

**ANALISIS EFEKTIVITAS ADSORBEN
CAMPURAN *CRUMB RUBBER SLUDGE*
DENGAN TATAL KARET DAN ABU SAWIT
UNTUK PENYISIHAN PARAMETER AIR
LIMBAH INDUSTRI *CRUMB RUBBER***

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Dwi Puspita Rani

1700825201008

**PROGAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BATANGHARI
JAMBI
2022**

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISIS EFEKTIVITAS ADSORBEN CAMPURAN *CRUMB RUBBER SLUDGE* DENGAN TATAL KARET DAN ABU SAWIT UNTUK PENYISIHAN AIR LIMBAH INDUSTRI *CRUMB RUBBER*

TUGAS AKHIR

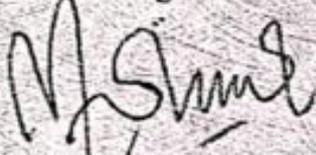
Oleh

Dwi Puspita Rani
1700825201008

Dengan ini Dosen Pembimbing Tugas Akhir Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Batanghari Jambi menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul penyusun sebagaimana tersebut diatas telah di setujui sesuai dengan prosedur, ketentuan, kelaziman yang berlaku pada program Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Batanghari Jambi.

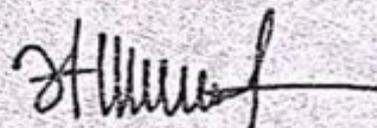
Jambi, 14 Maret 2022

Pembimbing I



Monik Kasman, S.T, M.Eng, Sc
NIDN. 0003088001

Pembimbing II



Peppy Herawati, S.T, M.T
NIDN.1012027402

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS EFEKTIVITAS ADSORBEN CAMPURAN *CRUMB RUBBER SLUDGE* DENGAN TATAL KARET DAN ABU SAWIT UNTUK PENYISIHAN AIR LIMBAH INDUSTRI *CRUMB RUBBER*

Tugas akhir ini telah dipertahankan pada Sidang Tugas Akhir Komprehensif Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Batanghari

Nama : Dwi Puspita Rani
NPM : 1700825201008
Hari/ Tanggal : Senin/14 Maret 2022
Tempat : Ruang Sidang Fakultas Teknik

TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Ketua :

1. Monik Kasman, S.T, M,Eng.Sc
NIDN. 0003088001

Anggota:

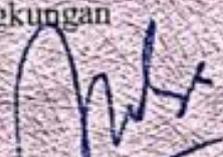
2. Peppy Herawati, S.T, M.T
NIDN.1012027402
3. Marhadi, S.T, M.Si
NIDN. 1008038002
4. Hadrah, S.T, M.T
NIDN. 1020088802
5. Anggrika Riyanti, S.T, M.Si
NIDN. 1010028704

Disalikan Oleh

Dekan Fakultas Teknik


Dr. Ir. H. Fakhru Rozi Yamali, ME
NIDN. 1015126501

Ketua Program Studi Teknik Lingkungan


Marhadi, S.T, M.Si
NIDN. 1008038002

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :



Nama : Dwi Puspita Rani

NPM : 1700825201008

Judul : Analisis Efektivitas Adsorben Campuran *Crumb Rubber Sludge* Dengan Tatal Karet Dan Abu Sawit Untuk Penyisihan Air Limbah Industri *Crumb Rubber*

Menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/*plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/*plagiat* dalam Laporan Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Batanghari sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Jambi, 14 Maret 2022

Dwi Puspita Rani

ABSTRAK

Pengolahan air limbah industri crumb rubber dengan sistem lumpur aktif menghasilkan limbah berupa lumpur padat (Crumb Rubber Sludge) yang membutuhkan penanganan. Selain itu, industri crumb rubber juga menghasilkan limbah padat lainnya berupa tatal karet yang tidak diolah kembali. Pada proses pengolahannya, selain industri crumb rubber yang menghasilkan limbah padat, terdapat industri kelapa sawit yang juga menghasilkan limbah padat berupa abu sawit. Salah satu cara untuk mengatasi dampak yang ditimbulkan oleh limbah padat industri adalah dengan memanfaatkan limbah tersebut sebagai adsorben. Adsorben adalah suatu padatan yang memiliki fungsi untuk menyerap suatu komponen tertentu dari suatu larutan. Air limbah industri crumb rubber merupakan salah satu penyebab terjadinya pencemaran lingkungan. Parameter kunci air limbah industri crumb rubber salah satunya BOD (Biological Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand) dan TSS (Total Suspended Solid). Apabila parameter tersebut nilainya melebihi baku mutu yang telah ditetapkan dan tidak dilakukan pengolahan, berpotensi menyebabkan pencemaran khususnya sungai sebagai badan air penerima. Hasil penelitian menunjukkan bahwa adsorben CT dan adsorben CA dapat dijadikan adsorben dengan daya serap yang tinggi, sehingga nilai persentase penyisihan berada diatas 80% menggunakan variasi massa 0.5 gr, 1gr, dan 1,5 gr dan variasi waktu kontak 60 menit, 90 menit dan 120 menit di kecepatan pengadukan 120 rpm. Proses penyerapannya lebih mengikuti model persamaan kesetimbangan adsorpsi Langmuir.

Kata Kunci : *Crumb rubber sludge, Tatal karet, Abu Sawit, Adsorben, BOD, COD, TSS, Kesetimbangan adsorpsi*

ABSTRACT

Crumb rubber industrial wastewater treatment with an active sludge system commercializes sewage in the form of solid sludge (Crumb Rubber Sludge) that requires handling. In addition, the crumb rubber industry also produces other solid waste in the form of rubber tatal that is not reprocessed. In the process of processing, in addition to the crumb rubber industry that produces solid waste, there is a palm oil industry that also produces solid waste in the form of palm ash. One way to overcome the impact caused by industrial solid waste is to use the waste as an adsorbent. Adsorbent is a solid that has the function of absorbing a particular component of a solution. Crumb rubber industrial wastewater is one of the causes of environmental pollution. The key wastewater parameters are BOD

(Biological Oxygen Demand), COD (Chemical Oxygen Demand) and TSS (Total Suspended Solid). If the parameters exceed the quality standards that have been set and are not processed, potentially causing pollution, especially the river as the receiving body of water. The results showed that adsorben CT and adsorben CA can be used as adsorbens with high absorption, so the elimination percentage value is above 80% with a mass variation of 0.5 gr, 1gr, and 1.5 gr and a variation in contact time of 60 minutes, 90 minutes and 120 minutes at a stirring speed of 120 rpm. The absorption process follows the model of the langmuir adsorbsi equilibrium equation.

Key words: *Crumb rubber sludge, Rubber scrap, Palm ash, Adsorben, BOD, COD, TSS, Adsorbtion Equilibrium*

PRAKATA

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh. Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunianya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Efektivitas Adsorben Campuran *Crumb Rubber Sludge* dengan Tatal Karet dan Abu Sawit Untuk Penyisihan Parameter Air Limbah Industri *Crumb Rubber*”. Laporan tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat dalam rangka menyelesaikan pendidikan program Strata-1 (S-1) di program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Batanghari Jambi.

Selama proses penyusunan tugas akhir ini, penulis mendapat banyak bimbingan, doa dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala rasa hormat penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. H. Fakrul Rozi Yamali, ME Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Batanghari Jambi.
2. Bapak Marhadi, S.T, M.Si. Selaku Ketua Progam Studi Teknik Lingkungan.
3. Ibu Monik Kasman, S.T, M.Eng.Sc. Selaku Dosen Pembimbing I tugas akhir yang selalu memberikan arahan serta bimbingan.
4. Ibu Peppy Herawati, S.T, M.T. Selaku Dosen Pembimbing II tugas akhir yang selalu memberikan arahan serta bimbingan.
5. Kedua orangtua, keluarga serta saudara dan kerabat atas bantuan dan dukungannya baik moril maupun materil.
6. Nur Kholisoh dan Rita Apriani. P sebagai sahabat yang selalu bersama-sama dalam keadaan susah maupun senang untuk selalu mendampingi saya dalam menyelesaikan tugas akhir.
7. Brahma L Tobing yang selalu membantu dan menyemangati saya dalam penyusunan tugas akhir.

8. Semua sahabat-sahabatku dan rekan-rekan seperjuangan Teknik Lingkungan angkatan 2017, khususnya kelas A2 yang senantiasa menjaga kekompakan, persaudaraan, kerjasama hingga sampai penyelesaian tugas akhir ini.

Semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan yang tulus dan ikhlas dari mereka. Laporan ini telah ditulis dan disusun dengan sebaik-baiknya, namun penulis menyadari bahwa laporan ini masih belum memenuhi kriteria sempurna. Oleh karena itu, segala kritik dan saran akan penulis terima dengan lapang dada guna memperbaiki penulisan dan isi laporan ini. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat sebagaimana mestinya kepada pembaca

Jambi, 14 Maret 2022

Penulis



Dwi Puspita Rani

Npm : 1700825201008

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Dwi Puspita Rani
NIM : 1700825201008
Judul : Analisis Efektivitas Adsorben Campuran *Crumb Rubber Sludge*
: Dengan Tatal Karet Dan Abu Sawit Untuk Penyisihan Air
: Limbah Industri *Crumb Rubber*

Memberikan izin kepada pembimbing dan Universitas Batanghari untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik apabila dalam waktu 1 (satu) tahun tidak mempublikasikan karya peneliti saya. Dalam kasus ini saya setuju untuk menempatkan pembimbing sebagai penulis korespondensi (*Coresponding Author*).

Dengan pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.

Jambi, 14 Maret 2022



Dwi Puspita Rani

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul.....	ii
Halaman Persetujuan.....	Error! Bookmark not defined.
Halaman Pengesahan	iii
Halaman Persyaratan Keaslian.....	v
Abstrak	vi
Prakata.....	viii
Halaman Persyaratan Persetujuan Publikasi	x
Daftar Isi.....	xi
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Tabel	xiv
Daftar Lampiran	xv
Daftar Istilah.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 <i>Crumb Rubber</i>	7
2.2 Air Limbah	8
2.2.1 Definisi Air Limbah Industri <i>Crumb Rubber</i>	8
2.2.2 Karakteristik Air Limbah Industri <i>Crumb Rubber</i>	9
2.3 Baku Mutu Air Limbah Industri <i>Crumb Rubber</i>	10
2.4 Limbah Padat Industri <i>Crumb Rubber</i>	11
2.4.1 <i>Crumb Rubber Sludge (CRS)</i>	11
2.4.2 Tatal Karet	12
2.5 Abu Sawit Industri Kelapa Sawit	14
2.5.1 Jenis Abu Sawit Industri Kelapa Sawit.....	15
2.5.2 Abu Boiler Kelapa Sawit Sebagai Adsorben	18

2.6 Adsorpsi	19
2.6.1 Jenis Adsorpsi	20
2.6.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi	21
2.6.3 <i>Adsorption Isotherm</i>	23
2.6.4 Metode Adsorpsi	25
2.7 Penelitian Terdahulu	26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1 Jenis Penelitian	28
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	28
3.3 Sumber Data	28
3.4 Variabel Penelitian	29
3.5 Persiapan Eksperimen	31
3.6 Tahapan Penelitian	32
3.7 Eksperimen.....	34
3.7.1 <i>Sampling</i>	34
3.7.2 Pembuatan Adsorben	34
3.7.3 Prosedur Eksperimen.....	35
3.8 Teknik Analisis Data dan Pembahasan.....	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Karakteristik <i>Crumb Rubber Sludge</i> , Tatal Karet dan Abu Sawit.....	39
4.2 Hasil Uji Awal Air Limbah Industri Karet	41
4.3 Hasil Penelitian.....	43
4.3.1 Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Penyisihan Air Limbah Industri Karet	43
4.3.2 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Penyisihan Air Limbah Industri Karet	55
4.4 Analisis Mekanisme Adsorpsi Menggunakan Metode Langmuir dan Freundlich	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Tatal Karet.....	13
Gambar 2.2. <i>Bottom Ash</i>	16
Gambar 2.3. <i>Fly Ash</i>	17
Gambar 2.4. Ilustrasi Perbedaan Adsorpsi dan Adsoben.....	19
Gambar 3.1. Diagram Alir Peneitian.....	33
Gambar 4.1. <i>Crumb Rubber Sludge</i>	39
Gambar 4.2. Tatal Karet	39
Gambar 4.3. Abu Sawit <i>Bottom Ash</i>	40
Gambar 4.4. Varian Adsorben	41
Gambar 4.5. Air Limbah Karet Sebelum Pengolahan	41
Gambar 4.6. Hasil Uji Parameter BOD Terhadap Variasi Massa Adsorben	44
Gambar 4.7. Efisiensi Parameter BOD Terhadap Variasi Massa Adsorben	45
Gambar 4.8. Kapasitas Adsorpsi Parameter BOD Terhadap Variasi Massa	46
Gambar 4.9. Hasil Uji Parameter COD Terhadap Variasi Massa Adsorben	48
Gambar 4.10. Efisiensi Parameter COD Terhadap Variasi Massa Adsorben	49
Gambar 4.11. Kapasitas Adsorpsi Parameter COD Terhadap Variasi Massa	50
Gambar 4.12. Hasil Uji Parameter TSS Terhadap Variasi Massa Adsorben	52
Gambar 4.13. Efisiensi Parameter TSS Terhadap Variasi Massa Adsorben	53
Gambar 4.14. Kapasitas Adsorpsi Parameter TSS Terhadap Variasi Massa	54
Gambar 4.15. Hasil Uji Parameter BOD Terhadap Variasi Waktu Kontak	56
Gambar 4.16. Efisiensi Parameter BOD Terhadap Variasi Waktu Kontak	58
Gambar 4.17. Kapasitas Adsorpsi Parameter BOD Terhadap Variasi Waktu.....	59
Gambar 4.18. Hasil Uji Parameter COD Terhadap Variasi Waktu Kontak	60
Gambar 4.19. Efisiensi Parameter COD Terhadap Waktu Kontak	62
Gambar 4.20. Kapasitas Adsorpsi Parameter COD Terhadap Variasi Waktu.....	63
Gambar 4.21. Hasil Uji Parameter TSS Terhadap Variasi Waktu Kontak	64
Gambar 4.22. Efisiensi Parameter TSS Terhadap Variasi Waktu Kontak	66
Gambar 4.23. Kapasitas Adsorpsi Parameter TSS Terhadap Variasi Waktu	67
Gambar 4.24. Model Isotherm Langmuir pada Adsorben CT dan CA.....	71
Gambar 4.25. Model Isotherm Freundlich pada Adsorben CT dan CA	71
Gambar 4.26. Model Isotherm Langmuir pada Adsorben CT dan CA	74
Gambar 4.27. Model Isotherm Freundlich pada Adsorben CT dan CA	74
Gambar 4.28. Model Isotherm Langmuir pada Adsorben CT dan CA	77
Gambar 4.29. Model Isotherm Freundlich pada Adsorben CT dan CA	77

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Komposisi Yang Terdapat Dalam Karet.....	8
Tabel 2.2. Karakteristik Air Limbah Industri Karet	10
Tabel 2.3. Baku Mutu Air Limbah Bagi Industri Karet	11
Tabel 2.4. Komposisi Kimia Abu Sawit Boiler	15
Tabel 2.5. Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Adsorpsi Kimia	21
Tabel 2.6. Daftar Penelitian Terdahulu.....	26
Tabel 3.1. Variabel Bebas Eksperimen	30
Tabel 3.2. Variasi Eksperimen	30
Tabel 3.3. Metode Pengujian Parameter Pencemar	37
Tabel 4.1. Hasil Uji Karakteristik Air Limbah Karet	42
Tabel 4.2. Hasil Uji Parameter BOD Terhadap Variasi Massa Adsorben	43
Tabel 4.3. Hasil Uji Parameter COD Terhadap Variasi Massa Adsorben	47
Tabel 4.4. Hasil Uji Parameter TSS Terhadap Variasi Massa Adsorben	51
Tabel 4.5. Hasil Uji Parameter BOD Terhadap Variasi Waktu Kontak	55
Tabel 4.6. Hasil Uji Parameter COD Terhadap Variasi Waktu Kontak	60
Tabel 4.7. Hasil Uji Parameter TSS Terhadap Variasi Waktu Kontak	64
Tabel 4.8. Perhitungan Isotherm Langmuir Adsorben CT dan Adsorben CA	70
Tabel 4.9. Perhitungan Isotherm Freundlich Adsorben CT dan Adsorben CA	70
Tabel 4.10. Isotherm Freundlich dan Langmuir Adsorben CT dan CA	72
Tabel 4.11. Perhitungan Isotherm Langmuir Adsorben CT dan CA	73
Tabel 4.12. Perhitungan Isotherm Freundlich Adsorben CT dan CA	73
Tabel 4.13. Isotherm Freundlich dan Langmuir adsorben CT dan CA	75
Tabel 4.14. Perhitungan Isotherm Langmuir Adsorben CT dan n CA	76
Tabel 4.15. Perhitungan Isotherm Freundlich Adsorben CT dan CA	76
Tabel 4.16. Isotherm Freundlich dan Langmuir adsorben CT dan CA	78

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1: Hasil Uji Sampel Eksperimen
- Lampiran 2: Lembar Asistensi Tugas Akhir.
- Lampiran 3: Time Schedul
- Lampiran 4: Surat Keputusan DekanFakultas Teknik Universitas Batanghari
Nomor 061 Tahun 2021 Tentang Penunjukan Dosen Pembimbing
Tugas Akhir Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan
Program Strata Satu (S-1) Fakultas Teknik Universitas Batanghari.
- Lampiran 5: Surat Izin Penggunaan Laboratorium.
- Lampiran 6: Dokumentasi Penelitian

DAFTAR ISTILAH

BA	: <i>Bottom Ash</i>
BML	: Baku Mutu Lingkungan
BOD	: <i>Biochemical Oxygen Demand</i>
CA	: <i>Crumb rubber sludge</i> dan abu sawit
COD	: <i>Chemical Oxygen Demand</i>
CR	: <i>Crumb Rubber</i>
CRS	: <i>Crumb Rubber Sludge</i>
CT	: <i>Crumb rubber sludge</i> dan tatal karet
CTA	: <i>Crumb rubber sludge</i> , tatal karet dan abu sawit
FA	: <i>Fly Ash</i>
POFA	: <i>Palm Oil Fuel Ash</i>
TSS	: <i>Total Suspended Solid</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri karet remah (*crumb rubber*) merupakan salah satu industri strategis yang bergerak pada sektor pertanian. Seiring dengan pesatnya perkembangan industri *crumb rubber*, dalam setiap pengolahan 100 kg bahan baku karet (lateks) akan menghasilkan kurang lebih 85% karet bersih, 10% limbah cair dan 3% - 5% limbah padat. Limbah cair industri karet mengandung senyawa organik yaitu senyawa karbon, nitrogen, air cucian lateks, protein, lipid, dan karoten. Maka, sistem pengolahan air limbah karet pada umumnya dilakukan dengan menggunakan proses lumpur aktif (Resti Haryani, dkk. 2013).

Proses pengolahan lumpur aktif akan menghasilkan limbah padat berupa lumpur (*Crumb Rubber Sludge/CRS*) yang belum sepenuhnya dimanfaatkan secara maksimal sehingga terjadi penumpukan yang mengakibatkan pencemaran lingkungan (Resti Haryani, dkk. 2013).

Selain menghasilkan limbah padat *crumb rubber sludge*, dalam proses pengolahan *crumb rubber* juga menghasilkan limbah padat lainnya berupa tatal karet. Tatal karet merupakan limbah padat yang mengandung sebagian besar pasir, serpihan kayu, daun-daun dan serpihan karet. Limbah padat tatal karet ini tidak diolah kembali, apabila tidak dilakukan penanganan dengan baik, akan berdampak pada penurunan kualitas lingkungan. (Katry, 2012).

Salah satu cara untuk mengatasi dampak yang ditimbulkan oleh limbah padat *crumb rubber* adalah dengan memanfaatkan limbah padat *crumb rubber* sebagai adsorben. Hal ini didasari karena limbah padat *crumb rubber* masih mengandung berbagai jenis mikroorganisme yang dapat berfungsi sebagai pengurai limbah organik. (Salmariza. Sy, 2012).

Pada proses pengolahannya, selain industri *crumb rubber* yang menghasilkan limbah padat, terdapat industri kelapa sawit yang juga menghasilkan limbah padat. Limbah padat kelapa sawit dihasilkan dari proses pembakaran cangkang dan serabut kelapa sawit sebagai bahan bakar boiler. Abu pembakaran dari boiler tersebut disebut *Palm Oil Fuel Ash* (POFA) (Farandia, dkk. 2015).

Limbah padat abu sawit hanya ditumpuk pada lahan yang telah di sediakan dan tidak dilakukan pengolahan. Untuk mengatasi masalah yang ditimbulkan oleh limbah padat abu sawit dapat dilakukan dengan memanfaatkan limbah padat abu sawit sebagai adsorben karena mengingat tingginya kandungan silika pada abu sawit yang mencapai 71,14% (Yelvi dan Mukhlis, 2013).

Adsorben adalah suatu padatan yang memiliki fungsi untuk menyerap suatu komponen tertentu dari suatu larutan. *Crumb rubber sludge*, tatal karet dan abu sawit (CTA) merupakan adsorben yang dapat menyisihkan parameter pada air limbah karena adsorben ini memiliki struktur berpori yang mampu mengadsropsi kandungan pencemar pada air limbah. (Rahmayani, F dan Siswarni, M.Z, 2013).

Air limbah industri karet merupakan salah satu penyebab terjadinya pencemaran lingkungan. Menurut penelitian Sarengat (2015), industri karet

menghasilkan limbah cair dengan konsentrasi BOD₅ 94 – 9433 mg/l, COD 120 – 15069 mg/l dan TSS 30 – 525 mg/l. Sehingga jika limbah cair tersebut tidak diolah secara optimal dan dibuang langsung ke lingkungan akan mengakibatkan pencemaran lingkungan karena kandungan zat pencemar limbah cair karet berada di atas baku mutu menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 Tahun 2014 Lampiran IV mengenai batas maksimum zat pencemar industri karet.

Beberapa penelitian sebelumnya yang telah memanfaatkan *crumb rubber sludge* sebagai adsorben yaitu penelitian milik Salmariza, Sy. dkk. (2016) yang memanfaatkan *crumb rubber sludge* dari industri *crumb rubber* sebagai adsorben untuk mengadsorpsi ion Cr (VI). Sementara itu penelitian milik Telambanua, JP (2017) telah memanfaatkan abu sawit sebagai adsorben untuk mengadsorpsi warna pada limbah cair buatan dengan efisiensi penyisihan warna sebesar 53%.

Pada penelitian terdahulu, belum banyak peneliti yang memanfaatkan limbah padat tatal karet sebagai adsorben untuk menyisihkan parameter air limbah. Atas dasar ini peneliti tertarik menambahkan limbah tatal karet untuk dijadikan adsorben dengan cara mengkombinasikan campuran adsorben *crumb rubber sludge*, tatal karet dan abu sawit (CTA) untuk menyisihkan parameter air limbah industri *crumb rubber*. Pemanfaatan limbah padat *crumb rubber sludge* dan tatal karet diperoleh dari PT. Batanghari Tembesi, sedangkan limbah padat abu sawit didapat dari PT. Muara Jambi Sawit Letari.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut rumusan masalah yang diambil adalah :

1. Bagaimana mekanisme adsorpsi polutan air limbah industri *crumb rubber* dengan menggunakan campuran adsorben *crumb rubber sludge* dengan tatal karet (CT) dan campuran adsorben *crumb rubber sludge* dengan abu sawit (CA).
2. Bagaimana efektivitas variasi massa adsorben CT dan adsorben CA dalam menyisihkan parameter air limbah industri *crumb rubber*.
3. Bagaimana efektivitas variasi waktu kontak adsorben CT dan adsorben CA dalam menyisihkan parameter air limbah industri *crumb rubber*

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian studi tugas akhir ini adalah :

1. Mengetahui mekanisme absorpsi polutan air limbah industri *crumb rubber* dengan menggunakan campuran adsorben *crumb rubber sludge* dengan tatal karet (CT) dan campuran adsorben *crumb rubber sludge* dengan abu sawit (CA).
2. Mengetahui efektivitas variasi massa adsorben CT dan adsorben CA dalam menyisihkan parameter air limbah industri *crumb rubber*.
3. Mengetahui efektivitas variasi waktu kontak adsorben CT dan adsorben CA dalam menyisihkan parameter air limbah industri *crumb rubber*.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Penelitian adsorben CT dan adsorben CA dilakukan tanpa penambahan bahan aktivator.
2. Penelitian ini akan dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Batanghari Jambi. Kegiatan penelitian ini meliputi pengaplikasian campuran :
 - a. *Crumb rubber sludge* dengan tatal karet (CT)
 - b. *Crumb rubber sludge* dengan abu sawit (CA)
3. Penelitian ini akan menganalisa konsentrasi pencemar berupa kandungan BOD, COD dan TSS pada air limbah industri *crumb rubber* yang mengacu pada Permen LH No 5 Tahun 2014 Lampiran IV.

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis membagi materi yang akan disampaikan dalam beberapa bab yaitu :

BAB I Pendahuluan

Berisikan informasi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan laporan tugas akhir.

BAB II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini, membahas hal-hal berupa teori yang berhubungan dengan judul tugas akhir.

BAB III Metodologi Penelitian

Bagian ini menerangkan tentang jenis penelitian, tempat dan waktu penelitian, sumber data, diagram alir penelitian, teknik pengumpulan data, metode analisis data, dan jadwal penelitian.

BAB IV Hasil dan Pembahasan

Menjelaskan tentang data hasil pengamatan secara detail dan lengkap dimana pembahasan ini berupa proses modifikasi adsorben campuran CTA dan mengetahui seberapa besar kemampuan CTA sebagai adsorben dalam menyingkirkan parameter air limbah industri *crumb rubber* yang digunakan untuk memecahkan masalah dan menarik kesimpulan.

BAB V Kesimpulan dan Saran

Dari pembahasan dan analisa data yang telah didapat, penulis dapat memberikan kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan judul tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Crumb Rubber*

Crumb rubber merupakan karet setengah jadi yang di buat dari karet alam. Karet alam berasal dari tumbuhan *hevea brasiliensis*, merupakan polimer alam dengan monomer isoprene. Polimer karet alam terdiri dari 97% polimer cis-1,4 *polyisoprene* dengan rumus empiris (C₅H₈) (Nasruddin, 2017).

Karet alam terbentuk dari getah karet atau lateks kebun yang digumpalkan dan mengalami proses pengeringan. Karet alam tersusun dari hidrokarbon karet dan senyawa non karet. Salah satu senyawa non karet adalah protein. Senyawa non karet lain adalah karbohidrat, lipid, karoten, glikolipid, mineral, enzim, fosfolipid dan berbagai bahan lain. Karet merupakan bahan alam dan pada umumnya sebagai polisoprena (polimer dari satuan sis-2, 2-isoprena) berupa getah (*lateks*) yang berasal dari pohon karet dengan komposisi kurang lebih 28% karet, 60% air dan sisanya garam-garam anorganik, zat telur, gula, dan damar. Dimana semuanya adalah polimer dari isoprene (C₅H₈) (Nasruddin, 2017).

Proses pengolahan *crumb rubber* merupakan suatu proses pengolahan karet alam menjadi bandela melalui tahapan-tahapan proses yang telah ditentukan. Tahapan proses pengolahan *crumb rubber* dibagi menjadi 3 proses yaitu proses penimbangan, proses produksi basah, dan proses produksi kering. Karet padat maupun karet pekat diperoleh dari pohon karet sebagai getah susu (*lateks*) dimana komposisi kimia lateks ini dipengaruhi jenis klon tanaman, umur tanaman, sistem

deres, musim dan keadaan lingkungan kebun. Komposisi karet dapat dilihat pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Komposisi Yang Terdapat Dalam Karet

Komponen	Komponen dalam Komponen Lateks Segar (%)	Lateks Kering (%)
Karet Hidrokarbon	36	92 - 94
Protein	1,4	2,5 - 3,5
Karbohidrat	1,6	-
Lipida	1,6	2,5 - 3,2
Persenyawaan Organik Lain	0,4	-
Persenyawaan Anorganik	0,5	0,1 - 0,5
Air	58,5	0,3 - 1

Sumber : Surya I,2006

Sifat-sifat mekanik yang baik dari karet alam menyebabkannya dapat digunakan untuk berbagai keperluan umum seperti sol sepatu dan telapak ban kendaraan. Pada suhu kamar, karet tidak berbentuk kristal padat dan juga tidak berbentuk cairan. (Tribawati RY, 2009).

2.2 Air Limbah

2.2.1 Definisi Air Limbah Industri *Crumb Rubber*

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No.5 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Air Limbah, air limbah adalah sisa dari suatu usaha dan/atau kegiatan yang berwujud cair. Secara sederhana limbah cair industri dapat didefinisikan sebagai sisa atau bahan buangan yang berasal dari hasil samping suatu perindustrian. Limbah industri dapat menjadi limbah yang sangat berbahaya bagi lingkungan hidup dan manusia (Uyun, 2012).

Industri karet dalam pengolahannya menggunakan bahan-bahan kimia sebagai bahan koagulan lateks dan memerlukan air dalam jumlah yang cukup

besar untuk pencucian tangki-tangki tempat lateks serta untuk proses penggilingan. Limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan tersebut adalah sebesar 400 m³ per hari, Limbah cair pabrik karet mengandung komponen karet berupa protein, lipid, karotenoid, garam anorganik dan bahan kimia yang ditambahkan selama proses pengolahan.(Sarengat, dkk. 2015).

Menurut penelitian Sarengat dkk (2015), industri karet menghasilkan limbah cair dengan konsentrasi BOD₅ 94 – 9.433 mg/l, COD 120 – 15.069 mg/l dan TSS 30-525 mg/l. Limbah cair tersebut jika dibuang ke lingkungan akan mencemari lingkungan karena kandungan zat pencemar limbah cair karet sebelum diolah masih berada diatas baku mutu.

2.2.2 Karakteristik Air Limbah Industri *Crumb Rubber*

Air limbah industri karet adalah air limbah yang berasal dari rangkaian proses produksi suatu industri, sehingga air limbah tersebut mengandung komponen yang berasal dari proses produksi. Cara pengolahan air limbah industri yang sesuai agar tidak mencemari lingkungannya dipilih berdasarkan karakteristiknya. Karakteristik air limbah industri terdiri dari karakteristik fisika, kimia dan biologi.

Air limbah karet mengandung polutan organik yang tinggi serta padatan tersuspensi maupun terlarut yang akan mengalami perubahan fisika, kimia dan biologi. Dapat dilihat pada tabel 2.2 mengenai karakteristik air limbah industri karet.

Tabel 2.2 Karakteristik Air Limbah Industri Karet

Parameter	Satuan	Karakteristik Air Limbah Karet Remah
BOD	mg/l	725
COD	mg/l	1488
TSS	mg/l	1320
Amonia Total	mg/l	154
Nitrogen Total	mg/l	122
pH		6,9

Sumber : Dewi D.S, dkk 2020

Salah satu jenis air limbah industri karet yang dapat menyebabkan terjadinya pencemaran lingkungan adalah air limbah dengan kandungan organik yang tinggi. Karakteristik air limbah organik yang tinggi ditunjukkan dengan tingginya parameter BOD dan COD dalam air limbah. Sehingga dampak pencemaran air limbah industri karet terhadap mutu badan air penerima akan bervariasi tergantung kepada jenis limbah, volume dan frekuensi air limbah yang dibuang oleh masing-masing industri. (Dewi D.S, dkk 2020).

2.3 Baku Mutu Air Limbah Industri *Crumb Rubber*

Menurut PP RI No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup mendefinisikan baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar dan/atau jumlah unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan dibuang atau dilepas ke dalam air dan tanah dari suatu usaha atau kegiatan.

Baku mutu air limbah yang diberlakukan pada air limbah industri *crumb rubber* telah ditetapkan melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 Lampiran IV tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/ atau Kegiatan Industri Karet dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.3 Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha dan/ atau Kegiatan Industri Karet

Parameter	Lateks Pekat		Karet Bentuk Kering	
	Kadar Paling Tinggi (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Tinggi (kg/Ton)	Kadar Paling Tinggi (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Tinggi (kg/Ton)
BOD ₅	100	4	60	2,4
COD	250	10	200	8
TSS	100	4	100	4
Amonia Total	15	0,6	5	0,2
Nitrogen Total (N)	25	1,0	10	0,4
pH	6,0 - 9,0		6,0 - 9,0	
Debit limbah paling tinggi	40 m ³ per ton produk karet		40 m ³ per ton produk karet	

Sumber : PerMen LH No. 5 Tahun 2014

2.4 Limbah Padat Industri *Crumb Rubber*

2.4.1 *Crumb Rubber Sludge (CRS)*

Lumpur dapat didefinisikan sebagai zat sisa (residu), berupa material semi-solid yang berasal dari proses pengolahan limbah. Salah satu pengolahan air limbah secara biologis yang paling umum digunakan adalah proses lumpur aktif. Namun sistem pengolahan lumpur aktif akan menghasilkan limbah berupa lumpur padatan (CRS) yang harus dipisahkan dari proses pengolahan limbah. (Chasri Nurhayati, dkk, 2013).

CRS memiliki komponen utama yang sama dengan lumpur aktif yaitu berupa mikroorganisme, bakteri, dan protozoa. Dalam lumpur aktif kondisi mikroorganisme masih dalam keadaan hidup, sementara di dalam CRS sudah mati atau kemungkinan ada yang dalam kondisi dormansi karena telah dikeringkan. Pembentukan sel mikroorganisme tersebut tergantung pada komposisi kimia air

limbah dan karakteristik khusus dari organisme dalam komunitas biologis. Sebagian besar *crumb rubber sludge* mengandung 70-90% bahan organik dan 10% bahan anorganik.

Perlakuan dan pembuangan CRS yang tidak tepat akan menyebabkan masalah lingkungan sekunder seperti emisi gas rumah kaca dan kontaminasi pada permukaan tanah. Oleh karena itu diperlukan pengelolaan CRS yang tepat. Metode pembuangan lumpur tradisional seperti aplikasi TPA dan lahan pertanian mendapat tekanan besar karena kurangnya lokasi TPA yang tersedia dan tingginya kemungkinan pencemaran lahan pertanian.

Metode lain untuk menambahkan nilai pada limbah padat adalah dengan membakarnya di *incinerator* yang akan menghasilkan output berenergi tinggi dan mengurangi volume pembuangan akhir. Namun, keterbatasan teknik ini adalah menghasilkan dioksin dan produk samping pembakaran yang beracun. Sedangkan pemanfaatan CRS sebagai adsorben merupakan salah satu solusi yang dapat dilakukan karena komponen utama CRS berupa mikroorganisme, bakteri, jamur, protozoa, dan rotifer yang merupakan komponen biologis diketahui secara efisien dapat menyerap polutan baik itu logam berat maupun limbah organik. (Monsalvo et al., 2011).

2.4.2 Tatal Karet

Limbah tatal karet merupakan limbah padat organik yang berasal dari proses pengolahan karet menjadi *crumb rubber* yang masih mengandung sebagian besar pasir, serpihan kayu karet, daun-daun karet dan karet.

Limbah tatal karet pada umumnya hanya ditumpuk saja, jumlah limbah tatal yang dihasilkan per ton karet kering sebesar 0,05 – 0,20 m³/hari. Limbah padat ini terbilang cukup banyak dan masih terdapat butiran karet atau tatal didalamnya. Sebesar 18,3% limbah tatal karet biasanya dimanfaatkan kembali sebagai kompos untuk media tanaman, mengingat tatal karet mengandung unsur hara berupa (N) nitrogen 1,28%, (F) fosfor 0,18% dan (K) kalium 0,29% yang dibutuhkan dalam proses pertumbuhan tanaman . (Daud D. 2012).

Namun 71,7% yang terjadi pada industri karet saat ini, limbah tatal hanya dibuang dan belum dimanfaatkan dengan optimal bahkan cenderung memberikan efek negatif ke lingkungan karena bau busuk yang menyengat akibat proses pembusukan pada kandungan nitrogen limbah padat. Salah satu cara untuk mengatasi dampak yang ditimbulkan yaitu dapat dilakukan dengan memanfaatkan tatal karet menjadi adsorben. (Daud D. 2012). Dibawah ini dapat dilihat gambar 2.1 dari tatal karet.



Gambar 2.1 Tatal Karet (Sumber : Data Sekunder, 2021)

2.5 Abu Sawit Industri Kelapa Sawit

Abu sawit adalah limbah padat pabrik kelapa sawit hasil dari sisa pembakaran cangkang dan serat di dalam mesin boiler. Pembakaran cangkang serta serabut kelapa sawit menghasilkan limbah berupa abu yang tidak dimanfaatkan dan dikelola dengan baik sehingga dapat menyebabkan kerusakan lingkungan. Abu pembakaran dari boiler pabrik kelapa sawit tersebut disebut *Palm Oil Fuel Ash (POFA)*, Farandia (2015). Hasil pembakaran limbah kelapa sawit menyisakan produk samping seperti abu layang sebesar ± 100 kg/minggu dan abu kerak boiler sekitar 3 sampai dengan 5 ton/minggu. Abu boiler kelapa sawit merupakan limbah dari sisa pembakaran cangkang dan serabut buah kelapa sawit di dalam dapur atau tungku pembakaran boiler dengan suhu $700\text{ }^{\circ}\text{C} - 800\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Elhusna, dkk. 2013).

Menurut Astianto (2012), unsur hara yang terkandung dalam abu sawit adalah Nitrogen (N) 0,74%, Fosfor (P) 0,84%, Kalium (K) 2,07%, dan Magnesium (Mg) 0,62%. Abu sawit adalah bahan amelioran dan dikenal sebagai bahan yang dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah. Abu sawit dapat digunakan untuk menetralkan tanah masam dan meningkatkan kandungan hara tanah. Pemberian abu sawit mampu meningkatkan pH tanah dari 5,24 menjadi 5,73 sehingga akan berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman dan juga dapat menambah ketersediaan unsur P (Fosfor)..

Abu sawit mempunyai potensi kandungan unsur hara yang tinggi terutama kalium (K). Menurut Ditjen Pengolahan Hasil Pertanian (PPHP) tahun 2006, potensi kandungan hara Kalium (K) pada abu boiler yaitu 16,6 – 24,9 %. Hasil

analisis Pusat Penelitian Kelapa Sawit Medan (2014) kadar Kalium Oksida (K_2O) yang dikandung abu boiler ini sebanyak 2,74%. Sehingga dalam suatu unit pabrik kelapa sawit dengan kapasitas olah 60 ton/jam dapat menghasilkan Kalium Oksida (K_2O) dari abu boiler sebanyak 16,029 kg/jam atau 320,58 kg Kalium Oksida (K_2O) /hari. Unsur Kalium (K) abu sawit juga mempunyai pH yang tinggi yaitu 10 – 12 yang berpotensi menaikkan pH.

Pada umumnya abu sawit ini hanya digunakan oleh pabrik kelapa sawit sebagai pengeras jalan di sekitar area pabrik. Pada Tabel 2.4 dijelaskan kandungan kimia abu kerak boiler serabut dan cangkang kelapa sawit.

Tabel 2.4 Komposisi Kimia Abu Sawit Boiler

No	Kandungan	Nilai	Satuan
1	Silika (SiO_2)	89.9105	%
2	Kalsium Karbonat($CaCO_3$)	2.4751	%
3	Magnesium Karbonat ($MgCO_3$)	0.7301	%
4	Ferioksida (Fe_2O_3)	0.1958	%
5	Aluminium Oksida (Al_2O_3)	0.0012	%

Sumber : Falah Hudan, 2012

2.5.1 Jenis Abu Sawit Industri Kelapa Sawit

Pembakaran cangkang dan fiber kelapa menghasilkan abu dalam 2 jenis yaitu abu dasar (*bottom ash*) dan abu terbang (*fly ash*) yang akan dijelaskan di bawah ini :

a. Kerak Boiler (*Bottom Ash*)

Bottom ash (BA) merupakan abu hasil pembakaran boiler yang tidak tertampung pada *dust collector*. Abu dasar tertinggal pada oven pembakar sebagai butiran abu padat atau leburan kerak yang memadat. Ukuran BA relatif besar

sehingga memiliki bobot yang terlalu berat untuk dibawa oleh gas buang dan umumnya terkumpul pada dasar ataupun disekitar oven pembakaran.

BA adalah abu yang telah mengalami proses penggilingan dari kerak pada proses pembakaran cangkang dan serat buah pada suhu 700°C sampai 800°C pada dapur tungku boiler. Abu kerak boiler cangkang kelapa sawit merupakan biomasa dengan kandungan silika (SiO_2) yang potensial untuk dimanfaatkan. (Reza, dkk. 2014).

Adapun kandungan unsur-unsur kimia yang terdapat pada limbah *fly ash* kelapa sawit yaitu Silika (SiO_2) sebesar 40,60 %, Ferioksida (Fe_2O_3) sebesar 63,4 %, Kalsium Oksida (CaO) sebesar 19,60 %, Magnesium Oksida (MgO) sebesar 1,30 %, Kalium Oksida (K_2O) sebesar 13,80 %, Sulfur Trioksida (SO_3) sebesar 0,44 %, Aluminium Oksida (Al_2O_3) sebesar 3,71 % dan *Loss On Ignation* (LOI) sebesar 5,01 % (Yahya, Z. 2013).



Gambar 2.2 *Bottom Ash* (Sumber : Data Sekunder, 2017)

b. Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang (*fly ash*) yang berasal dari cangkang dan fiber kelapa sawit merupakan limbah padat utama hasil pembakaran boiler. Limbah *fly ash* kelapa sawit ini memiliki sifat-sifat fisik yang ditentukan oleh komposisi dan sifat-sifat mineral pengotor dalam cangkang kelapa sawit serta proses pembakarannya. Dalam proses pembakaran cangkang dan fiber kelapa sawit, abu yang dihasilkan memiliki titik leleh yang lebih tinggi dari pada temperatur pembakarannya. Kondisi ini menghasilkan abu dengan butiran-butiran yang sangat halus berwarna gelap dan bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan abu *bottom ash*.

Adapun kandungan unsur-unsur kimia yang terdapat pada limbah *fly ash* kelapa sawit yaitu Silika (SiO_2) sebesar 63,4 %, Ferioksida (Fe_2O_3) sebesar 63,4 %, Kalsium Oksida (CaO) sebesar 4,3 %, Magnesium Oksida (MgO) sebesar 3,7 %, Kalium Oksida (K_2O) sebesar 6,3 %, Sulfur Trioksida (SO_3) sebesar 0,9 %, Aluminium Oksida (Al_2O_3) sebesar 5,5 % dan *Loss On Ignation* (LOI) sebesar 6 %. (Yahya, Z. 2013).



Gambar 2.3 *Fly Ash* (Sumber : Data Sekunder, 2017)

2.5.2 Abu Boiler Kelapa Sawit Sebagai Adsorben

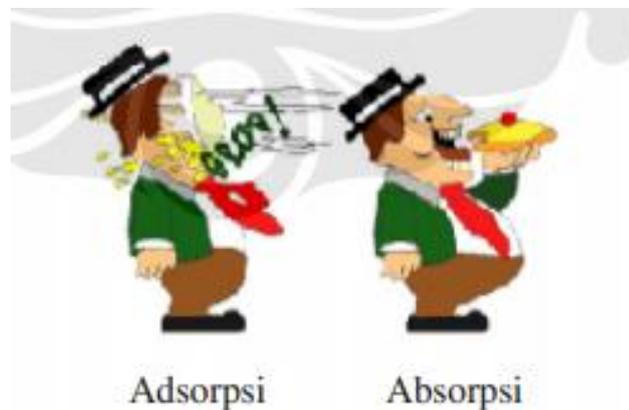
Di antara beberapa limbah pertanian yang diteliti sebagai penyerap untuk penyisihan polutan, biomassa kelapa sawit sangat penting karena terdapat berbagai bagian seperti batang, daun, tandan kosong, dan cangkang yang telah diteliti secara berlanjut sebagai penyerap untuk menghilangkan beragam jenis dari polutan. Limbah pertanian berbasis kelapa sawit mendapat perhatian luas karena efektif sebagai adsorben dan murah serta baik untuk menghilangkan berbagai polutan.

Saat ini, biomassa dibiarkan tinggal di perkebunan untuk memberikan nutrisi organik untuk pohon kelapa sawit atau dibakar secara ilegal atau digunakan sebagai bahan bakar padat di dalam boiler untuk menghasilkan uap atau listrik di pabrik. Selain itu, biomassa kelapa sawit atau abu yang berasal dari pembakaran dapat dikonversi menjadi adsorben untuk mengadsorpsi gas beracun, logam berat dan polutan lainnya (Telaumbanua, Juang. 2017).

Beberapa peneliti telah mempelajari penggunaan abu kelapa sawit sebagai penyerap untuk menyisihkan gas polutan seperti Sulfur Dioksida (SO_2) dan Nitrogen Oksida (N_2O). Hasil penelitian telah menunjukkan bahwa berbagai bagian biomassa kelapa sawit yang mengandung silika (SiO_2) tinggi dapat digunakan sebagai adsorben yang baik untuk menghilangkan berbagai polutan air. Biomassa kelapa sawit yang melimpah baik digunakan sebagai adsorben yang efisien dan efektif untuk berbagai jenis polutan, seperti pewarna, logam berat, senyawa fenolik, dan berbagai polutan gas (Ahmad., dkk. 2011).

2.6 Adsorpsi

Adsorpsi adalah sebuah proses yang terjadi ketika molekul dari zat cair atau gas terakumulasi pada suatu permukaan padatan/cairan, sehingga membentuk suatu lapisan tipis yang terbentuk dari molekul-molekul atau atom. Adsorpsi adalah fenomena fisik yang terjadi saat molekul-molekul gas atau cair dikontakkan dengan suatu permukaan padatan dan sebagian dari molekul-molekul tadi mengembun pada permukaan padatan tersebut. Zat yang terakumulasi pada permukaan disebut adsorbat, sedangkan material permukaan padatan/cairan disebut adsorben. Proses adsorpsi berbeda dengan proses absorpsi, dimana proses adsorpsi merupakan reaksi kimia antara molekul-molekul adsorbat dengan permukaan adsorben. Sedangkan absorpsi adalah suatu proses masuknya zat pada suatu padatan.



Gambar 2.4 Ilustrasi perbedaan Adsorpsi dan Absorpsi
(Sumber : *Chemviron Carbon*, 2008)

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, proses adsorpsi umumnya digunakan untuk menyerap atau menghilangkan senyawa

polutan dengan konsentrasi yang sangat kecil (polutan mikro), menghilangkan warna, menghilangkan bau, dan lain-lain (Said, N. 2017).

2.6.1 Jenis Adsorpsi

Berdasarkan interaksi molecular antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi, dibagi menjadi 2 jenis, yaitu :

a. Adsorpsi Fisik (*Physisorption*)

Adsorpsi fisik merupakan adsorpsi yang terjadi karena adanya gaya Van Der Waals, yaitu gaya yang terjadi bila gaya intermolekular lebih besar dari gaya tarik antar molekul atau gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Adsorpsi ini terjadi apabila suatu adsorbat dialirkan pada permukaan adsorben yang bersih. Pada adsorpsi fisik, adsorbat tidak terikat kuat pada permukaan adsorben sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke bagian permukaan lainnya, dan pada permukaan yang ditinggalkan oleh adsorbat yang satu dapat digantikan oleh adsorbat lainnya (multilayer).

b. Adsorpsi Kimia (*Chemisorption*)

Adsorpsi kimia terjadi karena adanya pertukaran atau pemakaian bersama elektron antara molekul adsorbat dengan permukaan adsorben sehingga terjadi reaksi kimia. Ikatan yang terbentuk antara adsorbat dengan adsorben adalah ikatan kimia dan ikatan itu lebih kuat dari pada adsorpsi fisika. Ikatan yang terbentuk merupakan ikatan yang kuat sehingga lapisan yang terbentuk adalah lapisan tunggal (monolayer). Adsorpsi

fisika dan adsorpsi kimia dibedakan berdasarkan kriteria antara lain, dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Perbedaan Adsorpsi Fisika dan Adsorpsi Kimia

Karakteristik	Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
Gaya yang bekerja	Gaya tarik secara fisika sehingga adsorpsi fisika sering disebut adsorpsi Van der Waals	Gaya tarik atau ikatan kimia sehingga adsorpsi kimia sering disebut adsorpsi teraktifasi
Tebal lapisan	Banyak lapisan (<i>multilayer</i>)	Satu Lapisan (<i>monolayer</i>)
Temperatur	Terjadi pada temperatur dibawah titik didih adsorbat	Dapat terjadi pada temperatur tinggi
Kemampuan adsorpsi	Lebih bergantung pada adsorbat dari pada adsorben	Bergantung pada adsorben dan adsorbat
Energi aktivasi	Entalpi adsorpsi kecil (biasanya kurang dari 20 KJ/mol).	Entalpi adsorpsi besar (biasanya antara 40-400 KJ/mol).

Sumber: Bansal,2005

2.6.2 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi

Banyak faktor yang mempengaruhi laju proses adsorpsi dan banyaknya adsorbat yang dapat diserap, di antaranya (Arfan, 2006) :

a. Ukuran molekul adsorbat

Molekul yang sesuai merupakan hal yang penting agar proses adsorpsi dapat terjadi, karena molekul-molekul yang dapat diadsorpsi adalah molekul-molekul yang diameternya lebih kecil atau sama dengan diameter pori adsorben.

b. Kemurnian adsorben

Sebagai zat yang digunakan untuk mengadsorpsi, maka adsorben yang lebih murni memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik.

c. Luas permukaan dan volume pori adsorben

Jumlah molekul adsorbat meningkat dengan bertambahnya luas permukaan dan volume pori adsorben. Dalam proses adsorpsi seringkali adsorben diberikan perlakuan awal untuk meningkatkan luas permukaannya karena luas permukaan adsorben merupakan salah satu faktor utama yang mempengaruhi proses adsorpsi.

d. Keasaman (pH)

Nilai pH berpengaruh cukup besar terhadap tingkat proses adsorpsi, menyebabkan ion hidrogen dapat menyerap dengan kuat, selain itu pH juga mempengaruhi ionisasi. Senyawa organik asam lebih mudah diadsorpsi pada suasana pH rendah, sedangkan senyawa organik bisa mempermudah adsorpsi pada suasana pH tinggi. Nilai optimum pH dapat ditentukan dengan melakukan pengujian di laboratorium.

e. Temperatur

Pada saat molekul-molekul gas atau adsorbat melekat pada permukaan adsorben, akan terjadi pembebasan sejumlah energi. Selanjutnya peristiwa adsorpsi ini dinamakan peristiwa eksotermis. Pada adsorpsi fisika, berkurangnya temperatur akan menambah jumlah adsorbat yang teradsorpsi dan demikian pula untuk peristiwa sebaliknya.

f. Waktu Kontak

Waktu kontak mempengaruhi banyaknya adsorbat yang terserap, disebabkan perbedaan kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbat berbeda-beda. Kondisi ekuilibrium akan dicapai pada waktu yang tidak

lebih dari 150 menit, setelah waktu itu jumlah adsorbat yang terserap tidak signifikan berubah terhadap waktu.

2.6.3 Adsorption Isotherm

Adsorption isotherm merupakan hubungan yang menggambarkan jumlah adsorbat yang teradsorpsi pada adsorben terhadap konsentrasi larutan. Tipe isotherm adsorpsi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme adsorpsi fase cair maupun padat yang pada umumnya menganut tipe *Isotherm* Freundlich dan Langmuir. Adsorben yang baik memiliki kapasitas adsorpsi dan presentase penyerapan yang tinggi (Aprliani,2010).

1. Isoterm Adsorpsi Freundlich

Isoterm freundlich menggambarkan adsorpsi jenis fisika dimana adsorpsi terjadi pada beberapa lapis dan ikatannya tidak kuat. Isoterm freundlich juga mengasumsikan bahwa tempat adsorpsi bersifat heteroge, yaitu adanya perbedaan energy pengikatan pada tiap site. Persamaan untuk isoterm freundlich (Salmariza Sy. dkk., 2016) :

$$q_e = K_f \cdot C_e^{1/n} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.1})$$

$$\log(q_e) = \log K_f + 1/n \cdot \log C_e \dots\dots\dots(\text{Persamaan 2.2})$$

Dimana :

q_e = Jumlah zat teradsorpsi tiap unit massa adsorben (mg/g)

C_e = Konsentrasi kesetimbangan zat teradsorpsi

K_f = Konstanta freundlich yang berkaitan dengan kapasitas

$1/n$ = Konstanta freundlich yang berkaitan dengan afinitas adsorpsi

Dengan mengukur q_e sebagai fungsi C_e maka nilai n dan K_f akan ditentukan dari slop dan intersepnya.

2. Isoterm Adsorpsi Langmuir

Isoterm langmuir mendefinisikan bahwa kapasitas adsorben maksimum terjadi akibat adanya lapisan tunggal (*monolayer*) adsorbat pada permukaan adsorben. Persamaan isoterm langmuir adalah sebagai berikut (Salmariza Sy. dkk., 2016) :

$$C_e/q_e = \frac{1}{Q_o \cdot b} + \frac{C_e}{Q_o} \quad \text{-----} \quad (2.3)$$

Dimana :

q_e = Jumlah zat yang teradsorpsi per gram massa adsorben (mg/g)

Q_o = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

b = Konstanta langmuir (afinitas serapan)

C_e = Konsentrasi pada kesetimbangan

Sedangkan perhitungan kapasitas secara umum dapat dilihat pada persamaan 4 berikut :

$$q = \frac{(C_o - C_e)}{m} v \quad \text{-----} \quad (2.4)$$

Dimana :

q = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

v = Volume larutan (L)

m = Massa adsorben (gram)

C_o = Konsentrasi awal pencemar dalam larutan (mg/L)

C_e = Konsentrasi akhir pencemar dalam larutan (mg/L)

Sedangkan efisiensi adsorpsi dapat dihitung berdasarkan persamaan 5 dibawah ini (Telambanua, J.P, 2017) :

$$EP (\%) = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad \text{-----} \quad (2.5)$$

Dimana :

EP = Efisiensi Adsorpsi (%).

C_0 = Konsentrasi Influen Adsorbat (mg/l).

C_e = Konsentrasi Efluen Adsorbat (mg/l).

2.6.4 Metode Adsorpsi

Metode adsorpsi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu statis (*batch*) dan dinamis (kolom).

1. Cara statis (*batch*) yaitu memasukan larutan dengan komponen yang diinginkan ke dalam wadah berisi adsorben, selanjutnya diaduk dalam waktu tertentu. Kemudian dipisahkan dengan cara penyaringan atau dekantasi. Komponen yang telah terikat pada adsorben dilepaskan kembali dengan melarutkan adsorben dalam pelarut tertentu dan volumenya lebih kecil dari volume larutan mula-mula.
2. Cara dinamis (kolom) yaitu memasukan larutan dengan komponen yang diinginkan ke dalam wadah berisi adsorben, selanjutnya komponen yang telah terserap dilepaskan kembali dengan mengalirkan pelarut (*efluen*) sesuai yang volumenya lebih kecil (Apriliani, 2010).

2.7 Penelitian Terdahulu

Daftar penelitian terdahulu yang digunakan sebagai rujukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 2.6.

Tabel 2.6 Daftar Penelitian Terdahulu

Penulis	Adsorben Yang digunakan	Polutan yang direduksi	Hasil
Salmariza. Sy, Mardiaty, Mawardi, Sofyan, Ardinal dan Yudo Purnomo (2016)	Limbah padat lumpur aktif (<i>Crumb Rubber Sludge</i>)	Ion Cr (VI)	Kondisi serapan maksimum adsorben lumpur diaktivasi dengan KOH terhadap ion Cr (VI) terjadi pada pH 1 dan adsorben lumpur segar terjadi pada pH 2 dengan waktu kontak optimum 120 menit. Data hasil penelitian sesuai dengan isotherm langmuir dengan kapasitas serapan maksimumnya adalah 0.846 dan 2.232 mg/g untuk adsorben lumpur segar dan 0.1529 dan 2.075 mg/g untuk lumpur diaktivasi KOH
Salmariza. Sy, Mawardi, Resti Hariyani, dan Monik Kasman (2014)	Limbah padat lumpur aktif (<i>Crumb Rubber Sludge</i>)	Ion Cr (VI)	Setelah diaktivasi dengan H ₃ PO ₄ , karbon aktif mempunyai daya serap yang lebih tinggi dibandingkan tanpa aktivasi. Untuk karbon aktif aktivasi didapat kondisi optimum pada pH 3, waktu kontak 60 menit, pada konsentrasi 50 mg/L dengan kapasitas serapan maksimum 1,99 mg/g dan persentase penyerapan 89,47%. Sedangkan kondisi optimum karbon aktif tanpa aktivasi didapat pada pH 2, waktu kontak 120 menit dan konsentrasi 50 mg/l dengan kapasitas serapan maksimum 1,16 mg/g dengan persentase sebesar 42,23%.

Penulis	Adsorben Yang digunakan	Polutan yang direduksi	Hasil
Juang Jaya Putra Telambanua (2017)	<i>Fly ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> Boiler Pabrik Kelapas Sawit	Warna	Daya serap adsorben FA dan BA yang teraktivasi HCL dimana adsorben FA lebih tinggi dilai daya serapnya dibandingkan adsorben BA yaitu : 50,76 mg/gr dan 25,38 mg/gr. Efisiensi penyisihan nilai warna tertinggi didapat dengan adsorben FA sebesar 96,96% dan BA sebesar 53,03%.
Siska Anggraini (2017)	Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit	BOD dan COD Limbah Industri Sawit	Kadar BOD sebelum perlakuan penambahan ATKKS yaitu 123,92 mg/L dan setelah perlakuan turun menjadi 58,15 mg/L (53,07%) dengan penambahan ATKKS seberat 5gr. Kadar COD sebelum perlakuan penambahan ATKKS yaitu 344,20 mg/L dan setelah perlakuan menjadi turun 181 mg/L (42,21%) dengan penambahan ATKKS seberat 5gr.
Candra Irawan, Basri Dahlan, Nawang Retno (2012)	Kulit Singkong	COD BOD Limbah Pabrik Tahu	Persentase penurunan maksimum COD pada limbah tahu 26,136% dengan penyisihan sebesar 141.312 mg/L terjadi pada perendaman dengan H ₃ PO ₄ selama 12 jam, pH 6 dan massa 1,2 gram. Persentasae penurunan maksimum BOD pada limbah tahu 51,639% dengan penyisihan sebesar 124,992 mg/L terjadi pada waktu perendaman 12 jam pH 5 dan massa 1,2 gram.
Suziyana, Syarfi Daud, dan Edward HS (2017)	Batang Pisang	Logam Fe	Efisiensi penyisihan tertinggi dalam menurunkan Fe pada air gambut yaitu 80,31% dengan massa adsorben 2,5 gr di waktu kontak 30 menit. Kapasitas adsorpsi tertinggi yaitu 0,027% mg Fe/Gr pada massa adsorben 1gr dengan waktu kontak 30 menit. Sedangkan kapasitas terendah pada massa adsorben 2,5 gr di waktu kontak 90 menit dengan nilai 0,010 mg Fe/gr.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimen, dengan membuat adsorben yang terdiri dari dua jenis, yaitu adsorben CT dan adsorben CA. Adsorben CT merupakan adsorben campuran dari *crumb rubber sludge* dengan tatal karet, sementara adsorben CA merupakan adsorben campuran dari *crumb rubber sludge* dengan abu sawit. Ke dua jenis adsorben tersebut digunakan untuk menganalisis konsentrasi pencemar BOD, COD dan TSS pada air limbah industri *crumb rubber* sebelum dan sesudah dilakukan perlakuan.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Batanghari Jambi. Adapun kualitas air olahan dari proses adsorpsi tersebut dilakukan di Jambi Lestari Internasional (JLI) untuk pengujian parameter BOD, COD dan TSS pada air limbah industri *crumb rubber*. Penelitian dilaksanakan selama 5 bulan yaitu pada bulan Juli s.d November 2021.

3.3 Sumber Data

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari data primer dan data sekunder. Data primer dalam penelitian ini didapat melalui pengamatan secara langsung terhadap eksperimen adsorben CT dan adsorben CA untuk penyisihan parameter pencemar air limbah industri *crumb rubber*. Data sekunder dalam penelitian ini adalah data yang diperoleh dari referensi perpustakaan, instansi dan literatur dalam bentuk *hard copy* dan *soft copy* yang berkaitan dengan

adsorben CTA (*crumb rubber sludge*, tatal karet dan abu sawit) sebagai penunjang guna memperkuat suatu penelitian yang dilakukan.

3.4 Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan dua variabel, yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas adalah variabel yang dipandang sebagai penyebab munculnya variabel terikat yang diduga sebagai akibatnya. Sedangkan variabel terikat adalah variabel (akibat) yang dipradugakan, yang bervariasi mengikuti perubahan dari variabel-variabel bebas. Terdapat 2 variabel dalam penelitian ini yang dijelaskan dibawah ini :

1. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah :

- b. Variasi massa adsorben (gr);
- c. Variasi waktu kontak (menit).

2. Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini antara lain :

- a. Konsentrasi parameter yang diuji yaitu BOD; COD dan TSS;
- b. Efektivitas penyisihan parameter pencemar BOD; COD dan TSS;
- c. Kapasitas maksimum absorpsi.

Varian variasi adsorben eksperimen penelitian dijelaskan pada tabel 3.1 di bawah ini.

Tabel 3.1 Variabel Bebas Eksperimen

Variabel Bebas	Variasi Eksperimen		
	1	2	3
Massa Adsorben (gr)	0,5	1	1,5
Waktu Kontak (menit)	60	90	120

Pada tabel 3.1 dijelaskan bahwa eksperimen ini memiliki variabel bebas yang divariasikan. Variasi ini dimulai dari massa adsorben dibuat menjadi 3 variasi yaitu 0,5 gr, 1 gr, dan 1,5gr. Kemudian variasi waktu kontak yang dilakukan adalah 60 menit, 90 menit dan 120 menit.

Tabel 3.2 Variasi Eksperimen

Variasi	Kode Sampel	Massa Adsorben	Waktu Kontak	Kecepatan Pengadukan
		(gram)	(menit)	(rpm)
Blanko		0	0	0
Variasi I	CT 1	0,5	90	120
Crumb rubber Sludge dengan Tatal karet (CT)	CT 2	1	90	120
	CT 3	1,5	90	120
Variasi II	CT 4	1	60	120
Crumb rubber Sludge dengan Tatal karet (CT)	CT 5	1	90	120
	CT 6	1	120	120
Variasi III	CA 1	0,5	90	120
<i>Crumb rubber sludge</i> dengan Abu sawit (CA)	CA 2	1	90	120
	CA 3	1,5	90	120
Variasi IV	CA4	1	60	120
<i>Crumb rubber sludge</i> dengan Abu sawit (CA)	CA5	1	90	120
	CA6	1	120	120

Pada table 3.2 terdapat 4 variasi eksperimen yang dilakukan dengan menganalisis sampel hasil eksperimen sebanyak 36 kali. Variasi eksperimen I dan II mengkombinasikan *crumb rubber sludge* dengan tatal karet (CT) sebagai adsorben. Perbedaan variasi tersebut adalah variasi I dibedakan berdasarkan massa adsorben yaitu 0,5 gr, 1 gr dan 1,5 gr. Variasi II dibedakan berdasarkan waktu kontak dimulai dari 60 menit, 90 menit, dan 120 menit dengan kecepatan pengadukan 120 rpm. .

Variasi eksperimen III dan IV mengkombinasikan adsorben *crumb rubber sludge* dengan adsorben abu sawit (CA). Perbedaan variasi tersebut adalah variasi III dibedakan berdasarkan massa adsorben yaitu 0,5 gr, 1 gr dan 1,5 gr. Sedangkan variasi IV dibedakan berdasarkan waktu kontak dimulai dari 60, 90, dan 120 menit dengan kecepatan pengadukan 120 rpm.

3.5 Persiapan Eksperimen

1. Alat

Dalam penelitian ini alat yang dibutuhkan adalah flokulator (*Jar Test*), *test sieve* no 40, gelas piala, gelas ukur, neraca analitik, spatula, *stopwatch*, cawan porselin, oven, botol sampel, corong *buchner*, vakum, dan corong air.

2. Bahan

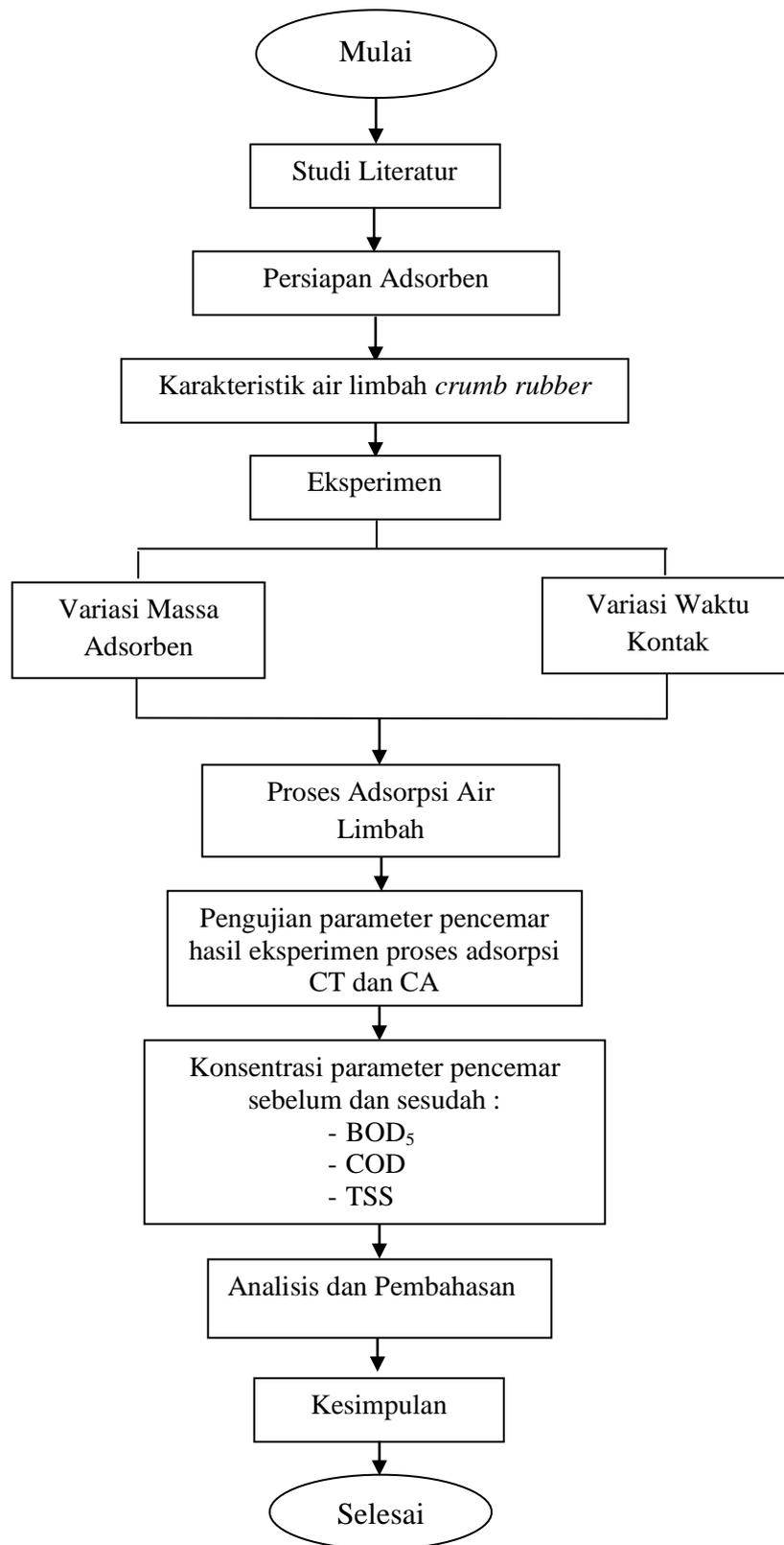
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah padat proses lumpur aktif (*Crumb Rubber Sludge*) dari sistem IPAL, tatal karet serta air limbah industri *crumb rubber* yang berasal dari PT. X, abu sawit yang berasal dari PT. Muara Jambi Sawit Lestari, dan kertas saring *whatman* 4.2.

3.6 Tahapan Penelitian

Tahap awal dalam penelitian ini dilakukan dengan studi literatur dan identifikasi masalah. Tahap berikutnya melakukan kegiatan pengumpulan data berupa data primer dan data sekunder serta pengambilan sampel. Data primer diperoleh melalui pengamatan langsung dari hasil eksperimen yang ada di laboratorium terkait objek penelitian, sedangkan data sekunder didapat peneliti melalui pengkajian teori yang dilakukan dari berbagai sumber : jurnal, artikel yang didapat melalui *website* yang erat kaitannya dengan topik permasalahan penelitian.

Kemudian dilakukan tahap eksperimen, dengan membuat adsorben CT dan adsorben CA untuk mengadsorpsi air limbah industri *crumb rubber*. Setelah dilakukan eksperimen air limbah yang telah diolah dari proses adsorpsi tersebut diuji untuk mengetahui konsentrasi parameter pencemar meliputi BOD, COD dan TSS.

Setelah dilakukan eksperimen didapat hasil data uji parameter air limbah industri *crumb rubber* sebelum dan sesudah adsorpsi yang selanjutnya dilakukan tahap pengolahan data sehingga dapat ditarik kesimpulan seberapa efektif adsorben CT dan adsorben CA dalam menyisihkan parameter air limbah industri *crumb rubber*. Hasil diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.7 Eksperimen

3.7.1 Sampling

Pada kegiatan *sampling* air limbah industri *crumb rubber* diambil dengan cara menyesuaikan jumlah sampel yang akan diuji. Air limbah industri *crumb rubber* diambil menggunakan *sampler* kemudian dituangkan ke dalam corong untuk dimasukkan ke dalam botol. Cara pengambilan sampel air limbah industri *crumb rubber* diambil secara manual pada aliran buangan (*effluent*), sampel diambil dalam jumlah 10 liter. Kemudian sampel yang telah dimasukkan ke dalam botol dibawa secara manual untuk dibawa langsung menuju laboratorium.

Pada kegiatan pengumpulan CRS dengan tatal karet, diambil menggunakan karung dengan kapasitas 10 kg yang berasal dari PT. Batanghari Tembesi. Begitupun dengan pengumpulan abu sawit diambil menggunakan karung dengan kapasitas 10 kg yang berasal dari PT. Muara Jambi Sawit Lestari.

3.7.2 Pembuatan Adsorben

Langkah-langkah dalam pembuatan adsorben CTA (*crumb rubber sludge*, tatal karet dan abu sawit) dijelaskan pada kalimat dibawah ini :

1. Limbah padat proses lumpur aktif (*Crumb Rubber Sludge*) diambil dari pabrik *crumb rubber*. Setelah itu sampel dikarbonisasi dengan *furnace* pada suhu 400°C selama 1 jam. Kemudian dihaluskan dan diayak menggunakan *test sieve* no. 40 mesh dan siap digunakan sebagai adsorben segar.
2. Limbah padat tatal karet yang diambil dari pabrik *crumb rubber*. Setelah itu dilakukan proses karbonasi pada suhu 400°C selama 1 jam. Kemudian

dihaluskan dan diayak menggunakan *test sieve* no. 40 mesh dan siap digunakan sebagai adsorben segar.

3. Limbah padat abu sawit dimasukkan ke dalam oven dengan suhu 100 °C selama 1 jam. Kemudian dihaluskan dan diayak menggunakan *test sieve* no. 40 mesh dan siap digunakan sebagai adsorben segar.
4. Selanjutnya dilanjutkan proses pencampuran adsorben. Setelah semua adsorben segar didinginkan, kemudian dilanjutkan proses pencampuran adsorben dimana untuk adsorben *crumb rubber* dan tatal karet (CT) rasio berat kering antara *crumb rubber* (C) dan tatal karet (T) adalah 1 : 1. Dan untuk pencampuran adsorben *crumb rubber* dan abu sawit (CA) rasio berat kering antara *crumb rubber* (C) dan abu sawit (A) adalah 1 : 1
5. Proses pencampuran dilakukan pada suhu ruang.

3.7.3 Prosedur Eksperimen

Eksperimen dilakukan mengacu pada desain eksperimen yaitu variasi variabel bebas dan variabel terikat. Tahapan dari eksperimen ini sebagai berikut :

1. Timbang masing-masing adsorben menggunakan neraca. Variasi massa adsorben dibedakan menjadi tiga yaitu 0,5 gr; 1 gr; dan 1,5 gr.
2. Masukkan air limbah industri *crumb rubber* sebanyak 500 ml ke dalam gelas piala dengan ukuran gelas piala 1000 ml.
3. Masukkan masing-masing adsorben ke dalam gelas piala yang telah berisikan air limbah industri *crumb rubber*.

4. Aduk menggunakan *jar test*. Varisai pengadukan menggunakan *jar test* dibedakan berdasarkan waktu kontak yaitu 60 menit; 90 menit dan 120 dengan kecepatan pengadukan 120 rpm.
5. Setelah dilakukan pengadukan menggunakan *jar test* diamkan sampel sampai dengan tenang.
6. Setelah sampel tenang dan telah membentuk flok, saring sampel menggunakan kertas saring *whatman* 4.2.
7. Siapkan botol sampel yang telah diberi label, masukkan sampel yang telah disaring kedalam botol sampel.
8. Botol sampel siap dikirim ke Jambi Lestari Internasional untuk diuji guna mengetahui konsentrasi pencemar BOD, COD dan TSS.

3.8 Teknik Analisis Data dan Pembahasan

Metode pengujian terhadap parameter pencemar air limbah sebagaimana dijelaskan pada tabel 3.3 di bawah ini.

Tabel 3.3 Metode Pengujian Parameter Pencemar

Parameter	Satuan	Metode Acuan
BOD	mg/L	SNI 06-6989 72:2009
COD	mg/L	SNI 6989.2 -2019
TSS	mg/L	SNI 06-6989.3-2019

Sumber : SNI (2009), SNI (2019), SNI (2019)

Kapasitas adsorpsi secara umum dapat dihitung berdasarkan persamaan

(3.1) berikut:

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{m} v \quad \text{-----} \quad (3.1)$$

Dimana :

Q_e = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

v = Volume larutan (L)

m = Massa adsorben (gram)

C_o = Konsentrasi awal pencemar dalam larutan (mg/L)

C_e = Konsentrasi akhir pencemar dalam larutan (mg/L)

Jumlah serapan maksimum adsorben ditentukan dengan persamaan Isoterm

Langmuir yang dapat dituliskan seperti persamaan 3.2 :

$$C_e/q_e = \frac{1}{Q_o \cdot b} + \frac{C_e}{Q_o} \quad \text{-----} \quad (3.2)$$

Dimana :

q_e = Jumlah zat yang teradsorpsi per gram massa adsorben (mg/g)

Q_0 = Kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g)

b = Konstanta langmuir (afinitas serapan)

C_e = Konsentrasi pada kesetimbangan

Bila data yang diperoleh memenuhi persamaan di atas, maka plot ce/qe terhadap C_e akan menghasilkan garis lurus dengan slope $1/b$ dan intersep $1/bC_e$.

Penentuan kapasitas adsorpsi maksimum menggunakan persamaan 3.3 dan

3.4 Isoterm Freundlich, yaitu:

$$q_e = K_f \cdot C_e^{1/n} \dots\dots\dots(\text{Persamaan 3.3})$$

$$\log(q_e) = \log K_f + 1/n \cdot \log C_e \dots\dots\dots(\text{Persamaan 3.4})$$

Dimana :

q_e = Jumlah zat teradsorpsi tiap unit massa adsorben (mg/g)

C_e = Konsentrasi kesetimbangan zat teradsorpsi

K_f = Konstanta freundlich yang berkaitan dengan kapasitas

$1/n$ = Konstanta freundlich yang berkaitan dengan afinitas adsorpsi

Dengan mengukur q_e sebagai fungsi C_e maka nilai n dan K_f akan ditentukan dari slop dan intersepnya.

Sedangkan efisiensi adsorpsi dapat dihitung berdasarkan persamaan (3.5)

dibawah ini :

$$EP (\%) = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \dots\dots\dots (3.5)$$

Dimana :

EP = Efisiensi Adsorpsi (%)

C_0 = Konsentrasi *Influen* Adsorbat (mg/l)

C_e = Konsentrasi *Effluen* Adsorbat (mg/l)

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik *Crumb Rubber Sludge*, Tatal Karet dan Abu Sawit

Penelitian dilakukan dengan memanfaatkan limbah padat industri. Limbah padat berupa *crumb rubber sludge* dan tatal karet yang berasal dari industri karet serta abu sawit yang berasal dari industri kelapa sawit. Limbah padat industri ini dijadikan adsorben yang berfungsi sebagai bahan penyerap untuk menyisihkan konsentrasi pencemar air limbah industri karet.



Gambar 4.1 *Crumb Rubber Sludge*



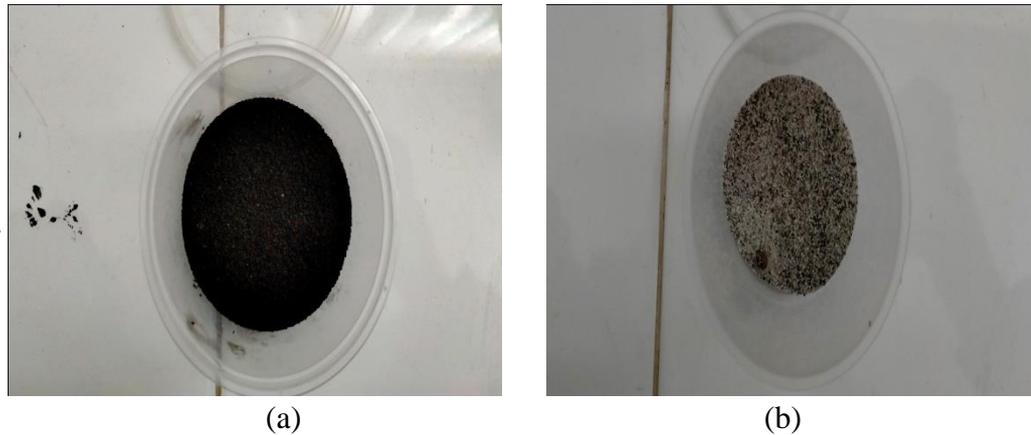
Gambar 4.2 Tatal Karet



Gambar 4.3 Abu Sawit *Bottom Ash*

Dalam proses pembuatan adsorben *crumb rubber sludge* dan tatal karet menggunakan metode *furnace* atau pembakaran tanpa udara dengan suhu 400°C selama 1 jam sehingga adsorben tersebut berubah menjadi karbon aktif. Ke dua adsorben tersebut kemudian digabungkan dengan rasio massa 1 : 1 yang kemudian dikenal dengan sebutan adsorben CT (*crumb rubber sludge* dan tatal karet). Adsorben CT ini dibuat tanpa penambahan bahan aktivator.

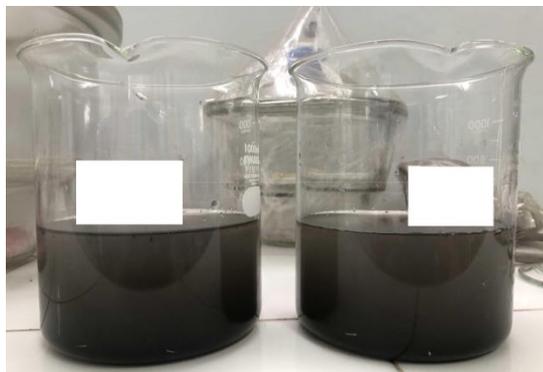
Sementara itu, pembuatan adsorben abu sawit yang telah dicuci bersih dan dikeringkan kemudian disaring menggunakan *test sieve* no 40. Adsorben abu sawit dipanaskan dengan suhu 100°C selama 1 jam dengan menggunakan oven untuk menghilangkan kadar air pada abu sawit. Adsorben abu sawit yang dibuat tanpa penambahan bahan aktivator ini kemudian dicampurkan dengan adsorben *crumb rubber sludge* (CRS) dengan rasio massa 1 : 1 sehingga dinamakan dengan sebutan adsorben CA (*crumb rubber sludge* dan abu sawit).



(a)
 (b)
 Gambar 4.4 Varian Adsorben (a) *Crumb Rubber Sludge* dan Tatan Karet (CT) ;
 (b) *Crumb Rubber Sludge* dan Abu Sawit (CA)

4.2 Hasil Uji Awal Air Limbah Industri Karet

Pada penelitian ini air limbah yang digunakan adalah air limbah industri karet yang berasal dari efluen PT. X yang sama sekali belum dilakukan proses pengolahan melalui sistem Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL).



Gambar 4.5 Air Limbah Karet Sebelum Pengolahan

Dapat dilihat pada gambar 4.4, air limbah karet yang belum dilakukan proses pengolahan memiliki kondisi fisik berupa warna air limbah yang sangat pekat dan bau yang menyengat sehingga perlu dilakukan proses pengolahan lebih lanjut. Karakteristik air limbah karet sebelum dilakukan proses pengolahan dengan menggunakan adsorpsi adsorben CTA (*Crumb Rubber Sludge*, Tatal Karet dan Abu Sawit) meliputi parameter BOD (*Biochemical Oxygen Demand*), COD

(*Chemical Oxygen Demand*), dan TSS (*Total Suspended Solid*) yang dapat dilihat pada tabel 4.1 tentang hasil uji awal karakteristik air limbah karet.

Tabel 4.1 Hasil Uji Karakteristik Air Limbah Karet

No	Parameter	Satuan	Hasil uji Awal	Baku Mutu Lateks Pekat (Permen LH No. 5 Tahun 2014 Lampiran IV)
1	BOD	mg/L	266,74	100
2	COD	mg/L	793,54	250
3	TSS	mg/L	208	100

Baku mutu air limbah yang diberlakukan pada air limbah industri karet telah ditetapkan melalui Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5 Tahun 2014 Lampiran IV. Pada tabel 4.1 menjelaskan tentang hasil uji awal karakteristik air limbah karet sebelum dilakukan proses pengolahan, dimana kandungan pencemar limbah organik pada industri karet memiliki hasil yang sangat tinggi dan melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Hasil untuk parameter BOD memiliki konsentrasi pencemar sebesar 266,74 mg/L, konsentrasi pencemar parameter COD sebesar 793, 54 mg/L dan konsentrasi pencemar parameter TSS sebesar 208,00 mg/L. Dalam proses pengolahannya, industri karet menggunakan bahan-bahan kimia sebagai bahan koagulan lateks dan membutuhkan air dalam jumlah yang besar untuk proses pencucian tangki-tangki tempat *lateks* serta untuk proses penggilingan sehingga limbah cair industri karet mengandung komponen karet (protein, lipid, karotenoid, dan garam anorganik). Adanya bahan-bahan organik tersebut menyebabkan nilai BOD, COD dan TSS menjadi tinggi (Sarengat dkk, 2015). Hal inilah yang menjadi dasar dilakukannya pengolahan air limbah karet sehingga kandungan pencemar pada air limbah karet aman saat dibuang ke badan air penerima (BAP).

4.3 Hasil Penelitian

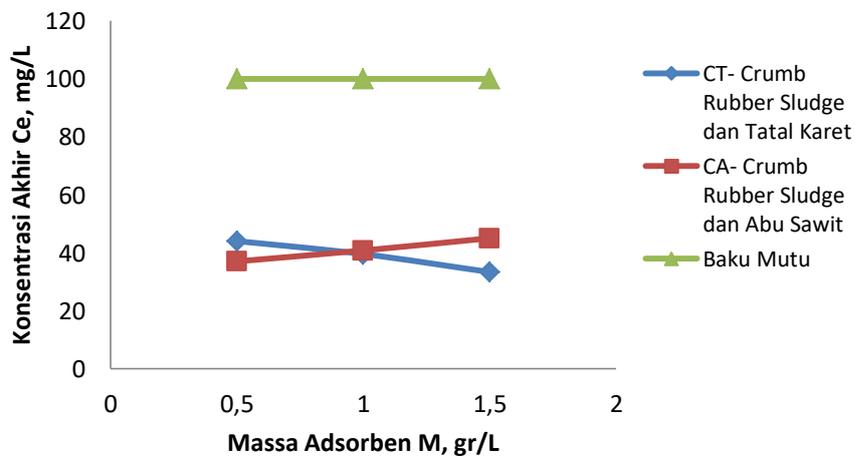
4.3.1 Pengaruh Massa Adsorben Terhadap Penyisihan Air Limbah Industri Karet

1. Parameter BOD (*Biological Oxygen Demand*)

BOD merupakan parameter penting untuk dianalisis, karena parameter BOD digunakan sebagai acuan untuk mengetahui banyaknya bahan organik yang terdapat pada air limbah karet. Telah dilakukan penelitian dengan mengadsorpsi air limbah industri karet menggunakan dua jenis adsorben yaitu campuran adsorben *crumb rubber sludge* dengan tatal karet (CT) dan campuran adsorben *crumb rubber sludge* dengan abu sawit (CA). Penelitian ini dibedakan berdasarkan variasi massa adsorben yaitu 0,5 gr, 1 gr, dan 1,5 gr dengan waktu kontak selama 90 menit dan kecepatan pengadukan sebesar 120 rpm. Berikut adalah tabel 4.2 tentang hasil uji parameter BOD air limbah industri karet terhadap variasi massa adsorben.

Tabel 4.2 Hasil Uji Parameter BOD Terhadap Variasi Massa Adsorben

Adsorben	Variasi Dosis (gr)	Baku Mutu (mg/L)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Efisiensi Penyisihan (%)	Kapasitas x/m (mg/g)
CT	0,5	100	266,74	44,07	83	222,67
	1	100	266,74	39,60	85	113,57
	1,5	100	266,74	33,40	87	77,78
CA	0,5	100	266,74	37,08	86	229,66
	1	100	266,74	40,85	85	112,945
	1,5	100	266,74	45,07	83	73,89



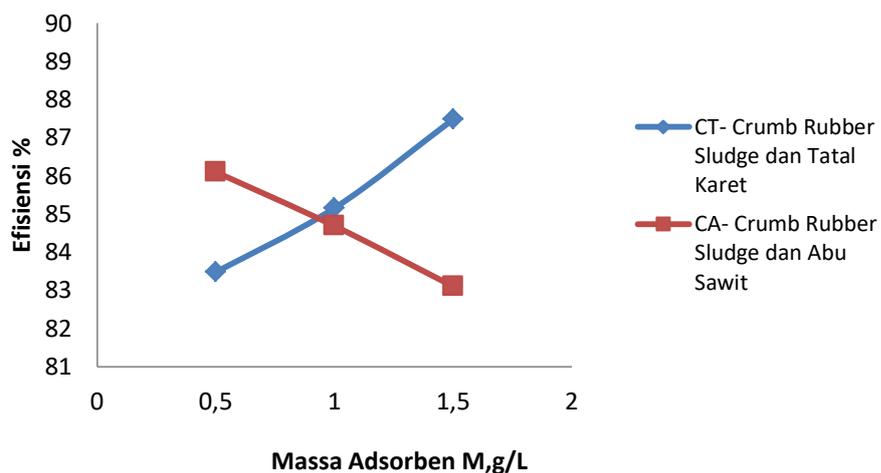
Gambar 4.6 Hasil Uji Parameter BOD Terhadap Variasi Massa Adsorben

Dilihat pada gambar 4.6 mengenai hasil uji parameter BOD terhadap variasi massa adsorben CT dapat diamati bahwa konsentrasi pencemar air limbah karet yang teradsorpsi semakin meningkat seiring dengan bertambahnya massa adsorben. Kondisi optimum massa adsorben berada pada penggunaan dosis adsorben seberat 1,5 gr/500 ml. Diketahui adsorben CT mampu mereduksi konsentrasi pencemar BOD sebesar 33,40 mg/l.

Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Salmariza. Sy (2012) yang menyatakan bahwa massa adsorben sangat mempengaruhi persentasi reduksi pada air limbah karet. Dimana semakin banyak dosis adsorben yang digunakan, maka semakin besar pula polutan yang teradsorpsi, yang mengakibatkan semakin kecil pula nilai polutan yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan dengan semakin meningkatnya massa adsorben maka luas permukaan adsorben akan lebih banyak tersedia, sehingga terjadi peningkatan bidang aktif pada adsorben yang menyebabkan banyaknya polutan yang akan terserap.

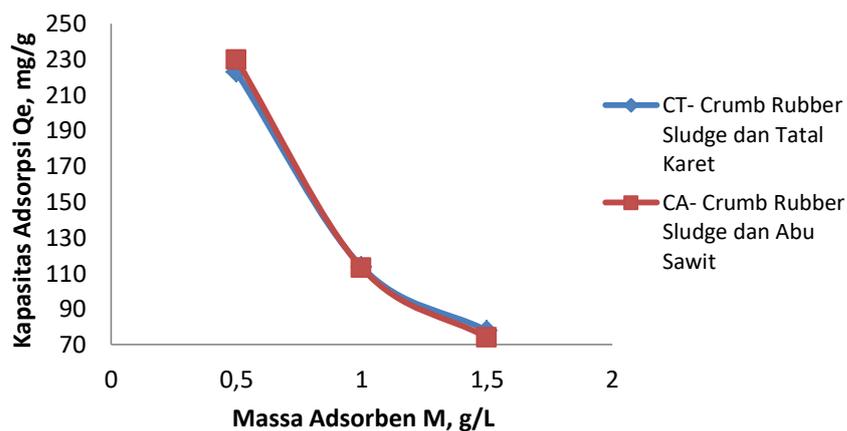
Berbanding terbalik pada adsorben CA, kondisi optimum massa adsorben tercapai pada penggunaan dosis adsorben seberat 0,5 gr/500 ml dengan penyerapan sebesar 37,08 mg/l. Hal ini dimungkinkan dengan bertambahnya massa adsorben dalam volume yang sama justru akan menyebabkan interaksi yang tidak sempurna pada saat proses pengadukan dilakukan, karena dimungkinkan adsorben tertutup oleh padatan lainnya atau saling tumpang-tindih sehingga banyak pori adsorben yang tidak bekerja dengan baik dalam menyerap zat organik. (Swastha, J.T 2010).

Keberhasilan adsorben CT dan adsorben CA dalam mengolah air limbah karet ditandai dengan terjadinya penurunan secara signifikan terhadap konsentrasi pencemar BOD, sehingga hasil pengolahan air limbah karet berada di bawah baku mutu Permen LH No 5 Tahun 2014 Lampiran IV tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha/Kegiatan Industri Karet.



Gambar 4.7 Efisiensi Parameter BOD Terhadap Variasi Massa Adsorben

Penggunaan adsorben dalam jumlah yang tepat akan mempengaruhi efisiensi penyisihan parameter BOD. Dapat diamati pada gambar 4.7 efisiensi penyisihan parameter BOD semakin meningkat seiring dengan bertambahnya massa adsorben CT. Efisiensi penyisihan konsentrasi pencemar BOD tertinggi dicapai pada massa adsorben sebesar 1,5 gr dengan efisiensi penyisihan sebesar 87% . Berbeda dengan adsorben CA, efisiensi penyisihan konsentrasi pencemar BOD tertinggi dicapai pada massa adsorben sebesar 0,5 gr dengan persentase penyisihan sebesar 86%.



Gambar 4.8 Kapasitas Adsorpsi Parameter BOD Terhadap Variasi Massa Adsorben

Penentuan kapasitas adsorpsi bertujuan untuk mengetahui seberapa besar konsentrasi pencemar yang mampu diserap oleh setiap gram adsorben CT maupun adsorben CA. Hasil analisa pada gambar 4.8 yaitu kapasitas optimum adsorpsi pada parameter BOD dicapai dengan massa adsorben seberat 0,5 gr dengan hasil penyerapan sebesar 222,67 mg/gr untuk adsorben CT dan 229,66 mg/gr untuk adsorben CA. Sementara itu kapasitas adsorpsi BOD terendah dicapai pada massa adsorben 1,5 gr dengan nilai sebesar 77,78 mg/gr untuk adsorben CT dan 73,89

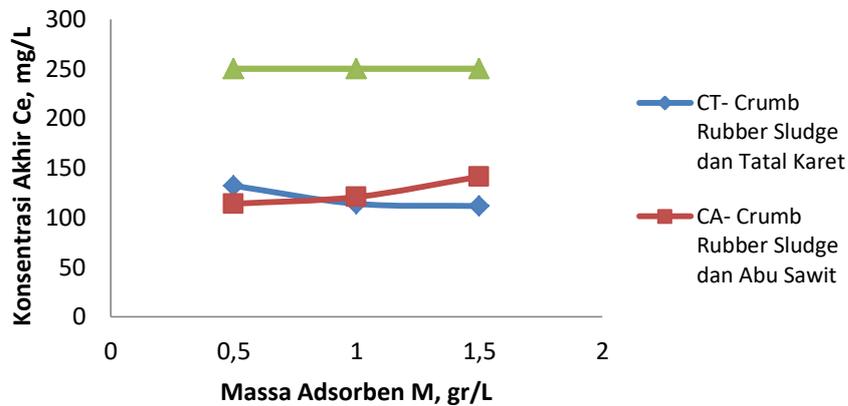
mg/gr pada adsorben CA. Dilihat dari hasil analisa ini, semakin tinggi massa adsorben maka kapasitas adsorpsi pada parameter BOD akan semakin rendah. Hal ini disebabkan karena adanya sisi aktif adsorben yang semuanya belum berikatan dengan adsorbat sehingga menyebabkan peningkatan kapasitas penyerapan berbanding terbalik dengan massa yang digunakan. Kapasitas penyerapan hanya mengukur banyaknya konsentrasi pencemar BOD yang diserap pada setiap unit berat adsorben (Putri, D.I dkk, 2019).

2. Parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Parameter COD adalah parameter yang digunakan untuk mengetahui kebutuhan oksigen yang diperlukan dalam mengurai seluruh bahan organik yang terkandung di dalam air. Pada penelitian ini, dilakukan proses penyisihan konsentrasi pencemar COD dengan menggunakan adsorben CT dan adsorben CA. Penelitian ini dilakukan menggunakan variasi massa adsorben seberat 0,5 gr, 1 gr, dan 1,5 gr dengan waktu kontak selama 90 menit dan kecepatan pengadukan sebesar 120 rpm. Di bawah ini tertera tabel 4.3 tentang hasil uji parameter COD air limbah industri karet terhadap variasi massa adsorben.

Tabel 4.3 Hasil Uji Parameter COD Terhadap Variasi Massa Adsorben

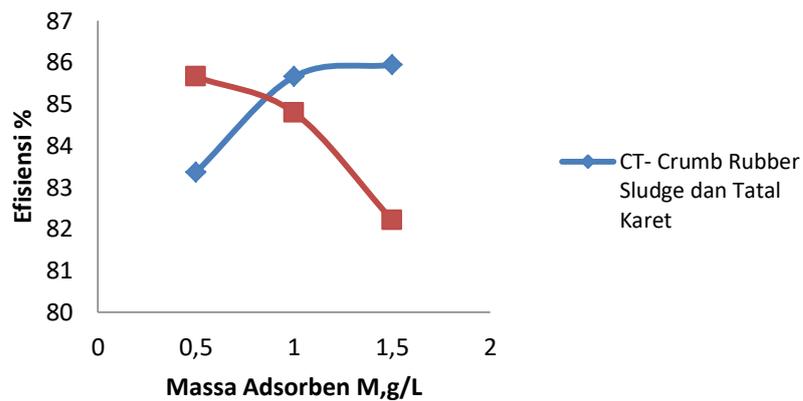
Adsorben	Variasi Dosis (gr)	Baku Mutu (mg/L)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Efisiensi Penyisihan (%)	Kapasitas x/m (mg/g)
CT	0,5	250	793,54	132,04	83	661,50
	1	250	793,54	113,85	86	339,85
	1,5	250	793,54	111,58	86	227,32
CA	0,5	250	793,54	113,85	86	679,69
	1	250	793,54	120,67	85	336,44
	1,5	250	793,54	141,13	82	217,47



Gambar 4.9 Hasil Uji Parameter COD Terhadap Variasi Massa Adsorben

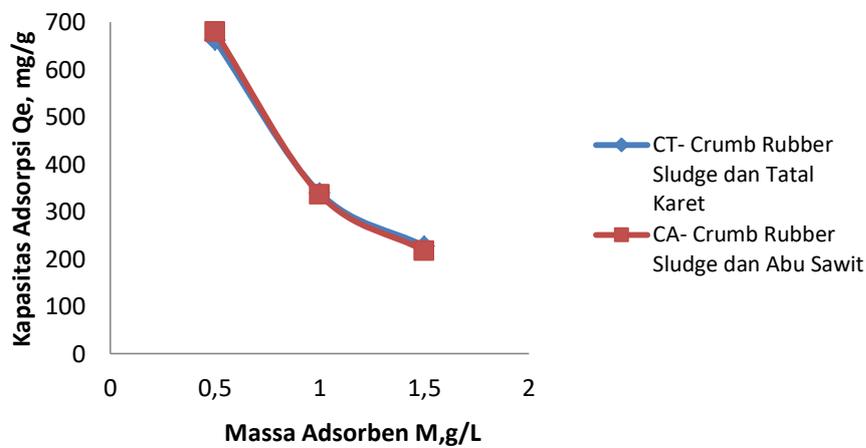
Penggunaan variasi massa adsorben bertujuan untuk melihat pengaruh berat massa terhadap penurunan konsentrasi pencemar. Dari gambar 4.9 hasil penelitian terhadap variasi massa sangat berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi pencemar parameter COD. Hasil uji parameter COD terhadap variasi massa adsorben CT mengalami penurunan dikondisi optimum massa adsorben seberat 1,5 gr/500 ml. Pada massa optimum tersebut adsorben CT mampu menurunkan konsentrasi pencemar sebesar 111,58 mg/l. Sedangkan adsorben CA kondisi optimum massa adsorben dicapai pada massa 0,5 gr/500 ml dengan menurunkan konsentrasi pencemar sebesar 113,85 mg/L. Semakin besarnya perbandingan massa adsorben maka akan menghasilkan situs aktif yang lebih besar pada luas permukaan adsorben dan menjadikan pori-pori karbon aktif pada adsorben dalam menyerap zat-zat organik dari air limbah karet semakin besar. Namun, pada massa adsorben tertentu, proses penyerapan dapat bekerja kurang maksimal, karena bidang sisi aktif adsorben tertindih dengan adsorben lainnya, sehingga adsorbat akan sulit diserap dan menjadi terlepas kembali (Swastha J.T, 2010).

Kemampuan adsorben CT dan adsorben CA dalam menyerap polutan dikatakan berhasil, karena pengolahan air limbah karet dengan cara adsorpsi menggunakan adsorben CT dan adsorben CA mampu menurunkan polutan dengan hasil pengolahannya berada di bawah baku mutu air limbah karet menurut Permen LH No 5 Tahun 2014 pada lampiran IV.



Gambar 4.10 Efisiensi Parameter COD Terhadap Variasi Massa Adsorben

Berdasarkan gambar 4.10 menunjukkan adanya hubungan antara massa adsorben terhadap efisiensi penyerapan polutan. Dapat diamati pada adsorben CT, efisiensi penyisihan parameter COD semakin meningkat seiring dengan bertambahnya massa adsorben. Efisiensi penyisihan konsentrasi pencemar COD tertinggi dicapai pada massa adsorben sebesar 1,5 gr dengan efisiensi penyisihan sebesar 86% . Berbeda dengan adsorben CT, pada adsorben CA efisiensi penyisihan konsentrasi pencemar COD tertinggi dicapai pada massa adsorben sebesar 0,5 gr dengan persentase penyisihan sebesar 86%.



Gambar 4.11 Kapasitas Adsorpsi Parameter COD Terhadap Variasi Massa Adsorben

Pada gambar 4.11 memperlihatkan adanya hubungan antara massa adsorben terhadap kapasitas adsorpsi. Semakin besar massa adsorben maka semakin rendah kapasitas adsorpsi. Kapasitas adsorpsi optimum pada parameter COD terjadi pada massa adsorben 0,5 gr. Pada adsorben CT kapasitas adsorpsi yang mampu di serap sebesar 661,50 mg/g, sedangkan kapasitas adsorpsi adsorben CA menyerap polutan sebesar 679,69 mg/g.

Menurut Puspita M, dkk (2017), kapasitas adsorpsi terhadap polutan pada variasi massa adsorben akan mengalami penurunan dengan semakin besarnya massa adsorben yang diberikan. Hal ini dikarenakan daya adsorpsi pada zat-zat organik pada permukaan adsorben akan saling tumpang tindih dan saling menutupi karena molekul zat organik harus bersaing satu sama lain dalam menempati sejumlah situs pengikatan yang terdapat pada permukaan, sehingga mengakibatkan sejumlah zat organik tidak ikut teradsorpsi dan tersisa pada larutan.

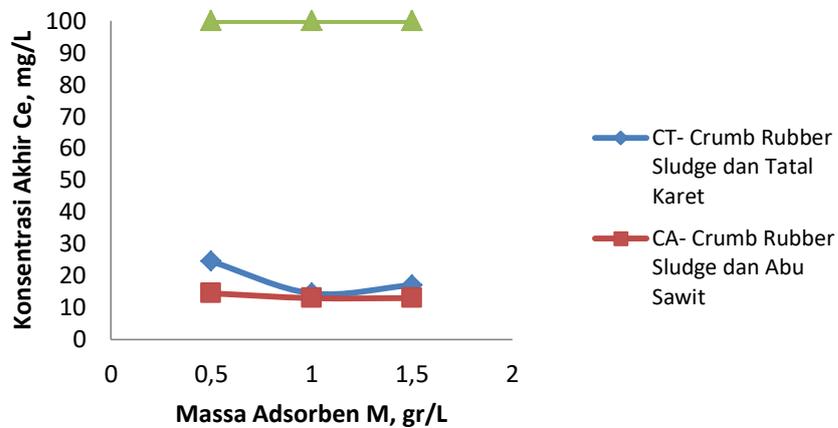
3. Parameter TSS (*Total Suspended Solid*)

TSS merupakan salah satu parameter penting di dalam air limbah, karena padatnya tidak dapat terlarut dalam air dan tidak dapat mengendap, sehingga menyebabkan kekeruhan air yang akan menghalangi masuknya sinar matahari ke dalam air dan mengganggu kehidupan biota perairan. Maka dilakukan penelitian dengan mengadsorpsi air limbah industri karet untuk menyisihkan parameter TSS dengan menggunakan adsorben CT dan adsorben CA. Penelitian ini dibedakan berdasarkan variasi massa adsorben yaitu 0,5 gr, 1 gr, dan 1,5 gr dengan waktu kontak selama 90 menit dan kecepatan pengadukan sebesar 120 rpm.

Berikut adalah tabel 4.4 mengenai hasil uji parameter TSS pada penyisihan air limbah industri karet terhadap variasi massa adsorben.

Tabel 4.4 Hasil Uji Parameter TSS Terhadap Variasi Massa Adsorben

Adsorben	Variasi Dosis (gr)	Baku Mutu (mg/L)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Efisiensi Penyisihan (%)	Kapasitas x/m (mg/g)
CT	0,5	100	208	24,50	88	183,50
	1	100	208	14,50	93	96,75
	1,5	100	208	17,10	92	63,63
CA	0,5	100	208	14,50	93	193,50
	1	100	208	13,00	94	97,50
	1,5	100	208	13,00	94	65,00



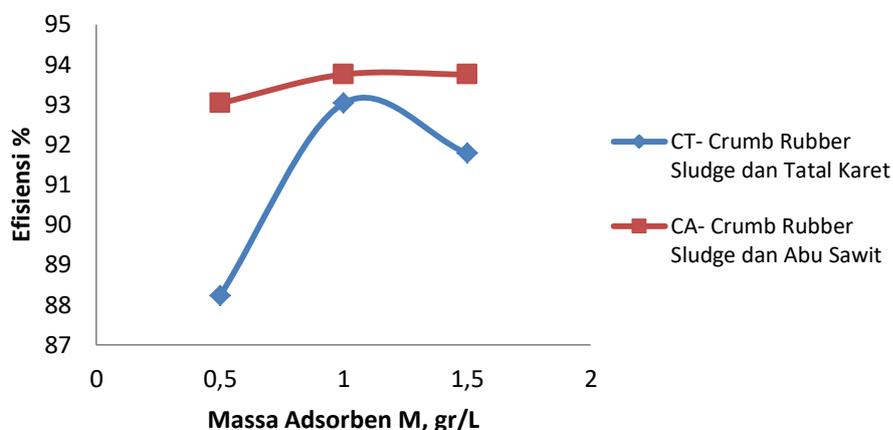
Gambar 4.12 Hasil Uji Parameter TSS Terhadap Variasi Massa Adsorben

Penambahan massa adsorben dalam air limbah karet terbukti dapat menurunkan kadar TSS. Dapat diamati pada gambar 4.12 dimana penambahan massa adsorben sangat mempengaruhi hasil uji. Kondisi optimum massa adsorben CT dan adsorben CA tercapai pada penggunaan dosis adsorben seberat 1 gr/500 ml. Dimana adsorben CT mampu mereduksi konsentrasi pencemar TSS sebesar 14,50 mg/l dan adsorben CA mereduksi konsentrasi pencemar sebesar 13,00 mg/l.

Hal ini disebabkan semakin besar perbandingan massa adsorben dalam air limbah membuat pori-pori adsorben lebih banyak tersedia, maka luas permukaan adsorben akan lebih meningkat sehingga terjadinya interaksi antara zat-zat organik dalam air limbah dengan adsorben akan lebih besar. Setelah terjadi proses adsorpsi pada kondisi massa optimum akan terjadi proses penguraian yang mengakibatkan senyawa-senyawa organik dalam limbah karet akan berkurang dibandingkan apabila tidak ada perlakuan terhadap limbah karet (Swastha, J.T, 2010).

Pada masa adsorben CT seberat 1,5 gr/500 ml, nilai penyisihan TSS mengalami kenaikan yaitu 17,10 mg/l. Sedangkan pada adsorben CT penyisihan TSS tidak mengalami penurunan dan berada dinilai yang sama yaitu 13,00 mg/l, Hal ini diduga karena adanya interaksi adsorben dan adsorbat yang kelewat jenuh, artinya pori-pori sudah terisi kontaminan membuat adsorbat terlepas kembali ke dalam larutan, sehingga efektivitas menjadi menurun (Swastha, J.T, 2010).

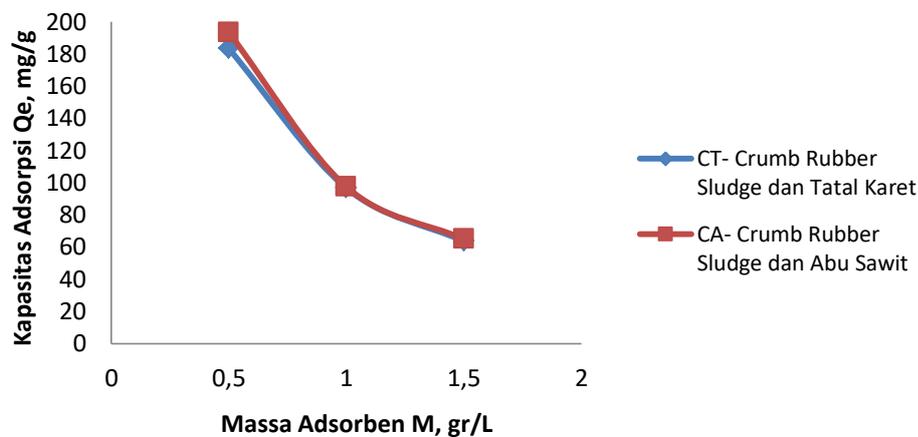
Proses pengolahan air limbah karet dengan memanfaatkan adsorben CT dan adsorben CA dikatakan berhasil karena pada proses pengolahannya mampu menyisihkan konsentrasi pencemar TSS dengan signifikan, sehingga hasil pengolahan air limbah karet berada di bawah baku mutu Permen LH No 5 Tahun 2014 pada lampiran IV.



Gambar 4.13 Efisiensi Parameter TSS Terhadap Variasi Massa Adsorben

Hasil analisa pengaruh massa adsorben CT dan adsorben CA terhadap efisiensi penyisihan TSS pada air karet terlihat pada gambar 4.13. Berdasarkan gambar tersebut dapat dilihat bahwa massa adsorben yang digunakan berpengaruh terhadap efisiensi penyisihan TSS. Hasil analisa pada penelitian ini menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan tertinggi dicapai pada massa 1 gr dengan efisiensi

penyisihan TSS sebesar 93% untuk adsorben CT dan 94% untuk adsorben CA. Bertambahnya jumlah adsorben sebanding dengan bertambahnya jumlah partikel dan luas permukaan adsorben CT dan adsorben CA, sehingga menyebabkan jumlah tempat mengikat polutan juga bertambah dan efisiensi penyisihan pun meningkat (S, Irfan, 2017).



Gambar 4.14 Kapasitas Adsorpsi Parameter TSS Terhadap Variasi Massa Adsorben

Penentuan kapasitas adsorpsi dilakukan untuk mengetahui kemampuan suatu adsorben dalam mengadsorpsi suatu adsorbat. Hasil penentuan kapasitas adsorpsi terhadap variasi massa adsorben dilihat pada gambar 4.14 dan diamati bahwa, kapasitas adsorpsi TSS tertinggi dicapai pada massa adsorben 0,5 gr dengan nilai kapasitas sebesar 183,50 mg/g untuk adsorben CT dan 193,50 mg/g untuk adsorben CA. Sedangkan kapasitas adsorpsi terendah dicapai pada massa adsorben CT 1.5 gr dengan kapasitas adsorpsi sebesar 63,63 mg/gr dan adsorben CA 65,00 mg/gr.

Dilihat dari hasil analisa ini, penggunaan massa adsorben sangat berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi. Semakin tinggi massa adsorben

kapasitas adsorpsinya akan menurun. Penurunan kapasitas ini disebabkan oleh adanya sisi aktif adsorben yang belum semuanya terikat dengan adsorbat, karena pori-pori adsorben dapat tertutup dengan adsorben lainnya mengakibatkan luas permukaan menjadi sempit sehingga proses penyerapan tidak bekerja maksimal.

4.3.2 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Penyisihan Air Limbah Industri Karet

1. Parameter BOD (*Biologi Oxigen Demand*)

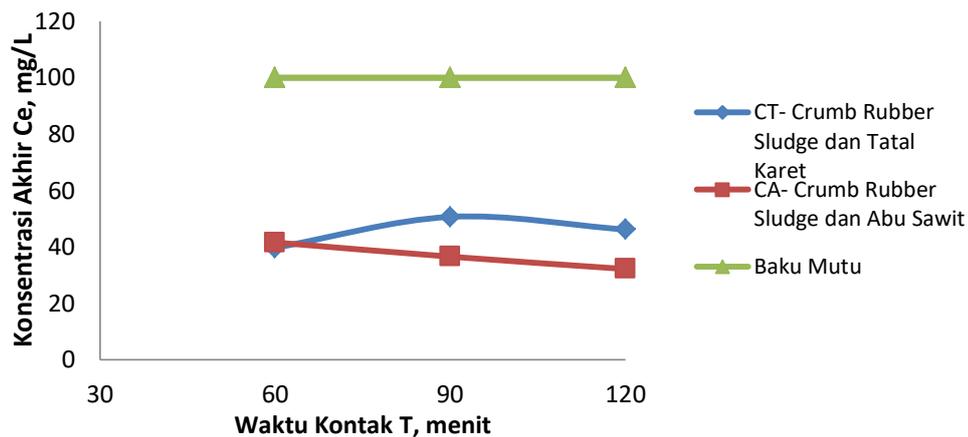
Penentuan waktu kontak sangat berpengaruh dalam proses adsorpsi. Penentuan waktu kontak akan menghasilkan kapasitas adsorpsi secara maksimum. Penelitian ini menggunakan campuran adsorben CT dan adsorben CA dalam menyisihkan konsentrasi pencemar BOD. Hasil uji penelitian ini dibedakan berdasarkan variasi waktu kontak yaitu 60 menit, 90 menit dan 120 menit dengan mencampurkan adsorben seberat 1 gr dan kecepatan pengadukan sebesar 120 rpm. Hasil uji pengaruh waktu kontak terhadap penyisihan parameter BOD air limbah industri karet dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Uji Parameter BOD Terhadap Variasi Waktu Kontak

Adsorben	Waktu Kontak (menit)	Baku Mutu (mg/L)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Efisiensi Penyisihan (%)	Kapasitas x/m (mg/g)
CT	60	100	266,74	39,69	85	113,53
	90	100	266,74	50,64	81	108,05
	120	100	266,74	46,16	83	110,29
CA	60	100	266,74	41,57	84	112,59
	90	100	266,74	36,53	86	115,11
	120	100	266,74	32,15	88	117,30

Dilihat pada tabel 4.5 mengenai hasil uji parameter BOD terhadap variasi waktu kontak. Proses pengolahan air limbah karet dengan memanfaatkan

adsorben CT dan adsorben CA berhasil dilakukan karena kedua jenis adsorben tersebut mampu menyisihkan konsentrasi pencemar BOD secara signifikan, sehingga hasil pengolahan air limbah karet berada di bawah baku mutu yang telah ditetapkan.



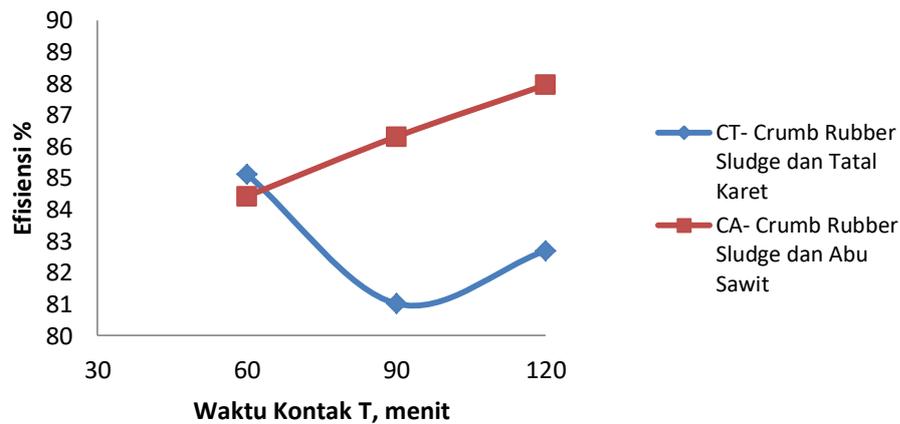
Gambar 4.15 Hasil Uji Parameter BOD Terhadap Variasi Waktu Kontak

Lama waktu kontak merupakan waktu yang dibutuhkan oleh adsorben CT dan adsorben CA dalam berinteraksi dengan adsorbatnya yaitu BOD. Dijelaskan pada gambar 4.15 terhadap waktu kontak yang mempengaruhi konsentrasi akhir. Setelah dilakukan pengolahan menggunakan adsorben CT, nilai BOD mengalami penurunan di kondisi optimum waktu kontak 60 menit/500 ml dengan mengadsorpsi polutan sebesar 39,69 mg/l. Hal ini terjadi karena pada proses awal waktu kontak terhadap laju pengadukan yang besar dapat menyebabkan semakin besar kontak antara adsorben dengan adsorbat, dikarenakan pori-pori adsorben pada proses awal waktu kontak masih luas dan belum terisi oleh partikel polutannya sehingga daya serap adsorben dapat bekerja dengan optimal.

Kemudian terjadi kenaikan terhadap konsentrasi BOD pada waktu kontak 90 menit dan 120 menit, perlu diketahui dalam peristiwa adsorpsi, waktu kontak

antara adsorben dan adsorbat yang terlalu lama juga dapat menyebabkan kondisi adsorben menjadi jenuh, karena semua sisi aktifnya dalam menyerap polutan telah terisi oleh konsentrasi pencemar yang teradsorb. Sehingga pada waktu kontak tertentu diperkirakan persentase reduksi akan menjadi konstan karena adsorben telah berada pada kondisi menyerap secara maksimal (Resti Hariyani dkk, 2013).

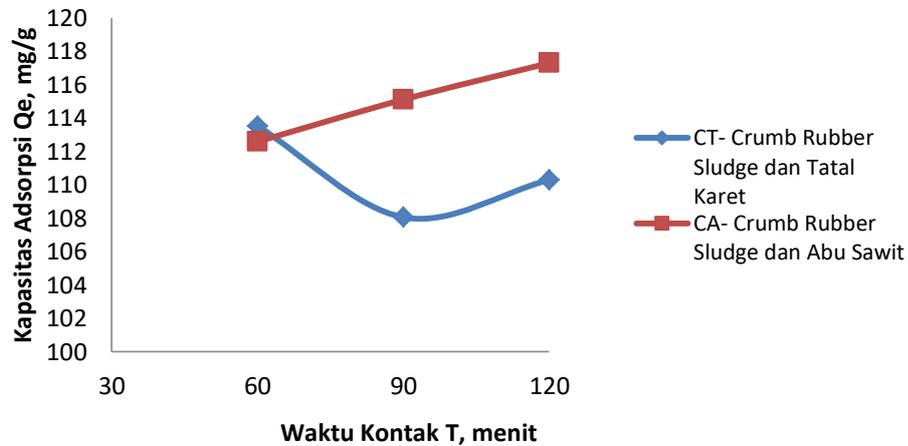
Sedangkan pada adsorben CA, nilai BOD mengalami penurunan di kondisi optimum waktu kontak 120 menit/500 ml dengan mengadsorpsi polutan sebesar 32,15 gr/ 500 ml. Semakin lama waktu kontak maka semakin besar kemampuan adsorben dalam menyerap adsorbatnya. Hal ini sesuai dengan Zian (2016), yang menyatakan bahwa semakin lama waktu kontak adsorben maka akan mengakibatkan interaksi antara adsorben dengan polutan semakin besar, sehingga semakin banyak pula polutan yang teradsorpsi oleh adsorben. Karena adanya waktu kontak yang lama antara adsorben dengan adsorbat memungkinkan semakin banyak terbentuk ikatan antara partikel adsorben dengan adsorbat hingga tercapai titik setimbang.



Gambar 4.16 Efisiensi Parameter BOD Terhadap Variasi Waktu Kontak

Perbandingan efektivitas variasi waktu kontak terhadap adsorben CT dan adsorben CA saat diamati memiliki nilai penyisihan polutan yang signifikan dengan variasi waktu kontak yang berbeda. Dimana kondisi waktu optimum adsorben CT adalah 60 menit, mampu mengadsorpsi kandungan BOD sebesar 85%, dan adsorben CA berada pada kondisi optimum 120 menit, mampu mengadsorpsi kandungan BOD sebesar 88%.

Bertambah lamanya waktu kontak akan mengakibatkan interaksi antara adsorben dengan adsorbatnya akan semakin lama, sehingga jumlah dalam mengikat polutan juga bertambah dan efisiensi penyisihan pun meningkat. Namun pada awal waktu kontak, adsorpsi juga dapat berlangsung dengan cepat karena sisi aktif pada adsorben masih banyak tersedia dan frekuensi terjadinya ikatan dengan molekul adsorbat juga semakin tinggi sehingga efektivitas semakin meningkat. (Suziyana, 2017).



Gambar 4.17 Kapasitas Adsorpsi Parameter BOD Terhadap Variasi Waktu Kontak

Pada gambar 4.17 dapat dijelaskan bahwa pengaruh waktu sangat berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi. Pada adsorben CT, kapasitas adsorpsi BOD tertinggi dicapai pada waktu kontak 60 menit dengan nilai kapasitas sebesar 113,53 mg/g dan pada adsorben CA kapasitas adsorpsi BOD tertinggi dicapai pada waktu kontak 120 menit dengan nilai kapasitas sebesar 117,30 mg/g

Dilihat dari hasil analisa ini, pada awal waktu kontak, adsorpsi berlangsung cepat dan sisi aktif pada adsorben masih belum terisi oleh polutan, sehingga ikatan dengan molekul akan berlangsung cepat dan membuat kapasitas penyerapan bisa terjadi dengan baik.

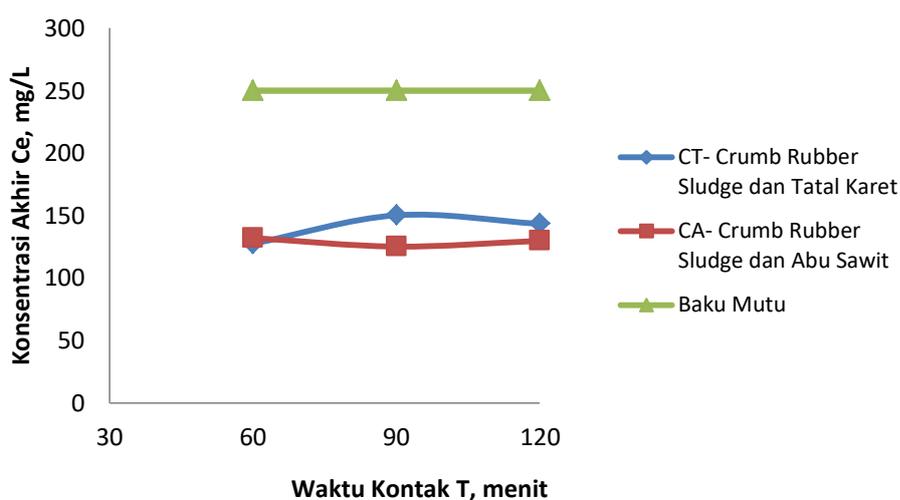
Pada kondisi waktu kontak tertentu, bertambahnya waktu kontak akan membuat jumlah adsorbat yang terserap pada permukaan adsorben juga semakin meningkat karena, semakin lama waktu kontak membuat peluang penyerapan adsorbat semakin besar terserap kedalam pori karbon aktif hingga akhirnya tercapai titik setimbang atau konstan (Zian, 2016).

2. Parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Penelitian ini menggunakan campuran adsorben CT dan adsorben CA dalam menyisihkan konsentrasi pencemar COD. Hasil uji penelitian ini dibedakan berdasarkan variasi waktu kontak yaitu 60 menit, 90 menit dan 120 menit dengan mencampurkan adsorben seberat 1 gr dan kecepatan pengadukan sebesar 120 rpm. Hasil uji pengaruh waktu kontak terhadap penyisihan parameter COD air limbah industri karet dapat dilihat pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Uji Parameter COD Terhadap Variasi Waktu Kontak

Adsorben	Waktu Kontak (menit)	Baku Mutu (mg/L)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Efisiensi Penyisihan (%)	Kapasitas x/m (mg/g)
CT	60	250	793,54	127,49	84	333,025
	90		793,54	150,22	82	321,660
	120		793,54	143,40	82	325,070
CA	60	250	793,54	132,04	83	330,750
	90		793,54	125,22	84	334,160
	120		793,54	129,76	84	331,890

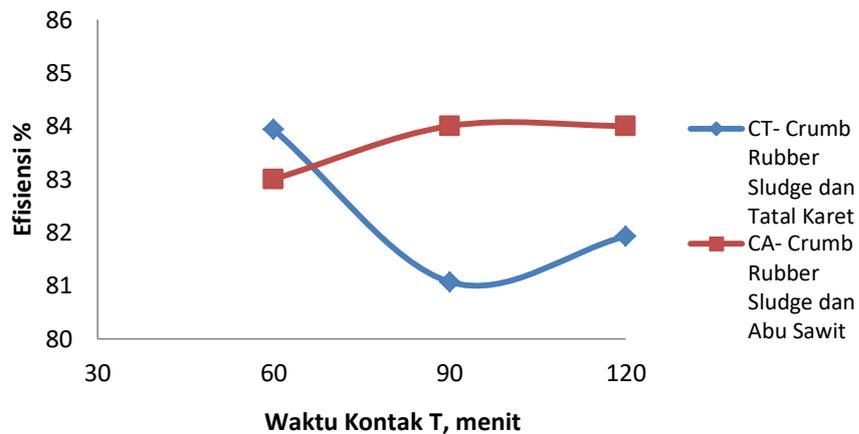


Gambar 4.18 Hasil Uji Parameter COD Terhadap Variasi Waktu Kontak

Dilihat pada gambar 4.18, setelah dilakukan pengolahan menggunakan adsorben CT, nilai COD mengalami penurunan di kondisi optimum waktu kontak 60 menit dengan penyisihan nilai COD sebesar 127,49 mg/l. Hal tersebut terjadi karena pada awal waktu kontak adsorben memiliki pori-pori dan situs aktif yang lebih banyak, sehingga kemampuan daya serap adsorben mengalami kenaikan.

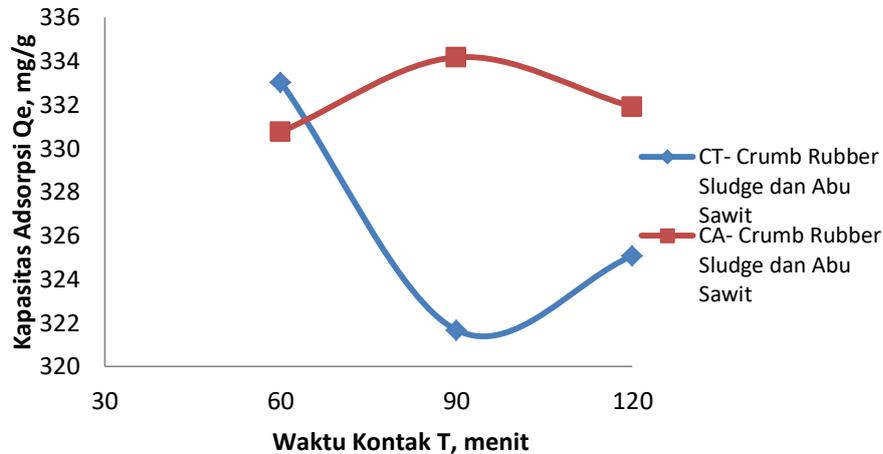
Pada adsorben CA, nilai COD mengalami penurunan di kondisi optimum waktu kontak 90 menit dengan penyisihan nilai COD sebesar 125,22 mg/l Menurut Suarya (2008), semakin lama waktu kontak adsorben maka semakin banyak kandungan bahan organik limbah karet yang terserap oleh adsorben. Waktu kontak yang lebih lama memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung baik, namun dalam kondisi waktu kontak tertentu adsorbat yang teradsorpsi akan menjadi konstan dimana situs aktif pada luas permukaan adsorben telah jenuh sehingga adsorbat akan terlepas dan terjadi kenaikan nilai konsentrasi pencemar.

Kemampuan adsorben CT dan adsorben CA dalam menyerap polutan berhasil dilakukan dengan baik, karena pengolahan air limbah karet dengan cara adsorpsi ini mampu menurunkan polutan dengan hasil pengolahannya berada di bawah baku mutu air limbah karet yang telah ditetapkan



Gambar 4.19 Efisiensi Parameter COD Terhadap Waktu Kontak

Berdasarkan gambar 4.19 dapat dijelaskan mengenai pengaruh waktu kontak terhadap efisiensi penyisihan konsentrasi pencemar COD. Perbandingan efisiensi waktu kontak optimum adsorben CT dicapai pada pengontakan selama 60 menit dengan efisiensi penyerapan sebesar 84%. Sedangkan pada adsorben CA, waktu kontak optimum dicapai di waktu kontak 90 menit dengan efisiensi penyerapan sebesar 84%. Pada awal waktu kontak terhadap adsorben CT penyisihan COD mengalami kenaikan kembali, hal ini disebabkan karena semakin lamanya polutan yang diserap dalam adsorben maka akan terjadi interaksi antara adsorben dan adsorbat yang kelewat jenuh, sehingga adsorbat yang telah terikat pada adsorben akan terdesorpsi dan kembali ke dalam larutan. (Putri, I.D, dkk, 2019).



Gambar 4.20 Kapasitas Adsorpsi Parameter COD Terhadap Variasi Waktu Kontak

Gambar 4.20 menunjukkan kapasitas adsorpsi COD tertinggi di capai pada waktu kontak 60 menit dengan nilai kapasitas adsorpsi sebesar 333,025 mg/g untuk adsorben CT dan pada adsorben CA kapasitas adsorpsi COD tertinggi di capai pada waktu kontak 90 menit dengan nilai kapasitas adsorpsi sebesar 334,160 mg/g.

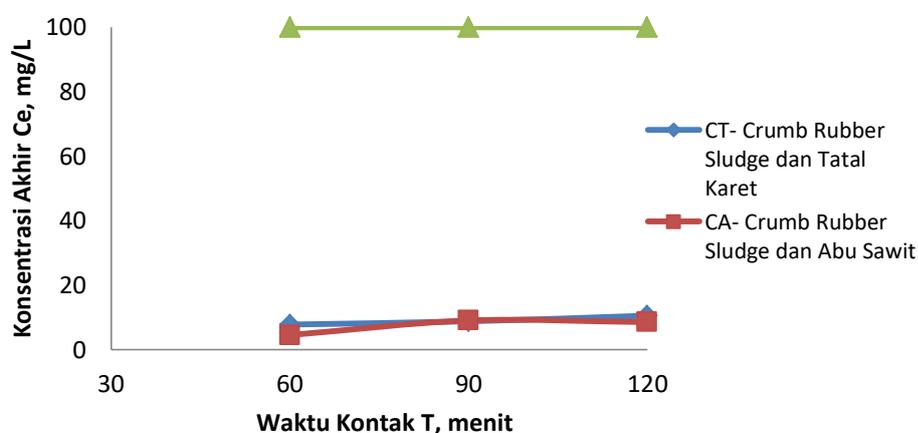
Perbedaan hasil kapasitas adsorpsi terhadap parameter COD dapat disebabkan pada molekul-molekul adsorbat yang tidak berikatan secara keseluruhan dengan sisi aktif dari adsorben CT dan adsorben CA, sehingga akan mengalami kenaikan dan penurunan pada nilai kapasitas adsorben. Sebagian adsorben pada awal waktu kontak dapat menyerap adsorbat dengan optimal seiring dengan bertambahnya waktu kontak, namun pada adsorben yang terlewat jenuh akan melepaskan adsorbatnya sehingga terjadi penurunan kapasitas adsorpsi setelah kondisi optimum (Suziyana, 2017).

3. Parameter TSS (*Total Suspended Solid*)

Bagian ini akan membahas tentang pengaruh waktu kontak terhadap penurunan kadar TSS limbah karet. Adsorben yang digunakan dibagi menjadi dua jenis yaitu adsorben CT dan adsorben CA. Variasi waktu kontak yang digunakan dalam hal ini adalah yaitu 60 menit, 90 menit dan 120 menit dengan mencampurkan adsorben seberat 1 gr di kecepatan pengadukan sebesar 120 rpm. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kondisi optimum waktu kontak. Hasil uji pengaruh waktu kontak terhadap penyisihan parameter TSS air limbah karet dapat dilihat pada tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil Uji Parameter TSS Terhadap Variasi Waktu Kontak

Adsorben	Waktu Kontak (menit)	Baku Mutu (mg/L)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Efisiensi Penyisihan (%)	Kapasitas x/m (mg/g)
CT	60	100	208	7,75	96	100,125
	90	100	208	8,75	96	99,625
	120	100	208	10,5	95	98,750
CA	60	100	208	4,50	98	101,750
	90	100	208	9,00	96	99,500
	120	100	208	8,50	96	99,750

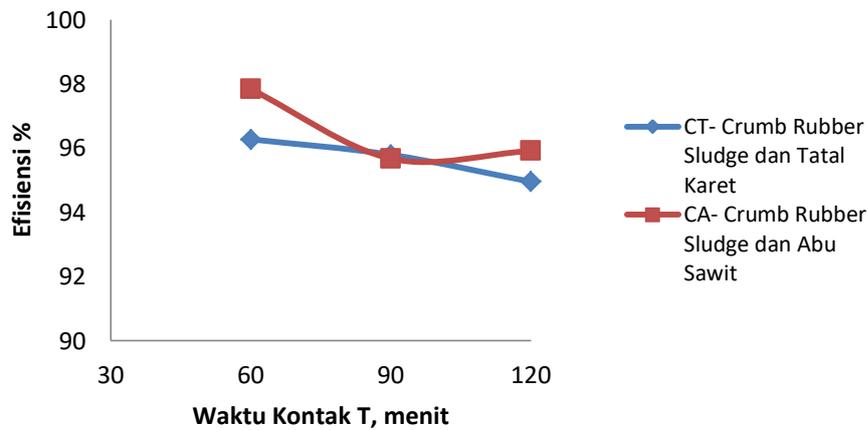


Gambar 4.21 Hasil Uji Parameter TSS Terhadap Variasi Waktu Kontak

Lamanya waktu kontak berkaitan dengan laju reaksi yang dinyatakan sebagai perubahan konsentrasi terhadap waktu. Dijelaskan pada gambar 4.21 setelah air limbah karet mengalami proses pengolahan menggunakan adsorben CT dan adsorben CA, kadar TSS memperoleh hasil penyerapan kadar tertinggi di waktu terendah. Kondisi optimum waktu kontak 60 menit/500 ml dengan penyisihan nilai TSS sebesar 7,75 mg/l pada adsorben CT dan penyisihan nilai TSS sebesar 4.50 mg/l untuk adsorben CA.

Menurut Isnah (2011), pada awal proses adsorpsi pori-pori adsorben masih masih terbebas dari partikel adsorbat dan peluang partikel adsorbat untuk terjatuh ke dalam pori-pori adsorben masih sangat besar, sehingga memungkinkan reaksi antara adsorben dan adsorbat akan saling mengikat antara satu sama lain sehingga akan tercapai titik setimbang.

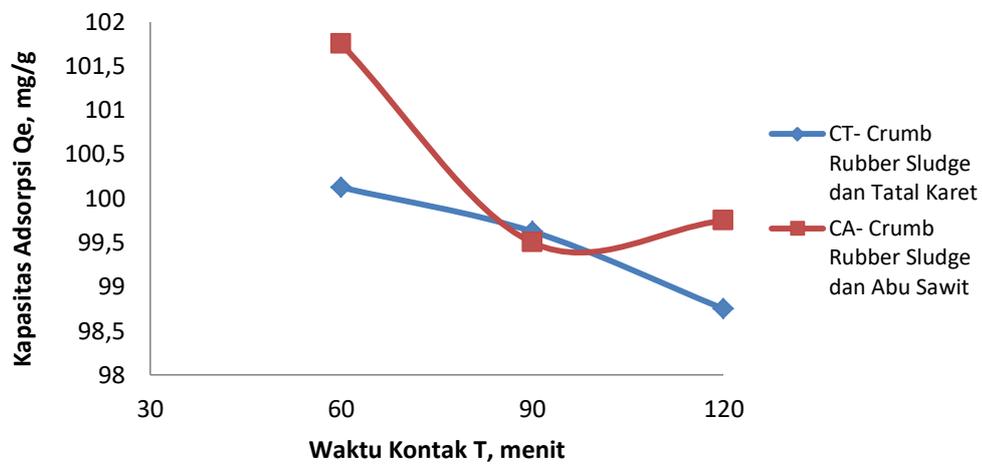
Proses pengolahan air limbah karet dengan memanfaatkan adsorben CT dan adsorben CA berhasil dilakukan, karena kedua jenis adsorben ini mampu menurunkan polutan dengan hasil pengolahannya berada di bawah baku mutu air limbah karet yang telah ditetapkan menurut Permen LH No, 5 Tahun 2014 Lampiran IV.



Gambar 4.22 Efisiensi Parameter TSS Terhadap Waktu Kontak

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh efisiensi penyerapan tertinggi pada waktu kontak 60 menit dengan efisiensi penyerapan sebesar 96% pada adsorben CT dan 98% untuk adsorben CA. Perbandingan efektivitas penyerapan antara adsorben CT dan adsorben CA saat diamati tidak terlihat memiliki perbedaan yang signifikan, dimana kedua jenis adsorben tersebut mampu menyerap polutan di kondisi optimum pada waktu kontak yang sama yaitu 60 menit.

Waktu kontak mempengaruhi efektivitas terhadap penyisihan kadar TSS pada proses adsorpsi. Hal ini sesuai dengan penelitian Said dkk, (2017) yang menyatakan bahwa, pada awal waktu kontak persentasi penyisihan kadar TSS dapat meningkat dengan baik, dimana pada kondisi awal waktu kontak adsorpsi akan berlangsung cepat karena kondisi adsorben sama sekali belum terisi dengan partikel adsorbat sehingga frekuensi terjadinya ikatan pada adsorben akan cukup tinggi dan meningkatkan nilai penyisihan. Perlu di perhatikan, waktu kontak antara adsorben dan adsorbat yang terlalu lama juga dapat mengakibatkan kondisi adsorben menjadi jenuh dan membuat adsorbat menjadi terlepas dan kembali pada larutan menyebabkan konsentrasi menjadi meningkat.



Gambar 4.23 Kapasitas Adsorpsi Parameter TSS Terhadap Variasi Waktu Kontak

Berdasarkan gambar 4.23 kapasitas adsorpsi adsorben CT dan adsorben CA terjadi di kondisi waktu optimum 60 menit, dengan nilai kapasitas adsorpsi sebesar 100,125 mg/g untuk adsorben CT dan 101,750 mg/g untuk adsorben CA. Kapasitas adsorpsi adsorben CT dan adsorben CA dapat meningkat pada awal waktu kontak. Pada kondisi awal waktu kontak akan terjadi peningkatan penyerapan adsorbat yang mencapai titik maksimal, sehingga penambahan waktu kontak tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap pengurangan zat organik pada sampel. Sejalan dengan penelitian Zian (2016) yang menyatakan bahwa, seiring bertambahnya waktu kontak maka menjadikan adsorbat yang terserap pada permukaan adsorben dapat meningkat apabila belum mengalami titik jenuh. Bila adsorben mengalami kejenuhan karena lamanya waktu kontak, kemungkinan terjadi kerusakan pada struktur adsorben sehingga proses adsorpsi berlangsung kurang optimal dan kapasitas adsorpsi menjadi menurun.

Dapat ditarik kesimpulan pada gambar 4.7; 4.10; 4.13; 4.16; 4.19; dan 4.22 mengenai efisiensi penyisihan parameter BOD, COD dan TSS terhadap variasi massa adsorben dan variasi waktu kontak, dimana hasil perbandingan efektivitas antara adsorben CT dan adsorben CA saat diamati antara keduanya, terlihat adsorben CT dan adsorben CA sama-sama mampu menyisihkan polutan dengan signifikan dimana hasil persentase penyisihan kedua jenis adsorben ini berada diatas 80%. Menurut Sugiyono (2013) apabila kategori persentase penyisihan berada diatas 80% maka artinya penyisihan polutan yang dihasilkan sangat efektif. Yang membedakannya hanya terletak pada kondisi optimum massa adsorben dan waktu kontak optimum yang berbeda-beda dalam mencapai efisiensi penyisihan polutan.

Hal ini dimungkinkan terjadi karena pengaruh terhadap campuran adsorben yang digunakan. Pada penelitian ini campuran adsorben yang dominan digunakan adalah CRS (*Crumb Rubber Sludge*). Menurut Salmariza. Sy (2012) CRS memiliki komponen utama yaitu berupa kandungan mikroorganisme, bakteri, jamur, protozoa, dan rotifera yang merupakan komponen biologis atau massa biologis dalam lumpur aktif. Salmariza Sy, (2012) juga menyebutkan kandungan lumpur aktif hasil pengolahan air limbah karet berupa mikroorganisme secara efisien dikatakan mampu menyerap polutan karena penyerapannya dapat dilakukan melalui mekanisme kimia dan fisika, dengan cara mengadsorpsi polutan. Proses ini secara keseluruhan disebut biosorpsi. Dimana proses biosorpsi ini berlangsung dengan cepat dan dapat terjadi dengan baik pada mikroorganisme hidup maupun mati.

4.4 Analisis Mekanisme Adsorpsi Menggunakan Metode Langmuir dan Freundlich

Penentuan isoterm adsorpsi dilakukan untuk menentukan performa penyerapan atau model kesetimbangan yang digunakan untuk mempermudah dalam menganalisis karakteristik isoterm berupa kapasitas dan mekanisme proses biosorpsi. Persamaan isoterm adsorpsi yang dibahas dalam percobaan ini adalah Langmuir dan Freundlich. Penentuan isoterm adsorpsi yang sesuai dengan percobaan ini dapat dibuktikan melalui koefisien korelasi (R^2) yang ditunjukkan pada grafik linearisasi kedua model tersebut.

Data yang dievaluasi pada isoterm adsorpsi diambil dari hasil percobaan yang menentukan konsentrasi BOD, COD dan TSS pada massa adsorben yang digunakan adalah 1gr/500 ml. Perhitungan Isotherm Langmuir dan Freundlich pada adsorben CT (*Crumb Rubber Sludge* dan Tatal Karet) dan adsorben CA (*Crumb Rubber Sludge* dan Abu Sawit) terdapat pada beberapa parameter yang dilihat pada tabel 4.8 dan 4.9.

1. Parameter BOD (*Biologi Oxigen Demand*)

Perhitungan isotherm Langmuir dan Freundlich dengan adsorben CT dan adsorben CA terdapat pada tabel 4.8 dan 4.9.

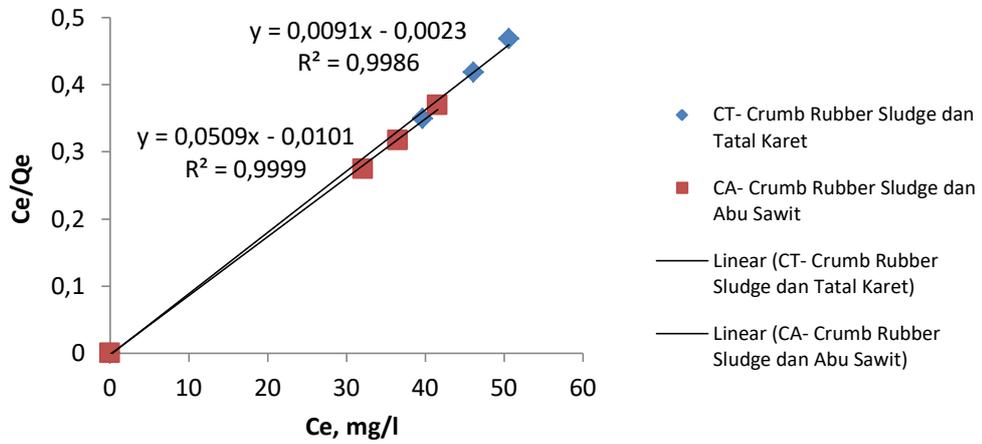
Tabel 4.8 Perhitungan Isotherm Langmuir pada Adsorben CT dan Adsorben CA

Adsorben	Waktu Kontak	Cin (mg/l)	Ce (mg/l)	Qe (mg/l)	Ce/Qe
CT	60	266,74	39,69	113,53	0,3496
	90	266,74	50,64	108,05	0,4687
	120	266,74	46,16	110,29	0,4185
CA	60	266,74	41,57	112,59	0,3692
	90	266,74	36,53	115,11	0,3174
	120	266,74	32,15	117,30	0,2741

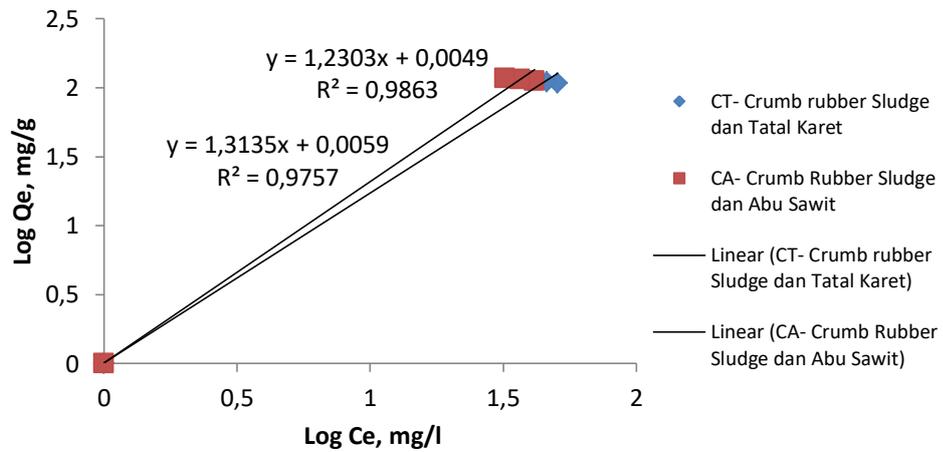
Tabel 4.9 Perhitungan Isotherm Freundlich pada Adsorben CT dan Adsorben CA

Adsorben	Waktu Kontak	Cin (mg/l)	Ce (mg/l)	Log Ce	Qe (mg/g)	Log Qe
CT	60	266,74	39,69	1,599	113,53	2,055
	90	266,74	50,64	1,704	108,05	2,034
	120	266,74	46,16	1,664	110,29	2,043
CA	60	266,74	41,57	1,619	112,59	2,051
	90	266,74	36,53	1,563	115,11	2,061
	120	266,74	32,15	1,507	117,30	2,069

Dari tabel 4.8 dan 4.9 yang diolah berdasarkan isotherm Langmuir dan Freundlich diperoleh kurva pada gambar 4.24 dan 4.25.



Gambar 4.24 Model Isotherm Langmuir pada Adsorben CT dan CA



Gambar 4.25 Model Isotherm Freundlich pada Adsorben CT dan CA

Dari gambar 4.24 dan 4.25 yang diolah berdasarkan model isotherm langmuir dan freundlich diperoleh konstanta yang dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Konstanta Isotherm Freundlich dan Langmuir adsorben CT dan CA

Jenis Adsorben	Model	Parameter		R ²
CT	Langmuir	Q _o	109,890	0,9986
		b	3,957	
		R _L	0,001	
	Freundlich	K _f	1,011	0,9863
		n	0,813	
CA	Langmuir	Q _o	113,636	0,9999
		b	5,500	
		R _L	0,001	
	Freundlich	K _f	1,014	0,9757
		n	0,761	

Berdasarkan tabel 4.10 untuk model langmuir pada adsorben CT didapat koefisien korelasi (R²) sebesar 0,9986 sedangkan adsorben CA koefisien korelasi (R²) sebesar 0,9999. Untuk model freundlich pada adsorben CT didapat koefisien korelasi (R²) sebesar 0,9863 sedangkan adsorben CA koefisien korelasi (R²) sebesar 0,9757.

Berdasarkan hal ini dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien korelasi (R²) model langmuir lebih mendekati 1 dibandingkan dengan model freundlich. Dari kedua hasil yang didapatkan terlihat bahwa grafik yang dihasilkan selalu naik mendatar. Hal ini berarti adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi monolayer, yang mana langmuir menjabarkan bahwa pada situs aktif tersebut hanya dapat mengadsorpsi satu molekul.

Adsorpsi yang terjadi dapat berlangsung secara fisika dan kimia, dilihat dari gambar 4.24 dan 4.25 adsorpsi yang terjadi adalah adsorpsi secara kimia. Adsorpsi kimia terjadi karena terbentuknya ikatan antara situs aktif dari adsorben

dengan zat yang teradsorpsi. Atau dapat dikatakan bahwa model kesetimbangan adsorpsi langmuir dapat mewakili reaksi yang terjadi pada proses adsorpsi BOD dimana proses penyerapannya terjadi hanya pada permukaan dan membentuk satu lapisan (monolayer) (Salmariza. Sy, 2012).

2. Parameter COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Perhitungan isotherm Langmuir dan Freundlich dengan adsorben CT dan adsorben CA terdapat pada tabel 4.11

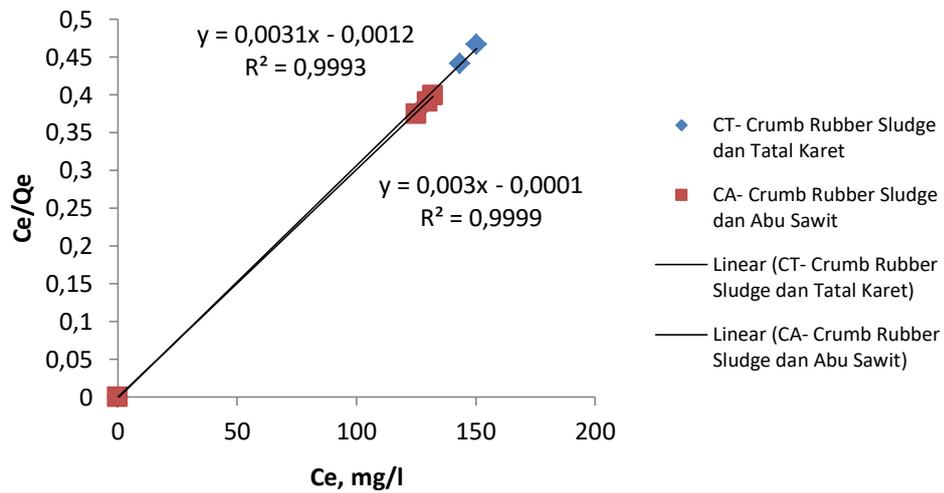
Tabel 4.11 Perhitungan Isotherm Langmuir pada Adsorben CT dan Adsorben CA

Adsorben	Waktu Kontak	Cin (mg/l)	Ce (mg/l)	Qe (mg/l)	Ce/Qe
CT	60	793,54	127,49	333,03	0,3828
	90	793,54	150,22	321,66	0,4670
	120	793,54	143,40	325,07	0,4411
CA	60	793,54	132,04	330,75	0,3992
	90	793,54	125,22	334,16	0,3747
	120	793,54	129,76	331,89	0,3910

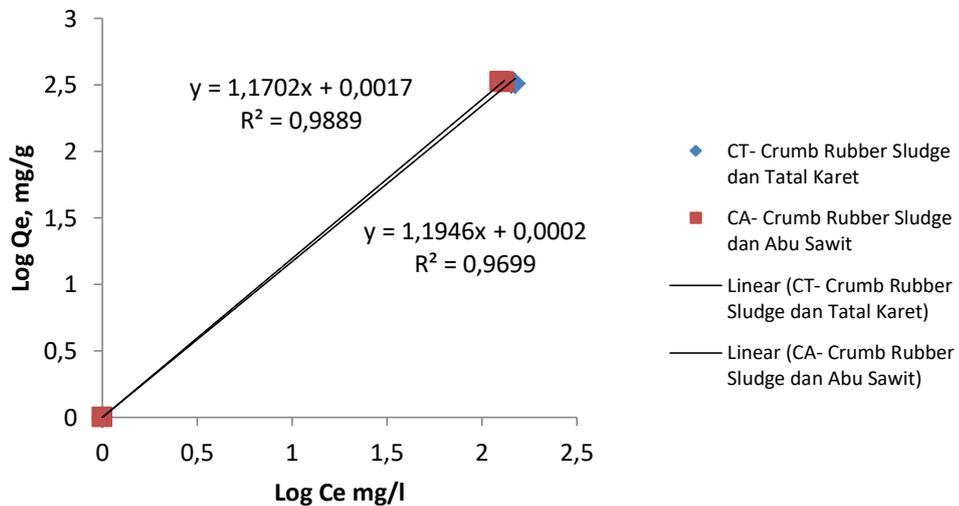
Tabel 4.12 Perhitungan Isotherm Freundlich pada Adsorben CT dan Adsorben CA

Adsorben	Waktu Kontak	Cin (mg/l)	Ce (mg/l)	Log Ce	Qe (mg/g)	Log Qe
CT	60	793,54	127,49	2,105	333,03	2,522
	90	793,54	150,22	2,177	321,66	2,507
	120	793,54	143,40	2,157	325,07	2,512
CA	60	793,54	132,04	2,121	330,75	2,519
	90	793,54	125,22	2,098	334,16	2,524
	120	793,54	129,76	2,113	331,89	2,521

Dari tabel 4.11 dan tabel 4.12 yang diolah berdasarkan isotherm Langmuir dan Freundlich diperoleh kurva pada gambar 4.26 dan 4.27.



Gambar 4.26 Grafik Isotherm Langmuir pada Adsorben CT dan CA



Gambar 4.27 Grafik Isotherm Freundlich pada Adsorben CT dan CA

Dari gambar 4.26 dan 4.27 yang diolah berdasarkan model isotherm langmuir dan freundlich diperoleh konstanta yang dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Konstanta Isotherm Freundlich dan Langmuir adsorben CT dan CA

Jenis Adsorben	Model	Parameter		R ²
CT	Langmuir	Q _o	322,581	0,9993
		b	2,583	
		R _L	0,0005	
	Freundlich	K _f	1,004	0,9889
		n	0,855	
CA	Langmuir	Q _o	333,333	0,9999
		b	3,000	
		R _L	0,0004	
	Freundlich	K _f	1,000	0,9699
		n	0,837	

Dari tabel 4.13 terlihat untuk model langmuir pada adsorben CT didapat koefisien korelasi (R²) sebesar 0,9993 sedangkan adsorben CA koefisien korelasi (R²) sebesar 0,9999. Untuk model freundlich pada adsorben CT didapat koefisien korelasi (R²) sebesar 0,9889 sedangkan adsorben CT koefisien korelasi (R²) sebesar 0,9699.

Dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai koefisien korelasi (R²) yang diperoleh pada adsorpsi parameter pencemar air limbah karet dari kedua jenis adsorben lebih mengikuti model isotherm langmuir, hal ini dibuktikan dengan nilai koefisien korelasi (R²) lebih mendekati 1 dibandingkan dengan model freundlich. Sehingga dapat diasumsikan bahwa adsorpsi pada adsorbat COD yang terjadi pada permukaan adsorben CT dan adsorben CA bersifat homogen dan adsorbat teradsorpsi dalam bentuk tunggal (monolayer). Hal ini memungkinkan adsorpsi berlangsung secara kimiawi karena secara normal bahan yang teradsorpsi membentuk lapisan diatas permukaan berupa molekul-molekul yang tidak dapat

bergerak dengan bebas dari permukaan satu ke permukaan lainnya. Sehingga ikatan yang terjadi membentuk lapisan adsorpsi tunggal pada permukaan adsorben (monolayer) (Salmariza Sy, dkk, 2013).

3. Parameter TSS (*Total Suspended Solid*)

Perhitungan isotherm Langmuir dan Freundlich pada adsorben CT dan adsorben CA terdapat pada tabel 4.14

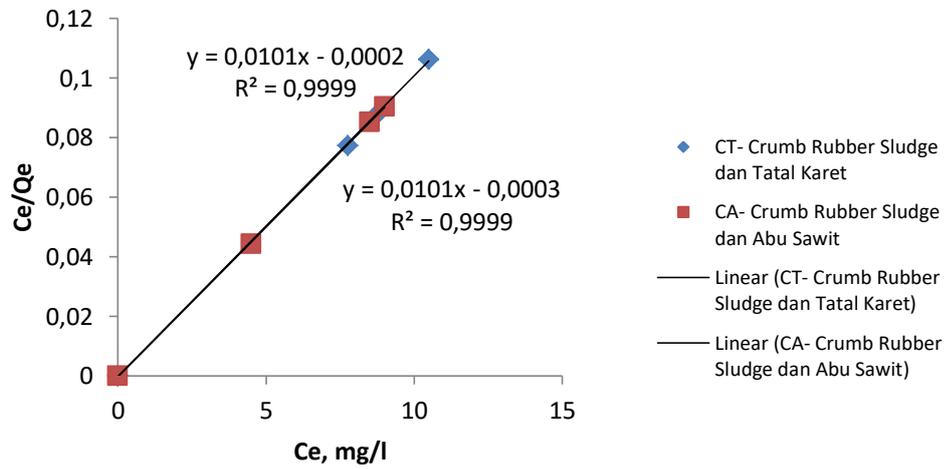
Tabel 4.14 Perhitungan Isotherm Langmuir pada Adsorben CT dan Adsorben CA

Adsorben	Waktu Kontak	Cin (mg/l)	Ce (mg/l)	Qe (mg/l)	Ce/Qe
CT	60	208	7,75	100,13	0,0774
	90	208	8,75	99,63	0,0878
	120	208	10,5	98,75	0,1063
CA	60	208	4,50	101,75	0,0442
	90	208	9,00	99,50	0,0905
	120	208	8,50	99,75	0,0852

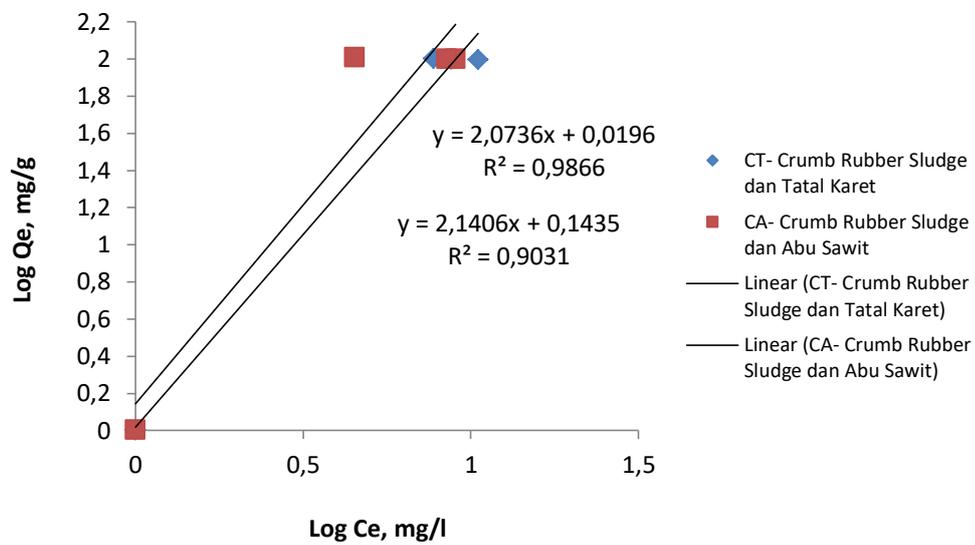
Tabel 4.15 Perhitungan Isotherm Freundlich pada Adsorben CT dan Adsorben CA

Adsorben	Waktu Kontak	Cin (mg/l)	Ce (mg/l)	Log Ce	Qe (mg/g)	Log Qe
CT	60	208	7,75	0,889	100,13	2,001
	90	208	8,75	0,942	99,63	1,998
	120	208	10,5	1,021	98,75	1,995
CA	60	208	4,50	0,653	101,75	2,008
	90	208	9,00	0,954	99,50	1,998
	120	208	8,50	0,929	99,75	1,999

Dari tabel 4.14 dan tabel 4.15 yang diolah berdasarkan isotherm Langmuir dan Freundlich diperoleh kurva pada gambar 4.28 dan 4.29.



Gambar 4.28 Grafik Isotherm Langmuir pada Adsorben CT dan CA



Gambar 4.29 Grafik Isotherm Freundlich pada Adsorben CT dan CA

Dari gambar 4.28 dan 4.29 yang diolah berdasarkan model isotherm langmuir dan freundlich diperoleh konstanta yang dilihat pada tabel 4.16.

Tabel 4.16 Konstanta Isotherm Freundlich dan Langmuir adsorben CT dan CA

Jenis Adsorben	Model	Parameter		R ²
CT	Langmuir	Q _o	99,010	0,9999
		b	51	
		R _L	0,0001	
	Freundlich	K _f	1,046	0,9866
		n	0,482	
CA	Langmuir	Q _o	99,010	0,9999
		b	33,67	
		R _L	0,0001	
	Freundlich	K _f	1,392	0,9031
		n	0,467	

Berdasarkan tabel 4.16 model isotherm langmuir pada adsorben CT didapat koefisien korelasi (R²) sebesar 0,9999 sedangkan adsorben CA koefisien korelasi (R²) sebesar 0,9999. Untuk model freundlich pada adsorben CT didapat koefisien korelasi (R²) sebesar 0,9866 sedangkan adsorben CT koefisien korelasi (R²) sebesar 0,9031.

Dari tabel 4.16 disimpulkan bahwa adsorpsi TSS oleh adsorben CT dan adsorben CA memenuhi isotherm adsorpsi pada model langmuir dengan nilai koefisien korelasi (R²) lebih mendekati 1 dibandingkan dengan model isotherm freundlich, langmuir menjabarkan teori adsorpsinya bahwa pada permukaan adsorben terdapat sejumlah situs aktif tertentu yang proporsional dengan luas permukaan yang hanya dapat mengadsorpsi satu molekul, dimana proses penjerapan terjadi hanya pada permukaan dan membentuk satu lapisan (monolayer) sehingga adsorpsi ini terjadi secara kimia (Salmariza. Sy, 2012).

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Model *isotherm* yang sesuai untuk adsorpsi adsorben *crumb rubber sludge*, tatal karet dan abu sawit yaitu model *isotherm* Langmuir yang berlangsung secara kimia.
2. Hasil adsorpsi adsorben yang paling efektif terhadap pengaruh massa adsorben yaitu, adsorben CT mengadsorpsi konsentrasi pencemar BOD pada massa optimum seberat 1,5 gr dengan penyisihan sebesar 33.4 mg/l (87%), adsorben CT mampu mengadsorpsi pencemar COD dimassa optimum 1.5 gr dengan penyisihan sebesar 111.58 mg/l (86%), dan pada parameter TSS adsorben CA mampu mengadsorpsi polutan dimassa optimum 1 gr dengan penyisihan sebesar 13.00 mg/l (94%).
3. Hasil adsorpsi adsorben yang paling efektif terhadap variasi waktu kontak dalam menyisihkan air limbah karet yaitu, adsorben CA mampu mengadsorpsi konsentrasi pencemar BOD diwaktu kontak optimum 120 menit dengan serapan 32.15 mg/l (88%), untuk konsentrasi pencemar COD adsorben CA mampu mengadsorpsi polutan pada waktu kontak optimum 90 menit dengan serapan 125.22 mg/l (84%), dan pada parameter TSS adsorben CA mampu mengadsorpsi konsentrasi pencemar pada waktu optimum 60 menit dengan serapan sebesar 4.50 mg/l (98%).

5.2 Saran

Saran untuk penelitian yang akan datang adalah sebagai berikut :

1. Diperlukan variasi ukuran partikel dan variasi kecepatan pengadukan untuk mendapatkan kondisi optimum partikel dan kondisi optimum kecepatan pengadukan.
2. Perlu dilakukan adsorpsi dengan menggunakan adsorben CT (*Crumb Rubber Sludge* dengan Tatal Karet) dan adsorben CA (*Crumb Rubber Sludge* dengan Abu Sawit) terhadap adsorbat lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Mohd. Rafatullah., Arniza Ghazali, Othman Sulaiman dan Rokiah Hashim. (2011). *Oil Palm Biomass-Based Adsorbents For The Removal Of Water Pollutans A Riview*. Universitas Sains Malaysia; Penang.
- Anggraini, S. (2017). Efektivitas Abu Kelapa Sawit Untuk Menurunkan BOD dan COD Dari Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Padang Tualang. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Apriliani, A. (2010). Pemanfaatan Arang Ampas Tebu sebagai Adsorben Ion Logam Cd, Cr, Cu dan Pb dalam Air Limbah. Skripsi. UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Arfan, Y. (2006). Pembuatan Karbon Aktif Berbahan Dasar Batubara dengan perlakuan Aktivasi Terkontrol Serta Uji Kinerjanya. Teknik Kimia, Universitas Indonesia.
- Astianto, Ardi. (2012). Pemberian Berbagai Dosis Abu Boiler Pada Pembibitan Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis Jacq*) di Pembibitan Utama (*Main Nursery*). Skripsi Sarjana, Fakultas Pertanian, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Chasri Nurhayati, dkk. (2013). Optimasi Pengolahan Limbah Cair Karet Remah Menggunakan Mikroalga Indigen dalam Menurunkan Kadar BOD, COD, TSS. Universitas Sriwijaya., Palembang.
- Daud D. (2012). Pemanfaatan Limbah Padat Industri Karet Remah Sebagai Bahan Tambahan Pada Pembuatan Kompon Karet. Laporan Balai Riset dan Standardisasi Industri Palembang.
- Dewi, D.S, dkk (2020). Pengolahan Air Limbah Industri Karet Remah (*Crumb Rubber*) dengan Menggunakan Reagen Feton. Universitas Tamansiswa. Palembang.
- Elhusna, dkk. (2013). Perilaku Kuat Tekan Mortar Semen Pasangan Dengan Abu Sabut Cangkang Sawit Yang Dioven dan Tidak Dioven, Jurnal Inersia. Vol. 5 No. 1.
- Falah Hudan. (2012). Abu Boiler Sebagai Bahan Pengganti Semen Dalam Campuran Beton dan Perbandingannya Dengan Beton Normal. Skripsi. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Farandia R. Y., Monita Olivia., dan Lita Darmayanti. (2015). Kinerja Beton High Volume *Palm Oil Fuel Ash* (POFA). Jurnal Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Riau; Pekanbaru.

- Irfan Syafrianda, dkk.(2017). Pengaruh Waktu Kontak dan Laju Pengadukan Terhadap Adsorpsi Zat Warna Pada Air Gambut Menggunakan Adsorben Limbah *Biossolid Land Application* Industri Minyak Kelapa Sawit. Jurnal Mahasiswa Teknik Lingkungan. Universitas Riau. Volume 4 no.2.
- Isra Desmita Putri, dkk. (2019). Pengaruh Massa Dan Waktu Kontak Adsorben Cangkang Buah Ketapang Terhadap Efisiensi Penyisihan Logam Fe dan Zat Organik Pada Air Gambut. Jurnal Mahasiswa Teknik Lingkungan. Universitas Riau. Volume 6 Edisi 2.
- Jatu Taufiq Swastha. (2010). Kemampuan Arang Aktif Dari Kulit Singkong dan Dari Tongkol Jagung Dalam Penurunan Kadar COD dan BOD Limbah Pabrik Tahu. Skripsi. Universitas Negeri Semarang.
- Katry, (2012). Efektivitas Pemberian Bahan Organik Limbah Tatal Karet dan Pupuk NPKM_g Terhadap Pertumbuhan Bibibt Aren (*Arrenga pinnata Merr*). Universitas Andalas. Padang.
- Keputusan Menteri Lingkungan Hidup. (2014). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Ilimbah. Jakarta. Sekretariat LH.
- Monsalvo, V.M., Mohedano, A.F., Rodriguez, J.J., (2011). *Activated Carbons from Sewage Sludge. Application to Aqueous-phase Adsorption of 4-chlorophenol. Desalination* 277, 377-382.
- Nasruddin. (2017) Pemanfaatan Karet Limbah Industri Crumb Rubber Sebagai Substitusi Karet Sir Pada Pembuatan Suku Cadang Sepeda Motor. Balai Riset dan Standarisasi Industri Palembang.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Puspita M., M. Lutfi Firdaus, Nurhamidah., Pemanfaatan Arang Aktif Sabut Kelapa Sawit Sebagai Adsorben Zat Warna Sintesis *Reactive Red-120* dan *Direct Green-26*. *Alotrop*. 2017 : 1 (1) : 75.79.
- Rahmayani., F dan Siswarni, M.Z. (2013). Pemanfaatan Limbah Batang Jagung Sebagai Adsorben Alternatif Pada Pengurangan Kadar Klorin Dalam Air Olahan (*Treated Water*). Jurnal Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Resti Hariyani, dkk. (2013). Pemanfaatan Limbah Lumpur Industri *Crumb Rubber* Sebagai Adsorben Ion Cr (VI) Yang Diaktivasi Dengan H₂PO₄. Jurnal Penelitian Ilmu Kimia. Vol. 2 No. 2, hal : 101. Universitas Negeri Padang.

- Reza, Muhammad., Rahmi Kalorina., dan Johannes Tarigan., (2104). Pengaruh Limbah Abu Boiler dan Fly Ash Sebagai Bahan Pengganti Semen Dalam Campuran Beton. Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Said, N. (2017) Teknologi Pengolahan Air Limbah. Jakarta : Erlangga SETAC (*The Society of Environmental Toxicology and Chemistry*). Pantacola.
- Salmariza, Sy, dkk. (2016). Adsorpsi Ion Cr (VI) Menggunakan Adsorben dari Limbah Padat Lumpur Aktif Industri Crumb Rubber. Vol. 6 No.4 Hal : 135-145. Baristand Industri Padang.
- Salmariza. Sy (2012). Pemanfaatan Limbah Lumpur Proses *Activated Sludge* Industri Karet Remah Sebagai Adsorben. Jurnal Riset Industri, Volume IV (2). Hal 59-66. Baristand Industri Padang.
- Sarengat, Nursamsi dkk. (2015). Pengaruh Penggunaan Adsorben Terhadap Kandungan Amonia (NH₃-N) Pada Limbah Cair Industri Karet RSS. Balai Besar Kulit, Karet, dan Plastik. Yogyakarta.
- Sentosa, L. (2015). Kinerja Laboratorium Campuran Hot Rolled Asphalt dengan Abu Sawit Sebagai Filler. Simposium VIII forum Studi Transportasi Antar-Perguruan Tinggi. (FSTPT). Palembang; Universitas Sriwijaya.
- Suarya, P., 2008. Adsorpsi Pengotor Minyak Daun Cengkeholeh Lempung Teraktivasi Asam, *Jurnal Kimia*, 2 (1) : 19-24.
- Suziyana, dkk. (2017). Pengaruh Massa Adsorben Batang Pisang dan Waktu Kontak Adsorpsi Terhadap Efisiensi Penyisihan Fe dan Kapasitas Adsorpsi Pada Pengolahan Air Gambut. Jurnal Mahasiswa Teknik Lingkungan. Universitas Riau. Vol. 4 No.1.
- Telaumbanua, J.P. (2017). Penggunaan Fly Ash dan Bottom Ash Boiler Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Adsorben Untuk Mengadsorpsi Warna Pada Limbah Cair Buatan. Skripsi. Teknik Lingkungan. Universitas Sumatera Utara.
- Yahya, Z. (2013). *Riview on the Various Ash From Palm Oil Waste as Geopolymer Material. Red, Adv, Master. Sci.* 34; Universitas Malaysia Perlis (UniMAP). Hal. 37-43.
- Yelvi., dan Mukhlis. (2013). Evaluasi Kinerja Campuran Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC) Memakai Limbah Abu-CPO Sebagai Filler. Jurnal Rekayasa Sipil.
- Zian, dkk. (2016). Pengaruh Waktu Kontak pada Adsorpsi Remazol Violet 5R Menggunakan Adsorben Nata de Coco. Jurnal Sains dan Seni ITS. Vol.5 No. 2.

Lampiran 1 : Hasil Uji Sampel Eksperimen



**LABORATORIUM LINGKUNGAN
PT. JAMBI LESTARI INTERNASIONAL**

**LAPORAN HASIL PENGUJIAN
CERTIFICATE OF ANALYSIS
LAB-JLI-21111027A**

Identifikasi Laboratorium/ Laboratory Identification	Identifikasi Contoh Uji/ Sampel Identification	Matriks/ Matrix	Tanggal Pengambilan/ Date of Sampling
LAB-JLI-21111027A 1/13	AL-1 (Sampel No 01)	Air Limbah	-
LAB-JLI-21111027A 2/13	AL-2 (Sampel No 02)	Air Limbah	-
LAB-JLI-21111027A 3/13	AL-3 (Sampel No 03)	Air Limbah	-
LAB-JLI-21111027A 4/13	AL-4 (Sampel No 04)	Air Limbah	-
LAB-JLI-21111027A 5/13	AL-5 (Sampel No 05)	Air Limbah	-
LAB-JLI-21111027A 6/13	AL-6 (Sampel No 06)	Air Limbah	-
LAB-JLI-21111027A 7/13	AL-7 (Sampel No 07)	Air Limbah	-
LAB-JLI-21111027A 8/13	AL-8 (Sampel No 08)	Air Limbah	-
LAB-JLI-21111027A 9/13	AL-9 (Sampel No 09)	Air Limbah	-
LAB-JLI-21111027A 10/13	AL-10 (Sampel No 10)	Air Limbah	-
LAB-JLI-21111027A 11/13	AL-11 (Sampel No 11)	Air Limbah	-
LAB-JLI-21111027A 12/13	AL-12 (Sampel No 12)	Air Limbah	-
LAB-JLI-21111027A 13/13	AL-13 (Sampel No 13)	Air Limbah	-

NO	PARAMETER	HASIL / RESULT					BML / EQS*	SATUAN / UNIT	METODE / METHOD
		AL-1	AL-2	AL-3	AL-4	AL-5			
I FISIKA/PHYSICS									
1	Padatan Tersuspensi Total/Total Suspended Solids, (TSS)	208.00	24.50	14.50	17.00	14.50	-	mg/L	APHA 2540-D 2017
II KIMIA/CHEMICAL									
2	Kebutuhan Oksigen Biokimia/Biochemical Oxygen Demand, (BOD ₅)	266.74	44.07	39.60	33.40	37.08	-	mg/L	SNI 6989.72:2009
3	Kebutuhan Oksigen Kimiawi/Chemical Oxygen Demand, (COD)	793.54	132.04	113.85	111.58	113.85	-	mg/L	IKM.JLI-12 (Spektrofotometer)

NO	PARAMETER	HASIL / RESULT					BML / EQS*	SATUAN / UNIT	METODE / METHOD
		AL-6	AL-7	AL-8	AL-9	AL-10			
I FISIKA/PHYSICS									
1	Padatan Tersuspensi Total/Total Suspended Solids, (TSS)	13.00	13.00	9.00	10.50	8.50	-	mg/L	APHA 2540-D 2017
II KIMIA/CHEMICAL									
2	Kebutuhan Oksigen Biokimia/Biochemical Oxygen Demand, (BOD ₅)	40.85	45.07	36.53	46.16	32.15	-	mg/L	SNI 6989.72:2009
3	Kebutuhan Oksigen Kimiawi/Chemical Oxygen Demand, (COD)	120.67	141.13	125.22	143.40	129.76	-	mg/L	IKM.JLI-12 (Spektrofotometer)

NO	PARAMETER	HASIL / RESULT			BML / EQS*	SATUAN / UNIT	METODE / METHOD
		AL-11	AL-12	AL-13			
I FISIKA/PHYSICS							
1	Padatan Tersuspensi Total/Total Suspended Solids, (TSS)	7.75	4.50	8.75	-	mg/L	APHA 2540-D 2017
II KIMIA/CHEMICAL							
2	Kebutuhan Oksigen Biokimia/Biochemical Oxygen Demand, (BOD ₅)	39.69	41.57	50.64	-	mg/L	SNI 6989.72:2009
3	Kebutuhan Oksigen Kimiawi/Chemical Oxygen Demand, (COD)	127.49	132.04	150.22	-	mg/L	IKM.JLI-12 (Spektrofotometer)

Keterangan/Note:

(*) BML -

EQS -

(*) Laboratorium tidak bertanggungjawab terhadap proses pengambilan contoh uji/ The laboratory is not responsible for sampling process

Hasil hanya berhubungan dengan contoh yang di uji dan laporan ini tidak boleh digandakan kecuali seluruhnya.
The result relate only to the samples tested and this report shall not be reproduced except in full.

Lampiran 2 : Lembar Asistensi

Program Studi Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Batanghari

Form : TLD-05

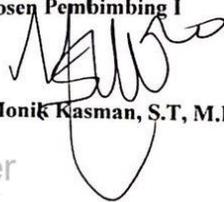
HALAMAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Dwi Puspita Rani
NPM : 1700825201008
Judul Tugas Akhir : Modifikasi Adsorben Campuran *Crumb Rubber Sludge*
dengan Tatal Karet dan Abu Sawit Untuk Penyisihan
Parameter Air Limbah Industri *Crumb Rubber*

No.	Tanggal	Kegiatan/Pembahasan	Paraf
1	13/2021 10/21	<ul style="list-style-type: none">- Bab I OK- Bab II OK- Lanjut Bab III	
2	28/2021 10/21	<ul style="list-style-type: none">- Perbaiki kata dan kalimat- Perbaiki tempat dan waktu Penelitian- Perbaiki referensi Sumber Data- Perbaiki Variabel Terikat+ Tabel Variasi Eksperimen- Perbaiki diagram alir Penelitian- Lanjut ke pembuatan Adsorben & prosedur Eksperimen	

Jambi, 17 September 2021

Dosen Pembimbing I


(Monik Kasman, S.T, M.Eng, Sc.)

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Batanghari	Form : TLD-05
---	---------------

HALAMAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

N a m a : Dwi Puspita Rani
NPM : 1700825201008
Judul Tugas Akhir : Modifikasi Adsorben Campuran *Crumb Rubber Sludge*
dengan Tatal Karet dan Abu Sawit Untuk Penyisihan
Parameter Air Limbah Industri *Crumb Rubber*

No.	Tanggal	Kegiatan/Pembahasan	Paraf
	04-09-2021	Bab III Perbaiki: Pembaca abstrak + Pemb. eksperimen + diagram abstrak + Audiob dan dan. deteksi eksperimen.	
	08-09-2021	Azcc proposal	
	21-10-2021	Azcc Ditid Sempro.	

Jambi, 17 Sept 2021

Dosen Pembimbing I


(Monik Kasman, S.T, M.Eng, Sc.)

HALAMAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

N a m a : Dwi Puspita Rani
NPM : 1700825201008
Judul Tugas Akhir : Modifikasi Adsorben *Crumb Rubber Sludge* dengan
Tatal Karet dan Abu Sawit Untuk Penyisihan Parameter
Air Limbah Industri *Crumb Rubber*

No.	Tanggal	Kegiatan/Pembahasan	Paraf
	03-10-2021	Bab I. Kajian masalah dan tipe Bab II - da Bab III - Bab III perbaikan teknologi	
	12-10-2021	I - III → da ke p1)	

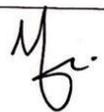
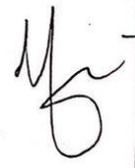
Jambi, _____ 2021

Dosen Pembimbing I

(Monik Kasman, S.T, M.Eng, Sc.)

HALAMAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Dwi Puspita Rani
NPM : 1700825201008
Judul Tugas Akhir : Modifikasi Adsorben *Crumb Rubber Sludge* dengan
Tatal Karet dan Abu Sawit Untuk Penyisihan Parameter
Air Limbah Industri *Crumb Rubber*

No.	Tanggal	Kegiatan/Pembahasan	Paraf
	28/2021 /12	Bab IV. -Perbaiki sub & sub sub bab. - Gambar - Lanjutkan pembuatan Hg Lathern	
	29/2021 /12	- Bab IV Perbaiki gambar + lathern bagian bab IV	

Jambi, _____, 2021

Dosen Pembimbing I

(Monik Kasman, S.T, M.Eng, Sc.)

HALAMAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Dwi Puspita Rani
NPM : 1700825201008
Judul Tugas Akhir : Analisis Efektivitas Adsorben *Crumb Rubber Sludge*
dengan Tatal Karet dan Abu Sawit Untuk Penyisihan
Parameter Air Limbah Industri *Crumb Rubber*

No.	Tanggal	Kegiatan/Pembahasan	Paraf
	11/01-2021	Bab VI - Bab VII - Pembahasan gambar part tambah MO	
	07/02/2021	Bab VIII - Pembahasan kesimpulannya ke P-II ACC sedang	

Jambi, _____ 2021

Dosen Pembimbing I



(Monik Kasman, S.T, M.Eng, Sc.)

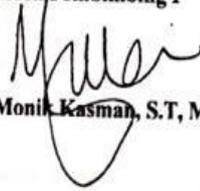
HALAMAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Dwi Puspita Rani
 NPM : 1700825201008
 Judul Tugas Akhir : Analisis Efektivitas Adsorben Campuran *Crumb Rubber Sludge* Dengan Tatal Karet dan Abu Sawit Untuk Penyisihan Air Limbah Industri *Crumb Rubber*

No.	Tanggal	Kegiatan/Pembahasan	Paraf
	05/03-22	ok! la. p II	
	14/03-22	Acc Jilid.	

Jambi, _____ 2022

Dosen Pembimbing I


 (Monik Kasman, S.T, M.Eng, Sc.)

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Batanghari	Form : TLD-05
---	---------------

Nama : Dwi Puspita Rani
 NPM : 1700825201008
 Judul Tugas Akhir : Modifikasi Adsorben Campuran *Crumb Rubber Sludge*
 dengan Tatal Karet dan Abu Sawit Untuk Penyisihan
 Parameter Air Limbah Industri *Crumb Rubber*

No.	Tanggal	Kegiatan/Pembahasan	Paraf
1.	25/08-2021	<ul style="list-style-type: none"> - Ganti kata berkembang pesat saat ini - Kalimat lebih diperjelas - Hilangkan kalimat tdk baku - Hubungkan kalimat industri karet ke industri sawit yang sama & menghasilkan limbah padat. 	A
2.	14/09-2021	Bab I OK Bab II OK Bab III OK ACC diseminarkan.	A

Jambi, 14 September 2021

Dosen Pembimbing II



(Peppy Herawati ST. MT)

Nama : Dwi Puspita Rani
NPM : 1700825201008
Judul Tugas Akhir : Modifikasi Adsorben Campuran *Crumb Rubber Sludge*
dengan Tatal Karet dan Abu Sawit Untuk Penyisihan
Parameter Air Limbah Industri *Crumb Rubber*

No.	Tanggal	Kegiatan/Pembahasan	Paraf
1	06/08-2021	Latar Belakang Belum Maksimal - Perbaiki latar belakang. - Hubungkan pemanfaatan limbah ke penurunan air limbah karet - Pertajam korelasi antara CRS, Tatal dan Abu sawit	A
2.	12/08-2021	- Persingkat kalimat - Buang kalimat Teori - CRS, Tatal & Abu berasal dari mana - Hubungkan limbah padat karet dan Abu / dimanpaatkan sebagai Adsorben.	A

Jambi, _____, 2021

Dosen Pembimbing II

(Peppy Herawati ST. MT)

Nama : Dwi Puspita Rani
NPM : 1700825201008
Judul Tugas Akhir : Modifikasi Adsorben Campuran *Crumb Rubber Sludge* dengan Tatal Karet dan Abu Sawit Untuk Penyisihan Parameter Air Limbah Industri *Crumb Rubber*

No.	Tanggal	Kegiatan/Pembahasan	Paraf
1	19/2021 Oktober	Perbaiki Variasi Eksperimen.	A.
2	21 Okt	Revisi bab III.	A.
3	25 Okt 2021	ACC Jilid Sempro	A
4	21 Jan 2022	Bab IV perbaiki redaksional Buang kalimat pengulangan + sumber referensi Lanjut Bab V	A
	24 Jan 2022	Perbaiki Tabel & Gambar Perbaiki Kesimpulan	A
	28 Jan 2022	Sesuaikan redaksional Grafik hasil Efisiensi	
	05 Feb 2022	ACC Sidang	A.

Jambi, _____ 2021

Dosen Pembimbing II


(Peppy Herawati ST. MT)

HALAMAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Dwi Puspirta Rani
NPM : 1700825201008
Judul Tugas Akhir : Analisis Efektivitas Adsorben Campuran *Crumb Rubber Sludge* dengan Tatal Karet dan Abu Sawit Untuk Penyisihan Air Limbah Industri *Crumb Rubber*

No.	Tanggal	Kegiatan/Pembahasan	Paraf
1.	14/03/22	Ok, Acc jilid.	

Jambi, _____ 2022

Dosen Pembimbing II



(Peppy Herawati, ST, MT)

94

Lampiran 3 : Time Schedule

No	Kegiatan	Juli				Agustus				September				Oktober				November				Desember				Januari				Februari			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Surat Keputusan	1																															
2	Penulisan Proposal					1	2	3	4																								
3	Seminar Proposal									1	2	3	4																				
4	Perbaikan Laporan Sempro													1	2	3	4																
5	Eksperimen																	1	2	3	4												
a.	Pembuatan Adsorben																																
b.	Persiapan Sampel Limbah Karet																																
c.	Eksperimen Sampel																																
d.	Hasil Analisa																																
6	Analisis Data																																
7	Pengolahan Data																																
8	Sidang Tugas Akhir																																
9	Perbaikan																																

Lampiran 4 : Surat Keputusan Pembimbing



YAYASAN PENDIDIKAN JAMBI
Universitas Batanghari
FAKULTAS TEKNIK

Jalan Letkol Slamet Riyadi Broni - Jambi 36122 Telp./Fax. (0741) 668280 Website www.unbari.ac.id

SURAT KEPUTUSAN
DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BATANGHARI JAMBI
NOMOR : 084 TAHUN 2021
T E N T A N G
PENUNJUKKAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR
MAHASISWA PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN PROGRAM STRATA SATU (S-1)
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BATANGHARI

DEKAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BATANGHARI :

- MEMBACA : Usulan Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Tentang Dosen Pembimbing Tugas Akhir.
- MENIMBANG : a. Bahwa untuk melengkapi syarat-syarat yang diperlukan guna menyelesaikan studi Strata Satu (S-1) Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Unbari perlu diselenggarakan Tugas Akhir Mahasiswa.
b. Bahwa mahasiswa yang namanya tercantum pada lampiran keputusan ini telah memenuhi syarat dan berhak untuk melaksanakan Tugas Akhir.
c. Bahwa Staf Pengajar yang namanya tercantum pada lampiran keputusan ini dianggap mampu dan memenuhi syarat untuk ditunjuk sebagai Dosen Pembimbing Tugas Akhir Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Batanghari.
d. Bahwa untuk pelaksanaan Tugas Akhir Mahasiswa dimaksud perlu dibuat Keputusan Dekan.
- MENINGAT : 1. Undang Undang Nomor 12 Tahun 2012 Tentang Pendidikan Nasional.
2. Undang Undang Nomor : 14 Tahun 2005 Tentang Guru dan Dosen.
3. Peraturan Pemerintah Nomor : 04 Tahun 2014 Tentang Pendidikan Tinggi
4. Peraturan Akademik Universitas Batanghari Tahun 2018
5. Surat Keputusan Rektor Nomor : 45 Tahun 2018 tentang Pemberhentian dan Pengangkatan Pejabat wakil Rektor, Dekan, Kepala Biro, Pustaka, Lembaga dan Badan dilingkungan Universitas Batanghari.

MEMUTUSKAN

- MENETAPKAN :
- Pertama : Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan Program Strata Satu (S-1) yang nama dan NPM nya tercantum pada kolom (2) untuk melaksanakan Tugas Akhir dengan Judul seperti pada kolom (3) Lampiran Keputusan ini dan berhak untuk mendapat bimbingan Tugas Akhir.
- Kedua : Menunjuk Staf Pengajar yang namanya tercantum pada kolom (4) menjadi Dosen Pembimbing I dan kolom (5) menjadi Dosen Pembimbing II mahasiswa dalam melaksanakan Tugas Akhir.
- Ketiga : Dosen Pembimbing bertugas memberi petunjuk dan arahan kepada mahasiswa dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
- K keempat : Dosen pembimbing bertanggung jawab kepada Dekan melalui Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Unbari.
- Kelima : Program Studi agar menyelenggarakan seminar proposal Tugas Akhir bersangkutan agar judul, tujuan, ruang lingkup, dan metode penelitian Tugas Akhir mahasiswa benar dari kaidah-kaidah ilmiah.
- Keenam : Masa berlaku Surat Keputusan ini adalah 6 (enam) bulan dan setelahnya dapat diperpanjang maksimal dua (2) kali atau diganti dengan pembimbing lain.
- Ketujuh : Keputusan ini berlaku sejak tanggal ditetapkan dan apabila dikemudian hari terdapat kekeliruan akan diadakan perbaikan sebagaimana mestinya.

DITETAPKAN DI : JAMBI
PADA TANGGAL : 9 JULI 2021

Dekan,

Dr. Ir. H. Fakhru Rozi Yamali, ME

Tembusan Disampaikan kepada :-

1. Yth. Rektor Universitas Batanghari
2. Yth. Ketua Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Unbari
3. Yth. Dosen Pembimbing yang bersangkutan
4. Mahasiswa yang bersangkutan
5. Arsip

LAMPIRAN : SK DEKAN NOMOR : 084 TAHUN 2021 TENTANG PENUNJUKKAN DOSEN PEMBIMBING TUGAS AKHIR MAHASISWA PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN PROGRAM STRATA SATU (S-1) FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS BATANGHARI.

NO (1)	NAMA NPM (2)	JUDUL TUGAS AKHIR (3)	DOSEN PEMBIMBING I (4)	DOSEN PEMBIMBING II (5)
1.	DWI PUSPITA RANI 1700825201008	"MODIFIKASI ADSORBEN CAMPURAN CRUMB RUBBER SLUDGE DENGAN TOTAL KARET DAN ABU SAWIT UNTUK PENYISIHAN PARAMETER AIR LIMBAH INDUSTRI CRUMB RUBBER"	MONIK KASMAN, ST., M. Eng, Sc	PEPPY HERAWATI, ST, MT

DITETAPKAN DI : JAMBI
PADA TANGGAL : 9 JULI 2021

Pf Dekan,



Dr. Ir. H. Fakhru Rozi Yamali, ME



Lampiran 5 : Dokumentasi Penelitian



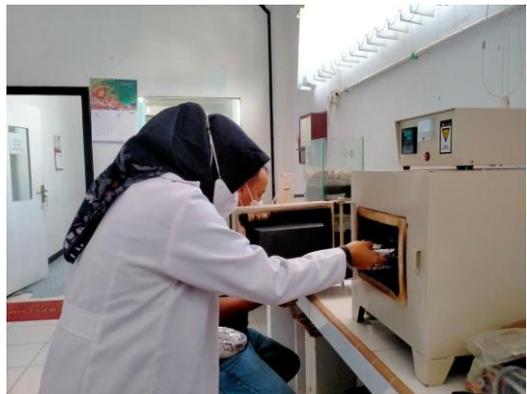
Proses Pengambilan Adsorben



Proses Pencucian Adsorben



Proses Penjemuran Adsorben



Proses *Furnaca* Adsorben



Hasil *Furnace* Adsorben CRS Suhu
400°C



Hasil *Furnace* Adsorben Tatal Suhu
400°C



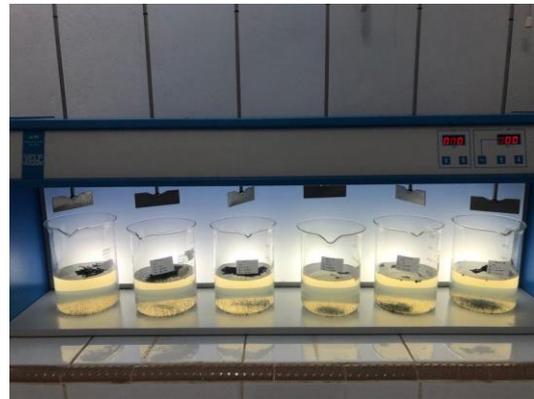
Hasil Pengeringan Adsorben Abu dengan Oven pada Suhu 100°C



Proses Penimbangan Adsorben



Proses Pengukuran Sampel



Proses Pengadukan Sampel



Proses Penyaringan Sampel



Sampel Siap di Analisis

Lampiran 6 : Lampiran Perhitungan

Hasil Uji Parameter BOD Terhadap Variasi Massa Adsorben						
Adsorben	Variasi Dosis (gr)	Baku Mutu (mg/L)	Konsentrasi Awal (mg/L)	Konsentrasi Akhir (mg/L)	Efisiensi Penyisihan (%)	Kapasitas x/m (mg/g)
CT	0,5	100	266,74	44,07	83	222,67
	1	100	266,74	39,60	85	113,57
	1,5	100	266,74	33,40	87	77,78
CA	0,5	100	266,74	37,08	86	229,66
	1	100	266,74	40,85	85	112,945
	1,5	100	266,74	45,07	83	73,89

Contoh Perhitungan

a. Efisiensi Penyisihan Adsorben CT

$$E (\%) = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

$$E (\%) = \frac{266.74 \text{ mg/l} - 44.07 \text{ mg/l}}{266.74 \text{ mg/l}} \times 100\% = 83\%$$

E = Efisiensi Adsorpsi (%)

C_o = Konsentrasi *Influen* Adsorbat (mg/l)

C_e = Konsentrasi *Effluen* Adsorbat (mg/l)

b. Kapasitas Adsorpsi Adsorben CT

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)}{m} v$$

$$Q_e = \frac{(266.74 \text{ mg/l} - 44.07 \text{ mg/l})}{0.5 \text{ gr}} \times 500 \text{ ml} / 1000 \text{ ml} = 222,67 \text{ ml/gr}$$

Q_e = Kapasitas adsorpsi (mg/g)

v = Volume larutan (L)

m = Massa adsorben (gram)

C_o = Konsentrasi awal pencemar dalam larutan (mg/L)

C_e = Konsentrasi akhir pencemar dalam larutan (mg/L)

c. Perhitungan Regresi Linier (R^2) Parameter BOD pada Adsorben CA

x	y	x.y	\bar{x}	\bar{y}	x^2	y^2	(x - \bar{x})	(y - \bar{y})	(x - \bar{x}) ²	(y - \bar{y}) ²	(x - \bar{x}). (y - \bar{y})
41,57	0,3692	15,3476	36,75	0,3202	1728,0649	0,1363	4,82	0,0490	23,2324	0,0024	0,2360
36,53	0,3174	11,5946	36,75	0,3202	1334,4409	0,1007	-0,22	-0,0028	0,0484	0,0000	0,0006
32,15	0,2741	8,8123	36,75	0,3202	1033,6225	0,0751	-4,6	-0,0461	21,16	0,0021	0,2122
110,25	0,9607	35,7546	110,25	0,9607	4096,1283	0,3122	0,0000	0,0000	44,4408	0,0045	0,4489

Model Regresi Linier

$$\bar{y} = a + b \cdot \bar{x}$$

$$b = \frac{n \sum x \cdot y - \sum x \cdot \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{3 \times 35,7546 - 110,25 \times 0,9607}{3 \times 4096,1283 - (110,25)^2} = \frac{107,2637 - 105,9172}{12288,3849 - 12155,063} = 0,0101 \text{ (Intersept)}$$

$$y = a + b \cdot \bar{x}$$

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x} = 0,3202 - (0,0101 \times 36,75) = -0,0509 \text{ (Slope)}$$

$$R^2 = \frac{n \sum (x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum (y - \bar{y})^2}} = \frac{0,4489}{\sqrt{6,6664} \cdot \sqrt{0,0673}} = \frac{0,4489}{0,4489} = 0,9999$$