan arang aktif tanpa aktivasi kimia. Penelitian yang dilakukan menggunakan massa 3 gram banyaknya air limbah yang digunakan 500 ml kemudian diaduk dengan kecepatan pengadukan 100 rpm selama waktu kontak 30, 60, dan 90 menit. Campuran akan diuji untuk mengetahui konsentrasi logam besi (Fe) yang tersisa dengan menggunakan spektrometri serapan atom. Hasil pengaruh massa arang aktif kulit singkong tanpa aktivasi dan aktivasi kimia dapat dilihat pada Tabel 1.3.

**Tabel 1.3 Hasil uji adsorpsi logam besi (Fe)**

Jenis Arang Aktif	Konsentrasi awal Fe (mg/L)	Waktu kontak (Menit)	Massa Arang Aktif (gram)	Konsentrasi Akhir Fe (mg/L)	% Penurunan Logam Fe
Tanpa Aktivasi	86,10	30	3	0,58	99,33
	86,10	60	3	7,13	91,71
	86,10	90	3	8,50	90,12
Aktivasi Kimia	86,10	30	3	13,86	83,91
	86,10	60	3	33,30	61,32
	86,10	90	3	12,93	84,98

Berdasarkan Tabel 1.3 perbandingan yang dihasilkan dari variasi waktu arang aktif kulit singkong memiliki hasil penurunan namun pada hasil penurunan pada waktu 30 menit memiliki hasil yang baik dalam penurunan kadar logam Fe. Pada kegiatan non aktivasi dari waktu 60 menit ke waktu 90 menit mengalami penurunan penyerapan kadar Fe yaitu 7,134 mg/L dan 8,504 mg/L dan pada arang aktif aktivasi kimia pada saat 60 menit penyerapannya tidak maksimal, disebabkan karena kurang maksimalnya arang aktif aktivasi kimia menggunakan larutan KOH 3 M. Pada waktu 90 menit kembali mengalami kenaikan penyerapan kadar Fe yaitu 12,934 mg/L disebabkan beberapa faktor yaitu kualitas arang aktif dan kapasitas adsorpsinya yang kurang maksimal dapat dilihat pada Gambar 1.3 di bawah.



**Gambar 1.2 Grafik perbandingan hasil Adsopsi terhadap logam Fe**

Dari Gambar 1.3 dapat dilihat bahwa hasil penyerapan logam Fe arang kulit singkong non aktivasi dan aktivasi kimia terhadap pengaruh waktu tidak terlalu menunjukkan penurunan yang signifikan akan tetapi arang aktif non aktivasi menunjukkan penyerapan yang lebih baik dibandingkan arang aktif aktivasi kimia. Dimana hasil terbaik pada aktivasi kimia terjadi pada menit 90 dengan hasil penyerapan mencapai 12,934 mg/L dan hasil terbaik non aktivasi mencapai 0,575 mg/L pada waktu 30 menit.

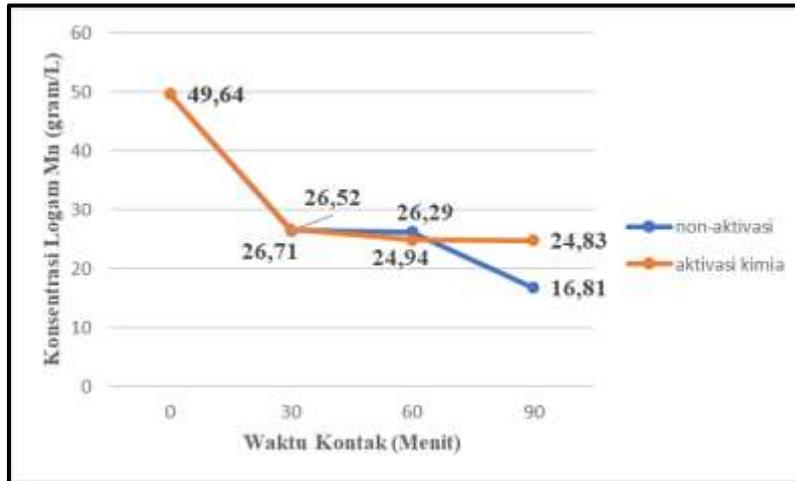
#### **1.4 Pengaruh Waktu arang aktif kulit singkong terhadap penurunan logam Mn Air Asam Tambang (AAT)**

Pada penelitian ini dilakukan perlakuan waktu untuk melihat pengaruh waktu kontak dari arang aktif non aktivasi kimia dan arang aktif aktivasi kimia. Penelitian yang dilakukan menggunakan massa 3 gram banyaknya air limbah yang digunakan 500 ml kemudian diaduk dengan kecepatan pengadukan 100 rpm selama waktu kontak 30, 60, dan 90 menit. Campuran akan diuji untuk mengetahui konsentrasi logam Mangan (Mn) yang terisa dengan menggunakan spektrometer serapan atom. Hasil pengaruh massa arang aktif kulit singkong tanpa aktivasi dan aktivasi kimia dapat dilihat pada Tabel 1.4.

**Tabel 1.4 Hasil uji adsorpsi logam Mangan (Mn)**

Jenis Arang Aktif	Konsentrasi awal Mn (mg/L)	Waktu kontak (Menit)	Massa Arang Aktif	Konsentasi Akhir Mn (mg/L)	% Penurunan Logam Mn
Tanpa Aktivasi	49,64	30	3	26,52	46,59
	49,64	60	3	26,29	47,04
	49,64	90	3	16,81	66,14
Aktivasi Kimia	49,64	30	3	26,71	46,20
	49,64	60	3	24,94	49,77
	49,64	90	3	24,83	49,98

Berdasarkan Tabel 1.4 dapat disimpulkan bahwa pada penelitian ini penurunan kadar logam mangan (Mn) pada arang aktif non aktivasi dan aktivasi kimia memiliki hasil penurunan yang kurang maksimal. Variasi waktu yang digunakan menunjukkan semakin lama semakin tinggi penyerapan kadar logamnya akan tetapi waktu yang digunakan belum maksimal dalam penurunan kadar logam Mn dapat dilihat pada arang aktif non aktivasi waktu 30 menit memiliki hasil penyerapan 26,52mg/L kemudian pada 60 menit yaitu 26,29 mg/L dan pada menit 90 mencapai 16,81 mg/L. Pada arang aktif aktivasi kimia pada menit 30 mencapai 26,71 mg/L, menit 60 mencapai 24,94 mg/L, pada menit 90 mencapai 24,83 mg/L. Hasil absorpsi menggunakan arang aktif kulit singkong tanpa aktivasi dan aktivasi kimia terhadap logam mangan (Mn) dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 1.4 Grafik perbandingan hasil Adsorpsi terhadap logam Mn**

Berdasarkan Gambar 1.4 dari grafik dapat dilihat bahwa hasil penyerapan kurang maksimal dimana kemampuan terbaik pada penyerapan logam Mn pada arang aktif non aktivasi terjadi pada waktu 90 menit dengan hasil 16,81 mg/L dan pada arang aktif aktivasi kimia penyerapan terbaik terjadi pada menit 90 dengan hasil mencapai 24,83 mg/L. Dari hasil ini menunjukkan harus melakukan penambahan waktu kontak sehingga hasil yang ditentukan dapat memenuhi standar baku mutu kadar logam.

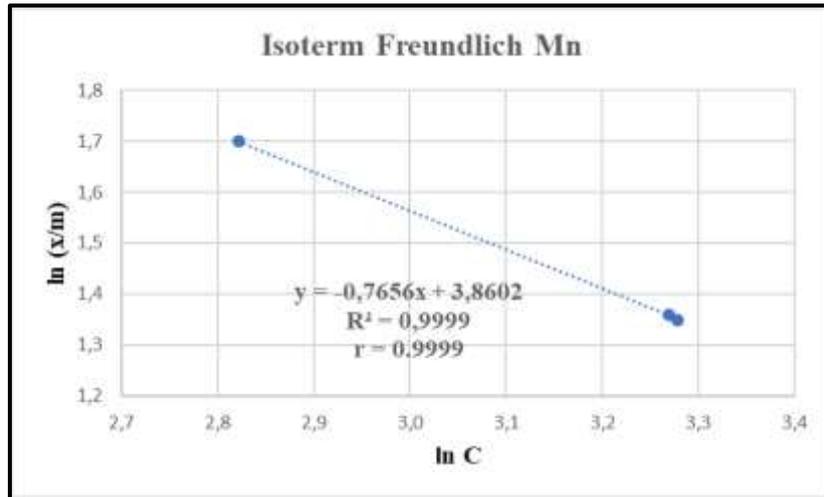
## 2. Analisis Adsorpsi Logam Mangan (Mn) Menggunakan Arang Aktif Tanpa Aktivasi kimia dengan Persamaan Freundlich dan Langmuir.

Dari hasil pengujian diperoleh hasil data konsentrasi awal dan akhir adsorpsi logam Fe dengan menggunakan arang aktif kulit singkong tanpa aktivasi. Penentuan kapasitas adsorpsi ditentukan dengan membuat grafik plot isoterm Freundlich dan Langmuir, sehingga dibuatlah Tabel data isoterm Freundlich dan Langmuir untuk menentukan nilai sumbu x dan y. Nilai-nilai yang akan ditentukan terlebih dahulu nilai x (mg), x/m, Log (x/m), Log (C), 1/(x/m), dan 1/C seperti pada Tabel 4.8. Dimana x adalah massa zat logam yang teradsorpsi, x/m adalah Jumlah zat teradsorpsi per satuan berat, ln (x/m) dan ln C adalah nilai x dan y dari persamaan isoterm Freundlich, kemudian 1/(x/m) dan 1/C adalah nilai x dan y persamaan isoterm Langmuir (perhitungan dapat dilihat pada lampiran E).

**Tabel 4.8 Analisis isoterm logam Mn tanpa aktivasi Kimia**

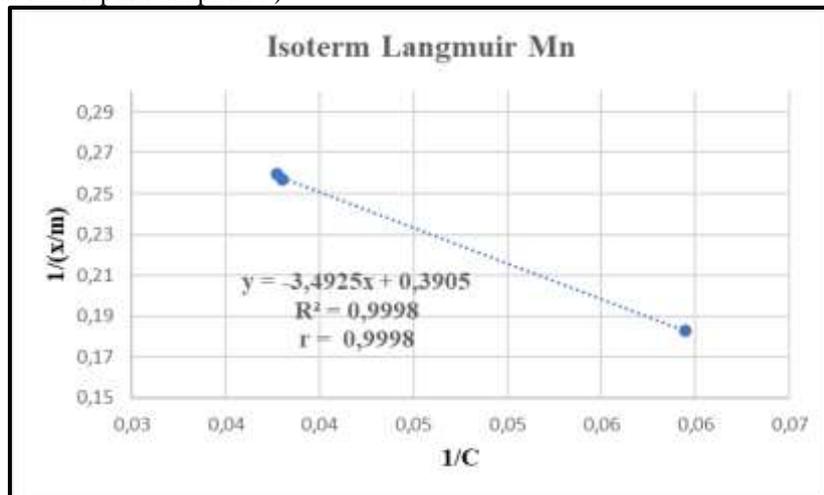
Waktu Kontak (Menit)	Massa (g)	C Awal (mg/L)	C Akhir (mg/L)	x (mg)	x/m (mg/g)	Isoterm Freundlich		Isoterm Lagmuir	
						ln (x/m)	ln(C)	1/(x/m)	1/C
30	3	49,64	26,52	11,56	3,85	1,35	3,28	0,26	0,04
60	3	49,64	26,29	11,67	3,89	1,36	3,27	0,26	0,04
90	3	49,64	16,81	16,41	5,47	1,70	2,82	0,18	0,06

Berdasarkan Tabel 4.8 Analisis adsorpsi logam Mangan (Mn) arang aktif tanpa aktivasi dilakukan menggunakan model isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir. Dalam penelitian ini, kita akan mengasumsikan bahwa seberapa besar adsorpsi yang terjadi pada permukaan arang aktif. Nilai yang diperoleh dari Tabel diatas kemudian diplot kedalam grafik linieritas Freundlich dan Langmuir yang dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan 4.7.



Gambar 4.6 Kurva persamaan isoterm Freundlich logam Mn tanpa aktivasi kimia

Dari Gambar 4.6 diperoleh persamaan  $y = -0,7656x + 3,8602$  dapat disimpulkan bahwa nilai untuk menentukan persamaan freundlich yaitu slope  $1/n = -0,7656x$  dan intercept adalah  $\log K = 3,8602$ , dimana K merupakan konstanta kesetimbangan freundlich sehingga didapatkan model persamaan freundlich  $\frac{x}{m} = 47,4748 C e^{1/-1,3061}$  (perhitungan dapat dilihat pada lampiran F).



Gambar 4.7 Kurva persamaan isoterm Langmuir logam Mn tanpa aktivasi kimia

Dari Gambar 4.7 diperoleh persamaan  $y = -3,4925x + 0,3905$  dapat ditentukan bahwa nilai untuk menentukan persamaan langmuir yaitu slope  $1/q_m \cdot b = -3,4925x$  dan intercept adalah  $b = 0,3905$ , dimana b merupakan konstanta kesetimbangan langmuir sehingga diperoleh model persamaan  $\frac{x}{m} = \frac{-0,2863x - 8,9445 \cdot C}{1 + (-8,9445) \cdot C}$  (perhitungan dapat dilihat pada lampiran F).

Berdasarkan grafik di atas dapat disimpulkan bahwa adsorpsi logam besi dan mangan aktivasi kimia mengikuti persamaan isoterm adsorpsi Freundlich dikarenakan persamaan adsorpsi Freundlich memiliki nilai koefisien korelasi (r) lebih tinggi atau mendekati angka 1 dibandingkan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir. Sehingga persamaan isoterm adsorpsi Freundlich lebih tepat digunakan untuk menentukan nilai kapasitas adsorpsi. Perbedaan persamaan linier Freundlich dan Langmuir dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut ini.

**Tabel 4.9 Hasil persamaan freundlich dan langmuir tanpa aktivasi Kimia Logam Mn**

Persamaan Freundlich		Persamaan Langmuir	
Keterangan	Nilai	Keterangan	Nilai
Persamaan	$y = -0,7656x + 3,8602$	Persamaan	$y = -3,4925x + 0,3905$
Slope (1/n)	-0,7656	Slope (1/n)	-3,4925
Intercept (ln K)	3,8602	Intercept (ln K)	0,3905
Koefisien Korelasi (r)	0,9999	Koefisien Korelasi (r)	0,9998
Persamaan Adsorpsi	$\frac{x}{m} = 47,4748 C e^{1/-1,3061}$	Persamaan Adsorpsi	$\frac{x}{m} = \frac{-0,2863 \times -8,9445 \cdot C}{1 + (-8,9445) \cdot C}$

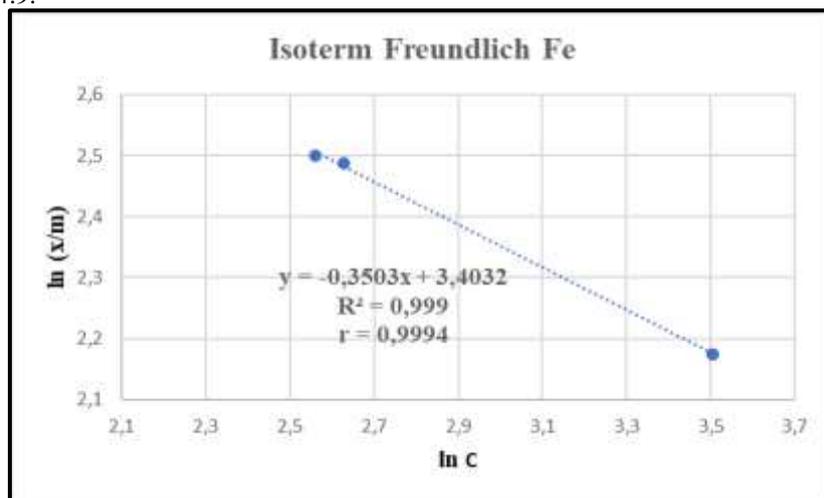
**2. Analisis Adsorpsi Logam Besi (Fe) Menggunakan Arang Aktif Aktivasi Kimia dengan Persamaan Freundlich dan Langmuir.**

Dari hasil pengujian diperoleh hasil data konsentrasi awal dan akhir adsorpsi logam Fe dengan menggunakan arang aktif kulit singkong tanpa aktivasi. Penentuan kapasitas adsorpsi ditentukan dengan membuat grafik plot isoterm Freundlich dan Langmuir, sehingga dibuatlah Tabel data isoterm Freundlich dan Langmuir untuk menentukan nilai sumbu x dan y. Nilai-nilai yang akan ditentukan terlebih dahulu nilai x (mg), x/m, Log (x/m), Log (C), 1/(x/m), dan 1/C seperti pada Tabel 4.10. Dimana x adalah massa zat logam yang teradsorpsi, x/m adalah Jumlah zat teradsorpsi per satuan berat, ln (x/m) dan ln C adalah nilai x dan y dari persamaan isoterm Freundlich, kemudian 1/(x/m) dan 1/C adalah nilai x dan y persamaan isoterm Langmuir (perhitungan dapat dilihat pada lampiran E).

**Tabel 2.1 Analisis isoterm logam Fe aktivasi Kimia**

Waktu Kontak (Menit)	Massa (g)	C Awal (mg/L)	C Akhir (mg/L)	x (mg)	x/m (mg/g)	Isoterm Freundlich		Isoterm Lagmuir	
						ln (x/m)	ln (C)	1/(x/m)	1/C
30	3	86,10	13,86	36,12	12,04	2,49	2,63	0,08	0,07
60	3	86,10	33,30	26,40	8,80	2,17	3,51	0,11	0,03
90	3	86,10	12,93	36,58	12,19	2,50	2,56	0,08	0,08

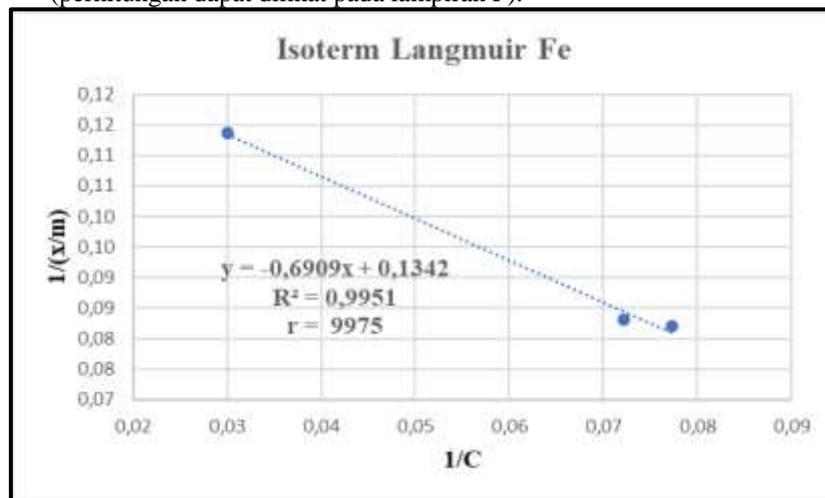
Berdasarkan Tabel 2.1 Analisis adsorpsi logam besi (Fe) arang aktif tanpa aktivasi dilakukan menggunakan model isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir. Dalam penelitian ini, kita akan mengasumsikan bahwa seberapa besar adsorpsi yang terjadi pada permukaan arang aktif. Nilai yang diperoleh dari Tabel diatas kemudian diplot kedalam grafik linieritas Freundlich dan Langmuir yang dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan 4.9.



**Gambar 2.1 Kurva persamaan isoterm Freundlich logam Fe aktivasi kimia**

Dari Gambar 2.2 diperoleh persamaan  $y = -0,3503x + 3,4032$  dapat disimpulkan bahwa nilai untuk menentukan persamaan freundlich yaitu slope  $1/n = -0,3503x$  dan intercept adalah  $\log K = 3,4032$ , dimana K merupakan

konstanta kesetimbangan freundlich sehingga didapatkan model persamaan freundlich  $\frac{x}{m} = 30,0601Ce^{1/-2,8546}$  (perhitungan dapat dilihat pada lampiran F).



**Gambar 2.1** Kurva persamaan isoterm Langmuir logam Fe aktivasi kimia

Dari Gambar 2.1 diperoleh persamaan  $y = -0,6909x + 0,1342$  dapat ditentukan bahwa nilai untuk menentukan persamaan langmuir yaitu slope  $1/qm.b = -0,6909x$  dan intercept adalah  $b = 0,1342$ , dimana b merupakan konstanta kesetimbangan langmuir sehingga diperoleh model persamaan  $\frac{x}{m} = \frac{-1,4473 \times -5,1485.C}{1 + (-5,1485).C}$  (perhitungan dapat dilihat pada lampiran F).

Berdasarkan grafik di atas dapat disimpulkan bahwa adsorpsi logam besi dan mangan aktivasi kimia mengikuti persamaan isoterm adsorpsi Freundlich dikarenakan persamaan adsorpsi Freundlich memiliki nilai koefisien korelasi (r) lebih tinggi atau mendekati angka 1 dibandingkan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir. Sehingga persamaan isoterm adsorpsi Freundlich lebih tepat digunakan untuk menentukan nilai kapasitas adsorpsi. Perbedaan persamaan linier Freundlich dan Langmuir dapat dilihat pada Tabel 4.11 berikut ini.

**Tabel 2.1** Hasil persamaan freundlich dan langmuir aktivasi kimia logam Fe

Persamaan Freundlich		Persamaan Langmuir	
Keterangan	Nilai	Keterangan	Nilai
Persamaan	$y = -0,3503x + 3,4032$	Persamaan	$y = -0,6909x + 0,1342$
Slope (1/n)	-0,3503x	Slope (1/n)	76,067
Intercept (ln K)	3,4032	Intercept (ln K)	0,9769
<b>Persamaan Freundlich</b>	<b>Persamaan Langmuir</b>	<b>Persamaan Freundlich</b>	<b>Persamaan Langmuir</b>
Keterangan	Nilai	Keterangan	Nilai
Persamaan Adsorpsi	$\frac{x}{m} = 30,0601Ce^{1/-2,8546}$	Persamaan Adsorpsi	$\frac{x}{m} = \frac{-1,4473 \times -5,1485.C}{1 + (-5,1485).C}$

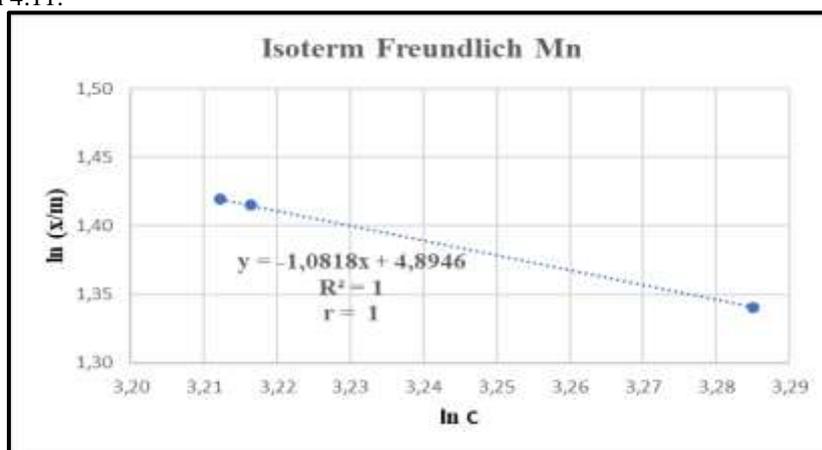
### 3. Analisis Adsorpsi Logam Mangan (Mn) Menggunakan Arang Aktif Aktivasi Kimia dengan Persamaan Freundlich dan Langmuir.

Dari hasil pengujian diperoleh hasil data konsentrasi awal dan akhir adsorpsi logam Fe dengan menggunakan arang aktif kulit singkong tanpa aktivasi. Penentuan kapasitas adsorpsi ditentukan dengan membuat grafik plot isoterm Freundlich dan Langmuir, sehingga dibuatlah Tabel data isoterm Freundlich dan Langmuir untuk menentukan nilai sumbu x dan y. Nilai-nilai yang akan ditentukan terlebih dahulu nilai x (mg), x/m, Log (x/m), Log (C), 1/(x/m), dan 1/C seperti pada Tabel 4.12. Dimana x adalah massa zat logam yang teradsorpsi, x/m adalah Jumlah zat teradsorpsi per satuan berat, ln (x/m) dan ln C adalah nilai x dan y dari persamaan isoterm Freundlich, kemudian 1/(x/m) dan 1/C adalah nilai x dan y persamaan isoterm Langmuir (perhitungan dapat dilihat pada lampiran E).

**Tabel 3.1 Analisis isoterm logam Mn tanpa aktivasi kimia**

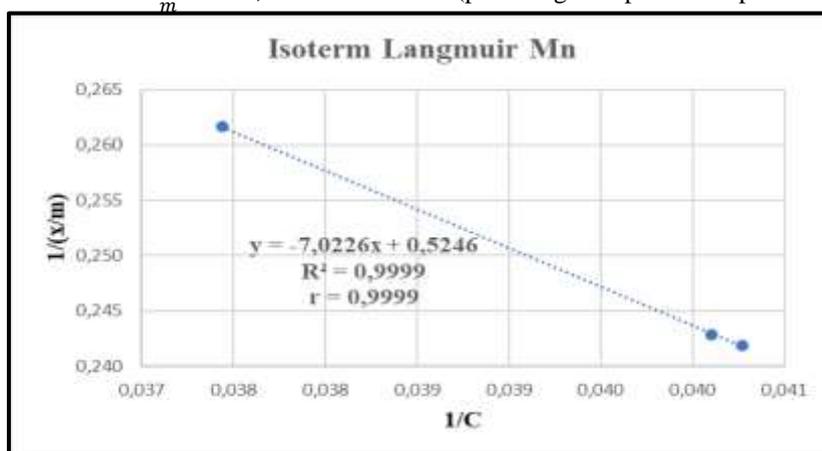
Waktu Kontak (Menit)	Massa (g)	C Awal (mg/L)	C Akhir (mg/L)	x (mg)	x/m (mg/g)	Isoterm Freundlich		Isoterm Lagmuir	
						ln (x/m)	ln(C)	1/(x/m)	1/C
30	3	49,64	26,71	11,47	3,82	1,34	3,29	0,26	0,04
60	3	49,64	24,94	12,35	4,12	1,42	3,22	0,24	0,04
90	3	49,64	24,83	12,40	4,13	1,42	3,21	0,24	0,04

Berdasarkan Tabel 3.1 Analisis adsorpsi logam Mangan (Mn) arang aktif aktivasi kimia dilakukan menggunakan model isoterm adsorpsi Freundlich dan Langmuir. Dalam penelitian ini, kita akan mengasumsikan bahwa seberapa besar adsorpsi yang terjadi pada permukaan arang aktif. Nilai yang diperoleh dari Tabel diatas kemudian diplot kedalam grafik linieritas Freundlich dan Langmuir yang dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan 4.11.



**Gambar 3.1 Kurva persamaan isoterm Freundlich logam Mn aktivasi kimia**

Dari Gambar 3.1 diperoleh persamaan  $y = -1,0818x + 4,8946$  dapat disimpulkan bahwa nilai untuk menentukan persamaan freundlich yaitu slope  $1/n = -1,0818x$  dan intercept adalah  $\log K = 4,8946$ , dimana K merupakan konstanta kesetimbangan freundlich sehingga didapatkan model persamaan freundlich  $\frac{x}{m} = 133,5665C e^{1/-0,9243}$  (perhitungan dapat dilihat pada lampiran F).



**Gambar 3.1 Kurva persamaan isoterm Langmuir logam Mn aktivasi kimia**

Dari Gambar 3.1 diperoleh persamaan  $y = -7,0226x + 0,5246$  dapat ditentukan bahwa nilai untuk menentukan persamaan langmuir yaitu slope  $1/q_m \cdot b = -7,0226x$  dan intercept adalah  $b = 0,5246$ , dimana b merupakan konstanta kesetimbangan langmuir sehingga diperoleh model persamaan  $\frac{x}{m} = \frac{-0,1423x - 13,3957 \cdot C}{1 + (-13,3957) \cdot C}$  (perhitungan dapat dilihat pada lampiran F).

Berdasarkan grafik di atas dapat disimpulkan bahwa adsorpsi logam besi dan mangan aktivasi kimia mengikuti persamaan isoterm adsorpsi Freundlich dikarenakan persamaan adsorpsi Freundlich memiliki nilai koefisien korelasi (r) lebih tinggi dibandingkan persamaan isoterm adsorpsi Langmuir. Sehingga persamaan

isoterm adsorpsi Freundlich lebih tepat digunakan untuk menentukan nilai kapasitas adsorpsi. Perbedaan persamaan linier Freundlich dan Langmuir dapat dilihat pada Tabel 4.13 berikut ini.

**Tabel 3.1 Hasil persamaan freundlich dan langmuir logam Mn aktivasi kimia**

Persamaan Freundlich		Persamaan Langmuir	
Keterangan	Nilai	Keterangan	Nilai
Persamaan	$y = -1,0818x + 4,8946$	Persamaan	$y = -7,0226x + 0,5246$
Slope (1/n)	-1,0818x	Slope (1/n)	76,067
Intercept (In K)	3,4032	Intercept (In K)	0,9769
Koefisien korelasi (r)	1	Koefisien korelasi (r)	0,9999
Persamaan Freundlich	Persamaan Langmuir	Persamaan Freundlich	Persamaan Langmuir
Keterangan	Nilai	Keterangan	Nilai
Persamaan Adsorpsi	$\frac{x}{m} = 133,5665Ce^{1/-0,9243}$	Persamaan Adsorpsi	$\frac{x}{m} = \frac{-0,1423 \times -13,3957.C}{1 + (-13,3957).C}$

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil uji awal air asam tambang menunjukkan kandungan logam yang terdapat dalam air asam tambang tinggi dengan nilai kadar logam Fe yaitu 86,08 mg/L dan pada logam Mn yaitu 49,64 mg/L. Air asam tambang juga mengandung tingkat keasaman air yang tinggi dimana nilai pH mencapai 2,62.
2. Karakteristik Adsorben arang kulit singkong non-aktivasi kimia dan aktivasi kimia berdasarkan uji adalah kadar air pada arang aktif tanpa aktivasi memiliki kadar air 5,30% sedangkan aktivasi kimia 6,11%, kadar abu pada arang aktif tanpa aktivasi memiliki persentase nilai 8,36% sedangkan pada aktivasi kimia memiliki nilai persentase lebih tinggi yaitu 7,78%, volatile matter atau kadar zat mudah menguap pada arang aktif tanpa aktivasi memiliki persentase kadar sebesar 20,12% sedangkan untuk arang aktif aktivasi kimia mempunyai kadar 21,05%, dan *fixed carbon* pada arang aktif tanpa aktivasi memiliki kadar *fixed carbon* 66,23% sedangkan pada arang aktif aktivasi kimia memiliki nilai kadar sebesar 65,06%.
3. Waktu arang aktif kulit singkong memiliki pengaruh dalam penurunan konsentrasi logam besi (Fe) dan mangan (Mn) pada air asam tambang. Berdasarkan hasil pengujian pengaruh waktu terhadap Fe dan Mn arang aktif aktivasi kimia pada menit 30 dengan hasil penyerapan mencapai hasil terbaik pada aktivasi kimia terjadi pada menit 90 dengan hasil penyerapan mencapai 12,934 mg/L dan hasil terbaik non aktivasi mencapai 0,575 mg/L pada waktu 30 menit, sedangkan hasil penyerapan logam Mn pada arang aktif non aktivasi terjadi pada waktu 90 menit dengan hasil 16,81 mg/L dan pada arang aktif aktivasi kimia penyerapan terbaik terjadi pada menit 90 dengan hasil mencapai 24,83 mg/L.

Berdasarkan hasil uji menunjukkan bahwa arang aktif tanpa aktivasi kimia lebih memiliki kapasitas adsorpsi yang tinggi dibanding dengan arang aktif aktivasi terhadap konsentrasi logam Fe dimana hasil terbaik yaitu pada menit 30 dengan kapasitas adsorpsi 14,2589 mg/g dan waktu mempengaruhi kapasitas adsorpsi pada arang aktif aktivasi kimia dengan lama waktu yang digunakan maka kapasitas adsorpsi semakin meningkat pula. Dan kapasitas adsorpsi pada arang aktif tanpa aktivasi kimia memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik dibandingkan dengan kapasitas adsorpsi arang aktif aktivasi terhadap konsentrasi logam Mn dimana hasil terbaik yaitu pada menit 90 dengan kapasitas adsorpsi yaitu 5,4714 mg/g.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ariyani, Putri A.R, Eka R.P., dan Fathoni R. 2017. *Pemanfaatan Kulit Singkong Sebagai Bahan Baku Arang Aktif Dengan Variasi Konsentrasi NaOH dan Suhu*. Jurnal Teknik Kimia Universitas Mulawarman Samarinda
- Estiasih, Teti., Widya Dwi Rukmi Putri., dan Elok Waziroh. 2017. *Umbi Umbian dan Pengolahannya*. UB Press. Malang.
- Fatimah, Is. 2014. *Adsorpsi dan Katalisis Menggunakan Material Clay*. Graha Ilmu. Yogyakarta
- Gautama, Rudy Sayoga. 2019. *Pembentukan, Pengendalian dan pengelolaan Air Asam Tambang*. ITB Press. Bandung.
- Hidayat, L. (2017). *Pengelolaan Lingkungan Areal Tambang Batubara (Studi Kasus Pengelolaan Air Asam Tambang (Acid Mining Drainage) Di Pt. Bhumi Rantau*. Jurnal ADHUM, 7(1), 44–52.

- Permatasari, Anugrah Rizqi., Lia Umi Khasanah., Esti Widowati. 2015. *Karakterisasi Karbon Aktif Kulit Singkong (Manihot Utilissima) Dengan Variasi Jenis Aktivator*. Jurnal Teknologi Hasil Pertanian, Vol. VII, No. 2.
- Putrianda, Dela Cahya., Leonita Yuliana., dan Herawati Budiastuti. 2019. *Aktivasi Karbon Aktif Kulit Singkong Dengan Aktivator Nacl, Zncl2, Dan Na2co3 Untuk Adsorben Pb2+*. Jurnal Sentrinov, Volume 5 tahun 2019, ISSN: 2477-2097.
- Putri, Septi Wulan Adi., Wikanastris Hersoelisyorini. 2012. *Kajian Kadar Protein, Serat, Hcn, Dan Sifat Organoleptik Prol Tape Singkong Dengan Substitusi Tape Kulit Singkong*. Jurnal Pangan dan Gizi Vol 03 No. 06 Tahun 2012
- Pratiwi, Indah., Yusriana Sapta Dewi. 2017. *Pemanfaatan Limbah Kulit Singkong (Manihot Utilissima) dalam mempengaruhi kadar Fe dalam air*. Fakultas Teknik, Universitas Satya Negara Indonesia. Jakarta
- Sailah Illah., Fitri Mulyaningsih., Andes Ismayana., Tyara Puspaningrum., Anis Annisa Adnan., dan Nastiti Siswi Indrasti. 2020. *Kinerja Karbon Aktif Dari Kulit Singkong Dalam Menurunkan Konsentrasi Fosfat Pada Air Limbah Laundry*. Jurnal Teknologi Industri Pertanian 30 (2): 180-189.