

**ADSORPSI ION KALSIMUM MENGGUNAKAN ADSORBEN KARBON
AKTIF DARI KULIT PISANG AMBON TERAKTIVASI H₂SO₄**

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



ATIKA BUDI DWI OKTAVIANI

NIM. 135061101111003

YUYUN DRUPADI ASTATI ASTI

NIM. 135061100111027

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2017



IDENTITAS PENGUJI

1. Dosen Penguji I

Nama : Ir. Bambang Ismuyanto, MS

NIP/NIK : 196005041986031003

Jenis Kelamin : Laki-laki

Golongan/Pangkat : IV b / Pembina Tk.1

Perguruan Tinggi : Universitas Brawijaya

Alamat Rumah : Jalan Cucak Rawun Raya 8B/20 Perum Sawojajar II
Malang

Telp/Faks. : (0341) 725210

Alamat e-mail : bambang_ismuyanto@yahoo.com

2. Dosen Penguji II

Nama : Ir. Bambang Poerwadi, MS.

NIP/NIK : 196001261986031001

Jenis Kelamin : Laki-laki

Golongan/Pangkat : IV b / Pembina Tk. 1

Perguruan Tinggi : Universitas Brawijaya

Alamat Rumah : Jalan Pelabuhan Tanjung Priok 1015, Malang

Telp/Faks. : (0341) 803241 / 08125229840

Alamat e-mail : bpoerwadiub@gmail.com

3. Dosen Penguji III

Nama : Rama Oktavian, ST., MT

NIP/NIK : 198610212014041001

Jenis Kelamin : Laki-laki

Golongan/Pangkat : III b / Penata Muda Tk.1

Perguruan Tinggi : Universitas Brawijaya

Alamat Rumah : Kapasari Pedukuhan 11 No. 46A, Surabaya

Alamat e-mail : oktavian.rama2@gmail.com

LEMBAR PENGESAHAN

**ADSORPSI ION KALSIMUM MENGGUNAKAN ADSORBEN KARBON AKTIF
DARI KULIT PISANG AMBON TERAKTIVASI H₂SO₄**

SKRIPSI

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

ATIKA BUDI DWI OKTAVIANI


NIM. 135061101111003

YUYUN DRUPADI ASTATI ASTI


NIM. 135061100111027

**Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
Pada tanggal 10 Agustus 2017**

Dosen Pembimbing I


Ir. Bambang Ismuyanto, MS
NIP. 1960050 4198603 1 003

Dosen Pembimbing II


A.S Dwi Sapti Nur Hidayati, ST., MT
NIK. 201201 830827 2 001


Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Kimia
Ir. Bambang Poerwadi, MS
NIP. 1960012 6198603 1 001

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb.,

Alhamdulillah, Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala karunianya sehingga kami dapat menyelesaikan skripsi dengan judul *Adsorpsi Ion Kalsium Menggunakan Adsorben Karbon Aktif dari Kulit Pisang Ambon Teraktivasi H₂SO₄*.

Skripsi merupakan salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia Universitas Brawijaya. Kami mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu kami sehingga dapat skripsi ini. Secara khusus kami mengucapkan terimakasih kepada :

1. Orang tua, kakak-kakak, dan adik-adik kami atas semua dukungan dan doa selama ini.
2. Bapak Ir. Bambang Poerwadi, MS selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia FT-UB.
3. Bapak Ir. Bambang Ismuyanto, MS selaku Dosen Pembimbing I atas bantuan dan sarannya dalam mengerjakan skripsi ini.
4. Ibu A.S Dwi Saptati Nur Hidayati ST., MT selaku Dosen Pembimbing II atas bantuan dan sarannya dalam mengerjakan skripsi ini.
5. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Kimia FT-UB yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.
6. Karyawan dan staff Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang turut membantu.
7. Karyawan dan staff Universitas Negeri Malang yang turut membantu.
8. Teman-teman yang sudah ikut membantu dan mendukung dalam bentuk apapun selama pengerjaan skripsi ini.

Dengan menyadari atas segala keterbatasan ilmu yang kami miliki, skripsi ini tentu masih sangat jauh dari sempurna. Untuk itu kami mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Malang, Juni 2017

Penyusun

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran saya dari berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. 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 jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 11 Agustus 2017
Mahasiswa I,



Atika Budi Dwi Oktaviani
135061101111003

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran saya dari berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam naskah skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. 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 jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 11 Agustus 2017
Mahasiswa 2,



Yuyun Drupadi Astat Asti
135061100111027

LAMPIRAN 8

RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Atika Budi Dwi Oktaviani
 Nama Panggilan : Tika
 Jenis Kelamin : Perempuan
 Tempat Tanggal Lahir : Bontang, 01 Oktober 1994
 Golongan darah : A
 Alamat : Jalan Menjangan LL No. 28 BTN-PKT, Bontang, Kalimantan Timur
 Status Pernikahan : Belum menikah
 Agama : Islam
 No. Telpon/HP : +62 82141808279
 Alamat email : aboktaviani@gmail.com
 Pendidikan Terakhir : SMA (Sekolah Menengah Atas)
 Status : Pelajar Mahasiswa Bekerja
 Nama Lembaga : Universitas Brawijaya
 Alamat Lembaga : Jl. Veteran, Kota Malang Jawa Timur 65145
 No. Telpon Lembaga : (0341) 551611
 Hobi : Traveling, berenang, membaca
 Talenta : Menggambar



RIWAYAT PENDIDIKAN

No	Instansi Pendidikan	Tahun
1	S1 Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang	2013 – sekarang
2	SMA Yayasan Pupuk Kaltim	2010 – 2013
3	SMP Yayasan Pupuk Kaltim	2007 – 2010
4	SD 2 Yayasan Pupuk Kaltim	2001 – 2007

PENGALAMAN ORGANISASI

No.	Nama Organisasi	Jabatan	Periode
1.	Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia, Fakultas Teknik – Universitas Brawijaya	Staff Humas, Infokom, dan Kebijakan Publik	2015 - 2016
2.	Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia, Fakultas Teknik – Universitas Brawijaya	Staff Humas dan Infokom	2016 - 2017

PENGALAMAN KEPANTIAAN

No.	Kepantiaan	Status / Jabatan	Tahun
1.	Teknik In Show 2014	Staff Bidang PDD	2014
2.	Program Pembinaan Teknik Kimia FT-UB	Staff Bidang Acara	2014
3.	I-Challenge Teknik Kimia FT-UB	Staff Bidang PDD	2014
4.	Kongres Mahasiswa Teknik Kimia FT-UB	Ketua Bidang Konsumsi	2014
5.	Kemah Kerja Mahasiswa FT-UB	Staff Bidang Acara	2015
6.	Teknik In Show 2015	Staff Bidang Humas	2015
7.	I-Challenge Teknik Kimia FT-UB (Indonesian Chemical Engineering Event) Teknik Kimia FT-UB	Staff Bidang Dana Usaha	2015
8.	Program Pembinaan Teknik Kimia FT-UB	Staff Bidang Acara	2015
9.	Kongres Mahasiswa Teknik Kimia FT-UB	Staff Bidang Konsumsi	2015

SEMINAR DAN WORKSHOP

No	Judul Seminar	Penyelenggara	Tahun
1.	Sarasehan dan Kuliah Tamu "Rekayasa Sumber Daya Alam Sebagai Sumber Energi"	PSTK FT – UB	2013
2.	Lokakarya Pengenalan Dunia Industri sebagai Gambaran Praktek Kerja Lapang bagi	Teknik Kimia – FT UB	2014

	Mahasiswa : Oleh PT. Semen Indonesia, PT. Cheil Jedang, PT. Sasa Inti dan PG. Krebet Baru		
3.	Kuliah Tamu Material Energitika	PSTK FT – UB	2014
4.	Kuliah Tamu “Kesehatan dan Keselamatan Kerja di Industri”	Teknik Kimia – FT UB	2014

PENGALAMAN KERJA

No.	Program	Tempat	Bagian	Tahun
1.	Kuliah Kerja Nyata Praktik (KKNP)	PT Pupuk Kalimantan Timur	Unit Pabrik-1A	2016

PROGRAM PENGABDIAN MASYARAKAT

No.	Program	Lembaga	Tempat	Tahun
1.	Kemah Kerja Mahasiswa XXXVI FT - UB	Fakultas Teknik – UB	Wagir, Malang	2014

SERTIFIKASI/PELATIHAN YANG PERNAH DIIKUTI

No.	Nama Sertifikasi/Pelatihan	Lembaga	Tahun
1.	Software Training: Aspen HYSYS for Professional Engineering	Prosims	2017
2.	TOEFL ITP	UB – ETS	2017
3.	<i>Microsoft Office Desktop Application</i>	UB – Trust Training Partners	2017

BAHASA YANG DIKUASAI

No.	Bahasa	Aktif/Pasif
1.	Bahasa Indonesia	Aktif
2.	Bahasa Inggris	Aktif
3.	Bahasa Jepang	Pasif

SOFTWARE YANG DIKUASAI

No	Nama Software	Versi
1	Microsoft Office	2010
2	Corel Draw	X5
3	Aspen Hysys	7.3

LAMPIRAN 9
RIWAYAT HIDUP

DATA PRIBADI

Nama Lengkap : Yuyun Drupadi Astaty Asti
 Nama Panggilan : Asti
 Jenis Kelamin : Perempuan
 Tempat Tanggal Lahir : Tulungagung, 14 Februari 1995
 Golongan darah : B
 Alamat : Perumahan Grand Soetomo D-18, Gresik, J
 Status Pernikahan : Belum menikah
 Agama : Islam
 No. Telpon/HP : +62 8315788111
 Alamat email : astyaa@rocketmail.com
 Pendidikan Terakhir : SMA (Sekolah Menengah Atas)
 Status : Pelajar Mahasiswa Bekerja
 Nama Lembaga : Universitas Brawijaya
 Alamat Lembaga : Jl. Veteran, Kota Malang Jawa Timur 65145
 No. Telpon Lembaga : (0341) 551611
 Hobi : Traveling, kuliner
 Talenta : Menyanyi, menulis



RIWAYAT PENDIDIKAN

No	Jenjang Pendidikan	Instansi Pendidikan	Tahun
1.	SD	SD N Kutorejo 1, Tuban	2002 – 2008
2.	SMP	SMP N 1 Tuban, Jawa Timur	2008 – 2011
3.	SMA	SMA N 1 Manyar, Gresik	2011 – 2013
4.	Perguruan Tinggi	Teknik Kimia – Universitas Brawijaya	2013 – sekarang

PENGALAMAN KEPANTIAAN

No.	Nama Kegiatan	Jabatan	Tahun
1.	Program Pembinaan Mahasiswa Baru 2014 (SINTESIS) Teknik Kimia, FT – UB	Staff Keplek	2014



2.	Studi Eksekursi III Teknik Kimia, FT – UB	Staff Transkoper	2015
3.	I-Challenge 2014 Teknik Kimia, FT – UB	Staff Konsumsi	2015

SEMINAR DAN WORKSHOP

No.	Judul Seminar	Penyelenggara	Tahun
1.	Sarasehan dan Kuliah Tamu "Rekayasa Sumber Daya Alam Sebagai Sumber Energi"	PSTK FT – UB	2013
2.	Kuliah Tamu Material Energitika	Teknik Kimia – FT UB	2014
3.	Lokakarya Pengenalan Dunia Industri sebagai Gambaran Praktek Kerja Lapang bagi Mahasiswa : Oleh PT. Semen Indonesia, PT. Cheil Jedang, PT. Sasa Inti dan PG. Kreet Baru	Teknik Kimia – FT UB	2014
4.	I-Challenge 2014 "Optimization of Youth Creativity in Technological Innovation for Indonesia"	Teknik Kimia – FT UB	2014
5.	Kuliah Tamu "Kesehatan dan Keselamatan Kerja di Industri"	Teknik Kimia – FT UB	2014
6.	Seminar Nasional Energy Day 2016 "Sustainable and Resilient Energy for Indonesia"	Fakultas Teknik – UB	2016

PENGALAMAN KERJA

No.	Program	Tempat	Bagian	Tahun
1.	Kuliah Kerja Nyata Praktik (KKNP)	PT Pertamina Balongan, Jawa Barat	Process Engineering	2016

PRESTASI DAN PENGHARGAAN

No.	Nama Lomba	Prestasi/Penghargaan	Tahun
1.	World Invention Creativity Contest (WICC Seoul, South Korea)	Gold Medal	2016
2.	Intellectual Property Network Forum Japan (IIPNF)	Special award on WICC	2016
3.	Asian Young Inventors Exhibition (AYIA Kuala Lumpur, Malaysia)	Bronze Medal	2016
4.	International Young Inventors Award (IYIA Surabaya, Indonesia)	Gold Medal	2016

SERTIFIKASI/PELATIHAN YANG PERNAH DIKUTI

No.	Nama Sertifikasi/Pelatihan	Lembaga	Tahun
1.	Awareness Training: OHSAS 18001: 2007 – Occupational Health & Safety Management System	Bina Profesi Institute	2015
2.	Awareness Training: ISO 9001:2008 – Quality Management System	Bina Profesi Institute	2015
3.	Awareness Training: ISO 14001: 2004 – Environmental Management System	Bina Profesi Institute	2015
4.	Software Training: Aspen HYSYS for Professional Engineering	Cognoscente	2016
5.	TOEFL ITP	UB – ETS	2016
6.	<i>Microsoft Office Desktop Application</i>	UB – Trust Training Partners	2017

PROGRAM PENGABDIAN MASYARAKAT

No.	Program	Lembaga	Tempat	Tahun
1.	Kemah Kerja Mahasiswa XXXVI FT - UB	Fakultas Teknik – UB	Wagir, Malang	2014

BAHASA YANG DIKUASAI

No.	Bahasa	Aktif/Pasif
1.	Bahasa Indonesia	Aktif
2.	Bahasa Inggris	Aktif
3.	Bahasa Jepang	Pasif

SOFTWARE YANG DIKUASAI

No	Nama Software	Versi
1	Microsoft Office	2010
2	Aspen Hysys	7.3
3	Corel draw	X5





Teriring Puji Syukur dan Ucapan Terimakasih kepada:
Allah SWT, Rasul-Nya, Ayahanda dan Ibunda Tercinta

RINGKASAN

ATIKA BUDI DWI OKTAVIANI dan YUYUN DRUPADI ASTATI ASTI, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Desember 2016, *Adsorpsi Ion Kalsium Menggunakan Adsorben Karbon Aktif dari Kulit Pisang Ambon Teraktivasi H_2SO_4* , Dosen Pembimbing: Bambang Ismuyanto dan A.S Dwi Saptati Nur Hidayati.

Kalsium merupakan salah satu logam yang harus diperhatikan dalam persyaratan kualitas air bersih. Kandungan ion kalsium dalam air dibatasi karena dapat menimbulkan permasalahan dalam penggunaan sektor industri maupun rumah tangga, seperti menimbulkan kerak pada peralatan industri dan penyakit bila digunakan sebagai air konsumsi. Oleh karena itu diperlukan suatu upaya untuk meminimalisir atau menghilangkan kandungan ion kalsium dalam air menggunakan metode yang efisien.

Pada penelitian ini dilakukan proses penghilangan ion kalsium dalam air dengan menggunakan metode adsorpsi. Proses adsorpsi merupakan metode yang cukup efisien karena bahan baku yang mudah diperoleh dan mudah dalam penggunaannya. Bahan baku yang digunakan sebagai adsorben dalam metode adsorpsi ini adalah kulit pisang ambon yang kemudian dikarbonisasi pada suhu $600^{\circ}C$ dan diaktivasi menggunakan H_2SO_4 2 M. Setelah itu dilakukan uji terhadap kapasitas adsorpsi, dimana proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa hal seperti pH adsorpsi dan konsentrasi awal ion kalsium saat proses adsorpsi. pH yang digunakan pada penelitian ini divariasikan pada pH 5, 7, dan 10. Sedangkan konsentrasi awal ion kalsium saat proses adsorpsi divariasikan pada konsentrasi 152,3 ppm, 208,5 ppm, 249,4 ppm, 305,6 ppm, dan 347,2 ppm. Persamaan yang digunakan untuk mengetahui kapasitas adsorpsi maksimum pada penelitian ini adalah adsorpsi isoterm Langmuir dan Freundlich.

Hasil percobaan menunjukkan pH optimum pada proses adsorpsi adalah 7 dan kapasitas adsorpsi ion kalsium terbesar adalah pada konsentrasi awal 347,19 ppm yaitu 11,386 mg/gr adsorben. Proses penyerapan pada penelitian ini lebih mengikuti persamaan isoterm Langmuir dengan nilai R^2 adalah 0,9776.

Kata Kunci : Adsorpsi, Isotherm Langmuir, Isotherm Freundlich, Ion Kalsium, Karbon aktif

SUMMARY

ATIKA BUDI DWI OKTAVIANI dan YUYUN DRUPADI ASTATI ASTI, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, Desember 2016, *Adsorption of Ion Calcium Using Activated Carbon from Peel of Ambon Banana with H₂SO₄*, Academic Supervisor: Bambang Ismuyanto dan A.S Dwi Saptati Nur Hidayati.

Calcium is one of metals that must be considered in the requirements of water quality. The content of calcium ions in the water must be limited because it can cause problems in industrial and household sectors, such as causing crust on industrial equipment and diseases when used as a water consumption. Therefore we need an effort to minimize or eliminate the calcium ion content in water using an efficient method.

In this research, the process of removing calcium ion in water using adsorption method. The adsorption process is a fairly efficient method because the raw materials are easy to obtain and easy to use. The raw material used as adsorbent in this adsorption method is peel of ambon banana which then carbonized at temperature 600 °C and activated using H₂SO₄ 2 M. Then measuring of adsorption capacity, where the adsorption process is influenced by pH adsorption and initial concentration of calcium ion during the adsorption process. The pH used in this study was varied at pH 5, 7, and 10. While the initial concentration of calcium ions during the adsorption process varied at concentrations of 152,3 ppm, 208,5 ppm, 249,4 ppm, 305,6 ppm, and 347,2 ppm. The equations used to determine the maximum adsorption capacity in this study are the adsorption of Langmuir and Freundlich isotherms

The experimental results showed that the optimum pH of the adsorption process is 7 and the largest adsorption capacity of calcium ion at initial concentration of 347,19 ppm is 11.386 mg/g adsorbent. The process of adsorption in this study is follow to Langmuir's isotherm equation with R² value is 0.9776.

Keywords: Adsorption, Ion Calcium, Freundlich Isotherms, Langmuir Isotherms, Activated Carbon

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Potongan model permukaan karbon aktif yang teroksidasi	10
Gambar 2.2 Mekanisme Adsorpsi	11
Gambar 3.1 Rangkaian Alat untuk Proses Karbonisasi	18
Gambar 3.2 Diagram Alir Persiapan Biomassa Kulit Pisang Kepok	19
Gambar 3.3 Diagram Alir Proses karbonisasi kulit pisang kepok	20
Gambar 3.4 Diagram Alir Proses Aktivasi Karbon	20
Gambar 3.5 Diagram Alir Pembuatan Larutan Induk Kalsium 1000 ppm	21
Gambar 3.6 Diagram Alir Pengujian Proses Adsorpsi Ion Kalsium	21
Gambar 3.7 Diagram Alir Proses Pembuatan Larutan $\text{Na}_2\text{EDTA} \pm 0,01 \text{ M}$	22
Gambar 3.8 Diagram Alir Proses Adsorpsi dan Pengukuran Menggunakan Titrimetri EDTA	22
Gambar 4.1 Hasil analisa FT-IR Karbon Kulit Pisang Ambon Sebelum dan Sesudah Diaktivasi	25
Gambar 4.2 Pengaruh Waktu Kontak Pada Adsorpsi Ion Kalsium	27
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Konsentrasi Kalsium 208,528 ppm dengan Waktu Adsorpsi dalam Variasi pH	28
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Ion Kalsium terhadap Waktu Adsorpsi dalam Variasi Konsentrasi Ion Kalsium Awal	30
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Konsentrasi Ion Kalsium terhadap Kapasitas Adsorpsi	30
Gambar 4.6 Grafik Linier Log Q_e vs Log C_e Menurut Isoterm Freundlich	31
Gambar 4.7 Grafik Linear $1/Q_e$ vs $1/C_e$ Menurut Isoterm Langmuir	32

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR SIMBOL	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Pembatasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kulit Pisang Ambon	5
2.2 Kesadahan air	6
2.3 Karbon Aktif	7
2.3.1 Proses Pembuatan Karbon Aktif	8
2.3.2 Aktivasi	9
2.4 Adsorpsi	10
2.4.1 Jenis Adsorpsi	11
2.4.1.1 Adsorpsi Fisika	11
2.4.1.2 Adsorpsi Kimia	12
2.4.3 Faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi pada permukaan zat padat	12
2.5 Adsorpsi Isothermal	13
2.5.1 Isotherm Freundlich	13
2.5.2 Isoterm Langmuir	14
2.6 Penelitian Terdahulu	15
BAB III METODE PENELITIAN	17
3.1 Jenis Penelitian	17
3.2 Tempat Penelitian	17

3.3	Variabel Penelitian	17
3.4	Alat dan Bahan Penelitian	17
3.4.1	Bahan Penelitian	17
3.4.2	Alat Penelitian	18
3.5	Rangkaian Alat	18
3.6	Tahapan Penelitian	19
3.7	Analisa	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		25
4.1	Karakterisasi Karbon Kulit Pisang Ambon dan Karbon Aktif Kulit Pisang Ambon Menggunakan Metode <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy</i> (FT-IR)	25
4.2	Pengaruh Waktu Kontak pada Adsorpsi Ion Kalsium (Ca^{2+}) Menggunakan Karbon Aktif Kulit Pisang Ambon	26
4.3	Pengaruh Variasi pH pada Adsorpsi Ion Kalsium (Ca^{2+}) Menggunakan Karbon Aktif Kulit Pisang Ambon	27
4.4	Pengaruh Variasi Konsentrasi Awal Larutan Kalsium pada Adsorpsi Ion Kalsium (Ca^{2+}) Menggunakan Karbon Aktif Kulit Pisang Ambon	29
4.5	Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif Kulit Pisang Ambon Terhadap Ion Kalsium	31
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		33
5.1	Kesimpulan	33
5.2	Saran	33
DAFTAR PUSTAKA		35
LAMPIRAN		39



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi kulit pisang 5

Tabel 2.2 Komposisi karbohidrat pada kulit pisang 6

Tabel 2.3 Syarat mutu arang aktif teknik 8

Tabel 2.4 Klasifikasi pori berdasarkan diameter 9

Tabel 2.5 Penelitian terdahulu 15

Tabel 4.1 Gugus Fungsi Karbon Kulit Pisang Ambon dan Karbon Aktif 26

Tabel 4.2 Parameter isotherm Freundlich dan Langmuir 32



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kesadahan air merupakan salah satu parameter yang harus dipenuhi sebagai persyaratan kualitas air, dimana kesadahan air merupakan air yang mengandung unsur kalsium dan magnesium. Air sadah ini sangat dihindari baik untuk penggunaan rumah tangga ataupun dalam industri. Dalam penggunaan industri, unsur kalsium menyebabkan kerak yang dihasilkan dari terdekomposisinya garam mineral yaitu kalsium pada dinding peralatan sistem pemanasan dan menghambat proses pemanasan. Oleh karena itu, persyaratan kesadahan harus sangat diperhatikan dalam industri maupun rumah tangga. Umumnya, jumlah kesadahan dalam air industri harus nol, dimana unsur kalsium harus dihilangkan. Masalah air sadah ini banyak ditemukan pada daerah yang tanahnya banyak mengandung kapur (Said, 2015).

Beberapa proses pengambilan logam yang umumnya dilakukan adalah metode presipitasi menggunakan bahan kimia, resin penukar ion, dan adsorpsi. Pada metode presipitasi menggunakan bahan kimia memiliki kelemahan dimana penggunaan bahan kimia dalam air khususnya untuk air minum dibatasi. Sedangkan metode resin penukar ion umumnya memerlukan biaya tinggi (Sivasankar, 2008). Alternatif lain dalam pengolahan limbah yang mengandung logam adalah menggunakan proses adsorpsi. Saat ini proses adsorpsi telah berkembang dimana bahan baku yang digunakan dapat berupa biomassa atau lebih dikenal dengan biosorpsi. Biomassa yang digunakan sebagai adsorben biasanya berasal dari limbah-limbah produk pertanian. Proses ini memiliki beberapa keuntungan yaitu biaya yang dibutuhkan relatif lebih murah, bahan baku yang mudah diperoleh, dan kemudahan dalam proses aplikasinya (Kurniasari, 2012). Pemanfaatan limbah pertanian sebagai bahan baku pembuatan biosorben dapat mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan serta dapat menambah nilai jual limbah tersebut. Oleh karena itu, biomassa ini memiliki potensi yang cukup besar bila digunakan sebagai bahan baku biosorben ion logam (Kurniasari, 2012).

Salah satu limbah yang dapat digunakan untuk bahan baku pembuatan adsorben ini adalah kulit pisang. Kulit pisang mempunyai gugus fungsi yang dapat berperan sebagai pengikatan ion logam berat, yaitu seperti gugus hidroksil, gugus amina, dan asam karboksilat (Suhartini, 2013). Berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Sikanna (2016),

ion kalsium dapat diadsorpsi menggunakan kulit pisang kepek yang diaktivasi menggunakan H_2SO_4 3 M. Selain itu menurut Chairul (2015), karbon aktif dari kulit pisang kepek yang teraktivasi oleh H_2SO_4 dapat digunakan untuk adsorpsi ion Fe dan Mn dalam air sumur kota.

Menyadari akan potensi yang dimiliki kulit pisang sebagai adsorben, maka dilakukan pengembangan penelitian lebih lanjut mengenai pemanfaatan kulit pisang sebagai adsorben dalam menurunkan kesadahan air khususnya ion kalsium (Ca^{2+}). Dalam penelitian ini, kulit pisang yang digunakan sebagai adsorben adalah kulit pisang ambon dan aktivator adsorben berupa asam sulfat (H_2SO_4).

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi pH asam, netral, dan basa serta konsentrasi awal larutan ion kalsium saat proses adsorpsi?
2. Bagaimana kapasitas adsorpsi ion kalsium menggunakan karbon aktif kulit pisang ambon berdasarkan pendekatan adsorpsi isotermal Langmuir dan Freundlich?

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam Percobaan ini, untuk memfokuskan penelitian maka diberikan batasan sebagai berikut:

1. Kulit pisang ambon yang digunakan berasal dari Malang, Jawa Timur.
2. Aktivasi adsorben karbon aktif dari kulit pisang ambon dilakukan menggunakan H_2SO_4 2 M.
3. Penelitian ini hanya menguji kadar kalsium yang terdapat dalam larutan.
4. Larutan uji yaitu larutan CaCl_2 *proanalysis* yang divariasikan pada 152,3 ppm, 208,5 ppm, 249,4 ppm, 305,6 ppm, dan 347,2 ppm.
5. Variasi pH yang digunakan dalam proses adsorpsi adalah 5, 7, dan 10.

1.4 Tujuan

1. Mengetahui pengaruh variasi pH asam, netral, dan basa serta konsentrasi awal larutan ion kalsium saat proses adsorpsi.
2. Mengetahui kapasitas adsorpsi ion kalsium menggunakan karbon aktif kulit pisang ambon berdasarkan pendekatan adsorpsi isotermal Langmuir dan Freundlich.



1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah diperolehnya adsorben ion kalsium yang dikembangkan dari kulit pisang ambon.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kulit Pisang Ambon

Tanaman pisang merupakan tanaman yang banyak ditemui pada kawasan Asia Tenggara, termasuk Indonesia. Indonesia merupakan negara yang menghasilkan pisang terbanyak, dimana menduduki peringkat nomer empat di dunia (Satuhu, et al., 2001).

Tabel 2.1 Komposisi Kulit Pisang

No	Sumber Karbon	Konsentrasi (%)
1.	Kelembaban	78,90
2.	Abu	8,50
3.	Zat organik	91,50
4.	Protein	8,10
5.	<i>Crude lipid</i>	12,10
6.	Karbohidrat	59,00
7.	<i>Crude fiber</i>	8,20
8.	Zat Kering	14,08
9.	Hidrogen sianida	1,33
10.	Oksalat	0,51
11.	<i>Phytate</i>	0,28
12.	Saponin	24,00

Sumber: Jamal, 2012

Biosorpsi merupakan proses adsorpsi yang menggunakan bahan baku dari biomassa. Biomassa yang digunakan biasanya berasal dari limbah pertanian atau perkebunan yang kurang dimanfaatkan, salah satunya adalah kulit pisang. Pada kulit pisang diketahui terdapat beberapa gugus fungsi yang dapat berperan sebagai adsorben yaitu gugus hidroksil (-OH), amin (-NH₂), dan karboksilat (-COOH). Kemudian adsorben ini akan mengalami tahap aktivasi untuk mendapatkan kemampuan adsorpsi yang maksimum. Menurut Gupta (1998) dalam Antintia (2014), aktivasi adsorben dengan asam paling umum terbukti sangat efektif dalam meningkatkan kapasitas efisiensi dari adsorben.

Pisang merupakan salah satu buah yang banyak dikonsumsi oleh orang-orang di Indonesia. Saat ini, kulit, batang, dan daun dari pisang (80%) dibuang tanpa proses pengolahan lebih lanjut (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 2013 dalam Hariani 2016).

Menurut Widjajanti (2013), terdapat cukup besar kandungan pectin dan selulosa dalam kulit pisang. Rumus empiris selulosa adalah (C₆H₁₀O₅)_n. Selulosa memiliki permukaan yang seragam dan membentuk lapisan struktur pori seperti serat (*fiber*). Pori-pori padatan memiliki kemampuan sebagai adsorben yang dapat digunakan sebagai penyerap polutan atau zat pengotor di lingkungan (Wilbrahan and Michael, 1992 dalam Hariani, 2013).

Tabel 2.2 Komposisi karbohidrat pada kulit pisang

No	Sumber Karbon	Konsentrasi
1.	Glukosa	2,4 nmol L ⁻¹
2.	Fruktosa	6,2 nmol L ⁻¹
3.	Sukrosa	2,6 nmol L ⁻¹
4.	Maltosa	0 nmol L ⁻¹
5.	Pati	1,2 nmol L ⁻¹
6.	Selulosa	8,4 nmol L ⁻¹
7.	Total gula	29 nmol L ⁻¹
8.	Lignin	6-12 %
9.	Pektin	10-21 %
10.	Hemiselulosa	6,4-9,4 %

Sumber: Debandya et al, 2010

2.2 Kesadahan air

Air dikatakan sebagai sadah ketika air tidak atau hanya sedikit menghasilkan busa saat dikontakkan dengan sabun. Kesadahan dalam air merupakan adanya garam-garam yang terlarut seperti kalsium, magnesium, dan beberapa logam berat seperti strontium dan besi. Ion-ion logam ini membentuk endapan yang tidak larut dengan komponen asam lemak sabun (garam natrium asam-asam lemak, seperti stearic, palamitic, asam oleic, dan lain-lain). Air sadah membutuhkan jumlah sabun yang lebih banyak untuk menghasilkan jumlah busa yang sama jika dibandingkan dengan air lunak (Sivasankar, 2008).

Kesadahan umumnya dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu (i) kesadahan sementara atau yang biasa disebut dengan kesadahan karbonat dan (ii) kesadahan permanen atau kesadahan non-karbonat. Jumlah dari kesadahan sementara dan kesadahan permanen disebut dengan kesadahan total. Kesadahan sementara terjadi dimana terdapat garam-garam kalsium dan magnesium bikarbonat. Garam-garam ini terdekomposisi membentuk kalsium karbonat dan magnesium hidroksida yang larut dengan memanaskan air dan kemudian disaring untuk menghilangkan kesadahan sementara tersebut (Sivasankar, 2008). Pada kesadahan permanen terdapat sulfida dan klorida dari kalsium dan magnesium dan terdapat sedikit besi dan logam berat lainnya (Sivasankar, 2008).



Air sadah memiliki beberapa kerugian baik untuk kebutuhan domestik maupun kebutuhan industri. Air sadah yang digunakan untuk domestik atau air rumah tangga dapat menyebabkan gangguan penyakit ginjal (kalsium oksalat). Memasak dengan air sadah dapat mengendapkan garam-garam saat proses pemanasan makanan. Mandi dan mencuci

dengan menggunakan air sadah membutuhkan sabun yang lebih banyak untuk menghasilkan sabun. Air sadah dalam industri tidak dapat digunakan sebagai air proses dalam berbagai industri seperti obat-obatan, bahan-bahan kimia, gula, kertas, dan lain-lain. Air sadah tidak dapat digunakan sebagai penghasil uap dalam boiler karena dapat menimbulkan masalah serius yang mengarah pada peledakan boiler (Sivasankar, 2008).

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui kesadahan dalam air adalah metode titrimetri. Berdasarkan SNI 06-6989.12-2004, metode titrimetri memiliki prinsip dimana garam Dinatrium Etilen Tetra Asetat (EDTA) akan bereaksi dengan kation logam tertentu sehingga dapat membentuk senyawa kompleks kelat yang larut. Ion-ion kalsium dan magnesium dalam larutan uji akan bereaksi dengan indikator Eriochrome Black T (EBT) pada pH 10 ± 0.1 , dan larutan akan membentuk warna merah keunguan. Ion-ion kalsium dan magnesium akan membentuk senyawa kompleks saat Na_2EDTA ditambahkan ke dalam larutan, kemudian molekul indikator terlepas kembali, dan akan terjadi perubahan warna dari merah keunguan menjadi biru pada titik akhir titrasi larutan. Dari cara ini dapat diperoleh kesadahan total (kalsium + magnesium).

Selain itu kalsium juga dapat dihitung secara langsung dengan menaikkan konsentrasi kalsium, sehingga magnesium akan mengendap sebagai magnesium hidroksida ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) dan pada titik akhir titrasi indikator Eriochrome Black T (EBT) hanya akan bereaksi dengan kalsium membentuk larutan yang berwarna biru. Kemudian akan diperoleh kadar kalsium dalam air. Kadar kalsium dalam air dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (SNI 06-6989.12-2004):

$$\text{Kadar kalsium} \left(\text{mg} \frac{\text{Ca}}{\text{L}} \right) = \frac{1000}{V_{C.u}} \times V_{EDTA} \times M_{EDTA} \times 40 \quad (2.1)$$

Dimana : $V_{C.u}$ = Volume contoh uji (ml)

V_{EDTA} = Volume rata-rata larutan baku Na_2EDTA untuk titrasi kalsium (ml)

M_{EDTA} = Molaritas larutan baku Na_2EDTA untuk titrasi (mmol/ml)

2.3 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan material amorphous yang mengandung karbon yang mempunyai derajat porositas yang tinggi dan luas permukaan yang besar. Hal ini diperoleh dengan pembakaran, pembakaran parsial, atau dekomposisi thermal berbagai zat yang

mengandung karbon. Karbon aktif dapat digunakan untuk menghilangkan pengotor organik dan inorganik dari air buangan industri dan domestik (Bansal, 2005).

Karbon merupakan senyawa dengan kandungan terbanyak dalam karbon aktif yaitu 85 hingga 90%. Selain itu, karbon aktif mengandung elemen lain seperti hidrogen, nitrogen, sulfur, dan oksigen. Heteroatom ini diperoleh dari sumber bahan baku atau tergabung dengan karbon selama aktivasi dan prosedur pembuatan lainnya. Komposisi elemental jenis karbon aktif adalah 88% C, 0.5% H, 0.5% N, 1% S, dan 6 hingga 7% O, dengan abu. Adsorben karbon aktif yang secara luas digunakan memiliki luas permukaan spesifik 800 hingga 1500 m²/g dan volume pori 0.2 hingga 0.60 cm³/g. Luas permukaan dalam karbon aktif umumnya mikropori yang memiliki diameter efektif lebih kecil dari 2 nm (Bansal, 2005).

Tabel 2.3 Syarat Mutu Arang Aktif Teknik (SNI) No. 06-3730-1995

No.	Uraian	Satuan	Persyaratan	
			Butiran	Serbuk
1	Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C	%	Maks 15	Maks 25
2	Air	%	Maks 4,4	Maks 15
3	Abu	%	Maks 2,5	Maks 10
4	Daya jerap I ₂	mg/g	Min. 750	Min. 750
5	Karbon aktif murni	%	Min. 80	Min. 65

Sumber: LIPI (2005)

2.3.1 Proses Pembuatan Karbon Aktif

Karbon aktif dihasilkan dari material organik yang mengandung karbon, umumnya berasal dari kayu, serbuk gergaji, kulit kacang, gambut, lignin, batubara, kokas minyak bumi, dan lain-lain (Marsh, 2006). Pemilihan bahan baku dapat mempengaruhi struktur pori bagian dalam, distribusi area permukaan, dan reaksi kimia dipermukaan (Chowdhury, 2013).

Produksi karbon aktif komersial melalui dua tahap proses yaitu karbonisasi bahan *precursor* dan aktivasi. Pada proses karbonisasi, temperatur bahan baku ditingkatkan hingga mencapai kisaran temperatur 500 – 800°C dengan tidak adanya oksigen. Bahan organik *volatile* pada bahan baku akan terlepas karena peningkatan pada temperatur yang digunakan dan atom karbon kembali membentuk struktur kristal yang lebih banyak. Produk karbon aktif pada tahap ini sangat dipengaruhi oleh bahan baku yang digunakan (Chowdhury, 2013).

Tujuan utama dari karbonisasi biomassa adalah untuk mendapatkan *yield char* yang tinggi. Pirolisis biomassa dapat diasumsikan mengandung dekomposisi tiga konstituen

utama sekaligus seperti selulosa, lignin, dan hemiselulosa. Dekomposisi hemiselulosa terjadi antara 190 dan 320°C. Hemiselulosa merupakan konstituen yang kurang stabil dan sangat reaktif membentuk char dengan *yield* sekitar 30 wt%. Dekomposisi hemiselulosa terjadi pada suhu yang lebih rendah dibandingkan lignin dan selulosa. Dekomposisi selulosa dimulai pada suhu 280°C hingga sekitar 400°C. Proses thermal dekomposisi selulosa menghasilkan sejumlah besar *volatile* dan menyebabkan terbentuknya *yield char* yang rendah. Dekomposisi lignin terjadi pada suhu tertinggi berkisar antara 320 hingga 450°C. Umumnya lignin menghasilkan *yield char* yang paling tinggi yaitu 45 – 50 wt% (Brenes, 2006).

Tabel 2.4 Klasifikasi Pori Berdasarkan Diameter (Goel, 2015)

Klasifikasi (Jenis Pori)	Diameter Pori, (Å) (10^{-10} m)	Volume Pori (cm^3/g)	Luas Permukaan (m^2/g)
Mikropori	<20	0,15-0,5	10-1000
Mesopori	20-500	0,02-0,1	10-100
Makropori	>500	0,2-0,5	0,5-2

Aktivasi meningkatkan ukuran pori dan menghasilkan struktur pori lanjutan, dimana meningkatnya volume mikropori (luas pori < 2 nm) dan luas permukaan internal. Volume mesopori dan makropori (luas pori > 2 nm) sangat penting untuk transportasi internal senyawa ke luas permukaan mikropori, dimana terjadi sebagian besar proses adsorpsi. Klasifikasi pori berdasarkan diameter pori, volume pori, dan luas permukaan dapat disajikan pada tabel 2.3.

2.3.2 Aktivasi

Aktivasi bertujuan untuk menghasilkan luas permukaan karbon aktif yang lebih besar sehingga adsorpsi pada karbon aktif juga meningkat. Tahap aktivasi adalah perlakuan untuk memperluas permukaan yaitu dengan pemecahan pada ikatan hidrokarbon atau adanya oksidasi pada molekul permukaan sehingga karbon aktif mengalami perubahan fisik dan kimia (Fadilah, 2013). Selama proses aktivasi menyebabkan lepasnya hidrokarbon, tar, dan senyawa organik yang ada pada karbon. Proses aktivasi terdapat 2 jenis yaitu:

1. Aktivasi Fisika

Pada karbonisasi menggunakan gas inert yaitu nitrogen dengan suhu 400 sampai 950 °C untuk menghasilkan struktur karbon yang belum sempurna. Karbon yang diaktivasi menggunakan secara fisika adalah dengan menggunakan agen penggasifikasi atau gas pengoksidasi seperti uap air, air, oksigen/CO₂ pada suhu sekitar 800 - 1000°C. Pada suhu di

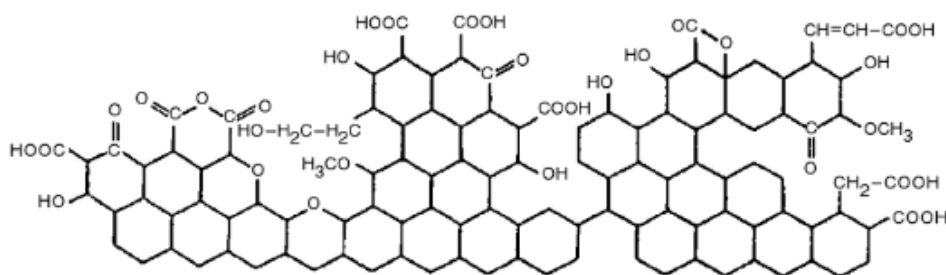
bawah 800 °C, proses aktivasi dengan gas pengoksidasi berlangsung lambat dan bila diatas 1000 °C, akan menyebabkan kerusakan struktur kisi-kisi heksagonal arang.

Faktor-faktor yang mempengaruhi karakteristik atau sifat dari karbon aktif yang dihasilkan melalui proses aktivasi fisika antara lain adalah bahan dasar, laju alir gas, suhu pada saat proses aktivasi, agen pengaktivasi yang digunakan, lama proses aktivasi. (Kirk, 1992). Pada aktivasi fisika memiliki kelebihan yaitu tidak diperlukan pencucian setelah aktivasi dan tidak menggunakan bahan yang korosif. Tetapi pada aktivasi fisika, reaksi yang terjadi susah untuk dikontrol dan aktivasi menggunakan suhu yang tinggi. Aktivasi kimia

2. Aktivasi kimia

Aktivasi kimia dilakukan untuk material yang mengandung selulosa dan tahapan yang terjadi adalah tahap karbonisasi kemudian tahap aktivasi. Zat kimia yang dapat mendehidrasi seperti $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCl_2 , HNO_3 , ZnCl_2 , H_2SO_4 (Kirk, 1992). Suhu yang digunakan pada aktivasi kimia lebih rendah daripada aktivasi fisika dan pengembangan struktur pori lebih bagus saat menggunakan aktivasi kimia (Ahmadpour, 1996).

Aktivasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan asam sulfat (H_2SO_4). Berdasarkan penelitian Yaumi (2015), agen pengaktivasi yang paling baik diperoleh saat menggunakan H_2SO_4 dan HCl daripada NaOH dan $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Hal ini dikarenakan H_2SO_4 dan HCl meningkatkan konsentrasi gugus oksigen permukaan yang dapat bereaksi dengan mudah dengan ion logam. Aktivasi dengan asam sulfat menyebabkan permukaan karbon aktif memiliki gugus oksigen yang berupa asam karboksilat, lakton, fenol, dan gugus laktol (Knappe, 2006). Gugus oksigen yang ada pada permukaan karbon aktif dapat dilihat pada gambar 2.1.

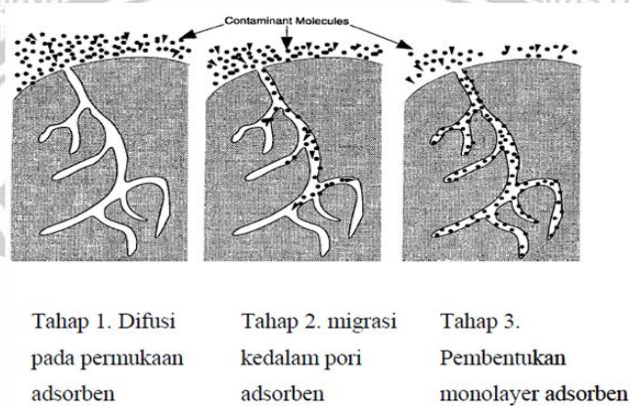


Gambar 2.1 Potongan model permukaan karbon aktif yang teroksidasi (Bansal, 2005)

2.4 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses pemisahan molekul cairan yang terdifusi pada permukaan padatan (adsorben) (McCabe, 1993). Menurut Giles dalam Osipow (1962), yang

mempengaruhi proses adsorpsi adalah gaya tarik Van Der Waals, pembentukan ikatan hidrogen, pertukaran ion dan pembentukan ikatan kovalen. Material yang terdapat pada permukaan adalah adsorbat dan komponen dimana adsorbat terakumulasi disebut adsorben (Humphrey, 1997). Adsorpsi merupakan hasil dari gaya tarik menarik atom atau molekul yang tidak seimbang. Proses adsorpsi terjadi dimana fluida menuju ke partikel dan substansi terlarut berdifusi menuju permukaan terluar partikel. Proses adsorpsi terjadi dimana fluida menuju ke partikel dan substansi terlarut berdifusi menuju permukaan terluar partikel (Hidayati, 2015). Substansi terlarut menempel pada permukaan pori dan berdifusi ke mikropori adsorben yang ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Mekanisme adsorpsi

2.4.1 Jenis Adsorpsi

2.4.1.1 Adsorpsi Fisika

Pada adsorpsi fisika, gaya tarik antara molekul di cairan dengan molekul pada permukaan padatan lebih besar daripada gaya tarik menarik sesama molekul fluida sendiri sehingga reaksi bersifat eksotermis (Seader, 2011). Adsorpsi Fisika terjadi secara cepat, tidak spesifik, *reversible*, dan gaya tarik van der Waals relatif lemah (Mahato, 2011).

Kesetimbangan adsorpsi fisika terjadi secara cepat karena tidak memerlukan energi aktivasi. Adsorbat tidak mengikat secara kuat dan keseluruhan sehingga adsorbat dapat berpindah dari suatu permukaan ke bagian lainnya (Lowell, 2004). Ikatan yang terbentuk dalam adsorpsi fisika dapat diputuskan dengan cara *degassing* atau pemanasan 150-200 °C selama 2-3 jam (Dutta, 2007).

2.4.1.2 Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia terjadi akibat ikatan kimia antara molekul adsorben dan adsorbat (Seader, 2011). Adsorpsi kimia bersifat *irreversible* dan adsorben berkontak dengan adsorbat dengan ikatan kovalen. Adsorpsi kimia bersifat spesifik, dan membutuhkan energi aktivasi sehingga proses berlangsung lambat dan hanya membentuk monolayer. Ikatan yang terbentuk kuat sehingga adsorbat tidak mudah berpindah dari satu permukaan ke permukaan lainnya.

Adsorpsi kimia diawali dengan adsorpsi fisika yaitu molekul menuju ke permukaan akibat adanya gaya Van der Waals, kemudian terikat pada permukaan dengan membentuk ikatan kimia yang biasa disebut ikatan kovalen (Mahato, 2011).

2.4.3 Faktor yang mempengaruhi daya adsorpsi pada permukaan zat padat

Menurut (Birdi, 2003) proses adsorpsi dipengaruhi oleh beberapa faktor:

a. Sifat pada permukaan

Karakteristik pada permukaan (luas permukaan, porositas) menentukan luas yang dibutuhkan untuk adsorpsi. Kapasitas adsorpsi berbanding lurus dengan luas area sehingga adsorpsi meningkat dengan bertambahnya luas permukaan. Mikropori merupakan tempat utama terjadinya adsorpsi (Faust, 1998).

b. Konsentrasi Adsorbat

Daya adsorpsi meningkat seiring bertambahnya konsentrasi adsorbat. Adsorpsi meningkat disebabkan meningkatnya daya dorong adsorbat sehingga banyak yang teradsorpsi (Pratiwi, 2013).

c. Waktu Kontak

Waktu kontak digunakan untuk mengetahui kesetimbangan pada adsorpsi. Jika fasa larutan adalah adsorben yang tidak bergerak, maka difusi adsorbat melalui permukaan adsorben terjadi secara lambat. Oleh karena itu, diperlukan *shaking* untuk menghasilkan proses adsorpsi yang lebih cepat. Semakin lama waktu adsorpsi maka frekuensi tumbukan diantara partikel adsorbat dan adsorben semakin besar (Darjito, 2013).

d. pH (Derajat Keasaman)

pH bergantung pada struktur molekular dan muatan permukaan yang dapat mempengaruhi proses adsorpsi. larutan mempunyai pengaruh dalam proses adsorpsi (Riapanitra, dkk, 2006). Pada pH rendah (<2) permukaan karbon bermuatan positif dan mengakibatkan interaksi elektrostatik tolak menolak antara permukaan bermuatan

positif dan kation logam. Ketika pH meningkat, terjadi pertukaran H^+ dari permukaan karbon dengan ion logam dari larutan sehingga adsorpsi juga meningkat (Bansal, 2005).

2.5 Adsorpsi Isothermal

Kesetimbangan adsorpsi merupakan keadaan dimana laju adsorpsi sama dengan laju desorpsi. Kesetimbangan adsorpsi dapat diperoleh dengan menggunakan tiga pendekatan yaitu adsorpsi isothermal, adsorpsi isobar, dan adsorpsi isosterik. Adsorpsi isothermal merupakan metode yang secara luas digunakan untuk menyatakan kondisi kesetimbangan sistem adsorpsi karena merupakan metode yang paling tepat serta analisis data adsorpsi secara teori untuk beberapa model asumsi biasanya tertuju pada adsorpsi isothermal, bukan isobar atau isosterik (Bansal, 2005). Adsorpsi isothermal mengindikasikan bagaimana distribusi adsorbat antara fase cair dan fase padat ketika proses adsorpsi mencapai kondisi kesetimbangan. Kapasitas adsorpsi diketahui dengan menggunakan persamaan adsorpsi isothermal dimana yang umum digunakan adalah Langmuir dan Freundlich (Nwabanne, J.T. & P.K. Igbokwe, 2008).

Jumlah adsorbat yang bersisa dalam larutan setelah dilakukan proses adsorpsi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.1. Data jumlah adsorbat yang bersisa setelah proses adsorpsi digunakan untuk mengembangkan adsorpsi isothermal (Metcalf, 2004).

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)}{m} V \quad (2.1)$$

Dimana,

q_e = Jumlah adsorbat setelah kesetimbangan (padatan), mg adsorbat/g adsorben

C_o = Konsentrasi awal adsorbat, mg/L

C_e = Konsentrasi kesetimbangan akhir dari adsorbat setelah proses adsorpsi, mg/L

V = Volume cairan dalam reaktor, L

m = Massa adsorben, g

2.5.1 Isotherm Freundlich

Isotherm Freundlich menjelaskan bahwa permukaan adsorben bersifat heterogen dimana setiap gugus aktif di permukaan adsorben memiliki kemampuan mengadsorpsi yang berbeda-beda (Anber, 2011). Dari persamaan isotherm Freundlich, maka dapat diperoleh nilai K_f dan nilai n . K_f adalah indikator kapasitas adsorpsi dan n adalah intensitas adsorpsi. Persamaan isothermal freundlich adalah sebagai berikut (Dada, A.O., 2012):

$$Q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (2.2)$$

Dimana,

K_f = Konstanta isoterm Freundlich (mg/g)

n = Intensitas adsorpsi

C_e = Konsentrasi kesetimbangan adsorbat (mg/L)

Q_e = Jumlah logam yang diadsorb per gram adsorben pada kesetimbangan (mg/g)

Linearisasi persamaan 2.2 sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut (Dada, A.O.,

2012),

$$\log Q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.3)$$

2.5.2 Isoterm Langmuir

Isothermal Langmuir terjadi dengan pembentukan adsorbat monolayer pada permukaan dan masing-masing sisi aktif hanya mengadsorb satu molekul (Kharisov, 2016). Isothermal Langmuir dapat digambarkan dengan persamaan sebagai berikut (Dada, A. O., 2012),

$$Q_e = \frac{Q_0 K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2.4)$$

Parameter adsorpsi Langmuir ditentukan dengan mengubah persamaan Langmuir menjadi persamaan 2.5 sebagai berikut,

$$\frac{1}{Q_e} = \frac{1}{Q_0} + \frac{1}{Q_0 K_L C_e} \quad (2.5)$$

Dimana,

C_e = Konsentrasi kesetimbangan adsorbat (mg/L)

Q_e = Jumlah logam yang diadsorb per gram adsorben pada kesetimbangan (mg/g)

Q_0 = Kapasitas maksimum lapisan monolayer (mg/g)

K_L = Konstanta Isoterm Langmuir (L/mg)

Molekul teradsorpsi yang menunjukkan bentuknya: Kesetimbangan dicapai ketika laju adsorpsi molekul ke permukaan sama dengan laju desorpsi molekul dari permukaan (Metcalf, 2004).

2.6 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.5 Penelitian Terdahulu

No.	Nama	Jurnal	Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Sikanna, Rismawaty (2016)	Reduksi Ion Kalsium dalam Air Tanah Menggunakan Adsorben dari Kulit Pisang Kepok (<i>Musa normalis L.</i>)	Adsorpsi ion kalsium dilakukan dengan menggunakan adsorben dari kulit pisang kepok yang diaktivasi H ₂ SO ₄ 3 M dan tidak diaktivasi, dengan variasi waktu pengadukan selama 10, 20, 30, 40, 50, dan 60 menit.	Reduksi ion kalsium terjadi secara signifikan dengan menggunakan adsorben dari kulit pisang kepok yang teraktivasi dengan % reduksi dan waktu pengadukan yaitu 19,32% selama pengadukan 30 menit.
2.	Ni Made Shinta Megawati, Anak Agung Bawa Putra, dan James Sibarani (2013)	Pemanfaatan Arang Batang Pisang (<i>Musa paradisiacal</i>) Untuk Menurunkan Kesadahan Air	Adsorpsi Kalsium dengan konsentrasi 100 ppm dengan menggunakan variasi pH 4,00; 7,20; 11,00 dan waktu setimbang menggunakan stirrer 10, 20, 40, 60, 90, dan 120 menit.	Kapasitas adsorpsi maksimum pada pH 7 sebesar 4,197 mg/g dan waktu setimbang pada 90 menit.
3.	A.S. Dwi Saptati Nur Hidayati, Juliananda, dan Bambang Ismuyanto (2016)	Adsorpsi Kesadahan (Ca) Menggunakan Adsorben Berbasis Sekam Padi	Adsorpsi Ca dengan adsorben sekam padi dan variasi konsentrasi Ca (164,8-329,6) mg/L dan waktu adsorpsi 30-180 menit.	Penurunan konsentrasi kesadahan (Ca) maksimum sebesar 35.98%. Waktu adsorpsi 150 menit. Proses adsorpsi Ca memenuhi pola isoterm adsorpsi Langmuir dengan penyerapan Ca sebesar 18,52 mg/gr.
4.	Antintia Sherly dan Sari Edi Cahyaningrum (2014)	Aktivasi Kulit Pisang Kepok (<i>Musa acuminata L.</i>) dengan H ₂ SO ₄ dan Aplikasinya sebagai Adsorben Ion Logam Cr (VI)	Perbandingan larutan H ₂ SO ₄ terhadap kulit pisang dengan variasi konsentrasi 0,1 M, 0,5 M, 1 M, 1,5 M, 2 M, 2,5 M, dan 4 M sebagai adsorben ion logam Cr(VI).	Konsentrasi aktivasi kulit pisang kepok dengan H ₂ SO ₄ optimum pada konsentrasi 2 M sebesar 3,94 x 10 ⁻¹ mol/g.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Adsorben dari kulit pisang ambon digunakan untuk adsorpsi kalsium menggunakan metode penelitian eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Sains Teknik Kimia Universitas Brawijaya. Adapun tahapan yang dilakukan adalah pertama persiapan biomassa kulit pisang ambon, tahap kedua adalah proses karbonisasi kulit pisang ambon, tahap ketiga aktivasi karbon menggunakan H_2SO_4 2 M, tahap keempat pembuatan larutan induk kalsium 1000 ppm, tahap kelima proses adsorpsi ion kalsium, dan tahap keenam perhitungan kapasitas adsorpsi menggunakan persamaan adsorpsi isothermal (Langmuir dan Freundlich).

3.2 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Sains Teknik Kimia Universitas Brawijaya Malang.

3.3 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Variasi konsentrasi ion kalsium dalam larutan uji adalah 152,3 ppm, 208,5 ppm, 249,4 ppm, 305,6 ppm, dan 347,2 ppm.
2. Variasi pH proses adsorpsi yang digunakan adalah 5, 7, dan 10.

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Kulit pisang ambon
2. CaCl_2 *pro analysis* (padatan)
3. Larutan H_2SO_4
4. Aquades (pH = $5,70 \pm 0,1$)
5. Kertas saring
6. Larutan Na_2EDTA 0.01 M
7. Indikator Eriochrome Black-T (EBT)

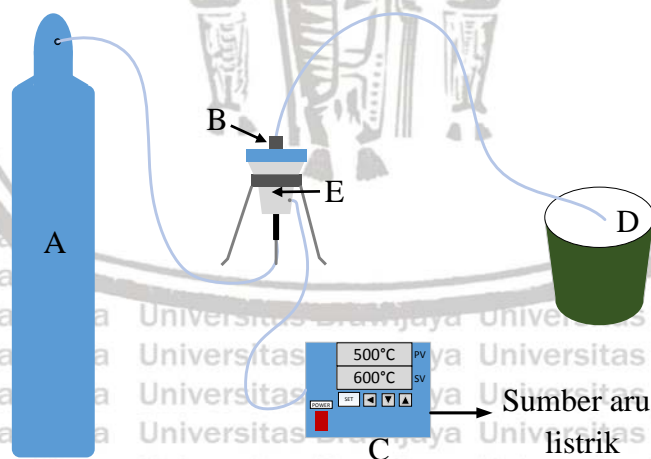
8. Gas Nitrogen
9. NaOH 0.1 N
10. KOH

3.4.2 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Perangkat alat gelas
2. Ayakan 80 mesh
3. Neraca analitik
4. Lemari asam
5. Furnace
6. Tray dryer
7. Crucible tang
8. Stopwatch
9. Hot plate and stirrer
10. Magnetic stirrer
11. Buret
12. pH meter

3.5 Rangkaian Alat



Gambar 3.1 Rangkaian Alat untuk Proses Karbonisasi

Keterangan:

- A : Tabung nitrogen
 B : Reaktor karbonisasi
 C : Thermo controller

D : Ember

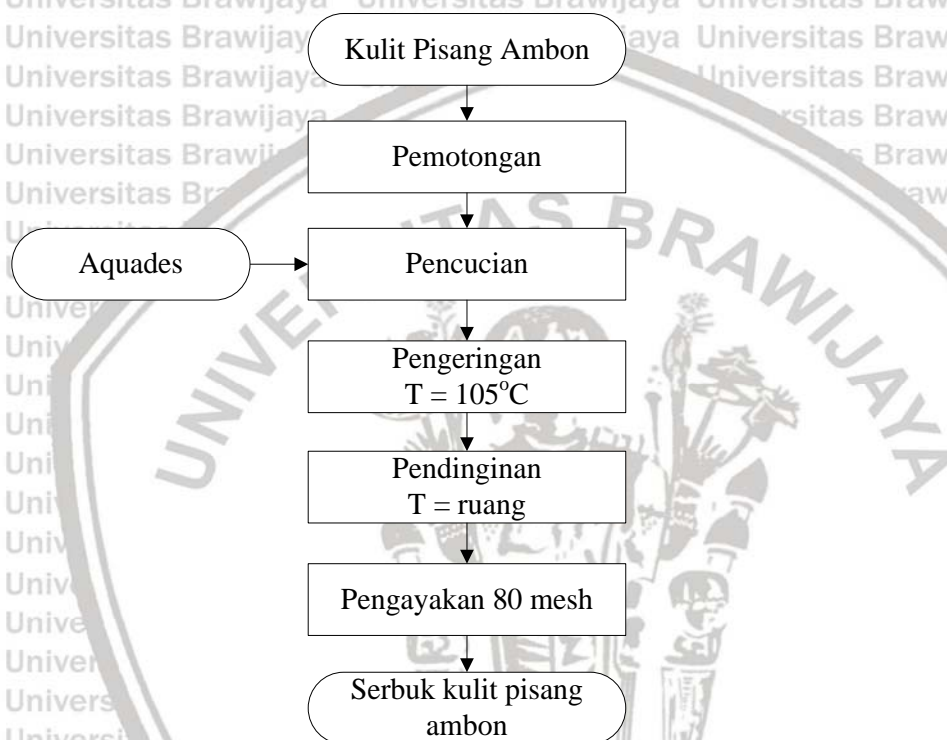
E : Sumber panas reactor

3.6 Tahapan Penelitian

Tahapan-tahapan yang terdapat dalam penelitian ini yaitu :

1. Persiapan Kulit Pisang Ambon

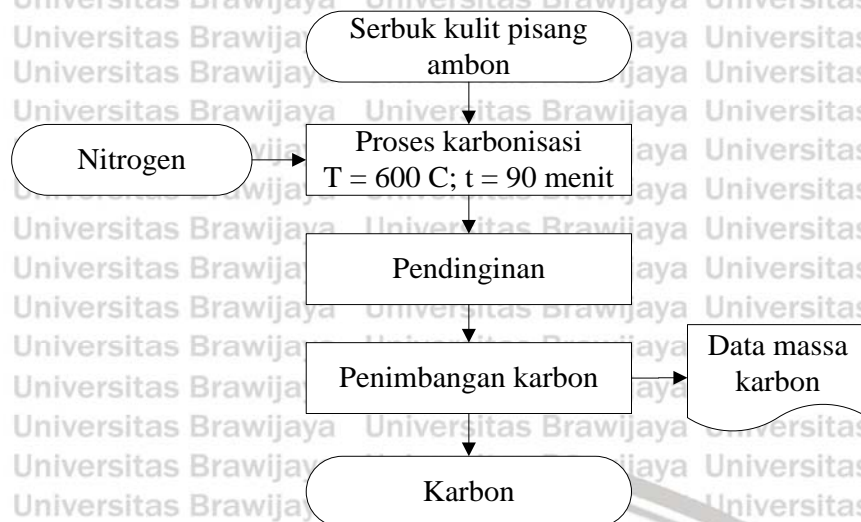
Kulit pisang ambon dipotong kecil (± 5 cm), kemudian dicuci dengan aquades. Kulit pisang ambon dikeringkan dalam *tray dryer* pada suhu 105°C . Kulit pisang ambon kemudian diangin-anginkan dan diblender hingga mencapai ukuran ayakan 80 mesh.



Gambar 3.2 Diagram Alir Persiapan Biomassa Kulit Pisang Ambon

2. Proses Karbonisasi Kulit Pisang Ambon

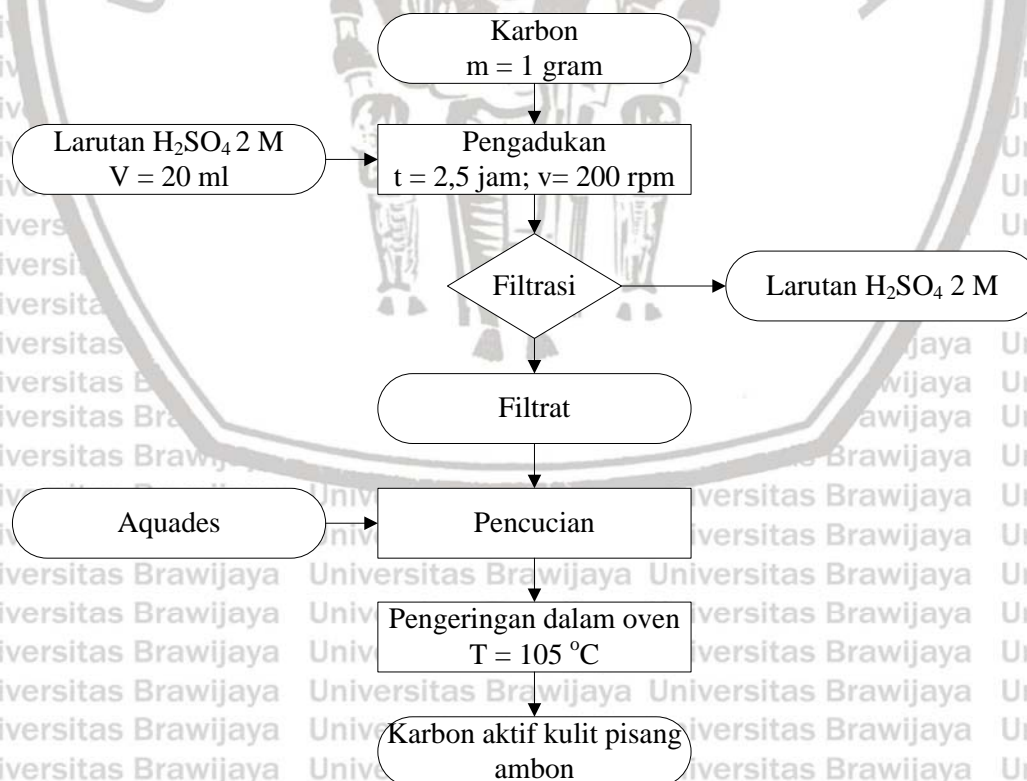
Proses karbonisasi kulit pisang ambon bertujuan untuk mendapatkan karbon. Kulit pisang ambon dimasukkan ke dalam reaktor karbonisasi dan dialiri dengan gas nitrogen secara kontinu sebagai gas inert, kemudian serbuk kulit pisang ambon dikarbonisasi menggunakan suhu 600°C selama 90 menit.



Gambar 3.3 Diagram Alir Proses karbonisasi kulit pisang ambon

3. Aktivasi Karbon dengan H₂SO₄

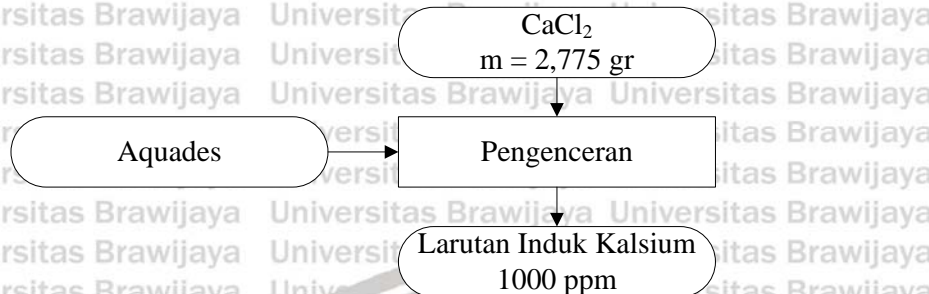
Karbon sebanyak 1 gram dicampur dengan larutan H₂SO₄ 2 M sebanyak 20 ml. Kemudian diaduk selama 2,5 jam menggunakan *hot plate and stirrer*, dan dilanjutkan pencucian menggunakan aquades hingga netral (mendekati pH aquades yang digunakan untuk pencucian karbon aktif). Sampel tersebut kemudian dikeringkan menggunakan oven pada suhu 105°C.



Gambar 3.4 Diagram Alir Proses Aktivasi Karbon

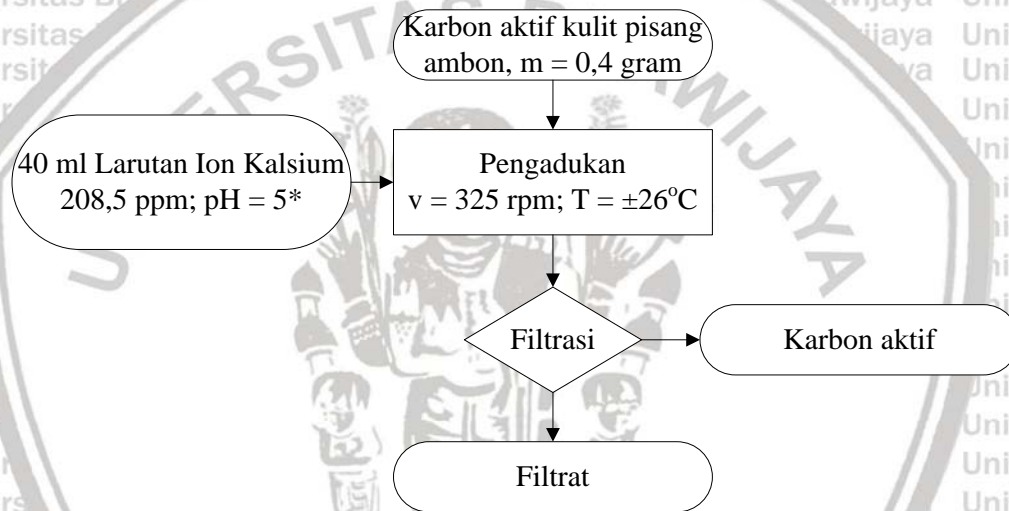
4. Pembuatan Larutan Induk Ion Kalsium

Sebelum dilakukan pengukuran kapasitas adsorpsi, dilakukan pembuatan larutan induk ion kalsium 1000 ppm yang akan digunakan sebagai variasi konsentrasi awal larutan kalsium.



Gambar 3.5 Diagram Alir Pembuatan Larutan Induk Kalsium 1000 ppm

5. Proses Adsorpsi



Gambar 3.6 Diagram Alir Pengujian Proses Adsorpsi Ion Kalsium

*) Penentuan pH optimum untuk adsorpsi dilakukan dengan proses yang sama pada pH 5, 7, dan 10

*) Proses adsorpsi dilakukan pada pH optimum dengan konsentrasi adsorpsi dilakukan 152,3 ppm, 208,5 ppm, 249,4 ppm, 305,6 ppm, dan 347,2 ppm.

Proses adsorpsi ion kalsium menggunakan kulit pisang ambon dilakukan dengan menggunakan variasi pH dan konsentrasi awal ion kalsium. Pengujian dilakukan untuk menentukan pH optimum yang akan digunakan untuk proses adsorpsi selanjutnya. Penentuan pH basa dilakukan dengan menambahkan larutan KOH 0,01 N. Tahap uji proses adsorpsi pada variasi pH ini diulang untuk variasi pH 5, 7, dan 10. Setelah diperoleh pH optimum, proses adsorpsi dilakukan dengan variasi konsentrasi ion kalsium 152,3 ppm, 208,5 ppm, 249,4 ppm, 305,6 ppm, dan 347,2 ppm dengan proses yang sama. Sebanyak 0,4 gram karbon aktif kulit pisang

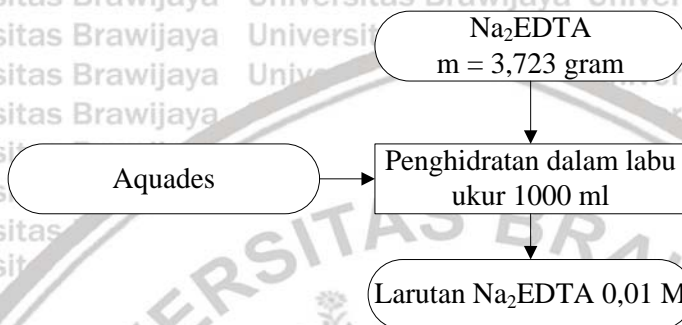


ambon dikontakkan dengan larutan ion kalsium 40 ml, Larutan kemudian diaduk dengan kecepatan 325 rpm.

6. Pengukuran dengan Titrimetri Na₂EDTA

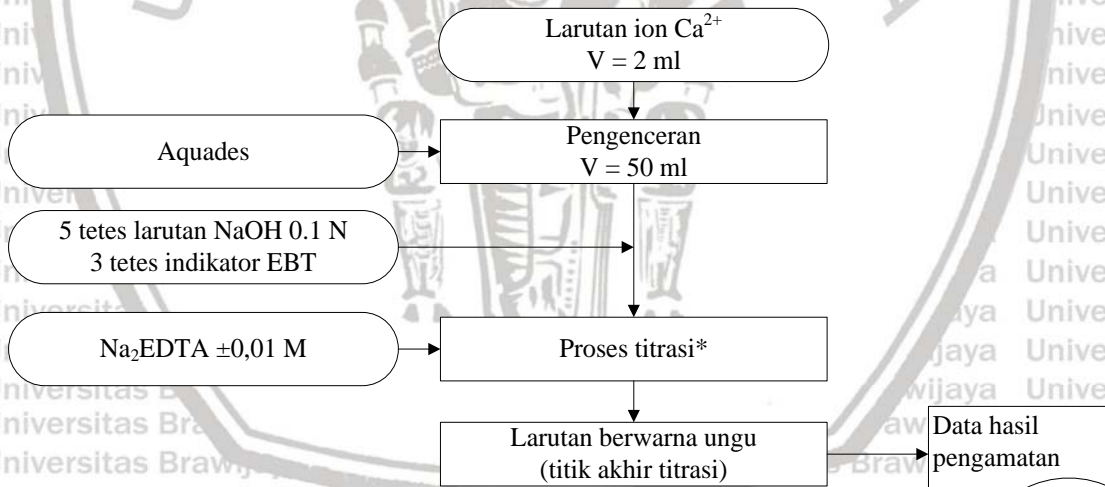
Filtrat dari proses adsorpsi dititrasi menggunakan larutan Na₂EDTA. Sebelumnya, filtrat tersebut ditambahkan dengan indikator EBT dan NaOH 0.01 N. Titrasi berakhir saat filtrat pertama kali mengalami perubahan warna dari ungu menjadi biru.

Pembuatan Larutan Na₂EDTA ±0,01 M



Gambar 3.7 Diagram Alir Proses Pembuatan Larutan Na₂EDTA ±0,01 M

Pengukuran dengan Titrimetri Na₂EDTA ±0,01 M



Gambar 3.8 Diagram Alir Proses Adsorpsi dan Pengukuran Menggunakan Titrimetri EDTA

*Proses titrasi diulangi 3 kali, dan volume Na₂EDTA yang digunakan dirata-rata

$$\text{Kadar kalsium} \left(\text{mg} \frac{\text{Ca}}{\text{L}} \right) = \frac{1000}{V_{C.u}} \times V_{EDTA} \times M_{EDTA} \times 40$$

Dimana : V_{C.u} = Volume contoh uji (mL)

V_{EDTA} = Volume rata-rata larutan baku Na₂EDTA untuk titrasi kalsium (mL)

M_{EDTA} = Molaritas larutan baku Na₂EDTA untuk titrasi (mmol/mL)

7. Penentuan Kapasitas Adsorpsi Isotermal



Setelah dilakukan pengukuran menggunakan Titrimetri Na_2EDTA untuk mengetahui konsentrasi akhir ion kalsium setelah proses adsorpsi, dilakukan perhitungan adsorpsi isothermal freundlich dan langmuir dan memplotkan hasil perhitungan pada grafik. Dari gambar grafik tersebut selanjutnya diperoleh garis linear dengan persamaan Freundlich dan Langmuir. Persamaan garis dihitung dengan menggunakan program Microsoft Excel. Dari kedua persamaan tersebut kemudian dilakukan pengkajian sehingga dapat disimpulkan.

3.7 Analisa

3.7.1 FT-IR (Fourier Transform-Infra Red)

FT-IR (Fourier Transform Infra Red) merupakan spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi fourier. Spektroskopi FTIR berguna untuk identifikasi struktur dan jenis-jenis gugus fungsi yang dapat mengindikasikan komposisi kimia. FTIR menggunakan interferometer yang biasanya adalah Michelson interferometer yang diletakkan dalam monokromator (Smith, 1996). FTIR dilakukan di laboratorium sentral mineral dan material maju, Universitas Negeri Malang.

3.7.2 Yield Hasil Karbonisasi

Yield adalah rasio biochar yang dihasilkan setelah proses karbonisasi terhadap massa awal kulit pisang ambon pada dry basis, dan dapat diketahui dengan menggunakan rumus :

$$\text{Yield (\%)} = \frac{W_1}{W_0} \times 100 \%$$

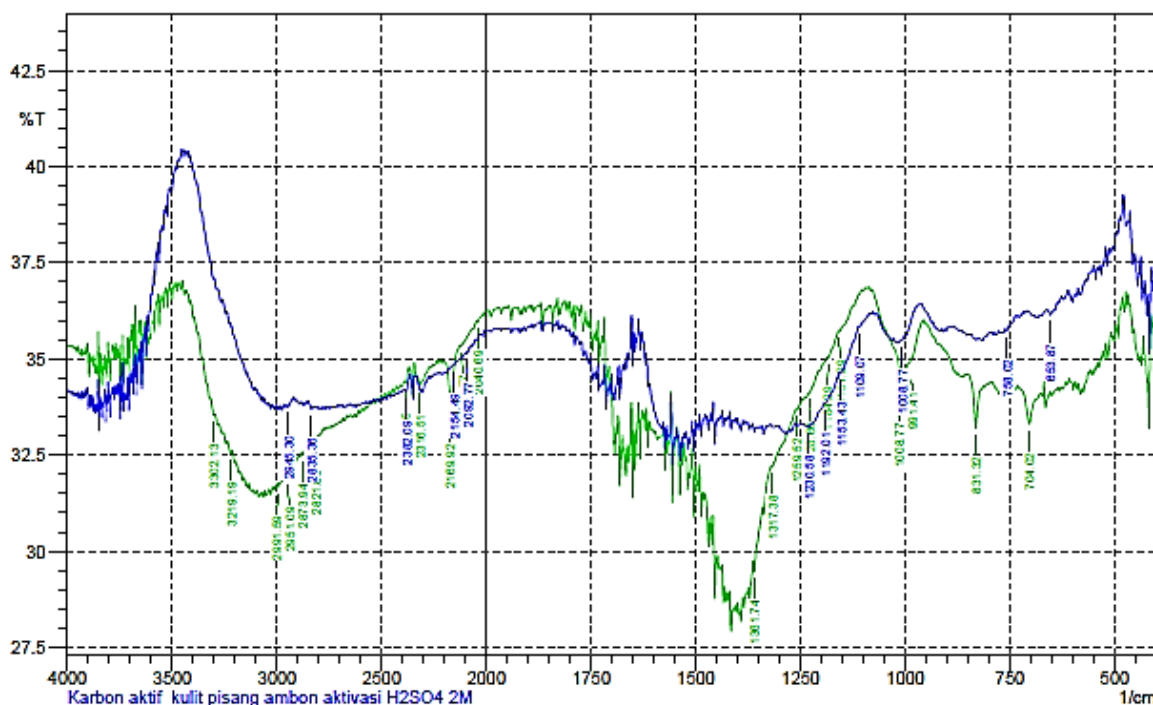
W_1 merupakan massa karbon setelah karbonisasi, pencucian dan pengeringan dan W_0 adalah massa awal kulit pisang ambon.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Karbon Kulit Pisang Ambon dan Karbon Aktif Kulit Pisang

Ambon Menggunakan Metode *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FT-IR)

Pengujian FT-IR digunakan untuk mengetahui gugus yang terdapat pada permukaan dari karbon dan karbon aktif yang dihasilkan. Hasil Pengujian FT-IR terhadap karbon kulit pisang ambon sebelum dan sesudah diaktivasi menggunakan H_2SO_4 2M adalah sebagai berikut.



— Karbon aktif dengan aktivasi H_2SO_4 2 M
 — Karbon aktif tanpa aktivasi H_2SO_4 2 M

Gambar 4.1 Hasil analisa FT-IR karbon kulit pisang ambon sebelum dan sesudah diaktivasi

Berdasarkan gambar 4.1, maka dapat diketahui gugus fungsi yang terdapat pada karbon kulit pisang ambon setelah dan sebelum diaktivasi menggunakan H_2SO_4 2M seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.1.

Pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa pada karbon dan karbon aktif kulit pisang ambon terdapat beberapa gugus seperti C-H alkena, C-H aromatik, C-H alkana, C=C alkuna, C=C aromatik, C-O alkohol/eter/asam karboksilat/ester, C=O aldehyd/keton/asam karboksilat/ester. Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat beberapa gugus yang terdapat

pada karbon akan muncul atau hilang setelah diaktivasi dengan menggunakan H_2SO_4 2M.

Hal ini diperkirakan karena adanya reaksi kimia yang dihasilkan dari H_2SO_4 2M.

Tabel 4.1 Gugus Fungsi Karbon Kulit Pisang Ambon dan Karbon Aktif

No.	Gugus Fungsi	Panjang Gelombang (cm ⁻¹)	Karbon	Karbon aktif
1.	C-H Alkena	675-995 dan 3010-3095	✓	✓
2.	C-H Aromatik	690-900 dan 3010-3100	✓	✓
3.	C-H Alkana	1340-1470 dan 2850-2970	✓	✓
4.	C=C Alkana	2100-2260	✓	-
5.	C=C Aromatik	1500-1600	✓	✓
6.	C-O Alkohol/ eter/asam karboksilat/ester	1050-1300	-	✓
7.	C=O Aldehid/Keton/ asam karboksilat/ ester	1690-1760	-	✓
8.	O-H Alkohol monomer/fenol	3200-3650	-	✓

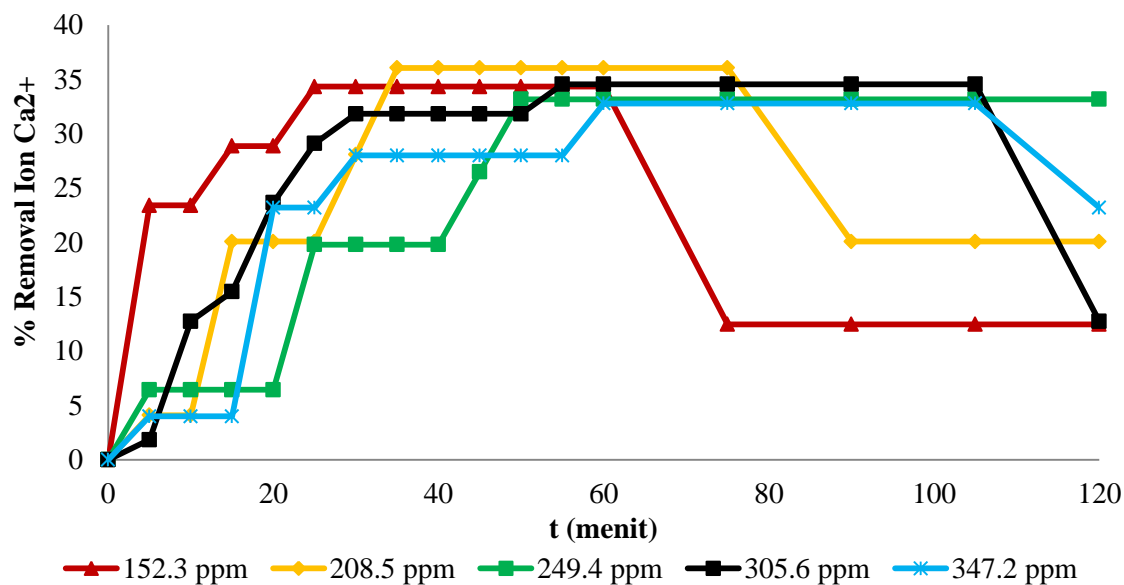
Pada analisis FTIR sebelum dan sesudah aktivasi terdapat perbedaan gugus dimana gugus yang sebelumnya ada namun setelah diaktivasi menghilang. Proses aktivasi melarutkan pengotor yang mengindikasikan bahwa aktivasi kimia memecah banyak ikatan pada gugus alifatik dan aromatik (Hesas, 2013).

Gugus fungsi C-O merupakan gugus asam yang membantu interaksi karbon aktif dalam proses adsorpsi (Hesas, 2013). Gugus fungsi dari hidroksil (-OH) membantu dalam proses adsorpsi. Adanya gugus tersebut dapat disebabkan oleh H_2SO_4 meningkatkan konsentrasi gugus oksigen permukaan yang dapat bereaksi dengan mudah dengan ion kalsium. Aktivasi dengan asam sulfat menyebabkan permukaan karbon aktif memiliki gugus oksigen yang dapat menyebabkan permukaan karbon bersifat polar dan mengadsorpsi senyawa polar (Knappe, 2006).

4.2 Pengaruh Waktu Kontak pada Adsorpsi Ion Kalsium (Ca^{2+}) Menggunakan Karbon Aktif Kulit Pisang Ambon

Penentuan waktu setimbang digunakan untuk mengetahui waktu minimum yang dibutuhkan oleh adsorben untuk dapat menyerap adsorbat dalam larutan secara maksimal hingga diperoleh keadaan jenuh (Megawati dkk, 2013). Berdasarkan gambar 4.2, menunjukkan bahwa adsorpsi ion kalsium meningkat seiring dengan meningkatnya waktu kontak. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu kontak, adsorbat akan semakin banyak yang bertumbukan atau berkontak dengan karbon aktif sehingga jumlah adsorbat yang teradsorpsi akan semakin banyak. Pada konsentrasi 152,3 ppm laju adsorpsi konstan pada

25 menit, pada konsentrasi 208,5 ppm laju adsorpsi konstan pada 35 menit, pada konsentrasi 249,4 ppm laju adsorpsi konstan pada 50 menit, pada konsentrasi 305,6 ppm laju adsorpsi konstan pada 55 menit, pada konsentrasi 347,2 ppm laju adsorpsi konstan pada 60 menit.

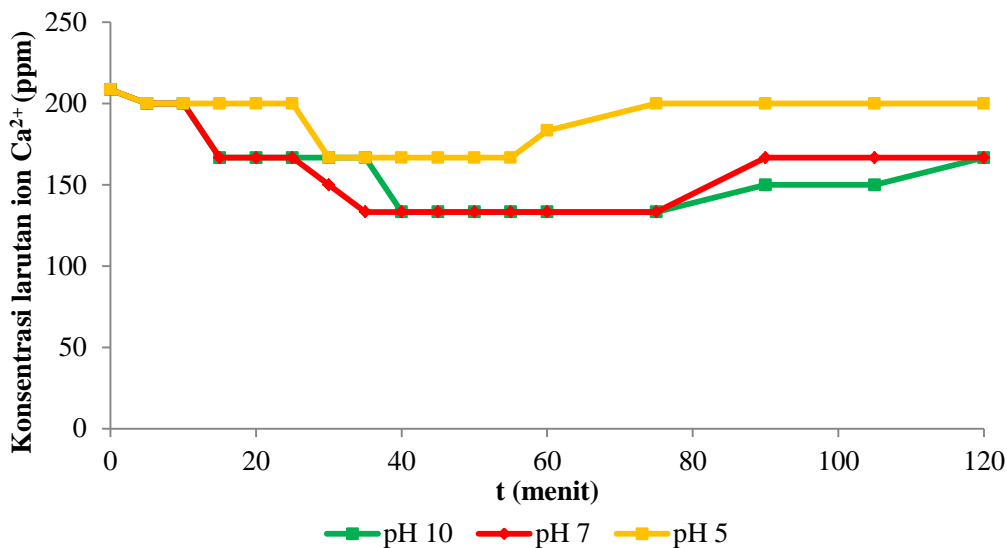


Gambar 4.2 Pengaruh waktu kontak pada adsorpsi ion Kalsium (pH = 7, dosis adsorben = 0,4gram)

Menurut Pathak (2015), pada awalnya laju adsorpsi akan meningkat seiring dengan bertambahnya waktu, namun setelah beberapa saat kemudian akan mengalami penurunan dan mencapai kesetimbangan. Laju adsorpsi cenderung konstan atau menurun dikarenakan karbon aktif sudah tidak dapat menyerap adsorbat dalam larutan dan mengalami desorpsi. Selain itu pada awal adsorpsi terdapat cukup banyak sisi aktif yang tersedia pada permukaan adsorben. Namun, seiring dengan waktu kontak yang bertambah, pori-pori pada adsorben hampir dipenuhi oleh kation dari dalam larutan (Pathak, 2015).

4.3 Pengaruh Variasi pH pada Adsorpsi Ion Kalsium (Ca^{2+}) Menggunakan Karbon Aktif Kulit Pisang Ambon

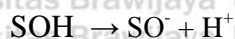
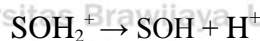
Penentuan pengaruh pH terhadap proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan variasi pH asam, netral, dan basa, yaitu 5, 7, dan 10. Penggunaan variasi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh proses adsorpsi ion kalsium oleh karbon aktif kulit pisang ambon. Berikut merupakan grafik pengaruh pH terhadap konsentrasi ion Kalsium dalam larutan selama 120 menit (gambar 4.3).



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara konsentrasi kalsium 208,528 ppm dengan waktu adsorpsi dalam variasi pH

Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa konsentrasi ion Kalsium yang teradsorpsi pada pH 7 lebih baik dibandingkan dengan menggunakan pH 5 dan 10. Pada pH 5, konsentrasi ion kalsium yang teradsorpsi adalah 41,9 ppm atau persen penurunannya sebesar 20,93%, sedangkan pada pH 7 dan 10, konsentrasi ion kalsium yang teradsorpsi adalah 75,2 ppm atau persen penurunannya sebesar 36,06%. Meskipun konsentrasi ion kalsium yang teradsorpsi pada pH 7 dan pH 10 sama, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kesetimbangan saat adsorpsi lebih cepat saat menggunakan pH 7 dibandingkan pH 10.

Nilai persen penurunan yang kecil pada pH 5 dikarenakan pada kondisi asam cenderung lebih banyak mengandung ion H^+ . Ion H^+ ini akan bersaing dengan ion kalsium untuk berikatan dengan elektron bebas yang dimiliki oleh adsorben. Menurut Khalfauwi (2012), pada pH awal yang rendah, permukaan adsorben akan dikelilingi oleh ion H^+ sehingga menimbulkan gaya tolak menolak dengan kation yang terdapat dalam larutan. Selain itu menurut Jaslin, dkk (2015), pada pH rendah gugus aktif permukaan karbon aktif akan mengalami protonasi. Pada pH rendah, permukaan karbon aktif kulit pisang ambon bermuatan positif sehingga terjadi penolakan secara elektrostatis terhadap ion kalsium (Darmayanti, 2012).



Sedangkan pada pH 7 penyerapan yang terjadi lebih besar disebabkan karena berkurangnya persaingan dengan ion H^+ dan permukaan karbon aktif kulit pisang ambon cenderung terionisasi melepas ion H^+ dan permukaan karbon aktif tersebut akan bermuatan

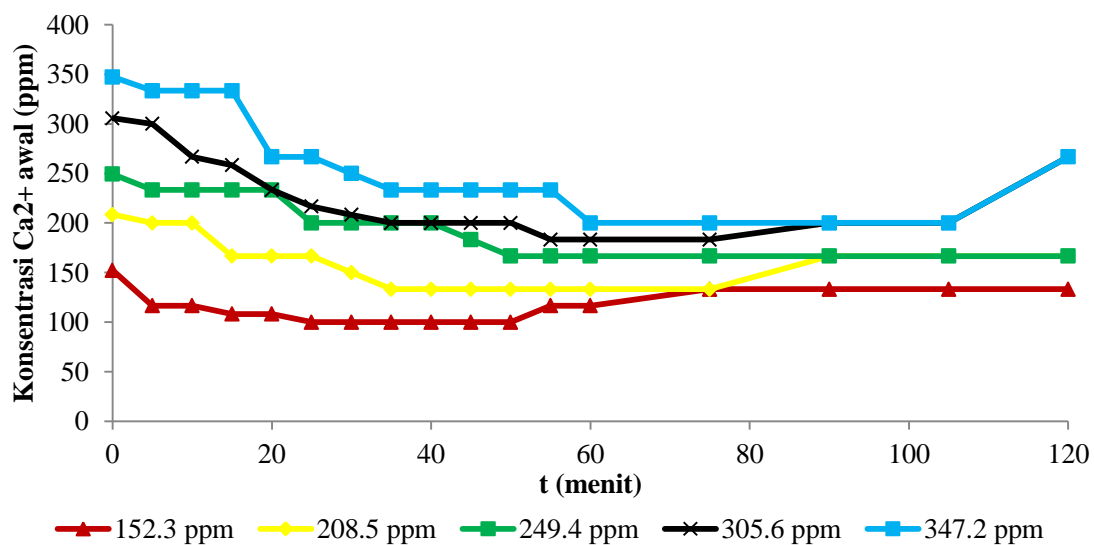
negatif sehingga menimbulkan gaya elektrostatik antara ion kalsium dengan permukaan karbon aktif (Darmayanti, 2012).

Selain itu menurut Megawati, dkk (2013), dalam proses adsorpsi ion logam kalsium dan magnesium menggunakan arang batang pisang yang dilakukan pada pH 4, 7, dan 10 menunjukkan bahwa pada pH 7 memiliki kapasitas adsorpsi yang paling besar. Hal ini diperkirakan karena pada pH 4 terjadi protonasi pada gugus aktif dipermukaan adsorben sehingga tidak efektif dalam mengadsorpsi ion logam kalsium.

4.4 Pengaruh Variasi Konsentrasi Awal Larutan Kalsium pada Adsorpsi Ion

Kalsium (Ca^{2+}) Menggunakan Karbon Aktif Kulit Pisang Ambon

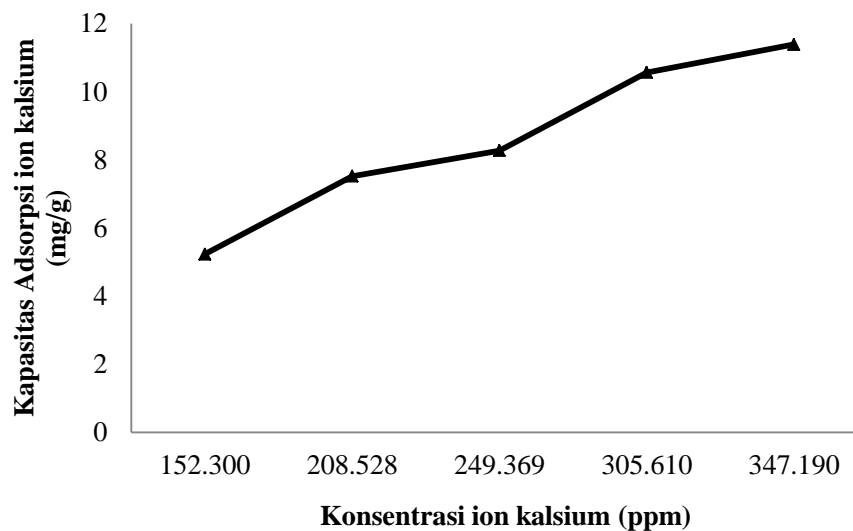
Adsorpsi ion kalsium menggunakan karbon aktif kulit pisang ambon dengan menggunakan variasi konsentrasi awal ion kalsium bertujuan untuk dapat mengetahui konsentrasi optimum yang dapat digunakan untuk proses adsorpsi. Selain itu juga, variasi konsentrasi ion Kalsium awal digunakan untuk dapat mengetahui pola isotherm yang terjadi pada adsorpsi karbon aktif kulit pisang ambon terhadap larutan ion Kalsium, dimana adsorpsi tersebut dapat mengikuti pola isotherm Langmuir atau freundlich. Variasi konsentrasi ion kalsium yang digunakan dalam penelitian ini adalah 152,3 ppm, 208,5 ppm, 249,4 ppm, 305,6 ppm, dan 347,2 ppm dengan menggunakan 0,4 gram massa adsorben dalam 40 ml larutan ion kalsium dan waktu adsorpsi selama 120 menit.



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara konsentrasi ion Kalsium terhadap waktu adsorpsi dalam variasi konsentrasi ion Kalsium awal

Gambar 4.4 merupakan grafik hubungan antara variasi konsentrasi ion kalsium awal terhadap waktu. Pada grafik tersebut menunjukkan semakin lama waktu kontak pada

proses adsorpsi maka semakin banyak ion kalsium yang teradsorpsi. Selain itu variasi konsentrasi awal yang berbeda memiliki waktu setimbang yang berbeda, dimana pada konsentrasi larutan ion kalsium awal 152,3 ppm, 208,5 ppm, 249,4 ppm, 305,6 ppm, dan 347,2 ppm memiliki waktu setimbang secara berturut-turut pada 25, 30, 50, 55, dan 60 menit.



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara konsentrasi ion kalsium terhadap kapasitas adsorpsi

Pada gambar 4.5 menggambarkan grafik hubungan antara kapasitas adsorpsi dengan konsentrasi ion kalsium awal, dimana semakin tinggi konsentrasi yang digunakan maka kapasitas adsorpsinya juga semakin tinggi. Pada konsentrasi ion kalsium awal 152,3 ppm, 208,5 ppm, 249,4 ppm, 305,6 ppm, dan 347,2 ppm diperoleh nilai kapasitas adsorpsi ion kalsium secara berturut-turut sebesar 5,2 mg/g, 7,5 mg/g, 8,3 mg/g, 10,6 mg/g, dan 11,4 mg/g. Menurut Arninda (2014), pada konsentrasi yang lebih rendah terdapat kandungan ion kalsium yang lebih rendah, sehingga ion kalsium yang berikatan dengan adsorben lebih sedikit. Oleh karena itu, kapasitas adsorpsinya juga semakin rendah. Sedangkan pada konsentrasi larutan ion logam kalsium yang lebih tinggi mengandung lebih banyak ion kalsium sehingga ion kalsium yang berikatan dengan adsorben lebih banyak.

Pada perlakuan pH adsorpsi dalam keadaan basa, dilakukan dengan cara penambahan KOH dalam larutan ion kalsium. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi meningkat dengan bertambahnya konsentrasi tidak menyebabkan persaingan kation antara K^+ dan Ca^{2+} , hal ini disebabkan karena jari-jari ionik Ca^{2+} lebih kecil yaitu 1,06 Å sementara K^+ adalah 1,33 Å (Febrianti, 2008). Adsorpsi karbon aktif kulit pisang ambon dengan pertukaran kation dipengaruhi oleh jarak antar sisi aktif yang ada sehingga adsorpsi lebih

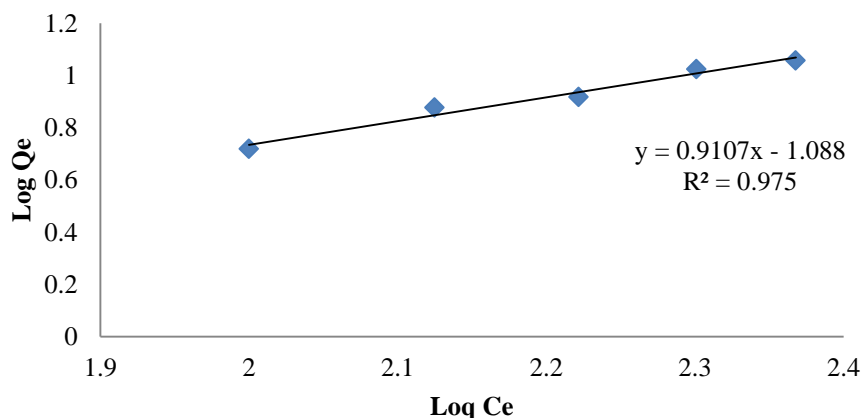
besar terjadi pada Ca^{2+} karena memiliki jari-jari ion lebih kecil yang lebih mudah masuk pada bagian interlayer pori dibandingkan kation K^+ (Permansari, 2011).

Menurut McDougal (1980), kekuatan adsorpsi logam mengikuti: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{H}^+ > \text{Li}^+ > \text{Na}^+ > \text{K}^+$. Berdasarkan hal tersebut, maka adsorpsi karbon aktif kulit pisang ambon lebih kuat untuk mengikat ion Ca^{2+} . Ion K^+ memiliki kekuatan adsorpsi lebih kecil dari ion Ca^{2+} sehingga ion K^+ akan terlepas kembali ke larutan dan akan cenderung mengikat ion Ca^{2+} . Selain itu pada proses adsorpsi terjadi penurunan pH sebesar $\pm 0,3$, dimana ion Ca^{2+} lebih kuat terikat pada permukaan adsorben dibandingkan ion H^+ .

4.5 Kapasitas Adsorpsi Karbon Aktif Kulit Pisang Ambon Terhadap Ion Kalsium

Isoterm adsorpsi digunakan untuk mengetahui distribusi adsorpsi ion Kalsium pada saat kesetimbangan (Estiaty, 2013). Parameter isoterm adsorpsi untuk larutan memiliki konsentrasi rendah adalah dengan model Langmuir dan Freundlich (Kusmiyati, 2012).

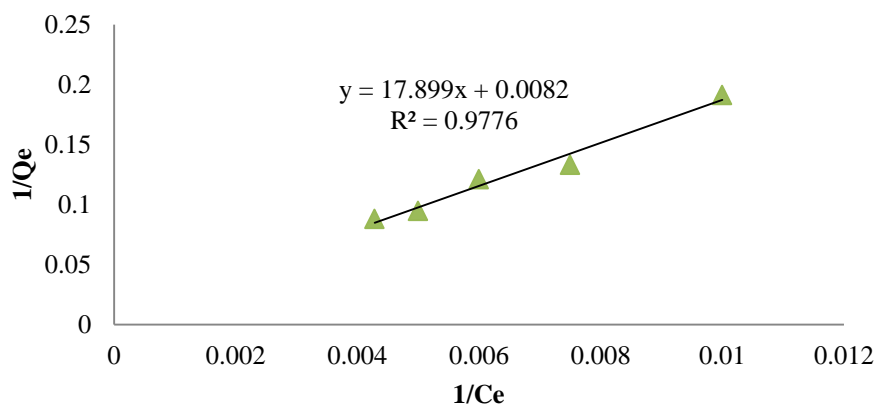
Penentuan pola isotherm freundlich dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara kapasitas adsorpsi $\log Q_e$ dengan konsentrasi adsorbat saat keadaan setimbang $\log C_e$. Gambar 4.6 menunjukkan grafik isotherm freundlich dimana grafik tersebut menghasilkan persamaan $y = 0,9107x - 1,088$ dengan nilai R^2 sebesar 0.975.



Gambar 4.6 Grafik Linier $\log Q_e$ vs $\log C_e$ menurut Isoterm Freundlich

Sedangkan penentuan pola adsorpsi isotherm Langmuir dilakukan dengan membuat grafik hubungan antara kapasitas adsorpsi $1/Q_e$ dengan konsentrasi adsorben saat keadaan setimbang $1/C_e$. Gambar 4.7 menunjukkan grafik isotherm Langmuir dimana menghasilkan persamaan $y = 17,899x + 0,0082$ dan nilai R^2 sebesar 0,9776.

Kemudian persamaan garis yang diperoleh pada gambar 4.6 dan 4.7 akan diinterpretasikan dalam masing-masing persamaan, sehingga diperoleh parameter isotherm seperti pada tabel 4.2.



Gambar 4.7 Grafik Linier 1/Qe vs 1/Ce menurut Isotherm Langmuir
Tabel 4.2 Parameter isotherm Freundlich dan Langmuir

Model	Parameter		
Persamaan			
Freundlich	K_f	n	R^2
	0,082	1,098	0,975
Langmuir	Q_0 (mg/g)	K_L (L/mg)	R^2
	121,95	0,000458	0,9776

Nilai K_f merupakan indikasi kapasitas adsorpsi dari karbon aktif kulit pisang. Nilai K_f yang didapatkan adalah 0,082 mg/g. Semakin tinggi nilai K_f maka semakin besar adsorpsi yang dihasilkan. Nilai intensitas adsorpsi ($1/n$) adalah 0,9107 sehingga nilai n yang diperoleh adalah 1,098. Nilai ($1/n$) menunjukkan level dari heterogenitas suatu permukaan karbon aktif. Nilai n yang lebih dari 1 mengindikasikan bahwa permukaan adsorpsi adalah homogen atau permukaan memiliki energi sisi aktif permukaan adsorpsi yang seragam (Itodo, 2011). Menurut Sener (2009), $1/n$ merupakan faktor heterogenitas dan memiliki kisaran nilai antara 0 dan 1; semakin heterogen suatu permukaan, maka nilai $1/n$ semakin mendekati 0.

Pola isotherm yang sesuai koefisien korelasi (R^2) adalah yang mendekati nilai 1 (Tanasale, 2014). Berdasarkan tabel 4.3, bila ditinjau dari nilai R^2 diperoleh bahwa pola isotherm adsorpsi ion kalsium menggunakan karbon aktif kulit pisang ambon lebih mengikuti pola isotherm Langmuir daripada Freundlich, dimana pada isotherm Langmuir memiliki nilai R^2 yaitu 0,9776 dan pada isotherm Freundlich yaitu 0,975. Pola isotherm Langmuir mengasumsikan bahwa proses adsorpsi hanya terjadi pada lapisan tunggal atau *monolayer* dan semua sisi aktif dari karbon aktif tersebut bersifat homogen (Oscik J, 1994 dalam Rahmadini, 2016).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan:

1. pH optimum pada proses adsorpsi adalah saat pH 7 dan konsentrasi awal ion kalsium yang optimum adalah 347,2 ppm dengan persen penghilangan sebesar 32,79% dan kapasitas maksimum sebesar 11,4 mg/g.
2. Adsorpsi ion kalsium dengan karbon aktif kulit pisang ambon mengikuti pola isoterm langmuir.

5.2 Saran

1. Melakukan proses adsorpsi dengan variabel suhu agar dapat diketahui pengaruh dari laju adsorpsi ion kalsium menggunakan kulit pisang ambon.
2. Perlu adanya penelitian mengenai pengaruh jenis aktivator terhadap proses adsorpsi ion kalsium menggunakan kulit pisang ambon.
3. Penambahan Uji BET terhadap sampel karbon aktif kulit pisang ambon.
4. Perlu adanya karakterisasi adsorben karbon aktif kulit pisang ambon

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, Chairul., Khair, Riza Miftahul., Saputra, M. Wahyuddin.2015. *Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang Kepok (Musa acuminata L.) Sebagai Karbon Aktif untuk Pengolahan Air Sumur Kota Banjarbaru : Fe dan Mn*. Banjarbaru Kalimantan Selatan:Jurnal Teknik Lingkungan 1 (1):8-15
- Adinata, Mirsa Restu. 2013. *Pemanfaatan Limbah Kulit Pisang sebagai Karbon Aktif*. Skripsi FTI Jurusan Teknik kimia Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Surabaya
- Ahmadpour, A, Do, D.D. 1996. *The Preparation of Active Carbons From Coal by Chemical and Physical Activation*. Australia: Pergamon. Vol. 34, No. 4, pp. 471-479. 1996
- Anber, Mohammed.2011. *Thermodynamics Approach in the Adsorption of Heavy Metals*. Industrial Organic Chemistry Faculty of Science Mu'tah University Jordan
- Arninda, Andi., Sjahrul, M., Zakir, M. 2014. *Adsorpsi Ion Logam Pb (II) dengan Menggunakan Kulit Pisang Kepok (Musa Paradiasaca Linn)*. Makassar : Fakultas Science Universitas Hasanuddin. Jurnal Vol 7. No. 2
- Bansal, Roop C., Goyal, Meenakshi. 2005. *Carbon Adsorption*. CRC Press:New York
- Birdi,K.S. 2003.*Handbook of Surface and Colloid Chemistry*. CRC Press:New York
- Darjito., Triandi, Rachmat., Mardiana, Diah. 2013. *Adsorpsi Ion Mg (II) Menggunakan Adsorben Kitin Terfoforilasi*. Malang:Jurnal Jurusan Kimia Universitas Brawijaya Vol 2 No 1
- Dada, A. O., Olalekan, A. P., Olatunya, A. M. and Dada, O., 2012. *Langmuir, Freundlich, Temkin dan Dubinin-Radushkevich Isoterm Studies of Equilibrium Sorption of Zn²⁺ Unto Phosphoric Acid Modified Rice Husk*, J. Appl. Chem., 3, 38-45.
- Darmayanti, Rahman, N. & Supriadi. (2012). *Adsorpsi Timbal (Pb) dan Zink (Zn) dari Larutannya Menggunakan Arang Hayati (Biocharcoal) Kulit Pisang Kepok Berdasarkan Variasi pH*. Palu:Jurnal FKIP Universitas Tadulako Vol 1, No 3:159-165
- Debabandya, M., M. Sabyasachi and S. Namrata, 2010. *Banana and its by-products utilization An overview*. J. Sci. Ind. Res., 69 323-329
- Dutta, Binay K. 2007. *Principles of Mass Transfer and Separation Processes*. India : PHI Learning Private Limited.

- Estianty, L.M., 2013, *Keseimbangan dan Kinetika Adsorpsi Ion Cu^{2+} Pada Zeolit-H*. Riset Geologi dan Pertambangan Vol. 2 No. 2 127-141
- Fadilah, Nur., Ita Ulfin. 2013. *Penurunan Kadar Ion Cd^{2+} dalam Larutan Menggunakan Karbon Aktif dari Tempurung Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L)*. Surabaya:Jurnal Sains dan Seni Pomits Institut Teknologi Sepuluh November Vol 1 no 1
- Faust, S. D. and O. M. Aly (1998). *Chemistry of Water Treatment 2nd edition*. Chelsea, Michigan, Ann Arbor Press, Inc.
- Febrianti, Rita. 2008. *Pengaruh ion Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , dan Ca^{2+} Pada Penjerapan Kromium Trivalen Oleh Zeolit Lampung*. Bogor:Skripsi FMIPA Institut Pertanian Bogor
- Ghasemi, Maryam., Ghasemi, N., Amin, Javad. 2014. *Adsorbent Ability of Treated *Peganum harmala-L* Seeds for the Removal of Ni (II) from Aqueous Solutions: Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic Studies*. Iran : Journal Materials Vol 2014 Islamic Azad University
- Goel, M., Sudhakar, M., Shahi, R. 2015. *Carbon Capture, Storage, and Utilization*. India :The Energy and Resources Institute (TERI Press)
- Hesas, Roozbeh Hoseinzadeh., Niya, Arash Arami., Daud, Wan Mohd Ashri Wan., Sahu, J.N. 2013. *Preparation and Characterization of Activated Carbon from Apple Waste by Microwave-Assisted Phosphoric Acid Activation: Application in Methylene Blue Adsorption*. BioResources vol. 8 no. 2, pp. 2950–2966.
- Hidayati, Nurlisa., Lesbani, Aldes., Turnip, Ema Veronika. 2015. *Study Adsorption Desorption of Manganese (II) Using Impregnated Chitin-Cellulose as Adsorbent*. Palembang: Internat. Journal Science, Sriwijaya University, Vol. 8 no (2):104-108
- Hidayati, A.S Dwi Saptati, Juliananda, & Bambang Ismuyanto. 2016. *Adsorpsi Kesadahan (Ca) Menggunakan Adsorben Berbasis Sekam Padi*. Jurnal Teknik Kimia USU Vol 5 No 3
- Humphrey, J.L., Keller, E.G. 1997. *Separation Process Technology*. Mc Graw Hill: USA
- Itodo, Adams Udoji., Usman, Abdullah, Akinrinmade, Grace. 2011. *Performance Assesment of Received and Formulated Carbon Animalis: A comparative Adsorption Isotherm Test*. Nigeria : Journal of Environmental Protection Kebbi State University Vol 3: 288-295
- Jamal, Parveen, dkk. 2012. *Bio-Valorization Potential of Banana Peels (*Musa sapientum*): An Overview*. Malaysia:Journal of Biotechnology ISSN 1996-0700

- Jaslin, Ikhsan., Sulastrri. 2015. *Pengaruh pH pada Adsorpsi Kation Unsur Hara Ca^{2+} dan K^+ oleh Silika dari Lumpur Lapindo*. Yogyakarta: Jurnal Penelitian Saintek Universitas Negeri Yogyakarta Vol. 20 No. 1
- Khalifaoui., Hassena, Meniai., Kerroum, Derbal. 2012. *Isotherm and Kinetics Study of Biosorption of Cationic Dye onto Banana Peel*. SciVerse Scencedirect: Energy Procedia 19 (2012) 286 – 295
- Kirk-Othmer. 1992. *Encyclopedia Chemical Technology 2nd ed, vol 12*. John Willy and Sons
- Knappe, D. R. U. 2006. *Surface Chemistry effects in activated carbon adsorption of industrial pollutants*. In Interface Science and Technology; Gayle, N., David, D., Eds.; Elsevier: Amsterdam; Chapter 9, Vol 10, pp 155-157
- Kurniasari, L., Riwayati, I., Suwardiyono.2012. *Pektin Sebagai Alternatif Bahan Baku Biosorben Logam Berat*. ft-UNWAHAS: Momentum, Vol. 8, No. 1 : 1- 5
- Kusmiyati., Lystanto, Puspita Adi., Pratiwi, Kunthi. 2012. *Pemanfaatan Karbon Aktif Arang Batubara (KAAB) Untuk Menurunkan Kadar Ion Logam Berat Cu^{2+} dan Ag^+ Pada Limbah Cair Industri*. Ejournal UNDIP Vol. 14, No. 1
- Lowell, S. And Joan E. Shields. 2004. *Powder Surface Area and Porosity*. New York: Chapman and Hall Ltd
- Mahato, Ram I, and Ajit S. Narang. 2011. *Pharmaceutical Dosage Forms and Drug Delivery*. London: CRC Press
- Marsh, Harry, dan Fransisco Rodriguez-Reinoso. 2006. *Activated Carbon 1st edition*. Great Britain: Elsevier Science
- McCabe, W., Smith, J.C., and Harriot, P., 1993. *Unit Operation of Chemical Engineering*. United States of America: McGraw Hill Book, Co
- Megawati, Ni Made Shinta., Putra, Anak Agung Bawa., Siabarani, J. 2013. *Pemanfaatan Arang Barang Pisang (Musa paradisiacal) utuk Menurunkan Kesadahan Air*. ISSN 1907-9850
- Metcalf, and Eddy. 2004. *Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse*. New Delhi: McGraw-Hill Book Company
- Nwabanne, J. T., & Igbokwe, P. K. (2008). *Kinetics and Equilibrium Modeling of Nickel Adsorption by Cassava Peel*. Journal of Engineering and Applied Science, 3(11), 829-834
- Osipow, Lloyd I. 1962. *Surface Chemistry : Theory and Industrial Application*. New York: Reinhold Publishing Cooperation

- Pathak, Pranav D., Mandavgane, Sachin. 2015. *Preparation and Characterization of Raw and Carbon from Banana peel by Microwave Activation : Application in Citric Acid Adsorption*. Elsevier: Journal of Environmental Chemical Engineering Volume 3, Issue 4, Part A pages 2435-2447
- Permanasari, Anna., Zackiyah. 2011. Adsorpsi Simultan KITOSAN-BENTONIT Terhadap Ion Logam dan Residu Pestisida dalam Air Minum dengan Teknik Batch. Jurnal Pendidikan Teknologi Kejuruan Vol. 2, No. 2
- Rahmadini, Tiara (2016) Modifikasi Kulit Salak Sebagai Adsorben Ion Tembaga (II). S1 Thesis, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UNY
- Riapanitra, Anung, T. Setyaningtyas dan K. Riyani. 2006. *Penentuan Waktu Kontak dan pH Optimum Penyerapan Metilen Biru Menggunakan Abu Sekam Padi*. J. Molekul 1(1): 41-44.
- Safi i, farhan fikri, dan mirtalis. 2013. *Pemanfaatan Limbah Padat Proses Sintesis Pembuatan Furfural dari Sekam Padi Sebagai Arang Aktif*. UNESA Journal of Chemistry Vol. 2 No. 2
- Seader, J.D., Henley, E.J., and Roper, D.K. 2011. *Separation Process Principles*. USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Sherly, Antintia dan Sari Edi Cahyaningrum. 2014. *Aktifasi Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata* L.) dengan H_2SO_4 dan Aplikasinya Sebagai Adsorben Ion Logam Cr(VI)*. UNESA Journal of Chemistry Vol. 3 No. 1
- Sikanna, Rismawaty. 2016. *Reduksi Ion Kalsium dalam Air Tanah Menggunakan Adsorben dari Kulit Pisang Kepok (*Musa normalis* L.)*. Kovalen, 2(1):70-74.
- Sivasankar, B. 2008. *Engineering Chemistry*. New Delhi: The McGraw-Hill Companies.
- Standar Nasional Indonesia, SNI 06-6989.12-2004, *Cara Uji Kesadahan Total Kalsium (Ca) dan Magnesium (Mg) Dengan Metode Titrimetri*.
- Brenes, Michael D. (Ed.). 2006. *Carbonization of Biomass Fuels*. Biomass and Bioenergy: New Research 91 - 123, ISBN 1-59454-865-X
- Widjajanti LFX, Endang, Marfuatun, dan Yuanita, Dewi. 2013. *Pola adsorpsi pewarna azo oleh biosorben dari kulit pisang*. J. Sains Dasar 2(2) (2013) 8 - 16