

**UJI PEMANFAATAN *PALM OIL FUEL ASH* (POFA) SEBAGAI
ADSORBEN DALAM MENETRALKAN pH DAN
MENDEGRADASI TSS, COD LIMBAH PENATU**

TUGAS AKHIR

Diajukan Oleh :

AGUSRI

NIM. 170702063

**Mahasiswa Fakultas Sains Dan Teknologi
Prog Studi Teknik Lingkungan**



**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI AR-RANIRY
BANDA ACEH
2022 M / 1443 H**

LEMBAR PERSETUJUAN

**UJI PEMANFAATAN PALM OIL FUEL ASH (POFA)
SEBAGAI ADSORBEN DALAM MENETRALKAN pH
DAN MENDEGRADASI TSS, COD LIMBAH PENATU**

TUGAS AKHIR

Diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
Sebagai Beban Studi Memperoleh Gelar Sarjana dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Diajukan oleh:

AGUSRI

NIM. 170702063

Mahasiswa Fakultas Sains dan Teknologi
Program Studi Teknik Lingkungan

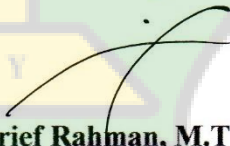
Banda Aceh, 1 Maret 2022

Telah Diperiksa dan Disetujui oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II


Teuku Muhammad Ashari, M. Sc
NIDN. 2002028301


Arief Rahman, M.T
NIDN. 2010038901

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Ar-Raniry Banda Aceh


Dr. Eng. Nur Aida, M.Si.
NIDN. 2016067801

LEMBAR PENGESAHAN

UJI PEMANFAATAN PALM OIL FUEL ASH (POFA) SEBAGAI ADSORBEN DALAM MENETRALKAN pH DAN MENDEGRADASI TSS, COD LIMBAH PENATU

TUGAS AKHIR

Telah Diuji oleh Panitia Ujian Munaqasyah Tugas Akhir
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh
serta Diterima Sebagai Salah Satu Beban Studi Program Sarjana (S-1)
dalam Ilmu Teknik Lingkungan

Pada Hari/Tanggal: Senin, 10 Januari 2022
08 Jumadil Akhir 1443 H

Panitia Ujian Munqasyah Skripsi

Ketua,



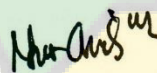
Teuku Muhammad Ashari, M. Sc
NIDN. 2002028301

Sekretaris,



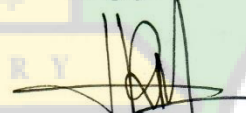
Arief Rahman, M.T
NIDN. 2010038901

Penguji I,



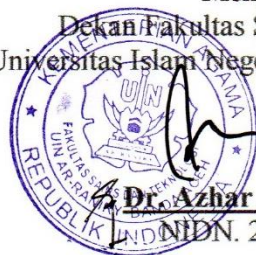
Dr. Eng. Nur Aida, M.Si
NIDN. 2016067801

Penguji II,



Reni Silvia Nasution, M.Si
NIDN. 2022028901

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh



Dr. Azhar Amsal, M.Pd.
NIDN. 2001066802

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Agusri
NIM : 170702063
Prog Studi : Teknik Lingkungan
Fakultas : Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh
Judul Skripsi : Uji Pemanfaatan Palm Oil Fuel Ash (POFA) Sebagai Adsorben Dalam Menetralkan pH dan Mendegradasi TSS, COD Limbah Penatu

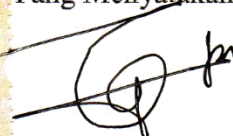
Dengan ini menyatakan bahwa dalam penulisan skripsi ini, saya:

1. Mengerjakan sendiri karya ini dan mampu bertanggung jawab atas karya ini;
2. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik apapun, baik di Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh maupun di perguruan tinggi lainnya;
3. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing;
4. Tidak melakukan plagiasi terhadap naskah karya orang lain;
5. Tidak menggunakan karya orang lain tanpa menyebutkan sumber asli atau tanpa izin pemilik karya; dan
6. Tidak memanipulasi dan memalsukan data.

Bila kemudian hari ada tuntutan dari pihak lain atas karya saya, dan telah melalui pembuktian yang dapat dipertanggungjawabkan dan ternyata memang ditemukan bukti bahwa saya melanggar pernyataan ini, maka saya siap dikenai sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Ar-Raniry Banda Aceh.

Banda Aceh, 2 Agustus 2021
Yang Menyatakan,




AGUSRI
NIM. 170702012

ABSTRAK

Nama : Agusri
NIM : 170702063
Prog Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Uji Pemanfaatan Palm Oil Fuel Ash (POFA) Sebagai Adsorben Dalam Menetralkan pH dan Mendegradasi TSS, COD Limbah Penatu
Tanggal Sidang : -
Jumlah Halaman : -
Pembimbing I : Teuku Muhammad Ashari, M.Sc
Pembimbing II : Arief Rahman, M.T
Kata Kunci : Adsorben, Adsorpsi, Degradasi, Netralisasi, Aktivitas, POFA, pH, TSS, COD

Meningkatnya pertumbuhan perkebunan kelapa sawit memberikan dampak peningkatan limbah Palm Oil Fuel Ash (POFA) yang dapat mengakibatkan pencemaran tanah dan air tanah. Disamping itu peningkatan jumlah jasa penatu juga berdampak terhadap peningkatan limbah penatu yang juga dapat pencemaran pada lingkungan khususnya badan air. Metode adsorpsi dapat mendegradasi polutan yang terdapat pada limbah penatu. Limbah POFA diketahui dapat mendegradasi polutan pada air limbah dengan menjadikannya sebagai adsorben. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi kemampuan POFA sebagai adsorben untuk mendegradasi polutan pada limbah penatu dengan harapan dapat menjadi solusi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh limbah POFA dan Limbah Penatu. Variabel bebas yang digunakan dalam eksperimen ini adalah massa adsorben POFA yang digunakan yaitu 5, 10, 15, 20, dan 25 g/L dan waktu pengadukan yaitu 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa adsorben POFA mampu menetralkan pH pada limbah penatu dari sebelumnya 9,4 menjadi 7,3 dengan massa adsorben 25 g/L dan waktu pengadukan 150 menit, untuk parameter TSS adsorben POFA mampu mendegradasi TSS dari sebelumnya 310 mg/L menjadi 73 mg/L dengan massa adsorben 20 g/L dengan waktu pengadukan 60 menit dan pada penambahan 25 g/L dengan pengadukan 90 menit, untuk parameter COD mampu didegradasi dari sebelumnya 370 mg/L menjadi 40 mg/L dengan massa adsorben 25 g/L dan waktu pengadukan 30 menit.

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya milik Allah SWT. yang telah melimpahkan segala karunianya yang tidak terhingga, khususnya nikmat Iman dan Islam, yang dengan keduanya diperoleh kebahagiaan dunia dan akhirat. Shalawat dan Salam semoga selalu tercurah kepada baginda Nabi Muhammad SAW. dan atas keluarga dan sahabat beliau serta orang-orang yang mengikuti jejak langkah mereka itu hingga akhir zaman.

Dengan mengucapkan rasa syukur kepada Allah SWT. skripsi tugas akhir ini telah dapat saya selesaikan, dengan judul “Uji Pemanfaatan *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) Sebagai Adsorben Dalam Menetralkan pH dan Mendegradasi TSS, COD Limbah Penatu.” Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih yang tidak terhingga kepada:

1. Ibu Hasanah dan Bapak M. Nasir selaku orang tua penulis.
2. Dr. Eng. Nur Aida, M.Si selaku Kepala Prodi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry.
3. Ibu Husnawati Yahya, S.Si., M.Sc. selaku koordinator proposal dan tugas akhir.
4. Ibu Yegi Darnas, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Islam Negeri Ar-Raniry Banda Aceh atas segala arahan dan bimbingannya
5. Teuku Muhammad Ashari, S.T., M.Sc. sebagai dosen pembimbing sejak dari penulisan proposal hingga penulisan skripsi tugas akhir, yang telah banyak memberikan arahan dan bimbingan dalam penulisan skripsi ini.
6. Arief Rahman, M. Sc. Selaku dosen pembimbing dua dalam penulisan skripsi ini.
7. Dan semua teman teman yang sudah mendukung dan membantu selama pembuatan proposal.

Penulis berharap semoga skripsi tugas akhir ini bisa memberikan manfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya. Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan skripsi tugas akhir ini masih terdapat banyak

kesalahan dan kekurangan baik dalam cara penulisan maupun isi tulisan didalamnya. Oleh karena itu, penulis sangat menerima kritik dan saran yang membangun dari semua pihak untuk kesempurnaan tugas ini. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pembaca sekalian.

Banda Aceh, 10 Desember 2021

Penulis,

Agusri



DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBARAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.1 Rumusan Masalah.....	3
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Manfaat Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Abu Tandan Kosong/ <i>Palm Oil Fuel Ash</i> (POFA)	5
2.1.1 Sumber POFA	6
2.1.2 Q Karakteristik POFA	6
2.2 Adsorben	8
2.2.1 Karakteristik Adsorben	9
2.2.2 Sistem Adsorpsi.....	10
2.2.3 Jenis-Jenis Adsorpsi	10
2.2.4 Faktor –Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi	11
2.3 Limbah Penatu	11
2.3.1 Karakteristik Limbah Penatu.....	12
2.3.2 Baku Mutu Limbah Penatu	12
2.4 PH	13
2.5 Total Suspended Solid (TSS).....	13
2.6 COD	14
BAB III METODE PENELITIAN	16
3.1 Tahapan Umum Penelitian.....	16
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	17
3.3 Alat dan Bahan.....	18
3.3.1. Alat	18
3.3.2. Bahan	18
3.4 Variabel Penelitian.....	19
3.5 Metode Pengambilan Sampel	19
3.6 Persiapan dan Aktivasi POFA	19
3.7 Prosedur Eksperimen	21
3.8 Analisa Parameter	23
3.8.1 Analisa PH	23
3.8.2 Analisa TSS	23
3.8.3 Analisa COD.....	23
3.9 Teknik Analisis Data	24

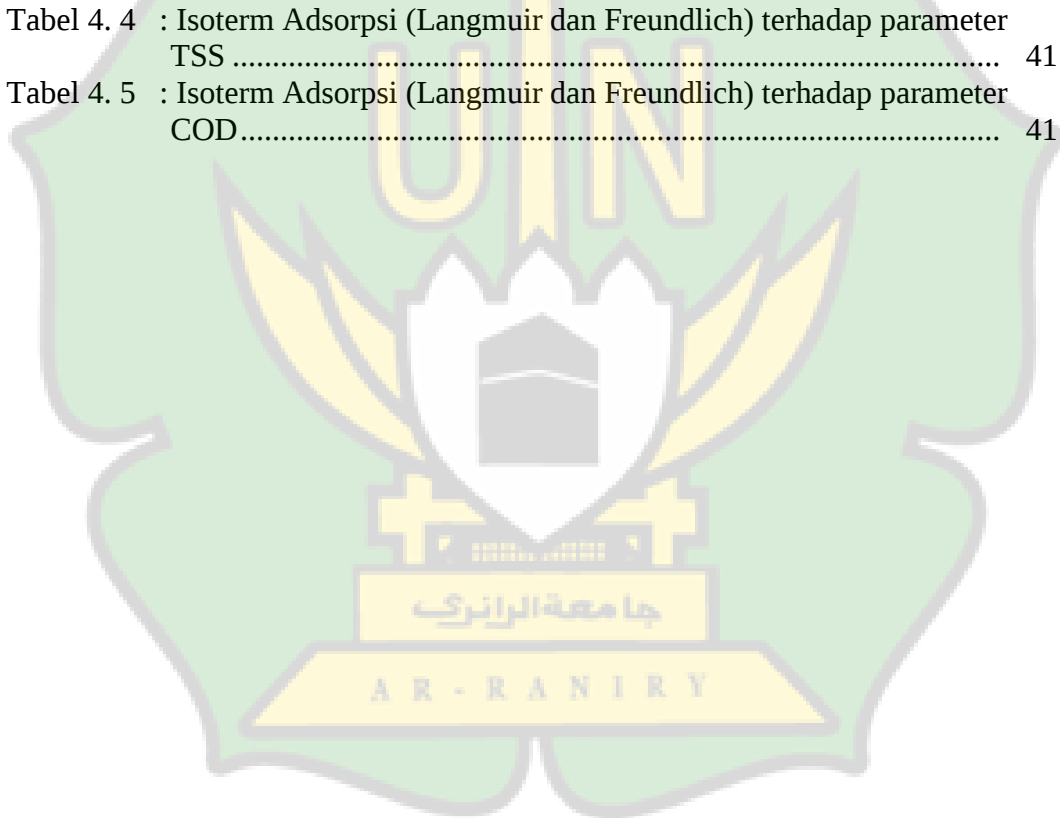
3.9.1 Penentuan Efektivitas Adsorpsi	24
3.9.2 Penentuan Kapasitas Adsorpsi	24
3.9.3 Adsorpsi Isoterm	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	26
4.1 Persiapan Adsorben POFA	26
4.2 Uji Parameter Limbah Sebelum dan Sesudah Penambahan Adsorben	28
4.3 Kemampuan Adsorben POFA Dalam Menetralkan Konsentrasi pH dan Mendegradasi TSS Dan COD Pada Limbah Penatu	30
4.4 Pengaruh Massa Adsorben POFA Terhadap Parameter pH TSS dan COD	32
4.4.1 Pengaruh Massa Adsorben POFA Terhadap Parameter pH	32
4.4.2 Pengaruh Massa Adsorben POFA Terhadap Parameter TSS	34
4.4.3 Pengaruh Massa Adsorben POFA Terhadap Parameter COD	35
4.5 Pengaruh waktu pengadukan Terhadap Parameter pH, TSS dan COD	36
4.5.1 Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Parameter pH	36
4.5.2 Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Parameter TSS	37
4.6 Model Isoterm.....	40
BAB V PENUTUP	44
5.1 Kesimpulan.....	44
5.2 Saran	44
Daftar Pustaka.....	45
LAMPIRAN A SNI Pengujian Parameter.....	49
Lampiran A.1. Pengujian parameter TSS (SNI. 06.6989.3.2004).....	49
Lampiran A.2. Pengujian parameter COD (SNI. 06-6989.73.2009).....	50
Lampiran B Hasil Perhitungan.....	52
Lampiran B.1. Kadar Air Dan Kadar Abu	52
Lampiran B.2. Perhitungan TSS	53
Lampiran B.3. Perhitungan Efektifitas Adsorpsi TSS	59
Lampiran B.4. Perhitungan Efektifitas Adsorpsi COD	66
Lampiran C Foto Dokumentasi Penelitian	72
1. Proses Aktivasi Adsorben	72
2. Proses Eksperimen	73
3. Hasil Pengujian Parameter pH	74
4. Hasil Pengujian Parameter TSS	76
5. Hasil Pengujian Parameter COD.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	: Tumpukan Tandan Kosong.....	5
Gambar 2. 2	: Abu Hasil Pembakaran Tandan Kosong Di Dalam Insinator	6
Gambar 3. 1	: Diagram alir penelitian	17
Gambar 3. 2	: Peta lokasi pengambilan sampel limbah Penatu	18
Gambar 4. 1	: (a) POFA sebelum disaring dan (b) POFA setelah disaring...	27
Gambar 4. 2	: Pengaruh massa adsorben terhadap parameter pH	33
Gambar 4. 3	: Pengaruh massa adsorben terhadap parameter TSS	34
Gambar 4. 4	: Pengaruh massa adsorben terhadap parameter COD	35
Gambar 4. 5	: Grafik Pengaruh waktu pengadukan terhadap nilai konsentrasi parameter pH	37
Gambar 4. 6	: Grafik Pengaruh waktu pengadukan terhadap nilai konsentrasi parameter TSS	38
Gambar 4. 7	: Grafik Pengaruh waktu pengadukan terhadap nilai konsentrasi parameter COD	39
Gambar 4. 8	: (a) Isoterm Freundlich dan (b) Isoterm Langmuir parameter TSS.....	42
Gambar 4. 9	: (a) Isoterm Freundlich dan (b) Isoterm Langmuir parameter COD	42

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 2 : Komposisi kimia bahan baku POFA	7
Tabel 2. 3 : Komposisi kimia POFA dari penelitian terdahulu	8
Tabel 2. 4 : Standar kualitas arang aktif berdasarkan SNI 06-3730-1995.....	9
Tabel 2. 5 : Karakteristik Limbah Penatu Dari Penelitian Terdahulu	12
Tabel 2. 6 : Baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan domestik	12
Tabel 3. 1 : Standar Baku Mutu Arang Aktif	20
Tabel 3. 2 : Variasi massa adsorben dan waktu pengadukan	22
Tabel 4. 1 : Hasil analisa karakteristik adsorben dan perbandingan dengan	27
Tabel 4. 2 : Perbandingan hasil pengujian parameter awal limbah penatu dengan baku mutu PERMEN LH No. 68 tahun 2016	28
Tabel 4. 3 : Hasil Pengujian limbah penatu sesudah penambahan POFA	29
Tabel 4. 4 : Isoterm Adsorpsi (Langmuir dan Freundlich) terhadap parameter TSS	41
Tabel 4. 5 : Isoterm Adsorpsi (Langmuir dan Freundlich) terhadap parameter COD.....	41



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laju pertumbuhan areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia terus meningkat yang ditandai dengan peningkatan produksi *Crude Palm Oil* (CPO) dan *Kernel Palm Oil* (KPO). Berdasarkan data laporan yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) Tahun 2020 bahwa luas areal perkebunan kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2017 mencapai 12,38 juta hektar dengan hasil produksi 34,94 juta ton, pada tahun 2018 meningkat menjadi 14,33 juta hektar dengan hasil produksi 42,88 juta ton, dan pada tahun 2019 mencapai 14.60 juta hektar dengan hasil produksi 48,42 juta ton.

Siska (2017) menyatakan seiring dengan peningkatan areal perkebunan dan hasil produksi kelapa sawit tersebut, mendorong berdirinya pabrik pabrik pengolahan kelapa sawit yang baru. Buah tandan kelapa sawit biasanya akan diolah di Pabrik Minyak Kelapa Sawit (PMKS) untuk dijadikan minyak *Crude Palm Oil* (CPO) dan *Kernel Palm Oil* (KPO). Namun dalam pengolahan tersebut selain menghasilkan CPO dan KPO juga menghasilkan limbah berupa limbah padat cair dan gas, yang jika tidak dikelola dengan baik akan berdampak buruk terhadap lingkungan. Salmina (2018) menjelaskan dalam penelitiannya bahwa Tandan Kosong (TANKOS) merupakan salah satu limbah padat yang dihasilkan dari proses produksi CPO dan KPO tersebut. TANKOS merupakan salah satu limbah padat yang paling banyak dihasilkan dari proses pengolahan CPO dan KPO. Dalam satu ton buah tandan buah kelapa sawit menghasilkan sekitar 22-23% atau sekitar 220–230 Kg (Salmina, 2018).

Pengolahan/pemanfaatan TANKOS kelapa sawit di Indonesia sendiri saat ini masih sangat terbatas. Biasanya TANKOS akan dibakar pada incinerator hingga berubah menjadi abu yang disebut dengan *Palm Oil Fuel Ash* (POFA). Biasanya POFA akan dikumpulkan pada suatu tempat dan tidak dilakukan pengolahan lebih lanjut (Rizki, 2018). Jika dibiarkan secara terus menerus

tentunya hal ini dapat mencemari lingkungan terutama pada tanah dan air tanah. Rahmadhani, dkk (2015) dalam penelitiannya menyatakan bahwa POFA memiliki konsentrasi pH yang cukup tinggi yaitu 12,5. POFA dalam jumlah banyak akan mempengaruhi konsentrasi pH tanah atau air tanah yang pada akhirnya akan memberikan dampak buruk bagi lingkungan jika dibiarkan secara terus menerus.

Dilain sisi, perkembangan kegiatan jasa pencucian/penatu di Indonesia semakin meningkat setiap tahunnya. Industri Jasa ini memiliki manfaat besar bagi masyarakat, baik bagi penyedia maupun pengguna jasa tersebut (Apriyani, 2017). Namun Perkembangan industri ini perlu mendapat perhatian karena pada umumnya para pelaku usaha membuang langsung limbah sisa produksinya ke selokan atau badan air tanpa pengolahan terlebih dulu. Pencemaran terhadap lingkungan dapat timbul karena air limbah dari industri penatu banyak mengandung polutan berupa lemak dan senyawa organik lain yang berasal dari pakaian kotor, beberapa senyawa kimia seperti natrium *tripolyphosphate* sebagai pengisi, dan deterjen atau surfaktan yang sulit terurai secara alami (Agustina dkk, 2014).

Hudori (2008) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa limbah penatu mempunyai nilai pH 9,67, BOD 182,78 mg/L, COD 599,44 mg/L, serta deterjen mg/L. Limbah penatu juga mengakibatkan kekeruhan sehingga menghalangi sinar matahari masuk ke dalam air. Hal ini akan memberikan dampak buruk bagi lingkungan khususnya pada keberlangsungan biota air. Oleh karena itu sebelum limbah dibuang ke lingkungan maka perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu hingga limbah yang dibuang ke lingkungan telah sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan oleh PERMENLH No. 68 tahun 2016.

Dari dua permasalahan lingkungan ini membuat penulis tertarik untuk melakukan sebuah penelitian yang dapat menyelesaikan dua masalah lingkungan ini dengan sebuah solusi, yakni dengan menjadikan limbah abu tandan kosong sebagai adsorben yang dapat menetralsir konsentrasi pH dan mendegradasi konsentrasi TSS dan COD pada limbah penatu. POFA mengandung senyawa lignin, selulosa dan hemiselulosa. Lignoselulosa merupakan komponen utama

penyusun POFA yang memiliki kemampuan mengadsorpsi karena mengandung gugus aktif -OH dan -COOH (Muhammadin, 2017).

Penelitian yang dilakukan oleh Anggraini (2017) yang memanfaatkan POFA sebagai adsorben dalam mendegradasi kandungan COD dan BOD limbah PMKS. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil yang paling optimal adalah penggunaan massa adsorben 5 g/L. Kondisi awal BOD 123,92 mg/L dan COD 344,2 mg/L. Setelah dilakukan penambahan adsorben POFA sebanyak 5g kandungan BOD dapat diturunkan menjadi 60,22 mg/L dan COD menjadi 188,2 mg/L. Selain itu pada penelitian Sopiah dkk, (2017) menggunakan adsorben POFA dimanfaatkan untuk menurunkan kadar logam Kadium (Cd). Dari Penelitian tersebut didapatkan hasil bahwa nilai paling optimum adalah aktivasi dengan suhu 350° C dan aktivator NH₄CL didapatkan hasil penurunan kandungan Cd sebanyak 100%.

Dari uraian di atas penulis tertarik untuk melakukan penelitian yang berjudul “Uji Pemanfaatan *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) Sebagai Adsorben Dalam Menetralkan Konsentrasi pH dan Mendegradasi TSS, dan COD Limbah Penatu”.

1.1 Rumusan Masalah

Adapun yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah kemampuan adsorben POFA dalam menetralkan pH dan mendegradasi TSS dan COD pada limbah penatu.
2. Bagaimanakah pengaruh massa adsorben POFA dalam menetralkan pH dan mendegradasi TSS dan COD pada limbah penatu.
3. Bagaimanakah pengaruh waktu pengadukan adsorben POFA dalam menetralkan pH dan mendegradasi TSS dan COD pada limbah penatu.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui kemampuan adsorben POFA dalam menetralkan pH dan mendegradasi TSS dan COD pada limbah penatu.

2. Untuk mengetahui pengaruh massa adsorben POFA dalam menetralkan pH dan mendegradasi TSS dan COD pada limbah penatu.
3. Untuk mengetahui pengaruh waktu pengadukan adsorben POFA dalam menetralkan pH dan mendegradasi TSS dan COD pada limbah penatu.

1.3 Manfaat Penelitian

Adapun yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengurangi jumlah penumpukan limbah POFA yang dapat mencemari lingkungan.
2. Untuk mengurangi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh limbah penatu dengan menggunakan adsorben dari POFA.
3. Untuk memberikan informasi kepada pelaku usaha penatu alternatif bahan pengolahan limbah penatu serta kepada pihak akademis yang ingin melanjutkan penelitian di bidang ini.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengujian daya adsorpsi POFA hanya dilakukan pada limbah Penatu yang diambil dari Toko Lira Laundry (toko yang membuka jasa Penatu) yang terdapat di desa Tanjung Selamat.
2. POFA yang digunakan dalam penelitian ini merupakan abu tandan kosong hasil pembakaran dari incinerator PMKS PT. Bangun Sempurna Lestari.
3. Parameter yang diuji dalam penelitian ini terdiri dari parameter pH, TSS, dan COD.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Abu Tandan Kosong/ *Palm Oil Fuel Ash* (POFA)

Tandan kosong kelapa sawit adalah salah satu produk sampingan berupa padatan dari industri pengolahan kelapa sawit, sedangkan abu tandan kosong merupakan sisa hasil pembakaran tandan kosong pada incinerator atau boiler (Wardani dan Wirdiawati, 2016). Abu sawit yang disebut juga dengan *Palm Oil Fuel Ash* (POFA). Limbah POFA merupakan masalah bagi industri kelapa sawit karena memerlukan lahan pembuangan yang luas. Peningkatan Jumlah POFA setiap tahunnya akan memberikan dampak buruk bagi lingkungan. Salah satu cara untuk mengatasi dampak buruk yang tersebut adalah dengan memanfaatkan kembali limbah POFA (Yuliana, dkk 2014).



Gambar 2. 1 Tumpukan Tandan Kosong

(sumber: foto pribadi)

Penanganan limbah POFA oleh pabrik minyak sawit saat ini masih terbatas pada penimbunan di lahan kosong. Hal ini berpotensi membahayakan lingkungan dan masyarakat sekitar jika terbawa ke perairan. Namun selain dampak buruk yang ditimbulkan, POFA juga memiliki nilai positif yaitu memiliki komposisi kimia yang tersusun atas oksida logam SiO_2 yang memiliki sifat aktif

yang dapat digunakan sebagai adsorben dalam menyerap logam dan bahan-bahan kimia lainnya (Arini, dkk 2020).

2.1.1 Sumber POFA

Pabrik pengolahan kelapa sawit menghasilkan limbah buangan yang terdiri dari limbah padat, cair dan gas. Limbah padat yang dihasilkan bermacam macam seperti tandan kosong, cangkang, fiber dan lain-lain. Proses ekstraksi 100 ton tandan buah segar akan menghasilkan limbah atau produk sisa yang meliputi 20 ton cangkang, 7 ton serat, dan 25 ton tandan kosong. *Palm Oil Fuel Ash (POFA)* merupakan hasil pembakaran tandan kosong dengan suhu sekitar 800 – 1000 °C (Yuliana, dkk 2014). Limbah padat yang dihasilkan dari hasil pengolahan CPO dan KPO kemudian akan dibakar pada stasiun *Incinerator* dan *Boiler*. Limbah tankos akan dibakar di stasiun insinerator, sedangkan limbah padat lainnya seperti cangkang, serat buah, dan fiber akan dibakar di stasiun boiler yang digunakan sebagai bahan bakar pembangkit listrik tenaga uap (Pardamean, 2014).



Gambar 2. 2 Abu Hasil Pembakaran Tandan Kosong Di Dalam Insinerator

(sumber: foto pribadi)

2.1.2 Q Karakteristik POFA

POFA merupakan abu sisa hasil pembakaran limbah padat pabrik pengolahan minyak kelapa sawit. POFA memiliki warna hitam keabu-abuan.

POFA tergolong ke dalam golongan A-3 yaitu tanah granula, memiliki ukuran partikel berkisar antara 0,076mm sampai 4,75mm. Granular merupakan sebuah struktur yang dimana tanah berbentuk membulat dan memiliki banyak sisi berbeda (Yuliana dkk, 2014).

Tandan kosong kelapa sawit ini memiliki kandungan senyawa lignin, selulosa, dan hemiselulosa. 23% tandan buah segar kelapa sawit terdiri dari tandan kosong atau setiap 1 ton buah kelapa sawit terdiri dari 230 kg tandan kosong. Tandan kosong memiliki bahan lignoselulosa sebesar 55-60% berat kering. Lignoselulosa merupakan komponen penyusun utama TKKS yang memiliki kemampuan mengadsorpsi polutan karena TKKS mengandung gugus aktif $-OH$ dan $-COOH$. Sofiah dkk, dalam penelitiannya yang memanfaatkan tandan kosong sebagai adsorben, menjelaskan bahwa tandan kosong kelapa sawit mengandung lignoselulosa yang mampu menyerap polutan dalam hal ini kadmium (Cd) (Gova dan Oktasari, 2017).

Manikam dkk (2019) dalam penelitiannya yang berjudul Pollutants Removal From Sewage Wastewater Using Palm Oil Fuel Ash, menjelaskan bahwa abu POFA mengandung berbagai unsur kimia yang dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2. 1 Komposisi kimia bahan baku POFA

Komposisi	Persentase /Berat (%)
SiO ₂	46.35
CaO	7.94
K ₂ O	6.38
Fe ₂ O ₃	5.27
Al ₂ O ₃	5.22
P ₂ O ₅	3.78
MgO	3.26
SO ₃	0.81
TiO ₂	0.60
Cl	0.25
Na ₂ O	0.16
MnO	0.09
ZrO ₂	0.08
CuO	0.04
Cr ₂ O ₃	0.02
ZnO	0.02

Komposisi	Persentase /Berat (%)
SrO	0.01
Rb ₂ O	85 PPM
NiO	66 PPM
Nb ₂ O ₅	25 PPM

(sumber: Manikam, dkk 2019).

Selain itu juga terdapat beberapa penelitian terdahulu mengenai komposisi kimia yang terdapat pada limbah POFA yang dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 2. 2 Komposisi kimia POFA dari penelitian terdahulu

Referensi	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O
Awal, 1997	43,60	11,50	4,70	8,40	4,80	2,80	3,50
Jaturapitakul, 2007	57,70	4,50	3,30	6,50	4,20	0,20	8,20
Chindaprasirt, 2007	57,80	4,60	3,30	6,60	4,20	0,30	8,30
Chindaprasirt, 2008	63,60	1,60	1,40	7,60	3,90	0,20	6,90
Eldagal, 2008	48,99	3,78	4,89	11,69	1,22	-	10,51
Tangchirapat, 2009	65,30	2,50	1,90	6,40	3,00	0,40	5,70
Rukzon, 2009	63,60	1,50	1,50	7,50	3,90	0,20	6,90
Kaosol, 2010	45,17	1,21	0,32	19,77	3,01	5,2	7,35
Safiuddin, 2010	79,30	3,15	7,12	2,79	1,21	0,45	3,23
Endriani, 2012	67,40	10,01	0,01	1,54	3,02	-	-

(Sumber Yuliana dkk, 2014)

2.2 Adsorben

Secara umum adsorpsi merupakan proses penggumpalan suatu substansi yang terlarut (soluble) pada suatu larutan, yang terjadi pada permukaan zat maupun benda penyerapannya, terjadi suatu ikatan kimia dan fisika antara substansi yang terlarut dengan penyerapannya (Agustina, 2015). Proses adsorpsi dapat terjadi karena perbedaan berat molekul atau perbedaan polaritas yang dapat menyebabkan sebagian molekul polutan melekat di permukaan partikel adsorben. Dalam proses pengolahan limbah cair, umumnya metode pengolahan secara adsorpsi dimanfaatkan untuk menyisihkan atau menyerap polutan pencemar, menghilangkan bau, warna, dan lain-lain (Said, 2017).

Dalam proses pengolahan air, karbon aktif banyak digunakan untuk menghilangkan kandungan zat-zat yang tidak dapat dibersihkan atau dihilangkan dengan teknik pengolahan biasa seperti koagulasi, flokulasi, dan pengendapan.

Polutan di dalam air yang tidak dapat dihilangkan dengan cara pengolahan air biasa antara lain adalah bau, detergen, senyawa fenol, zat warna organik, amonia dan zat-zat organik lainnya. Proses adsorpsi dioperasikan berdasarkan kemampuan suatu padatan (adsorben) untuk mengkonsentrasikan suatu zat tertentu (adsorbat) dari suatu campuran (larutan atau gas) pada permukaannya. Oleh karena itu, secara umum proses adsorpsi merupakan peristiwa perpindahan suatu zat dari fasa fluida ke fasa padatan. Fluida yang terlibat dalam proses adsorpsi dapat berupa gas maupun cairan. Contoh-contoh yang merupakan beberapa proses pemisahan adsorben dalam larutan diantaranya adalah penghilangan air pada minyak bumi, penghilangan warna pada minyak goreng, penghilangan bau dan rasa pada air, dan fraksionasi campuran aromatik dari hidrokarbon parafinik. Skala dari operasi ini bervariasi tergantung pada banyak adsorben yang digunakan, skala operasi adsorpsi bervariasi dari skala lab hingga skala industri yang menggunakan adsorben dalam jumlah besar (Darwis 2016).

2.2.1 Karakteristik Adsorben

Karakterisasi adsorben dapat dilakukan untuk mengetahui kualitas adsorben yang dihasilkan. Indonesia telah membuat standar kualitas arang aktif yang tertera dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3730-1995. Uraian proses pengujian yang dilakukan dalam menentukan standar kualitas arang aktif dapat dilihat pada Tabel 2.1 di bawah ini;

Tabel 2. 3 Standar kualitas arang aktif berdasarkan SNI 06-3730-1995

Uraian	Nilai	
	Butiran	Serbuk
Bagian yang hilang pada pemanasan 950 °C (%)	Maks. 15	Maks. 25
Kadar air (%)	Maks. 4,5	Maks. 15
Kadar abu (%)	Maks. 2,5	Maks. 10
Bagian tidak mengarang	0	0
Daya jerap terhadap I (mg/g)	Min. 750	Min. 750
Karbon aktif murni (%)	Min. 80	Min. 65
Daya jerap terhadap Benzena (%)	Min. 25	-
Daya jerap terhadap biru metilen (mg/g)	Min. 60	Min. 120
Berat jenis curah (gr/ml) 0,3 - 0,35	0,45 - 0,55	0,3 - 0,35
Lolos mesh 325 (%)	-	Min. 90

Uraian	Nilai	
	Butiran	Serbuk
Jarak mesh (%)	90	-
Kekerasan (%)	80	-

Sumber: Badan Standarisasi Nasional (1995)

2.2.2 Sistem Adsorpsi

Sistem adsorpsi pada umumnya dibagi menjadi dua yaitu adsorpsi sistem *batch* dan adsorpsi sistem kolom (kontinu).

a. Adsorpsi Sistem *Batch*

Adsorpsi dengan sistem *batch* merupakan adsorpsi yang dilakukan dengan cara mencampurkan adsorben dengan larutan yang jumlahnya sudah ditetapkan dan mengamati perubahan kualitas pada selang waktu tertentu (Ruthven See, 1984). Adsorpsi dengan sistem *batch* bertujuan mengetahui karakteristik adsorben dan adsorbat. Proses adsorpsi secara *batch* dimulai dengan merencanakan Isoterm, kesetimbangan konsentrasi adsorbat yang teradsorpsi per gram adsorben dan dalam fase cair, pada kesetimbangan (C_e).

b. Adsorpsi Sistem Kolom (kontinu)

Adsorpsi atau penyerapan cara dinamis (kolom) adalah penyerapan yang dilakukan dengan menggunakan adsorben dan memasukkan sampel larutan yang ingin diuji, kemudian membiarkannya mengalir sehingga didapatkan hasil keluaran yang telah diadsorpsi (Apriliani, 2010).

2.2.3 Jenis-Jenis Adsorpsi

Berdasarkan jenisnya, adsorpsi terbagi ke dalam dua jenis yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia (Herawaty, 1993).

a. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisika atau disebut juga dengan adsorpsi fisis merupakan adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya tarik-menarik yang relatif lemah (*Van Der Waals*) antara permukaan adsorben dengan adsorbat. Adsorpsi ini terjadi apabila suatu adsorbat dialirkan pada permukaan adsorben yang bersih. Pada adsorpsi fisis, adsorbat tidak terikat kuat pada permukaan adsorben sehingga adsorbat

dapat bergerak dari suatu bagian permukaan kebagian permukaan lainnya, dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat yang satu dapat digantikan oleh adsorbat lainnya. Adsorpsi fisis adalah suatu peristiwa yang reversibel, sehingga jika kondisi operasinya diubah akan membentuk kesetimbangan baru. Peristiwa adsorpsi gas terjadi sangat cepat. Proses adsorpsi disertai dengan pengeluaran panas sesuai dengan prinsip Le Chatelier (Widi, 2018).

b. Adsorpsi Kimia (Chemisorption)

Adsorpsi kimia atau biasa dikenal dengan chemisorption, merupakan hasil dari interaksi (ikatan) kimia antara adsorben dengan adsorbat. Adsorpsi secara kimia biasanya tidak dapat kembali ke bentuk semula (*irreversible*) dan proses desorpsi dari komponen sebenarnya seringkali terjadi setelah mengalami perubahan (reaksi) kimia. Bahan yang sama pada temperatur rendah umumnya hanya akan menjalani adsorpsi fisika pada adsorben, namun terkadang ketika pada temperatur tinggi akan terjadi proses adsorpsi kimia, dan kedua fenomena tersebut dapat berjalan bersamaan. Proses adsorpsi kimia merupakan hal yang sangat penting di dalam reaksi menggunakan katalis, dan oleh karena itu proses adsorpsi kimia tidak akan dibahas pada penelitian ini (Telaumbanua, 2017).

2.2.4 Faktor –Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Proses adsorpsi selalu berubah-ubah bergantung pada jenis adsorben dan adsorbat. Hasil dari eksperimen pada suatu jenis adsorben yang digunakan pada satu limbah belum tentu dapat digunakan pada jenis limbah-lainnya. Anggriani (2017) menjelaskan ada beberapa faktor yang mempengaruhi mekanisme atau proses keberhasilan adsorpsi dari suatu adsorben yaitu agitasi, karakteristik adsorbat, ukuran molekul adsorbat, pH larutan, temperatur dan waktu kontak.

2.3 Limbah Penatu

Limbah Penatu merupakan air sisa pencucian pakaian dari penyedia jasa laundry. Pencucian dilakukan biasanya beberapa kali, penggunaan detergen paling banyak dilakukan pada pencucian pertama. Pencucian kedua hanya menggunakan detergen yang sedikit, sedangkan pencucian ketiga dilakukan penambahan

pengharum atau pelembut. Air pada kegiatan Penatu digunakan untuk melarutkan deterjen dan juga kotoran yang menempel di pakaian. Air limbah Penatu memiliki kandungan yang bervariasi, berasal dari komposisi deterjen, pelembut pakaian dan komposisi kotoran dari pakaian. Komposisi yang paling dominan dari air limbah Penatu adalah kandungan dari detergen (Sutanto, 2015).

2.3.1 Karakteristik Limbah Penatu

Karakteristik limbah Penatu yang diperoleh dari beberapa penelitian sebelumnya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 2. 4 Karakteristik Limbah Penatu Dari Penelitian Terdahulu

parameter	Ericsson 2002	Hoenkis 2008	Ge <i>et al.</i> 2004	avitri (2007)
Temperatur (°C)	28-32	28-32	-	27
pH	9,3-10	9-11	7,83-9,5	8,2-8,8
Kekeruhan (NTU)	50-210	-	471-583	-
Surfaktan (mg/L)	-	-	72,3-64,5	210,6
COD (mg/L)	725	1050	785-1090	1815
BOD (mg/L)	150-380	-	-	1087
TSS (mg/L)	120-280	-	-	-
Fosfat (mg/L)	4-15	5	-	7,64

Sumber: Hudori, 2008

2.3.2 Baku Mutu Limbah Penatu

Limbah penatu digolongkan ke dalam limbah domestik. Baku mutu limbah penatu diatur dalam PERMEN LH No. 68 tahun 2016 tentang baku mutu air limbah.

Tabel 2. 5 Baku mutu air limbah bagi usaha dan/atau kegiatan domestik

Parameter	Satuan	Kadar Paling Tinggi
pH	-	6 - 9
BOD	mg/L	30
COD	mg/L	100
TSS	mg/L	30
Minyak dan Lemak	mg/L	5
Amoniak	mg/L	10
Total Coliform	Jumlah/100 mL	3000
Debit	L/orang/Hari	100

Sumber: Permen LH No.68 tahun 2016.

2.4 PH

Derajat keasaman atau biasa disebut pH adalah logaritma dari kesepakatan ion-ion hidrogen yang terlepas dalam suatu cairan. pH dalam kondisi netral memiliki nilai pH 7. Jika konsentrasi ion rendah $pH < 7$, maka konsentrasi atau kandungan pH di dalam air juga akan ikut rendah atau dapat dikatakan perairan mempunyai sifat asam. Hal sebaliknya perairan akan bersifat basa (alkali) jika konsentrasi ion tinggi dan $pH > 7$. Faktor yang mempengaruhi pH yaitu jika meningkatnya yang diproduksi pada hasil respirasi, hal ini akan mengakibatkan pH air mengalami penurunan. Adanya jumlah penyangga (*buffer*) yang mempunyai kandungan garam-garam karbonat dan bikarbonat akan mempengaruhi derajat keasaman/pH (Widiatmoko, 2013).

2.5 Total Suspended Solid (TSS)

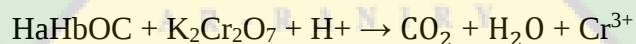
Total Suspended Solid (TSS) juga disebut dengan padatan tersuspensi merupakan partikel yang tersuspensi di dalam air. Konstituen hidup seperti fitoplankton, zooplankton, bakteri dan jamur atau konstituen mati seperti pasir, lumpur dan partikel tanah liat diklasifikasikan sebagai partikel yang tersuspensi air. Dalam air yang mengandung TSS akan menjadi media dimana reaksi kimia heterogen terjadi dan bertindak sebagai bahan untuk hasil sedimen yang dapat mempengaruhi kemampuan untuk menghasilkan bahan organik dalam air (Doraja, 2012).

Ketika kondisi TSS di perairan memburuk, penetrasi sinar matahari ke permukaan dan bagian yang lebih dalam tidak terjadi secara efektif karena terhalang suspensi polutan yang terlarut didalam air sehingga proses fotosintesis menjadi kurang efektif juga (Tarigan & Edward, 2003). Helfinalis, (2012) menyatakan bahwa menurunnya proses fotosintesis pada tumbuhan laut baik yang berukuran mikro maupun makro disebabkan oleh tinggi kadar TSS dalam suatu perairan. Jika hal tersebut terus terjadi maka akan berdampak pada matinya ikan ikan yang ada dalam perairan karena jumlah kandungan oksigennya yang mengalami pengurangan.

TSS yang terlalu berlebihan dalam perairan akan menyebabkan air menjadi keruh, sehingga akan menghalang masuknya sinar matahari ke dalam perairan. Ekosistem perairan membutuhkan sinar matahari sebagai sumber energi bagi tanaman air untuk melakukan fotosintesis dan dapat menjaga keseimbangan ekosistem perairan. Kondisi ini sesuai dalam penelitian Bilotta dan Brazier (2008) menyatakan TSS merupakan salah satu faktor penting menurunnya kualitas perairan sehingga menyebabkan perubahan secara fisika, kimia dan biologi. Perubahan secara fisika yang diakibatkan TSS meliputi penambahan zat padat baik bahan anorganik maupun organik ke dalam air sehingga meningkatkan kekeruhan yang mengakibatkan penghambatan penetrasi cahaya matahari ke badan air. Berkurangnya penetrasi cahaya matahari tersebut kemudian akan mempengaruhi proses fotosintesis tumbuhan, fitoplankton, dan lainnya yang ada di dalam air.

2.6 COD

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam sampel air, dimana pengoksidasi $K_2Cr_2O_7$ digunakan sebagai sumber oksigen (oxidizing agent) (Alerts dan Santika, 1987). Bahan buangan organik akan dioksidasi oleh kalium dikromat yang digunakan sebagai sumber oksigen (*Oxidizing Agent*) menjadi gas CO_2 dan gas H_2O serta sejumlah ion chrom. Reaksinya sebagai berikut :



Jika pada perairan terdapat bahan organik yang resisten terhadap degradasi biologis, misalnya tanin, fenol, polisakarida dan sebagainya, maka lebih cocok dilakukan pengukuran COD daripada BOD. Kenyataannya hampir semua zat organik dapat dioksidasi oleh oksidator kuat seperti kalium permanganat dalam suasana asam, diperkirakan 95% - 100% bahan organik dapat dioksidasi (Arif, 2018). Seperti pada BOD, perairan dengan nilai COD tinggi tidak diinginkan bagi kepentingan perikanan dan pertanian. Nilai COD pada perairan yang tidak tercemar biasanya kurang dari 20 mg/L, sedangkan pada perairan

tercemar dapat lebih dari 200 mg/L dan pada limbah industri dapat mencapai 60.000 mg/L (UNESCO,WHO/UNEP, 1992).



BAB III

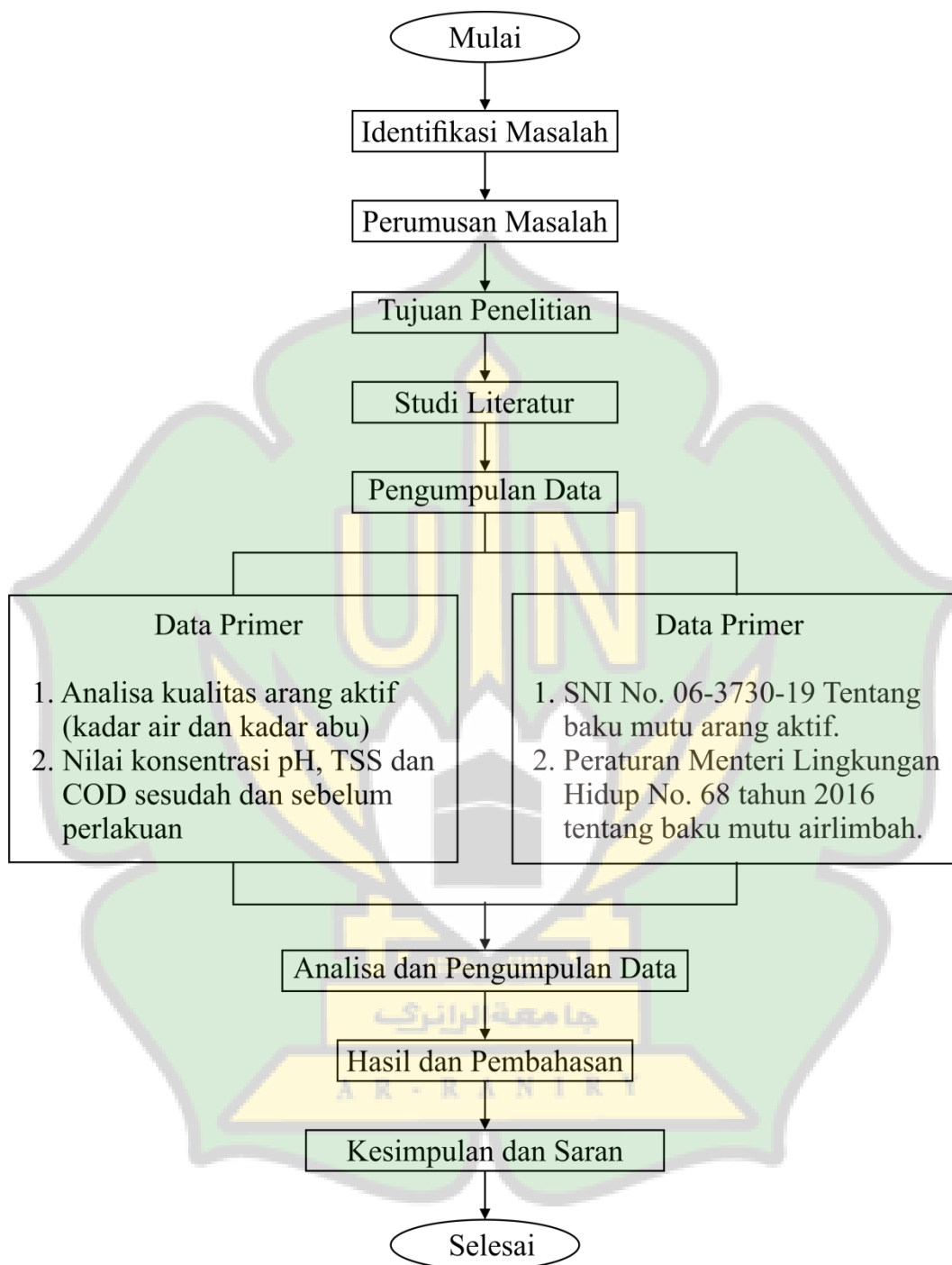
METODE PENELITIAN

3.1 Tahapan Umum Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan beberapa langkah atau tahapan yaitu sebagai berikut:

1. Tahapan studi literatur yang dilakukan untuk mengetahui informasi terkait proses penelitian yang akan dilaksanakan. Sumber literatur yang digunakan dalam penelitian ini berupa buku, jurnal, dan skripsi terdahulu.
2. Tahapan identifikasi masalah merupakan langkah awal yang diteliti dari suatu masalah.
3. Tahap pembuatan adsorben yang meliputi aktivasi dengan menggunakan NH_4Cl .
4. Tahapan pengambilan sampel limbah Penatu yang akan digunakan.
5. Tahap pengujian kondisi awal sampel limbah Penatu yang meliputi pengujian pH, TSS, dan COD.
6. Tahap eksperimen adsorpsi limbah Penatu dengan adsorben POFA yang telah disiapkan sebelumnya.
7. Tahap analisa data dan penarikan kesimpulan untuk menjawab kemampuan daya adsorpsi adsorben POFA dalam mendegradasi konsentrasi pH, TSS, dan COD pada limbah Penatu.

Adapun untuk diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1 berikut ini:

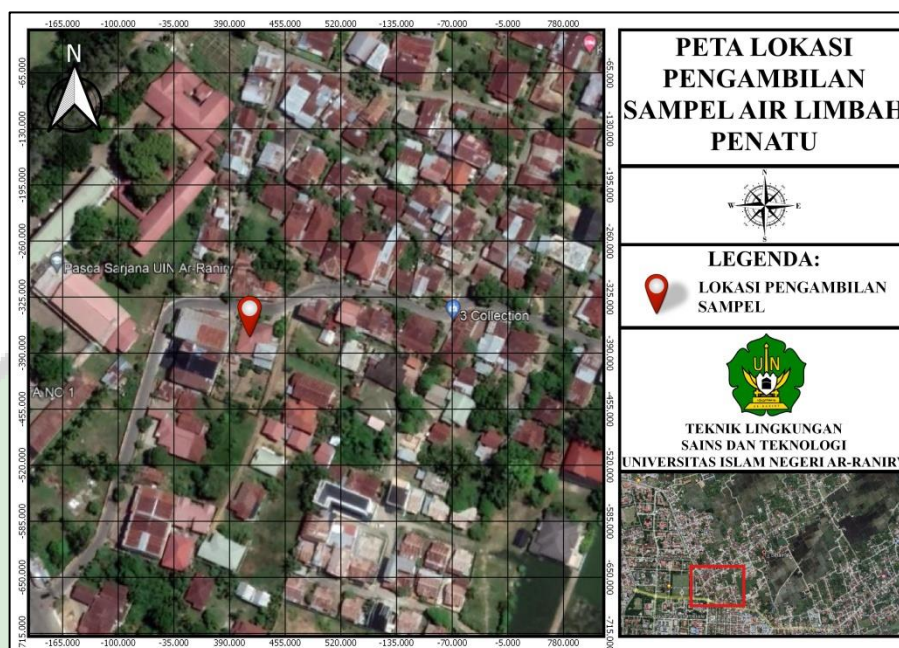


Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian rencananya akan dilaksanakan pada bulan Oktober - November tahun 2021. Adapun untuk lokasi eksperimen dan pengujian parameter sampel setelah akan dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan UIN Ar-Raniry yang

berlokasi di Jln. Lingkar Kampus UIN Ar-raniry, Rukoh, Darussalam, Banda Aceh. Sampel limbah penatu yang akan digunakan pada penelitian ini adalah limbah yang diambil dari salah satu jasa pencucian baju yang terletak di Desa Tanjung Selamat. Untuk lebih jelasnya lokasi pengambilan sampel limbah penatu tersebut dapat dilihat pada gambar 3.2 berikut ini:



Gambar 3. 2 Peta lokasi pengambilan sampel limbah Penatu
(Sumber: Google Earth)

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1. Alat

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian adalah pipet tetes, Erlenmeyer, Neraca Analitik, pH Meter, Vakum Filtrasi, COD Meter, Cawan Porselin, Oven, Furnace, Beaker Glass, Jar Test timbangan analitik dan spatula.

3.3.2. Bahan

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel air limbah penatu, Aquades, POFA, Kertas Whatman, $K_2Cr_2O_7$, H_2SO_4 dan NH_4CL .

3.4 Variabel Penelitian

Ada dua variabel yang digunakan dalam penelitian ini yakni variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah massa adsorben POFA yang digunakan 5 g, 10 g, 15 g, 20 g, dan 25 g, Serta waktu pengadukan yaitu 30, 60, 90, 120, dan 150 menit. Sedangkan untuk variabel terikat dalam penelitian ini adalah volume sampel limbah penatu 1 L, kecepatan pengadukan 200 rpm dan waktu pengendapan selama 1 jam.

3.5 Metode Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan teknik grab sampling atau sesaat. Pengambilan sampel dilakukan pada saluran sebelum masuk ke perairan (SNI 6989.59:2008) dengan tahapan sebagai berikut:

1. Sampel limbah Penatu diambil langsung dari ujung pipa pembuangan akhir limbah. Waktu yang dilakukan pada pagi hari antara pukul 07.00 sampai 11.00 WIB. Pemilihan waktu tersebut dikarenakan intensitas aktivitas mulai dari jam kerja sebuah toko jasa laundry adalah di jam-jam tersebut.
2. Pengambilan sampel dilakukan dengan gayung bertangkai lalu dituangkan ke dalam wadah atau drum dengan ketentuan berdasarkan (SNI 6989.59.2008) berikut:
 - a. Terbuat dari bahan yang tidak mempengaruhi sifat
 - b. Mudah dicuci dari bekas sebelumnya
 - c. Mudah dan nyaman untuk dibawa
 - d. Mudah dipisahkan ke dalam botol penampung tanpa ada bahan sisa tersuspensi di dalamnya.

3.6 Persiapan dan Aktivasi POFA

Adapun POFA yang digunakan sebagai adsorben dalam penelitian ini adalah POFA hasil pembakaran tankos dari *incinerator* pabrik kelapa sawit di PT. Bangun Sempurna Lestari yang terletak di Desa Sikalondang, Kota Subulussalam. Sebelum melakukan eksperimen, dipersiapkan terlebih dahulu adsorben POFA. Persiapan adsorben ini meliputi aktivasi dan pengujian kualitas

adsorben yang meliputi pengujian kadar air dan kadar abu. Pengaktifan karbon atau aktivasi POFA dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

1. Abu tandan kosong terlebih dahulu dicuci menggunakan aquades dan dilanjutkan dengan memasukkan abu tankos ke dalam oven dengan suhu 115 °C selama 2 jam untuk menghilangkan kadar kandungan air yang pada tandan kosong setelah dilakukan pencucian (Rahadyasti, 2016).
2. Abu yang sudah kering kemudian diayak dengan ukuran 100 *mesh* untuk mendapatkan ukuran yang seragam. Abu tankos kemudian direndam ke dalam larutan pengaktif berupa bahan kimia NH_4CL 0,1 M selama 24 jam dengan perbandingan 1;4 (Irawan, 2016).
3. Selanjutnya abu tankos dicuci kembali dengan aquades agar menghilangkan sisa NH_4CL yang masih tersisa setelah proses perendaman.
4. Abu kemudian ditiriskan dengan menggunakan kertas saring dengan tujuan memisahkan abu tankos dengan larutan.
5. Abu tankos kemudian dikeringkan kembali ke dalam oven selama 115 °C selama 3 jam.

3.4.2. Analisa Kualitas Arang Aktif

Untuk mengetahui apakah arang aktif sudah terbentuk dengan baik dan efektif dapat diketahui dengan melakukan pengujian terhadap arang aktif itu sendiri. Pengujian tersebut dapat dilakukan dengan mengukur kadar air, kadar abu, dan rendemen. Pengujian kualitas arang aktif mengacu pada SNI No. 06-3730-1995 tentang standar mutu arang aktif yang ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Standar Baku Mutu Arang Aktif

Parameter	Standar Baku Mutu Arang Aktif (SNI No. 06-3730_1995)
Kadar Air	Maksimum 15%
Kadar Abu	Maksimum 10%

(sumber: SNI No. 06-3730-1995)

Untuk mengetahui kadar air, Arang aktif ditimbang sebanyak 2 g dimasukkan ke dalam cawan porselin yang sebelumnya telah ditimbang dan diketahui beratnya. Cawan beserta arang aktif kemudian dimasukkan ke dalam

oven yang diatur suhunya pada 105°C selama 3 jam, kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang massanya, kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$kadar\ Air = \frac{(a - b)}{a} \times 100\%$$

dengan a adalah berat arang awal (g), dan b adalah berat contoh setelah dikeringkan (g).

Untuk mengetahui kadar abu dari arang aktif dilakukan dengan menimbang sebanyak 2 g arang dimasukkan ke dalam cawan porselin yang telah diketahui beratnya, kemudian contoh dipijarkan dalam *muffle furnace* pada suhu 500°C selama 2 jam atau sampai semua contoh menjadi abu. Cawan kemudian didinginkan dalam desikator dan ditimbang, kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$kadar\ abu = \frac{a}{b} \times 100\%$$

dengan a adalah berat abu (g), dan b adalah berat arang kering pada saat awal (g) (Wirosoedarmo, 2016).

3.7 Prosedur Eksperimen

Dalam penelitian ini dilakukan sistem adsorpsi secara *batch* yakni dengan mencampurkan adsorben ke dalam sampel pengujian dengan jumlah yang sudah ditentukan (5g, 10g, 15g, 20g, dan 25g). kemudian diaduk dengan kecepatan pengadukan 200 rpm. Untuk tiap-tiap variasi adsorben dilakukan variasi waktu kontak/lama waktu pengadukan yaitu 30, 60, 90, 120 dan 150 menit. Adapun langkah-langkah eksperimen tersebut adalah sebagai berikut:

1. Dimasukkan sampel air limbah Penatu ke dalam beaker glass sebanyak 1 L pada masing-masing glass.
2. Ditambahkan adsorben yang telah diaktivasi ke dalam masing-masing glass sebanyak 0g (sebagai kontrol kondisi awal), 5g, 10g, 15g, 20g, dan 25g secara berurut.

3. Kemudian dilakukan lima waktu pengadukan yang berbeda beda yaitu 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, dan 150 menit untuk setiap 5g, 10g, 15g, 20g, dan 25g jumlah adsorben.
4. Selanjutnya sampel didiamkan selama tiga jam hingga padatan dari adsorben terendapkan.
5. Kemudian dilakukan analisa parameter limbah Penatu yang meliputi pH, TSS dan COD. Cara kerja dan metode yang digunakan dalam menghitung parameter pH, TSS dan COD dapat dilihat pada lampiran 1.

Untuk melihat lebih jelas variasi jumlah adsorben, kecepatan dan lama waktu kontak dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 3. 2 Variasi massa adsorben dan waktu pengadukan

Massa Adsorben (g)	Waktu Pengadukan (menit)
5	30
	60
	90
	120
	150
10	30
	60
	90
	120
	150
15	30
	60
	90
	120
	150
20	30
	60
	90
	120
	150
25	30
	60
	90
	120
	150

3.8 Analisa Parameter

3.8.1 Analisa PH

Pengukuran pH dengan menggunakan pH meter berdasarkan SNI 066989.11-2004. Prosedur pengukuran pH yaitu sebelum digunakan pH meter terlebih dahulu dikalibrasi dengan menggunakan larutan buffer pH 7. Setelah dikalibrasi, pH meter kemudian dicelup ke dalam gelas beker yang berisi limbah Penatu yang telah dilakukan proses adsorpsi, pengadukan dan pengendapan. Setelah itu ditunggu nomor yang keluar pada layar PH konstan dan dicatat hasilnya.

3.8.2 Analisa TSS

Menentukan kadar TSS dilakukan secara gravimetri. Untuk menghitung konsentrasi parameter TSS dihitung dengan menggunakan Persamaan 1 di bawah ini:

$$\text{Mg TSS per liter} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji (L)}}$$

dengan A adalah berat kertas saring + residu kering (mg), dan B adalah berat kertas saring tanpa residu, (mg).

3.8.3 Analisa COD

proses penentuan COD merujuk pada SNI 6989.2-2009. Persiapan sampel COD dimasukkan limbah cair sebanyak 2,5 ml ke dalam tabung reaksi dan disusun dalam rak tabung reaksi dengan diberi label nama sesuai dengan massa yang diberikan. Kemudian ditambahkan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ sebanyak 1,5 ml dengan menggunakan pipet tetes. Lalu ditambahkan lagi H_2SO_2 sebanyak 3,5 ml dengan menggunakan pipet tetes dan ditutup.

Proses inkubator pertama diambil COD reactor merk Hanna, disambungkan stop kontak, tekan tombol start dan ditunggu sampai 150 °C sampai inkubator mengeluarkan bunyi. selanjutnya dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisikan sampel yang sudah disiapkan tadi ke dalam inkubator. Kemudian ditekan tombol start maka timer akan berjalan, ditunggu selama 2 jam

hingga inkubator akan berbunyi lagi. Selanjutnya diangkat tabung reaksi tadi didinginkan sampai 60°C sampel siap diuji.

Pengujian COD yaitu dinyalakan alat COD meter, dilakukan kalibrasi alat dengan cara dimasukkan aquades ke dalam tabung cell dan dimasukkan ke dalam alat COD Meter sampai muncul angka 0,0 mg/L, jika sudah maka alat sudah dikalibrasi dan siap digunakan. Kemudian dihomogenkan sampel terlebih dahulu, lalu sampel dituangkan ke dalam tabung cell dan siap dimasukkan ke dalam alat COD Meter. Selanjutnya ditekan *measure*, lalu tekan Enter, maka akan muncul nilai COD dan dicatat hasilnya.

3.9 Teknik Analisis Data

3.9.1 Penentuan Efektivitas Adsorpsi

Untuk menghitung efektivitas adsorpsi dilakukan dengan mengikuti rumus efektivitas berikut ini:

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

Keterangan:

Ef = Efektivitas Penurunan

Y_i = kandungan awal polutan

Y_f = kandungan akhir polutan (Larasati dkk, 2016).

3.9.2 Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Penentuan kapasitas adsorpsi ditentukan berdasarkan data yang diperoleh dari hasil analisis hasil eksperimen. Data yang diperoleh dari hasil eksperimen tersebut kemudian dihitung kapasitas adsorpsi dengan menggunakan rumus Berikut:

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{W} \times V$$

Keterangan:

Q_e = kapasitas adsorpsi (mg/g)

C_o = konsentrasi awal polutan (mg/L)

C_e = konsentrasi akhir polutan (mg/L)

W = massa adsorben (g)

V = volume sampel yang digunakan (L)

3.9.3 Adsorpsi Isoterm

Model adsorpsi Isoterm diklorometana pada permukaan granular karbon aktif dapat diketahui dengan cara mengaplikasikan persamaan Langmuir dan Freundlich. Persamaan Langmuir dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_e K_L} + \frac{C_e}{q_m}$$

Sedangkan persamaan Freundlich ditulis sebagai berikut:

$$\frac{x}{m} = K \cdot C_e^{\frac{1}{n}} \text{ atau}$$

Bila Isoterm mengikuti metode Langmuir maka dibuat plot antara C_e/q_e dengan C_e memberikan hasil yang linier. Sedangkan bila mengikuti model Freundlich maka plot antara q_e dengan $\log C_e$ menghasilkan hasil yang linier.

Keterangan:

C_e = konsentrasi kesetimbangan analit dalam larutan (mg/L)

q_e = kapasitas adsorpsi pada saat kesetimbangan (mg/g)

K_L = kapasitas adsorpsi Langmuir (L/mg)

q_m = kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

K_F = konstanta Freundlich (mg/g) (L/mg) $^{1/n}$

$1/n$ = faktor heterogenitas

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini terdiri dari hasil uji karakteristik adsorben meliputi analisa kadar air dan kadar abu, kemudian dilanjutkan dengan parameter pH, TSS, dan COD limbah penatu sebelum dan sesudah perlakuan penambahan adsorben POFA. Setelah mendapatkan data dari hasil pengujian parameter limbah penatu sebelum dan sesudah perlakuan penambahan adsorben POFA, maka dilakukan pengolahan data untuk mengetahui bagaimana kemampuan adsorben POFA dalam menetralkan pH dan mendegradasi konsentrasi TSS dan COD, kemudian untuk mengetahui pengaruh massa dan waktu pengadukan adsorben POFA terhadap parameter pH, TSS dan COD. Untuk mengetahui kemampuan daya adsorpsi dan pengaruh adsorben POFA terhadap limbah penatu dilakukan perhitungan yang meliputi efektivitas adsorpsi dengan persamaan efektivitas dan kapasitas adsorpsi dengan persamaan kapasitas dan model Isoterm.

4.1. Persiapan Adsorben POFA

Persiapan adsorben POFA terdiri dari proses aktivasi dan pengujian kadar air dan kadar abu pada POFA. Proses aktivasi meliputi pencucian, pengeringan, penyaringan dan perendaman POFA dengan larutan aktivator NH_4Cl . Tahap pertama abu tandan kosong dicuci menggunakan aquades dengan meletakkan abu di atas kertas whatman lalu aquadest dituangkan di atas abu. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang ikut masuk atau masih menempel pada abu. Setelah dicuci abu kemudian dimasukkan ke dalam oven dengan suhu $115\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk menghilangkan aquades yang masih tersisa. Tahap selanjutnya dilakukan penyaringan dengan ukuran 100 mesh untuk menyeragamkan ukuran adsorben yang akan digunakan. Hariyanti dan Razif (2019) menyebutkan bahwa semakin kecil ukuran abu yang digunakan maka luas permukaan semakin besar, dan semakin besar luas permukaan adsorben maka semakin banyak pula zat yang dapat diadsorpsi. Setelah dilakukan pencucian dan pengeringan terlihat perubahan

POFA dari yang sebelumnya masih terdapat kotoran berupa cangkang yang tidak terbakar habis dan gumpalan abu, menjadi lebih seragam dan bersih.



Gambar 4. 1 (a) POFA sebelum disaring dan (b) POFA setelah disaring

Setelah dicuci dan disaring, POFA kemudian direndam menggunakan larutan NH_4Cl 0,1 M selama 24 jam dengan perbandingan 1;4 agar POFA terendam secara sempurna dan permukaan pori menjadi terbuka. Setelah POFA terendam secara sempurna, POFA kemudian ditiriskan dan dicuci kembali dengan aquades untuk menghilangkan sisa larutan NH_4Cl yang masih tersisa pada POFA dan dilanjutkan dengan pengeringan selama 3 jam di dalam oven pada suhu 115°C . Setelah proses aktivasi selesai, selanjutnya dilakukan pengujian kualitas adsorben POFA yang meliputi kadar air dan kadar abu untuk melihat apakah telah sesuai dengan SNI No. 06-3730-1995 dan bisa digunakan sebagai adsorben serta untuk mengetahui sifat higroskopis adsorben. Hasil dari pengujian kadar air dan kadar abu pada adsorben tersebut dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4. 1 Hasil analisa karakteristik adsorben dan perbandingan dengan SNI No. 06-3730-1995

Parameter	Hasil Analisa (%)	SNI No. 06-3730-1995
Kadar Air	0,29	Maksimum 15%
Kadar Abu	0,09	Maksimum 10%

Dari hasil uji tersebut, menunjukkan bahwa nilai kadar air pada adsorben POFA tergolong rendah yakni 0,29%. Dengan nilai kadar air yang rendah ini tentunya akan membuat kemampuan adsorpsi adsorben POFA akan semakin bagus. Berdasarkan pernyataan Mu'jizah (2010) semakin rendah kadar air maka semakin banyak tempat dalam pori yang dapat ditempati oleh adsorbat sehingga kapasitas adsorpsi dari adsorben semakin tinggi. Kemudian untuk kadar abu pada

POFA juga terbilang rendah yaitu 0,09%. Pengujian kadar abu pada adsorben dilakukan untuk mengetahui oksida logam dan mineral-mineral yang terdapat di dalam abu yang tidak terbuang saat pembakaran dan aktivasi (Telaumbanua, 2017). Rendahnya kadar abu dalam adsorben menandakan rendahnya unsur mineral seperti kalium, kalsium, natrium dan magnesium di dalam abu yang dapat menutupi pori pada abu, sehingga semakin rendah nilai kadar abu adsorben akan meningkatkan daya adsorpsi dari adsorbat (Budiono, 2006). Dari hasil pengujian kadar air dan kadar abu yang dilakukan menandakan bahwa adsorben POFA dapat digunakan sebagai adsorben dan telah sesuai dengan ketentuan SNI No. 06-3730-1995 tentang baku mutu arang aktif.

4.2. Uji Parameter Limbah Sebelum dan Sesudah Penambahan Adsorben

Pengujian parameter awal Limbah penatu sebelum dilakukan penambahan adsorben POFA terdiri dari tiga parameter yaitu pH, TSS, dan COD. Pengujian parameter awal ini bertujuan untuk mengetahui kondisi parameter awal limbah sebelum ditambahkan adsorben apakah sudah memenuhi ketentuan baku mutu yang telah ditetapkan atau belum. Jika limbah yang diuji memiliki nilai di bawah ambang batas baku mutu, menandakan limbah tersebut sudah boleh dibuang ke lingkungan, namun jika nilai hasil pengujian melebihi baku mutu yang telah ditetapkan maka perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Hasil pengujian parameter awal sampel sebelum dilakukan perlakuan dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4. 2 Perbandingan hasil pengujian parameter awal limbah penatu dengan baku mutu PERMEN LH No. 68 tahun 2016

Parameter	Hasil Uji	Baku Mutu	Keterangan
Ph	9,4	6-9	Tidak Memenuhi Syarat
BOD	-	30 mg/L	Tidak Diuji
COD	310 mg/L	100 mg/L	Tidak Memenuhi Syarat
TSS	370 mg/L	30 mg/L	Tidak Memenuhi Syarat
Minyak Dan Lemak	-	5 mg/L	Tidak Diuji
Amoniak	-	10 mg/L	Tidak Diuji
Total Coliform	-	3000	Tidak Diuji
Debit	-	L/Orang/Hari	Tidak Diuji

Dari hasil pengujian parameter awal pada limbah penatu tersebut menunjukkan bahwa kondisi awal limbah penatu memiliki nilai pH, TSS dan COD yang melebihi baku mutu yang telah ditetapkan pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 68 tahun 2016. Yahya (2010) menyebutkan bahwa kondisi seperti ini dapat menyebabkan air berbau busuk, kehidupan biota air menjadi terganggu, menimbulkan penyakit bagi kehidupan manusia dan berkurangnya biota di dalam air, sehingga dapat mengganggu ekosistem di dalamnya. Oleh karena itu limbah penatu perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan.

Dalam penelitian ini dilakukan pengolahan limbah penatu dengan menggunakan adsorben POFA yang sudah diaktivasi sebelumnya dengan variasi massa adsorben yaitu 5 g, 10 g, 15 g, 20 g, dan 25g untuk mengetahui pengaruh penambahan massa terhadap nilai parameter pH, TSS dan COD pada limbah penatu. Menurut Anggraini (2017) massa adsorben adalah salah satu faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi. Pada masing-masing variasi massa adsorben ditambahkan variasi waktu pengadukan 30, 60, 90, 120 dan 150 menit untuk mengetahui pengaruh waktu pengadukan terhadap nilai parameter pH, TSS dan COD pada limbah penatu. Adapun hasil pengujian parameter pH, TSS dan COD setelah penambahan adsorben dengan variasi massa dan waktu pengadukan tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3 di bawah ini.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian limbah penatu sesudah penambahan POFA

Massa Adsorben (g)	Waktu pengadukan (Menit)	pH	TSS (mg/L)	COD (mg/L)
5	30	8,7	369	92,2
	60	9,2	367	110,9
	90	9,3	368	111
	120	8,9	349	110,7
	150	8,9	348	109,2
10	30	8,6	214	91,9
	60	8,9	239	91,7
	90	8,9	235	90,3
	120	7,9	238	90,6
	150	8,4	153	90,4
15	30	8,3	153	86,9
	60	7,8	137	90

Massa Adsorben (g)	Waktu pengadukan (Menit)	pH	TSS (mg/L)	COD (mg/L)
20	90	7,5	137	89,6
	120	7,7	138	90,6
	150	7,5	138	90,3
	30	7,4	136	62,8
	60	7,6	73	66,4
	90	7,5	138	67,6
	120	7,6	135	65,7
	150	7,6	136	62,8
	30	7,4	134	41
25	60	7,7	103	33,7
	90	7,5	73	39,7
	120	7,3	79	36,4
	150	7,8	83	41,8

4.3. Kemampuan Adsorben POFA Dalam Menetralkan Konsentrasi pH dan Mendegradasi TSS Dan COD Pada Limbah Penatu

Dari tabel 4.3 di atas dapat dilihat bahwa terjadi penurunan konsentrasi pH, TSS dan COD pada limbah penatu. Hal tersebut menunjukkan bahwa adsorben POFA memiliki kemampuan menetralkan pH dan mendegradasi parameter TSS dan COD pada limbah penatu. pH limbah yang sebelumnya memiliki nilai basa yang tinggi yaitu 9,4 dapat diturunkan menjadi 7,3 dengan penggunaan dosis adsorben 25 g/L dengan waktu kontak 120 menit. Untuk nilai TSS yang sebelumnya 370 mg/L mampu didegradasi hingga 73 mg/L dengan pemakaian dosis adsorben 20 g/L dan 25 g/L dengan waktu pengadukan 60 dan 90 menit secara berurutan. Sedangkan untuk nilai COD dari sebelumnya 310 mg/L mampu didegradasi menjadi 33,7 mg/L dengan pemakaian dosis adsorben 25 g/L dan waktu pengadukan 60 menit.

Untuk mengetahui persentase kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi adsorbat, maka perlu diketahui kapasitas dan tingkat efektivitasnya dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan kapasitas dan efektivitas. Kapasitas adsorpsi merupakan jumlah banyaknya adsorbat yang mampu terakumulasi pada permukaan adsorben sehingga ketika proses adsorpsi berlangsung pada kondisi optimum maka akan diperoleh arang aktif dengan

kapasitas adsorpsi yang maksimum (Aprianti, dkk 2018). Sedangkan efektivitas adsorpsi adalah tingkat keefektifan adsorben dalam menyerap adsorbat yang digambarkan dalam bentuk persen (Hariono, 2019). Setelah melakukan analisa perhitungan terhadap sampel air limbah penatu maka didapatkan hasil kapasitas adsorpsi TSS dan COD yang disajikan pada tabel 4.4 di bawah ini:

Tabel 4. 4 Kapasitas dan efektivitas adsorpsi adsorben POFA pada limbah penatu

Massa Adsorben (mg/L)	Waktu Pengadukan (menit)	Parameter TSS		Parameter COD	
		Kapasitas (mg/g)	Efektivitas (%)	Kapasitas (mg/g)	Efektivitas (%)
5	30	0,2	0,3	43,56	70,3
	60	0,6	0,8	39,82	64,2
	90	0,4	0,5	39,8	64,2
	120	4,2	5,7	39,86	64,3
	150	4,4	5,9	40,16	64,8
10	30	15,6	42,2	21,81	70,4
	60	13,1	35,4	21,83	70,4
	90	13,5	36,5	21,97	70,9
	120	13,2	35,7	21,94	70,8
	150	21,7	58,6	21,96	70,8
15	30	14,4	58,6	14,87	72,0
	60	15,5	63,0	14,66	71,0
	90	15,5	63,0	14,69	71,1
	120	15,4	62,7	14,62	70,8
	150	15,4	62,7	14,64	70,9
20	30	11,7	63,2	12,36	79,7
	60	14,85	80,3	12,18	78,6
	90	11,6	62,7	12,12	78,2
	120	11,75	63,5	12,21	78,8
	150	11,7	63,2	12,36	79,7
25	30	9,44	63,8	10,76	86,8
	60	10,6	72,2	11,05	89,1
	90	11,8	80,3	10,81	87,2
	120	11,6	78,6	10,94	88,3
	150	11,4	77,6	10,72	86,5

Dari tabel di atas dapat kita lihat bahwa kapasitas dan efektivitas adsorpsi adsorben POFA memiliki nilai yang bervariasi. Untuk parameter TSS didapatkan kapasitas adsorpsi paling tinggi adalah pada variasi massa dan waktu pengadukan adsorben 20 g/60 menit, dan 25 g/90 menit dengan tingkat efektivitas 80,3% dan

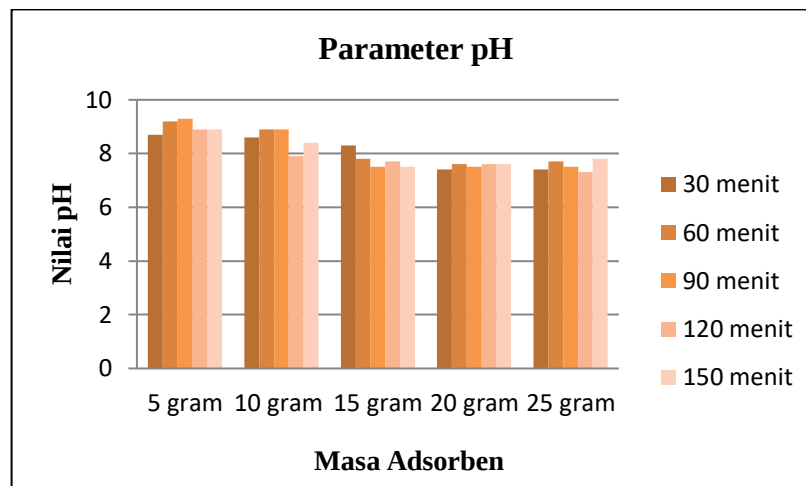
kapasitas yang diadsorpsi 11,8 mg/g, sementara untuk parameter COD didapatkan kapasitas paling optimal pada variasi massa adsorben dan waktu pengadukan 25 g/60 menit dengan tingkat efektivitas 89,1% dan kapasitas yang diadsorpsi 11,1 mg/g. Dari data ini menunjukkan bahwa nilai kapasitas adsorpsi berbanding terbalik dengan nilai efektivitas adsorpsi. Sebagaimana dinyatakan oleh Supiati, Yudi dan Chadijah (2013) bahwa kapasitas adsorpsi yang tinggi tidak selamanya dapat dijadikan sebagai tolak ukur adsorben memiliki efektivitas adsorpsi yang bagus. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kapasitas adsorpsi dari adsorben menandakan bahwa adsorben kurang efektif adsorben dalam menurunkan konsentrasi COD, atau dalam kata lain jumlah massa adsorben yang sedikit membuat adsorben harus mengadsorpsi polutan sampai pada puncak kemampuannya, sehingga masih menyisakan polutan di dalam sampel yang membuat tingkat keefektifannya masih kurang.

4.4. Pengaruh Massa Adsorben POFA Terhadap Parameter pH TSS dan COD

Massa adsorben adalah salah satu faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi (Anggraini, 2017). Dalam penelitian ini ada lima variasi massa yang digunakan yaitu 5 g, 10 g, 15 g, 20 g, dan 25 g untuk mengetahui berapa massa adsorben yang paling efisien dalam menetralkan pH, dan medegradasi TSS dan COD. Penggunaan massa adsorben dalam jumlah yang tepat akan mempengaruhi efisiensi penyisihan atau penurunan konsentrasi polutan (Putri dkk, 2019).

4.4.1 Pengaruh Massa Adsorben POFA Terhadap Parameter pH

Menurut Afifuddin (2017), pH adalah jumlah konsentrasi ion hidrogen untuk menyatakan tingkat kebasaaan atau keasaman yang dimiliki oleh larutan. Untuk mengetahui pengaruh massa adsorben terhadap kemampuan menetralkan pH dapat dilihat dari nilai penurunan parameter pH pada gambar 4.2 di bawah ini.



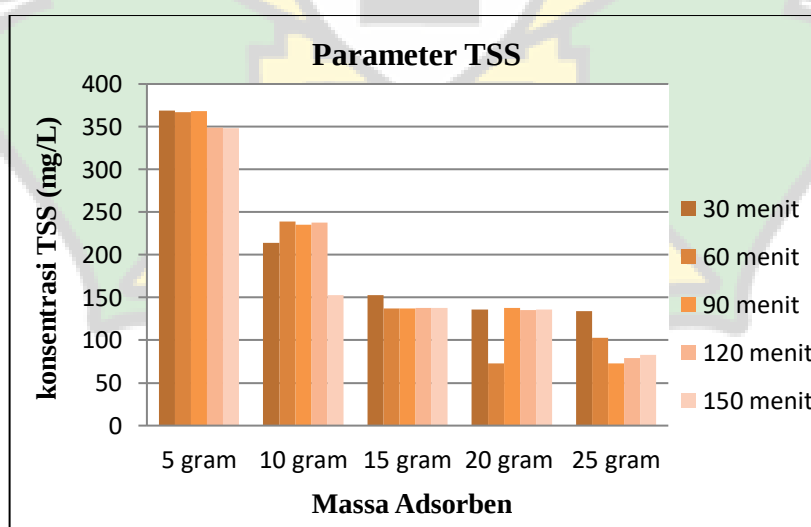
Gambar 4. 2 Pengaruh massa adsorben terhadap parameter pH

Nilai pH dari sampel limbah penatu yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 9,4, pH dengan nilai tersebut bersifat basa dan melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Tingginya nilai pH pada limbah penatu dikarenakan di dalam detergen terdapat zat yang bersifat alkalis. Dari gambar grafik di atas terlihat bahwa dengan penambahan adsorben POFA dapat menetralkan parameter pH limbah penatu. Dengan penambahan adsorben sebanyak 5 g yang dimasukkan ke dalam 1 liter sampel limbah dengan lima waktu pengadukan terlihat nilai pH yang sebelumnya 9,4 mengalami penurunan antara 9,2 sampai 8,7. Variasi nilai pH tersebut terjadi karena dipengaruhi oleh variasi waktu pengadukan yang akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya. Hal yang sama juga dilakukan pada variasi massa adsorben 10 g dan didapatkan nilai penurunan antara 8,9 sampai 7,9. Untuk variasi 15 g didapatkan nilai penurunan antara 8,3 sampai 7,4. Untuk variasi massa 20 g didapatkan nilai penurunan antara 7,6 sampai 7,4. Untuk variasi massa 25 g didapatkan penurunan antara 7,8 sampai 7,3. Dari data tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa dari kelima variasi massa adsorben yang digunakan didapatkan masa yang paling optimal adalah 25 g dengan waktu pengadukan 120 menit dengan nilai pH 7,3. Jika merujuk kepada PERMEN LH No. 68 tahun 2016, limbah penatu dengan nilai pH 7,3 sudah layak buang dan cenderung netral, Artinya dengan penambahan massa adsorben POFA mampu menurunkan kadar basa limbah penatu, hal ini sesuai dengan penelitian Muhammadin (2017) yang

menyatakan bahwa adsorben POFA mengandung gugus aktif -OH yang mampu menurunkan nilai kebasaan dan polutan pada air.

4.4.2 Pengaruh Massa Adsorben POFA Terhadap Parameter TSS

TSS merupakan total zat padat yang terdiri dari zat padat tersuspensi dan zat padat terlarut dalam air yang bersifat anorganik dan organik (Rumidatul, 2006). Menurut Rohman (2016), adanya kandungan TSS berlebih akan menghalangi potensi cahaya yang masuk ke perairan, sehingga dapat mengganggu proses fotosintesis. Selain itu TSS merupakan partikel-partikel yang tidak dapat terlarut dan mengendap secara langsung (Jannah, 2020). Nilai awal konsentrasi TSS pada sampel yang digunakan dalam penelitian ini adalah 370 mg/L sementara menurut PERMEN LH No.68 tahun 2016 nilai ambang batas yang boleh dibuang ke lingkungan adalah 30 mg/L. Setelah dilakukan penambahan adsorben POFA dengan memvariasikan massa adsorben dan waktu pengadukan maka dilakukan pengujian parameter TSS dan didapatkan bahwa penambahan massa adsorben POFA dapat mempengaruhi nilai konsentrasi TSS pada limbah Penatu. Pengaruh nilai variasi massa adsorben terhadap nilai parameter TSS tersebut dapat dilihat pada gambar 4.4 berikut ini.



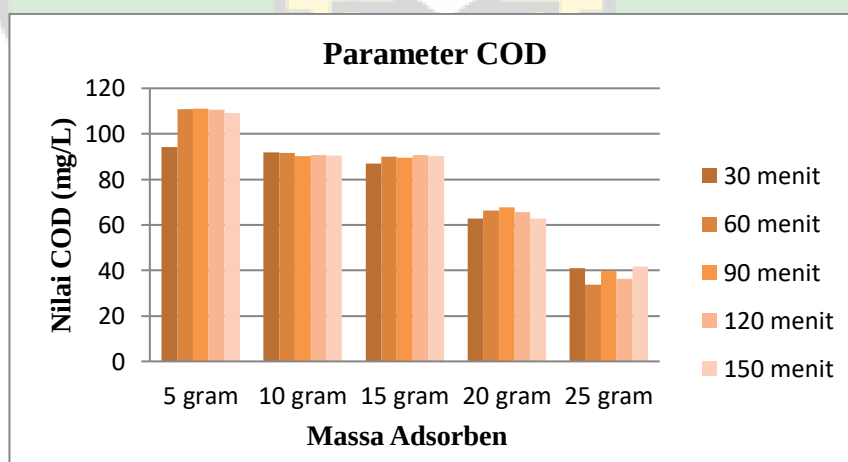
Gambar 4. 3 Pengaruh massa adsorben terhadap parameter TSS

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa dengan penambahan dosis adsorben POFA yang divariasikan mampu menurunkan nilai konsentrasi TSS

dari sebelumnya 370 mg/L menjadi antara 369 mg/L sampai 73 mg/L. Dengan penambahan massa adsorben POFA 10 g pada perlakuan yang sama didapatkan nilai penurunan antara 239 mg/L sampai 153 mg/L, dengan penambahan 15 g didapatkan nilai penurunan antara 153 mg/L sampai 137 mg/L, dengan penambahan 20 g didapatkan nilai penurunan antara 138 mg/L sampai 73 mg/L, dan dengan penambahan 25 g didapatkan nilai penurunan antara 134 mg/L sampai 73 mg/L. Dari data hasil eksperimen tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa adsorben POFA memiliki kemampuan mendegradasi TSS dalam limbah penatu.

4.4.3 Pengaruh Massa Adsorben POFA Terhadap Parameter COD

Chemical Oxygen Demand (COD), adalah kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi zat-zat organik yang berada di dalam perairan secara kimiawi (Permata, 2016). Semakin tingginya jumlah COD yang dihasilkan maka semakin tinggi kebutuhan akan oksigen di perairan. Dari hasil pengujian kondisi awal sampel limbah penatu, didapatkan nilai parameter COD pada sebesar 310 mg/L, setelah dilakukan perlakuan dengan menambahkan adsorben POFA dengan memvariasikan massa adsorben dan waktu kontak maka didapatkan hasil bahwa variasi dosis adsorben POFA dapat mempengaruhi penurunan nilai COD pada limbah penatu yang dapat dilihat pada gambar 4.5. di bawah ini.



Gambar 4. 4 Pengaruh massa adsorben terhadap parameter COD

Dari gambar grafik di atas dapat dilihat bahwa dengan menambahkan dosis adsorben POFA 5 g/L sampel limbah penatu, mampu mendegradasi

konsentrasi parameter COD menjadi 111 mg/L sampai 92,2 mg/L, dengan penambahan dosis adsorben 10 g/L mampu mendegradasi COD menjadi 91,9 mg/L sampai 90,3 mg/L, dengan penambahan dosis adsorben 15 g/L mampu mendegradasi konsentrasi parameter COD menjadi 90,6 mg/L sampai 86,9 mg/L, dengan penambahan dosis adsorben 20 g mampu mendegradasi konsentrasi parameter COD menjadi 67,6 mg/L sampai 62,8 mg/L, dan untuk penambahan massa adsorben 25 g mampu mendegradasi konsentrasi parameter COD menjadi 41,8 mg/L sampai 33,7 mg/L. Dari hasil eksperimen tersebut menunjukkan bahwa semakin banyak massa adsorben POFA yang digunakan maka semakin besar pula konsentrasi COD yang mampu didegradasi oleh adsorben POFA, sehingga lima variasi massa yang digunakan dosis adsorben yang paling efektif dalam mendegradasi COD limbah penatu adalah 25 g/L dengan waktu pengadukan 60 menit.

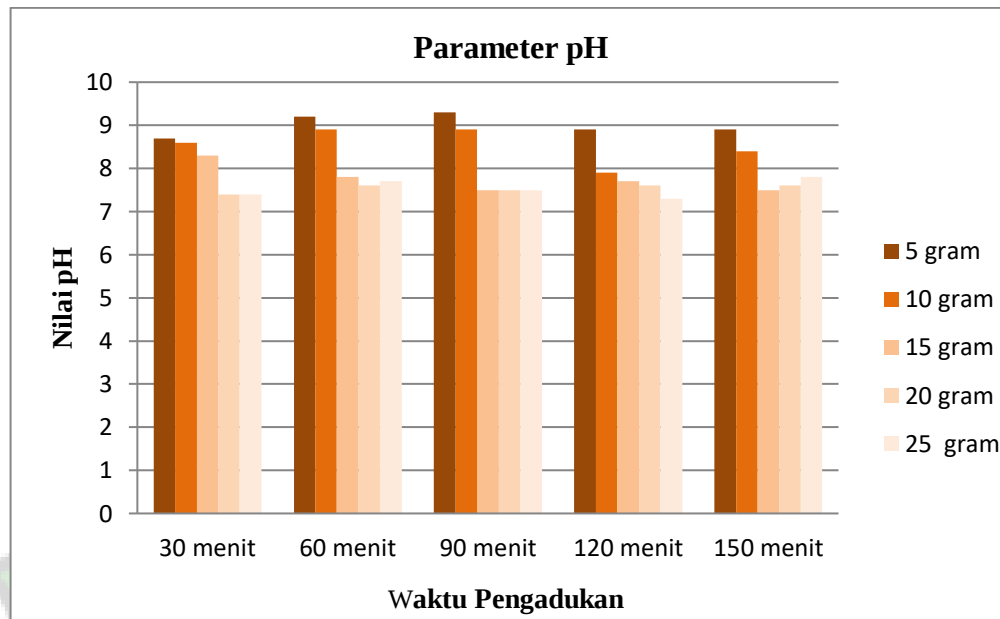
4.5. Pengaruh waktu pengadukan Terhadap Parameter pH, TSS dan COD

Menurut Wicheisa dkk (2018), selain massa adsorben waktu pengadukan juga merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi. Penentuan waktu pengadukan sangat berpengaruh dalam proses adsorpsi. Penentuan waktu pengadukan yang tepat akan menghasilkan kapasitas adsorpsi maksimum (Putri dkk, 2019). Untuk mengetahui pengaruh waktu pengadukan dalam proses adsorpsi menggunakan adsorben POFA, maka dalam penelitian ini proses adsorpsi dilakukan dengan memvariasikan lima waktu pengadukan yaitu 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit, dan 150 menit.

4.5.1 Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Parameter pH

Menurut Afifuddin (2017), pH adalah jumlah konsentrasi ion hidrogen untuk menyatakan tingkat kebasaaan atau keasamaan yang dimiliki oleh larutan. Tingginya nilai pH pada air limbah penatu dikarenakan di dalam detergen terdapat zat yang bersifat alkalis (Solichatun, 2005). Nilai pH dari sampel limbah penatu yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 9,4. pH dengan nilai tersebut bersifat basa dan melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Setelah dilakukan

perlakuan dengan menambahkan adsorben POFA dengan memvariasikan waktu pengadukan serta massa adsorben dapat dilihat pada grafik 4.6 di bawah ini.



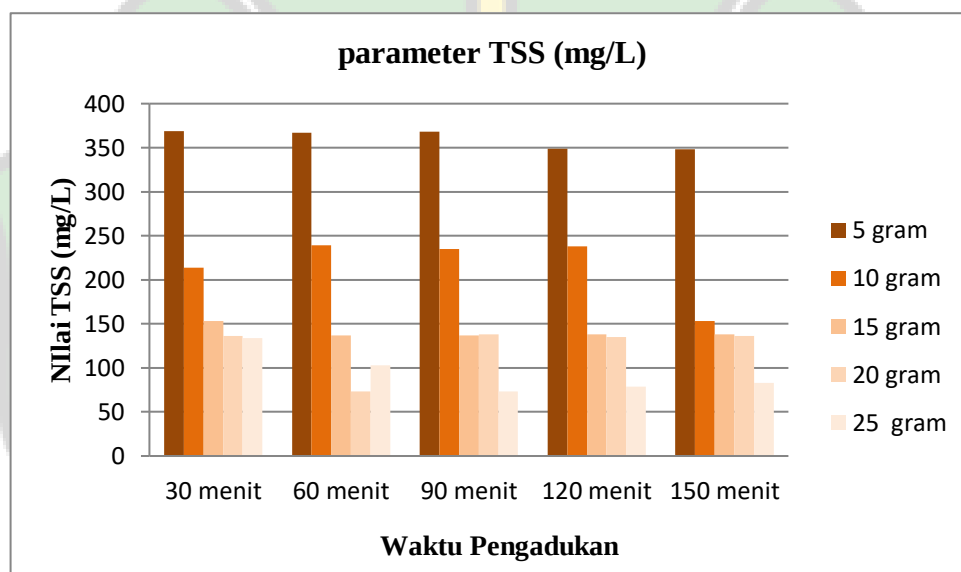
Gambar 4. 5 Grafik Pengaruh waktu pengadukan terhadap nilai konsentrasi parameter pH

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa nilai pH paling maksimal didapatkan pada pengadukan 120 menit dengan penggunaan massa adsorben 25 g/L dengan nilai pH 7,3. pH dengan nilai tersebut sudah mendekati nilai netral, artinya adsorben POFA memiliki kemampuan menetralkan pH limbah penatu. Namun jika dilihat secara keseluruhan bahwa waktu pengadukan tidak terlalu mempengaruhi kinerja adsorpsi dari adsorben. Selain itu juga dapat dilihat bahwa penurunan pH tidak terjadi secara linier atau dalam kata lain semakin lama waktu pengadukan tidak membuat kemampuan daya serap adsorben POFA semakin meningkat. Hal ini kemungkinan diakibatkan oleh kurangnya kemampuan adsorben POFA dalam mengikat ion H^+ sehingga lamanya waktu pengadukan membuat ikatan yang terjadi menjadi menjadi terlepas kembali.

4.5.2 Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Parameter TSS

TSS merupakan total zat padat yang terdiri dari zat padat tersuspensi dan zat padat terlarut dalam air yang bersifat anorganik dan organik (Rumidatul, 2006). Menurut Rohman (2016), adanya kandungan TSS berlebih akan

menghalangi potensi cahaya yang masuk ke perairan, sehingga dapat mengganggu proses fotosintesis. Selain itu TSS merupakan partikel-partikel yang tidak dapat terlarut dan mengendap secara langsung (Jannah, 2020). Dalam penelitian ini dilakukan pengujian awal sebelum dilakukan perlakuan pada sampel didapatkan kandungan TSS mencapai 370 mg/L. Nilai ini tentunya telah melewati baku mutu yang telah ditetapkan. Oleh karena itu untuk menurunkan kadar TSS yang berlebih, maka dilakukanlah proses adsorpsi menggunakan adsorben POFA dengan memvariasikan waktu pengadukan dan massa adsorben. Pengaruh waktu pengadukan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.7 di bawah ini.

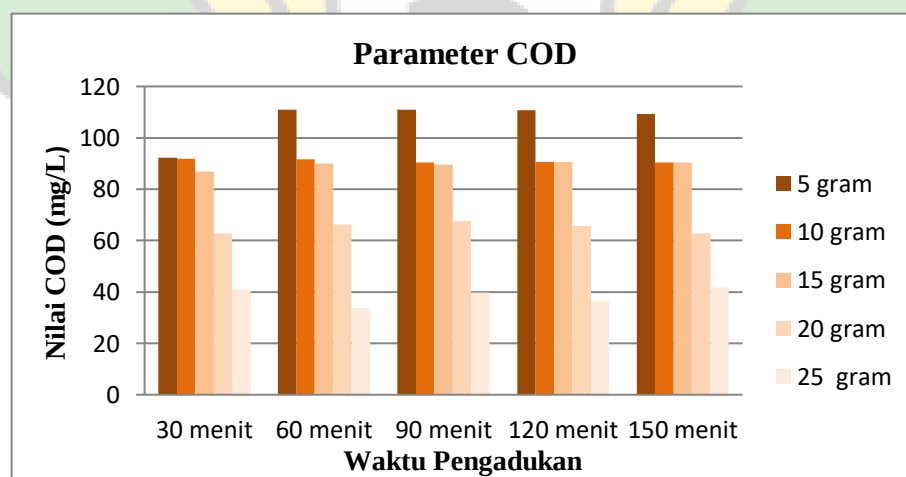


Gambar 4. 6 Grafik Pengaruh waktu pengadukan terhadap nilai konsentrasi parameter TSS

Dari gambar di atas terlihat bahwa variasi waktu pengadukan terdiri dari 30, 60, 90, 120, dan 150 menit dengan waktu yang optimal didapatkan pada waktu pengadukan 60 dan 90 menit dengan dosis adsorben yang digunakan 15 dan 25 g didapatkan nilai penurunan dari sebelumnya 370 mg/L menjadi 73 mg/L. Adapun peningkatan nilai TSS yang terjadi setelah waktu pengadukan optimum menandakan bahwa penambahan waktu tersebut mengakibatkan adsorbat terlepas kembali atau mungkin disebabkan oleh kecepatan pengadukan yang terlalu cepat sehingga mempengaruhi kinerja daya adsorpsi dari adsorben.

4.5.3 Pengaruh Waktu Pengadukan Terhadap Parameter COD

COD atau Chemical Oxygen Demand adalah kebutuhan oksigen untuk mengoksidasi zat-zat organik yang berada di dalam perairan secara kimiawi (Permata, 2016). Semakin tingginya jumlah COD yang dihasilkan maka semakin tinggi kebutuhan akan oksigen di perairan. Dari hasil pengujian kondisi awal sampel limbah penatu, didapatkan nilai parameter COD pada sebesar 310 mg/L. COD dengan nilai tersebut terbilang tinggi dan dapat mencemari lingkungan. Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan. Dalam penelitian ini dilakukan pengujian pengolahan limbah tersebut dengan memanfaatkan adsorben POFA berdasarkan pada penelitian Anggraini (2017) yang menyatakan bahwa adsorben POFA memiliki kemampuan mendegradasi COD yang baik. Pada penelitian ini dilakukan lima variasi waktu pengadukan yaitu 30, 60, 90, 120, dan 150 menit untuk mengetahui pengaruh waktu pengadukan terhadap kemampuan adsorben POFA dalam mendegradasi COD limbah penatu. Pengaruh variasi waktu pengadukan tersebut dapat dilihat pada gambar 4.8 berikut ini.



Gambar 4. 7 Grafik Pengaruh waktu pengadukan terhadap nilai konsentrasi parameter COD

Dari gambar di atas terlihat bahwa variasi waktu pengadukan yang optimal didapatkan pada waktu pengadukan 60 menit dengan dosis adsorben yang digunakan 25 g/L didapatkan nilai penurunan dari sebelumnya 370 mg/L menjadi 33,7 mg/L. Dari tabel tersebut terlihat bahwa terjadi kejadian yang sama seperti

pada pH dan TSS, dimana setelah didapatkan waktu optimum terjadi nilai parameter pH, TSS dan COD kembali naik dan terjadi penurunan, hal semakin memperbesar kemungkinan bahwa dengan penambahan lama waktu pengadukan setelah didapatkan waktu optimum maka adsorben kembali melepas polutan yang telah teradsorpsi.

4.6. Model Isoterm

Tujuan menggunakan Isoterm Langmuir dan Freundlich dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan persamaan kesetimbangan yang dapat digunakan untuk mengetahui seberapa besar massa adsorbat yang dapat diadsorpsi oleh adsorben. Isoterm Langmuir digunakan dengan asumsi bahwa lapisan yang terbentuk adalah lapisan monolayer yang ikatan adsorben dengan adsorbatnya cukup kuat karena terbentuknya suatu ikatan kimia sedangkan Isoterm freundlich digunakan dengan asumsi bahwa lapisan multilayer yang ikatan antara adsorben dengan adsorbatnya terjadi karena gaya *Van Der Waals* sehingga ikatannya tidak terlalu kuat. Untuk mengetahui persamaan Isoterm yang akan digunakan dalam penentuan kapasitas adsorpsi adsorben terhadap TSS dan COD, maka dilakukan perhitungan dan pengolahan data dengan menggunakan masing-masing persamaan Isoterm, Kemudian akan dipilih persamaan yang akan menghasilkan garis regresi yang paling linear dengan konstanta regresi linear (R^2) yang terbesar (Restu, 2009).

Untuk mengetahui angka konstanta regresi linier atau (R^2) maka terlebih dahulu harus diketahui nilai berikut ini:

m = massa Adsorben

C_e = konsentrasi polutan setelah dimasukkan adsorben

x = massa adsorben yang ter adsorpsi

x/m = jumlah adsorbat dibagi massa adsorben

$\ln x/m$ = nilai $\ln$ dari jumlah adsorbat dibagi massa adsorben

$\ln C_e$ = nilai $\ln$ dari polutan yang tersisa

$1/(1x/m)$ = nilai jumlah dari satu dibagi nilai x/m

$1/C_e$ = nilai jumlah dari satu dibagi polutan yang tersisa

Nilai dari masing-masing unsur tersebut diambil dari waktu optimum parameter TSS dan COD. Setelah dilakukan perhitungan maka didapatkan jumlah nilai dari beberapa unsur tersebut yang disajikan ke dalam bentuk tabel berikut ini.

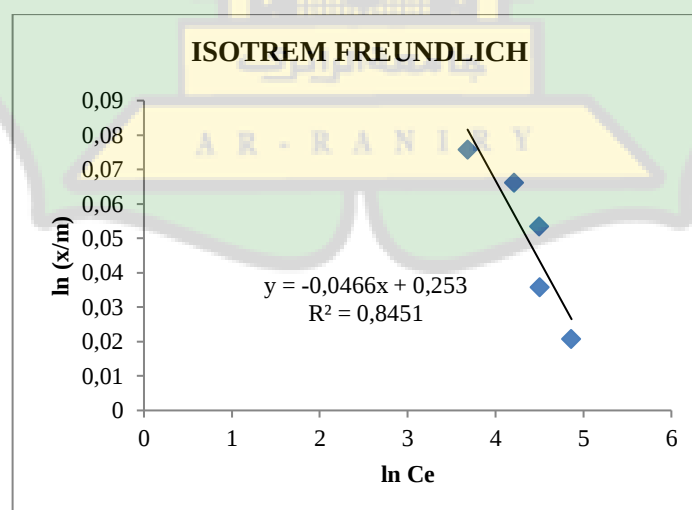
Tabel 4. 4 Isoterm Adsorpsi (Langmuir dan Freundlich) terhadap parameter TSS

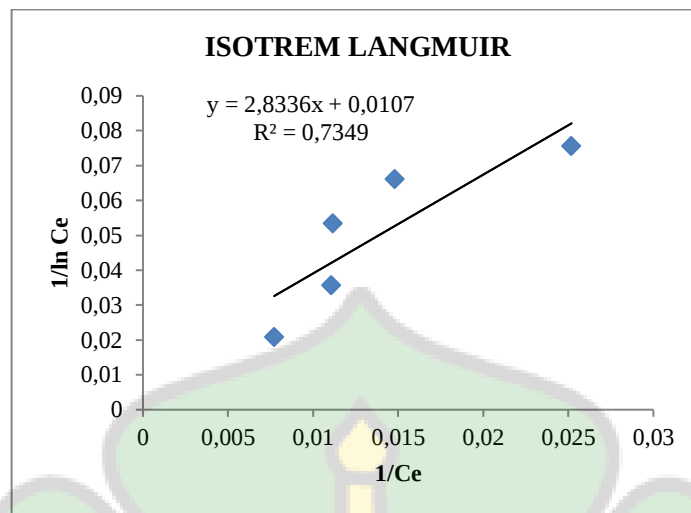
m	Ce	X	X/m	ln (X/m)	ln Ce	1/(X/m)	1/Ce
5	368	2	0,4	-0,9163	5,9081	2,5	0,002717
10	235	135	13,5	2,60269	5,45958	0,074074	0,004255
15	137	233	15,533	2,74299	4,91998	0,064378	0,007299
20	138	232	11,6	2,45100	4,92725	0,086207	0,007246
25	73	297	11,88	2,47486	4,29046	0,084175	0,013699

Tabel 4. 5 Isoterm Adsorpsi (Langmuir dan Freundlich) terhadap parameter COD

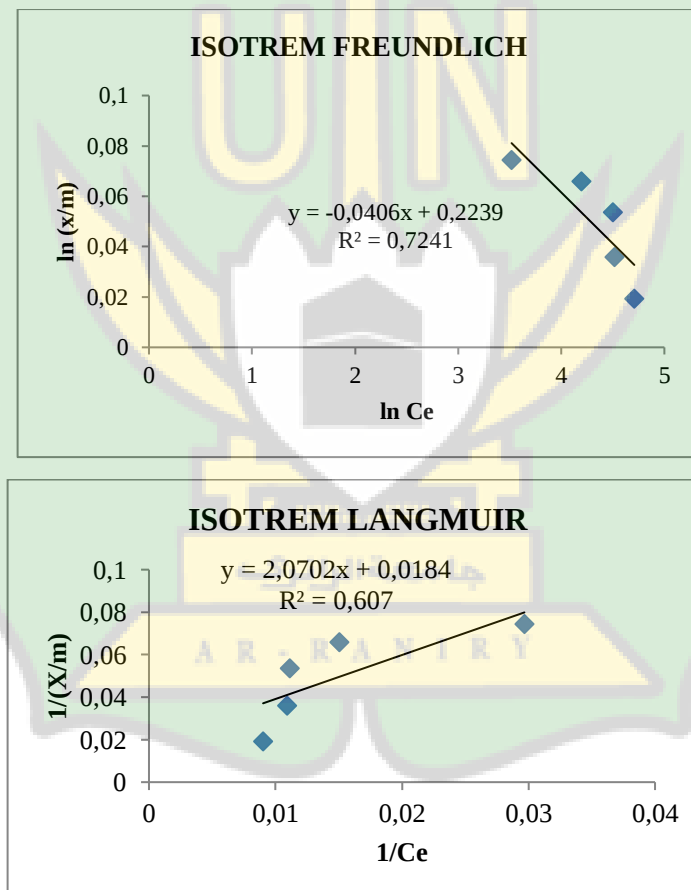
m	Ce	X	X/m	ln (X/m)	ln Ce	1/(X/m)	1/Ce
5	110,9	199,1	39,82	3,684369	4,708629	0,02511	0,009017
10	91,7	218,3	21,83	3,08328517	4,518522	0,04581	0,010905
15	90	220	14,666	2,68557735	4,49981	0,06818	0,011111
20	66,4	243,6	12,18	2,49979526	4,195697	0,08210	0,01506
25	33,7	276,3	11,052	2,40261141	3,517498	0,09048	0,029674

Berdasarkan pada tabel 4.4 dan 4.5 di atas maka diperoleh grafik perbandingan Isoterm adsorpsi Langmuir dan Isoterm adsorpsi Freundlich dengan menggunakan bantuan microsoft excel untuk melihat nilai konstanta regresi linier atau (R^2) yang dapat dilihat pada gambar 4.3 dan 4.4 berikut ini.





Gambar 4. 8 (a) Isoterm Freundlich dan (b) Isoterm Langmuir parameter TSS



Gambar 4. 9 (a) Isoterm Freundlich dan (b) Isoterm Langmuir parameter COD

Berdasarkan gambar dari hasil perhitungan tersebut dapat kita lihat bahwa adsorpsi pada parameter TSS dan COD menggunakan POFA mengikuti persamaan Isoterm Freundlich. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai regresi R^2

pada Isoterm Freundlich yang lebih tinggi dibandingkan nilai R^2 pada Isoterm Langmuir. Dari gambar tersebut terlihat bahwa untuk nilai R^2 pada parameter TSS dan COD adalah 0,8451 dan 0,7241. Nilai tersebut menunjukkan bahwa penelitian ini cenderung mengikuti persamaan Isoterm Freundlich yang menyatakan bahwa reaksi adsorpsi terjadi pada lapisan adsorbat terjadi secara multilayer yang ikatan antara adsorben dengan adsorbatnya terjadi karena gaya *Van Der Waals* sehingga ikatannya tidak terlalu kuat dan untuk kapasitas adsorpsi berdasarkan perhitungan metode Freundlich didapatkan untuk TSS dan COD 1,0991 g/g dan 1,1032 g/g. Inilah yang menyebabkan setelah didapatkan waktu adsorpsi optimal pada pH, TSS, dan COD nilainya kembali naik dan turun atau tidak linier.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan mengenai kemampuan adsorben POFA dalam menetralkan pH dan mendegradasi TSS dan BOD maka dapat diambil kesimpulan yaitu:

1. Adsorben POFA memiliki kemampuan untuk menetralkan pH pada limbah penatu dari sebelumnya 9,4 menjadi 7,3, untuk TSS dari sebelumnya 370 mg/L menjadi 73 mg/L, dan COD dari sebelumnya 310 mg/L menjadi 41 mg/L.
2. Dari hasil uji pemanfaatan adsorben POFA yang dilakukan untuk menetralkan pH dan mendegradasi TSS dan COD dengan memvariasikan massa adsorben, didapatkan massa paling optimal untuk pH 25 g/L, untuk TSS 20 dan 25 g/L dan untuk COD 25 g/L.
3. Dari hasil uji pemanfaatan adsorben POFA yang dilakukan untuk menetralkan pH dan mendegradasi TSS dan COD dengan memvariasikan waktu pengadukan, didapatkan waktu pengadukan paling optimal untuk pH 120 menit/L, untuk TSS 60 dan 90 menit/L dan untuk COD 60 menit/L dengan kecepatan 200 rpm.

5.2 Saran

Adapun saran dalam penelitian ini yaitu perlu adanya penelitian lanjutan mengenai pemanfaatan adsorben POFA dengan menggunakan variasi kecepatan pengadukan serta penambahan pada parameter-parameter lain seperti BOD, Surfaktan dan lain-lain.

Daftar Pustaka

- Agustina, T. E., Kurnia, L., & Novilasari, D. (2016). Penggunaan Reagen Fenton Dan Adsorpsi Terhadap Penurunan Kadar Cod Pada Air Limbah Pencucian Biji Kopi. *Jurnal Teknik Kimia*, 21(1).
- Anggraini, S,. (2017) Efektivitas Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Menurunkan Bod Dan Cod Dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Padang Tualang Tahun 2017, *Universitas Sumatera Utara*, Medan.
- Ghfari . (2018). Proses Adsorpsi Limbah Cair Laboratorium Dengan Menggunakan Karbon Aktif Tongkol Jagung (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya).
- Gelbert, D., Hendrawan, Y., & Yulianingsih, R. (1996). Pengaruh Aktivator dan Waktu Kontak Terhadap Kinerja Arang Aktif Berbahan Eceng Gondok (*Eichornia Crassipes*) Pada Penurunan COD limbah cair Penatu. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 3(1), 15-23.
- Hudori, A. (2008). Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Adsorben Polutan Merkuri (Hg). In *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan* (Vol. 2, No. 1).
- Hariyanti, P., & Razif, M. (2019). Pemanfaatan Ampas Tebu (*Saccharum Officinarum* L) Sebagai Adsorben Untuk Penurunan Logam Berat Kromium Heksavalen (Cr⁶⁺) Pada Limbah Buatan Dengan Menggunakan Metode Batch. In *Prosiding Seminar Teknologi Perencanaan, Perancangan, Lingkungan dan Infrastruktur* (Vol. 1, No. 1, pp. 420-425).
- Irianto, (2009). Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Mentimun (*Cucumis sativus* L.) Pada beberapa Jenis Abu. *Jurnal Agronomi*.
- Khuluk, A,. (2016). Penyisihan COD, TSS pada Lindi Hitam dengan Menggunakan Koagulasi, Fenton, dan Adsorpsi pada Proses Pretreatment Tandan Kosong Kelapa Sawit Menjadi Bioetanol (*Doctoral dissertation*, Diponegoro University).
- Marlinda. (2014). Pengaruh Torefaksi Terhadap Sifat Kimia Pelet Tandan Kosong

- Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 9(1), 63-70.
- Muhammadin. (2017). Studi pemanfaatan limbah padat kelapa sawit. *Konversi*, 3(2), 57-66.
- Nadia, A. (2017). Gambaran Kualitas Air Limbah Penatu Terhadap Pencemaran Lingkungan Di Kota Pontianak Tahun 2017 (*Doctoral dissertation*, Fakultas Ilmu Kesehatan).
- Ndabigengesere dan Risanto. (2009) . Adsorpsi Asam Lemak Bebas Dalam Minyak Sawit Mentah Menggunakan Adsorben Abu Tandan Kosong Sawit. *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*, 2(3), 121-129.
- Purwendro,D., Hendrawan, Y., & Yulianingsih, R. (2010). Pengaruh aktivator dan Waktu kontak terhadap kinerja arang aktif berbahan eceng gondok (*eichornia crassipes*) pada penurunan COD limbah cair Penatu. *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, 3(1), 15-23.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 68 tahun 2016 tentang baku mutu air limbah.
- Rahimah, R. (2016). Pengolahan Air Limbah Tahu menggunakan Bioreaktor Anaerob-Aerob Bermedia Karbon Aktif dengan Variasi Waktu Tinggal. *Jurnal Teknologi Lingkungan Universitas Trisakti*, 4(2), 30-35.
- Rizki, A. (2018)."Analisis pengaruh harga *Crude Palm Oil* (CPO) dunia terhadap nilai tukar riil Rupiah." *Buletin Ekonomi Moneter Dan Perbankan* 16.4 (2018): 315-338.
- Pardamean, M. (2014). Mengelola Kebun dan Pabrik Kelapa Sawit secara Profesional. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Ruthven, D. M., (1984). Principle of Adsorption & Adsorption Process. John Wiley & Sons : New York,124-141.
- Rumi, S. (2021). Penyisihan Polutan pada Limbah Penatu Menggunakan Adsorben Arang Bambu Aktif (*Doctoral dissertation*, UIN Ar-Raniry).
- Sandi, M., Astuti, R. (2014). Karakteristik Arang Aktif Tandan Kosong Kelapa Sawit Yang Diimpregnasi Logam Nikel Sebagai Katalis. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 38(3), 129-138.

- Sata, V., C. Jaturapitakkul dan R. Chaianunt, R. (2010). Compressive Strength and Heat Evolution of Concretes Containing Palm Oil Fuel Ash. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(10): 1033-1038.
- Said, Muhammad, Prawati, A.W., dan Murenda E, (2008). Aktivasi Zeolit Alam Sebagai Adsorben Pada Adsorpsi Larutan Iodium. *Jurnal Teknik Kimia*.
- Sofiah, N., Prasatyo, D, dan Afiantara, D, B., (2017), Pengaruh Aktivasi Karbon Aktif Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit terhadap Adsorpsi Kadmium Terlarut, *JRTPI*, Vol. 8 (2) 55-66, Tangerang Selatan.
- Siska, N. (2017). Kajian Karakteristik Spektrum Tandan Buah Segar (TBS) Kelapa Sawit Berdasarkan Tingkat Kematangan Menggunakan Spektrofotometer Uv-Vis. *Teknotan: Jurnal Industri Teknologi Pertanian*, 10(1).
- Sibarani, N. (2017). Kajian Proses Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Menggunakan Katalis Abu Tandan Kosong Sawit. Institut Pertanian Bogor, Fakultas Teknologi Pertanian, Bogor.
- Simatupang, H. Nata, A., dan Herlina, N. (2012) "Studi Isolasi dan Rendemen Lignin Dari Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)," *J. Tek. Kim.*, vol. 1, no. 1, pp. 20-24.
- Supiati, S., Yudi, M., & Chadijah, S. (2013). Pengaruh konsentrasi aktivator asam klorida (HCl) terhadap kapasitas adsorpsi arang aktif kulit durian (*Durio Zibethinus*) pada zat warna methanil yellow. *Al-Kimia*, 1(1), 53-63.
- Sutanto (2015). Kontribusi Limbah Deterjen Terhadap Status Kehidupan Perairan Di DAS Citarum Hulu. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 5(3).
- Tangchirapat, W., Jaturapitakkul dan P. Chindaprasit, P. (2009). Use of Palm Oil Fuel Ash as a Supplementary Cementitious Material for Producing High-strength Concrete. *Construction and Building Materials*, 23(7): 2641-2646.
- Wicheisa, F, V, dkk. (2018). Penurunan Kadar Chemical Oxygen Demand (COD) Pada Limbah Cair Laundry Orens Tembalang Dengan Berbagai Variasi Dosis Karbon Aktif Tempurung Kelapa. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 6(6).

- Widi, R. K. (2018). Pemanfaatan Material Anorganik: Pengenalan dan Beberapa Inovasi di Bidang Penelitian. Yogyakarta.
- Wardanu P. A, 2009, Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit, Universitas Indonesia. Jakarta
- Wardanu P. A, 2009, Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit, Universitas Indonesia. Jakarta.
- Wijayanti, I. E., & Kurniawati, E. A. (2019). Studi Kinetika Adsorpsi Isoterm Persamaan Langmuir dan Freundlich pada Abu Gosok sebagai Adsorben. *Jurnal Kimia dan Pendidikan*, 4(2).
- Yoeswono, D. (2018). Pengaruh Kecepatan Pengadukan Dan Massa Adsorben Terhadap Penurunan Kadar Phospat Pada Pengolahan Limbah Penatu. *Jurnal Teknik Kimia*, 23(1), 67-76.
- Yulianti. (2006). Unjuk Kerja Sistem Adsorpsi Chiller Pemanasan Ulang Dua Tingkat. *Matrik: Jurnal Manajemen Teknologi dan Informatika*, 6(3), 179.
- SNI 066989.11-2004. Tentang Standar Cara Pengujian Parameter pH.
- SNI 6989.2-2009. Tentang Standar Cara Pengujian Parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD)
- SNI 6989.59:2008. Tentang Standar Cara Pengambilan Sampel.

LAMPIRAN A

SNI Pengujian Parameter

Lampiran A.1. Pengujian parameter TSS (SNI. 06.6989.3.2004)

TSS dari sampel air limbah Penatu akan dibaca dengan menggunakan metode gravimetri. Metode tersebut akan dijelaskan lebih rinci sebagai berikut: dengan (SNI.06.6989.3.2004)

- a. Dilakukan penyaringan dengan peralatan vakum. Dibasahi saringan dengan sedikit air suling.
- b. Diaduk sampel dengan pengaduk magnetik untuk memperoleh sampel yang lebih homogen.
- c. Pipet sampel dengan volume tertentu, pada waktu sampel diaduk dengan pengaduk magnetik.
- d. Dicuci kertas saring atau saringan dengan 3 x 10 mL air suling, dibiarkan kering sempurna, dan dilanjutkan penyaringan dengan vakum selama 3 menit agar diperoleh penyaringan sempurna. sampel dengan padatan terlarut yang tinggi memerlukan pencucian tambahan.
- e. Dipindahkan kertas saring dengan penuh hati-hati dari peralatan penyaringan dan dipindahkan ke wadah timbang aluminium sebagai penyangga. Apabila digunakan cawan Gooch maka dipindahkan cawan dari rangkaian alatnya.
- f. Dikeringkan dalam oven minimal selama 1 jam pada suhu 103°C sampai dengan suhu 105°C, didinginkan dalam desikator guna untuk menyeimbangkan suhu kemudian ditimbang.
- g. Diulangi tahapan pada pengeringan, pendinginan dalam desikator, dan dilakukan penimbangan sampai dengan diperoleh berat konstan atau sampai perubahan berat lebih kecil dari 4% terhadap penimbangan sebelumnya atau lebih kecil dari 0,5 mg.

Lampiran A.2. Pengujian parameter COD (SNI. 06-6989.73.2009)

Cara pengujian parameter COD ditunjukkan sesuai (SNI. 06.6989.73.2009) ditunjukkan sebagai berikut:

1. Pembuatan larutan pereaksi asam sulfat
Dilarutkan 10,12 g serbuk atau kristal Ag_2SO_4 ke dalam 1000 mL H_2SO_4 pekat, kemudian aduk hingga merata.
2. Pembuatan larutan baku kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0,01667 M (0,1 N) (digestion solution).
 - a) Dilarutkan 4,903 g $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ yang telah dikeringkan pada suhu 150°C selama 2 jam ke dalam 500 mL air bebas organik.
 - b) Ditambahkan 167 mL H_2SO_4 pekat dan 33,3 g HgSO_4 .
 - c) Dilarutkan dan didinginkan pada suhu ruang dan encerkan sampai 1000 mL.
3. Pembuatan larutan indikator ferroin
Dilarutkan 1485g 1,10 phenanthroline monohidrat dan 695 mg $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dalam air bebas organik dan diencerkan sampai 100 mL.
4. Pembuatan larutan baku Ferro Ammonium Sulfat (FAS) 0,05 M
 - a) Dilarutkan 19,6 g $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ dalam 300 mL air bebas organik.
 - b) Ditambahkan 20 mL H_2SO_4 pekat.
 - c) Didinginkan dan tepatkan sampai 1000 mL.
5. Pembuatan larutan asam sulfat ($\text{NH}_2\text{SO}_3\text{H}$)
Ditambahkan 10 ml asam sulfat untuk setiap mg $\text{NO}_2\text{-N}$ yang ada dalam contoh uji.
6. Pembuatan larutan baku Kalium Hidrogen Ftalat ($\text{HOOC}_6\text{H}_4\text{COOK}$, KHP)~ COD 500 mg O_2/L
 - a) KHP digerus perlahan, lalu dikeringkan sampai berat konstan pada suhu 110°C .
 - b) Dilarutkan 425 mg KHP ke dalam air bebas organik sampai 1000 mL.
 - c) Disimpan dalam kondisi dingin pada temperatur $4^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ dan dapat digunakan sampai 1 minggu selama tidak ada pertumbuhan mikroba.

7. Prosedur kerja pengujian COD

- a) Pipet volume contoh uji dan tambahkan digestion solution dan tambahkan larutan pereaksi asam sulfat ke dalam tabung atau ampul.
- b) Ditutup tabung dan kocok perlahan sampai homogen
- c) Diletakkan tabung pada pemanas yang telah dipanaskan pada suhu 150°C , lakukan digestion selama 2 jam
- d) Didinginkan perlahan-lahan contoh uji yang sudah direfluks sampai suhu ruang. Saat pendinginan sesekali tutup contoh uji dibuka untuk mencegah adanya tekanan gas
- e) Dipindahkan secara kuantitatif contoh uji dari tube atau ampul ke dalam Erlenmeyer untuk titrasi.
- f) Ditambahkan indikator ferroin 0,05 mL - 0,1 mL atau 1 - 2 tetes dan aduk dengan pengaduk magnetik sambil dititrasi dengan larutan baku FAS 0,05 M sampai terjadi perubahan warna yang jelas dari hijau-biru menjadi coklat kemerahan, catat volume larutan FAS yang digunakan Dilakukan langkah (a) sampai dengan (f) terhadap air bebas organik sebagai blanko. Catat volume larutan FAS yang digunakan.

Lampiran B

Hasil Perhitungan

Lampiran B.1. Kadar Air Dan Kadar Abu

1. Kadar air

Diketahui:

A = Berat Adsorben + berat wadah sebelum di oven = 2 gr

B = Berat Adsorben + Berat wadah sesudah di oven = 1,9941 gr

- $$\begin{aligned}\text{Kadar air (\%)} &= \frac{a-b}{a} \times 100 \% \\ &= \frac{2-1,9941}{41.306} \times 100 \% \\ &= 0,295 \%\end{aligned}$$

2. Kadar Abu

Diketahui :

A = Berat adsorben + berat wadah sebelum dikeringkan di furnace = 2

B = Berat adsorben + berat wadah sesudah dikeringkan di furnace = 1,99802

- $$\begin{aligned}\text{Kadar Abu (\%)} &= \frac{a-b}{a} \times 100 \% \\ &= \frac{2-1,99802}{2} \times 100 \% \\ &= 0,099 \%\end{aligned}$$

Lampiran B.2. Perhitungan TSS

1. Massa Adsorben 5 g

- Pengadukan 30 Menit

$$\begin{aligned}\text{Mg TSS per liter} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}} \\ &= \frac{(0,191 - 0,2279) \times 1000}{0,1 \text{ L}} \\ &= 369 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

- Pengadukan 60 Menit

$$\begin{aligned}\text{Mg TSS per liter} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}} \\ &= \frac{(0,191 - 0,2277) \times 1000}{0,1 \text{ L}} \\ &= 367 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

- Pengadukan 90 Menit

$$\begin{aligned}\text{Mg TSS per liter} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}} \\ &= \frac{(0,191 - 0,2278) \times 1000}{0,1 \text{ L}} \\ &= 368 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

- Pengadukan 120 Menit

$$\begin{aligned}\text{Mg TSS per liter} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}} \\ &= \frac{(0,191 - 0,2259) \times 1000}{0,1 \text{ L}} \\ &= 349 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

- Pengadukan 150 Menit

$$\text{Mg TSS per liter} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}}$$

$$= \frac{(0,191-0,2258) \times 1000}{0,1 \text{ L}}$$

$$= 348 \text{ mg/L}$$

2. Massa Adsorben 10 g

- Pengadukan 30 Menit

$$\text{Mg TSS per liter} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}}$$

$$= \frac{(0,191-0,2124) \times 1000}{0,1 \text{ L}}$$

$$= 214 \text{ mg/L}$$

- Pengadukan 60 Menit

$$\text{Mg TSS per liter} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}}$$

$$= \frac{(0,191-0,2149) \times 1000}{0,1 \text{ L}}$$

$$= 239 \text{ mg/L}$$

- Pengadukan 90 Menit

$$\text{Mg TSS per liter} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}}$$

$$= \frac{(0,191-0,2148) \times 1000}{0,1 \text{ L}}$$

$$= 238 \text{ mg/L}$$

- Pengadukan 120 Menit

$$\text{Mg TSS per liter} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}}$$

$$= \frac{(0,191-0,2147) \times 1000}{0,1 \text{ L}}$$

$$= 237 \text{ mg/L}$$

- Pengadukan 150 Menit

$$\begin{aligned}\text{Mg TSS per liter} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}} \\ &= \frac{(0,191 - 0,2063) \times 1000}{0,1 \text{ L}} \\ &= 153 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

3. Massa Adsorben 15 g

- Pengadukan 30 Menit

$$\begin{aligned}\text{Mg TSS per liter} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}} \\ &= \frac{(0,191 - 0,2063) \times 1000}{0,1 \text{ L}} \\ &= 153 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

- Pengadukan 60 Menit

$$\begin{aligned}\text{Mg TSS per liter} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}} \\ &= \frac{(0,191 - 0,2048) \times 1000}{0,1 \text{ L}} \\ &= 138 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

- Pengadukan 90 Menit

$$\begin{aligned}\text{Mg TSS per liter} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}} \\ &= \frac{(0,191 - 0,2047) \times 1000}{0,1 \text{ L}} \\ &= 137 \text{ mg/L}\end{aligned}$$

- Pengadukan 120 Menit

$$\begin{aligned}\text{Mg TSS per liter} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}} \\ &= \frac{(0,191 - 0,2047) \times 1000}{0,1 \text{ L}}\end{aligned}$$

$$= 137 \text{ mg/L}$$

- Pengadukan 150 Menit

$$\begin{aligned} \text{Mg TSS per liter} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}} \\ &= \frac{(0,191 - 0,2047) \times 1000}{0,1 \text{ L}} \\ &= 137 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

4. Massa Adsorben 20 g

- Pengadukan 30 Menit

$$\begin{aligned} \text{Mg TSS per liter} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}} \\ &= \frac{(0,191 - 0,2046) \times 1000}{0,1 \text{ L}} \\ &= 136 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

- Pengadukan 60 Menit

$$\begin{aligned} \text{Mg TSS per liter} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}} \\ &= \frac{(0,191 - 0,1983) \times 1000}{0,1 \text{ L}} \\ &= 73 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

- Pengadukan 90 Menit

$$\begin{aligned} \text{Mg TSS per liter} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}} \\ &= \frac{(0,191 - 0,2048) \times 1000}{0,1 \text{ L}} \\ &= 138 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

- Pengadukan 120 Menit

$$\text{Mg TSS per liter} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}}$$

$$= \frac{(0,191-0,2045) \times 1000}{0,1 \text{ L}}$$

$$= \mathbf{135 \text{ mg/L}}$$

- Pengadukan 150 Menit

$$\text{Mg TSS per liter} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}}$$

$$= \frac{(0,191-0,2046) \times 1000}{0,1 \text{ L}}$$

$$= \mathbf{136 \text{ mg/L}}$$

5. Massa Adsorben 25 g

- Pengadukan 30 Menit

$$\text{Mg TSS per liter} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}}$$

$$= \frac{(0,191-0,2044) \times 1000}{0,1 \text{ L}}$$

$$= \mathbf{134 \text{ mg/L}}$$

- Pengadukan 60 Menit

$$\text{Mg TSS per liter} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}}$$

$$= \frac{(0,191-0,2013) \times 1000}{0,1 \text{ L}}$$

$$= \mathbf{103 \text{ mg/L}}$$

- Pengadukan 90 Menit

$$\text{Mg TSS per liter} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}}$$

$$= \frac{(0,191-0,1983) \times 1000}{0,1 \text{ L}}$$

$$= \mathbf{73 \text{ mg/L}}$$

- Pengadukan 120 Menit

$$\begin{aligned}
 \text{Mg TSS per liter} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}} \\
 &= \frac{(0,191 - 0,1989) \times 1000}{0,1 \text{ L}} \\
 &= 79 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$

- Pengadukan 150 Menit

$$\begin{aligned}
 \text{Mg TSS per liter} &= \frac{(A-B) \times 1000}{\text{volume contoh uji, ml}} \\
 &= \frac{(0,191 - 0,1993) \times 1000}{0,1 \text{ L}} \\
 &= 83 \text{ mg/L}
 \end{aligned}$$



Lampiran B.3. Perhitungan Efektifitas Adsorpsi TSS

1) Massa adsorben 5 g

- Waktu pengadukan 30 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 369}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 0,27 \%$$

- Waktu pengadukan 60 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 367}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 0,81 \%$$

- Waktu pengadukan 90 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 368}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 0,54 \%$$

- Waktu pengadukan 120 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 349}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 5,7 \%$$

- Waktu pengadukan 150 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 348}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 5,9 \%$$

2) Massa adsorben 10 g

- Waktu pengadukan 30 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 214}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 42,2 \%$$

- Waktu pengadukan 60 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 239}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 35,4 \%$$

- Waktu pengadukan 90 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 235}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 36,5 \%$$

- Waktu pengadukan 120 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 238}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 35,7 \%$$

- Waktu pengadukan 150 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 153}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 58,6 \%$$

3) Massa adsorben 15 g

- Waktu pengadukan 30 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 153}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 58,6 \%$$

- Waktu pengadukan 60 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 137}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 63 \%$$

- Waktu pengadukan 90 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 137}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 63 \%$$

- Waktu pengadukan 120 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 138}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 62,7 \%$$

- Waktu pengadukan 150 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 138}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 62,7 \%$$

4) Massa adsorben 25 g

- Waktu pengadukan 30 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 134}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 63,8 \%$$

- Waktu pengadukan 60 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 103}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 72,2 \%$$

- Waktu pengadukan 90 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 73}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 80,3 \%$$

- Waktu pengadukan 120 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 73}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 80,3 \%$$

- Waktu pengadukan 150 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 83}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 77,6 \%$$

5) Massa adsorben 20 g

- Waktu pengadukan 30 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 136}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 63,2 \%$$

- Waktu pengadukan 60 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 73}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 80,3 \%$$

- Waktu pengadukan 90 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 138}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 62,7 \%$$

- Waktu pengadukan 120 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 135}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 63,5 \%$$

- Waktu pengadukan 150 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 136}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 63,2 \%$$



Lampiran B.4. Perhitungan Efektifitas Adsorpsi COD

1) Massa adsorben 5 g

- Waktu pengadukan 30 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{370 - 92,2}{370} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 70,2 \%$$

- Waktu pengadukan 60 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 110,9}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 64,2 \%$$

- Waktu pengadukan 90 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 129,6}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 58,2 \%$$

- Waktu pengadukan 120 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 148,3}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 52,2 \%$$

- Waktu pengadukan 150 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 167}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 46,1 \%$$

2) Massa adsorben 10 g

- Waktu pengadukan 30 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 91,9}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 70,4 \%$$

- Waktu pengadukan 60 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 91,9}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 70,4 \%$$

- Waktu pengadukan 90 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 90,3}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 70,9 \%$$

- Waktu pengadukan 120 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 90,6}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 70,8 \%$$

- Waktu pengadukan 150 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 90,4}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 70,8 \%$$

3) Massa adsorben 15 g

- Waktu pengadukan 30 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 86,9}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 72 \%$$

- Waktu pengadukan 60 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 90}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 70,1 \%$$

- Waktu pengadukan 90 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 89,6}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 71,1 \%$$

- Waktu pengadukan 120 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 90,6}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 70,8 \%$$

- Waktu pengadukan 150 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 90,3}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 70,3 \%$$

4) Massa adsorben 20 g

- Waktu pengadukan 30 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 62,8}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 79,7 \%$$

- Waktu pengadukan 60 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 66,4}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 78,6 \%$$

- Waktu pengadukan 90 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 67,6}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 78,2 \%$$

- Waktu pengadukan 120 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 65,7}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 78,8 \%$$

- Waktu pengadukan 150 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 62,8}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 79,7 \%$$

5) Massa adsorben 25 g

- Waktu pengadukan 30 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 41}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 86,8 \%$$

- Waktu pengadukan 60 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 33,7}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 89,1 \%$$

- Waktu pengadukan 90 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 39,7}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 87,2 \%$$

- Waktu pengadukan 120 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 36,4}{310} \times 100 \%$$

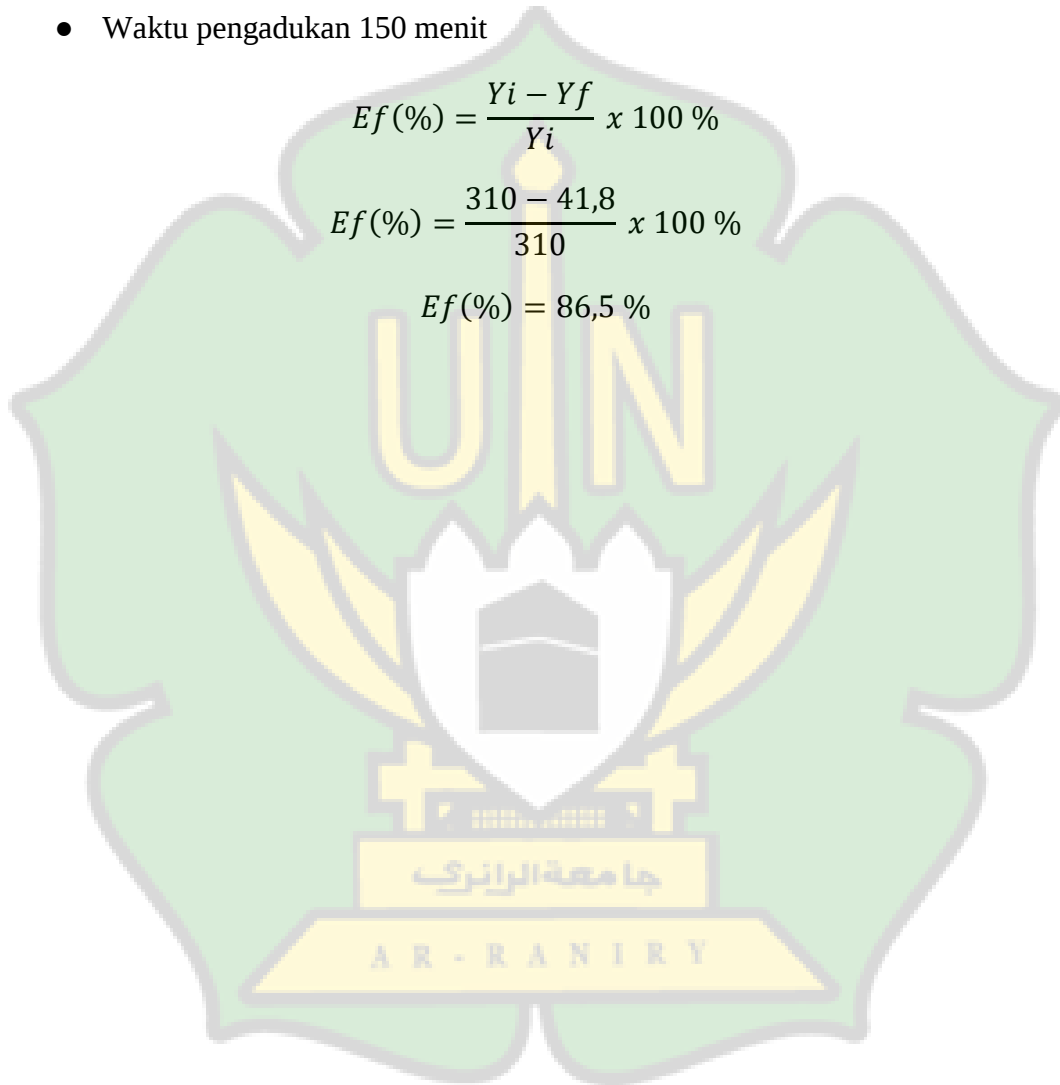
$$Ef(\%) = 88,3 \%$$

- Waktu pengadukan 150 menit

$$Ef(\%) = \frac{Y_i - Y_f}{Y_i} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = \frac{310 - 41,8}{310} \times 100 \%$$

$$Ef(\%) = 86,5 \%$$



Lampiran C

Foto Dokumentasi Penelitian

1. Proses Aktivasi Adsorben



Gambar 1.1 kondisi POFA sebelum diaktivasi



Gambar 1.2 penyaringan POFA 10 mesh



Gambar 1.3. Menimbang POFA yang akan digunakan



Gambar 1.4 proses aktivasi POFA



Gambar 1.5 Perendaman POFA dengan Larutan NH_4Cl



Gambar 1.6 Proses Perendaman POFA

2. Proses Eksperimen



Gambar 2.1 Pengujian kondisi awal limbah



Gambar 2.2 Pengadukan menggunakan jertes



Gambar 2.3. Pengukuran parameter pH



Gambar 2.4 Proses pengukuran TSS dengan vakum filtrasi



Gambar 2.5 menimbang kertas whatman untuk TSS



Gambar 2.6 proses pengukuran COD

3. Hasil Pengujian Parameter pH



Gambar 3.1 Hasil Pengujian pH 5g 60 menit



Gambar 3.2 Hasil Pengujian pH 5g 90 menit



Gambar 3.3. Hasil Pengujian pH 5g 120 menit



Gambar 3.4 Hasil Pengujian pH 5g 150 menit



Gambar 3.5 Hasil Pengujian pH 10g 30 menit



Gambar 3.6 Hasil Pengujian pH 10g 60 menit



Gambar 3.7 Hasil Pengujian pH 10g 90 menit



Gambar 3.8 Hasil Pengujian pH 10g 120 menit



Gambar 3.9 Hasil Pengujian pH 15g 30 menit



Gambar 3.10 Hasil
Pengujian pH 15g 60 menit



Gambar 3.11 Hasil
Pengujian pH 15g 90 menit



Gambar 3.12 Hasil
Pengujian pH 15g 120 menit



Gambar 3.13 Hasil
Pengujian pH 15g 150 menit



Gambar 3.14 Hasil
Pengujian pH 20g 30 menit



Gambar 3.15 Hasil
Pengujian pH 20g 90 menit



Gambar 3.16 Hasil
Pengujian pH 20g 120
menit



Gambar 3.17 Hasil
Pengujian pH 20g 150 menit



Gambar 3.18 Hasil
Pengujian pH 25g 30 menit



Gambar 3.19 Hasil
Pengujian pH 25g 60 menit



Gambar 3.20 Hasil
Pengujian pH 25g 90 menit



Gambar 3.21 Hasil
Pengujian pH 25 g 120
menit



Gambar 3.22 Hasil
Pengujian pH 25g 150 menit

4. Hasil Pengujian Parameter TSS



Gambar 4.1 Nilai COD



Gambar 4.2 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(5g 30 menit)



Gambar 4.3 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(5g 60 menit)



Gambar 4.4 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(5g 90 menit)



Gambar 4.5 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(5g 120 menit)



Gambar 4.6 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(5g 150 menit)



Gambar 4.7 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(10g 60 menit)



Gambar 4.8 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(10g 90 menit)



Gambar 4.9 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(10g 120 menit)



Gambar 4.10 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(10g 150 menit)



Gambar 4.11 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(15g 30 menit)



Gambar 4.12 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(15g 60 menit)



Gambar 4.13 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(15g 90 menit)



Gambar 4.14 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(15g 120 menit)



Gambar 4.15 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(15g 150 menit)



Gambar 4.16 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(20g 30 menit)



Gambar 4.17 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(20g 60 menit)



Gambar 4.18 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(20g 90 menit)



Gambar 4.19 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(20g 120 menit)



Gambar 4.20 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(25g 30 menit)



Gambar 4.21 Berat Kertas
sesudah penyaringan
(25g 60 menit)



Gambar 4.22 Berat Kertas sesudah penyaringan (25g 90 menit)



Gambar 4.23 Berat Kertas sesudah penyaringan (25g 120 menit)



Gambar 4.24 Berat Kertas sesudah penyaringan (25g 150 menit)

5. Hasil Pengujian Parameter COD



Gambar 5.1 Hasil pengujian COD (5g 30 menit)



Gambar 5.2 Hasil pengujian COD (5g 60 menit)



Gambar 5.3 Hasil pengujian COD (5g 90 menit)



Gambar 5.4 Hasil pengujian COD (5g 120 menit)



Gambar 5.5 Hasil pengujian COD (5g 150 menit)



Gambar 5.6 Hasil pengujian COD (10g 30 menit)



Gambar 5.7 Hasil pengujian COD (10g 60 menit)



Gambar 5.8 Hasil pengujian COD (10g 90 menit)



Gambar 5.9 Hasil pengujian COD (10g 120 menit)



Gambar 5.10 Hasil pengujian COD (10g 150 menit)



Gambar 5.11 Hasil pengujian COD (15g 30 menit)



Gambar 5.12 Hasil pengujian COD (15g 60 menit)



Gambar 4.13 Hasil pengujian COD (15g 90 menit)



Gambar 4.14 Hasil pengujian COD (15g 120 menit)



Gambar 4.15 Hasil pengujian COD (15g 150 menit)



Gambar 4.16 Hasil pengujian COD (20g 30 menit)



Gambar 4.17 Berat Kertas sesudah penyaringan (20g 60 menit)



Gambar 4.18 Berat Kertas sesudah penyaringan (20g 90 menit)



Gambar 4.19 Hasil pengujian COD (20g 120 menit)



Gambar 4.20 Hasil pengujian COD (25g 30 menit)



Gambar 4.21 Hasil pengujian COD (25g 60 menit)



Gambar 4.22 Hasil pengujian COD (25g 90 menit)



Gambar 4.23 Hasil pengujian COD (25g 120 menit)



Gambar 4.24 Hasil pengujian COD (25g 150 menit)