

**STUDI EFISIENSI KARBON AKTIF CANGKANG BUNGA
PINUS DALAM FILTER PENJERNIH AIR UNTUK
MEREDUKSI PB DAN CU**

SKRIPSI

**TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI KONSERVASI
SUMBER DAYA AIR**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



FANISA AYU DWINENDRAS

NIM. 155060400111019

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2019

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EFISIENSI KARBON AKTIF CANGKANG BUNGA PINUS DALAM FILTER PENJERNIH AIR UNTUK MEREDUKSI PB DAN CU

SKRIPSI

TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI PERENCANAAN TEKNIK BANGUNAN AIR

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
Memperoleh gelar Sarjana Teknik



FANISA AYU DWINENDRAS
NIM. 155060400111019

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 22 November 2019

Dosen Pembimbing I

Emma Yuliani, ST., MT., Ph.D
NIP. 19670602 199802 1 001

Dosen Pembimbing II

Ir. Moh. Sholichin, MT., Ph.D
NIP. 19750723 200003 2 001

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Pengairan



Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS.
NIP. 19610131 198609 2 001



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Mayjend. Haryono no. 167, Malang, 65145, Indonesia

Telp. : +62-341-587710, 587711; Fax : +62-341-551430

<http://teknik.ub.ac.id>

E-mail : teknik@ub.ac.id

**PERNYATAAN
ORISINALITAS SKRIPSI**

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang sepengetahuan saya, di dalam Naskah SKRIPSI ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam Naskah SKRIPSI ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur PLAGIASI, saya bersedia SKRIPSI ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (SARJANA TEKNIK/Strata-1) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

(Peraturan Menteri Pendidikan Nasional RI No. 17 Tahun 2010, Pasal 12 dan Pasal 13)

Malang,
Mahasiswa,

Materai Rp. 6.000,-

Nama : Fanisa Ayu Dwinendras

NIM : 155060400111019

Jurusan: TEKNIK PENGAIRAN







KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK

Jl. Mayjend. Haryono no. 167, Malang, 65145, Indonesia

Telp. : +62-341-587710, 587711; Fax : +62-341-551430

<http://teknik.ub.ac.id>

E-mail : teknik@ub.ac.id

**UNDANG – UNDANG REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 20 TAHUN 2003
SISTEM PENDIDIKAN NASIONAL**

Pasal 25 Ayat 3 :

Lulusan Perguruan Tinggi Yang Karya Ilmiahnya Digunakan Untuk
Memperoleh Gelar Akademik, Profesi, Atau Vokasi Terbukti
Merupakan Jiplakan Dicabut Gelarnya.

Pasal 70 :

Lulusan Yang Karya Ilmiah Yang Digunakan Untuk Mendapatkan
Gelar Akademik, Profesi, Atau Vokasi Sebagaimana Dimakud Dalam
Pasal 25 Ayat (2) Terbukti Merupakan Jiplakan Dipidana Penjara
Paling Lama Dua Tahun Dan/Atau Pidana Denda Paling Banyak Rp.
200.000.000,00 (Dua Ratus Juta Rupiah).





RIWAYAT HIDUP

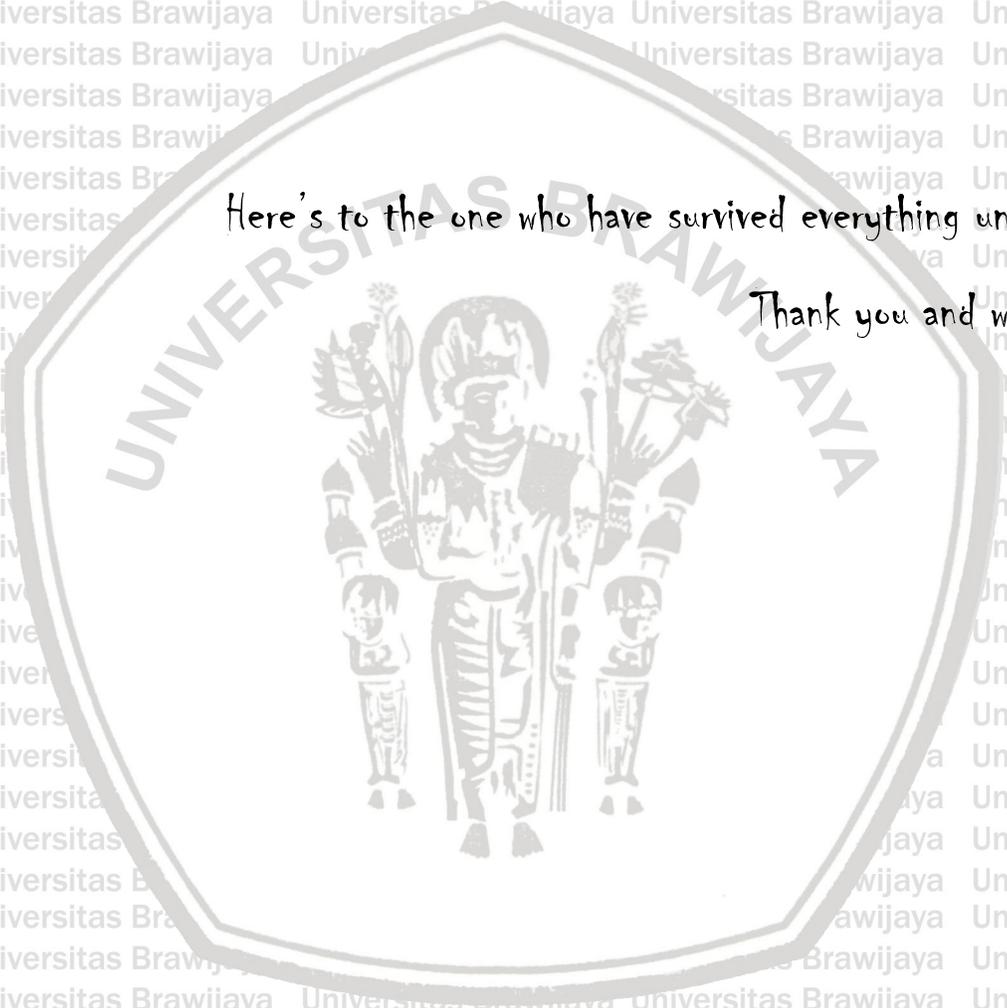


Fanisa Ayu Dwinendras lahir di Jakarta 28 Juni, merupakan anak bungsu dari kakak semata wayang, Tauffani Titisari. Hasil buah kasih dari pasangan Bapak dan Ibu-nya. Lulus dari SMA Negeri 12 Jakarta pada tahun 2015, lalu melanjutkan pendidikan sarjana di Teknik Pengairan Universitas Brawijaya dan lulus pada tahun 2019. Pada saat berkuliah, kurang aktif berorganisasi, tetapi pernah menjadi Penanggungjawab Humas dan Sekretariat WWC (*World Water Campaign*) pada tahun 2018. Penulis adalah Asisten Dosen Mata Kuliah Rancangan Drainase (2018) dan Perencanaan dan Pengelolaan Waduk (2019).

Diluar kegiatan organisasi, penulis juga pernah menjadi *awardee* ke Jepang dengan *Sakura Science Program* pada tahun 2017 yang di danai oleh JST (*Japan Science and Technology Agency*). Penulis pernah menjadi pegawai magang di PT. AMT Consultants selama dua bulan (Juli hingga September 2017). Selbihnya, penulis berterima kasih atas segala pengalaman dan pelajaran yang berlangsung selama masa kuliah ini. Tak lupa untuk yang selalu ada dan memberikan *support* secara tersirat maupun tersurat.

Malang, November 2019

Penulis



Here's to the one who have survived everything until now,
Thank you and welcome.

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT sehingga saya dapat menyelesaikan penyusunan usulan skripsi ini. Shalawat serta salam selalu teriring kepada Nabi Besar Muhammad SAW sebagai suri tauladan kita.

Laporan ini merupakan laporan seminar usulan skripsi yang berjudul “**Studi Efisiensi Karbon Aktif Cangkang Bunga Pinus dalam Filter Penjernih Air untuk Mereduksi Pb dan Cu**”. Penyusun menyadari sepenuhnya bahwa dalam pengerjaan laporan ini masih banyak kekurangan sehingga skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, dikarenakan keterbatasannya pengetahuan yang dimiliki penyusun.

Untuk itu dengan kesungguhan serta rasa rendah hati, penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Ayah, Ibu, dan Kakak yang selalu memberikan doa serta dukungan penuh dalam setiap langkah hidup ini.
2. Emma Yuliani, ST., MT., Ph.D dan Ir. Moh. Sholichin, MT., Ph.D, selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan banyak masukan, kritikan, saran serta pandangan mengenai pembahasan skripsi ini.
3. Dr. Very Dermawan, ST., MT., dan Dr. Eng. Riyanto Haribowo, ST., MT., selaku dosen penguji yang telah berkenan menguji serta memberikan saran dan masukan dalam skripsi ini.
4. Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS. selaku Ketua Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Dr. Ery Suhartanto ST., MT., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
6. Dr. Very Dermawan, ST., MT., selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
7. Staf administrasi Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Teman – teman Teknik Pengairan Angkatan 2015 yang selalu memberikan support dan do’a.
9. Serta semua pihak yang telah membantu terselesaikannya laporan ini yang mungkin penyusun luput sebutkan.

Laporan Skripsi ini mungkin masih memiliki banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penyusun berharap pembaca dapat memberikan kritik dan saran yang konstruktif untuk dijadikan bahan evaluasi. Selamat membaca.

Malang, November 2019

Penyusun



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
RINGKASAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	2
1.3. Rumusan Masalah	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Tujuan Penelitian	4
1.6. Manfaat Penelitian	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Tanaman Pinus	5
2.2 Limbah Cair Industri	6
2.3 Karbon Aktif	8
2.3.1. Bentuk Karbon Aktif	8
2.3.2. Sifat Karbon Aktif	9
2.4 Proses Pembuatan Karbon Aktif	10
2.5 Ijuk	15
2.6 Timbal (Pb)	15
2.7 Tembaga (Cu)	17
2.8 Adsorpsi	18
2.8.1 Jenis Adsorpsi	18
2.8.2 Proses Adsorpsi	19
2.8.3 Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi	19
2.9 Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDAX)	20
2.10 Analisa Mutu Karbon Aktif Cangkang Bunga Pinus	21
2.10.1 Menghitung Rendemen	21
2.10.2 Menghitung Kadar Air	21
2.10.3 Menghitung Kadar Abu Total	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Lokasi Penelitian	23
3.2 Variabel Penelitian	23
3.3 Alat dan Bahan	24
3.3.1 Alat	24
3.3.2 Bahan	24

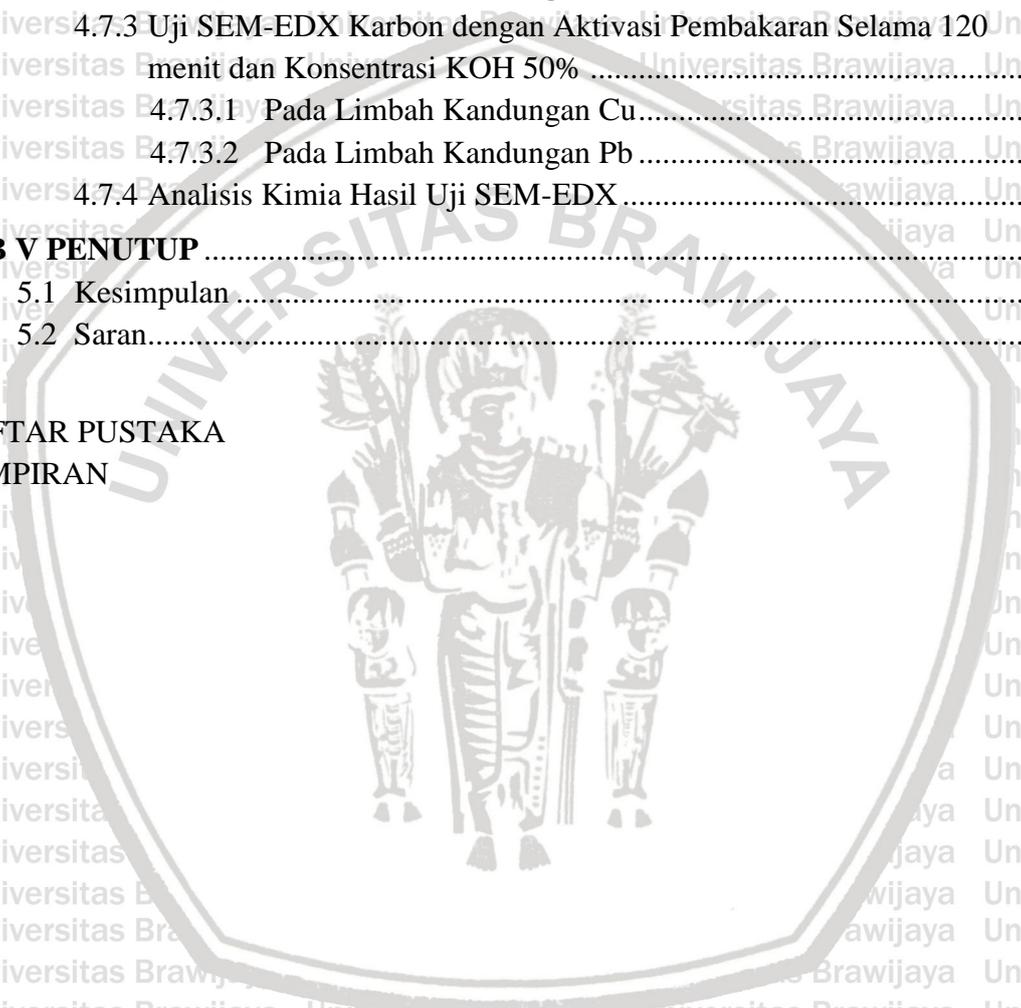
3.4	Prosedur Penelitian	25
3.4.1	Pengambilan Bahan Baku.....	25
3.4.2	Persiapan Cangkang Bunga Pinus	25
3.4.3	Proses Karbonisasi Cangkang Bunga Pinus	25
3.4.4	Aktivasi Arang Cangkang Bunga Pinus	25
3.4.5	Sketsa Penelitian.....	25
3.4.6	Proses Pembuatan Limbah Sintetis.....	27
3.4.7	Pengambilan Sampel	29
3.4.8	Proses Filtrasi	29
3.4.9	Pengujian SEM-EDX	30
3.5	Diagram Alir Pengerjaan Skripsi.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		33
4.1	Proses Aktivasi Karbon Cangkang Bunga Pinus.....	33
4.1.1	Preparasi Bahan	33
4.1.2	Variasi Konsentrasi Larutan KOH	34
4.1.3	Perendaman dan Penyaringan Karbon.....	34
4.1.4	Variasi Waktu Aktivasi	35
4.1.5	Pencucian Karbon Aktif	36
4.2	Hasil Analisis Mutu Kualitas Karbon Aktif Cangkang Bunga Pinus.....	37
4.2.1	Perhitungan Rendemen.....	37
4.2.2	Perhitungan Kadar Air.....	37
4.2.3	Perhitungan Kadar Abu	38
4.3	Pembuatan Kondisi dan Sampel Awal Limbah	38
4.4	Hasil Pembuatan Media Filter	39
4.4.1	Variasi Bahan Filter.....	39
4.5	Hasil Analisis Proses Penurunan Kandungan Parameter Air Limbah.....	41
4.5.1	Cuprum (Cu).....	41
4.5.1.1	Hasil Analisis Variasi Waktu Aktivasi pada Kadar Cu.....	41
4.5.1.2	Hasil Analisis Variasi Konsentrasi KOH pada kadar Cu.....	42
4.5.1.3	Analisis Reaksi Kimia pada Kadar Cu	43
4.5.1.4	Kesimpulan Hasil dan Pembahasan pada Kadar Cu.....	43
4.5.2	Timbal (Pb).....	45
4.5.2.1	Hasil Analisis Variasi Waktu Aktivasi pada Kadar Pb.....	46
4.5.2.2	Hasil Analisis Variasi Konsentrasi KOH pada kadar Pb.....	46
4.5.2.3	Analisis Reaksi Kimia pada Kadar Pb.....	46
4.5.2.4	Kesimpulan Hasil dan Pembahasan pada Kadar Pb.....	47
4.6	Efisiensi	49
4.6.1	Efisiensi Cuprum (Cu).....	49
4.6.1.1	Hasil Analisis Variasi Waktu Aktivasi pada Kadar Cu.....	49
4.6.1.2	Hasil Analisis Variasi Konsentrasi KOH pada kadar Cu.....	50
4.6.1.3	Kesimpulan Hasil dan Pembahasan pada Kadar Cu.....	51
4.6.2	Efisiensi Timbal (Pb).....	52
4.6.2.1	Hasil Analisis Variasi Waktu Aktivasi pada Kadar Pb.....	52



4.6.2.2 Hasil Analisis Variasi Konsentrasi KOH pada kadar Pb	53
4.6.2.3 Kesimpulan Hasil dan Pembahasan pada Kadar Pb	53
4.7 Uji SEM-EDX	55
4.7.1 Uji SEM-EDX Karbon Tanpa Aktivasi	55
4.7.1.1 Pada Limbah Kandungan Cu	55
4.7.1.2 Pada Limbah Kandungan Pb	57
4.7.2 Uji SEM-EDX Karbon dengan Aktivasi Pembakaran Selama 120 menit dan Konsentrasi KOH 30%	60
4.7.2.1 Pada Limbah Kandungan Cu	60
4.7.2.2 Pada Limbah Kandungan Pb	63
4.7.3 Uji SEM-EDX Karbon dengan Aktivasi Pembakaran Selama 120 menit dan Konsentrasi KOH 50%	68
4.7.3.1 Pada Limbah Kandungan Cu	68
4.7.3.2 Pada Limbah Kandungan Pb	71
4.7.4 Analisis Kimia Hasil Uji SEM-EDX	74
BAB V PENUTUP	77
5.1 Kesimpulan	77
5.2 Saran	78

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Rata-rata Penggunaan Air untuk Berbagai Jenis Industri.....	6
Tabel 2.2	Syarat Mutu Karbon Aktif (SNI. 06-3730-1995).....	10
Tabel 3.1	Rancangan Percobaan.....	27
Tabel 4.1	Kadar Air pada Tiap Sampel Karbon Aktif.....	37
Tabel 4.2	Kadar Abu pada Tiap Sampel Karbon Aktif.....	38
Tabel 4.3	Kandungan Limbah Sampel Awal.....	39
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Kadar Cu pada Limbah Sintetis.....	41
Tabel 4.5	Rekapitulasi Kesesuaian Kadar Cu dengan Baku Mutu Air pada Limbah Cu Setelah Filtrasi.....	44
Tabel 4.6	Hasil Pengujian Kadar Pb pada Limbah Sintetis.....	45
Tabel 4.7	Rekapitulasi Kesesuaian Kadar Pb dengan Baku Mutu Air pada Limbah Cu Setelah Filtrasi.....	48
Tabel 4.8	Hasil Perhitungan Efisiensi Kadar Cu.....	49
Tabel 4.9	Rekapitulasi Kesesuaian Kadar Cu dengan Baku Mutu Air pada Limbah Cu Setelah Filtrasi.....	51
Tabel 4.10	Hasil Perhitungan Efisiensi Kadar Pb.....	52
Tabel 4.11	Rekapitulasi Kesesuaian Kadar Cu dengan Baku Mutu Air pada Limbah Cu Setelah Filtrasi.....	54
Tabel 4.12	Hasil Analisis SEM-EDX Karbon Tanpa Aktivasi.....	55
Tabel 4.13	Hasil Analisis SEM-EDX Karbon Tanpa Aktivasi.....	58
Tabel 4.14	Hasil Analisis Uji SEM-EDX Karbon yang di aktivasi selama 120 menit dan konsentrasi 30%.....	60
Tabel 4.15	Hasil Analisis Uji SEM-EDX Karbon yang di aktivasi selama 120 menit dan konsentrasi 30%.....	63
Tabel 4.16	Hasil Analisis Uji SEM-EDX Karbon yang di aktivasi selama 120 menit dan konsentrasi 50%.....	68
Tabel 4.17	Hasil Analisis Uji SEM-EDX Karbon yang di aktivasi selama 120 menit dan konsentrasi 50%.....	71
Tabel 4.18	Tabel Rekapitulasi Hasil Uji SEM-EDX pada Limbah Cu.....	75
Tabel 4.19	Tabel Rekapitulasi Hasil Uji SEM-EDX pada Limbah Pb.....	76



Halaman ini sengaja dikosongkan.



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	<i>Pinus merkusii</i>	5
Gambar 2.2	Karbon aktif bentuk serbuk.....	8
Gambar 2.3	Karbon aktif bentuk granular.....	9
Gambar 2.4	Karbon aktif bentuk pellet.....	9
Gambar 2.5	Prinsip kerja Scanning Electron Microscopy (SEM).....	21
Gambar 3.1	Konsep Desain untuk Alat Filter Karbon Aktif.....	26
Gambar 3.2	Diagram Alir Pengerjaan Skripsi.....	31
Gambar 3.3	Diagram Alir Pembuatan Karbon Aktif Cangkang Bunga Pinus.....	32
Gambar 4.1	Cangkang Bunga Pinus.....	33
Gambar 4.2	Proses Karbonisasi dengan <i>slow pyrolysis</i>	34
Gambar 4.3	Karbon yang direndam KOH.....	35
Gambar 4.4	Penyaringan Karbon.....	35
Gambar 4.5	Alat Furnace.....	36
Gambar 4.6	Karbon yang Sudah di aktivasi.....	36
Gambar 4.7	Pencucian Karbon Aktif dengan Aquades.....	36
Gambar 4.8	Pembuatan Limbah Sintetis.....	39
Gambar 4.9	Variasi Media Filter dengan konsentrasi KOH 30%.....	40
Gambar 4.10	Variasi Media Filter dengan konsentrasi KOH 50%.....	40
Gambar 4.11	Variasi Media Filter dengan Karbon Tanpa Aktivasi.....	40
Gambar 4.12	Diagram Batang Kadar pada Limbah Sintetis Cu.....	44
Gambar 4.13	Diagram Batang Kadar pada Limbah Sintetis Pb.....	48
Gambar 4.14	Diagram Batang Kadar pada Limbah Sintetis Cu.....	51
Gambar 4.15	Diagram Batang Kadar pada Limbah Sintetis Pb.....	54
Gambar 4.16	Hasil analisis SEM-EDX karbon tanpa aktivasi dengan perbesaran 2500 kali.....	56
Gambar 4.17	Spektrum Penyerapan Kandungan Cu.....	56
Gambar 4.18	Hasil analisis SEM-EDX karbon tanpa aktivasi dengan perbesaran 2500 kali.....	58
Gambar 4.19	Hasil analisis SEM-EDX karbon dengan aktivasi pembakaran selama 120 menit dan konsentrasi 30% dengan perbesaran 2500 kali....	60



Gambar 4.20	Spektrum Penyerapan Kandungan Cu.....	61
Gambar 4.21	Hasil analisis SEM-EDX karbon dengan aktivasi pembakaran selama 120 menit dan konsentrasi 30% dengan perbesaran 2500 kali.....	63
Gambar 4.22	Spektrum Penyerapan Kandungan Pb.....	64
Gambar 4.23	Hasil analisis SEM-EDX karbon dengan aktivasi pembakaran selama 120 menit dan konsentrasi 50% dengan perbesaran 2500 kali.....	69
Gambar 4.24	Spektrum Penyerapan Kandungan Cu.....	69
Gambar 4.25	Hasil analisis SEM-EDX karbon dengan aktivasi pembakaran selama 120 menit dan konsentrasi 50% dengan perbesaran 2500 kali.....	71
Gambar 4.26	Spektrum Penyerapan Kandungan Cu.....	72



RINGKASAN

Fanisa Ayu Dwinendras, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, November 2019. *Studi Efisiensi Karbon Aktif Cangkang Bunga Pinus dalam Filter Penjernih Air untuk Mereduksi Pb dan Cu*. Dosen pembimbing: Emma Yuliani, ST., MT., Ph.D, dan Ir. Moh. Sholichin, MT., Ph.D.

Seiring dengan berkembangnya zaman tentu saja diperlukan suatu perangkat hukum untuk mengontrol kegiatan manusia dan menyelamatkan sungai dari pencemaran. Oleh karena itu, dibuatlah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup 01 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air. Salah satu metode yang digunakan untuk mengolah limbah cair yang akan dibahas kali ini adalah penggunaan karbon aktif yang digunakan sebagai adsorben. Penelitian ini dilakukan dengan memasukkan adsorben ke dalam filter penjernih air maka limbah cair tersebut akan terserap ke permukaan adsorben.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kualitas karbon aktif dari cangkang bunga pinus dengan menggunakan beberapa variabel, yaitu: karbon yang tidak diaktivasi dan karbon yang menggunakan larutan aktivator KOH yang berkonsentrasi 30% dan 50% dengan masing-masing waktu aktivasi pembakaran selama 60 menit, 90 menit, dan 120 menit. Lalu setelah itu, mengetahui efisiensi karbon aktif dari cangkang bunga pinus dalam mereduksi senyawa timbal dan cuprum serta hasil uji karakteristik karbon aktif dari cangkang bunga pinus menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-ray spectroscopy* (SEM-EDX).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas dan efisiensi karbon aktif yang paling tinggi adalah karbon yang diaktivasi dengan waktu pembakaran selama 120 menit dan berkonsentrasi KOH 50%. Lalu hasil uji SEM-EDX pada karbon yang di aktivasi lebih besar dari karbon yang tidak di aktivasi. Hal ini menunjukkan bahwa karbon yang di aktivasi lebih baik dalam mengadsorb dan mereduksi kandungan Cu dan Pb pada limbah sintesis. Lalu, dapat juga disimpulkan bahwa karbon aktif cangkang bunga pinus lebih berperan aktif dalam menyerap Pb daripada Cu dikarenakan kandungan Pb lebih kecil dari Cu.

Kata Kunci: karbon aktif cangkang bunga pinus, adsorpsi, SEM-EDX, efisiensi.



Halaman ini sengaja dikosongkan



SUMMARY

Fanisa Ayu Dwinendras, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, November 2019. *The Study of Efficiency of Pinecone Shell-based Activated Carbon in Water Purifier Filter to Reduce Lead (Pb) and Copper (Cu) Compund. Academic Advisors: Emma Yuliani, ST., MT., Ph.D, and Ir. Moh. Sholichin, MT., Ph.D.*

Along with the development of the era, we certainly need a legal device to control human activities and save the river from pollution. Therefore, the Minister of Environment Regulation 01 of 2010 concerning Water Pollution Control Management was made. One of the methods that can be used to treat wastewater that will be discussed in this study is the use of activated carbon which is considered as an adsorbent. This research was carried out by inserting the adsorbent into the water purification filter so that the liquid waste will be absorbed to the surface of the adsorbent.

The purpose of this study was to determine the quality of activated carbon from pinecone shell-based using several variables, i.e.: un-activated carbon and activated carbon containing 30% and 50% KOH solution concentrations with each combust activation time for 60 minutes, 90 minutes, and 120 minutes. Then after that, we can find out the efficiency of activated carbon from pinecone shell-based in reducing lead and copper compounds and also the results of the test of activated carbon characteristics of pinecone shell-based using Scanning Electron Microscopy Energy Dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDX).

The results showed that the highest quality and efficiency of carbon was activated carbon with a combustion time of 120 minutes and 50% KOH concentration. Then, the SEM-EDX test results on activated carbon is greater than carbon that is not activated. This shows that activated carbon is better at adsorbing and reducing the content of Copper and Lead in synthetic waste. Therefore, it can also be concluded that the pinecone shell-based activated carbon plays an active role in absorbing Lead rather than Copper because the Lead compound is smaller than Copper.

Keywords: *pinecone shell-based activated carbon, adsorption, SEM-EDX, efficiency.*



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air merupakan senyawa yang penting untuk segala kegiatan dan kehidupan makhluk hidup di planet bumi. Hampir 71% permukaan bumi di tutupi oleh air. Salah satu sumber air yang menjadi tempat berlangsungnya aktivitas makhluk hidup adalah sungai. Namun sayangnya, pada zaman sekarang ini, sungai telah tercemar dan fungsinya sudah mulai berkurang. Selain sedimentasi, hal yang paling berpengaruh dalam pencemaran air sungai adalah pembuangan air limbah yang dibuang secara sembarangan tanpa melalui proses pengolahan yang sesuai.

Seiring dengan berkembangnya zaman tentu diperlukan suatu perangkat hukum untuk mengontrol kegiatan manusia dan menyelamatkan sungai dari pencemaran, maka dibuatlah Peraturan Menteri Lingkungan Hidup 01 Tahun 2010 tentang Tata Laksana Pengendalian Pencemaran Air. Salah satu metode yang digunakan untuk mengolah limbah cair yang akan dibahas kali ini adalah penggunaan karbon aktif yang digunakan sebagai adsorben. Penelitian ini dilakukan dengan memasukkan adsorben ke dalam filter penjernih air maka limbah cair tersebut akan terserap ke permukaan adsorben.

Industri pembuatan karbon aktif di Indonesia juga sudah mengalami kemajuan yang cukup pesat. Dikarenakan permintaan dari dalam dan luar negeri yang semakin meningkat, maka hal ini harus dimanfaatkan dengan baik. Disamping fungsinya sebagai adsorben, penggunaan karbon aktif juga sudah merambah ke berbagai sektor seperti obat-obatan, makanan, minuman, pengolahan/penjernihan air dan lain lain.

Sebagai negara agraris, Indonesia memiliki banyak tumbuhan dan pohon. Salah satunya adalah pohon pinus. Varietas aslinya yang tumbuh di Indonesia adalah *Pinus merkusii* yang berada di Kabupaten Malang. Bagian dari pohon pinus yang bisa kita manfaatkan adalah bunga pinus yang harfiahnya jatuh dari pohon tetapi seringkali di buang begitu saja. Terhitung sedikit industri yang memanfaatkan bunga pinus dengan ekonomi yang bernilai tinggi.

Pada era globalisasi sekarang ini, kesadaran untuk memanfaatkan bunga pinus sudah mulai ditingkatkan oleh peneliti di Indonesia. Salah satunya adalah pembuatan arang briket sebagai alternatif bahan bakar yang murah dan mudah untuk di produksi. Maka dari itu, hal

ini dapat menimbulkan pertanyaan bahwa sebesar apa potensi karbon aktif dari bunga pinus tersebut dalam penjernihan air karena beberapa penelitian baik di dalam maupun di luar negeri masih terhitung sedikit yang menggunakan bunga pinus sebagai bahan dasarnya.

1.2. Identifikasi Masalah

Dalam kehidupan sehari-hari sering ditemukan berbagai masalah, mulai dari masalah sosial dan ekonomi seperti: masalah dalam keluarga, lingkungan tetangga dan masyarakat, masalah pengangguran, kemiskinan, kesehatan dan sebagainya. Selain itu ada juga masalah yang bersifat fisik yang merupakan lingkungan hidup manusia. Masalah-masalah yang berhubungan dengan lingkungan fisik saat ini antara lain adalah pencemaran lingkungan dengan segala dampak yang ditimbulkannya.

Dalam kehidupan di era globalisasi seperti sekarang ini, pencemaran berlangsung dimana-mana dengan laju begitu cepat yang tidak pernah terjadi sebelumnya terutama pencemaran yang terkait dengan pencemaran sungai. Kecenderungan pencemaran akhir-akhir ini mengarah kepada beberapa hal, yang diantaranya: (1) Ke arah pembuangan senyawa-senyawa kimia tertentu yang semakin meningkat, terutama pembuangan limbah industri yang tidak sesuai prosedur saat ini sudah merubah sistem alami pada skala global. (2) Ke arah meningkatnya penggunaan bahan berbahaya beracun (B3) oleh berbagai kegiatan industri dengan pembuangan limbahnya ke lingkungan. Akibatnya timbul masalah-masalah yang bersifat global antara lain: penurunan kualitas air, rusaknya habitat alami, pendangkalan sungai, tercemarnya sungai dan laut dengan zat-zat berbahaya dan sebagainya.

Limbah yang terkandung dalam proses produksi sebuah industri salah satunya adalah timbal. Senyawa zat tersebut biasanya ditemukan di dalam perairan sungai, makhluk hidup dan lainnya. Timbal merupakan suatu logam toksik yang apabila masuk ke dalam tubuh dapat memperlambat pematangan sel darah merah (anemia), dapat menimbulkan kerusakan pada otak besar, epilepsi, halusinasi dan delirium. Seseorang dapat terpapar dengan timbal akibat udara, air, debu, makanan dan produk konsumen yang terkontaminasi. Mengacu pada keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 51 tahun 2004 tentang baku mutu air untuk biota laut menyatakan bahwa kandungan zat terlarut timbal tidak boleh melebihi ambang batas sebesar 0,008 mg/l. Maka dari itu, pengolahan limbah zat senyawa timbal sangatlah penting untuk mengurangi konsentrasinya di lingkungan.

Selain timbal, logam berat yang akan direduksi adalah cuprum atau tembaga. Ion Tembaga(II) dapat berlarut ke dalam air, di mana fungsi mereka dalam konsentrasi tinggi

adalah sebagai agen anti bakteri, fungisi, dan bahan tambahan kayu. Dalam konsentrasi tinggi maka tembaga akan bersifat racun, Di dalam tubuh, tembaga biasanya ditemukan di bagian hati, otak, usus, jantung, dan ginjal. Kandungan logam berat Tembaga (Cu) pada sampel air yang memenuhi syarat sesuai dengan (Peraturan Menteri kesehatan R.I No : 416/MENKES/IX/1990) tentang Pengolahan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, yaitu 1,0 mg/l.

Terdapat beberapa cara yang dapat dilakukan untuk pengolahan limbah senyawa timbal dan cuprum. Salah satunya adalah adsorpsi. Adsorpsi atau penyerapan adalah suatu proses yang terjadi ketika suatu fluida, cairan maupun gas, terikat kepada suatu padatan atau cairan dan akhirnya membentuk suatu lapisan tipis atau film pada permukaannya. Salah satu komponen yang berada dalam proses adsorpsi adalah adsorben yang mana bahan adsorben tersebut sedang dikembangkan secara besar-besaran adalah karbon aktif. Terdapat dua cara untuk mengaktivasi karbon, yaitu secara kimia dan fisika. Di penelitian kali ini menggunakan larutan Kalium Hidroksida (KOH) untuk mengaktivasi karbon dikarenakan KOH merupakan salah satu larutan yang paling umum di gunakan di industri karbon aktif. (Marsh & Reinoso, 2006, p.327). Senyawa ini memiliki banyak aplikasi di industri karena sifat korosif dan reaktivitasnya terhadap asam. Diperkirakan 700,000 hingga 800,000 ton KOH telah diproduksi pada tahun 2005. (Lide, 2005, p.4)

Bahan karbon aktif konvensional yang masih sering digunakan adalah batu bara. Tetapi seperti yang kita ketahui, bahwasanya batu bara akan habis suatu saat nanti. Maka dari itu, industri yang sedang dikembangkan berasal dari bahan-bahan alami (biomassa), salah satunya adalah bunga pinus yang mana limbah cangkang pinusnya banyak berjatuhan dan berserakan di sekitaran pohon. Hal ini juga menguntungkan dikarenakan pohon pinus tumbuh subur di Negara Indonesia. Maka dari itu penelitian ini sekaligus mengurangi limbah padat yang dapat mencemari lingkungan.

1.3. Rumusan Masalah

- 1) Bagaimana kualitas karbon aktif dari cangkang bunga pinus dengan menggunakan aktivator KOH konsentrasi 30% dan 50%?
- 2) Bagaimana efisiensi karbon aktif dari cangkang bunga pinus dalam mereduksi senyawa timbal dan cuprum?
- 3) Bagaimana hasil analisis karbon aktif dari cangkang bunga pinus menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy Energy-dispersive X-ray spectroscopy* (SEM-EDX)?

1.4. Batasan Masalah

- 1) Adsorben menggunakan cangkang bunga pinus yang berasal dari Hutan Pinus Bedengan., Kota Malang.
- 2) Aktivator menggunakan KOH konsentrasi 30% dan 50%.
- 3) Adsorbat menggunakan limbah sintesis yang mengandung timbal dan cuprum.
- 4) Pengujian kualitas karbon aktif menggunakan pedoman SNI 06-3730-1995.
- 5) Hasil uji dianalisis lebih lanjut secara fisik dan kimia menggunakan *Scanning Electron Microscopy Energy-dispersive X-ray spectroscopy* (SEM-EDX).

1.5. Tujuan Penelitian

- 1) Untuk mengetahui kualitas karbon aktif dari cangkang bunga pinus dengan menggunakan aktivator KOH konsentrasi 30% dan 50%.
- 2) Untuk mengetahui daya serap karbon aktif dari cangkang bunga pinus terhadap logam berat timbal dan cuprum.
- 3) Untuk mengetahui hasil analisis karbon aktif dari cangkang bunga pinus menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy Energy-dispersive X-ray spectroscopy* (SEM-EDX).

1.6. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari pengerjaan skripsi ini adalah sebagai berikut:

- 1) Untuk meminimalisir limbah cangkang bunga pinus.
- 2) Untuk lebih mendayagunakan cangkang bunga pinus yang umumnya digunakan sebagai alternatif bahan bakar.
- 3) Untuk mengetahui potensi karbon aktif yang terbuat dari biomassa.
- 4) Untuk ikut mengembangkan karbon aktif diluar dari karbon aktif komersial yang umumnya terbuat dari batubara (bahan ini suatu saat akan habis).
- 5) Untuk mengetahui potensi karbon aktif dari bunga pinus dalam mereduksi logam berat timbal dan cuprum pada limbah cair.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Pinus

Tanaman Pinus atau mempunyai nama lain yaitu tusam adalah tanaman yang tumbuh subur di berbagai kondisi dan dapat menutupi lokasi-lokasi yang terjal, jurang maupun gunung-gunung yang tinggi, tetapi tidak dapat tumbuh dengan baik di tanah becek.

Terdapat hanya satu jenis [inus di Indoensia yang penyebaran alaminya sampai di daerah Khatulistiwa. Nama spsiensnya adalah *Pinus Merkusii Jungh et deVriese*. Jenis tanaman ini menghendaki iklim basah sampai agak kering dengan tipe curah hujan A sampai C, pada ketinggian 200-1700 m dari permukaan laut, bahkan bisa sampai di bawah 200 m dan mendekati daerah pantai (Aceh Utara).”

Pinus adalah salah satu tanaman monokotil yang mempunyai ciri khas dengan daunnya yang memipih seperti jarum dan berkelompok berupa sisik. Tanaman *Pinus Merkusii* secara morfologis memiliki tujuh bagian, yaitu akar, batang, tangkai, daun, bunga, buah, dan biji yang masing-masing berciri khas serta mempunyai fungsi yang berbeda-beda.



Gambar 2.1 *Pinus merkusii*

Sumber: Wikipedia (diakses 9 November 2019.)

Tanaman ini memiliki alat reproduksi jantan dan betina yang sering disebut dengan strobilus. Kebanyakan masyarakat awam mengenal strobilus dengan sebutan buah pinus, namun para ahli biologi tidak mengklasifikasikan strobilus sebagai buah karena tidak memenuhi syarat sebagai buah melainkan sifatnya yang lebih menyerupai bunga.

Sistematika klasifikasi tanaman pinus adalah sebagai berikut:

Kingdom : *Plantae*

Divisio : *Spermatophyta*

Class : *Pinopsida*

Ordo : *Pinales*

Famili : *Pinaceae*

Genus : *Pinus*

Spesies : *Pinus merkusii* Jungh. Et deVries

Nama lokal : Pinus

2.2 Limbah Cair Industri

Jumlah aliran air limbah yang berasal dari industri sangat bervariasi tergantung dari jenis dan besar-kecilnya industri, pengawasan pada proses industri, derajat penggunaan air, derajat pengolahan air limbah yang ada. Puncak tertinggi aliran selalu tidak akan dilewati apabila menggunakan tangki penahan dan bak pengaman. Untuk memperkirakan jumlah air limbah yang dihasilkan oleh industri yang tidak menggunakan proses basah diperkirakan sekitar $50 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{hari}$. Sebagai patokan dapat dipergunakan pertimbangan bahwa 85-95% dari jumlah air yang digunakan adalah berupa air limbah apabila industri tersebut tidak menggunakan kembali air limbah.

Apabila industri tersebut memanfaatkan kembali air limbahnya, maka jumlahnya akan lebih kecil lagi. Adapun pemakaian air dari suatu industri terlihat pada tabel 2.2. dengan demikian jumlah air limbahnya adalah sebanyak jumlah tersebut dikalikan 85 atau 95%.

Tabel 2.1.
Rata-rata Penggunaan Air untuk Berbagai Jenis Industri

Jenis Industri	Rata-rata aliran (m^3)
1. Industri kalengan:	
Sayur hijau	50-70
Buah-buahan, buah pear	15-20
Lain buah-buahan dan sayuran	4-35
2. Industri bahan kimia:	
Amoniak	100-130
Karbon-dioksida (CO_2)	60-90
Bensin	7-30
Laktosa	600-800
Sulfur/belerang	8-10

Lanjutan Tabel 2.1.
Rata-rata Penggunaan Air untuk Berbagai Jenis Industri

Jenis Industri	Rata-rata aliran (m ³)
3. Makanan dan minuman:	
Bir	10-16
Roti	2-4
Pengepakan daging	15-20
Produksi susu	10-20
Minuman kertas	60-80
4. Bubut kayu dan kertas:	
Bubut kayu	250-800
Pabrik kertas	120-160
5. Tekstil:	
Pengelantangan	200-300
Pencelupan	30-60

Sumber: Sugiharto, (2017, p.86.)

Berdasarkan karakteristiknya, air limbah industri dapat dikelompokkan menjadi beberapa bagian:

1. Air limbah industri yang mengandung zat organik umum, misalnya, industri kimia seperti industri pupuk anorganik, industri kimia anorganik, pencucian pada industri logam, industri keramik, dan sebagainya.
2. Air limbah industri yang mengandung konsentrasi zat organik relatif rendah misalnya industri pengemasan makanan, industri pemintalan, industri serat, industri kimia, industri minyak, industri batu bara.
3. Air limbah industri yang mengandung konsentrasi zat organik yang relatif tinggi misalnya, industri makanan, industri kimia, industri minyak nabati dan hewani, industri obat-obatan, industri lem atau perekat gelatin, industri tekstil, industri pupuk dan kertas
4. Air limbah industri yang mengandung zat berbahaya beracun, misalnya industri penyamakan kulit, industri barang dengan bahan baku kulit, industri besi baja, industri kimia insektisida, herbisida dan lain-lain.
5. Air limbah industri yang mengandung zat anorganik berbahaya beracun, misalnya industri pelapisan logam (*electroplating*), industri baterai, dan lain-lain (Said, 2002, p.70).

2.3 Karbon Aktif

Karbon aktif atau dikenal juga sebagai arang aktif adalah suatu jenis karbon yang memiliki luas permukaan yang terbilang sangat besar. Cara nya adalah dengan mengaktifkan karbon tersebut dengan aktivator yang tersedia. Penelitian menyebutkan bahwa 1 gram dari karbon aktif, akan menghasilkan suatu material yang memiliki luas permukaan kira-kira sebesar 500 m² (dari pengukuran adsorpsi gas nitrogen). Pengaktifan karbon ini sejatinya hanya bertujuan untuk memperbesar luas permukaannya saja, namun banyak peneliti yang juga berusaha untuk mengkaji lebih dalam dan meningkatkan kemampuan adsorpsi karbon aktif itu sendiri.

Karbon aktif adalah karbon padat yang memiliki luas permukaan yang berkisar antara 100-2000 m²/g. terdapat penelitian yang menyatakan bahwa apabila karbon aktif dikembangkan akan memiliki luas permukaan melebihi 3000 m²/g. Karbon aktif memiliki pori-pori yang kompleks yang berkisar dari ukuran mikro dibawah 20 Å (Angstrom), ukuran meso antara 20-50 Å dan ukuran makro yang hampir melebihi 500 Å (berdasarkan *International Union of Pure and Applied Chemistry* [IUPAC]). Karena memiliki luas permukaan yang sangat besar, maka karbon aktif sangat cocok digunakan untuk aplikasi yang membutuhkan luas kontak yang besar seperti pada bidang adsorpsi (penyerapan), dan pada bidang reaksi dan katalisis.

Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan senyawa-senyawa kimia tertentu atau sifat adsorpsinya selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap karbon aktif sangat besar, yaitu 25-100% terhadap berat karbon aktif. Hal ini dikarenakan karbon aktif memiliki luas permukaan antara 300-3500 m²/g dan ini memiliki hubungan dengan struktur pori internal yang menyebabkan karbon aktif dapat bersifat sebagai adsorben (penyerap).

2.3.1 Bentuk Karbon Aktif

1. Karbon Aktif Berbentuk Serbuk

Karbon aktif ini memiliki ukuran lebih kecil dari 0,18 mm. Karbon ini biasa digunakan untuk industri makanan, obat-obatan, farmasi, pengolahan air minum dan lain lain.



Gambar 2.2 Karbon aktif bentuk serbuk

Sumber: Wikipedia (diakses 7 Desember 2018.)

2. Karbon Aktif Berbentuk Granular

Karbon ini memiliki ukuran sekitar 0,2-5 mm. Pengaplikasian karbon aktif berbentuk granular biasanya untuk pemurnian emas, pengolahan air, air limbah dan air tanah, penghilang bau busuk, pemurni pelarut dan lain-lain.



Gambar 2.3 Karbon aktif bentuk granular

Sumber: Wikipedia (diakses 7 Desember 2018.)

3. Karbon Aktif Bentuk Pellet

Karbon aktif bentuk ini berukuran 0,8-5 mm. Karbon ini mempunyai tekanan rendah, kekuatan mekanik tinggi dan kadar abu rendah. Pengaplikasian karbon ini biasanya adalah untuk pemurnian udara, control emisi, tromol otomotif, penghilang bau kotoran, pengontrol emisi pada gas buang dan lain-lain.



Gambar 2.4 Karbon aktif bentuk pellet

Sumber: Wikipedia (diakses 7 Desember 2018.)

2.3.2 Sifat Karbon Aktif

Porositas permukaan karbon aktif sangat berpengaruh pada sifat adsorpsinya, lain halnya dibidang industri, struktur pori tidak di pusatkan pada karakterisasi karbon aktif tetapi lebih pada sifat adsorpsinya. Bentuk pori karbon aktif bervariasi yaitu berupa: silinder, persegi panjang, dan bentuk lain yang tidak teratur. Gugus fungsi dapat terbentuk pada karbon aktif ketika dilakukan aktivasi, yang disebabkan terjadinya interaksi radikal bebas pada permukaan karbon dengan atom-atom seperti oksigen dan nitrogen, yang berasal dari proses pengolahan ataupun atmosfer. Gugus fungsi ini menyebabkan permukaan karbon aktif menjadi reaktif secara kimiawi dan mempengaruhi sifat adsorpsinya. Oksidasi permukaan dalam produksi karbon aktif, akan menghasilkan gugus hidroksil, karbonil, dan karboksilat yang memberikan sifat amfoter pada karbon, sehingga karbon aktif dapat bersifat asam atau basa.

Karbon aktif mempunyai sejumlah kapiler di dalam partikel-partikelnya. Permukaan karbon aktif yang bias digunakan untuk adsorpsi terdiri dari luas penampang luar dan luas permukaan pori-pori/kapilernya. Pada kenyataan, luas permukaan pori jauh lebih besar dari pada luas permukaan partikel dan pada umumnya adsorpsi terjadi pada permukaan pori.

Untuk karbon aktif, antara luas permukaan total dengan massa karbon sangat besar.

Adapun syarat mutu karbon aktif yang dibutuhkan dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2.

Syarat Mutu Karbon Aktif (SNI. 06-3730-1995)

No	Uraian	Satuan	Persyaratan	
			Butiran	Serbuk
1.	Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C	%	Max 15	Max 25
2.	Kadar air	%	Max 4,5	Max 15
3.	Kadar abu	%	Max 2,5	Max 10
4.	<i>Fixed carbon</i>	%	Min 80	Min 65
5.	Bagian yang tidak mengarang		Tidak ternyata	Tidak ternyata
6.	Daya serap terhadap larutan I ₂	mg/gram	Min 750	Min 750
7.	Karbon aktif murni	%	Min 80	Min 65

Sumber: SNI 06-3730-1995

2.4 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Secara umum proses pembuatan karbon aktif terdiri dari tiga tahap yaitu:

1. Dehidrasi

Dehidrasi ialah proses penghilangan kandungan air didalam bahan baku dengan cara pemanasan didalam oven dengan temperatur 170°C. Pada suhu sekitar 275°C terjadi dekomposisi karbon dan terbentuk hasil seperti tar, methanol, fenol dan lain-lain. Hampir 80% unsur karbon yang diperoleh pada suhu 400-600°C.

2. Karbonisasi

Karbonisasi adalah suatu proses dimana unsur-unsur oksigen dan hydrogen dihilangkan dari karbon dan akan menghasilkan rangka karbon yang memiliki struktur tertentu. Hesseler berpendapat bahwa untuk menghasilkan arang yang sesuai untuk dijadikan karbon aktif, karbonisasi dilakukan pada temperatur lebih dari 400°C akan tetapi hal itu juga tergantung pada bahan dasar dan metoda yang digunakan pada aktivasi. Smisek dan Cerny, menjelaskan bahwa saat karbonisasi

terjadi beberapa tahap yang meliputi penghilangan air atau dehidrasi, perubahan bahan organik menjadi unsur karbon dan dekomposisi tar sehingga pori-pori karbon menjadi lebih besar.

Produk dari hasil proses karbonisasi memiliki daya adsorpsi yang kecil. Hal ini disebabkan pada proses karbonisasi suhunya rendah, sebagian dari tar yang dihasilkan berada dalam pori dan permukaan sehingga mengakibatkan adsorpsi terhalang. Produk hasil karbonisasi dapat diaktifkan dengan cara mengeluarkan produk tar melalui pemanasan dalam suatu aliran gas inert, atau melalui ekstraksi dengan menggunakan pelarut yang sesuai misalnya selenium oksida, atau melalui sebuah reaksi kimia. Karbon aktif dengan daya adsorpsi yang besar, dapat dihasilkan oleh proses aktivasi bahan baku yang telah dikarbonisasi dengan suhu tinggi.

3. Aktivasi

Aktivasi adalah suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul-molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi.

Produk dari karbonisasi tidak dapat diaplikasikan sebagai adsorben (karena struktur porusnya tidak berkembang) tanpa adanya tambahan aktivasi. Dasar metode aktivasi terdiri dari perawatan dengan gas pengoksidasi pada temperatur tinggi. Proses aktivasi menghasilkan karbon oksida yang tersebar dalam permukaan karbon karena adanya reaksi antara karbon dengan zat pengoksidasi (Kinoshita, 1988, hal 182).

Tujuan utama dari proses aktivasi adalah menambah atau mengembangkan volume pori dan memperbesar diameter pori yang telah terbentuk pada proses karbonisasi serta untuk membuat beberapa pori baru. Adanya interaksi antara zat pengaktivasi dengan struktur atom-atom karbon hasil karbonisasi adalah mekanisme dari proses aktivasi. Selama aktivasi, karbon dibakar pada suasana oksidasi yang akan menambah jumlah atau volume pori dan luas permukaan produk melalui proses eliminasi atau penghilangan volatil produk pirolisis.

Aktivator dapat meningkatkan keaktifan adsorben melalui mekanisme sebagai berikut:

1. Aktivator menembus celah atau pori-pori diantara pelat-pelat kristalit karbon (pada karbon aktif) yang berbentuk heksagonal dan menyebar di dalam celah atau pori-pori tersebut, sehingga terjadi pengikisan pada permukaan kristalit karbon.
2. Aktivator mencegah senyawa organik bereaksi dengan oksigen yang akan bereaksi dengan kristalit oksigen.
3. Menurut teori interkalasi, struktur dari suatu komposisi senyawa akan mengalami modifikasi jika disisipkan ion atau atom lain kedalam struktur tersebut. Pada aktivasi maka ion atau atom yang disisipkan adalah aktivator.
4. Aktivasi dapat berupa aktivasi fisik dimana digunakan gas-gas inert seperti uap air (steam), CO₂ dan N₂, sedangkan pada aktivasi kimia, digunakan aktivator yang berperan penting untuk meningkatkan luas permukaan adsorben dengan cara menngusir senyawa non karbon dari pori-pori.

Aktivasi karbon aktif dapat dilakukan melalui 2 cara, yakni aktivasi secara kimia dan aktivasi secara fisika (Kinoshita, 1988, hal 58).

1. Aktivasi Kimia

Aktivasi kimia merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan pemakaian bahan-bahan kimia (Sembiring, 2003). Aktivasi secara kimia biasanya menggunakan bahan-bahan pengaktif seperti garam kalsium klorida (CaCl₂), magnesium klorida (MgCl₂), seng klorida (ZnCl₂), natrium hidroksida (NaOH), natrium karbonat (Na₂CO₃) dan natrium klorida (NaCl). Selain garam mineral biasanya digunakan ialah berbagai asam dan basa organik seperti asam sulfat (H₂SO₄), asam klorida (HCl), asam hipoklorit (H₃PO₄), kalium hidroksida (KOH), dan natrium hidroksida (NaOH).

Kerugian penggunaan bahan-bahan mineral sebagai pengaktif terletak pada proses pencucian bahan-bahan mineral tersebut kadang-kadang sulit dihilangkan lagi dengan pencucian. Sedangkan keuntungan penggunaan bahan-bahan mineral sebagai pengaktif adalah waktu aktivasi yang relatif pendek, karbon aktif yang dihasilkan lebih banyak dan daya adsorpsi terhadap suatu adsorbat akan lebih baik.

Bahan-bahan pengaktif tersebut berfungsi untuk mendegradasi atau penghidrasi molekul organik selama proses karbonisasi, membatasi pembentukan tar, membantu dekomposisi senyawa organik pada aktivasi berikutnya, dehidrasi air yang terjebak dalam rongga-rongga karbon, membantu menghilangkan endapan hidrokarbon yang dihasilkan saat proses karbonisasi dan melindungi permukaan karbon sehingga kemungkinan terjadinya oksidasi dapat dikurangi.

Aktivasi secara kimia dengan menggunakan aktivator KOH tanpa kehadiran oksigen akan mengontrol rekasi pembakaran karbon melalui mekanisme sebagai berikut:



Pada proses tersebut, karbon bereaksi dengan oxidizing agent dan menghasilkan karbon dioksida yang berdifusi pada permukaan karbon. Amorphous carbon yang menghalangi pori bereaksi pada tahap oksidasi awal dan sebagai hasilnya closed pore akan terbuka. Selanjutnya reaksi akan berlanjut dengan mengikis dinding karbon untuk membentuk pori-pori baru.

1. Aktivasi Secara Fisika

Aktivasi fisika merupakan proses pemutusan rantai karbon dari senyawa organik dengan bantuan panas, uap dan CO₂. Metode aktivasi secara fisika antara lain dengan menggunakan uap air, gas karbon dioksida, oksigen, dan nitrogen. Gas-gas tersebut berfungsi untuk mengembangkan struktur rongga yang ada pada arang sehingga memperluas permukaannya, menghilangkan konstituen yang mudah menguap dan membuang produksi tar atau hidrokarbon-hidrokarbon pengotor pada arang.

Aktivasi fisika dapat mengubah material yang telah dikarbonisasi dalam sebuah produk yang memiliki luas permukaan yang luar biasa dan struktur pori. Tujuan dari proses ini adalah mempertinggi volume, memperluas diameter pori yang terbentuk selama karbonisasi dan dapat menimbulkan beberapa pori yang baru. Fluidized bed reactor dapat digunakan untuk proses aktivasi fisika. Tipe reaktor ini telah digunakan untuk pembuatan karbon aktif dari batu (Swiatkowski, 1991, p.12).

Penggunaan gas nitrogen selama proses aktivasi karena nitrogen merupakan gas yang inert sehingga pembakaran karbon menjadi abu dan oksidasi oleh pemanasan lebih lanjut dapat dikurangi, selain itu dengan aktivasi gas akan mengembangkan struktur rongga yang ada pada arang sehingga memperluas permukaannya. Kenaikan temperatur aktivasi pada kisaran 450°C - 700°C dapat meningkatkan luas permukaan spesifik dari karbon aktif (Raharjo, 1997, p.96).

Berdasarkan proses oksidasi karbon aktif yang dihasilkan terdiri dari dua jenis, yaitu:

1. L-Karbon (L-AC)

Karbon aktif yang dibuat dengan oksidasi pada suhu 300-400°C dengan menggunakan udara atau oksidasi kimia L-AC sangat cocok dalam mengadsorpsi ion terlarut dari logam berat basa seperti Pb²⁺, Cu²⁺, Cd²⁺, karakter permukaannya yang

bersifat asam akan berinteraksi dengan logam basa. Regenerasi dari L-AC dapat dilakukan menggunakan asam atau garam seperti NaCl yang hampir sama perlakuannya pada pertukaran ion.

1. H-Karbon (H-AC)

Karbon aktif yang dihasilkan dari proses pemasakan pada suhu 800-1000°C kemudian didinginkan pada atmosfer inersial. H-AC memiliki permukaan yang bersifat basa sehingga tidak efektif didalam mengadsorbsi logam berat alkali pada suatu larutan air tetapi sangat lebih efisien dalam mengadsorbsi kimia organik, partikulat hidrolit dan senyawa kimia yang mempunyai kelarutan yang rendah dalam air, akan tetapi H-AC dapat dimodifikasi dengan menaikkan angka asiditas. Permukaan yang netral akan mengakibatkan tidak efektifnya dalam mereduksi dan mengadsorbsi kimia.

2.5 Ijuk

Sumber air bersih dan jernih semakin langka dan distribusinya tidak merata. Salah satu alternatif mendapatkan air bersih adalah dari sumur atau sungai yang tidak tercemar bahan-bahan kimia, yaitu dengan membuat penjernihan air secara sederhana yang memanfaatkan sumberdaya di sekitar kita. Penjernihan terdiri dari tahap pertama berupa pengendapan/sedimentasi dan tahap kedua berupa penyaringan/filtrasi. Salah satu media yang akan digunakan adalah ijuk. Ijuk berfungsi untuk menyaring partikel yang lolos dari lapisan sebelumnya dan meratakan air yang mengalir.

2.6 Timbal (Pb)

Studi toksisitas timbal menunjukkan bahwa kandungan timbal dalam darah g/dl (1/10 bagian dari 1 liter darah) dianggap sebagai tingkat sebanyak 10 aktif (*level action*). Timbal di udara terutama berasal dari penggunaan bahan bakar bertimbal yang dalam pembakarannya melepaskan timbal oksida berbentuk debu/partikulat yang dapat terhirup oleh manusia. Debu timbal juga dapat mengkontaminasi tanah pertanian. Mobil berbahan bakar mengandung timbal melepaskan 95% timbal yang mencemari udara di negara berkembang.

Timbal adalah logam berat yang terdapat secara alami di dalam kerak bumi dan tersebar ke alam dalam jumlah kecil melalui proses alami. Timbal yang ada di lingkungan juga berasal dari kegiatan manusia yang menghasilkan timbal 300 kali lebih banyak dibandingkan timbal yang berasal dari proses alami.

Timbal terakumulasi di lingkungan, tidak dapat terurai secara biologis dan toksisitasnya tidak berubah sepanjang waktu. Timbal bersifat toksik jika terhidup atau tertelan oleh manusia dan di dalam tubuh akan beredar mengikuti aliran darah, diserap kembali di dalam ginjal dan otak, dan disimpan di dalam tulang dan gigi.

Manusia menyerap timbal melalui udara, debu, air dan makanan. Jutaan anak dan orang dewasa terpapar timbal dalam jumlah besar di lingkungan, rumah, sekolah dan tempat kerja. Penduduk kota mempunyai kandungan timbal dalam darah yang lebih tinggi dibandingkan penduduk desa. Penduduk di Negara berkembang, terutama anak-anak, terancam paparan timbal yang sangat besar disebabkan oleh:

1. Belum ada peraturan tentang emisi industri dan penggunaan bahan bakar yang mengandung timbal.
2. Lemahnya pelaksanaan peraturan lingkungan dan keselamatan kerja.
3. Banyaknya industri rumah tangga pelapisan dan pengolahan logam.
4. Penerapan budaya tertentu seperti penggunaan alat masak dari keramik mengandung timbal dan penggunaan timbal untuk bahan kosmetik.

Timbal adalah racun bagi lingkungan dan kesehatan masyarakat global. Penyebab terjadinya keracunan timbal bersifat lokal, bervariasi dalam komunitas dan negara yang berbeda. Penelitian menunjukkan bahwa timbal yang terserap oleh anak, walaupun dalam jumlah kecil, dapat menyebabkan gangguan pada fase awal pertumbuhan fisik dan mental yang kemudian berakibat pada fungsi kecerdasan dan kemampuan akademik.

Anak perkotaan di negara berkembang memiliki risiko yang tinggi dalam keracunan timbal. Diperkirakan pada tahun 1994 sebanyak 100% darah dari anak berumur di bawah 2 g/dl menurut US Centre tahun mengandung timbal yang melampaui ambang batas 10 untuk *Disease Control and Prevention* dan 80% darah dari anak 3-5 tahun melebihi ambang batas tersebut. Anak yang tinggal atau bermain di jalan raya sering menghirup timbal dari asap kendaraan yang menggunakan bahan bakar bertimbal.

Di negara yang maju sekalipun diperkirakan masih banyak anak yang darahnya mengandung timbal melebihi ambang batas. Diperkirakan 78% anak berumur di bawah 2 tahun dan 28% anak berumur 3-5 tahun memiliki kandungan timbal dalam darah yang melebihi ambang batas. Timbal yang terserap oleh ibu hamil akan berakibat pada kematian janin dan kelahiran prematur, berat lahir rendah bahkan keguguran.

Sistem syaraf dan pencernaan anak masih dalam tahap perkembangan, sehingga lebih rentan terhadap timbal yang terserap. Anak dapat menyerap hingga 50% timbal yang masuk ke dalam tubuh, sedangkan dewasa hanya menyerap 10- 15%. Anak dapat

menyerap 3 kali dosis lebih besar dibandingkan orang dewasa karena memiliki perbandingan permukaan penyerapan dan volume yang lebih besar. Anak senang memasukkan segala sesuatu ke dalam mulutnya.

Anak yang bermain dan menjelajah lingkungan dapat menelan timbal pada debu yang menempel di tangan, mainan atau benda lain di sekitarnya. Anak dapat menelan 200 mg timbal perhari terutama yang tinggal di kota dan dekat jalan raya yang padat. Janin dapat menyerap timbal yang terkandung dan terakumulasi di dalam darah ibunya karena timbal dapat masuk ke dalam plasenta dengan mudah.

Studi toksisitas timbal g/dl (1/10 bagian menunjukkan bahwa kandungan timbal dalam darah sebanyak 10 dari 1 liter darah) dianggap sebagai tingkat aktif (level action).

Pada g/dl, gangguan perkembangan dan penyimpangan kandungan timbal sebesar 10 perilaku pada anak dapat teramati g/dl membutuhkan . Kandungan timbal 45 perawatan segera dalam waktu 48 jam g/dl . Kandungan timbal lebih dari 70 menyebabkan kondisi gawat secara medis (*medical emergency*). Kandungan timbal g/dl bersifat sangat toksik dan dapat menimbulkan kematian pada di atas 120 anak.

Timbal di udara terutama berasal dari penggunaan bahan bakar bertimbal yang dalam pembakarannya melepaskan timbal oksida berbentuk debu/partikulat yang dapat terhirup oleh manusia. Debu timbal juga dapat mengkontaminasi tanah pertanian. Mobil berbahan bakar bertimbal melepaskan 95% timbal yang mencemari udara di negara berkembang. Debu timbal menempel di pintu atau jendela yang dapat terhirup ke dalam saluran pernafasan dan masuk ke dalam mulut.

Pada kadar rendah, keracunan timbal pada anak dapat menyebabkan, penurunan IQ dan pemusatan perhatian, kesulitan membaca dan menulis, hiperaktif dan gangguan perilaku, gangguan pertumbuhan dan fungsi penglihatan dan pergerakan, serta gangguan pendengaran. Pada kadar tinggi, keracunan timbal pada anak dapat menyebabkan, anemia, kerusakan otak, liver, ginjal, syaraf dan pencernaan, koma, kejang-kejang atau pilepsi bahkan kematian. Dampak keracunan yang terjadi pada anak bersifat, jangka panjang dan tidak dapat pulih, diperparah oleh paparan timbal berulang-ulang dan akumulasi di dalam tubuh.

2.7 Tembaga (Cu)

Tembaga adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang Cu dan nomor atom 29. Lambangnya berasal dari bahasa Latin Cuprum. Tembaga merupakan konduktor panas dan listrik yang baik. Selain itu unsur ini memiliki korosi yang cepat

sekali. Tembaga murni sifatnya halus dan lunak, dengan permukaan berwarna jingga kemerahan. Tembaga dicampurkan dengan timah untuk membuat perunggu.

Ion Tembaga(II) dapat berlarut ke dalam air, di mana fungsi mereka dalam konsentrasi tinggi adalah sebagai agen anti bakteri, fungisi, dan bahan tambahan kayu. Dalam konsentrasi tinggi maka tembaga akan bersifat racun, tetapi dalam jumlah sedikit tembaga merupakan nutrisi yang penting bagi kehidupan manusia dan tanaman tingkat rendah. Di dalam tubuh, tembaga biasanya ditemukan di bagian hati, otak, usus, jantung, dan ginjal.

Kandungan logam berat Tembaga (Cu) pada sampel air yang memenuhi syarat sesuai dengan (Peraturan Menteri kesehatan R.I No : 416/MENKES/IX/1990) tentang Pengolahan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, yaitu 1,0 mg/l.

2.8 Adsorpsi

Adsorpsi adalah penyerapan bahan/senyawa tertentu pada permukaan padat (adsorben), sedangkan absorpsi adalah penetrasi bahan-bahan yang terserap ke dalam padatan. Kedua peristiwa tersebut sering terjadi secara simultan sehingga sering disebut juga dengan fenomena adsorpsi. Meskipun adsorpsi dan absorpsi terjadi pada karbon aktif dan padatan-padatan lainnya pada saat yang sama, namun keduanya sering diwakili dengan satu istilah saja yaitu adsorpsi.

Kebanyakan zat adsorben adalah bahan-bahan yang sangat berpori, dan adsorpsi berlangsung pada dinding pori-pori yang sangat kecil, luas permukaan dalam menjadi beberapa orde besaran lebih besar dari permukaan luar. Pemisahan terjadi karena perbedaan molekul atau karena perbedaan polaritas yang menyebabkan sebagian molekul melekat pada permukaan yang lebih erat daripada molekul-molekul lainnya. Dalam kebanyakan hal, komponen yang diadsorpsi atau adsorbat melekat sedemikian kuat sehingga memungkinkan pemisahan komponen itu secara menyeluruh dari fluida tanpa terlalu banyak adsorpsi terhadap komponen yang lain. Regenerasi adsorben dapat dilaksanakan untuk mendapatkan adsorbat dalam bentuk terkonsentrasi atau hampir murni (Mc.Cabe-Thiele Analysis, 2000, hal 386).

Sebagai adsorben, karbon aktif adalah suatu padatan yang memiliki pori-pori, yang berikatan secara kovalen karena sebagian besar terdiri dari unsur karbon bebas, hal itu menghasilkan suatu pernyataan bahwa dengan pori-pori karbon yang semakin kecil maka luas permukaannya akan semakin besar sehingga adsorpsinya akan bertambah semakin

cepat. Maka dari itu dianjurkan untuk menggunakan karbon aktif yang telah di haluskan untuk emningkatkan kecepatan adsorpsi.

2.8.1 Jenis Adsorpsi

Adsorpsi dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu:

1. Adsorpsi Fisika (*Physisorption*), suatu proses gerakan tarik menarik antara zat terlarut dengan pelarutnya. Hal ini terjadi akibat gaya Van Der Waals dan terjadi secara bolak-balik (*reversible*). Bila gaya tarik menarik molekular antara solut dengan solven lebih besar dari gaya tarik menarik antara solut dengan adsorben maka solut akan teradsorpsi pada permukaan adsorben.
2. Adsorpsi Kimia (*Chemisorption*), terjadi akibat reaksi kimia di permukaan padatan antara solut dengan padatnya dan biasanya tidak dapat bolak-balik (*irreversible*). Adsorpsi kimia jarang terjadi pada langkah-langkah pada penggunaan karbon aktif untuk pengolahan air.

2.8.2 Proses Adsorpsi

Cara kerja yang terjadi pada proses adsorpsi:

- Molekul-molekul adsorben berpindah dari fase bagian terbesar ke permukaan antara adsorben yaitu lapisan film yang melapisi permukaan adsorben.
- Molekul-molekul adsorben berpindah dari permukaan antara adsorben ke permukaan luar.
- Molekul-molekul adsorbat berpindah dari permukaan luar adsorben, dimana molekul tersebut menyebar menuju pori-pori adsorben.
- Molekul-molekul adsorbat menempel pada permukaan pori-pori adsorben.

2.8.3 Faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi

1. Sifat adsorben
 - a. Adsorben murni, pada daya adsorpsi yang lebih baik dimiliki oleh adsorben yang lebih murni.
 - b. Volume pori dan luas permukaan adsorben, semakin besar luas permukaan/pori adsorben maka semakin besar adsorbat yang memungkinkan terserap.
2. Jenis adsorbat
 - a. Kepolaran adsorbat, apabila memiliki diameter yang sama molekul-molekul polar lebih kuat di adsorpsi dari pada molekul-molekul yang kurang polar.
 - b. Ukuran molekul adsorbat, molekul-molekul yang bias di adsorpsi adalah molekul-molekul yang berdiameter sama atau lebih kecil dari diameter pori.

3. Temperatur, berkurangnya temperatur akan menambah jumlah adsorbat yang teradsorpsi dan sebaliknya. Faktor yang mempengaruhi temperatur proses adsorpsi adalah viskositas dan stabilitas thermal senyawa serapan. Jika pemanasan tidak mempengaruhi sifat-sifat senyawa serapan, seperti terjadi perubahan warna maupun dekomposisi, maka perlakuan dilakukan pada titik didihnya
4. Tekanan, tekanan yang dimaksud adalah tekanan adsorbat. Pada adsorpsi fisika, kenaikan tekanan adsorpsi, adsorbat dapat menaikkan jumlah yang diadsorpsi. Pada adsorpsi kimia kenaikan tekanan adsorbat justru mengurangi jumlah yang teradsorpsi.
5. Pusat aktif, pada permukaan yang beragam, hanya sebagian permukaan yang mempunyai daya serap. Hal ini dapat terjadi disebabkan oleh permukaan yang heterogen. Sehingga hanya beberapa jenis zat yang dapat diserap oleh sebagian permukaan yang aktif disebut sebagai pusat aktif.

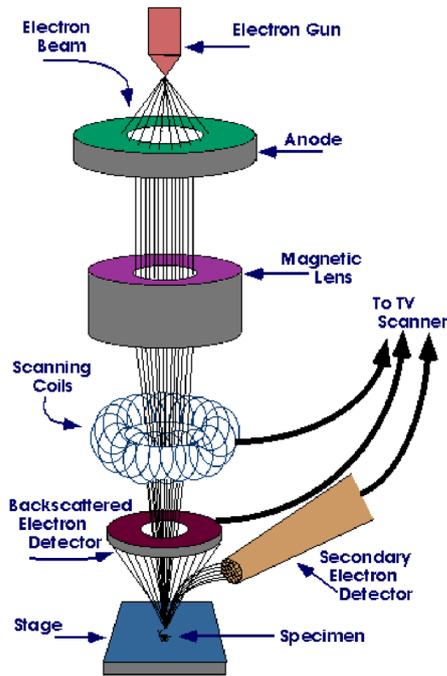
2.9 Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDX)

SEM (Scanning Electron Microscopy) adalah salah satu jenis mikroskop electron yang menggunakan berkas electron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis pada sebuah mikroskop elektron (SEM) terdapat beberapa peralatan utama, antara lain:

1. Pistol elektron, biasanya berupa filament yang terbuat dari unsur yang mudah melepas elektron.
2. Lensa untuk elektron, berupa lensa magnetis karena elektron yang bermuatan negative dapat dibelokkan oleh medan magnet.
3. System vakum, karena elektron sangat kecil dan ringan maka jika ada molekul udara yang lain, electron yang berjalan menuju sasaran akan terpancar oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran sehingga menghilangkan molekul udara menjadi sangat penting.

Prinsip kerja SEM adalah sebagai berikut:

1. Sebuah pistol electron memproduksi sinar electron dan dipercepat dengan anoda.
2. Lensa magnetic memfokuskan electron menuju ke sampel.
3. Sinar electron yang terfokus memindai (scan) keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
4. Ketika electron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan electron baru yang akan diterima oleh detector dan dikirim ke monitor (CRT).



Gambar 2.5 Prinsip kerja Scanning Electron Microscopy (SEM)
 Sumber: Sari, MD. (2018, p.40)

2.10 Analisa Mutu Karbon Aktif Cangkang Bunga Pinus

Untuk menguji mutu karbon aktif sesuai dengan SNI yang telah disebutkan sebelumnya, beberapa hal yang harus diperhitungkan adalah rendemen, kadar air, kadar abu, dan *fixed carbon*. Berikut adalah rumus perhitungan persyaratan-persyaratan tersebut menurut Khornia (2017, p.33):

2.10.1 Menghitung Rendemen

Rendemen dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{massa arang}}{\text{massa bahan baku}} \times 100 \% \dots\dots\dots(2-1)$$

2.10.2 Menghitung Kadar Air

Kadar air bahan ditentukan dengan cara mengeringkan sampel bahan seberat 5 gram dengan menggunakan oven. Kemudian timbang cawan *crusible*, setelah itu letakkan sampel ke dalamnya dan timbang beratnya lagi. Setelah itu, keringkan kedalam oven dengan suhu 100°C hingga bobotnya konstan, lalu dinginkan hingga menjadi suhu ruang dan timbang kembali beratnya.

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{\text{penyusutan massa}}{\text{massa sampel}} \times 100\% \dots\dots\dots(2-2)$$



2.10.3 Menghitung Kadar Abu Total

Timbang sampel bahan seberat 5 gram dengan menggunakan oven, kemudian timbang cawan *crusible*, setelah itu letakkan sampel ke dalamnya dan timbang beratnya lagi.

Setelah itu, keringkan kedalam oven dengan suhu 100°C hingga bobotnya konstan.

Kemudian dipanaskan pelan-pelan di atas bara atau di bawah lampu infra merah sampai asap berhenti mengepul. Kemudian dimasukkan ke dalam furnace dan diabukan pada suhu

600°C sampai terbentuk abu putih. Setelah menjadi abu, lalu simpan dalam desikator dan hitung bobotnya.

$$\text{Kadar Abu (\%)} = \frac{\text{massa abu total}}{\text{massa sampel}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2-3)$$



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB III METODOLOGI

Penelitian tentang karbon aktif ini dilakukan dengan menggunakan adsorben dari hasil proses karbonisasi cangkang bunga pinus yang kemudian diaktivasi menggunakan larutan KOH. Karbon aktif ini akan digunakan untuk mengadsorpsi air limbah yang mengandung logam berat timbal.

3.1. Lokasi Penelitian

Proses karbonisasi cangkang bunga pinus dilakukan di Laboratorium Bioenergi, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuwana Tunggadewi Malang. Kemudian proses aktivasi karbon cangkang bunga pinus dilakukan di Laboratorium Pengecoran Logam dan Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang. Proses penelitian menggunakan alat filter dilakukan di Laboratorium Air Tanah, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang. Sedangkan untuk pengujian *Scanning Electron Microscopy-Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDX)* dilakukan di Institut Biosains, Universitas Brawijaya.

3.2. Variabel Penelitian

Variable-variabel yang terdapat di dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Variabel Tetap
 - a. Waktu karbonasi: 2,5 jam
 - b. Suhu karbonasi: 500 °C
 - c. Suhu aktivasi: 600 °C
 - d. Zat pengaktif (aktivator): KOH
 - e. Waktu perendaman dalam aktivator: 24 jam
 - f. Susunan alat filter: ijuk– karbon aktif– ijuk
 - g. Ketebalan lapisan karbon aktif: 20 cm
 - h. Ketebalan ijuk: @ 10 cm
 - i. Konsentrasi timbal: 1 gr tiap 100 mL air
 - j. Konsentrasi copper: 1 gr tiap 100 mL air

2. Variabel Bebas

- Waktu aktivasi: 60 menit, 90 menit, 120 menit
- Konsentrasi KOH: 30%, 50%

3. Variabel Respon

- Rendemen
- Kadar air
- Kadar abu
- Fixed carbon* (%)
- Hasil analisa secara fisik dan kimia menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM)

3.3. Alat dan Bahan

3.3.1. Alat

- Oven listrik
- Slow pyrolysis*
- Furnace
- Neraca analitis
- Spatula
- Ayakan
- Desikator
- Termometer
- Alu dan lumpang
- Cawan crusible
- Kertas saring
- Pipet tetes
- Magnetic stirrer*
- Reaktor karbonisasi
- Gelas ukur 100 mL
- Plastik
- Scanning Electron Microscopy* (SEM-EDX)

3.3.2. Bahan

- Cangkang bunga pinus
- Larutan KOH
- Larutan timbal



4. Larutan aquades
5. Sabut kelapa

3.4. Prosedur Penelitian

3.4.1. Pengambilan Bahan Baku

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu cangkang bunga pinus, didapat dari Bumi Perkemahan Bedengan, Dusun Selokerto, Desa Selorejo, Kecamatan Dau, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur.

3.4.2. Persiapan Cangkang Bunga Pinus

1. Cangkang bunga pinus dibersihkan;
2. Jemur cangkang bunga pinus hingga kering.

3.4.3. Proses Karbonisasi Cangkang Bunga Pinus

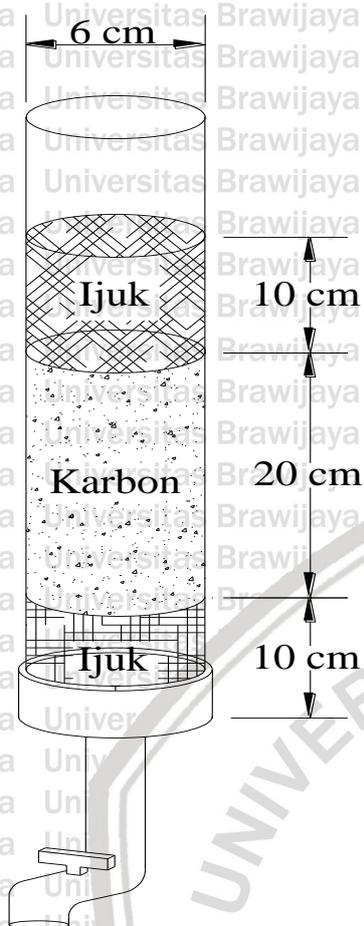
1. Cangkang bunga pinus dikarbonisasi menggunakan alat *slow pyrolysis* dengan suhu 500°C selama $\pm 2,5$ jam;
2. Hasil karbonisasi cangkang bunga pinus didiamkan terlebih dahulu hingga kering;
3. Setelah kering, arang cangkang bunga pinus kemudian ditumbuk hingga berbentuk granul;
4. Diayak dengan ayakan 100 mesh.

3.4.4. Aktivasi Arang Cangkang Bunga Pinus

1. Arang cangkang bunga pinus direndam menggunakan larutan KOH dengan variasi konsentrasi 30% dan 50% dengan suhu 100 °C, aduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 24 jam;
2. Saring arang cangkang bunga pinus menggunakan kain saring;
3. Kemudian arang yang sudah direndam dipanaskan di dalam *furnace* dengan suhu 600 °C serta variasi waktu aktivasi 60 menit, 90 menit, dan 120 menit;
4. Setelah waktunya habis, maka diamkan terlebih dahulu karbon aktif hingga mencapai suhu kamar;
5. Cuci karbon aktif menggunakan aquades hingga pH-nya kembali normal ($\text{pH} = 6 - 7$);
6. Keringkan karbon aktif dengan menggunakan oven bersuhu 105 °C selama 3 jam.
7. Hasil aktivasi ditimbang untuk mengetahui massa arang aktif.

3.4.5. Sketsa Penelitian

Dengan menggunakan alat filter yang sudah di modifikasi dengan diameter 6cm, maka berikut ini merupakan susunan dan perlakuannya:



Gambar 3.1 Konsep Desain untuk Alat Filter Karbon Aktif
Sumber: Hasil penggambaran, 2018.

Terdapat 7 variasi karbon aktif yang berbeda, yaitu:

1. Karbon yang tidak diaktivasi
2. Aktivasi selama 60 menit dengan konsentrasi KOH 30%;
3. Aktivasi selama 60 menit dengan konsentrasi KOH 50%;
4. Aktivasi selama 90 menit dengan konsentrasi KOH 30%;
5. Aktivasi selama 90 menit dengan konsentrasi KOH 50%;
6. Aktivasi selama 120 menit dengan konsentrasi KOH 30%;
7. Aktivasi selama 120 menit dengan konsentrasi KOH 50%;

Setelah itu, langkah penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Membuat limbah cair sintetis di Laboratorium Air Tanah, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang.
2. Kemudian untuk proses penjernihan air pada masing-masing alat digunakan air sampel yang merupakan limbah cair sintetis.

- Setelah air limbah selesai difilter, maka karbon aktif dapat mulai dianalisa menggunakan (SEM-EDX) untuk mengetahui efektivitas proses pengikatan dari setiap media filter.

Tabel 3.1
Rancangan Percobaan

No	Variabel Bebas	
	Konsentrasi KOH	Waktu Aktivasi Pembakaran
1	30%	60 menit
		90 menit
		120 menit
2	50%	60 menit
		90 menit
		120 menit

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

3.4.6. Proses Pembuatan Limbah Sintetis

Dalam penelitian ini menggunakan limbah dengan karakteristik air limbah sintetis yang mengandung Pb dan Cu. Alasan utama penggunaan limbah sintetis dan bukan limbah asli adalah:

- Tinjauan dalam penelitian ini adalah konsentrasi Pb dan Cu, sedangkan di dalam limbah industri asli kemungkinan terkandung pula bahan-bahan lain seperti minyak dan lemak. Padahal bahan-bahan tersebut tidak diteliti kualitasnya.
- Kepraktisan dalam pelaksanaan penelitian, mengingat penelitian ini dilakukan dalam waktu yang agak lama, maka dibutuhkan pula volume air limbah yang cukup besar. Oleh karena itu dengan alasan kemudahan pembuatan persediaan limbah dan juga kualitas limbah yang dapat lebih dikontrol, digunakan air limbah buatan.

Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam pembuatan limbah timbal buatan adalah sebagai berikut:

- Menimbang garam-garam yang mengandung sumber limbah yaitu $Pb(NO_3)_2$

- Menghitung $Pb(NO_3)_2$

$$Mr Pb(NO_3)_2 = Ar Pb = 207 \text{ g/mol}$$

$$= Ar N_3 : 14 \times 2 = 28 \text{ g/mol}$$

$$= Ar O_6 : 16 \times 6 = 96 \text{ g/mol}$$

$$Mr Pb(NO_3)_2 = 331 \text{ gr/mol}$$

Massa $Pb(NO_3)_2$ untuk air limbah sintetis:

$$\text{Massa } Pb(NO_3)_2 = \text{stok Pb} \times \frac{Mr Pb(NO_3)_2}{Ar Pb}$$

$$= 50 \text{ g} \times \frac{331 \text{ gr/mol}}{207 \text{ gr/mol}}$$

$$= 79,952 \text{ mg}$$



Jadi, massa $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ yang dibutuhkan untuk membuat larutan Pb 50 mg/L dalam 1 liter air adalah 0,080 gram.

2. Membuat larutan Pb 20 ppm dengan 4,3 L air

$$\begin{aligned} M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 50 \text{ ppm} \times V_1 &= 20 \text{ ppm} \times 4,3 \text{ L} \\ &= \frac{2}{5} \times 4,3 \\ &= 1,72 \text{ L} \end{aligned}$$

b. Menimbang garam-garam yang mengandung sumber limbah yaitu CuSO_4 .

1. Menghitung CuSO_4

$$\begin{aligned} \text{Mr CuSO}_4 &= \text{Ar Cu} &&= 64 \text{ g/mol} \\ &= \text{Ar S} &&= 32 \text{ g/mol} \\ &= \text{Ar O}_4 : 16 \times 4 &&= 64 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

$$\text{Mr CuSO}_4 = 160 \text{ gr/mol}$$

Massa CuSO_4 untuk air limbah sintetis:

$$\begin{aligned} \text{Massa CuSO}_4 &= \text{stok Cu} \times \frac{\text{Mr CuSO}_4}{\text{Ar Cu}} \\ &= 50 \text{ g} \times \frac{160 \text{ gr/mol}}{64 \text{ gr/mol}} \\ &= 125 \text{ mg} \\ &= 0,125 \text{ gr} \end{aligned}$$

Jadi, massa CuSO_4 yang dibutuhkan untuk membuat larutan Cu 50 mg/L dalam 1 liter air adalah 0,125 gram.

2. Membuat larutan Cu 20 ppm

$$\begin{aligned} \bullet \quad M_1 \times V_1 &= M_2 \times V_2 \\ 50 \text{ ppm} \times V_1 &= 20 \text{ ppm} \times V_2 \\ \frac{V_1}{V_2} &= \frac{2}{5} \\ V_1 &= \frac{2}{5} V_2 \\ \bullet \quad V_1 + V_2 &= 2,25 \text{ L} \\ \frac{2}{5} V_2 + V_2 &= 2,25 \text{ L} \\ \frac{7}{5} V_2 &= 2,25 \text{ L} \\ V_2 &= \frac{2,25 \times 5}{7} \\ &= 1,6 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad V_1 &= \frac{2}{5} V_2 \\ &= \frac{2}{5} \times 1,6 \text{ L} \\ &= 0,64 \text{ L} \end{aligned}$$

Jadi larutan induk yang dibutuhkan adalah 0,64 L atau 640 ml. Lalu ditambahkan dengan 1,6 L air atau 1600 ml. Massa CuSO_4 yang dibutuhkan dalam 0,64 L adalah sebesar 0,081 gram.

3.4.7. Pengambilan Sampel

Menurut Cohen, et.al, (2007, p.101) semakin besar sampel dari besarnya populasi yang ada adalah semakin baik, akan tetapi ada jumlah batas minimal yang harus diambil oleh peneliti yaitu sebanyak 30 sampel. Sebagaimana dikemukakan oleh Baley & Mahmud (2011, p.159) yang menyatakan bahwa untuk penelitian yang menggunakan analisis data statistik, banyak sampel paling minimum adalah 30. Senada dengan pendapat tersebut, Roscoe & Sugiono (2012, p.91) menyarankan tentang banyaknya sampel untuk penelitian sebagai berikut:

- Jumlah sampel yang layak dalam penelitian adalah antara 30 sampai dengan 500.
- Bila sampel dibagi dalam kategori maka jumlah anggota sampel setiap kategori minimal 30.
- Bila dalam penelitian akan melakukan analisis dengan multivariate (korelasi atau regresi ganda misalnya), maka jumlah anggota sampel minimal 10 kali dari jumlah variabel yang diteliti. Misalnya variabel penelitiannya ada 3 (independen + dependen), maka jumlah anggota sampel = $10 \times 3 = 30$
- Untuk penelitian eksperimen yang sederhana, yang menggunakan kelompok eksperimen dan kelompok kontrol, maka jumlah anggota sampel masing-masing kelompok antara 10 sampai 20.

3.4.8. Proses Filtrasi

Proses filtrasi akan dilakukan sebanyak 5 kali untuk masing-masing prototype, hal ini dilakukan untuk memenuhi standar metodologi penelitian menurut Baley dan Mahmud.

Berikut langkah-langkah dalam melakukan proses filtrasi:

1. Siapkan alat filtrasi sesuai dengan Gambar 3.1.
2. Alirkan air sebanyak 1,31 L ke dalam alat filter;
3. Diamkan hingga mengalir
4. Alirkan air keluar alat filter melalui kran yang tersedia;
5. Ambil 5 gram sampel karbon aktif untuk masing-masing percobaan

6. Analisa masing-masing sampel menggunakan SEM-EDX

3.4.9. Pengujian SEM-EDX

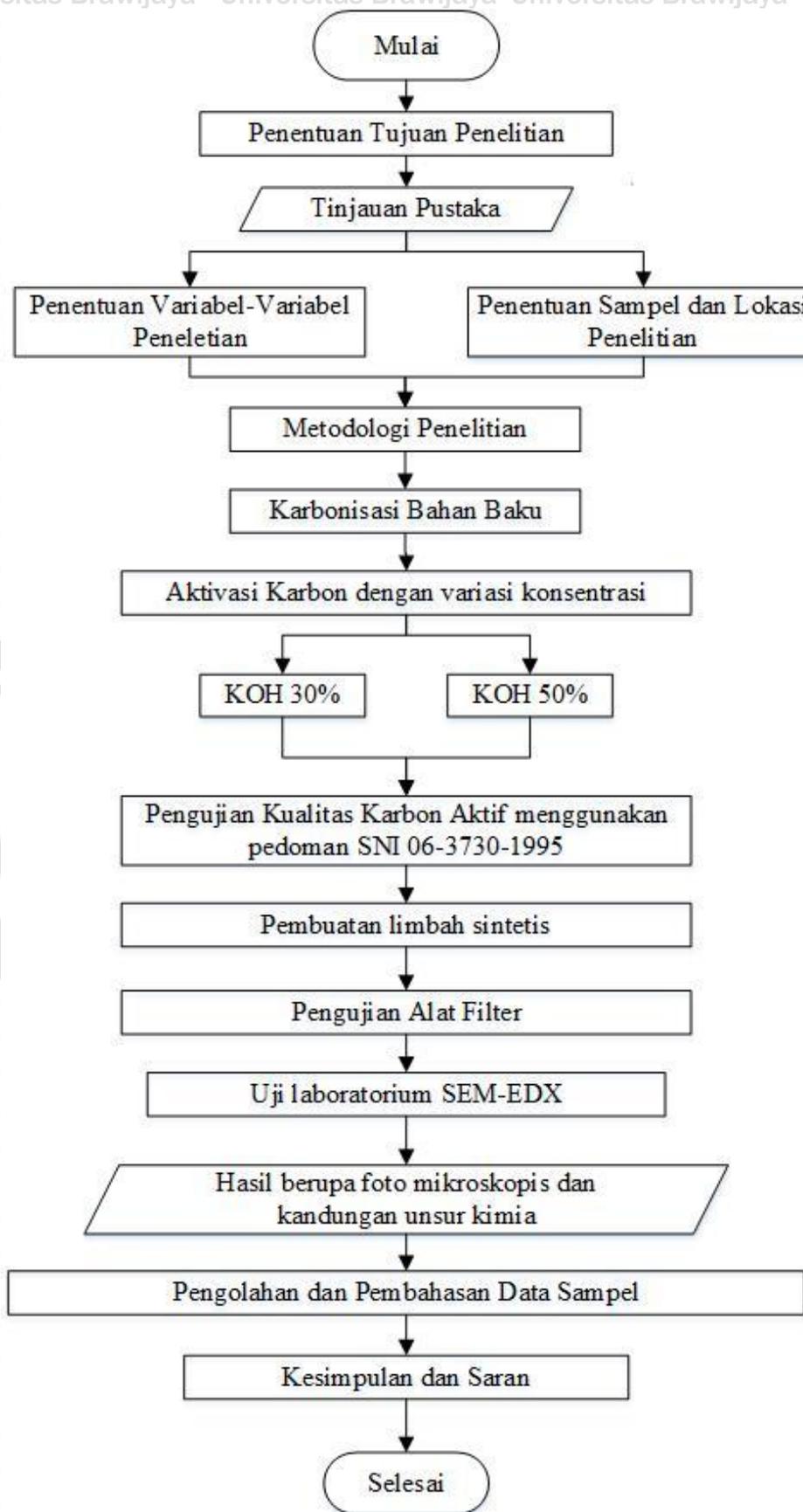
Uji kualitas karbon aktif menggunakan SEM-EDX dengan cara:

- a. Menghidupkan mesin SEM-EDX dan komputer.
- b. Masukkan sampel benda uji ke dalam *Chamber* SEM-EDX.
- c. Sampel benda uji dimasukkan kedalam *Chamber* SEM-EDX kemudian pump (*High Vacuum* atau *Low Vacuum*) dan setelah benar-benar vakum maka mesin SEM-EDX siap digunakan (*Beam On*).
- d. Sampel benda uji diperbesar sampai terlihat permukaan benda uji yang diinginkan.

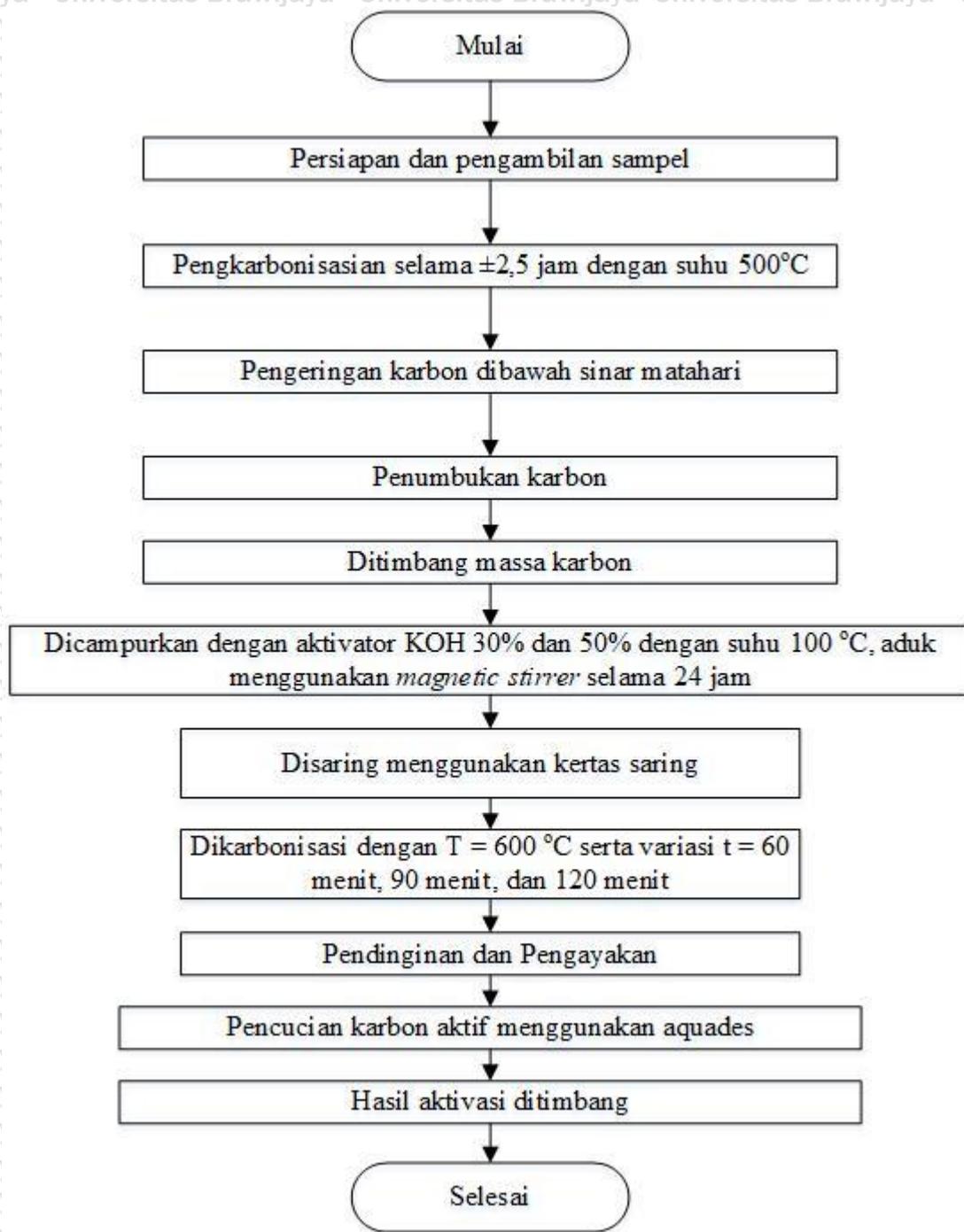
3.5. Diagram Alir Pengerjaan Skripsi

Berdasarkan tahapan penelitian yang dinyatakan sebelumnya, maka disajikan diagram alir penyelesaian seperti dibawah ini:





Gambar 3.2 Diagram Alir Pengerjaan Skripsi
 Sumber: Hasil Metodologi, 2018.



Gambar 3.3 Diagram Alir Pembuatan Karbon Aktif Cangkang Bunga Pinus

Sumber: Hasil Metodologi, 2018.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil penelitian pembuatan karbon aktif dari cangkang bunga pinus dengan aktivasi menggunakan larutan kimia KOH (Kalium Hidroksida) beserta dengan analisisnya. Penelitian ini diharapkan menghasilkan karbon aktif yang memiliki pori-pori permukaan yang besar dan dapat mengadsorpsi. Analisis pada bab ini menekankan pada pengaruh variasi waktu aktivasi dan konsentrasi dari larutan KOH (Kalium Hidroksida):

4.1 Proses Aktivasi Karbon Cangkang Bunga Pinus

4.1.1 Preparasi Bahan

Pembuatan karbon aktif dilakukan dengan melakukan persiapan bahan dasar karbon aktif yaitu cangkang bunga pinus yang terdapat di Hutan Bedengan, Kota Malang. Sebelum di karbonisasi, cangkang bunga pinus di keringkan di bawah matahari.



Gambar 4.1 Cangkang Bunga Pinus

Sumber: Dokumentasi, 2019

Proses karbonisasi cangkang bunga pinus pada penelitian ini dilakukan menggunakan *slow pyrolysis* dengan suhu 500°C dalam waktu $\pm 2,5$ jam hingga menjadi arang. Proses ini dilakukan di Laboratorium Bioenergi, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Tribhuwana Tunggaladewi pada tanggal 20 November 2018. Setelah arang cangkang bunga pinus sudah kering, hal yang dilakukan selanjutnya adalah menumbuk arang tersebut hingga lolos ayakan 100 mesh.



Gambar 4.2 Proses Karbonisasi dengan *slow pyrolysis*

Sumber: Dokumentasi, 2019

4.1.2 Variasi Konsentrasi Larutan KOH

Penggunaan variasi karbon aktif bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi KOH terhadap luas permukaan dari karbon aktif yang dihasilkan. Konsentrasi KOH akan berpengaruh dalam peningkatan daya adsorpsi karbon cangkang bunga pinus. Dalam penelitian sebelumnya (Erlina, 2015) mengatakan bahwa semakin besar konsentrasi KOH yang diberikan maka semakin tinggi efisiensi penyerapannya terhadap logam berat. Namun untuk konsentrasi KOH 60% efisiensi penyerapannya menurun dikarenakan pori-pori karbon aktif mengalami kejenuhan sehingga daya adsorpsinya menurun. Maka di penelitian kali ini menggunakan konsentrasi larutan KOH 30% dan 50%. Larutan aktivator dibuat dari padatan KOH yang dilarutkan menggunakan aquades. Konsentrasi yang dibuat berdasarkan persentase berat. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Air Tanah, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya Malang.

4.1.3 Perendaman dan Penyaringan Karbon

Proses aktivasi kimia yang dilakukan di penelitian kali ini adalah dengan merendam sampel karbon kedalam larutan KOH lalu diamkan selama 24 jam. Karbon di rendam dalam larutan KOH bertujuan agar karbon terkikis (membentuk lubang) lalu menghasilkan pembentukan pori-pori. Pembentukan pori-pori ini diharapkan akan memperbesar luas permukaan karbon aktif yang diperoleh sehingga efisiensi adsorpsinya pun akan meningkat.

Terlihat bahwa larutan KOH hasil rendaman berwarna coklat kehitaman. Hal ini dikarenakan larutan KOH bersifat basa kuat yang korosif sehingga menghasilkan banyak abu yang terlepas dari arang.



Gambar 4.3 Karbon yang direndam KOH

Sumber: Dokumentasi, 2019.

Setelah didiamkan selama 24 jam, karbon yang sudah direndam lalu di saring agar kadar air dari karbon tersebut hilang. Penyaringan dilakukan menggunakan kain saring lalu di peras hingga dirasa karbon sudah cukup kering.



Gambar 4.4 Penyaringan Karbon

Sumber: Dokumentasi, 2019.

4.1.4 Variasi Waktu Aktivasi

Variasi waktu dalam pembakaran karbon menggunakan *furnace* untuk masing-masing konsentrasi KOH adalah 60 menit, 90 menit dan 120 menit dalam suhu 600°C . Hal ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi dari tiap variasi waktu.



Gambar 4.5 Alat Furnace

Sumber: Dokumentasi, 2019.

Pembakaran karbon cangkang bunga pinus dilakukan di Laboratorium Pengecoran

Logam dan Pengujian Bahan, Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya pada tanggal 3 Juli 2019. Sampel pertama karbon yang di bakar adalah yang menggunakan larutan aktivator dengan konsentrasi 30% dengan waktu 60 menit, 90 menit dan 120 menit.

Setelah itu karbon yang menggunakan larutan aktivator KOH dengan konsentrasi 50% dengan waktu 60 menit, 90 menit dan 120 menit.



Gambar 4.6 Karbon yang Sudah di Aktivasi
Sumber: Dokumentasi, 2019.

4.1.5 Pencucian Karbon Aktif

Pencucian karbon aktif di lakukan agar pH karbon aktif menjadi netral. Kondisi karbon aktif yang sangat basa ini dapat mempengaruhi kualitas air dan karakteristik karbon aktif dalam mengadsorpsi logam berat. Maka dari itu, pencucian karbon aktif sangat penting dilakukan. Pencucian dilakukan dengan menyiramkan aquades ke karbon aktif. Menurut PP No. 82 Tahun 2001 nilai pH yang dikehendaki adalah 6-9.



Gambar 4.7 Pencucian Karbon Aktif dengan Aquades
Sumber: Dokumentasi, 2019.

4.2 Hasil Analisis Mutu Kualitas Karbon Aktif Cangkang Bunga Pinus

Kualitas arang aktif berbahan baku cangkang bunga pinus diuji meliputi parameter: rendemen, kadar air, dan kadar abu. Metode pengujian mengacu pada SNI dan hasil uji dibandingkan dengan persyaratan dalam SNI 06-3730-1995.

4.2.1 Perhitungan Rendemen

Perhitungan rendemen menggunakan rumusan:

$$\begin{aligned} \text{Rendemen (\%)} &= \frac{\text{massa arang (kg)}}{\text{massa bahan baku (kg)}} \times 100 \% \\ &= \frac{7}{40} \times 100\% \\ &= 17,5\% \end{aligned}$$

4.2.2 Perhitungan Kadar Air

Tabel 4.1
Kadar Air pada Tiap Sampel Karbon Aktif

Sampel	Massa Cawan (g)	Massa Cawan + Sampel (g)	Massa setelah dioven (g)	Penyusutan massa	Kadar Air (%)
Tanpa Aktivasi	135,754	140,762	140,369	0,393	7,847
30% 60 menit	123,466	128,471	128,417	0,054	1,079
30% 90 menit	122,653	127,654	127,269	0,385	7,698
30% 120 menit	130,238	135,243	135,213	0,030	0,599
50% 60 menit	122,624	127,627	126,952	0,675	13,492
50% 90 menit	123,434	128,435	128,516	0,081	1,620
50% 120 menit	130,228	135,225	134,670	0,555	11,107

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

Perhitungan Kadar Air dari Karbon Aktif Cangkang Bunga Pinus

- Berat sampel = 1 gr
- Suhu oven = 100°C
- Waktu pengeringan = 3 jam

➤ Contoh perhitungan analisis kadar air

$$\begin{aligned} \text{Kadar air (\%)} &= \frac{\text{penyusutan massa}}{(\text{massa cawan+sampel})-(\text{massa cawan})} \times 100\% \\ &= \frac{0,054}{(128,471-123,466)} \times 100\% \\ &= 1,079 \end{aligned}$$

Jadi, kadar air dari karbon aktif cangkang bunga pinus ini sesuai dengan SNI 06-3730-1995 yaitu tidak melebihi dari 15%.

4.2.3 Perhitungan Kadar Abu

Tabel 4.2
Kadar Abu pada Tiap Sampel Karbon Aktif

Sampel	Massa Cawan (g)	Massa Cawan + Sampel (g)	Massa setelah dioven (g)	Kadar Abu (%)
Tanpa Aktivasi	135,760	140,369	136,220	9,980
30% 60 menit	122,411	126,411	122,658	6,175
30% 90 menit	123,434	128,035	123,751	6,890
30% 120 menit	123,320	127,193	123,672	9,089
50% 60 menit	123,239	127,606	123,559	7,328
50% 90 menit	122,346	127,429	122,707	7,102
50% 120 menit	129,966	133,926	130,289	8,157

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

Perhitungan Kadar Abu dari Karbon Aktif Cangkang Bunga Pinus

- Berat sampel = 1 gr
- Suhu oven = 600°C
- Waktu pengeringan = 3 jam
- Contoh perhitungan analisis kadar abu

$$\begin{aligned} \text{Kadar abu (\%)} &= \frac{\text{massa abu total}}{\text{massa sampel}} \times 100\% \\ &= \frac{(136,220 - 135,760)}{(140,369 - 135,760)} \times 100\% \\ &= 9,980 \end{aligned}$$

Jadi, kadar abu dari karbon aktif cangkang bunga pinus ini sesuai dengan SNI 06-3730-1995 yaitu tidak melebihi dari 10%.

4.3 Pembuatan Kondisi dan Sampel Awal Limbah

Pembuatan sampel limbah sintetis dilakukan di Laboratorium Air Tanah, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Air limbah sintetis yang dibuat berfokus pada kandungan logam Cuprum (Cu) dan Timbal (Pb). Kandungan limbah sampel awal untuk Cu adalah sebesar 2,44 ppm untuk Pb adalah sebesar 0,75 ppm. Kadar tersebut tidak sesuai dengan Standar Baku Mutu Air menurut PP No. 82 Tahun 2001 pada kelas III. Selanjutnya, kandungan Cu dan Pb diturunkan hingga 0,02 untuk Cu dan 0,03 untuk Pb sesuai dengan kelas III Kriteria Mutu Air. Kondisi awal dari sampel limbah ini adalah kondisi pada saat sampel limbah belum diberikan perlakuan.



Gambar 4.8 Pembuatan Limbah Sintetis

Sumber: Dokumentasi, 2019.

Tabel 4.3

Kandungan Limbah Sampel Awal

No.	Parameter Uji	Satuan	Nilai	Standar Baku Mutu PP No. 82 Tahun 2001
1.	Pb	mg/L	0,75	0,03
2.	Cu	mg/L	2,44	0,02

Sumber: Hasil Uji Laboratorium, 2019.

4.4 Hasil Pembuatan Media Filter

Media filter yang dibuat merupakan alat penjernih air sederhana dengan menggunakan bahan akrilik. Pembuatan media filter dilakukan pada tanggal 24 Juli 2019. Setiap media filter memiliki ukuran tinggi 50 cm dan diameter 6 cm. Kemudian dipasang keran di dasar media filter yang di hubungkan menggunakan pipa paralon untuk keluarnya air dengan diberi kain kassa pada setiap susunan media filter.

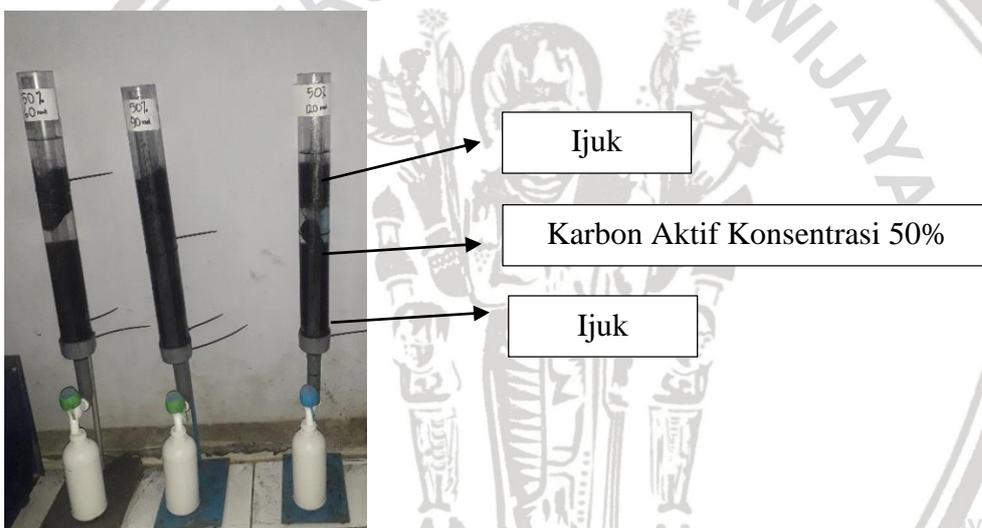
4.4.1 Variasi Bahan Filter

Variasi bahan filter dilakukan untuk mengetahui konsentrasi KOH dan waktu aktivasi yang terbaik dalam mereduksi logam berat Pb dan Cu. Terdapat 7 variasi karbon aktif yang berbeda, yaitu:

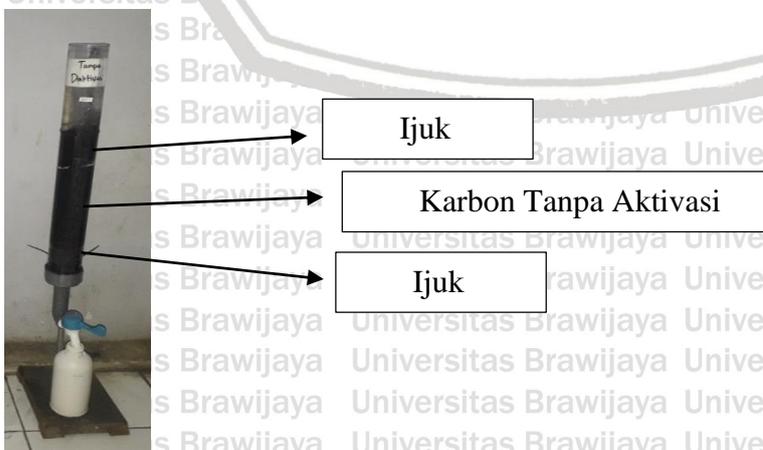
1. Karbon yang tidak diaktivasi
2. Aktivasi pembakaran selama 60 menit dengan konsentrasi KOH 30%;
3. Aktivasi pembakaran selama 60 menit dengan konsentrasi KOH 50%;
4. Aktivasi pembakaran selama 90 menit dengan konsentrasi KOH 30%;
5. Aktivasi pembakaran selama 90 menit dengan konsentrasi KOH 50%;
6. Aktivasi pembakaran selama 120 menit dengan konsentrasi KOH 30%;
7. Aktivasi pembakaran selama 120 menit dengan konsentrasi KOH 50%.



Gambar 4.9 Variasi Media Filter dengan konsentrasi KOH 30%
Sumber: Dokumentasi, 2019.



Gambar 4.10 Variasi Media Filter dengan konsentrasi KOH 50%
Sumber: Dokumentasi, 2019.



Gambar 4.11 Variasi Media Filter dengan Karbon Tanpa Aktivasi
Sumber: Dokumentasi, 2019.

4.5 Hasil Analisis Proses Penurunan Kandungan Parameter Air Limbah

4.5.1 Cuprum (Cu)

Pada penelitian kali ini salah satu logam yang akan di reduksi adalah Cuprum atau Tembaga. Standar baku mutu Cu berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 Tentang Pengolahan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air adalah sebesar 0,02 mg/L. Pada awal pembuatan sampel limbah sintetis, konsentrasi Cu yang dibuat adalah sebesar 2,44 mg/L yang nantinya akan direduksi hingga mencapai batas standar baku mutu. Berikut merupakan tabel hasil pengujian kadar Cu pada limbah sintetis.

Tabel 4.4
Hasil Pengujian Kadar Cu pada Limbah Sintetis

No	Parameter	Satuan	Kondisi	Variasi Konsentrasi	
				KOH 30%	KOH 50%
1			Sampel Limbah Awal	2,44	
2			Tanpa Aktivasi	0,121	
3	Cu	mg/L	waktu aktivasi pembakaran 60 menit	0	0,152
4			waktu aktivasi pembakaran 90 menit	0	0
5			waktu aktivasi pembakaran 120 menit	0	0

Sumber: Hasil Uji Laboratorium Tanah dan Air Tanah Universitas Brawijaya, 2019.

Tabel 4.4 menunjukkan hasil uji kadar pada sampel limbah sintetis dengan kandungan logam Cu. Dari hasil uji pada Tabel 4. menunjukkan bahwa sampel awal limbah sintetis memiliki kandungan Cu sebesar 2,44 mg/L. Kemudian setelah air limbah sintetis difilter menggunakan ketujuh variabel, kandungan Cu yang terdapat pada limbah sintetis mengalami penurunan pada semua variabel. Namun, hasil dari pengujian kadar setelah di lakukan perlakuan bernilai 0 mg/L.

4.5.1.1 Hasil Analisis Variasi Waktu Aktivasi pada Kadar Cu

Variasi waktu aktivasi menunjukkan hasil yang berbeda dalam menurunkan kadar Cu. Berikut merupakan hasil uji laboratorium tiap masing-masing karbon aktif:

1. Karbon Tanpa Aktivasi

Limbah sintetis yang mengandung Cu awalnya memiliki kadar 2,44 mg/L lalu saat di alirkan ke alat filtrasi dan di diamkan selama 24 jam yang tersusun dari ijuk + karbon tanpa aktivasi + ijuk kadarnya turun menjadi 0,121 mg/L. Hal ini bisa terjadi karena kandungan Cu yang mengendap (*clogging*) di permukaan karbon atau media ijuk.

2. Aktivasi Pembakaran Selama 60 Menit

Limbah sintetis yang mengandung Cu awalnya memiliki kadar 2,44 mg/L lalu saat di alirkan ke alat filtrasi dan di diamkan selama 24 jam yang tersusun dari ijuk + karbon yang diaktivasi pembakaran selama 60 menit + ijuk kadarnya turun menjadi 0 mg/L

pada konsentrasi KOH 30% dan menjadi 0,152 mg/L pada konsentrasi KOH 50%. Hal ini bisa terjadi karena kandungan Cu yang mengendap (clogging) di permukaan karbon atau media ijuk.

3. Aktivasi Pembakaran Selama 90 Menit

Limbah sintesis yang mengandung Cu awalnya memiliki kadar 2,44 mg/L lalu saat di alirkan ke alat filtrasi dan di diamkan selama 24 jam yang tersusun dari ijuk + karbon yang diaktivasi pembakaran selama 90 menit + ijuk kadarnya turun menjadi 0 mg/L pada konsentrasi KOH 30% dan menjadi 0 mg/L pada konsentrasi KOH 50%. Hal ini bisa terjadi karena kandungan Cu yang mengendap (clogging) di permukaan karbon atau media ijuk.

4. Aktivasi Pembakaran Selama 120 Menit

Limbah sintesis yang mengandung Cu awalnya memiliki kadar 2,44 mg/L lalu saat di alirkan ke alat filtrasi dan di diamkan selama 24 jam yang tersusun dari ijuk + karbon yang diaktivasi pembakaran selama 120 menit + ijuk kadarnya turun menjadi 0 mg/L pada konsentrasi KOH 30% dan menjadi 0 mg/L pada konsentrasi KOH 50%. Hal ini bisa terjadi karena kandungan Cu yang mengendap (clogging) di permukaan karbon atau media ijuk.

4.5.1.2 Hasil Analisis Variasi Konsentrasi KOH pada kadar Cu

Untuk variasi konsentrasi KOH, hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa air limbah sintesis untuk kandungan Cu yang di filtrasi menggunakan variasi waktu pembakaran karbon aktif waktu aktivasi yang sama dengan konsentrasi KOH 50% menunjukkan hasil yang serupa dengan menggunakan konsentrasi KOH 30% dan karbon yang tidak di aktivasi. Sebagai contoh, limbah sintesis yang mengandung Cu yang di filtrasi menggunakan karbon aktif dengan konsentrasi KOH 50% sebesar 0 mg/L, begitupun juga dengan konsentrasi KOH 30% dan yang tidak di aktivasi. Hal ini dapat di pengaruhi oleh karbon yang tidak di aktivasi sebelumnya tidak melalui proses pencucian secara keseluruhan sehingga pH dari karbon tersebut tidak netral dan berdampak dengan adanya pengendapan Cu di permukaan karbon tersebut sehingga tidak terserap dengan baik. Namun untuk karbon yang di aktivasi dengan konsentrasi KOH 30% dan 50% tidak juga terbaca kadar Cu nya diperkirakan telah terjadi kesalahan perhitungan atau terjadi dua kemungkinan yaitu adsorpsi atau absorpsi yang akan diteliti lebih lanjut menggunakan uji SEM-EDX.

4.5.1.3 Analisis Reaksi Kimia pada Kadar Cu

Pada sampel awal pembuatan limbah sintetis kandungan Cu, garam CuSO_4 dilarutkan atau dicampur dengan aquades. Tembaga(II) sulfat pentahidrat akan terdekomposisi sebelum mencair pada 150°C , akan kehilangan dua molekul airnya pada suhu 63°C , diikuti 2 molekul lagi pada suhu 109°C dan molekul air terakhir pada suhu 200°C .

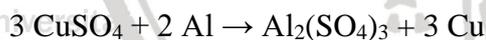
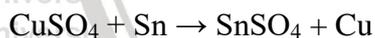
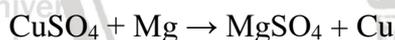
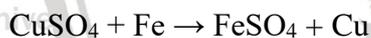
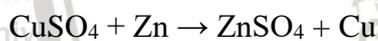
Proses dehidrasi melalui dekomposisi separuh tembaga tetraaqua(2+), 2 gugus aqua yang berlawanan akan terlepas untuk menghasilkan separuh tembaga diaqua(2+). Tahap dehidrasi kedua dimulai ketika 2 gugus aqua terakhir terlepas. Dehidrasi sempurna terjadi ketika molekul air yang tidak terikat terlepas.

Pada suhu 650°C , tembaga (II) sulfat akan terdekomposisi menjadi tembaga(II) oksida (CuO) dan belerang trioksida (SO_3). Warna tembaga(II) sulfat yang berwarna biru berasal dari hidrasi air. Ketika tembaga(II) sulfat dipanaskan dengan api, maka kristalnya akan terdehidrasi dan berubah warna menjadi hijau abu-abu.

Tembaga sulfat bereaksi dengan asam klorida. Pada reaksi ini, larutan tembaga(II) yang warnanya biru akan berubah menjadi hijau karena pembentukan tetraklorokuprat(II):



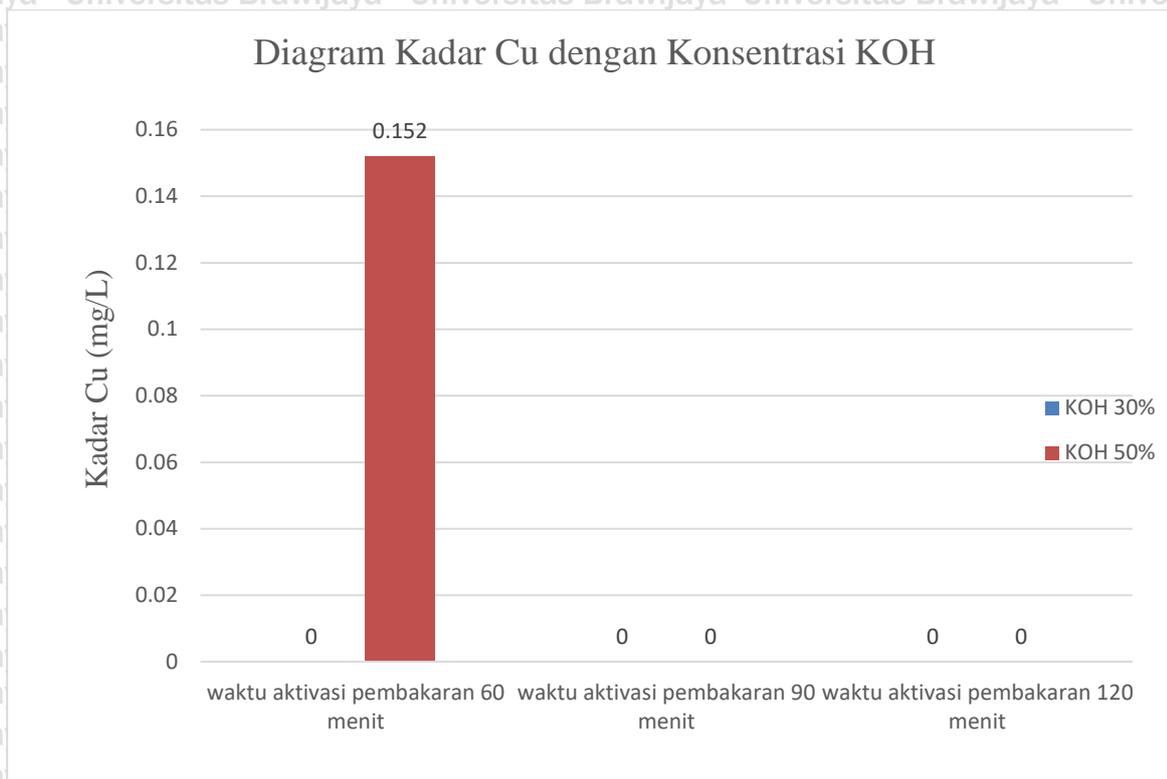
Tembaga(II) sulfat juga dapat bereaksi dengan logam lain yang lebih reaktif dari tembaga (misalnya Mg, Fe, Zn, Al, Sn, Pb, etc.):



Tembaga yang terbentuk akan terlapiasi di permukaan logam lainnya. Reaksi akan berhenti ketika tidak ada lagi permukaan kosong pada logam yang dapat dilapisi oleh tembaga.

4.5.1.4 Kesimpulan Hasil dan Pembahasan pada Kadar Cu

Hasil percobaan di atas menunjukkan bahwa filtrasi menggunakan karbon aktif dengan konsentrasi KOH 30%, KOH 50% dan tidak diaktivasi dapat menurunkan kadar Cu tetapi kadar Cu dengan karbon yang tidak diaktivasi lebih kecil dari karbon yang diaktivasi dengan konsentrasi KOH 30%. Hal ini bisa disimpulkan bahwa terjadi absorpsi yaitu suatu peristiwa penyerapan atau peresapan zat cair ke zat cair lain atau zat padat, hingga keduanya menyatu. Di karenakan sifat Cu yang akan berhenti ketika tidak ada lagi permukaan kosong pada karbon yang dapat melapisi nya.



Gambar 4.12 Diagram Batang Kadar pada Limbah Sintetis Cu
Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

Gambar 4.12 di atas menunjukkan bahwa karbon aktif dengan konsentrasi KOH 30% dan 50% memiliki kadar limbah sintetis Cu yang serupa terkecuali dengan karbon yang di bakar dengan waktu aktivasi 60 menit dan konsentrasi KOH 30% yang memiliki nilai sebesar 0,152 mg/L.

Tabel 4.5 Rekapitulasi Kesesuaian Kadar Cu dengan Baku Mutu Air pada Limbah Cu Setelah Filtrasi

No	Parameter	Satuan	Kondisi	Variasi Konsentrasi	
				KOH 30%	KOH 50%
1			Tanpa Aktivasi	Tidak Sesuai	
2	Cu	mg/L	Waktu aktivasi pembakaran 60 menit	Tidak Sesuai	Sesuai
3			Waktu aktivasi pembakaran 90 menit	Sesuai	Sesuai
4			Waktu aktivasi pembakaran 120 menit	Sesuai	Sesuai

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

Tabel 4.5 menunjukkan hasil rekapitulasi kesesuaian kadar Cu dengan standar baku mutu air yang diharapkan. Secara keseluruhan nilai kadar Cu yang diperoleh dari uji laboratorium dari keempat variasi waktu aktivasi dan konsentrasi sudah sesuai kecuali karbon yang tidak diaktivasi dan karbon yang diaktivasi dengan konsentrasi 30% dan waktu 60 menit tidak sesuai dengan standar baku mutu air yang ditentukan sesuai PP No. 82 Tahun 2001 yakni sebesar 0,02 mg/L. Karbon aktif mampu mereduksi kadar Cu, namun tidak semua nilai yang dicapai sesuai dengan nilai standar baku mutu air yang diharapkan.



4.5.2 Timbal (Pb)

Pada penelitian ini logam lain yang akan direduksi adalah timbal (Pb). Standar baku mutu Pb berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 Tentang Pengolahan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air adalah sebesar 0,03 mg/L. Pada awal pembuatan sampel limbah sintetis, konsentrasi Pb yang dibuat adalah sebesar 0,75 mg/L yang nantinya akan direduksi hingga mencapai batas standar baku mutu. Berikut merupakan tabel hasil pengujian kadar Pb pada limbah sintetis.

Tabel 4.6

Hasil Pengujian Kadar Pb pada Limbah Sintetis

No	Parameter	Satuan	Kondisi	Variasi Konsentrasi	
				KOH 30%	KOH 50%
1			Sampel Limbah Awal	0,75	
2			Tanpa Aktivasi	0	
3	Pb	mg/L	waktu aktivasi pembakaran 60 menit	0,0833	0
4			waktu aktivasi pembakaran 90 menit	0,0833	0
5			waktu aktivasi pembakaran 120 menit	0	0

Sumber: Hasil Uji Laboratorium Tanah dan Air Tanah Universitas Brawijaya, 2019.

Tabel 4.6 menunjukkan hasil uji kadar pada sampel limbah sintetis dengan kandungan logam Pb. Dari hasil uji pada Tabel 4.6 menunjukkan bahwa sampel awal limbah sintetis memiliki kandungan Pb sebesar 0,75 mg/L. Kemudian setelah air limbah sintetis difilter menggunakan ketujuh variabel, kandungan Pb yang terdapat pada limbah sintetis mengalami penurunan tetapi pada waktu aktivasi pembakaran 60 menit dan 90 menit dengan konsentrasi KOH 30% menunjukkan hasil yang serupa sebesar 0,0833 mg/L.

4.5.2.1 Hasil Analisis Variasi Waktu Aktivasi pada Kadar Pb

Variasi waktu aktivasi menunjukkan hasil yang berbeda dalam menurunkan kadar Pb. Berikut merupakan hasil uji laboratorium tiap masing-masing bahan filter:

1. Karbon Tanpa Aktivasi

Limbah sintetis yang mengandung Pb awalnya memiliki kadar 0,75 mg/L lalu saat di alirkan ke alat filtrasi dan di diamkan selama 24 jam yang tersusun dari ijuk + karbon tanpa aktivasi + ijuk kadarnya turun menjadi 0 mg/L. Hal ini bisa terjadi karena kandungan Cu yang mengendap (*clogging*) di permukaan karbon atau media ijuk.

2. Aktivasi Pembakaran Selama 60 Menit

Limbah sintetis yang mengandung Pb awalnya memiliki kadar 0,75 mg/L lalu saat di alirkan ke alat filtrasi dan di diamkan selama 24 jam yang tersusun dari ijuk + karbon yang diaktivasi pembakaran selama 60 menit + ijuk kadarnya turun menjadi 0,0833

mg/L pada konsentrasi KOH 30% dan menjadi 0 mg/L pada konsentrasi KOH 50%.

Hal ini bisa terjadi karena kandungan Pb yang mengendap (*clogging*) di permukaan karbon atau media ijuk.

3. Aktivasi Pembakaran Selama 90 Menit

Limbah sintetis yang mengandung Pb awalnya memiliki kadar 0,75 mg/L lalu saat di alirkan ke alat filtrasi dan di diamkan selama 24 jam yang tersusun dari ijuk + karbon yang diaktivasi pembakaran selama 90 menit + ijuk kadarnya turun menjadi 0,0833 mg/L pada konsentrasi KOH 30% dan menjadi 0 mg/L pada konsentrasi KOH 50%.

Hal ini bisa terjadi karena kandungan Pb yang mengendap (*clogging*) di permukaan karbon atau media ijuk.

4. Aktivasi Pembakaran Selama 120 Menit

Limbah sintetis yang mengandung Pb awalnya memiliki kadar 0,75 mg/L lalu saat di alirkan ke alat filtrasi dan di diamkan selama 24 jam yang tersusun dari ijuk + karbon yang diaktivasi pembakaran selama 120 menit + ijuk kadarnya turun menjadi 0 mg/L pada konsentrasi KOH 30% dan menjadi 0 mg/L pada konsentrasi KOH 50%. Hal ini bisa terjadi karena kandungan Cu yang mengendap (*clogging*) di permukaan karbon atau media ijuk.

4.5.2.2 Hasil Analisis Variasi Konsentrasi KOH pada kadar Pb

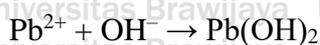
Untuk variasi konsentrasi KOH, hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa air limbah sintetis untuk kandungan Pb yang di filtrasi menggunakan variasi waktu pembakaran karbon aktif yang berbeda yaitu 60 menit dan 90 menit dengan konsentrasi yang sama yaitu KOH 30% menunjukkan hasil yang serupa sebesar 0,0833 mg/L. Tetapi untuk karbon yang tidak di aktivasi bernilai sebesar 0 mg/L, hal ini dapat di pengaruhi oleh karbon yang tidak di aktivasi sebelumnya tidak melalui proses pencucian secara keseluruhan sehingga pH dari karbon tersebut tidak netral dan berdampak dengan adanya pengendapan Pb di permukaan karbon tersebut sehingga tidak terserap dengan baik. Namun untuk karbon yang di aktivasi tetapi tidak terbaca kadar Pb nya diperkirakan telah terjadi kesalahan perhitungan atau terjadi dua kemungkinan yaitu adsorpsi atau absorpsi yang akan diteliti lebih lanjut menggunakan uji SEM-EDX.

4.5.2.3 Analisis Reaksi Kimia pada Kadar Pb

Pada sampel awal pembuatan limbah sintetis kandungan Pb, garam $Pb(NO_3)_2$ dilarutkan atau dicampur dengan aquades. Larutan $Pb(NO_3)_2$ terdiri dari kation Pb^{2+} anion NO_3^- . Kemudian setelah air limbah sintetis direndam dengan karbon aktif yang berperan

sebagai adsorben, kadar Pb pada limbah sintetis mengalami penurunan. Hal ini bisa disebabkan oleh karbon aktif yang menyerap kadar Pb di lapisan permukaannya.

Ketika limbah sintetis Pb direndam dengan karbon aktif, terjadi pelepasan ion OH⁻ dari adsorben yang bereaksi dengan ion Pb²⁺. Peningkatan jumlah OH⁻ dalam air dapat menyebabkan terhidrolisisnya beberapa logam yang terlarut dalam air, kemudian membentuk hidroksida. Pembentukan hidroksida inilah yang menyebabkan kandungan logam Pb berubah menjadi Pb(OH)₂ yang berbentuk endapan berwarna putih. Berikut merupakan reaksi kimianya:

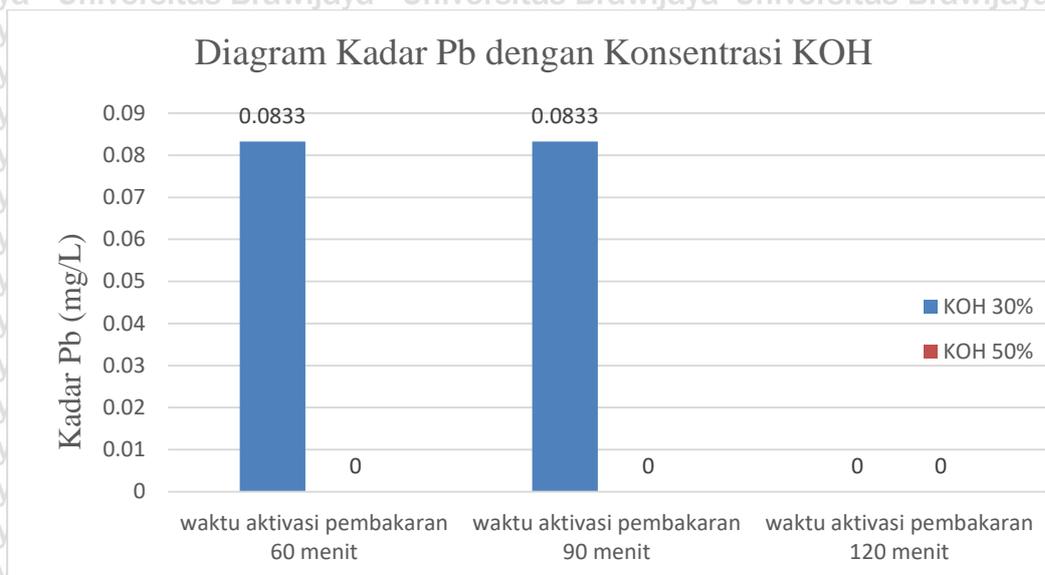


Dikarenakan terdapat beberapa kandungan Pb yang mengendap, maka seharusnya kadar Pb pada hasil akhir limbah sintetis berkurang. Hal ini sesuai dengan hasil percobaan, dimana kadar Pb pada limbah sintetis setelah direndam dengan karbon aktif mengalami penurunan.

Hal tersebut juga bisa terjadi ketika karbon aktif yang sudah jenuh menyerap akan mengendapkan kandungan Pb yang tertinggal di permukaan karbon aktif. Berbeda dengan absorpsi yang menyerap tetapi zat padat yang terserap menjadi satu kesatuan yang sama.

4.5.2.4 Kesimpulan Hasil dan Pembahasan pada Kadar Pb

Hasil percobaan di atas menunjukkan bahwa filtrasi menggunakan karbon aktif dengan konsentrasi KOH 30%, KOH 50% dan tidak di aktivasi dapat menurunkan kadar Pb tetapi kadar Pb dengan karbon yang diaktivasi waktu pembakaran 60 menit dan 90 menit dan konsentrasi KOH 30% menunjukkan hasil yang serupa. Hal ini bisa disimpulkan bahwa terjadi absorpsi yaitu suatu peristiwa penyerapan atau peresapan zat cair ke zat cair lain atau zat padat, hingga keduanya menyatu. Hasil percobaan juga menunjukkan bahwa semakin lama karbon aktif diaktivasi dan dengan konsentrasi 50%, maka akan semakin banyak menurunkan kadar Pb. Tetapi apabila waktu aktivasi dan konsentrasinya melebihi percobaan diatas, bisa terjadinya kejenuhan.



Gambar 4.13 Diagram Batang Kadar pada Limbah Sintetis Pb

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

Gambar 4.13 di atas menunjukkan bahwa karbon aktif dengan konsentrasi KOH 30%, KOH 50% dan tanpa aktivasi memiliki kadar limbah sintetis Pb yang serupa terkecuali dengan karbon yang di bakar dengan waktu aktivasi 60 menit dan 90 menit dan konsentrasi KOH 30% yang memiliki nilai sebesar 0,0833 mg/L.

Tabel 4.7

Rekapitulasi Kesesuaian Kadar Pb dengan Baku Mutu Air pada Limbah Cu Setelah Filtrasi

No	Parameter	Satuan	Kondisi	Variasi Konsentrasi	
				KOH 30%	KOH 50%
1			Tanpa Aktivasi	Sesuai	
2	Pb	mg/L	Waktu aktivasi pembakaran 60 menit	Tidak Sesuai	Sesuai
3			Waktu aktivasi pembakaran 90 menit	Tidak Sesuai	Sesuai
4			Waktu aktivasi pembakaran 120 menit	Sesuai	Sesuai

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

Tabel 4.7 menunjukkan hasil rekapitulasi kesesuaian kadar Pb dengan standar baku mutu air yang diharapkan. Secara keseluruhan nilai kadar Pb yang diperoleh dari uji laboratorium dari keempat variasi waktu aktivasi dan konsentrasi sudah sesuai kecuali karbon yang diaktivasi waktu 60 menit dan 90 menit dengan konsentrasi 30% tidak sesuai dengan standar baku mutu air yang ditentukan sesuai PP No. 82 Tahun 2001 yakni sebesar 0,02 mg/L. Karbon aktif mampu mereduksi kadar Pb, namun tidak semua nilai yang dicapai sesuai dengan nilai standar baku mutu air yang diharapkan.

4.6 Efisiensi

Efisiensi yang dimaksud adalah membandingkan kandungan limbah awal dan kandungan limbah setelah dilakukan pengolahan menggunakan variasi waktu pembakaran dan variasi konsentrasi KOH.

4.6.1 Efisiensi Cuprum (Cu)

Perhitungan efisiensi kadar Cu dilakukan pada sampel air limbah sebelum difilter dan ketika sesudah difilter.

Contoh perhitungan efisiensi kadar Cu menggunakan sampel air limbah sintetis Cu sebelum difilter dengan sampel air limbah sintetis setelah difilter dengan waktu aktivasi pembakaran 60 menit dan konsentrasi KOH 50% adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi (\%)} &= \frac{\text{konsentrasi limbah awal} - \text{konsentrasi limbah akhir}}{\text{konsentrasi limbah awal}} \times 100\% \\ &= \frac{2,44 - 0,152}{2,44} \times 100\% \\ &= 93,77\% \end{aligned}$$

Tabel 4.8
Hasil Perhitungan Efisiensi Kadar Cu

No	Parameter	Satuan	Kondisi	Efisiensi (%)	
				KOH 30%	KOH 50%
1			Tanpa aktivasi		95.04
2	Cu	mg/L	waktu aktivasi pembakaran 60 menit	100	93.77
3			waktu aktivasi pembakaran 90 menit	100	100
4			waktu aktivasi pembakaran 120 menit	100	100

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

Tabel 4.8 menunjukkan hasil efisiensi kadar kandungan Cu di dalam limbah sintetis yang sudah di filtrasi dengan karbon aktif. Dari hasil hitungan dapat di simpulkan bahwa efisiensi kandungan Cu dalam setiap variasi waktu pembakaran dan konsentrasi KOH memiliki nilai yang serupa terkecuali karbon tanpa aktivasi dan karbon dengan waktu aktivasi pembakaran 60 menit dan KOH 50%.

4.6.1.1 Hasil Analisis Variasi Waktu Aktivasi pada Kadar Cu

Variasi waktu aktivasi menunjukkan hasil yang berbeda dalam menurunkan kadar Cu. Berikut merupakan hasil uji laboratorium tiap masing-masing karbon aktif:

1. Karbon Tanpa Aktivasi

Pada karbon yang tidak di aktivasi, memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi daripada karbon yg di aktivasi dengan waktu pembakaran 60 menit. Hal ini berbanding terbalik dengan teori yang diperkirakan sebelumnya bahwa karbon yang diaktivasi seharusnya

memiliki pori-pori yang lebih besar daripada karbon yang tidak diaktivasi dan dapat menyerap kandungan limbah yang lebih besar, tetapi di penelitian ini karbon yang tidak diaktivasi lebih efisien karena sebelum dilakukannya filtrasi, karbon yang tidak diaktivasi tidak dilakukan pencucian terlebih dahulu agar pH dari karbon tersebut netral. Hal tersebut dapat berdampak pada daya serap karbon aktif karena pH nya yang basa akan membuat limbah Cu tersebut mengendap (*clogging*).

2. Aktivasi Pembakaran Selama 60 Menit

Pada karbon yang di aktivasi dengan waktu pembakaran 60 menit, memiliki nilai efisiensi yang serupa dengan yang di aktivasi selama 90 menit dan 120 menit terkecuali yang menggunakan konsentrasi 50%. Hal ini menunjukkan bahwa variasi waktu aktivasi pembakaran memiliki efisiensi yang sama dengan yang lainnya.

3. Aktivasi Pembakaran Selama 90 Menit

Pada karbon yang di aktivasi dengan waktu pembakaran 90 menit, memiliki nilai efisiensi yang serupa dengan yang di aktivasi selama 60 menit dan 120 menit. Hal ini menunjukkan bahwa variasi waktu aktivasi pembakaran memiliki efisiensi yang sama dengan yang lainnya.

4. Aktivasi Pembakaran Selama 120 Menit

Pada karbon yang di aktivasi dengan waktu pembakaran 120 menit, memiliki nilai efisiensi yang serupa dengan yang di aktivasi selama 60 menit dan 90 menit. Hal ini menunjukkan bahwa variasi waktu aktivasi pembakaran memiliki efisiensi yang sama dengan yang lainnya.

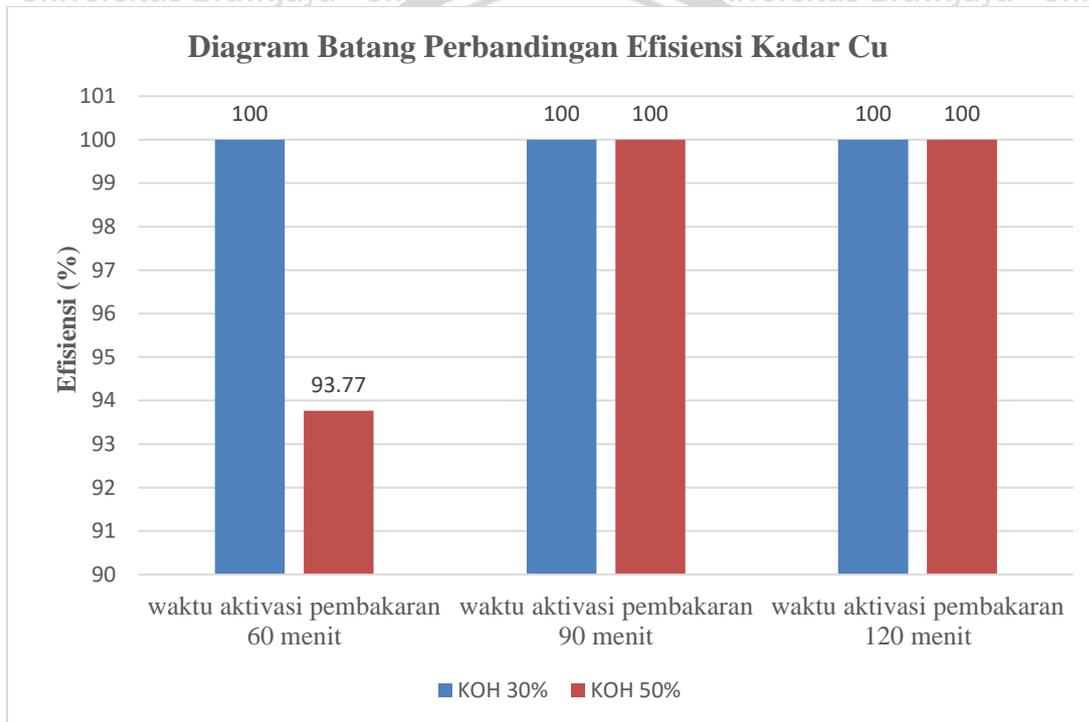
4.6.1.2 Hasil Analisis Variasi Konsentrasi KOH pada kadar Cu

Untuk variasi konsentrasi KOH, hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa air limbah sintetis yang di filtrasi dengan karbon yang tidak di aktivasi, memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi daripada karbon yg di aktivasi dengan waktu pembakaran 60 menit dan konsentrasi 50%. Hal ini berbanding terbalik dengan teori yang diperkirakan sebelumnya bahwa karbon yang diaktivasi seharusnya memiliki pori-pori yang lebih besar daripada karbon yang tidak diaktivasi dan dapat menyerap kandungan limbah yang lebih besar, tetapi di penelitian ini karbon yang tidak di aktivasi lebih efisien karena dapat di pengaruhi oleh karbon yang tidak di aktivasi sebelumnya tidak melalui proses pencucian secara keseluruhan sehingga pH dari karbon tersebut tidak netral dan berdampak dengan adanya pengendapan Cu di permukaan karbon tersebut sehingga tidak terserap dengan baik. Namun untuk karbon yang di aktivasi dengan konsentrasi KOH 30% dan 50% tidak juga terbaca kadar Cu nya diperkirakan telah terjadi kesalahan perhitungan atau terjadi dua

kemungkinan yaitu adsorpsi atau absorpsi yang akan diteliti lebih lanjut menggunakan uji SEM-EDX.

4.6.1.3 Kesimpulan Hasil dan Pembahasan pada Kadar Cu

Hasil percobaan di atas menunjukkan bahwa filtrasi menggunakan karbon aktif dengan konsentrasi KOH 30%, KOH 50% dan tidak di aktivasi dapat menurunkan kadar Cu tetapi kadar Cu dengan karbon yang tidak di aktivasi lebih efisien dari karbon yang di aktivasi dengan konsentrasi KOH 30% dan KOH 50%. Hal ini bisa disimpulkan bahwa telah terjadi adsorpsi yaitu suatu peristiwa penyerapan atau peresapan zat cair ke zat cair lain atau zat padat, hingga keduanya menyatu.



Gambar 4.14 Diagram Batang Kadar pada Limbah Sintetis Cu

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

Gambar 4.14 di atas menunjukkan bahwa karbon aktif dengan konsentrasi KOH 30% dan 50% memiliki efisiensi kadar limbah sintetis Cu yang serupa terkecuali dengan karbon yang di bakar dengan waktu aktivasi 60 menit dan konsentrasi KOH 50% yang memiliki nilai sebesar 93,77%.

Tabel 4.9 Rekapitulasi Kesesuaian Kadar Cu dengan Baku Mutu Air pada Limbah Cu Setelah Filtrasi

No	Parameter	Satuan	Kondisi	Efisiensi Variasi Konsentrasi	
				KOH 30%	KOH 50%
1			Tanpa Aktivasi	Efisien	
2			Waktu aktivasi pembakaran 60 menit	Efisien	Efisien
3	Cu	mg/L	Waktu aktivasi pembakaran 90 menit	Efisien	Efisien
4			Waktu aktivasi pembakaran 120 menit	Efisien	Efisien

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.



Tabel 4.9 menunjukkan hasil rekapitulasi efisiensi nilai kadar Cu. Secara keseluruhan, karbon yang di aktivasi dengan pembakaran selama 120 menit dan konsentrasi KOH 50% waktu mampu mereduksi kadar Cu yang terdapat pada limbah sintetis dengan sangat efisien karena nilainya sebesar 100%.

4.6.2 Efisiensi Timbal (Pb)

Perhitungan efisiensi kadar Pb dilakukan pada sampel air limbah sebelum difilter dan ketika sesudah difilter.

Contoh perhitungan efisiensi kadar Pb menggunakan sampel air limbah sintetis Pb sebelum difilter dengan sampel air limbah sintetis setelah difilter dengan waktu aktivasi pembakaran 60 menit dan konsentrasi KOH 30% adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi (\%)} &= \frac{\text{konsentrasi limbah awal} - \text{konsentrasi limbah akhir}}{\text{konsentrasi limbah awal}} \times 100\% \\ &= \frac{0,75 - 0,0833}{0,75} \times 100\% \\ &= 88,89\% \end{aligned}$$

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Efisiensi Kadar Pb

No	Parameter	Satuan	Kondisi	Efisiensi	
				Variasi Konsentrasi KOH 30%	KOH 50%
1	Pb	mg/L	Tanpa aktivasi	100	
2			waktu aktivasi pembakaran 60 menit	88.89	100
3			waktu aktivasi pembakaran 90 menit	88.89	100
4			waktu aktivasi pembakaran 120 menit	100	100

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

Tabel 4.10 menunjukkan hasil efisiensi kadar kandungan Pb di dalam limbah sintetis yang sudah di filtrasi dengan karbon aktif. Dari hasil hitungan dapat di simpulkan bahwa efisiensi kandungan Pb dalam setiap variasi waktu pembakaran dan konsentrasi KOH memiliki nilai yang serupa.

4.6.2.1 Hasil Analisis Variasi Waktu Aktivasi pada Kadar Pb

Variasi waktu aktivasi menunjukkan hasil yang berbeda dalam menurunkan kadar Pb. Berikut merupakan hasil uji laboratorium tiap masing-masing karbon aktif:

1. Karbon Tanpa Aktivasi

Pada karbon yang tidak di aktivasi, memiliki nilai efisiensi yang lebih tinggi daripada karbon yg di aktivasi dengan waktu pembakaran 60 menit. Hal ini berbanding terbalik dengan teori yang diperkirakan sebelumnya bahwa karbon yang diaktivasi seharusnya memiliki pori-pori yang lebih besar daripada karbon yang tidak diaktivasi dan dapat

menyerap kandungan limbah yang lebih besar, tetapi di penelitian ini karbon yang tidak diaktivasi lebih efisien karena sebelum dilakukannya filtrasi, karbon yang tidak diaktivasi tidak dilakukan pencucian terlebih dahulu agar pH dari karbon tersebut netral. Hal tersebut dapat berdampak pada daya serap karbon aktif karena pH nya yang basa akan membuat limbah Pb tersebut mengendap (*clogging*).

2. Aktivasi Pembakaran Selama 60 Menit

Pada karbon yang diaktivasi dengan pembakaran selama 60 menit nilai efisiensinya lebih kecil daripada karbon yang tidak diaktivasi. Hal ini disebabkan karena mengendapnya kandungan Pb ke dalam karbon ini. Sehingga nilainya lebih kecil daripada karbon yang tidak diaktivasi.

3. Aktivasi Pembakaran Selama 90 Menit

Pada karbon yang diaktivasi dengan pembakaran selama 90 menit nilai efisiensinya serupa dengan karbon yang diaktivasi selama 60 menit. Hal ini bisa disebabkan karena mengendapnya kandungan Pb ke dalam karbon ini.

4. Aktivasi Pembakaran Selama 120 Menit

Pada karbon yang diaktivasi dengan pembakaran selama 120 menit nilai efisiensi yang paling tinggi. Hal ini bisa disebabkan karena karbon aktif dengan aktivasi pembakaran 120 menit sangat efisien dalam menyerap limbah sintetis yang mengandung Pb.

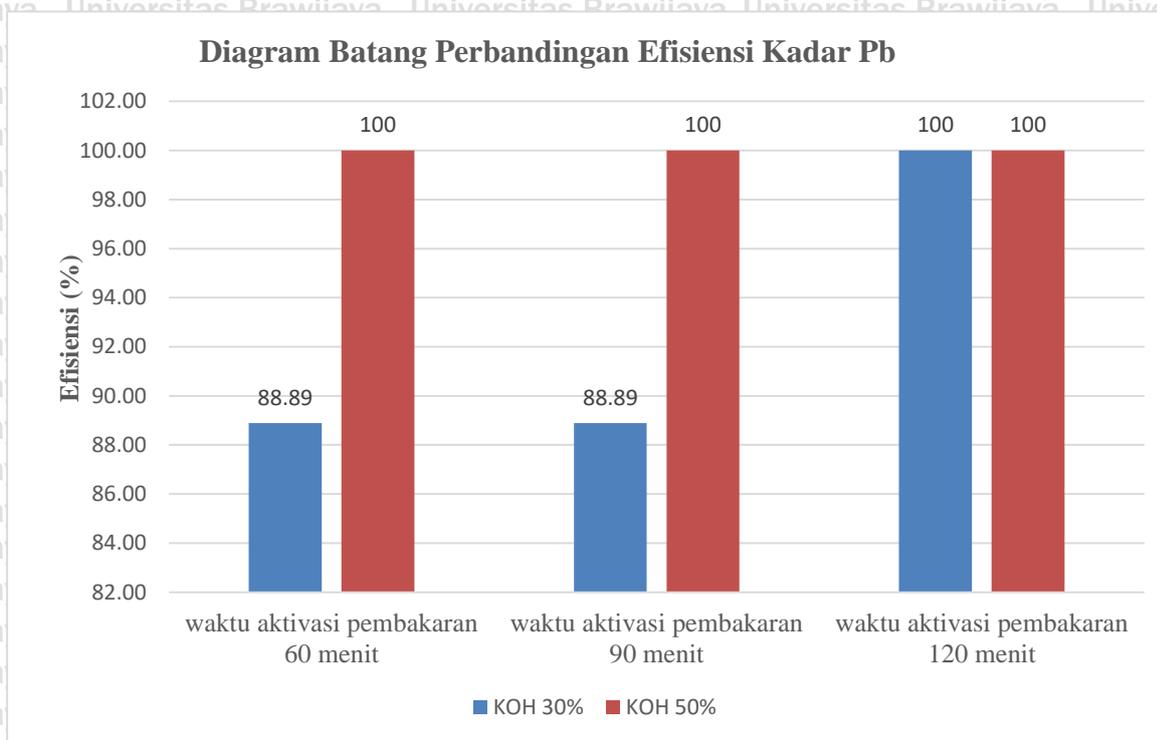
4.6.2.2 Hasil Analisis Variasi Konsentrasi KOH pada kadar Pb

Untuk variasi konsentrasi KOH, hasil uji laboratorium menunjukkan bahwa air limbah sintetis untuk kandungan Pb yang di filtrasi menggunakan variasi waktu pembakaran karbon aktif waktu aktivasi yang sama dengan konsentrasi KOH 50% menunjukkan efisiensi yang serupa dengan menggunakan karbon yang tidak di aktivasi. Sebagai contoh, limbah sintetis yang mengandung Pb yang di filtrasi menggunakan karbon aktif dengan konsentrasi KOH 50% memiliki efisiensi sebesar 100%. Hal ini dapat di pengaruhi oleh karbon yang tidak di aktivasi sebelumnya tidak melalui proses pencucian secara keseluruhan sehingga pH dari karbon tersebut tidak netral dan berdampak dengan adanya pengendapan Pb di permukaan karbon tersebut sehingga tidak terserap dengan baik. Namun untuk karbon yang di aktivasi dengan konsentrasi KOH 30% memiliki efisiensi yang lebih kecil sehingga diperkirakan KOH 50% lebih efisien dari KOH 30%.

4.6.2.3 Kesimpulan Hasil dan Pembahasan pada Kadar Pb

Hasil percobaan di atas menunjukkan bahwa filtrasi menggunakan karbon aktif dengan konsentrasi KOH 30%, KOH 50% dan tidak di aktivasi memiliki efisiensi yang serupa terkecuali dengan karbon yang diaktivasi dengan waktu pembakaran selama 60 menit dan

90 menit. Hal ini bisa disimpulkan bahwa terjadi absorpsi yaitu suatu peristiwa penyerapan atau peresapan zat cair ke zat cair lain atau zat padat, hingga keduanya menyatu.



Gambar 4.15 Diagram Batang Kadar pada Limbah Sintetis Pb

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

Gambar 4.15 di atas menunjukkan bahwa karbon aktif dengan konsentrasi KOH 30% dan 50% memiliki efisiensi sebesar 100% terkecuali dengan karbon yang di bakar dengan waktu aktivasi 60 menit dan 90 menit menggunakan konsentrasi KOH 30% yang memiliki efisiensi sebesar 88,89%.

Tabel 4.11

Rekapitulasi Kesesuaian Kadar Pb dengan Baku Mutu Air pada Limbah Pb Setelah Filtrasi

No	Parameter	Satuan	Kondisi	Efisiensi	
				Variasi Konsentrasi KOH 30%	KOH 50%
1			Tanpa Aktivasi	Efisien	
2	Pb	mg/L	Waktu aktivasi pembakaran 60 menit	Efisien	Efisien
3			Waktu aktivasi pembakaran 90 menit	Efisien	Efisien
4			Waktu aktivasi pembakaran 120 menit	Efisien	Efisien

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

Tabel 4.11 menunjukkan menunjukkan hasil rekapitulasi efisiensi nilai kadar Pb. Secara keseluruhan, karbon yang di aktivasi dengan pembakaran selama 120 menit dan konsentrasi KOH 50% waktu mampu mereduksi kadar Pb yang terdapat pada limbah sintetis dengan sangat efisien karena nilainya sebesar 100%.



4.7 Uji SEM-EDX

SEM-EDX (*Scanning Electron Microscope - Energy Dispersive X Ray*) adalah sebuah instrument untuk melihat morfologi dan topografi serta kandungan unsur dari sebuah bahan baik organik maupun anorganik. Kemampuan deteksi EDX mulai dari unsur Be sampai U dan juga untuk elemental mapping (sebaran unsur). Selain itu analisisnya lebih cepat dan membutuhkan jumlah sampel yang sedikit.

4.7.1 Uji SEM-EDX Karbon Tanpa Aktivasi

4.7.1.1 Pada Limbah Kandungan Cu

Uji SEM-EDX pada karbon tanpa aktivasi dilakukan di Institut Biosains Universitas Brawijaya Malang pada tanggal 5 September 2019.

Berikut merupakan hasil analisis uji SEM-EDX pada karbon tanpa aktivasi setelah dilakukan percobaan dengan alat filtrasi yang mengandung limbah sintesis Cu.

Tabel 4.12

Hasil Analisis SEM-EDX Karbon Tanpa Aktivasi

Element	Line	Weight %	Atomic %
Carbon	k_series	77,762	87,104
Oxygen	k_series	14,168	11,914
Silicon	k_series	0,713	0,341
Potassium	k_series	0,494	0,170
Copper	l_series	0,020	0,004
Gold	m_series	6,618	0,452

Sumber: Hasil Pengujian SEM-EDX, 2019.

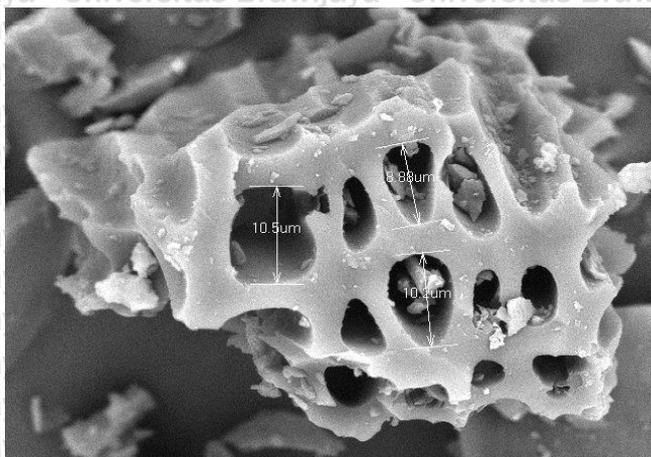
Keterangan:

Element : Unsur yang terkandung

Line Type : Kulit Atom

Weight (%) : Persen Massa Unsur pada satu titik penembakan

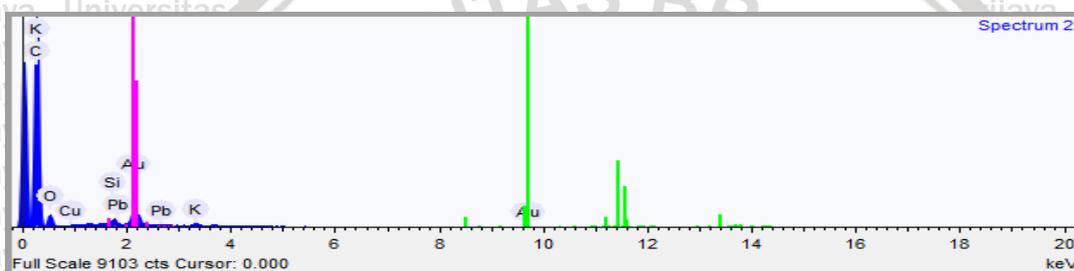
Atomic (%) : Persen Atom Unsur pada satu titik penembakan



Bu emma
2019/09/05 09:49 NL D4.7 x2.5k 30 um
tanpa aktivasi

Gambar 4.16 Hasil analisis SEM-EDX karbon tanpa aktivasi dengan perbesaran 2500 kali.

Sumber: Hasil pengujian SEM-EDX, 2019.



Gambar 4.17 Spektrum Penyerapan Kandungan Cu dan Pb.

Sumber: Hasil Pengujian SEM-EDX, 2019.

Dari tabel 4.12 hasil uji SEM-EDX karbon tanpa aktivasi setelah dilakukan percobaan, karbon tanpa aktivasi ini mengandung unsur karbon yang tinggi, terbukti dari hasil uji SEM-EDX paling besar diantara kandungan lainnya. Terdapat pula kandungan oksigen dengan prosentase berat 14,168%. Lalu ada juga silikon yang terkandung dalam karbon tersebut. Karbon sangat tak reaktif pada suhu biasa. Apabila karbon bereaksi, tidak ada kecenderungan dari atom-atom karbon untuk kehilangan elektron-elektron terluar dan membentuk kation sederhana seperti C_4^+ . Ion ini akan mempunyai rapat-rapatan muatan begitu tinggi sehingga eksistensinya tidaklah mungkin. Karbon memiliki kecenderungan untuk membentuk ikatan kovalen tunggal, rangkap dua, dan rangkap tiga yang akan membentuk senyawa organik. Silikon merupakan metaloid, siap untuk memberikan atau berbagi 4 atom terluarnya, sehingga memungkinkan banyak ikatan kimia. Kebanyakan asam (kecuali asam nitrat dan asam hidrofluorat) tidak bereaksi dengan silikon. Silikon dengan 4 elektron valensinya mempunyai kemungkinan untuk bergabung dengan elemen atau senyawa kimia lainnya pada kondisi yang sesuai.

Silikon lebih reaktif dari karbon. Pada suhu tinggi silikon dapat berikatan dengan halogen membentuk senyawa biner. Bila silikon bereaksi, tak ada kecenderungan dari atom-atom silikon untuk kehilangan elektron-elektron terluar dan membentuk kation sederhana seperti Si^{4+} , karena ion-ion kecil ini akan mempunyai rapat muatan begitu tinggi. Namun atom-atom ini biasanya bereaksi dengan persekutuan antara elektron mereka membentuk ikatan kovalen. Bila dipanaskan dalam udara, unsur-unsur itu bereaksi dengan oksigen dalam reaksi pembakaran yang sangat eksotermik untuk membentuk oksida SiO_2 yang bersifat asam.

Selanjutnya kandungan unsur kimia yang terdapat pada karbon adalah Kalium. Logam yang sangat aktif yang bereaksi hebat dengan oksigen di air dan di udara. Kalium bereaksi dengan oksigen membentuk kalium peroksida, dan dengan air membentuk kalium hidroksida. Reaksi kalium dengan air berbahaya karena sifat eksotermalnya yang hebat dan produksi gas hidrogennya. Hidrogen bereaksi lagi dengan oksigen di atmosfer, menghasilkan air, yang bereaksi dengan sisa kalium. Reaksi ini hanya membutuhkan sekelumit air.

Dalam pengujian SEM-EDX sebelumnya sample di *coating* dengan Au (Emas) agar sampel tersebut tidak rusak. Emas merupakan logam yang bersifat lunak dan mudah ditempa, kekerasannya berkisar antara 2,5 – 3 (skala Mohs), serta berat jenisnya tergantung pada jenis dan kandungan logam lain yang berpadu dengannya. Mineral pembawa emas biasanya berasosiasi dengan mineral ikutan (*gangue minerals*). Mineral ikutan tersebut umumnya kuarsa, karbonat, turmalin, flourpar, dan sejumlah kecil mineral non logam. Mineral pembawa emas juga berasosiasi dengan endapan sulfida yang telah teroksidasi. Mineral pembawa emas terdiri dari emas nativ, elektrum, emas telurida, sejumlah paduan dan senyawa emas dengan unsur-unsur belerang, antimon, dan selenium. Elektrum sebenarnya jenis lain dari emas nativ, hanya kandungan perak di dalamnya $>20\%$.

Pada hasil tersebut juga ditemukan adanya kandungan Cu dengan prosentase berat 0,020 pada karbon yang tidak diaktivasi, hal ini menunjukkan bahwa karbon tanpa aktivasi berperan aktif sebagai adsorben yang menyerap kandungan Cu pada limbah sintetis, sehingga menyebabkan penurunan kadar Cu.

4.7.1.2 Pada Limbah Kandungan Pb

Berikut merupakan hasil analisis uji SEM-EDX pada karbon tanpa aktivasi setelah dilakukan percobaan dengan alat filtrasi yang mengandung limbah sintetis Pb.

Tabel 4.13
Hasil Analisis SEM-EDX Karbon Tanpa Aktivasi

Element	Line	Weight %	Atomic %
Carbon	k_series	77,762	87,104
Oxygen	k_series	14,168	11,914
Silicon	k_series	0,713	0,341
Potassium	k_series	0,494	0,170
Copper	l_series	0,020	0,004
Gold	m_series	6,618	0,452
Lead	m_series	0,262	0,015

Sumber: Hasil Pengujian SEM-EDX, 2019.

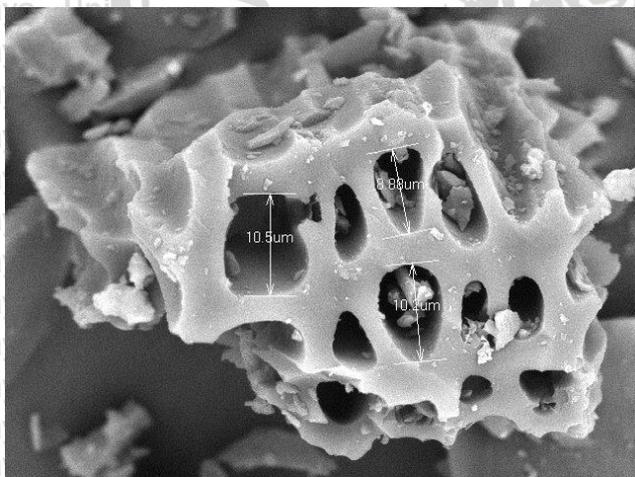
Keterangan:

Element : Unsur yang terkandung

Line Type : Kulit Atom

Weight (%) : Persen Massa Unsur pada satu titik penembakan

Atomic (%) : Persen Atom Unsur pada satu titik penembakan



Bu emma
tanpa aktivasi
2019/09/05 09:49 NL D4.7 x2.5k 30 um

Gambar 4.18 Hasil analisis SEM-EDX karbon tanpa aktivasi dengan perbesaran 2500 kali.

Sumber: Hasil pengujian SEM-EDX, 2019.

Dari tabel 4.13 hasil uji SEM-EDX karbon tanpa aktivasi setelah dilakukan percobaan, karbon tanpa aktivasi ini mengandung unsur karbon yang tinggi, terbukti dari hasil uji SEM-EDX paling besar diantara kandungan lainnya. Terdapat pula kandungan oksigen dengan prosentase berat 14,168%. Lalu ada juga silicon yang terkandung dalam karbon tersebut. Karbon sangat tak reaktif pada suhu biasa. Apabila karbon bereaksi, tidak

ada kecenderungan dari atom-atom karbon untuk kehilangan elektron-elektron terluar dan membentuk kation sederhana seperti C_4^+ . Ion ini akan mempunyai rapatan-rapatan muatan begitu tinggi sehingga eksistensinya tidaklah mungkin. Karbon memiliki kecenderungan untuk membentuk ikatan kovalen tunggal, rangkap dua, dan rangkap tiga yang akan membentuk senyawa organik. Silikon merupakan metaloid, siap untuk memberikan atau berbagi 4 atom terluarnya, sehingga memungkinkan banyak ikatan kimia. Kebanyakan asam (kecuali asam nitrat dan asam hidrofluorat) tidak bereaksi dengan silikon. Silikon dengan 4 elektron valensinya mempunyai kemungkinan untuk bergabung dengan elemen atau senyawa kimia lainnya pada kondisi yang sesuai.

Silikon lebih reaktif dari karbon. Pada suhu tinggi silikon dapat berikatan dengan halogen membentuk senyawa biner. Bila silikon bereaksi, tak ada kecendrungan dari atom-atom silikon untuk kehilangan elektron-elektron terluar dan membentuk kation sederhana seperti Si^{4+} , karena ion-ion kecil ini akan mempunyai rapatan muatan begitu tinggi. Namun atom-atom ini biasanya bereaksi dengan persekutuan antara elektron mereka membentuk ikatan kovalen. Bila dipanaskan dalam udara, unsur-unsur itu bereaksi dengan oksigen dalam reaksi pembakaran yang sangat eksotermik untuk membentuk oksida SiO_2 yang bersifat asam.

Selanjutnya kandungan unsur kimia yang terdapat pada karbon adalah Kalium. Logam yang sangat aktif yang bereaksi hebat dengan oksigen di air dan di udara. Kalium bereaksi dengan oksigen membentuk kalium peroksida, dan dengan air membentuk kalium hidroksida. Reaksi kalium dengan air berbahaya karena sifat eksotermalnya yang hebat dan produksi gas hidrogennya. Hidrogen bereaksi lagi dengan oksigen di atmosfer, menghasilkan air, yang bereaksi dengan sisa kalium. Reaksi ini hanya membutuhkan sekelumit air.

Dalam pengujian SEM-EDX sebelumnya sample di *coating* dengan Au (Emas) agar sampel tersebut tidak rusak. Emas merupakan logam yang bersifat lunak dan mudah ditempa, kekerasannya berkisar antara 2,5 – 3 (skala Mohs), serta berat jenisnya tergantung pada jenis dan kandungan logam lain yang berpadu dengannya. Mineral pembawa emas biasanya berasosiasi dengan mineral ikutan (gangue minerals). Mineral ikutan tersebut umumnya kuarsa, karbonat, turmalin, flourpar, dan sejumlah kecil mineral non logam. Mineral pembawa emas juga berasosiasi dengan endapan sulfida yang telah teroksidasi. Mineral pembawa emas terdiri dari emas nativ, elektrum, emas telurida, sejumlah paduan dan senyawa emas dengan unsur-unsur belerang, antimon, dan selenium. Elektrum sebenarnya jenis lain dari emas nativ, hanya kandungan perak di dalamnya >20%.

Pada hasil tersebut ditemukan adanya kandungan Pb pada karbon yang tidak diaktivasi, hal ini menunjukkan bahwa karbon tanpa aktivasi berperan aktif sebagai adsorben yang menyerap kandungan Pb pada limbah sintetis, sehingga menyebabkan penurunan kadar Pb

4.7.2 Uji SEM-EDX Karbon dengan Aktivasi Pembakaran Selama 120 menit dan Konsentrasi KOH 30%

4.7.2.1 Pada Limbah Kandungan Cu

Berikut merupakan hasil analisis uji SEM-EDX pada karbon dengan aktivasi pembakaran selama 120 menit dan konsentrasi 30% setelah dilakukan percobaan dengan alat filtrasi yang mengandung limbah sintetis Cu.

Tabel 4.14

Hasil Analisis Uji SEM-EDX Karbon yang di aktivasi selama 120 menit dan konsentrasi 30%

Element	Line	Weight %	Atomic %
Carbon	k_series	77.461	83.287
Oxygen	k_series	19.746	15.939
Silicon	k_series	0.738	0.339
Potassium	k_series	0.744	0.246
Calcium	l_series	0.306	0.099
Copper	m_series	0.104	0.021
Thulium	m_series	0.902	0.069

Sumber: Hasil Pengujian, 2019.

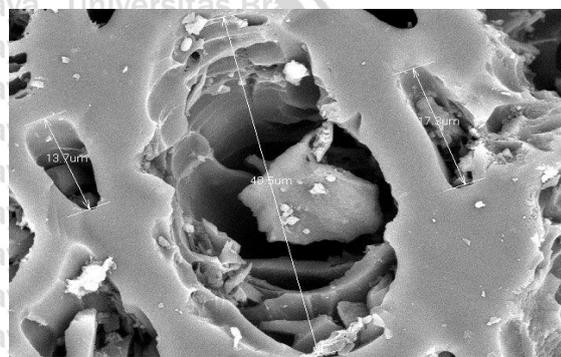
Keterangan:

Element : Unsur yang terkandung

Line Type : Kulit Atom

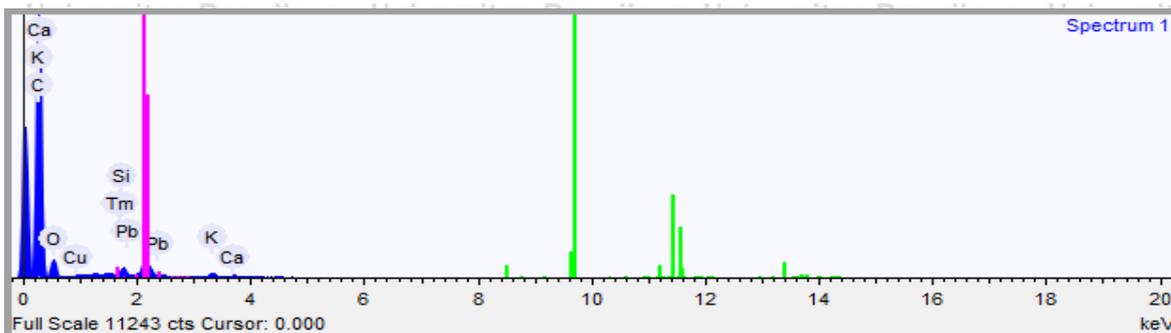
Weight (%) : Persen Massa Unsur pada satu titik penembakan

Atomic (%) : Persen Atom Unsur pada satu titik penembakan



Gambar 4.19 Hasil analisis SEM-EDX karbon dengan aktivasi pembakaran selama 120 menit dan konsentrasi 30% dengan perbesaran 2500 kali.

Sumber: Hasil pengujian SEM-EDX, 2019.



Gambar 4.20 Spektrum Penyerapan Kandungan Cu.

Sumber: Hasil Pengujian SEM-EDX, 2019.

Dari tabel 4.14 hasil uji SEM-EDX karbon tanpa aktivasi setelah dilakukan percobaan, karbon dengan waktu aktivasi selama 120 menit dan konsentrasi 30% ini mengandung unsur karbon dan yang tinggi, terbukti dari hasil uji SEM-EDX paling besar diantara kandungan lainnya. Terdapat pula kandungan oksigen dengan prosentase berat 19,746%. Lalu ada juga silikon yang terkandung dalam karbon tersebut. Karbon sangat tak reaktif pada suhu biasa. Apabila karbon bereaksi, tidak ada kecenderungan dari atom-atom karbon untuk kehilangan elektron-elektron terluar dan membentuk kation sederhana seperti C_4^+ . Ion ini akan mempunyai rapat-rapatan muatan begitu tinggi sehingga eksistensinya tidaklah mungkin. Karbon memiliki kecenderungan untuk membentuk ikatan kovalen tunggal, rangkap dua, dan rangkap tiga yang akan membentuk senyawa organik. Silikon merupakan metaloid, siap untuk memberikan atau berbagi 4 atom terluarnya, sehingga memungkinkan banyak ikatan kimia. Kebanyakan asam (kecuali asam nitrat dan asam hidrofluorat) tidak bereaksi dengan silikon. Silikon dengan 4 elektron valensinya mempunyai kemungkinan untuk bergabung dengan elemen atau senyawa kimia lainnya pada kondisi yang sesuai.

Silikon lebih reaktif dari karbon. Pada suhu tinggi silikon dapat berikatan dengan halogen membentuk senyawa biner. Bila silikon bereaksi, tak ada kecenderungan dari atom-atom silikon untuk kehilangan elektron-elektron terluar dan membentuk kation sederhana seperti Si^{4+} , karena ion-ion kecil ini akan mempunyai rapat muatan begitu tinggi. Namun atom-atom ini biasanya bereaksi dengan persekutuan antara elektron mereka membentuk ikatan kovalen. Bila dipanaskan dalam udara, unsur-unsur itu bereaksi dengan oksigen dalam reaksi pembakaran yang sangat eksotermik untuk membentuk oksida SiO_2 yang bersifat asam.

Salah satu kandungan kimia yang terkandung adalah kalsium. Kalsium reaktif dan untuk ukuran logam termasuk lembut. Dengan sedikit usaha, bisa dipotong dengan pisau

tajam. Dalam kontak dengan udara, kalsium mengembangkan campuran oksida dan pelapisan nitrida, yang melindunginya dari korosi lebih lanjut. Kalsium bereaksi mudah dengan air dan asam dan logam terbakar terang di udara, terutama membentuk nitrida.

Thulium adalah logam putih keperakan yang cukup keras dan stabil di udara, tetapi dapat dengan mudah larut dalam asam yang diencerkan kecuali asam fluorida (HF), di mana trifluorida larut (TmF_3) membentuk lapisan pada permukaan logam, menghambat reaksi kimia lebih lanjut. Thulium bersifat paramagnet kuat di atas 56 K (-217°C , atau -359°F). Antara 56 dan 32 K (-241°C , atau -402°F) logam Thulium bersifat antiferromagnetik dengan struktur magnetik sinusoidal termodulasi sepanjang struktur kristal sumbu c, dan di bawah 32 K thulium bersifat ferrimagnetik.

Selanjutnya kandungan unsur kimia yang terdapat pada karbon adalah Kalium atau potassium. Logam yang sangat aktif yang bereaksi hebat dengan oksigen di air dan di udara. Kalium bereaksi dengan oksigen membentuk kalium peroksida, dan dengan air membentuk kalium hidroksida. Reaksi kalium dengan air berbahaya karena sifat eksotermalnya yang hebat dan produksi gas hidrogennya. Hidrogen bereaksi lagi dengan oksigen di atmosfer, menghasilkan air, yang bereaksi dengan sisa kalium. Reaksi ini hanya membutuhkan sekelumit air.

Dalam pengujian SEM-EDX sebelumnya sample di *coating* dengan Au (Emas) agar sampel tersebut tidak rusak. Emas merupakan logam yang bersifat lunak dan mudah ditempa, kekerasannya berkisar antara 2,5 – 3 (skala Mohs), serta berat jenisnya tergantung pada jenis dan kandungan logam lain yang berpadu dengannya. Mineral pembawa emas biasanya berasosiasi dengan mineral ikutan (gangue minerals). Mineral ikutan tersebut umumnya kuarsa, karbonat, turmalin, flourpar, dan sejumlah kecil mineral non logam. Mineral pembawa emas juga berasosiasi dengan endapan sulfida yang telah teroksidasi. Mineral pembawa emas terdiri dari emas nativ, elektrum, emas telurida, sejumlah paduan dan senyawa emas dengan unsur-unsur belerang, antimon, dan selenium. Elektrum sebenarnya jenis lain dari emas nativ, hanya kandungan perak di dalamnya $>20\%$.

Pada hasil tersebut ditemukan adanya kandungan Cu pada karbon dengan waktu aktivasi selama 120 menit dan konsentrasi 30%, hal ini menunjukkan bahwa karbon tersebut berperan aktif sebagai adsorben yang menyerap kandungan Cu pada limbah sintetis, sehingga menyebabkan penurunan kadar Cu.

4.7.2.2 Pada Limbah Kandungan Pb

Berikut merupakan hasil analisis uji SEM-EDX pada karbon dengan aktivasi pembakaran selama 120 menit dan konsentrasi 30% setelah dilakukan percobaan dengan alat filtrasi yang mengandung limbah sintesis Pb.

Tabel 4.15

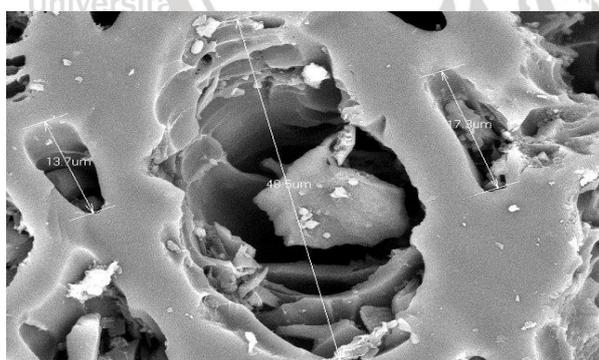
Hasil Analisis Uji SEM-EDX Karbon yang di aktivasi selama 120 menit dan konsentrasi 30%

Element	Line	Weight %	Atomic %
Carbon	k_series	72.941	84.896
Oxygen	k_series	14.227	12.432
Sodium	k_series	0.228	0.139
Magnesium	k_series	0.296	0.170
Aluminum	l_series	0.270	0.140
Silicon	m_series	1.706	0.849
Potassium	m_series	1.249	0.447
Calcium	k_series	0.504	0.176
Iron	k_series	0.673	0.169
Zinc	k_series	0.163	0.035
Gold	k_series	7.423	0.527
Lead	k_series	0.318	0.021

Sumber: Hasil Pengujian, 2019

Keterangan:

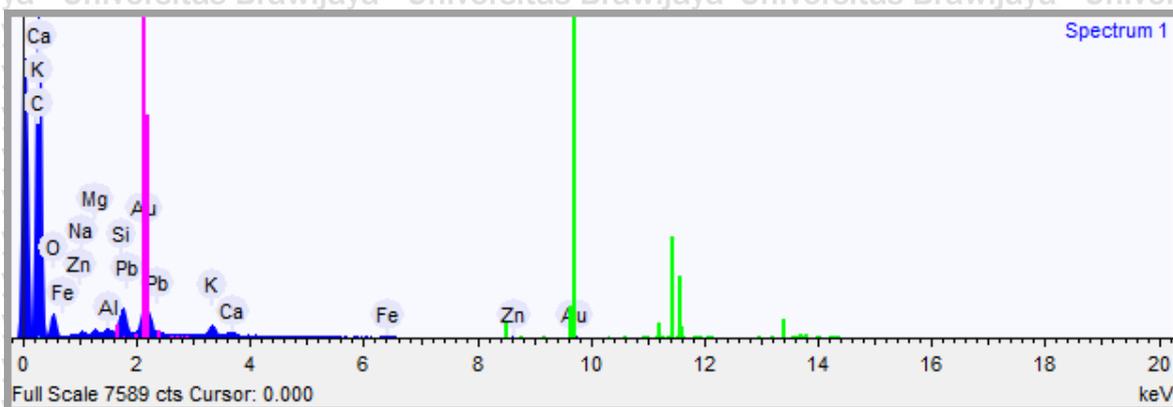
- Element : Unsur yang terkandung
- Line Type : Kulit Atom
- Weight (%) : Persen Massa Unsur pada satu titik penembakan
- Atomic (%) : Persen Atom Unsur pada satu titik penembakan



Gambar 4.21 Hasil analisis SEM-EDX karbon dengan aktivasi pembakaran selama 120 menit dan konsentrasi 30% dengan perbesaran 2500 kali.

Sumber: Hasil pengujian SEM-EDX, 2019.





Gambar 4.22 Spektrum Penyerapan Kandungan Pb.

Sumber: Hasil Pengujian SEM-EDX, 2019.

Dari tabel 4.15 hasil uji SEM-EDX setelah dilakukan percobaan, karbon dengan waktu aktivasi selama 120 menit dan konsentrasi 30% ini mengandung unsur karbon yang tinggi, terbukti dari hasil uji SEM-EDX paling besar diantara kandungan lainnya. Terdapat pula kandungan oksigen dengan prosentase berat 14,227%. Lalu ada juga silikon yang terkandung dalam karbon tersebut. Karbon sangat tak reaktif pada suhu biasa. Apabila karbon bereaksi, tidak ada kecenderungan dari atom-atom karbon untuk kehilangan elektron-elektron terluar dan membentuk kation sederhana seperti C_4^+ . Ion ini akan mempunyai rapat-rapatan muatan begitu tinggi sehingga eksistensinya tidaklah mungkin. Karbon memiliki kecenderungan untuk membentuk ikatan kovalen tunggal, rangkap dua, dan rangkap tiga yang akan membentuk senyawa organik. Silikon merupakan metaloid, siap untuk memberikan atau berbagi 4 atom terluarnya, sehingga memungkinkan banyak ikatan kimia. Kebanyakan asam (kecuali asam nitrat dan asam hidrofluorat) tidak bereaksi dengan silikon. Silikon dengan 4 elektron valensinya mempunyai kemungkinan untuk bergabung dengan elemen atau senyawa kimia lainnya pada kondisi yang sesuai.

Silikon lebih reaktif dari karbon. Pada suhu tinggi silikon dapat berikatan dengan halogen membentuk senyawa biner. Bila silikon bereaksi, tak ada kecenderungan dari atom-atom silikon untuk kehilangan elektron-elektron terluar dan membentuk kation sederhana seperti Si^{4+} , karena ion-ion kecil ini akan mempunyai rapat muatan begitu tinggi. Namun atom-atom ini biasanya bereaksi dengan persekutuan antara elektron mereka membentuk ikatan kovalen. Bila dipanaskan dalam udara, unsur-unsur itu bereaksi dengan oksigen dalam reaksi pembakaran yang sangat eksotermik untuk membentuk oksida SiO_2 yang bersifat asam.

Selanjutnya adalah magnesium yang sangat mudah terbakar, terutama bila dibuat bubuk atau diiris menjadi strip tipis, meski sulit menyala dalam bentuk massal atau curah.

Suhu nyala magnesium dan logam paduannya bisa mencapai $3100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($5610\text{ }^{\circ}\text{F}$), meskipun ketinggian api di atas logam yang terbakar biasanya kurang dari 300 mm (12 in). Setelah menyala, api semacam itu sulit untuk dipadamkan, dengan pembakaran berlanjut dalam nitrogen (membentuk magnesium nitrida), karbon dioksida (membentuk magnesium oksida dan karbon), dan air (membentuk magnesium oksida dan hidrogen). Unsur magnesium adalah logam ringan putih abu-abu, dengan densitas dua pertiga dari densitas aluminium. Ia menjadi sedikit kusam saat terpapar udara, walaupun, tidak seperti logam alkali tanah lainnya, tidak perlu disimpan di lingkungan bebas oksigen karena magnesium dilindungi oleh lapisan tipis oksida yang cukup kedap dan sulit dihilangkan. Magnesium memiliki titik leleh terendah (923 K ($650\text{ }^{\circ}\text{C}$)) dan titik didih terendah (1363 K ($1994\text{ }^{\circ}\text{F}$)) di antara semua logam alkali tanah. Magnesium bereaksi dengan air pada suhu kamar, meskipun bereaksi jauh lebih lambat daripada kalsium, logam golongan 2 yang mirip. Saat terendam air, gelembung hidrogen terbentuk perlahan di permukaan logam—meskipun jika dalam bentuk serbuknya ia bereaksi lebih cepat. Reaksi terjadi lebih cepat dengan suhu yang lebih tinggi (lihat Awasan keselamatan). Reaksi reversibel magnesium dengan air dapat dimanfaatkan untuk menyimpan energi dan menjalankan mesin berbasis magnesium. Magnesium juga bereaksi secara eksotermik dengan kebanyakan asam seperti asam klorida (HCl), menghasilkan logam klorida dan gas hidrogen, serupa dengan reaksi HCl dengan aluminium, seng, dan banyak logam lainnya.

Natrium atau sodium pada suhu dan tekanan standar adalah logam lunak keperakan yang jika bereaksi dengan oksigen di udara dan membentuk natrium oksida berwarna putih keabu-abuan kecuali direndam dalam minyak atau gas inert, yang merupakan kondisi penyimpanan umumnya. Logam natrium dapat dengan mudah dipotong menggunakan pisau dan merupakan konduktor listrik dan panas yang baik, karena hanya memiliki satu elektron pada kelopak valensinya, sehingga menghasilkan ikatan logam dan elektron bebas yang lemah, yang membawa energi. Akibat massa atomnya yang rendah dan jari-jari atomnya yang panjang, natrium adalah unsur logam dengan densitas paling rendah ke-3 di antara seluruh logam dan salah satu dari tiga logam yang dapat terapung di air, dua lainnya adalah litium dan kalium. Titik lebur ($98\text{ }^{\circ}\text{C}$) dan didih ($883\text{ }^{\circ}\text{C}$) natrium lebih rendah daripada litium tetapi lebih tinggi daripada logam alkali yang lebih berat (kalium, rubidium, dan sesium), mengikuti tren periodik sepanjang golongan dari atas ke bawah. Sifat ini berubah secara dramatis pada kenaikan tekanan: pada 1,5 Mbar, warna berubah dari keperakan menjadi hitam; pada 1,9 Mbar menjadi transparan dengan warna merah;

dan pada 3 Mbar, natrium berupa padatan jernih dan transparan. Semua alotropi tekanan tinggi ini bersifat isolator dan elektrida.

Aluminium ialah unsur kimia. Lambang aluminium ialah Al, dan nomor atomnya 13.

Aluminium ialah logam paling berlimpah. Aluminium bukan merupakan jenis logam berat, tetapi merupakan elemen yang berjumlah sekitar 8% dari permukaan bumi dan paling berlimpah ketiga. Aluminium terdapat dalam penggunaan aditif makanan, antasida, buffered aspirin, astringents, semprotan hidung, antiperspirant, air minum, knalpot mobil, asap tembakau, penggunaan aluminium foil, peralatan masak, kaleng, keramik, dan kembang api. Aluminium merupakan konduktor listrik yang baik. Ringan dan kuat. Merupakan konduktor yang baik juga buat panas. Dapat ditempa menjadi lembaran, ditarik menjadi kawat dan diekstrusi menjadi batangan dengan bermacam-macam penampang.

Seng atau zinc merupakan logam yang berwarna putih kebiruan, berkilau, dan bersifat diamagnetik. Walau demikian, kebanyakan seng mutu komersial tidak berkilau. Seng sedikit kurang padat daripada besi dan berstruktur kristal heksagonal (Lehto 1968, hlm. 826). Seng merupakan unsur golongan 12 tabel periodik. Seng cukup reaktif dan merupakan reduktor kuat. Permukaan logam seng murni akan dengan cepat mengusam, membentuk lapisan seng karbonat, $Zn_5(OH)_6CO_3$, seketika berkontak dengan karbon dioksida. Lapisan ini membantu mencegah reaksi lebih lanjut dengan udara dan air.

Seng yang dibakar akan menghasilkan lidah api berwarna hijau kebiruan dan mengeluarkan asap seng oksida. Seng bereaksi dengan asam, basa, dan non-logam lainnya. Seng yang sangat murni hanya akan bereaksi secara lambat dengan asam pada suhu kamar. Asam kuat seperti asam klorida maupun asam sulfat dapat menghilangkan lapisan pelindung seng karbonat dan reaksi seng dengan air yang ada akan melepaskan gas hidrogen. Seng secara umum memiliki keadaan oksidasi +2. Hal ini mengizinkan pembentukan empat ikatan kovalen dengan menerima empat pasangan elektron dan mematuhi kaidah oktet. Sifat kimiawi seng mirip dengan logam-logam transisi periode pertama seperti nikel dan tembaga. Ia bersifat diamagnetik dan hampir tak berwarna. Jari-jari ion seng dan magnesium juga hampir identik. Oleh karenanya, garam kedua senyawa ini akan memiliki struktur kristal yang sama. Pada kasus di mana jari-jari ion merupakan faktor penentu, sifat-sifat kimiawi keduanya akan sangat mirip. Seng cenderung membentuk ikatan kovalen berderajat tinggi. Ia juga akan membentuk senyawa kompleks dengan pendonor N- dan S-. Senyawa kompleks seng kebanyakan berkoordinasi 4 ataupun 6 walaupun koordinasi 5 juga diketahui ada.

Selanjutnya adalah iron atau besi. Sifat mekanik besi dan paduannya dapat dievaluasi menggunakan berbagai uji, termasuk uji Brinell, uji Rockwell dan uji kekerasan Vickers. Data pada besi begitu konsisten sehingga sering digunakan untuk kalibrasi peralatan atau uji perbandingan. Namun, sifat mekanik besi sangat dipengaruhi oleh kemurnian sampel: besi murni kristal tunggal untuk keperluan penelitian faktanya lebih lunak daripada aluminium, dan besi hasil produksi industri yang paling murni (99,99%) memiliki kekerasan 20–30 Brinell. Kenaikan kandungan karbon dalam besi akan menyebabkan kenaikan yang signifikan pada kekerasan dan kekuatan tarik. Kekerasan maksimum 65 Rc dicapai dengan kadar karbon 0.6%, meskipun prosedur ini untuk logam dengan daya tarik rendah. Karena signifikansinya untuk inti planet, sifat fisik besi pada tekanan dan suhu tinggi juga telah dipelajari secara mendalam. Bentuk besi yang stabil di bawah kondisi standar dapat mengalami tekanan hingga 15 GPa sebelum berubah menjadi bentuk tekanan tinggi, seperti yang dijelaskan pada bagian selanjutnya. Besi sangat penting ketika dicampur dengan logam tertentu lainnya dan dengan karbon untuk membentuk baja. Ada banyak jenis baja, semua dengan sifat yang berbeda, dan pemahaman tentang sifat-sifat alotrop besi adalah kunci untuk pembuatan baja berkualitas baik.

Salah satu kandungan kimia yang terkandung adalah kalsium. Kalsium reaktif dan untuk ukuran logam termasuk lembut. Dengan sedikit usaha, bisa dipotong dengan pisau tajam. Dalam kontak dengan udara, kalsium mengembangkan campuran oksida dan pelapisan nitrida, yang melindunginya dari korosi lebih lanjut. Kalsium bereaksi mudah dengan air dan asam dan logam terbakar terang di udara, terutama membentuk nitrida.

Selanjutnya kandungan unsur kimia yang terdapat pada karbon adalah Kalium atau potasium. Logam yang sangat aktif yang bereaksi hebat dengan oksigen di air dan di udara. Kalium bereaksi dengan oksigen membentuk kalium peroksida, dan dengan air membentuk kalium hidroksida. Reaksi kalium dengan air berbahaya karena sifat eksotermalnya yang hebat dan produksi gas hidrogennya. Hidrogen bereaksi lagi dengan oksigen di atmosfer, menghasilkan air, yang bereaksi dengan sisa kalium. Reaksi ini hanya membutuhkan sekelumit air.

Dalam pengujian SEM-EDX sebelumnya sample di *coating* dengan Au (Emas) agar sampel tersebut tidak rusak. Emas merupakan logam yang bersifat lunak dan mudah ditempa, kekerasannya berkisar antara 2,5–3 (skala Mohs), serta berat jenisnya tergantung pada jenis dan kandungan logam lain yang berpadu dengannya. Mineral pembawa emas biasanya berasosiasi dengan mineral ikutan (*gangue minerals*). Mineral ikutan tersebut umumnya kuarsa, karbonat, turmalin, flourpar, dan sejumlah kecil mineral non logam.

Mineral pembawa emas juga berasosiasi dengan endapan sulfida yang telah teroksidasi.

Mineral pembawa emas terdiri dari emas nativ, elektrum, emas telurida, sejumlah paduan dan senyawa emas dengan unsur-unsur belerang, antimon, dan selenium. Elektrum sebenarnya jenis lain dari emas nativ, hanya kandungan perak di dalamnya >20%.

Pada hasil tersebut ditemukan adanya kandungan Pb pada karbon dengan waktu aktivasi selama 120 menit dan konsentrasi 30%, menunjukkan bahwa karbon tersebut berperan aktif sebagai adsorben yang menyerap kandungan Pb pada limbah sintetis, sehingga menyebabkan penurunan kadar Pb.

4.7.3 Uji SEM-EDX Karbon dengan Aktivasi Pembakaran Selama 120 menit dan Konsentrasi KOH 50%

4.7.3.1 Pada Limbah Kandungan Cu

Berikut merupakan hasil analisis uji SEM-EDX pada karbon dengan aktivasi pembakaran selama 120 menit dan konsentrasi 50% setelah dilakukan percobaan dengan alat filtrasi yang mengandung limbah sintetis Cu.

Tabel 4.16

Hasil Analisis Uji SEM-EDX Karbon yang di aktivasi selama 120 menit dan konsentrasi 50%

Element	Line	Weight %	Atomic %
Carbon	k_series	74.674	85.029
Oxygen	k_series	15.757	13.470
Silicon	k_series	0.719	0.350
Potassium	k_series	1.235	0.432
Calcium	k_series	0.687	0.234
Copper	L_series	0.023	0.005
Gold	m_series	6.905	0.479

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

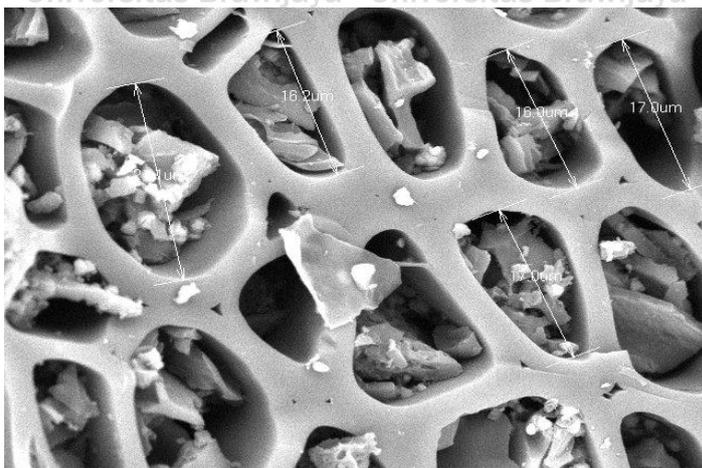
Keterangan:

Element : Unsur yang terkandung

Line Type : Kulit Atom

Weight (%) : Persen Massa Unsur pada satu titik penembakan

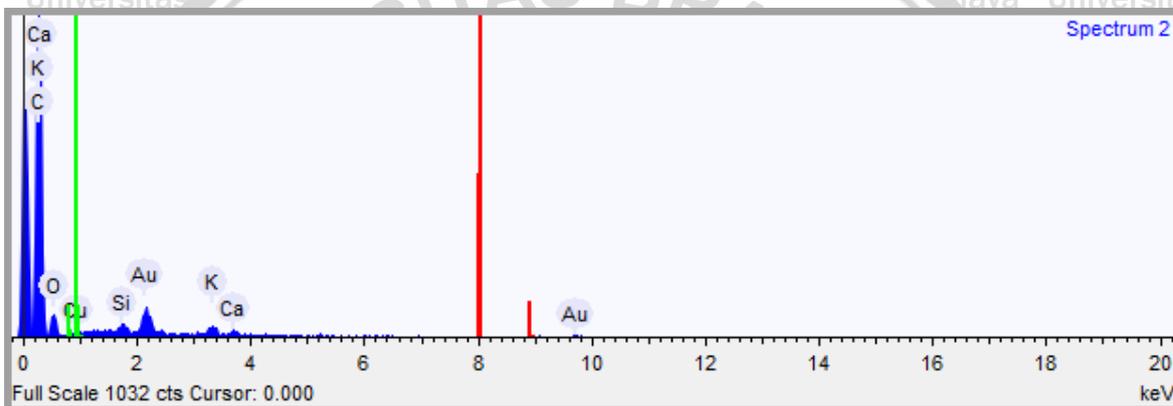
Atomic (%) : Persen Atom Unsur pada satu titik penembakan



Bu emma 2019/09/05 10:05 NL D4.7 x2.5k 30 um
50% 120 menit

Gambar 4.23 Hasil analisis SEM-EDX karbon dengan aktivasi pembakaran selama 120 menit dan konsentrasi 50% dengan perbesaran 2500 kali.

Sumber: Hasil pengujian SEM-EDX, 2019



Gambar 4.24 Spektrum Penyerapan Kandungan Cu.

Sumber: Hasil Pengujian SEM-EDX, 2019

Dari tabel 4.16 hasil uji SEM-EDX karbon tanpa aktivasi setelah dilakukan percobaan, karbon dengan waktu aktivasi selama 120 menit dan konsentrasi 50% ini mengandung unsur karbon yang tinggi, terbukti dari hasil uji SEM-EDX paling besar diantara kandungan lainnya. Lalu ada juga silikon yang terkandung dalam karbon tersebut. Karbon sangat tak reaktif pada suhu biasa. Apabila karbon bereaksi, tidak ada kecenderungan dari atom-atom karbon untuk kehilangan elektron-elektron terluar dan membentuk kation sederhana seperti C_4^+ . Ion ini akan mempunyai rapat-rapatan muatan begitu tinggi sehingga eksistensinya tidaklah mungkin. Karbon memiliki kecenderungan untuk membentuk ikatan kovalen tunggal, rangkap dua, dan rangkap tiga yang akan membentuk senyawa organik. Silikon merupakan metaloid, siap untuk memberikan atau berbagi 4 atom terluarnya, sehingga memungkinkan banyak ikatan kimia. Kebanyakan asam (kecuali asam nitrat dan asam hidrofluorat) tidak bereaksi dengan



silikon. Silikon dengan 4 elektron valensinya mempunyai kemungkinan untuk bergabung dengan elemen atau senyawa kimia lainnya pada kondisi yang sesuai.

Silikon lebih reaktif dari karbon. Pada suhu tinggi silikon dapat berikatan dengan halogen membentuk senyawa biner. Bila silikon bereaksi, tak ada kecenderungan dari atom-atom silikon untuk kehilangan elektron-elektron terluar dan membentuk kation sederhana seperti Si^{4+} , karena ion-ion kecil ini akan mempunyai rapat muatan begitu tinggi. Namun atom-atom ini biasanya bereaksi dengan persekutuan antara elektron mereka membentuk ikatan kovalen. Bila dipanaskan dalam udara, unsur-unsur itu bereaksi dengan oksigen dalam reaksi pembakaran yang sangat eksotermik untuk membentuk oksida SiO_2 yang bersifat asam.

Salah satu kandungan kimia yang terkandung adalah kalsium. Kalsium reaktif dan untuk ukuran logam termasuk lembut. Dengan sedikit usaha, bisa dipotong dengan pisau tajam. Dalam kontak dengan udara, kalsium mengembangkan campuran oksida dan pelapisan nitrida, yang melindunginya dari korosi lebih lanjut. Kalsium bereaksi mudah dengan air dan asam dan logam terbakar terang di udara, terutama membentuk nitrida.

Selanjutnya kandungan unsur kimia yang terdapat pada karbon adalah Kalium. Logam yang sangat aktif yang bereaksi hebat dengan oksigen di air dan di udara. Kalium bereaksi dengan oksigen membentuk kalium peroksida, dan dengan air membentuk kalium hidroksida. Reaksi kalium dengan air berbahaya karena sifat eksotermalnya yang hebat dan produksi gas hidrogennya. Hidrogen bereaksi lagi dengan oksigen di atmosfer, menghasilkan air, yang bereaksi dengan sisa kalium. Reaksi ini hanya membutuhkan sekelumit air.

Dalam pengujian SEM-EDX sebelumnya sample di *coating* dengan Au (Emas) agar sampel tersebut tidak rusak. Emas merupakan logam yang bersifat lunak dan mudah ditempa, kekerasannya berkisar antara 2,5 – 3 (skala Mohs), serta berat jenisnya tergantung pada jenis dan kandungan logam lain yang berpadu dengannya. Mineral pembawa emas biasanya berasosiasi dengan mineral ikutan (*gangue minerals*). Mineral ikutan tersebut umumnya kuarsa, karbonat, turmalin, flourpar, dan sejumlah kecil mineral non logam. Mineral pembawa emas juga berasosiasi dengan endapan sulfida yang telah teroksidasi. Mineral pembawa emas terdiri dari emas nativ, elektrum, emas telurida, sejumlah paduan dan senyawa emas dengan unsur-unsur belerang, antimon, dan selenium. Elektrum sebenarnya jenis lain dari emas nativ, hanya kandungan perak di dalamnya >20%.

Pada hasil tersebut ditemukan adanya kandungan Cu pada karbon dengan waktu aktivasi selama 120 menit dan konsentrasi 50%, hal ini menunjukkan bahwa karbon

tersebut berperan aktif sebagai adsorben yang menyerap kandungan Cu pada limbah sintesis, sehingga menyebabkan penurunan kadar Cu.

4.7.3.2 Pada Limbah Kandungan Pb

Berikut merupakan hasil analisis uji SEM-EDX pada karbon dengan aktivasi pembakaran selama 120 menit dan konsentrasi 50% setelah dilakukan percobaan dengan alat filtrasi yang mengandung limbah sintesis Pb.

Tabel 4.17

Hasil Analisis Uji SEM-EDX Karbon yang di aktivasi selama 120 menit dan konsentrasi 50%

Element	Line	Weight %	Atomic %
Carbon	k_series	56.459	68.711
Oxygen	k_series	26.977	24.648
Magnesium	k_series	0.220	0.132
Aluminum	k_series	3.188	1.727
Silicon	k_series	4.433	2.307
Potassium	k_series	4.996	1.868
Iron	k_series	0.562	0.147
Niobium	l_series	2.735	0.430
Lead	m_series	0.429	0.030

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019.

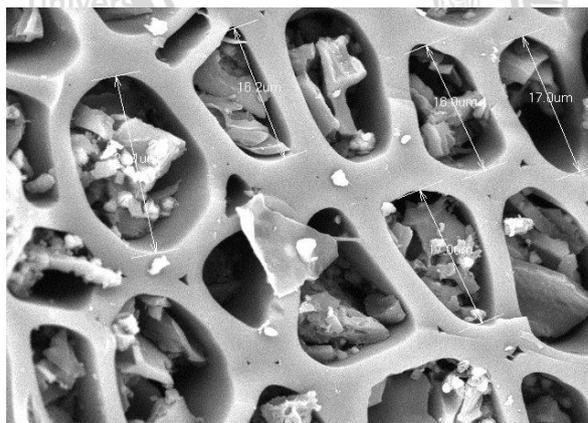
Keterangan:

Element : Unsur yang terkandung

Line Type : Kulit Atom

Weight (%) : Persen Massa Unsur pada satu titik penembakan

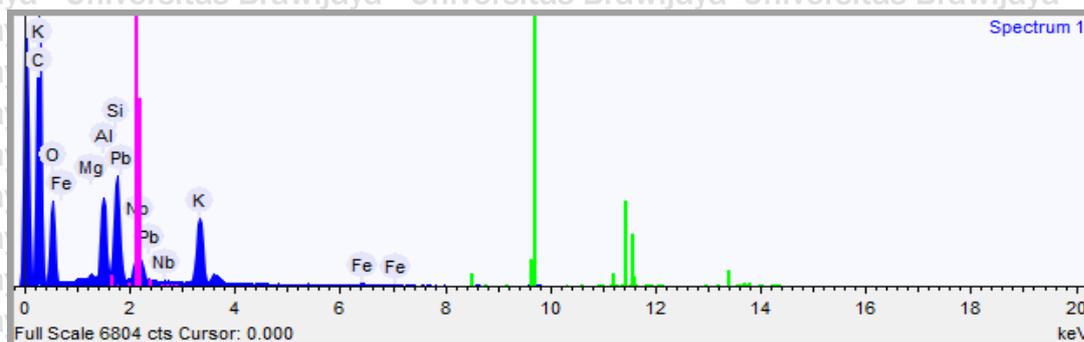
Atomic (%) : Persen Atom Unsur pada satu titik penembakan



Bu emma 2019/09/05 10:05 NL D4.7 x2.5k 30 um
50% 120 menit

Gambar 4.25 Hasil analisis SEM-EDX karbon dengan aktivasi pembakaran selama 120 menit dan konsentrasi 50% dengan perbesaran 2500 kali.

Sumber: Hasil pengujian SEM-EDX, 2019.



Gambar 4.26 Spektrum Penyerapan Kandungan Pb.

Sumber: Hasil Pengujian SEM-EDX, 2019.

Dari tabel 4.17 hasil uji SEM-EDX setelah dilakukan percobaan, karbon dengan waktu aktivasi selama 120 menit dan konsentrasi 50% ini mengandung unsur karbon dan oksigen yang tinggi, terbukti dari hasil uji SEM-EDX paling besar diantara kandungan lainnya. Lalu ada juga silikon yang terkandung dalam karbon tersebut. Karbon sangat tak reaktif pada suhu biasa. Apabila karbon bereaksi, tidak ada kecenderungan dari atom-atom karbon untuk kehilangan elektron-elektron terluar dan membentuk kation sederhana seperti $C4+$. Ion ini akan mempunyai rapat-rapatan muatan begitu tinggi sehingga eksistensinya tidaklah mungkin. Karbon memiliki kecenderungan untuk membentuk ikatan kovalen tunggal, rangkap dua, dan rangkap tiga yang akan membentuk senyawa organik. Silikon merupakan metaloid, siap untuk memberikan atau berbagi 4 atom terluarnya, sehingga memungkinkan banyak ikatan kimia. Kebanyakan asam (kecuali asam nitrat dan asam hidrofluorat) tidak bereaksi dengan silikon. Silikon dengan 4 elektron valensinya mempunyai kemungkinan untuk bergabung dengan elemen atau senyawa kimia lainnya pada kondisi yang sesuai.

Silikon lebih reaktif dari karbon. Pada suhu tinggi silikon dapat berikatan dengan halogen membentuk senyawa biner. Bila silikon bereaksi, tak ada kecenderungan dari atom-atom silikon untuk kehilangan elektron-elektron terluar dan membentuk kation sederhana seperti $Si4+$, karena ion-ion kecil ini akan mempunyai rapat muatan begitu tinggi. Namun atom-atom ini biasanya bereaksi dengan persekutuan antara elektron mereka membentuk ikatan kovalen. Bila dipanaskan dalam udara, unsur-unsur itu bereaksi dengan oksigen dalam reaksi pembakaran yang sangat eksotermik untuk membentuk oksida SiO_2 yang bersifat asam.

Selanjutnya adalah magnesium yang sangat mudah terbakar, terutama bila dibuat bubuk atau diiris menjadi strip tipis, meski sulit menyala dalam bentuk massal atau curah.

Suhu nyala magnesium dan logam paduannya bisa mencapai $3100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($5610\text{ }^{\circ}\text{F}$), meskipun ketinggian api di atas logam yang terbakar biasanya kurang dari 300 mm (12 in). Setelah

menyala, api semacam itu sulit untuk dipadamkan, dengan pembakaran berlanjut dalam nitrogen (membentuk magnesium nitrida), karbon dioksida (membentuk magnesium oksida dan karbon), dan air (membentuk magnesium oksida dan hidrogen). Unsur magnesium adalah logam ringan putih abu-abu, dengan densitas dua pertiga dari densitas aluminium. Ia menjadi sedikit kusam saat terpapar udara, walaupun, tidak seperti logam alkali tanah lainnya, tidak perlu disimpan di lingkungan bebas oksigen karena magnesium dilindungi oleh lapisan tipis oksida yang cukup kedap dan sulit dihilangkan. Magnesium memiliki titik leleh terendah (923 K (650 °C)) dan titik didih terendah (1363 K (1094 °F)) di antara semua logam alkali tanah. Magnesium bereaksi dengan air pada suhu kamar, meskipun bereaksi jauh lebih lambat daripada kalsium, logam golongan 2 yang mirip. Saat terendam air, gelembung hidrogen terbentuk perlahan di permukaan logam—meskipun jika dalam bentuk serbuknya ia bereaksi lebih cepat. Reaksi terjadi lebih cepat dengan suhu yang lebih tinggi (lihat Awasan keselamatan). Reaksi reversibel magnesium dengan air dapat dimanfaatkan untuk menyimpan energi dan menjalankan mesin berbasis magnesium. Magnesium juga bereaksi secara eksotermik dengan kebanyakan asam seperti asam klorida (HCl), menghasilkan logam klorida dan gas hidrogen, serupa dengan reaksi HCl dengan aluminium, seng, dan banyak logam lainnya.

Aluminium ialah unsur kimia. Lambang aluminium ialah Al, dan nomor atomnya 13. Aluminium ialah logam paling berlimpah. Aluminium bukan merupakan jenis logam berat, tetapi merupakan elemen yang berjumlah sekitar 8% dari permukaan bumi dan paling berlimpah ketiga. Aluminium terdapat dalam penggunaan aditif makanan, antasida, buffered aspirin, astringents, semprotan hidung, antiperspirant, air minum, knalpot mobil, asap tembakau, penggunaan aluminium foil, peralatan masak, kaleng, keramik, dan kembang api. Aluminium merupakan konduktor listrik yang baik. Ringan dan kuat. Merupakan konduktor yang baik juga buat panas. Dapat ditempa menjadi lembaran, ditarik menjadi kawat dan diekstrusi menjadi batangan dengan bermacam-macam penampang.

Selanjutnya adalah iron atau besi. Sifat mekanik besi dan paduannya dapat dievaluasi menggunakan berbagai uji, termasuk uji Brinell, uji Rockwell dan uji kekerasan Vickers. Data pada besi begitu konsisten sehingga sering digunakan untuk kalibrasi peralatan atau uji perbandingan. Namun, sifat mekanik besi sangat dipengaruhi oleh kemurnian sampel: besi murni kristal tunggal untuk keperluan penelitian faktanya lebih lunak daripada aluminium, dan besi hasil produksi industri yang paling murni (99,99%) memiliki kekerasan 20–30 Brinell. Kenaikan kandungan karbon dalam besi akan menyebabkan kenaikan yang signifikan pada kekerasan dan kekuatan tarik. Kekerasan maksimum 65 Rc

dicapai dengan kadar karbon 0.6%, meskipun prosedur ini untuk logam dengan daya tarik rendah. Karena signifikansinya untuk inti planet, sifat fisik besi pada tekanan dan suhu tinggi juga telah dipelajari secara mendalam. Bentuk besi yang stabil di bawah kondisi standar dapat mengalami tekanan hingga 15 GPa sebelum berubah menjadi bentuk tekanan tinggi, seperti yang dijelaskan pada bagian selanjutnya. Besi sangat penting ketika dicampur dengan logam tertentu lainnya dan dengan karbon untuk membentuk baja. Ada banyak jenis baja, semua dengan sifat yang berbeda, dan pemahaman tentang sifat-sifat alotrop besi adalah kunci untuk pembuatan baja berkualitas baik.

Kandungan unsur kimia yang terdapat adalah Niobium yaitu logam langka, lunak, bisa ditempa, dan berwarna putih abu-abu. Unsur ini memiliki struktur kristal kubus dengan sifat fisik dan kimia menyerupai tantalum. Niobium mudah bereaksi dengan oksigen, karbon, halogen, nitrogen, dan sulfur, bahkan pada suhu ruang. Logam ini inert terhadap asam, bahkan aqua regia pada suhu kamar, tetapi bereaksi dengan panas, asam pekat, dan terutama oleh basa dan oksidator. Tanaman umumnya hanya memiliki niobium dengan konsentrasi amat rendah dan bahkan tidak memiliki sama sekali, meskipun beberapa lumut dapat memiliki niobium 0,45 ppm.

Selanjutnya kandungan unsur kimia yang terdapat pada karbon adalah Kalium atau potasium. Logam yang sangat aktif yang bereaksi hebat dengan oksigen di air dan di udara. Kalium bereaksi dengan oksigen membentuk kalium peroksida, dan dengan air membentuk kalium hidroksida. Reaksi kalium dengan air berbahaya karena sifat eksotermalnya yang hebat dan produksi gas hidrogennya. Hidrogen bereaksi lagi dengan oksigen di atmosfer, menghasilkan air, yang bereaksi dengan sisa kalium. Reaksi ini hanya membutuhkan sekelumit air.

Pada hasil tersebut ditemukan adanya kandungan Pb pada karbon dengan waktu aktivasi selama 120 menit dan konsentrasi 50%, menunjukkan bahwa karbon tersebut berperan aktif sebagai adsorben yang menyerap kandungan Pb pada limbah sintesis, sehingga menyebabkan penurunan kadar Pb.

4.7.4 Analisis Kimia Hasil Uji SEM-EDX

Pada hasil perbandingan uji SEM-EDX setelah dilakukan filtrasi, ditemukan beberapa perbedaan yang terjadi pada karbon yang tidak diaktivasi dan karbon yang di aktivasi menggunakan waktu yang berbeda dengan konsentrasi KOH (*activating agent*). Beberapa perbedaan tersebut antara lain:

1. Pada karbon yang tidak diaktivasi dan karbon yang diaktivasi dengan variasi waktu pembakaran dan konsentrasi ini terkandung Cu di dalam kulit I dan Pb di dalam kulit

- m. Hal ini menunjukkan bahwa yang berperan sebagai adsorben telah turut berperan menangkap ion Cu dan Pb sehingga kadar Cu dan Pb pada limbah dapat tereduksi.
2. Pada karbon yang diaktivasi menggunakan waktu pembakaran selama 120 menit dan konsentrasi KOH 30% memiliki pori-pori terbesar yaitu 47,8 μ m. Maka dari itu, penyerapan kadar Cu lebih besar dari kedua karbon sebelumnya. Namun, untuk kadar Pb lebih besar dengan menggunakan karbon dengan waktu pembakaran selama 120 menit dan konsentrasi KOH 50%. Hal ini kemungkinan disebabkan karbon yang menggunakan konsentrasi KOH 30% lebih baik dalam menyerap kandungan Cu dibandingkan dengan KOH 50% tetapi sebaliknya dengan kandungan Pb. Dalam analisis kimia disebutkan bahwa Cu yang terbentuk akan terlapisi di permukaan logam lainnya. Reaksi akan berhenti ketika tidak ada lagi permukaan kosong pada logam yang dapat dilapisi oleh Cu.
 3. Pada karbon yang di aktivasi terlihat bahwa rata-rata pori-pori 9,86 μ m. Hasil uji SEM-EDX menunjukkan bahwa struktur dan tekstur dari permukaan kulit karbon ini terlihat kecil dan sedikit. Lain halnya dengan karbon yang diaktivasi dengan waktu pembakaran selama 120 menit dan konsentrasi 30% yang memiliki pori-pori yang terbesar yaitu 47,8 μ m. Namun, pori-pori yang lain terlihat kecil dan berjauhan satu sama lain. Selain itu, karbon yang diaktivasi dengan waktu pembakaran selama 120 menit dan konsentrasi 50% memiliki rata-rata pori-pori sebesar 17,46 μ m. Struktur dan tekstur dari karbon ini menunjukkan bahwa luas permukaan pori-porinya tidak jauh berbeda dari yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa karbon mengalami perubahan tekstur permukaan yang disebabkan oleh variasi waktu aktivasi dan konsentrasi KOH, serta karbon berperan sebagai adsorben yang menyerap kandungan Cu dan Pb sehingga terjadi perubahan tekstur permukaan pada ketiga variasi karbon tersebut.

Tabel 4.18
Tabel Rekapitulasi Hasil Uji SEM-EDX pada Limbah Cu

No	Parameter	Kondisi	Hasil SEM-EDX		
			Line	Weight (%)	Atomic (%)
1		Tanpa aktivasi KOH 30% dengan waktu	l_series	0.020	0.004
2	Cu	aktivasi pembakaran 120 menit KOH 50% dengan waktu	m_series	0.104	0.021
3		aktivasi pembakaran 120 menit	l_series	0.023	0.005

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, 2019.

Tabel 4.19
Tabel Rekapitulasi Hasil Uji SEM-EDX pada Limbah Pb

No	Parameter	Kondisi	Hasil SEM-EDX		
			Line	Weight (%) Atomic (%)	
1	Pb	Tanpa aktivasi	m_series	0.262	0.015
2		KOH 30% dengan waktu aktivasi pembakaran 120 menit	k_series	0.318	0.021
3		KOH 50% dengan waktu aktivasi pembakaran 120 menit	m_series	0.429	0.030

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium, 2019.

Hasil uji SEM-EDX pada karbon menunjukkan nilai kandungan logam Cu dan Pb yang relatif kecil. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh beberapa hal, yaitu:

1. Pemilihan spot penembakan pada uji SEM-EDX. Kemungkinan, spot penembakan yang dilakukan memiliki kandungan Cu dan Pb yang kecil.
2. Terbatasnya wilayah cakupan pembacaan hasil. Karena wilayah cakupan pembacaan hasil yang dilakukan tidak dapat memberikan hasil secara menyeluruh dari sampel.
3. Unsur Cu dan Pb pada sampel di pembacaan tabel memiliki nilai yang relatif kecil dikarenakan adanya unsur lain pada sampel yang lebih mendominasi atau memiliki nilai yang relatif besar. Sehingga unsur Cu dan Pb pada tabel yang terbaca memiliki nilai yang kecil.

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi waktu pembakaran dan konsentrasi aktivator karbon cangkang bunga pinus yang paling optimal untuk mereduksi kandungan logam Cu dan Pb pada limbah sintetis memberikan hasil yang berbeda.
 - a. Untuk kualitas karbon aktif di penelitian kali ini menurut SNI 06-3730-1995 adalah kadar air yang maksimal bernilai 15% dan kadar abu yang maksimal bernilai 10%.
 - Kadar air yang paling rendah adalah karbon yang di aktivasi menggunakan larutan KOH berkonsentrasi 30% dan di bakar dengan waktu aktivasi selama 120 menit. Sedangkan yang paling tinggi adalah karbon yang di aktivasi menggunakan larutan KOH berkonsentrasi 50% dan di bakar dengan waktu aktivasi selama 60 menit.
 - Kadar abu yang paling rendah adalah karbon yang di aktivasi menggunakan larutan KOH berkonsentrasi 30% dan di bakar dengan waktu aktivasi selama 60 menit. Sedangkan yang paling tinggi adalah karbon yang tidak di aktivasi.
 - b. Untuk kualitas air yang sudah melalui proses filtrasi terdapat dua parameter yang diuji yaitu limbah sintetis yang mengandung Pb dan Cu dengan standar baku mutu air yang ditentukan sesuai PP No. 82 Tahun 2001 yakni untuk Cu sebesar 0,02 mg/L dan untuk Pb sebesar 0,03 mg/L. Karbon aktif mampu mereduksi kadar Cu dan Pb, namun tidak semua nilai yang dicapai sesuai dengan nilai standar baku mutu air yang diharapkan.
 - Pada penelitian kali ini menunjukkan bahwa filtrasi menggunakan karbon aktif dengan konsentrasi KOH 30%, KOH 50% dan tidak di aktivasi dapat menurunkan kadar Cu tetapi kadar Cu dengan karbon yang tidak di aktivasi lebih kecil dari karbon yang di aktivasi dengan konsentrasi KOH 30%. Karbon aktif dengan konsentrasi KOH 30% dan 50% memiliki kadar limbah sintetis Cu yang serupa yaitu 0 mg/L terkecuali dengan karbon yang di bakar dengan waktu aktivasi 60 menit dan konsentrasi KOH 30% yang memiliki nilai sebesar 0,152 mg/L.

- Pada penelitian ini menunjukkan bahwa filtrasi menggunakan karbon aktif dengan konsentrasi KOH 30%, KOH 50% dan tidak di aktivasi dapat menurunkan kadar Pb tetapi kadar Pb dengan karbon yang diaktivasi waktu pembakaran 60 menit dan 90 menit dan konsentrasi KOH 30% menunjukkan hasil yang serupa yaitu 0 mg/L terkecuali dengan karbon yang di bakar dengan waktu aktivasi 60 menit dan 90 menit dan konsentrasi KOH 30% yang memiliki nilai sebesar 0,0833 mg/L.
- 2. Efisiensi filter pada penelitian kali ini dalam mereduksi kandungan logam Cu dan Pb pada limbah sintetis memberikan hasil yang berbeda.
 - a. Pada penelitian kali ini menunjukkan bahwa karbon aktif dengan konsentrasi KOH 30% dan 50% memiliki efisiensi kadar limbah sintetis Cu yang serupa yaitu 100% terkecuali dengan karbon yang di bakar dengan waktu aktivasi 60 menit dan konsentrasi KOH 50% yang memiliki nilai sebesar 93,77%.
 - b. Pada penelitian kali ini menunjukkan bahwa karbon aktif dengan konsentrasi KOH 30% dan 50% memiliki efisiensi sebesar 100% terkecuali dengan karbon yang di bakar dengan waktu aktivasi 60 menit dan 90 menit menggunakan konsentrasi KOH 30% yang memiliki efisiensi sebesar 88,89%.
- 3. Pada hasil perbandingan uji SEM-EDX setelah dilakukan filtrasi, ditemukan beberapa perbedaan yang terjadi pada karbon yang tidak diaktivasi dan karbon yang di aktivasi menggunakan waktu yang berbeda dengan konsentrasi KOH (*activating agent*). Hasil Uji SEM-EDX pada karbon yang di aktivasi lebih besar dari karbon yang tidak di aktivasi. Hal ini menunjukkan bahwa karbon yang di aktivasi lebih baik dalam mengadsorb dan mereduksi kandungan Cu dan Pb pada limbah sintetis. Lalu, dapat juga disimpulkan bahwa karbon aktif cangkang bunga pinus lebih berperan aktif dalam menyerap Pb daripada Cu.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, ada saran yang dapat diberikan oleh peneliti, diantaranya:

1. Peneliti merasa metode ini dapat ditambahkan pengujian parameter lain agar filter penjernih air sederhana ini bisa digunakan dengan lebih maksimal.
2. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan bagi peneliti selanjutnya untuk mengkaji lebih dalam masalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, Rukaesih. (2004). *Kimia Lingkungan*. Yogyakarta: ANDI.
- Azis, A.A., Selintung, M., Zubair, A. (2012). *Efektivitas Arang Aktif dalam Mengadsorpsi Logam Cd dan Pb dalam Air Limbah Industri*. Makassar: Universitas Hassanudin.
- Erlina (2015). *Pengaruh Konsentrasi Larutan KOH Pada Karbon Aktif Tempurung Kelapa Untuk Adsorpsi Logam Cu*. Jurnal Universitas Negeri Jakarta.
- Feng Yan, Kaimin Li, Sicong Tian, Jianguo Jiang, Jiaming Wang, Xuejing Chen. (2015). *Pine Cone Shells-Based Activated Carbon Used for CO₂ Adsorption*. Journal of Materials Chemistry A: Tsinghua University, China.
- Gilar S. Pambayun, Remigius Y.E. Yulianto, M. Rachimoellah, Endah M.M. Putri. (2013). *Pembuatan Karbon Aktif Dari Arang Tempurung Kelapa Dengan Aktivator ZnCl₂ Dan Na₂CO₃ Sebagai Adsorben Untuk Mengurangi Kadar Fenol Dalam Air Limbah*. Jurnal Teknik Pomits Vol. 2, No. 1: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Jankowska, H., Swiatkowski A. & Choma, J. (1991). *Active Carbon*. AICHE Journal, vol 38 no 12.
- Kinoshita, K. (1988). *Carbon: Electrochemical and Physicochemical Properties*. New York: John Wiley & Sons.
- Lide, D. R., ed. (2005). *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (edisi ke-ke-86): 4-80. Boca Raton (FL): CRC Press.
- Linsley R.K, JB Franzini. (1989). *Teknik Sumberdaya Air*. Jakarta: Erlangga.
- Manullang, Stefani Agnessia., Subardi B. & Itnawita. (2013). *Potensi Arang Aktif Cangkang Bunga Pinus Sebagai Adsorben Ion Kadmium dan Timbal dengan Aktivator H₂SO₄ Dalam Larutan*. Jurnal Universitas Riau.
- Marsh, Harry., Reinoso, Francisco Rodríguez. (2006). *Activated Carbon*. New York: Elsevier Science.
- Rohmah, Miftakhul P. & Redjeki, Athiek Sri. (2014). *Pengaruh Waktu Karbonisasi pada Pembuatan Karbon aktif Berbahan Baku Sekam Padi dengan Aktivator KOH*. Konversi Vol. 3: Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Rumidatul A. (2006). *Efektivitas Arang Aktif sebagai Adsorben pada Pengolahan Air Limbah*. Sekolah Pascasarjana Institute Pertanian Bogor.
- Said, Nusa Idaman. (2017). *Teknologi Pengolahan Air Limbah: Teori dan Aplikasi*. Jakarta: Erlangga.
- Siong, Y. K., J. Idris, M. Mazar Atabaki. (2013). *Performance of Activated Carbon in Water Filters*. Environmental System Research Journal.
- Soemarwoto, Otto. (1984). *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri*. Jakarta: Rajawali.

Sudarmaji, J. Mukono & Corie, I.P. (2006). *Toksikologi Logam Berat B3 dan Dampaknya Terhadap Kesehatan*. Jurnal Kesehatan Lingkungan, Vol. 2, No. 2, Januari 2006:129-142.

Sugiharto. (1987). *Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta: UI-Press.

Suharto, Ign. (2011). *Limbah Kimia dalam Pencemaran Udara dan Air*. Yogyakarta: Andi.

