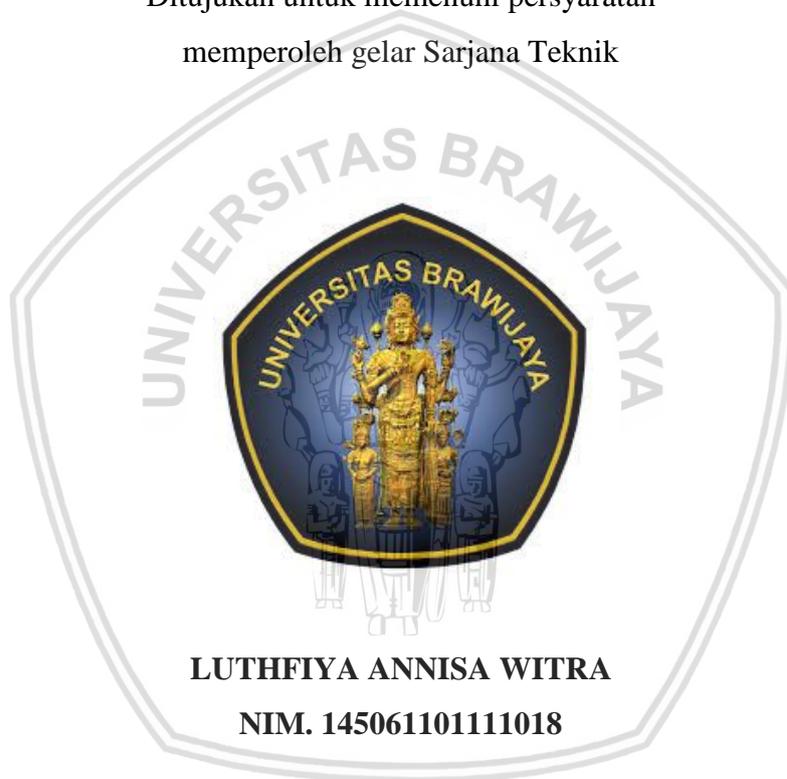


**PEMANFAATAN KARBON AKTIF DARI TONGKOL JAGUNG
UNTUK PENYISIHAN LOGAM Cr(VI)**

**SKRIPSI
TEKNIK KIMIA**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**LUTHFIYA ANNISA WITRA
NIM. 145061101111018**

**ELVIA SABELLA RAHMATILLAH
NIM. 145061101111029**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN
PEMANFAATAN KARBON AKTIF DARI TONGKOL JAGUNG UNTUK
PENYISIHAN LOGAM Cr(VI)

SKRIPSI
TEKNIK KIMIA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



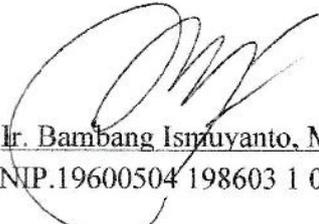
LUTHFIYA ANNISA WITRA
NIM. 145061101111018

ELVIA SABELLA RAHMATILLAH
NIM. 145061101111029

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 26 Oktober 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II


Ir. Bambang Ismuyanto, MS.
NIP.19600504 198603 1 003


A. S. Dwi Saptati Nur H., ST., MT.
NIK.201201 830827 2 001

Mengetahui,
Ketua Jurusan


Ir. Bambang Poerwadi, MS.
NIP.19600126 198603 1 001



IDENTITAS TIM PENGUJI

JUDUL SKRIPSI:

**PEMANFAATAN KARBON AKTIF DARI TONGKOL JAGUNG UNTUK
PENYISIHAN LOGAM Cr(VI)**

**Nama Mahasiswa / NIM : Luthfiya Annisa Witra / 145061101111018
Elvia Sabella Rahmatillah / 145061101111029**

Program Studi S1 : Teknik Kimia

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Ir. Bambang Ismuyanto, MS.
Dosen Penguji 2 : Ir. Bambang Poerwadi, MS.
Dosen Penguji 3 : Rama Oktavian, ST., M.Sc.

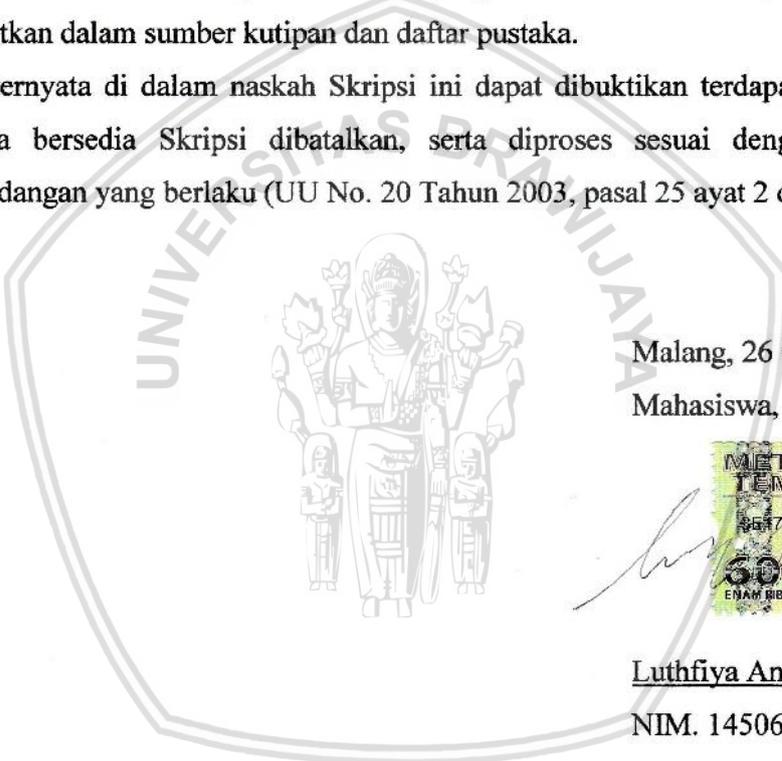
Tanggal Ujian : 8 Oktober 2018
SK Penguji : 2234/UN10.F07/SK/2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran 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, 26 Oktober 2018
Mahasiswa,



Luthfiya Annisa Witra
NIM. 145061101111018



TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA

SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 101/TEK/1100117.18/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

LITTIHERIYAN ANNISIA WETERA

Dengan Judul Skripsi :

Penamban dan Karbon Aktif dari Tongkol Jengeng untuk Penyisihan Logam Cr(VI) (Utilisation of Activated Carbon from Cassia Cof for Cr(VI) Metal Removal)

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 24.07.2018

Ketua Program Studi Teknik Kimia

Ir. Bambang Poerwadi, MS
NIP. 19600126 198603 1 001



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran 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, 26 Oktober 2018

Mahasiswa,



Elvia Sabella Rahmatillah

NIM. 145061101111029

TURNITIN



UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA

SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 102/EN10.102.14/PP/2018

Sertifikat ini diberikan kepada :

ELVIA SAHELIA RAHMATILLAH

Dengan Judul Skripsi :

Pemanfaatan Karbon Aktif dari Tongkol Jagung untuk Penyisihan Logam Cr(VI) (*Utilization of Activated Carbon from Corn Cobs for Cr(VI) Metal Removal*)

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal

Ketua Program Studi Teknik Kimia

Ir. Bambang Poerwadi, MS
NIP. 19600126 196603 1 001

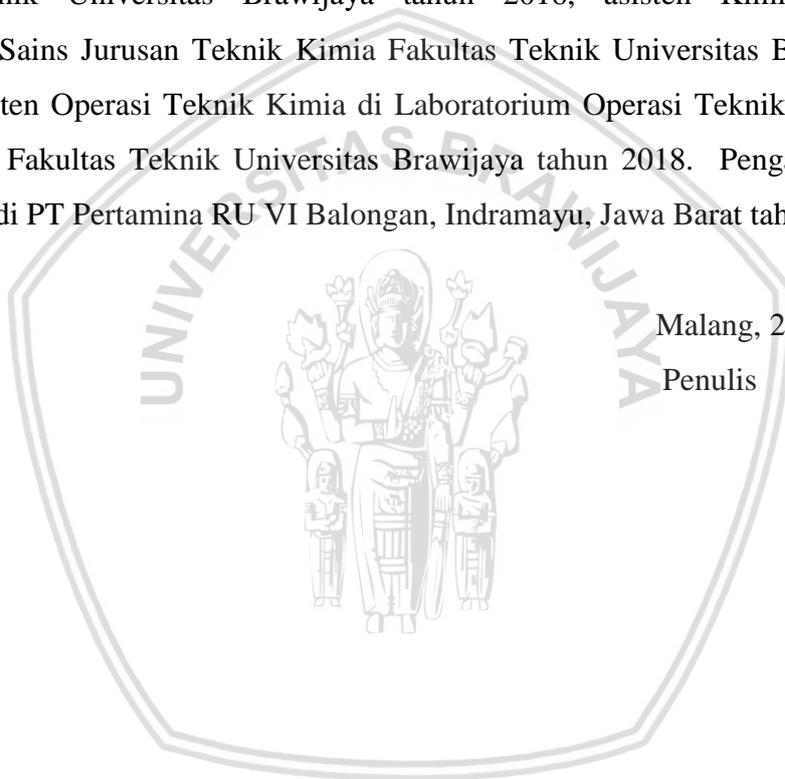


RIWAYAT HIDUP

Luthfiya Annisa Witra, Solok, 6 Oktober 1995, anak dari Ayah Ir. Wismardi dan Ibu Ratna Rasista, lulus dari SD Negeri Tanah Air tahun 2008, lulus dari SMP Negeri 25 Padang tahun 2011, lulus dari SMA Negeri 1 Padang tahun 2014, lulus program Sarjana Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2018. Pengalaman kerja sebagai asisten Mikrobiologi Industri di Laboratorium Teknik Bioproses Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2016, asisten Kimia Analisis di Laboratorium Sains Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2018, dan asisten Operasi Teknik Kimia di Laboratorium Operasi Teknik Kimia Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2018. Pengalaman Praktek Kerja Lapangan di PT Pertamina RU VI Balongan, Indramayu, Jawa Barat tahun 2017.

Malang, 26 Oktober 2018

Penulis



RIWAYAT HIDUP

Elvia Sabella Rahmatillah, Jombang 20 Maret 1996, anak dari Mohammad Sulthon dan Emi Suryani, lulus dari SDN Kauman 1 Malang, SMP Negeri 3 Malang, SMA Negeri 10 Malang, lulus program sarjana Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2018. Praktek Kerja Lapangan di PT. Petrokimia Gresik, Jawa Timur tahun 2017.

Malang, 26 Oktober 2018

Penulis



Teruntuk

Ayahanda dan Ibunda tercinta

Terima kasih atas segala curahan kasih sayang dan lantunan doa yang selalu mengalir mengiringi langkah ananda selama ini



RINGKASAN

Luthfiya Annisa Witra dan Elvia Sabella Rahmatillah, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Oktober 2018, *Pemanfaatan Karbon Aktif dari Tongkol Jagung untuk Penyisihan Logam Cr(VI)*, Dosen Pembimbing: Bambang Ismuyanto dan A.S. Dwi Saptati Nur Hidayati.

Kandungan logam Cr(VI) pada air limbah industri elektroplating dapat mencapai 117 mg/L. Kandungan tersebut masih jauh dari baku mutu air limbah untuk industri elektroplating, yaitu 0,1 mg/L, sehingga perlu dilakukannya penanganan lebih lanjut sebelum dilepas ke lingkungan. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengurangi kandungan logam Cr(VI) yaitu adsorpsi. Pada penelitian ini dilakukan adsorpsi menggunakan adsorben berupa karbon aktif dari limbah tongkol jagung. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pH terbaik pada kondisi asam (2, 3, 4, 5 dan 6) dan kecepatan pengadukan (100, 150, 200, 250 dan 300 rpm) terbaik pada proses adsorpsi.

Limbah tongkol jagung dikarbonisasi pada suhu 600°C selama 1 jam dengan adanya aliran gas nitrogen. Karbon selanjutnya diaktivasi menggunakan larutan HCl 4 M dengan pengadukan selama 24 jam, untuk melarutkan kandungan anorganik dan tar yang menutupi pori karbon. Adsorpsi dilakukan secara *batch* selama 20, 40, 60, 80, 100 dan 120 menit. Karbon dan karbon aktif dikarakterisasi melalui uji FTIR, kadar air, kadar abu, kadar zat yang mudah menguap, dan kadar karbon terikat.

Proses karbonisasi menghasilkan yield rata-rata sebesar 23,16%. Hasil uji karakteristik karbon dan karbon aktif meliputi kadar air 0,99% dan 1,47%, kadar abu 4,36% dan 2,26%, kadar zat yang mudah menguap 57,71% dan 52,82%, serta kadar karbon terikat 36,94% dan 42,98%. Karbon aktif yang dihasilkan memenuhi beberapa parameter baku mutu karbon aktif berdasarkan SNI diantaranya yaitu kadar air dan kadar abu, sementara untuk kadar zat yang mudah menguap dan kadar karbon terikat masih belum memenuhi SNI. Aktivasi menggunakan larutan HCl menghasilkan peningkatan intensitas gugus karbon-oksigen dan penurunan kandungan K₂O dari 81,8% menjadi 16,2%. Kondisi terbaik yang diperoleh dalam adsorpsi logam Cr(VI) yaitu pada pH 2 dan kecepatan pengadukan 200 rpm (60 menit), dengan hasil penyisihan 90,37%.

Kata kunci : adsorpsi, logam Cr(VI), pH, kecepatan pengadukan

SUMMARY

Luthfiya Annisa Witra dan Elvia Sabella Rahmatillah, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, September 2018, *Utilization of Activated Carbon from Corn Cob for Cr (VI) Metal Removal*, Supervisor: Bambang Ismuyanto dan A.S. Dwi Saptati Nur Hidayati.

The content of Cr (VI) metal in electroplating industrial wastewater can reach 117 mg/L. The content is still far from the wastewater quality standard for the electroplating industry, which is 0.1 mg/L, so that further handling is needed before it being released into the environment. One of several methods that can be used to reduce the metal content of Cr (VI) is adsorption. In this study adsorption was carried out using adsorbent in the form of activated carbon from corn cobs waste. This study aims to determine the best pH (2, 3, 4, 5 and 6) and the best stirring speed (100, 150, 200, 250 and 300 rpm) in the adsorption process.

Corn cob waste was carbonized at 600°C for 1 hour in the presence of nitrogen gas flow. Furthermore, the carbon will be activated using 4 M HCl solution in a stirred state for 24 hours, to dissolve the inorganic content and tar which cover the carbon pore. Adsorption is carried out in batches for 20, 40, 60, 80, 100 and 120 minutes. Carbon and activated carbon are characterized by FTIR test, water content, ash content, volatile matter content, and fixed carbon content.

The carbonization process produces an average yield of 23.16%. Characteristic of carbon and activated carbon include water content of 0.99% and 1.47%, ash content of 4.36% and 2.26%, volatile matter content of 57.71% and 52.82%, and fixed carbon content of 36.94% and 42.98%. Activated carbon produced fulfill several parameters of quality standards of activated carbon based on SNI, which are water content and ash content, while for volatile matter content and fixed carbon content still not fulfilling SNI. Activation using HCl solution, increased carbon-oxygen group intensity and decreased K₂O content from 81.8% to 16.2%. The best conditions, which were obtained in the adsorption of Cr (VI) metal, were at pH 2 and stirring speed of 200 rpm, in 60 minutes, with the removal of 90.37%.

Keywords : adsorption, Cr (VI) metal, pH, stirring speed

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Skripsi dengan judul “Pemanfaatan Karbon Aktif dari Tongkol Jagung untuk Penyisihan Logam Cr(VI)” dapat terselesaikan dengan baik berkat bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Ir. Bambang Poerwadi, MS., selaku Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
2. Ir. Bambang Ismuyanto, MS., selaku Dosen Pembimbing I mata kuliah Skripsi Rekayasa Lingkungan di jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya yang telah membimbing dan membantu penulis dalam proses pelaksanaan skripsi.
3. A.S. Dwi Saptati Nur H., ST., MT., selaku Dosen Pembimbing II mata kuliah Skripsi Rekayasa Lingkungan di jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya yang telah membimbing dan membantu penulis dalam proses pelaksanaan skripsi.
4. Agustina Rahayu, A.Md selaku PLP Laboratorium Sains di Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya yang telah membantu penulis dalam pelaksanaan penelitian skripsi.
5. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya yang telah membimbing dan memberikan ilmunya kepada penulis.
6. Seluruh staf Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya yang telah membantu dalam kelancaran pengurusan skripsi.
7. Orang tua dan saudara-saudara penulis atas doa, bimbingan, semangat serta perhatiannya selama ini.
8. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Teknik Kimia, terutama teman-teman Teknik Kimia angkatan 2014 serta pihak-pihak yang tidak penulis sebutkan, yang telah membantu, memberikan semangat serta doa kepada penulis selama ini.

Penulis mengharapkan kritik dan saran dari semua pihak demi kebaikan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak dan penulis sendiri. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Malang, 26 Oktober 2018

Penulis

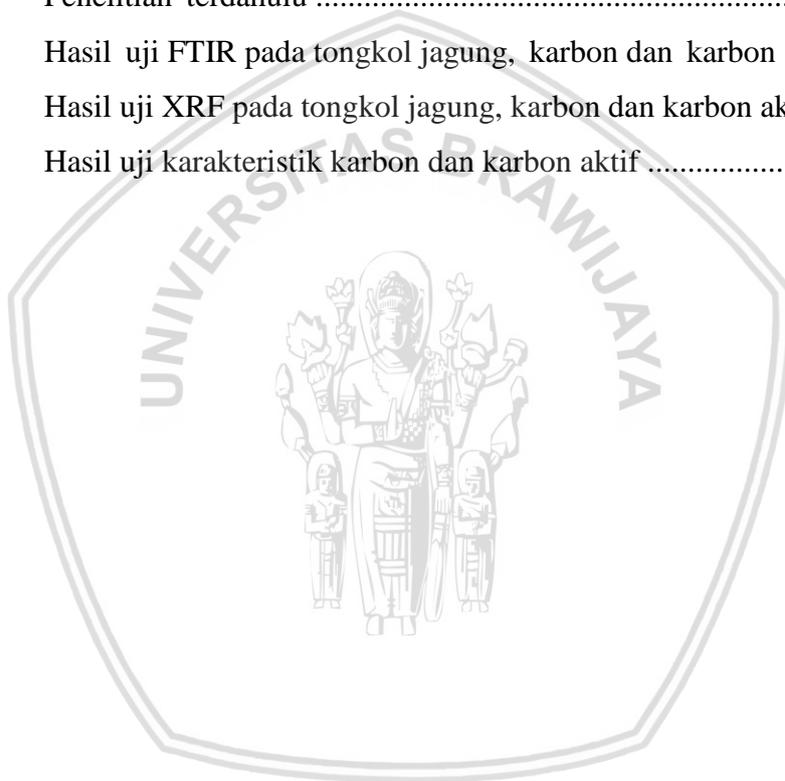
DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
DAFTAR SIMBOL	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 Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Tongkol Jagung	5
2.2 Kromium Heksavalen (Cr(VI))	6
2.3 Karbon Aktif	8
2.4 Jenis Karbon Aktif	9
2.5 Proses Pembuatan Karbon Aktif	10
2.6 Adsorpsi	12
2.7 Adsorpsi <i>Batch</i>	15
2.8 Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi	15
2.9 Penelitian Terdahulu	19
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Tempat Penelitian	21
3.2 Variabel Penelitian	21
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	21
3.3.1 Alat Penelitian	21
3.3.2 Bahan Penelitian	22
3.3.3 Rangkaian Alat	23
3.4 Prosedur Penelitian	23
3.4.1 Persiapan Tongkol Jagung	23

3.4.2	Karbonisasi Tongkol Jagung	25
3.4.3	Aktivasi Karbon Menggunakan Larutan HCl	26
3.4.4	Pembuatan Limbah Sintetis Larutan Cr(VI)	29
3.4.5	Proses Adsorpsi	29
3.4.6	Penentuan Panjang Gelombang dan Kurva Standar Larutan Cr(VI) menggunakan Spektrofotometer UV-Vis	31
3.4.7	Analisa Kandungan Cr(VI) dengan Spektrofotometer UV-Vis	33
3.5	Analisa Karbon dan Karbon Aktif	35
3.5.1	FTIR (<i>Fourier Transform InfraRed</i>)	35
3.5.2	XRF (<i>X-Ray Fluorescence</i>)	35
3.5.3	Kandungan Air (SNI 06-3730-1995)	35
3.5.4	Kandungan Abu (ASTM D 3838-80)	37
3.5.5	Kandungan Zat yang Mudah Menguap (<i>Volatile Matter</i>) (SNI 06-3730-1995)	38
3.5.6	Kandungan Karbon Terikat (<i>Fixed Carbon</i>)	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		41
4.1	Hasil (<i>Yield</i>) Proses Karbonisasi Tongkol Jagung	41
4.2	Karakteristik Karbon dan Karbon Aktif	44
4.3	Pengaruh pH Awal Larutan terhadap Penyisihan Logam Cr(VI)	49
4.4	Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap Penyisihan Logam Cr(VI) ..	51
4.5	Pengaruh Waktu Kontak terhadap Penyisihan Logam Cr(VI)	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		57
5.1	Kesimpulan	57
5.2	Saran	57
DAFTAR PUSTAKA		59
LAMPIRAN		65

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Komposisi serat Tongkol Jagung Hibrida Pioneer 21	6
Tabel 2.2	Komposisi unsur anorganik pada tongkol jagung	6
Tabel 2.3	Baku mutu karbon aktif. berdasarkan SNI 06-3730.-1995	9
Tabel 2.4	Perbedaan adsorpsia fisika dan adsorpsi kimia	14
Tabel 2.5	Penelitian terdahulu	19
Tabel 4.1	Hasil uji FTIR pada tongkol jagung, karbon dan karbon aktif	43
Tabel 4.2	Hasil uji XRF pada tongkol jagung, karbon dan karbon aktif	44
Tabel 4.3	Hasil uji karakteristik karbon dan karbon aktif	45



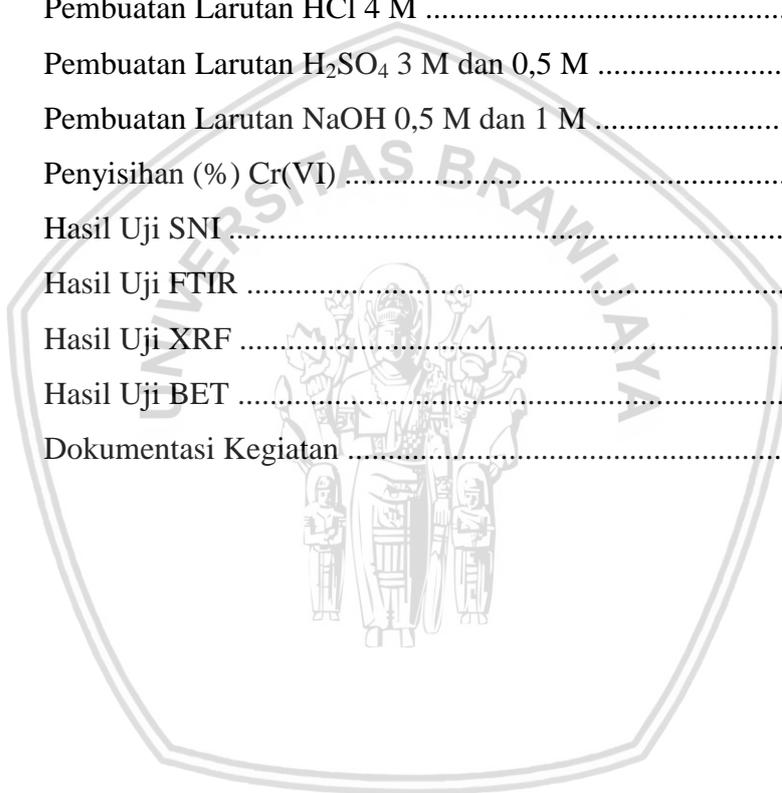
DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Persebaran bentuk Cr(VI) dalam air sebagai fungsi pH dan konsentrasi Cr(VI)	7
Gambar 2.2	Proses adsorpsi	15
Gambar 3.1	Rangkaian alat proses karbonisasi	23
Gambar 3.2	Diagram alir proses persiapan tongkol jagung	24
Gambar 3.3	Diagram alir proses karbonisasi tongkol jagung	25
Gambar 3.4	Diagram alir proses pengecilan ukuran karbon	26
Gambar 3.5	Diagram alir proses pembuatan larutan HCl 4 M	27
Gambar 3.6	Diagram alir proses aktivasi karbon menggunakan HCl 4 M	28
Gambar 3.7	Diagram alir proses pembuatan limbah sintesis larutan Cr(VI) 120 mg/L	29
Gambar 3.8	Diagram alir proses adsorpsi	30
Gambar 3.9	Diagram alir proses penentuan panjang gelombang dan kurva standar larutan Cr(VI) menggunakan Spektrofotometer UV-Vis	32
Gambar 3.10	Diagram alir proses analisa kandungan Cr(VI) dengan Spektrofotometer UV-Vis	34
Gambar 3.11	Diagram alir proses analisa kandungan air	36
Gambar 3.12	Diagram alir proses analisa kandungan abu	37
Gambar 3.13	Diagram alir proses analisa kandungan zat yang mudah menguap	39
Gambar 4.1	Hasil uji FTIR pada tongkol jagung dan karbon	42
Gambar 4.2	Hasil uji FTIR pada karbon dan karbon aktif	48
Gambar 4.3	Grafik hubungan pH awal larutan terhadap persen penyisihan logam Cr(VI), pada kecepatan pengadukan 200 rpm	49
Gambar 4.4	Grafik hubungan kecepatan pengadukan terhadap persen penyisihan logam Cr(VI) pada pH 2	52
Gambar 4.5	Grafik hubungan waktu kontak terhadap persen penyisihan logam Cr(VI) pada berbagai pH awal larutan Cr(VI) dan kecepatan pengadukan	54



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran A.	Pembuatan Limbah Sintetis Larutan Cr(VI) 120 mg/L	65
Lampiran B.	Penentuan Panjang Gelombang Cr(VI)	66
Lampiran C.	Kurva Kalibrasi Cr(VI)	67
Lampiran D.	Hasil (<i>Yield</i>) Karbonisasi Tongkol Jagung	68
Lampiran E.	Pembuatan Larutan HCl 4 M	70
Lampiran F.	Pembuatan Larutan H ₂ SO ₄ 3 M dan 0,5 M	71
Lampiran G.	Pembuatan Larutan NaOH 0,5 M dan 1 M	72
Lampiran H.	Penyisihan (%) Cr(VI)	73
Lampiran I.	Hasil Uji SNI	85
Lampiran J.	Hasil Uji FTIR	89
Lampiran K.	Hasil Uji XRF	92
Lampiran L.	Hasil Uji BET	95
Lampiran M.	Dokumentasi Kegiatan	103



DAFTAR SIMBOL

Besaran	Satuan dan Singkatan	Simbol
Volume	mililiter atau mL, liter atau L	V
Konsentrasi	<i>part per million</i> atau ppm atau mg/L	C
Massa	gram atau g, miligram atau mg	m
Waktu	menit	t
Kecepatan pengadukan	<i>rotation per minute</i> atau rpm	ω
Massa atom relatif	g/gmol	Ar
Massa molekul relatif	g/gmol	Mr
Derajat Keasaman	-	pH
Panjang Gelombang	nm	λ
Absorbansi	-	Abs
Transmitansi	persen atau %	T
Massa jenis	kg/L	ρ
Molaritas	mol/L	M
Normalitas	mol ekivalen/L	N
Temperatur	Derajat celcius atau °C	T
Panjang	<i>centimeter</i> atau cm, meter atau m	l

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kromium memiliki berbagai kegunaan pada industri logam dan kimia, salah satunya industri electroplating (Jacobs dan Testa, 2004). Penggunaan kromium pada industri electroplating menghasilkan air limbah dengan kandungan logam Cr(VI) yang dapat mencapai 117 mg/L (Chhikara dan Dhankhar, 2008). Kandungan logam Cr(VI) pada air limbah ini masih jauh dari baku mutu air limbah untuk industri pelapisan logam (electroplating) yang dimuat dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014, yaitu sebesar 0,1 mg/L. Menurut USEPA dan Agensi Internasional untuk Penelitian Kanker (IARC), logam Cr(VI) diklasifikasikan sebagai zat karsinogenik. Logam Cr(VI) dapat menimbulkan beberapa penyakit seperti kanker, asma, pneumonia, bronkitis, inflamasi dan iritasi kulit (Kumar dan Peter, 2014). Sehingga air limbah yang mengandung sejumlah logam Cr(VI) ini perlu diolah lebih lanjut.

Berbagai metode dapat digunakan dalam penyisihan logam Cr(VI) pada air limbah, salah satunya metode adsorpsi. Adsorpsi memiliki beberapa keuntungan dari segi desain operasi, ketersediaan adsorben dan regenerasi adsorben (Roy dkk., 2017). Adsorpsi merupakan proses pemisahan atom, molekul, atau ion dari fasa *aqueous* atau gas yang kemudian tertahan pada permukaan zat padat dengan adanya ikatan kimia atau fisika (Jenne, 1998). Proses adsorpsi dikenal dengan penggunaan adsorben yang mahal. Akan tetapi saat ini telah dikembangkan adsorben dengan biaya yang lebih murah. Adsorben tersebut dapat berasal dari limbah industri, limbah pertanian, maupun bahan biologis (Adrian dkk., 2017).

Tongkol jagung merupakan salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai adsorben dalam bentuk karbon aktif, karena mengandung komponen utama pembentuk karbon yang terdiri dari selulosa sekitar 61,41% dan lignin sekitar 19,89% (Darliah, 2008). Berdasarkan Direktorat Jenderal Tanaman Pangan (2016, 2017) produksi jagung dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan, sehingga keberadaan tongkol jagung sebagai limbah cukup melimpah. Dengan total produksi jagung sebesar 23,578 juta ton pada tahun 2016 dapat dihasilkan tongkol jagung sebanyak 1,65 juta ton.

Karbon dapat diaktivasi secara kimiawi dengan menggunakan larutan HCl. Aktivasi menggunakan HCl dapat meningkatkan luas permukaan karbon dengan melarutkan pengotor seperti K, Fe, Ca, Mg dan Na yang terdapat pada karbon (Viswanathan dkk., 2009). Berdasarkan penelitian sebelumnya, aktivator HCl menghasilkan daya serap iodin yang lebih baik dibandingkan aktivator lain seperti H₂SO₄ dan HNO₃ (Rizky, 2015). Selain itu, HCl merupakan *dehydrating agent* (agen pendehidrasi) sehingga dapat mengurangi kadar air pada karbon aktif yang dihasilkan (Alfiandy dkk., 2013).

Adsorpsi dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya seperti kecepatan pengadukan dan pH. Pada penelitian Berihun (2017), dilakukan penyisihan Cr(VI) dengan menggunakan sekam kopi. Berdasarkan penelitian Berihun, penyisihan Cr(VI) meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan pengadukan dan dapat menghasilkan peningkatan penyisihan hingga mencapai 98,2 % pada kecepatan pengadukan 200 rpm. Menurut penelitian Silase dkk. (2017), pH juga berpengaruh terhadap penyisihan Cr(VI) karena akan mempengaruhi spesi ion Cr(VI) yang terbentuk dan muatan permukaan dari adsorben. Oleh karena itu maka dilakukan peninjauan lebih lanjut untuk mengetahui pH dan kecepatan pengadukan terbaik untuk penyisihan logam Cr(VI) menggunakan karbon aktif dari tongkol jagung yang diaktivasi secara kimiawi menggunakan larutan HCl.

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa pH terbaik pada kondisi asam (pH 2, 3, 4, 5, dan 6) untuk penyisihan logam Cr(VI) dengan menggunakan karbon aktif tongkol jagung?
2. Berapa kecepatan pengadukan terbaik, dari kondisi yang divariasikan (100, 150, 200, 250, dan 300 rpm), untuk penyisihan logam Cr(VI) dengan menggunakan karbon aktif tongkol jagung?

1.3 Pembatasan Masalah

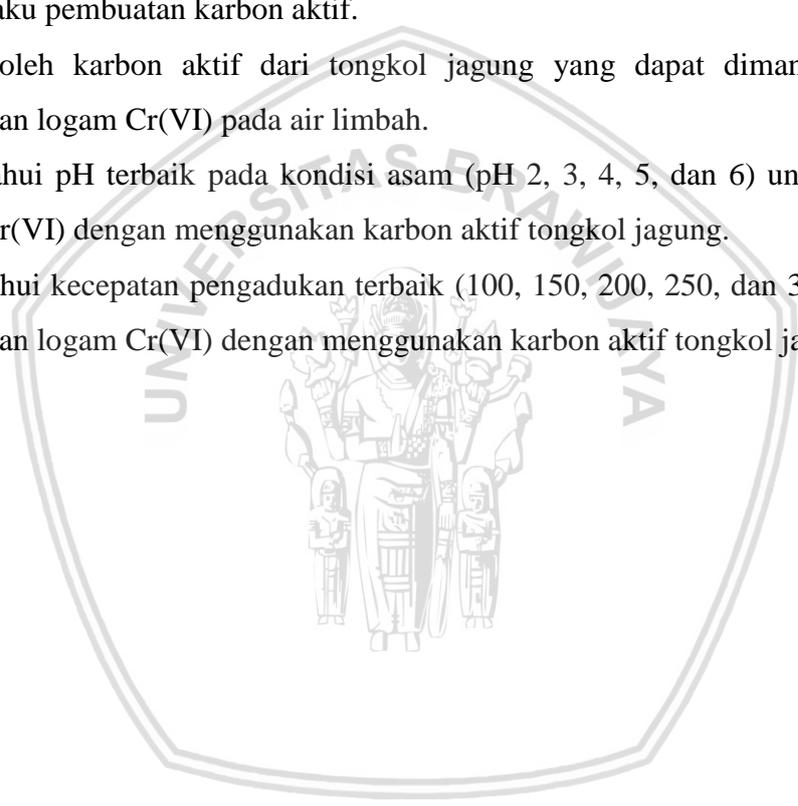
1. Tongkol jagung yang digunakan diambil dari limbah pertanian di Jombang, Jawa Timur.
2. Larutan sampel yang digunakan merupakan limbah cair sintetis industri elektroplating, yang disintesis dari kalium dikromat (K₂Cr₂O₇) dengan konsentrasi 120 mg/L.
3. Karbon diaktivasi menggunakan aktivator kimia berupa larutan HCl 4 M.
4. Adsorpsi dilakukan secara *batch*.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pH terbaik pada kondisi asam (pH 2, 3, 4, 5, dan 6) untuk penyisihan logam Cr(VI) dengan menggunakan karbon aktif tongkol jagung.
2. Mengetahui kecepatan pengadukan terbaik, dari kondisi yang divariasikan (100, 150, 200, 250, dan 300 rpm), untuk penyisihan logam Cr(VI) dengan menggunakan karbon aktif tongkol jagung.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Mengurangi limbah tongkol jagung dengan meningkatkan nilai gunanya sebagai bahan baku pembuatan karbon aktif.
2. Memperoleh karbon aktif dari tongkol jagung yang dapat dimanfaatkan untuk penyisihan logam Cr(VI) pada air limbah.
3. Mengetahui pH terbaik pada kondisi asam (pH 2, 3, 4, 5, dan 6) untuk penyisihan logam Cr(VI) dengan menggunakan karbon aktif tongkol jagung.
4. Mengetahui kecepatan pengadukan terbaik (100, 150, 200, 250, dan 300 rpm) untuk penyisihan logam Cr(VI) dengan menggunakan karbon aktif tongkol jagung.





Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tongkol Jagung

Jagung (*Zea mays L.*) merupakan salah satu tanaman pangan penghasil karbohidrat yang penting di dunia (Suwandi, 2015). Di Indonesia tanaman ini menjadi tanaman pangan utama kedua setelah padi (Redaksi AgroMedia, 2007). Sebagai sumber karbohidrat, sebagian masyarakat memanfaatkan jagung untuk makanan pokok sehari-hari. Oleh karena itu, tak heran apabila kebutuhan jagung dari tahun ke tahun terus mengalami peningkatan (Kementerian Pertanian, 2015).

Sentra produksi jagung di Indonesia selama 2011-2015 terdistribusi di sepuluh provinsi dengan total kontribusi sebesar 89,47% terhadap total produksi Indonesia. Kontribusi terbesar produksi jagung nasional berasal dari Provinsi Jawa Timur yaitu sebesar 30,93% (Suwandi, 2015). Produksi jagung di Indonesia pada tahun 2005-2015 mengalami pertumbuhan positif dengan rata-rata pertumbuhan sebesar 6,05% per tahun (Kementerian Pertanian, 2015). Berdasarkan Direktorat Jenderal Tanaman Pangan (2016, 2017), total produksi jagung di Indonesia pada tahun 2015 yaitu sebesar 19,612 juta ton dan pada tahun 2016 sebesar 23,578 juta ton, dengan peningkatan sebesar 16,82%. Sebesar 7% dari jagung merupakan bagian tongkol (S., 2015), artinya dengan total produksi sebesar 23,578 juta ton dapat diperoleh tongkol jagung sebanyak 1,65 juta ton.

Tongkol jagung merupakan limbah dari buah jagung setelah diambil kulit luar dan bijinya (Yuliusman dan Rahman, 2009). Tongkol jagung biasanya digunakan untuk pakan ternak dan tujuan pemanasan, disamping itu saat ini telah banyak peneliti yang membuat karbon aktif dari tongkol jagung dengan menggunakan teknik pengaktifan yang berbeda (Garg dkk., 2015). Pemanfaatan karbon aktif berbasis biomassa tongkol jagung dapat menghindari polusi sekunder yang disebabkan oleh pembuangan tongkol jagung dan juga mendapatkan jenis adsorben berbiaya rendah.

Salah satu varietas jagung di Indonesia yaitu Jagung Hibrida Pioneer 21. Jagung jenis ini memiliki tinggi tanaman ± 210 cm, dengan rata-rata hasil produksi 6,1 ton/ha pipilan kering. Jagung Hibrida Pioneer 21 memiliki tongkol jagung yang besar, panjang dan silindris. Keunggulan jagung jenis ini yaitu batangnya cukup kokoh dan memiliki

perakaran baik sehingga cukup tahan terhadap kerobohan, serta tahan terhadap karat daun dan bercak daun kelabu *C. zea-maydis* (Kementerian Pertanian, 2012). Tongkol jagung jenis ini memiliki kandungan abu sekitar 1,76%. Komposisi utama dari Tongkol Jagung Hibrida Pioneer 21 disajikan pada tabel 2.1, serta komposisi unsur anorganik pada tongkol jagung disajikan pada tabel 2.2.

Tabel 2.1 Komposisi serat Tongkol Jagung Hibrida Pioneer 21

Analisis	Nilai (%)
Kadar selulosa	61,41
Kadar lignin	19,89
Kadar bahan lainnya	19,04

Sumber: Darliah (2008)

Tabel 2.2 Komposisi unsur anorganik pada tongkol jagung

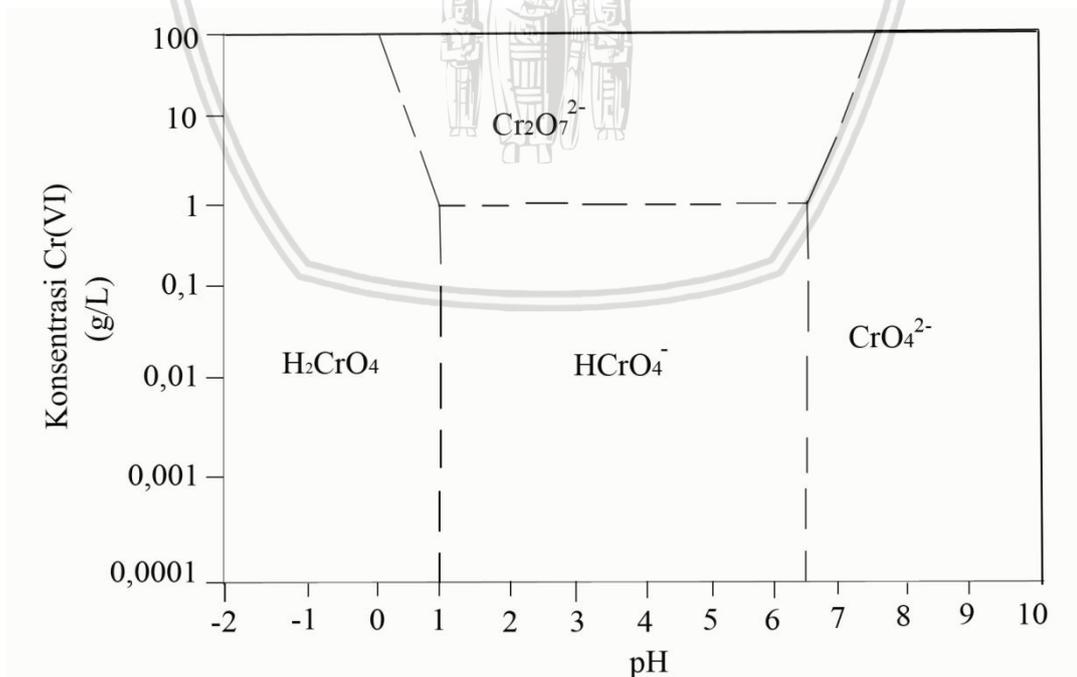
Unsur Anorganik	Kandungan (g/kg)
Si	5,33
Al	0,18
Fe	0,08
Ca	0,23
Mg	0,55
Na	0,1
K	10,38
Ti	0,003
Mn	0,01
P	1,11
Ba	0,11
Sr	0,002
S (anorganik)	0,14

Sumber: Lee dan Shah (2013)

2.2 Kromium Heksavalen (Cr(VI))

Kromium merupakan salah satu material yang memiliki berbagai kegunaan dalam industri logam dan kimia. Paduan kromium dapat meningkatkan ketahanan logam terhadap benturan, korosi, dan oksidasi. Kromium digunakan dalam produksi paduan baja anti karat dan non besi untuk pelapisan logam, pengembangan pigmen, pemrosesan kulit, produksi katalis, perlakuan permukaan, dan refraktori (Jacobs dan Testa, 2004).

Kromium merupakan unsur logam yang memiliki beberapa bentuk oksidasi yang stabil, diantaranya yaitu Cr(II), Cr(III), dan Cr(VI). Akan tetapi dalam perairan, kromium ditemukan dalam bentuk Cr(III) dan Cr(VI) (Brandhuber, 2004). Menurut USEPA dan Agensi Internasional untuk Penelitian Kanker (IARC), Cr(VI) diklasifikasikan sebagai zat karsinogenik, sementara Cr(III) 300 kali kurang toksik dibandingkan Cr(VI). Cr(III) terdapat sebagai kation dan kompleks hidroksida yang tidak larut dalam air. Sementara itu Cr(VI) terdapat dalam bentuk anion kromat ($\text{HCrO}_4^- / \text{CrO}_4^{2-}$) atau dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$). Kedua bentuk anion tersebut sangat larut dalam air dan pembentukannya tergantung pada pH larutan. Pada konsentrasi yang rendah ($\text{pH} < 1$), Cr(VI) terdapat dalam air sebagai asam kromat diprotik, H_2CrO_4 . Dalam perairan normal terdapat dua macam *oxyanion* Cr(VI) yang mendominasi, yaitu monovalen HCrO_4^- pada $\text{pH} < 6,5$ dan divalen CrO_4^{2-} pada $\text{pH} > 6,5$. Sementara itu bentuk lainnya berupa dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), yang mendominasi pada konsentrasi $> 1000 \text{ mg/L}$ (Gambar 2.1) (Brandhuber, 2004). Reaksi hidrolisis Cr(VI) dapat digambarkan sebagai berikut (Park dan Jang, 2002),



Gambar 2.1 Persebaran bentuk Cr(VI) dalam air sebagai fungsi pH dan konsentrasi Cr(VI)
Sumber: Brandhuber (2004)

Jika dilihat dari sumber keberadaannya Cr(VI) dapat bersumber dari alam maupun dari kegiatan manusia. Cr(VI) bersifat larut dalam air, dengan tampak fisik berwarna kuning-*orange*, tidak berbau (Era, 2015), serta memiliki jari-jari 0,04 nm (Guertin dkk., 2005).

Cr(VI) diduga sebagai salah satu penyebab kanker dan kontaminan pada tanah, air permukaan, dan air tanah (Jacobs dan Testa, 2004). Paparan Cr(VI) yang berlebihan dapat menyebabkan beberapa penyakit diantaranya iritasi hidung, gangguan sistem pernafasan, kanker paru, iritasi kulit (ulserasi), dermatitis, dan luka bakar (Harbison dkk., 2015). Cr(VI) dapat masuk ke dalam tubuh melalui air permukaan atau air tanah yang dikonsumsi serta dapat melalui kegiatan mandi atau mencuci. Cr(VI) dalam bentuk kromat (CrO_4^{2-}) akan masuk ke aliran darah melalui kulit kemudian menghancurkan sel darah merah, sehingga terjadi keracunan pada darah. Selain itu juga dapat melalui pernafasan, terkait dengan paparan ketika pada proses industri seperti pada proses pengelasan, pemotongan, pemanasan pada perpaduan kromium dan proses lainnya (Jacobs dan Testa, 2004).

2.3 Karbon Aktif

Karbon aktif adalah bahan karbon amorf dengan tingkat porositas yang tinggi dan luas permukaan antar-partikel yang besar. Karbon aktif merupakan adsorben yang khas dengan berbagai kegunaan yang digunakan secara luas untuk menghilangkan bau, warna, rasa dan pengotor organik dan anorganik yang tidak diinginkan dari limbah industri dan domestik, pemulihan pelarut, pemurnian udara, pengolahan makanan, dan industri kimia (Bansal dan Goyal, 2005).

Karbon aktif mengandung unsur utama berupa karbon, yaitu sekitar 85% hingga 95%. Selain mengandung karbon, karbon aktif juga tersusun dari hidrogen, oksigen, sulfur dan nitrogen. Heteroatom tersebut berasal dari bahan baku dan dapat juga berasal dari tahapan persiapan karbon seperti pada proses aktivasi (Bansal dan Goyal, 2005).

Karena adsorpsi adalah proses permukaan, luas permukaan merupakan parameter utama yang menggambarkan kualitas karbon aktif. Karbon aktif memiliki luas permukaan internal berkisar $10^2 - 10^3 \text{ m}^2/\text{g}$, dengan luas permukaan eksternal yang biasanya kurang dari $1 \text{ m}^2/\text{g}$ (Worch, 2012). Peningkatan luas permukaan karbon aktif dipengaruhi oleh ukuran pori. Berdasarkan ukuran porinya, karbon aktif diklasifikasikan menjadi (Bansal dan Goyal, 2005):

1. Mikropori

Karbon aktif dengan ukuran mikropori memiliki jari-jari pori $< 2 \text{ nm}$. Karbon aktif ini umumnya memiliki volume pori sebesar $0,15 - 0,70 \text{ cm}^3/\text{g}$ dengan luas permukaan pori

sekitar 95% dari total luas permukaan karbon. Pada beberapa karbon aktif, struktur mikropori dibagi menjadi dua jenis yaitu mikropori spesifik yang memiliki jari-jari pori efektif lebih kecil dari 0,6 - 0,7 nm dan super mikropori yang memiliki jari-jari 0,7 - 1,6 nm.

2. Mesopori

Karbon aktif dengan ukuran mesopori memiliki jari-jari pori 2 - 50 nm. Karbon aktif ini umumnya memiliki volume pori sebesar 0,1 - 0,2 cm³/g dengan luas permukaan pori kurang dari 5% dari total luas permukaan karbon.

3. Makropori

Karbon aktif dengan ukuran makropori memiliki jari-jari pori > 50 nm. Karbon aktif ini memiliki volume pori sebesar 0,2 - 0,4 cm³/g.

Karbon aktif berdasarkan Standar Nasional Indonesia memiliki kualitas sebagai berikut,

Tabel 2.3 Baku mutu karbon aktif berdasarkan SNI 06-3730-1995

Uraian	Prasyarat Mutu	
	Butiran	Serbuk
Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C (%)	Maksimal 15	Maksimal 25
Kadar air (%)	Maksimal 4,5	Maksimal 15
Kadar abu (%)	Maksimal 2,5	Maksimal 10
Karbon aktif murni (%)	Minimal 80	Minimal 65

Sumber: SNI 06-3730-1995

2.4 Jenis Karbon Aktif

Karbon aktif dapat digunakan dalam berbagai bentuk, diantaranya yaitu:

1. Bentuk Serbuk (*Powdered*)

Karbon aktif dalam bentuk serbuk umumnya memiliki ukuran partikel yang lebih halus, sekitar 44 µm (Bansal dan Goyal, 2005). Berdasarkan *American Water Work Association Standard* karbon aktif dalam bentuk serbuk merupakan karbon yang lolos ayakan 0,297 mm sedangkan jika berdasarkan ASTM D5158 yaitu karbon yang lolos ayakan 0,1777 mm (Cecen dan Aktas, 2011). Karbon aktif dalam bentuk ini memungkinkan terjadinya adsorpsi lebih cepat, tapi sulit ditangani ketika digunakan pada *fixed bed* karena dapat menyebabkan penyumbatan pada *fixed bed* dan masalah dalam regenerasi *bed* (Bansal dan Goyal, 2005). Karbon aktif serbuk banyak digunakan untuk pengolahan limbah cair dan pengolahan air minum (Cecen dan Aktas, 2011).

2. Bentuk Butiran (*Granulated*)

Karbon aktif dalam bentuk butiran umumnya memiliki partikel sebesar 0,6 - 4 mm. Karbon aktif jenis ini bersifat keras, tahan abrasi dan relatif padat untuk menahan kondisi operasi. Karbon aktif jenis ini tidak menyebabkan masalah hidrodinamika yang tinggi, serta lebih mudah diregenerasi dan dapat digunakan kembali. Karbon aktif jenis ini dapat dibentuk menjadi modul yang berfungsi sebagai *absorber bed*, yang dapat dihilangkan setelah jenuh dan diregenerasi dengan perlakuan panas dalam uap pada suhu 200 – 800°C untuk menyerap organik dan kontaminan lainnya (Bansal dan Goyal, 2005). Karbon aktif dalam bentuk butiran banyak diaplikasikan untuk proses pengolahan air minum, pengolahan limbah cair dan menghilangkan senyawa organik beracun (Cecen dan Aktas, 2011).

3. Bentuk Berserat (*Fibrous*)

Karbon aktif dalam bentuk serat merupakan karbon aktif berbahan mahal yang biasanya digunakan untuk pengolahan limbah cair. Karbon aktif jenis ini memiliki keunggulan yaitu, kemampuan untuk mudah dibentuk ke dalam bentuk sistem adsorpsi dan menghasilkan resistansi hidrodinamik yang rendah (Bansal dan Goyal, 2005).

2.5 Proses Pembuatan Karbon Aktif

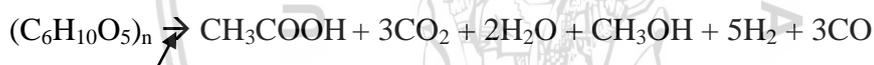
Produksi karbon aktif melibatkan dua tahapan utama yaitu karbonisasi bahan baku pada suhu dibawah 800°C dengan kondisi tanpa udara dan aktivasi produk karbonisasi (Bansal dan Goyal, 2005).

1. Proses Karbonisasi

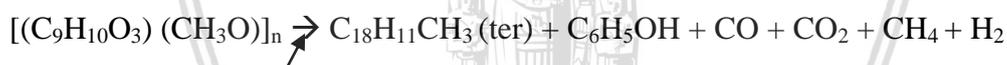
Karbonisasi merupakan proses pirolitik (pirolisis lambat) dari konversi termokimia bahan yang mengandung karbon dengan kondisi laju pemanasan yang lambat dan tanpa adanya udara. Tujuan karbonisasi yaitu untuk menghasilkan tingkat produksi arang yang lebih tinggi. Selama karbonisasi komponen utama dari biomassa (selulosa, hemiselulosa, dan lignin) mulai terurai menjadi volatil primer, tar dan arang. Dekomposisi dimulai dengan pecahnya ikatan alifatik yang lemah, yang merupakan jembatan antara metilena dan oksigen yang terkait dengan struktur aromatik. Sebagai hasilnya, senyawa volatil primer dilepaskan sebagai gugus radikal yang sangat reaktif (Brenes, 2006).

Proses karbonisasi diawali dengan dehidrasi bahan baku, yaitu dengan penguapnya kandungan air pada suhu dibawah 100°C. Penguraian dimulai sebagai reaksi endotermik pada suhu diatas 100°C dengan pelepasan senyawa terhidrasi yang terikat kuat dan volatil primer, biasanya sampai suhu 250°C kemudian berlanjut sebagai reaksi eksotermik. Dekomposisi hemiselulosa terjadi pada suhu 190-320°C. Hemiselulosa merupakan komponen kayu yang paling tidak stabil dan sangat reaktif membentuk *yield* arang sekitar 30% berat. Sementara itu dekomposisi selulosa terjadi pada suhu 280-400°C. Selulosa merupakan komponen dengan tingkat dekomposisi tertinggi, karena merupakan pemecahan termal dari gula. Proses termal dekomposisi selulosa menghasilkan sejumlah besar volatil dan akibatnya membentuk *yield* arang yang rendah. Kemudian dekomposisi lignin terjadi pada kisaran suhu yang paling tinggi yaitu pada 320-450°C. Umumnya, lignin menghasilkan *yield* arang yang paling tinggi yaitu 45-50% berat (Brenes, 2006). Pada suhu pemanasan 500-1000°C, terjadi peningkatan pembentukan karbon dan dihasilkan produk samping berupa karbon monoksida dan uap air. Berikut merupakan reaksi yang terjadi pada proses karbonisasi (Rosalina dkk., 2016),

Reaksi penguraian selulosa



Reaksi penguraian lignin



Pada proses karbonisasi, residu dari atom karbon akan terpolimerisasi menjadi tumpukan lembaran sistem aromatik yang saling terhubung secara acak. Karena susunan lembaran sistem aromatik tidak beraturan antara satu dengan lainnya maka akan terbentuk celah atau rongga. Selama proses karbonisasi, rongga ini nantinya akan dipenuhi oleh produk uraian, biasanya berupa ter, atau karbon yang tidak terorganisir, sehingga sulit untuk diakses. Keadaan seperti ini akan menurunkan performa dari karbon yang dihasilkan. Untuk meningkatkan performa karbon tersebut maka karbon perlu diaktivasi agar ruang antara lembar aromatik dapat terbentuk (terbuka) kembali, sehingga menghasilkan banyak pori dengan berbagai ukuran yang menyebabkan luas permukaan karbon jadi meningkat (Bansal dan Goyal, 2005).

2. Aktivasi

Aktivasi merupakan proses lanjutan yang dilakukan untuk merubah sifat fisika maupun kimia dari karbon, agar kemampuan adsorpsi suatu karbon aktif meningkat (Yulianti dkk., 2010). Terdapat dua macam aktivasi yaitu aktivasi fisika (termal) dan aktivasi kimia.

Aktivasi fisika melibatkan oksidasi parsial dari *char* dengan menggunakan *steam*, karbon dioksida atau udara sebagai agen pengaktivasi. Bahan baku yang telah dikarbonisasi akan dikontakkan dengan agen pengaktivasi pada suhu lebih dari 250°C, umumnya pada rentang suhu 600°C - 1200°C untuk mengembangkan porositas dan luas permukaan (Gupta, 2008).

Aktivasi kimia memiliki beberapa kelebihan yaitu dapat menggunakan suhu yang lebih rendah, biasanya hanya terdiri dari satu tahapan proses dan *yield* yang dihasilkan lebih tinggi. Namun, aktivasi kimia juga memiliki kelemahan yaitu membutuhkan tambahan pencucian dan agen aktivasi kimia memiliki sifat yang lebih korosif jika dibandingkan dengan aktivasi fisika yang menggunakan *steam* dan karbon dioksida (Titirici, 2013).

Proses aktivasi kimia dilakukan dengan merendam karbon dengan agen aktivator kimia (Yulianti dkk., 2010). Setelah aktivasi kimia dilakukan pencucian untuk menghilangkan agen kimia dan produk reaksi anorganik. Karbon aktif yang telah dicuci lalu dikeringkan (Bandosz, 2006). Aktivator kimia yang dapat digunakan diantaranya yaitu kalsium klorida (CaCl_2), kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), asam klorida (HCl), natrium klorida (NaCl), magnesium klorida (MgCl_2), asam fosfat (H_3PO_4), asam nitrat (HNO_3), seng klorida (ZnCl_2) dan lain lain (Hayati dkk., 2016).

Asam klorida (HCl) sebagai aktivator memiliki sifat higroskopis yang dapat mengurangi kadar air pada karbon aktif yang dihasilkan. Selain itu HCl efektif untuk melarutkan logam pengotor seperti alkali (Na, K), alkalin (Ca, Mg) dan logam transisi (Fe), yang tidak dapat dihindari pada karbon dari bahan lignoselulosa, sehingga membuat luas permukaan karbon jadi lebih besar dan penyerapan adsorbat semakin maksimal (Viswanathan dkk., 2009).

2.6 Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses yang sangat penting dalam bidang geokimia diantaranya seperti penghilangan kontaminan dari tanah dan air permukaan yang digunakan untuk air minum, dan dalam banyak proses rekayasa kimia lainnya. Adsorpsi diartikan sebagai

proses pemisahan atom, molekul, atau ion dari fasa *aqueous* atau gas yang kemudian tertahan pada permukaan zat padat dengan adanya ikatan kimia atau fisika. Sementara itu menurut Langmuir (1918), adsorpsi merupakan proses kimia yang terjadi akibat adanya kesamaan ikatan kimia antara adsorben dengan ikatan zat terlarut yang tidak terpenuhi ketika berkontak dengan pelarut (Jenne, 1998).

Pada proses adsorpsi, material atau zat padat yang menyediakan permukaan untuk adsorpsi disebut sebagai adsorben, sedangkan spesies yang akan teradsorpsi disebut sebagai adsorbat. Dalam pengolahan air, adsorpsi telah terbukti sebagai proses pemindahan yang efisien untuk berbagai zat terlarut. Molekul atau ion akan terpisahkan dari larutan kemudian terserap ke permukaan zat padat. Permukaan zat padat dicirikan oleh situs aktif, situs kaya energi yang dapat berinteraksi dengan zat terlarut karena sifat elektronik dan spasialnya yang spesifik. Biasanya, situs aktif memiliki energi yang berbeda, dimana permukaannya sangat heterogen (Worch, 2012).

Adsorpsi dapat dikategorikan sebagai:

1. Adsorpsi Fisika (*Physisorption*)

Adsorpsi fisika terjadi karena adanya gaya *van der Waals* (interaksi dipol-dipol, gaya dispersi, gaya induksi), yang merupakan interaksi (antarmolekul) yang relatif lemah. Entalpi adsorpsi pada adsorpsi fisika sebagian besar kurang dari 50 kJ/mol (Worch, 2012). Adsorpsi fisika bersifat tidak spesifik, dimana penyerapan molekulnya tidak secara khusus terjadi pada situs aktif permukaan dimana adsorbat terserap (Hayes & Mmbaga, 2013).

2. Adsorpsi Kimia (*Chemisorption*)

Adsorpsi kimia didasarkan pada reaksi kimia antara adsorbat dan situs permukaan, dan energi interaksinya berada dalam urutan entalpi reaksi yang besar (> 50 kJ/mol) (Worch, 2012). Adsorpsi kimia melibatkan terbentuknya ikatan kimia antara adsorbat dengan adsorben. Ikatan kimia yang terbentuk menyebabkan molekul adsorbat hanya akan terserap pada lokasi yang sangat spesifik di permukaan, yang disebut sebagai situs aktif (Hayes & Mmbaga, 2013).

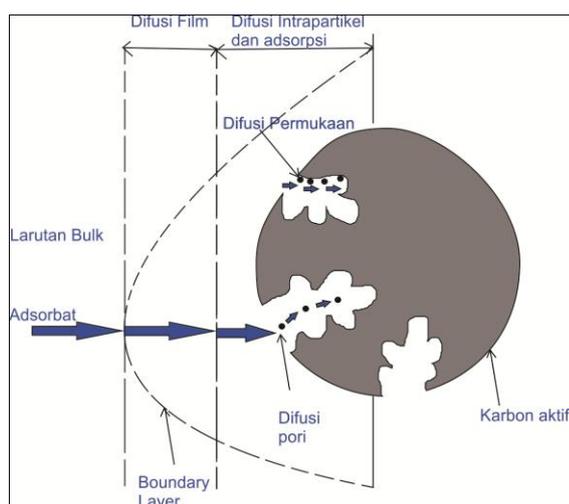
Tabel 2.4 Perbedaan adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia

Uraian	Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
Cakupan	<i>Monolayer</i> atau <i>multilayer</i>	<i>Monolayer</i>
Sifat adsorpsi	Non-disosiatif dan reversibel	Sering disosiatif, mungkin ireversibel
Spesifisitas ke situs adsorpsi	Tidak spesifik	Sangat spesifik
Rentang suhu	Mendekati atau di bawah titik kondensasi gas	Tak terbatas
Ketergantungan suhu terhadap penyerapan (dengan peningkatan suhu)	Menurun	Meningkat
Entalpi adsorpsi	5 – 40 kJ/mol	40 – 800 kJ/mol
Kinetika adsorpsi	Cepat	Sangat bervariasi, seringkali lamban
Desorpsi	Mudah, dengan menurunkan tekanan atau meningkatkan suhu	Sulit, diperlukan suhu yang tinggi untuk memutuskan ikatan
Macam pelepasan	Adsorbat tidak berubah	Adsorbat dapat berubah

Sumber: Cecen dan Aktas (2011)

Tahapan dari proses adsorpsi dapat digambarkan dengan empat langkah (Worch, 2012):

1. Pengangkutan adsorbat dari fasa *bulk liquid* (kumpulan cairan) ke *hydrodynamic boundary layer* (lapisan batas hidrodinamik) yang terlokalisasi di sekitar adsorben.
2. Difusi film/eksternal
Pengangkutan adsorbat melewati *boundary layer* menuju ke permukaan eksternal adsorben.
3. Difusi *intraparticle* / internal
Pengangkutan adsorbat ke bagian internal partikel adsorben dengan berdifusi di dalam pori (difusi pori) dan atau dengan berdifusi dalam keadaan teradsorpsi di sepanjang permukaan internal (difusi permukaan).
4. Interaksi energik antara molekul adsorbat dengan situs akhir adsorpsi (situs aktif).



Gambar 2.2 Proses adsorpsi
Sumber: Cecen dan Aktas (2011)

2.7 Adsorpsi *Batch*

Adsorpsi secara *batch* digunakan untuk melakukan penyerapan zat terlarut pada fasa *aqueous*, dengan kandungan zat yang ingin diserap relatif dalam jumlah yang sedikit.

Tahapan yang dilakukan pada adsorpsi secara *batch* yaitu (Cecen dan Aktas, 2011):

1. Penambahan larutan umpan (adsorbat) pada adsorben yang terdapat di dalam bejana.
2. Proses adsorpsi.
3. Pemisahan larutan dari adsorben setelah waktu kesetimbangan.
4. Pemulihan (pemisahan) adsorbat yang terserap dari adsorben.

Zat terlarut berdifusi dari *bulk liquid* ke bagian eksternal permukaan partikel adsorben sebelum proses adsorpsi yang sebenarnya dimulai. Proses adsorpsi biasanya lambat dan membutuhkan waktu untuk mencapai kesetimbangan (Cecen dan Aktas, 2011).

2.8 Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Adsorpsi menggunakan karbon aktif dipengaruhi oleh beberapa faktor (Cecen dan aktas, 2011) (Worch, 2012) (Tang dkk., 2016) (Patel dan Vashi, 2015) (Hadjmohammadi dkk., 2010) (Khalaf, 2016) (Bergmann & Machado, 2015):

1. Luas Permukaan Adsorben

Tingkat adsorpsi sebanding dengan luas permukaan spesifik. Luas permukaan spesifik merupakan luas permukaan total yang tersedia untuk adsorpsi. Tetapi biasanya yang paling mempengaruhi yaitu luas permukaan internal. Peningkatan luas permukaan internal dapat dicapai dengan meningkatkan volume mikropori. Adsorben yang lebih halus dan lebih berpori menghasilkan lebih banyak penyerapan per satuan berat adsorben.

2. Sifat Fisika dan Kimia Adsorbat

a. Tingkat kelarutan zat terlarut

Pada larutan dengan kelarutan yang tinggi, ikatan zat terlarut dengan pelarut lebih kuat daripada gaya tarik antara zat terlarut dengan adsorben, sehingga kemampuan adsorpsinya lemah.

b. Polaritas adsorbat

Zat terlarut polar lebih mudah diserap oleh adsorben polar, begitu pula dengan zat terlarut nonpolar lebih mudah teradsorpsi oleh adsorben nonpolar. Karbon aktif menyerap molekul nonpolar lebih baik daripada molekul polar. Peningkatan kelarutan mencerminkan afinitas yang lebih besar antara zat terlarut dan pelarut, dan bertindak untuk melawan daya tarik yang diberikan oleh karbon. Akibatnya, setiap perubahan yang meningkatkan kelarutan dapat dikaitkan dengan pengurangan adsorbabilitas. Dengan demikian, gugus polar (dicirikan oleh afinitas untuk air) biasanya mengurangi adsorpsi dari larutan.

c. Konstanta disosiasi asam lemah dan basa lemah

Tingkat ionisasi ditentukan oleh konstanta disosiasi. Kemampuan adsorpsi dalam bentuk ion dan molekul berbeda, dimana molekul teradsorpsi jauh lebih baik dibandingkan dengan ion. Konstanta disosiasi yang lebih besar menghasilkan jumlah ion yang lebih besar, yang biasanya tidak teradsorpsi pada karbon aktif.

3. pH

Secara umum, adsorpsi fasa *aqueous* menggunakan karbon aktif meningkat dengan penurunan pH. Pada pH yang rendah terjadi netralisasi muatan negatif pada permukaan karbon. Netralisasi muatan negatif mengurangi hambatan terhadap difusi dan menyebabkan situs adsorpsi lebih aktif. Efek ini bervariasi tergantung jenis dan teknik aktivasi karbon aktif. Perbedaan nilai pH juga mungkin timbul karena sifat asam atau basa permukaan gugus fungsional pada karbon aktif. pH dapat mengendalikan muatan permukaan adsorben dan dapat mempengaruhi derajat ionisasi atau disosiasi dari molekul adsorbat (Tahergorabi dan Hosseini, 2015). pH juga akan mempengaruhi spesies ion yang ada dalam larutan sehingga akan mempengaruhi terjadinya interaksi ion dengan situs aktif adsorben (Nirmala dkk, 2015).

4. Suhu

Adsorpsi melibatkan hubungan spesifik antara sifat karbon aktif dan zat terlarut. Oleh karena itu, efek kuantitatif suhu tidak sama pada semua karbon dan zat terlarut. Tingkat adsorpsi akan meningkat dengan menurunkan suhu karena reaksi adsorpsi bersifat eksotermik. Namun, kenaikan suhu juga meningkatkan laju difusi zat terlarut ke situs adsorpsi, yang pada akhirnya menyebabkan peningkatan adsorpsi.

5. Porositas Adsorben

Kinerja adsorpsi sangat bergantung pada kondisi aksesibilitas permukaan internal. Sifat yang sangat penting dan menentukan dari bahan adsorben adalah struktur pori. Jumlah total pori, bentuk dan ukurannya menentukan kapasitas adsorpsi dan bahkan laju adsorpsi. Pentingnya pori-pori dalam proses adsorpsi sangat bergantung pada ukurannya. Sebagian besar adsorben padat memiliki struktur kompleks yang terdiri dari pori-pori dengan berbagai ukuran dan bentuk. Luas permukaan spesifik dari makropori sangat kecil, sehingga adsorpsi pada permukaan biasanya diabaikan. Sedangkan adsorpsi pada mikropori, ukuran mikropori dan molekul adsorbat biasanya sebanding sehingga seluruh atom atau molekul dari adsorben dapat berinteraksi dengan adsorbat. Volume pori menjadi parameter utama yang mengontrol adsorpsi pada mikropori.

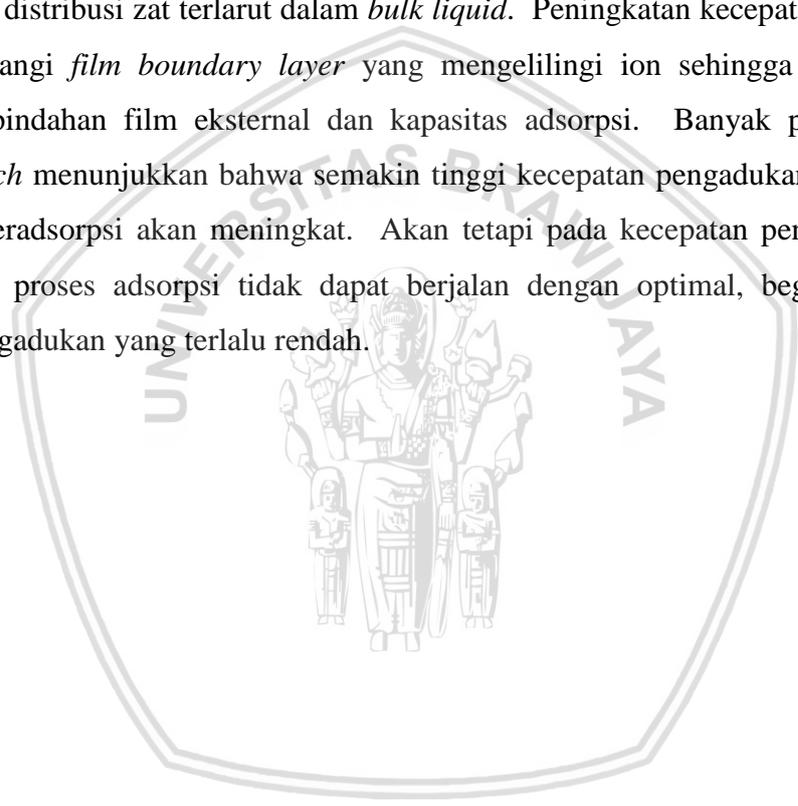
6. Karakteristik Kimia Permukaan

Kinerja adsorpsi bergantung pada karakteristik kimia permukaan adsorben. Heterogenitas permukaan karbon aktif secara signifikan berperan terhadap kapasitas adsorpsi. Heterogenitas permukaan karbon muncul karena adanya permukaan gugus oksigen. Walaupun gugus oksigen dalam jumlah yang relatif kecil, gugus tersebut tetap akan mempengaruhi sifat permukaan seperti keasaman permukaan, polaritas atau hidrofobisitas, dan muatan permukaan. Peningkatan jumlah gugus fungsional permukaan yang mengandung oksigen meningkatkan polaritas permukaan karbon. Gugus fungsional yang mengandung banyak oksigen (seperti gugus karbonil, fenolik, karboksilat dan ether siklik) pada permukaan adsorben dapat menyediakan banyak lokasi adsorpsi kimia dan dengan demikian meningkatkan kemampuan adsorpsi. Akan tetapi, kehadiran gugus oksigen heterogen pada permukaan karbon juga dapat mengurangi kapasitas adsorpsi karena selektivitas permukaan karbon untuk air meningkat (adsorpsi air ke gugus ini terjadi melalui ikatan hidrogen). Gugus air yang terserap dapat mencegah akses polutan ke daerah hidrofobik pada permukaan karbon, sehingga mengurangi energi interaksi antara polutan

dan permukaan karbon, serta menghalangi akses polutan ke mikropori. Dalam hal ini, ion anorganik dapat teradsorpsi karena adanya interaksi dengan gugus fungsi permukaan karbon aktif tapi tingkat adsorpsinya dibawah zat organik, karena teradsorpsi oleh gaya dispersi dan interaksi hidrofobik.

7. Pengadukan

Pengadukan merupakan parameter penting dalam adsorpsi, khususnya pada sistem adsorpsi *batch*. Pada dasarnya pengadukan memfasilitasi difusi ion logam ke permukaan adsorben. Kecepatan pengadukan dapat mempengaruhi *external boundary film* (batas film eksternal) dan distribusi zat terlarut dalam *bulk liquid*. Peningkatan kecepatan pengadukan dapat mengurangi *film boundary layer* yang mengelilingi ion sehingga meningkatkan koefisien perpindahan film eksternal dan kapasitas adsorpsi. Banyak penelitian pada pengujian *batch* menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan pengadukan maka jumlah logam yang teradsorpsi akan meningkat. Akan tetapi pada kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi, proses adsorpsi tidak dapat berjalan dengan optimal, begitu pula pada kecepatan pengadukan yang terlalu rendah.



2.9 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.5 Penelitian terdahulu

No.	Nama	Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Rahayu dan Adhitiya warman (2014)	<p>Adsorpsi ion Fe 5 mg/L (100 mL) menggunakan adsorben tongkol jagung yang diaktivasi HCl 4 M dan 0,1 M.</p> <p>Variabel:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pH: 4,5, 5, 5,5, 6 dan 6,5 - Massa adsorben: 1,25, 1,5, 1,75 dan 2 g - Waktu kontak: 30, 60, 90 dan 120 menit 	<p>Kondisi optimum untuk adsorpsi ion Fe terjadi pada:</p> <p>massa adsorben = 1,75 g waktu kontak = 30 menit pH = 6,5.</p> <p>- Kapasitas adsorpsi Fe yang diperoleh pada, aktivasi HCl 4 M = 192,2 mg/g aktivasi HCl 0,1 M = 87,2 mg/g</p>
2.	Garg dkk. (2015)	<p>Penyisihan Cr(VI) menggunakan adsorben tongkol jagung yang diaktivasi NaOH, dengan variabel:</p> <ul style="list-style-type: none"> - pH: 2-9 (dosis adsorbent = 10g/l) - Konsentrasi awal larutan Cr(VI): 72, 136, 216, 288, dan 360 mg/l - Waktu kontak: 15, 30, 45, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 720, 1080 dan 1440 menit 	<p>- Penyisihan Cr(VI) maksimum terjadi pada pH 3 (75%).</p> <p>- Pada pH di atas 3, penyisihan akan menurun secara perlahan.</p> <p>- Kapasitas adsorpsi meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal, sedangkan penyisihan Cr(VI) akan berkurang dengan meningkatnya konsentrasi awal.</p> <p>- Pada waktu kontak 1080 menit penyisihan Cr(VI) berada pada kondisi <i>steady state</i>, dengan waktu setimbang pada 360 menit.</p>

No.	Nama	Penelitian	Hasil Penelitian
3.	Berihun (2017)	Penyisihan Cr(VI) menggunakan adsorben sekam kopi diaktivasi H_3PO_4 , dengan variabel: - pH: 2 – 8 - Konsentrasi awal: 80–300 mg/L - Kecepatan pengadukan: 90, 100, 120, 150, 200 rpm (pada konsentrasi kromium 100 mg/L) - Dosis adsorben: 0,5 , 1 , 1,5 , 2,5, 3 g (pada konsentrasi kromium 100 mg/L)	- Penyisihan Cr(VI) mencapai 98,2 % yaitu pada: pH = 2 Kecepatan pengadukan = 200 rpm Dosis adsorben = 3 g - Pada konsentrasi awal 300 mg/L, penyisihan Cr(VI) turun menjadi 57,11%.
4.	Kumar dan Jena (2017)	Adsorpsi Cr(VI) menggunakan adsorben kulit kacang diaktivasi $ZnCl_2$, dengan variabel: - Kecepatan pengadukan: 90 - 170 rpm - pH: 2 - 7 - Waktu kontak: 0 - 180 menit	- Penyisihan Cr(VI) terbaik pada: Kecepatan pengadukan = 150 rpm (88,5%) - pH = 2 (85,35%) - Penyisihan Cr(VI) meningkat secara cepat hingga waktu 20 menit, dan waktu kesetimbangan dicapai pada waktu 60 menit.

BAB III METODE PENELITIAN

Penelitian “Pemanfaatan Karbon Aktif dari Tongkol Jagung untuk Penyisihan Logam Cr(VI)” dilakukan dalam skala laboratorium. Tahapan yang dilakukan meliputi persiapan tongkol jagung, karbonisasi tongkol jagung, aktivasi karbon menggunakan larutan HCl, pembuatan limbah sintesis larutan Cr(VI), penentuan panjang gelombang dan kurva standar larutan Cr(VI) menggunakan spektrofotometer UV-Vis, analisa kandungan Cr(VI) dengan spektrofotometer UV-Vis, dan analisa karbon dan karbon aktif.

3.1 Tempat Penelitian

Penelitian “Pemanfaatan Karbon Aktif dari Tongkol Jagung untuk Penyisihan Logam Cr(VI)” dilaksanakan di Laboratorium Sains, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang. Analisa FTIR (*Fourier Transform InfraRed*) dan XRF (*X-Ray Fluorescence*) dilaksanakan di Laboratorium Sentral (Laboratorium Mineral dan Material Maju), Jurusan Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Malang.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini:

1. pH awal larutan Cr(VI), dengan pH 2, 3, 4, 5, dan 6.
2. Kecepatan pengadukan adsorpsi, dengan kecepatan pengadukan 100, 150, 200, 250 dan 300 rpm.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian:

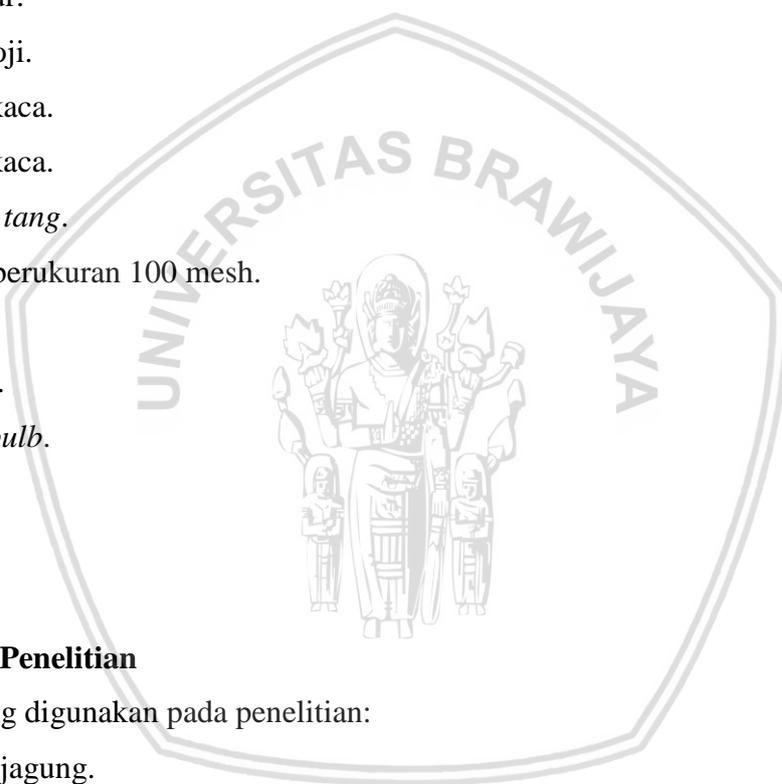
1. Oven.
2. *Tray dryer*.
3. Rangkaian alat proses karbonisasi (Gambar 3.1).
4. pH meter.
5. Lemari asam.
6. *Hot plate* dan *magnetic stirrer*.

7. Spektrofotometer UV-Vis.
8. *Furnace*.
9. Neraca analitik.
10. Desikator.
11. *Mortar dan pastle*.
12. Cawan porselen dan tutup.
13. Labu ukur.
14. Gelas beker.
15. Pipet tetes.
16. Pipet ukur.
17. Kaca arloji.
18. Spatula kaca.
19. Corong kaca.
20. *Crucible tang*.
21. Ayakan berukuran 100 mesh.
22. Loyang.
23. Saringan.
24. *Rubber bulb*.
25. Pisau.
26. Ember.

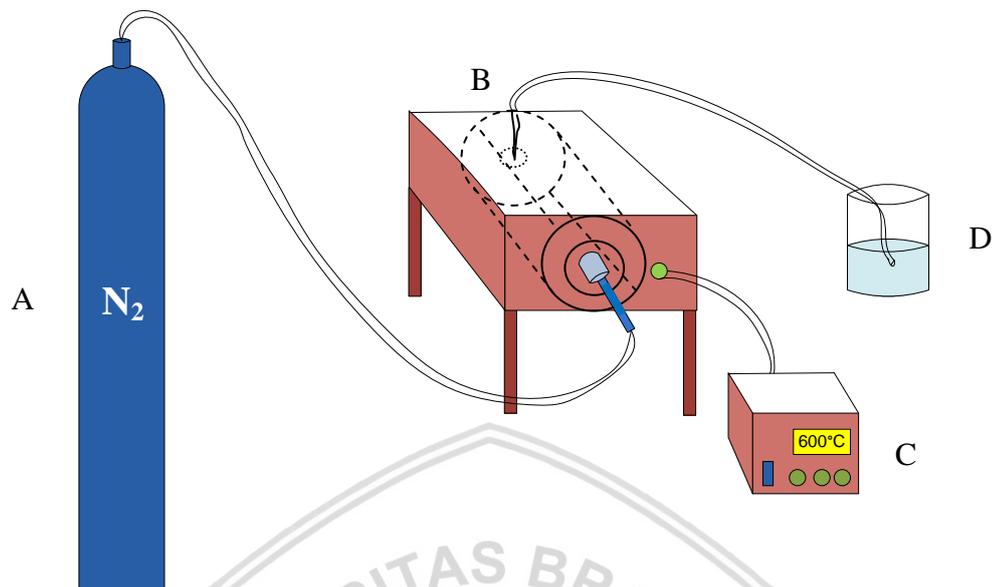
3.3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian:

1. Tongkol jagung.
2. Akuades.
3. $K_2Cr_2O_{7(s)}$.
4. $NaOH_{(s)}$.
5. H_2SO_4 98% wt.
6. HCl 37% (v/v).
7. *1,5-diphenylcarbazine*.
8. H_3PO_4 85% wt.
9. *Acetone* (> 99%, v/v).
10. Gas N_2 .
11. Kertas saring.



3.3.3 Rangkaian Alat



Gambar 3.1 Rangkaian alat proses karbonisasi

dimana:

- A = Tabung gas nitrogen
- B = Reaktor karbonisasi (panjang = 26,5 cm, diameter = 5 cm, volume = 520,06 cm³)
- C = Termokopel
- D = Gas trap

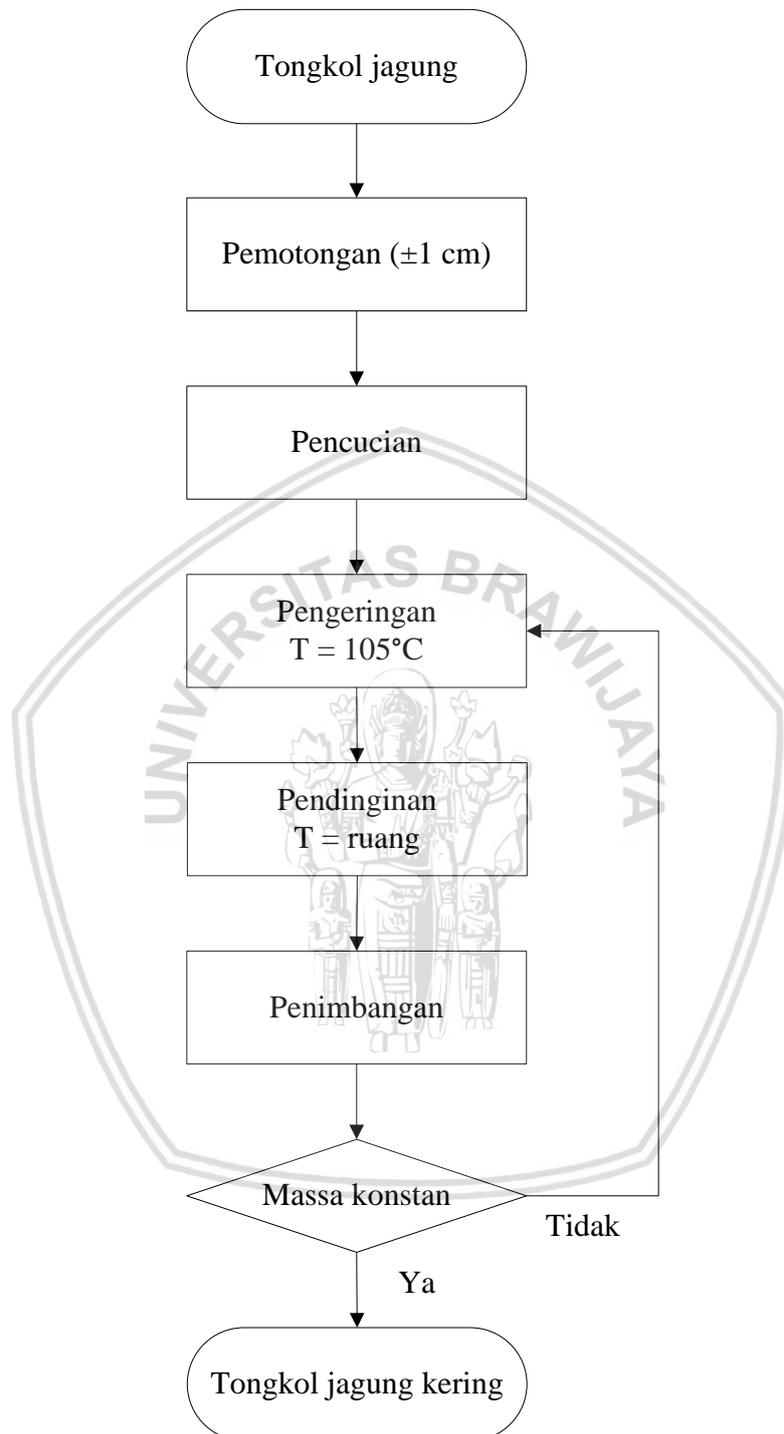
3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Persiapan Tongkol Jagung

Proses persiapan tongkol jagung dilakukan sebagai berikut:

1. Tongkol jagung dipotong menjadi ukuran yang lebih kecil (± 1 cm), kemudian dicuci menggunakan air mengalir.
2. Tongkol jagung yang telah dipotong dikeringkan menggunakan *tray dryer* pada suhu 105°C.
3. Tongkol jagung didinginkan di dalam desikator hingga mencapai suhu ruang.
4. Melakukan penimbangan tongkol jagung menggunakan neraca analitik. Jika selisih massa tongkol jagung sebelum dan setelah pengeringan masih jauh (massa belum konstan), maka dilakukan pengeringan kembali (poin 2).

Berikut merupakan diagram alir proses persiapan tongkol jagung,



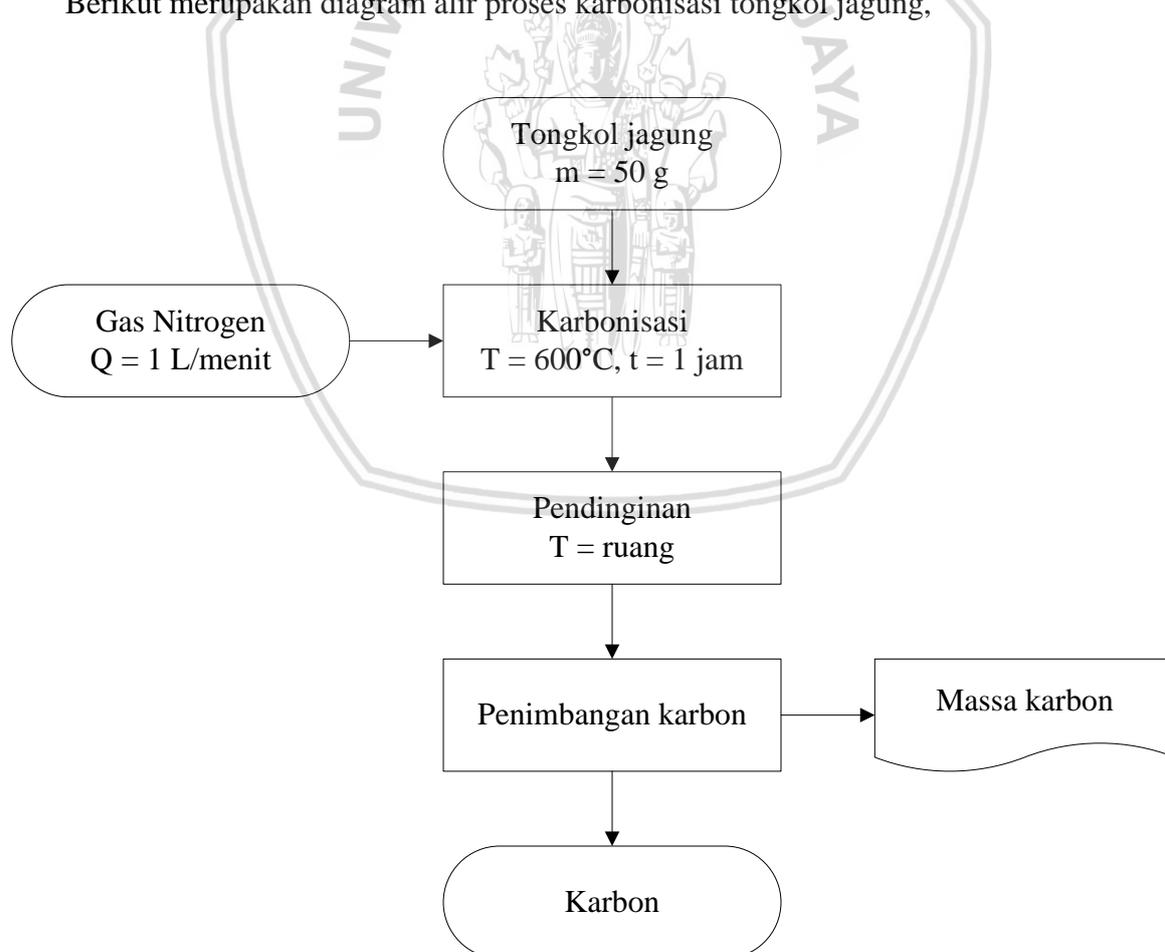
Gambar 3.2 Diagram alir proses persiapan tongkol jagung

3.4.2 Karbonisasi Tongkol Jagung

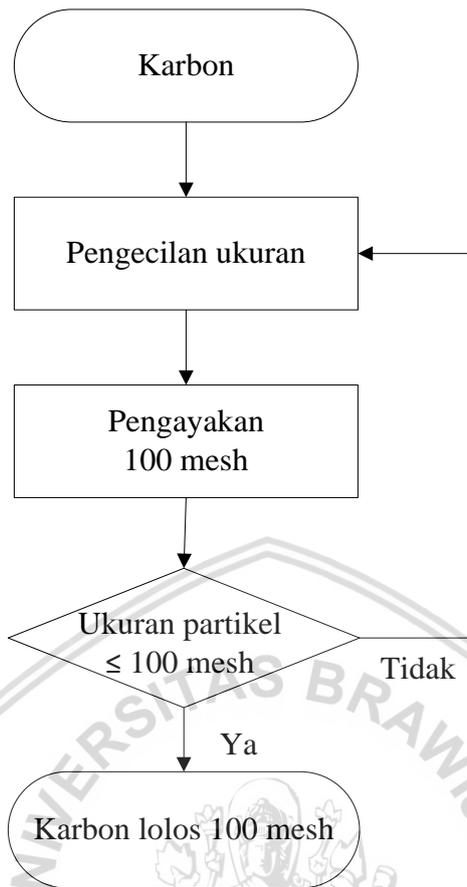
Proses karbonisasi tongkol jagung dilakukan sebagai berikut:

1. Tongkol jagung kering sebanyak 50 g dimasukkan ke dalam reaktor karbonisasi (Gambar 3.1).
2. Melakukan proses karbonisasi pada suhu 600°C selama 1 jam, dalam keadaan dialiri gas nitrogen.
3. Karbon hasil karbonisasi tongkol jagung didinginkan di dalam desikator hingga mencapai suhu ruang.
4. Melakukan penimbangan karbon menggunakan neraca analitik.
5. Melakukan pengecilan ukuran karbon dengan cara digerus untuk mendapatkan karbon dengan ukuran yang lebih kecil (halus).
6. Karbon diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Karbon yang lolos ayakan 100 mesh akan digunakan untuk proses selanjutnya, sementara karbon yang tidak lolos ayakan digerus kembali (poin 5).

Berikut merupakan diagram alir proses karbonisasi tongkol jagung,



Gambar 3.3 Diagram alir proses karbonisasi tongkol jagung



Gambar 3.4 Diagram alir proses pengecilan ukuran karbon

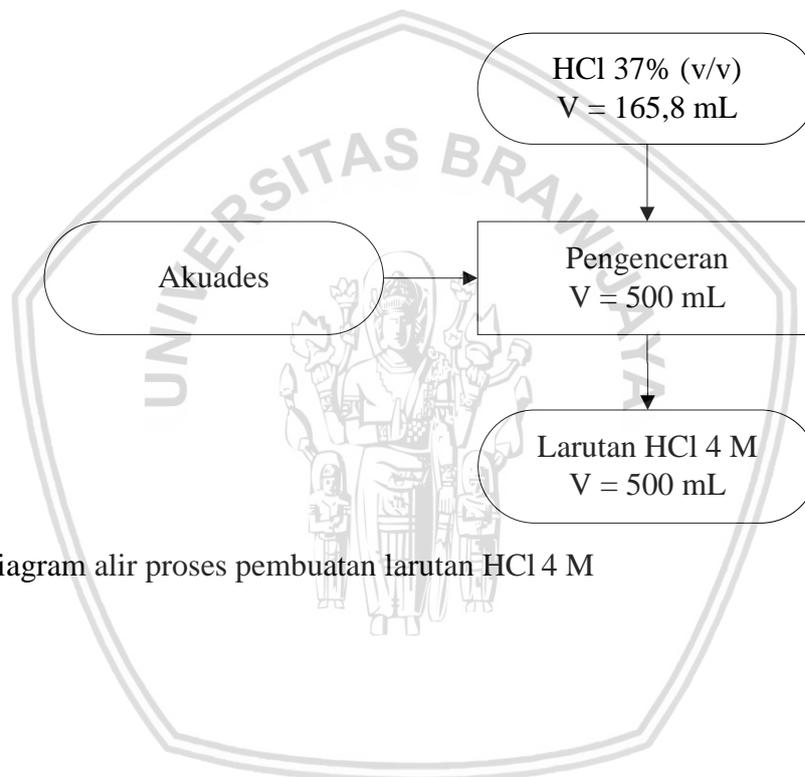
3.4.3 Aktivasi Karbon Menggunakan Larutan HCl

Proses aktivasi karbon menggunakan HCl dilakukan sebagai berikut:

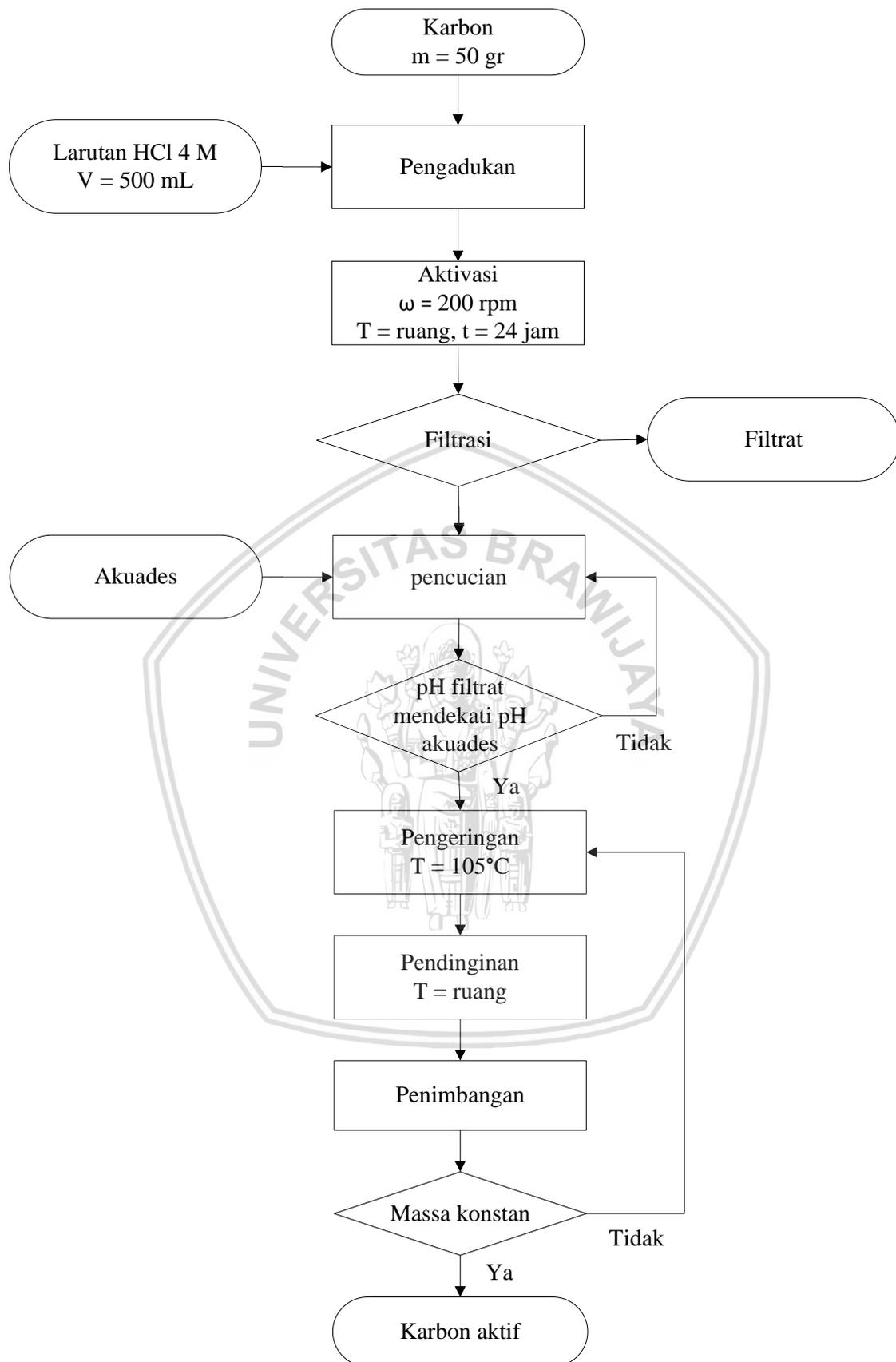
1. Membuat larutan HCl 4 M sebanyak 500 mL dengan cara melakukan pengenceran pada larutan HCl 37% (v/v). Mengambil larutan HCl 37% (v/v) sebanyak 165,8 mL kemudian memindahkannya ke dalam labu ukur (500 mL). Selanjutnya menambahkan akuades sampai volumenya 500 mL (sampai tanda batas pada labu ukur) dan mengaduknya hingga homogen.
2. Melakukan penimbangan pada karbon sebanyak 50 g, kemudian memindahkannya ke dalam gelas beker.
3. Melakukan penuangan larutan HCl 4 M sebanyak 500 mL ke dalam gelas beker yang berisi karbon.
4. Melakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* sampai larutan HCl 4 M dan karbon homogen.
5. Melakukan aktivasi dengan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* 200 rpm selama 24 jam.
6. Melakukan pemisahan (penyaringan) karbon aktif dari larutan HCl 4 M.

7. Mencuci karbon aktif menggunakan akuades sampai pH filtrat (air hasil cucian) mendekati pH akuades.
8. Melakukan proses pengeringan karbon aktif menggunakan oven pada temperatur 105°C .
9. Melakukan pendinginan karbon aktif dalam desikator hingga mencapai suhu ruang.
10. Melakukan penimbangan pada karbon aktif. Jika selisih massa karbon aktif sebelum dan setelah pengeringan masih jauh (massa belum konstan), maka dilakukan pengeringan kembali (poin 8).

Berikut merupakan diagram alir proses aktivasi karbon menggunakan larutan HCl 4M,



Gambar 3.5 Diagram alir proses pembuatan larutan HCl 4 M



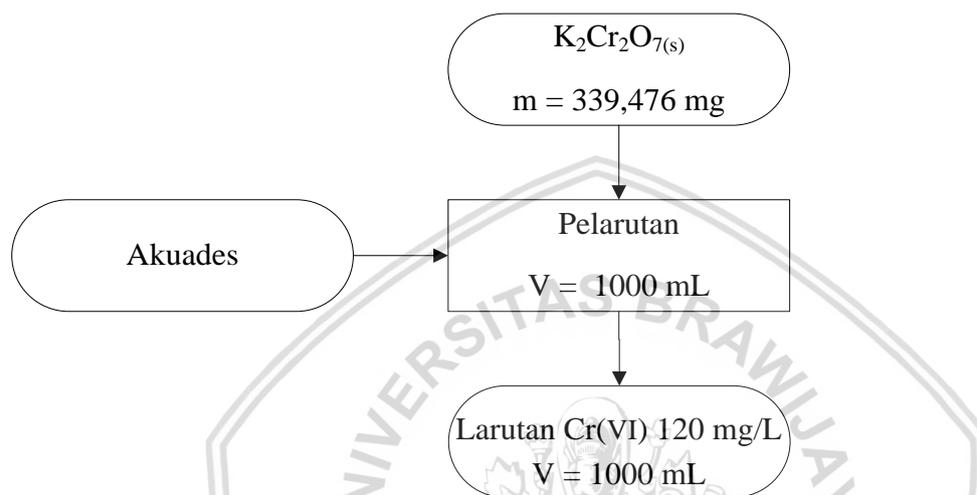
Gambar 3.6 Diagram alir proses aktivasi karbon menggunakan larutan HCl 4 M

3.4.4 Pembuatan Limbah Sintetis Larutan Cr(VI)

Limbah sintetis larutan Cr(VI) dibuat menggunakan padatan $K_2Cr_2O_7$. Proses pembuatannya limbah sintetis larutan Cr(VI) dilakukan sebagai berikut:

1. Menimbang $K_2Cr_2O_7(s)$ sebanyak 339,476 mg.
2. Melarutkan $K_2Cr_2O_7(s)$ dengan akuades hingga volume larutan mencapai 1000 mL.

Berikut merupakan diagram alir proses pembuatan limbah sintetis larutan Cr(VI),



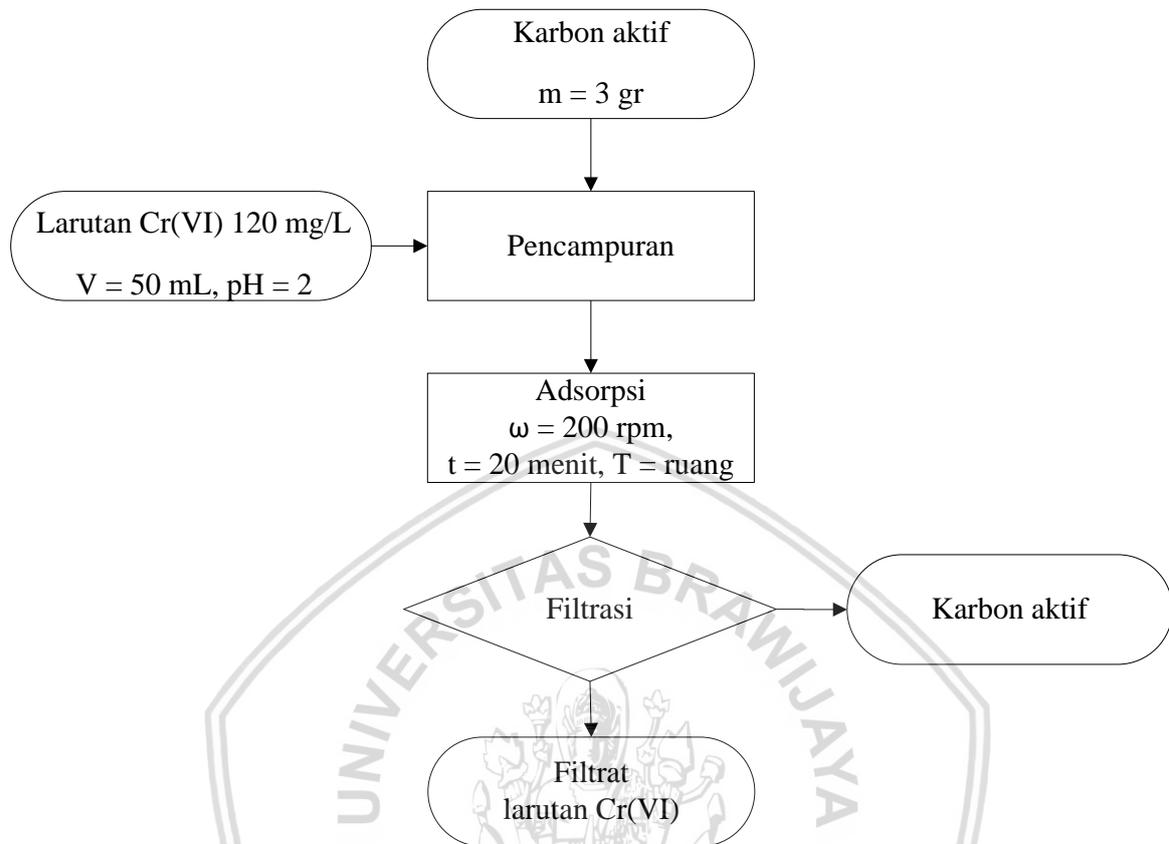
Gambar 3.7 Diagram alir proses pembuatan limbah sintetis larutan Cr(VI) 120 mg/L

3.4.5 Proses Adsorpsi

Proses adsorpsi logam Cr(VI) dilakukan menggunakan karbon aktif tongkol jagung dengan variasi pH awal larutan dan kecepatan pengadukan. Proses adsorpsi dilakukan sebagai berikut:

1. Larutan Cr(VI) 120 mg/L sebanyak 50 mL dikondisikan pada pH 2, dengan melakukan penambahan reagen kimia H_2SO_4 (3 M; 0,5 M) dan NaOH (0,5 M; 1 M).
2. Melakukan penimbangan karbon aktif sebanyak 3 g, kemudian memindahkannya ke dalam gelas beker (100 mL).
3. Melakukan pencampuran 50 mL larutan Cr(VI) 120 mg/L ke dalam gelas beker yang telah berisi 3 g karbon aktif, kemudian dilakukan pengadukan sampai homogen.
4. Melakukan proses adsorpsi dengan kecepatan pengadukan 200 rpm pada suhu ruang sampai waktu yang ditetapkan, 20 menit.
5. Melakukan pemisahan (filtrasi) karbon aktif dari larutan Cr(VI).

Berikut merupakan diagram alir proses adsorpsi,



Gambar 3.8 Diagram alir proses adsorpsi
Keterangan:

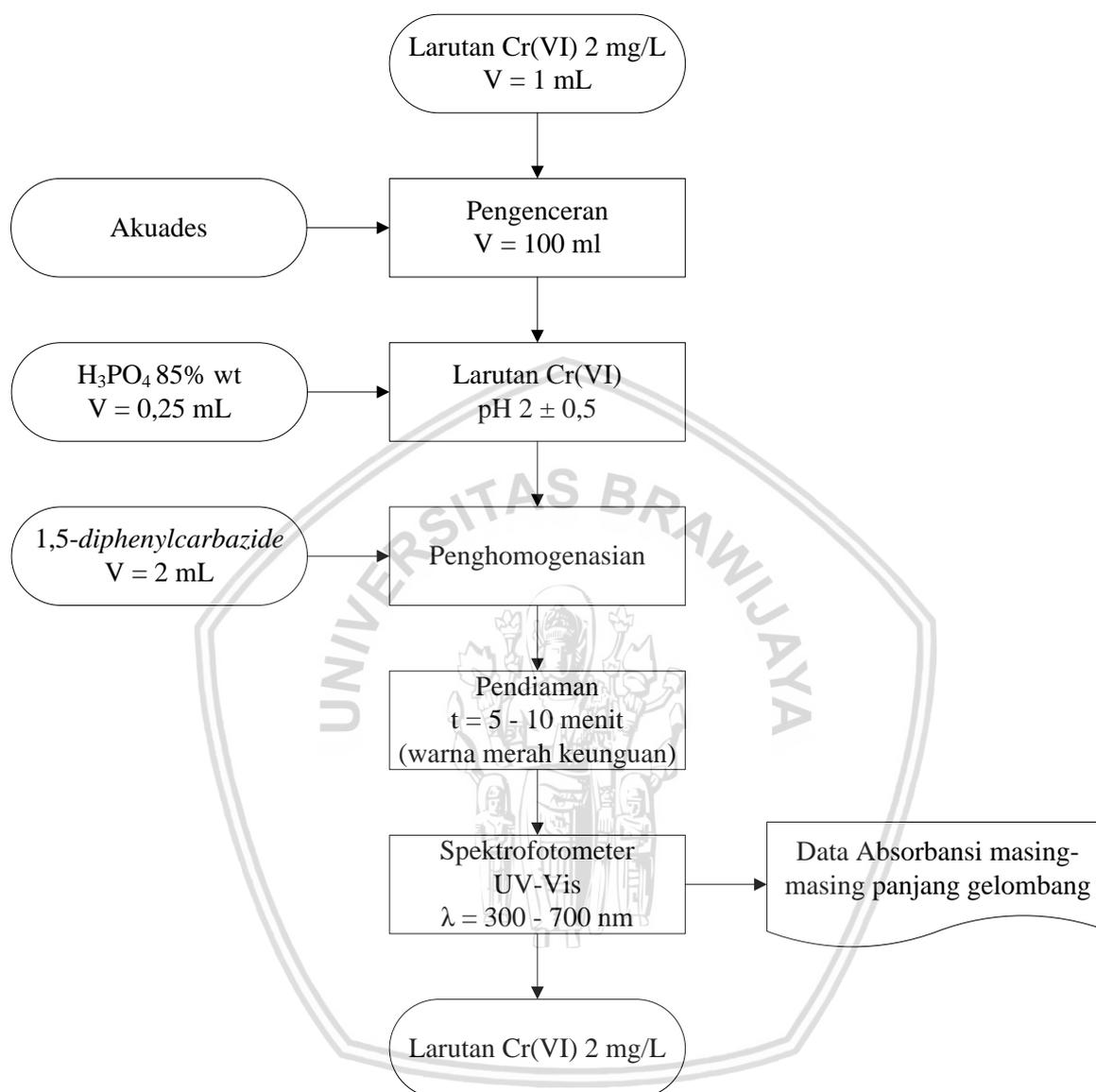
1. Proses yang sama diulangi untuk mendapatkan *sampling* pada waktu 40, 60, 80, 100 dan 120 menit.
2. Proses yang sama diulangi dengan kondisi pH 3, 4, 5, dan 6 untuk mengetahui pH terbaik.
3. Proses yang sama diulangi menggunakan pH terbaik yang didapat pada adsorpsi sebelumnya, dengan kecepatan pengadukan 100, 150, 250, dan 300 rpm untuk mengetahui kecepatan pengadukan terbaik.

3.4.6 Penentuan Panjang Gelombang dan Kurva Standar Larutan Cr(VI) menggunakan Spektrofotometer UV-Vis

Penentuan panjang gelombang Cr(VI) dilakukan pada panjang gelombang 300 – 700 nm dengan interval 0,5 nm menggunakan larutan Cr(VI) 2 mg/L. Setelah didapatkan panjang gelombang dengan absorbansi optimum, dilakukan pembuatan kurva standar larutan Cr(VI) menggunakan akuades (sebagai larutan blanko, 0 mg/L) dan larutan Cr(VI) dengan konsentrasi 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1 dan 1,2 mg/L. Proses penentuan panjang gelombang dan kurva standar larutan Cr(VI) dilakukan sebagai berikut,

1. Melakukan pembuatan larutan Cr(VI) 2 mg/L.
2. Melakukan pengenceran pada larutan Cr(VI) 2 mg/L. Pengenceran dilakukan dengan mengambil 1 mL larutan Cr(VI) 2 mg/L kemudian memindahkannya ke dalam labu ukur 100 mL. Kemudian melakukan penambahan akuades sampai tanda batas pada labu ukur dan menghomogenkannya.
3. Melakukan penambahan 0,25 mL (\pm 5 tetes) larutan H_3PO_4 85% wt ke dalam larutan Cr(VI) yang telah diencerkan.
4. Melakukan pengecekan pH pada larutan Cr(VI) yang telah ditambahkan H_3PO_4 . Jika pH tidak pada $2 \pm 0,5$ maka dilakukan penambahan HCl (0,1 M), jika sudah lanjut ke tahap berikutnya.
5. Melakukan penambahan 2 mL larutan 1,5-*diphenylcarbazide* pada larutan Cr(VI) yang telah dikondisikan sebelumnya. Selanjutnya larutan Cr(VI) didiamkan selama 5 - 10 menit untuk membentuk kompleks hingga dihasilkan warna merah keunguan.
6. Melakukan penentuan panjang gelombang larutan Cr(VI) menggunakan Spektrofotometer UV-Vis pada panjang gelombang 300 – 700 nm dengan interval 0,5. Kemudian diperoleh hasil absorbansi masing-masing panjang gelombang (terlampir pada **Lampiran B.**).

Berikut merupakan diagram alir proses penentuan panjang gelombang dan kurva standar larutan Cr(VI) menggunakan Spektrofotometer UV-Vis,



Gambar 3.9 Diagram alir proses penentuan panjang gelombang dan kurva standar larutan Cr(VI) menggunakan Spektrofotometer UV-Vis

Keterangan:

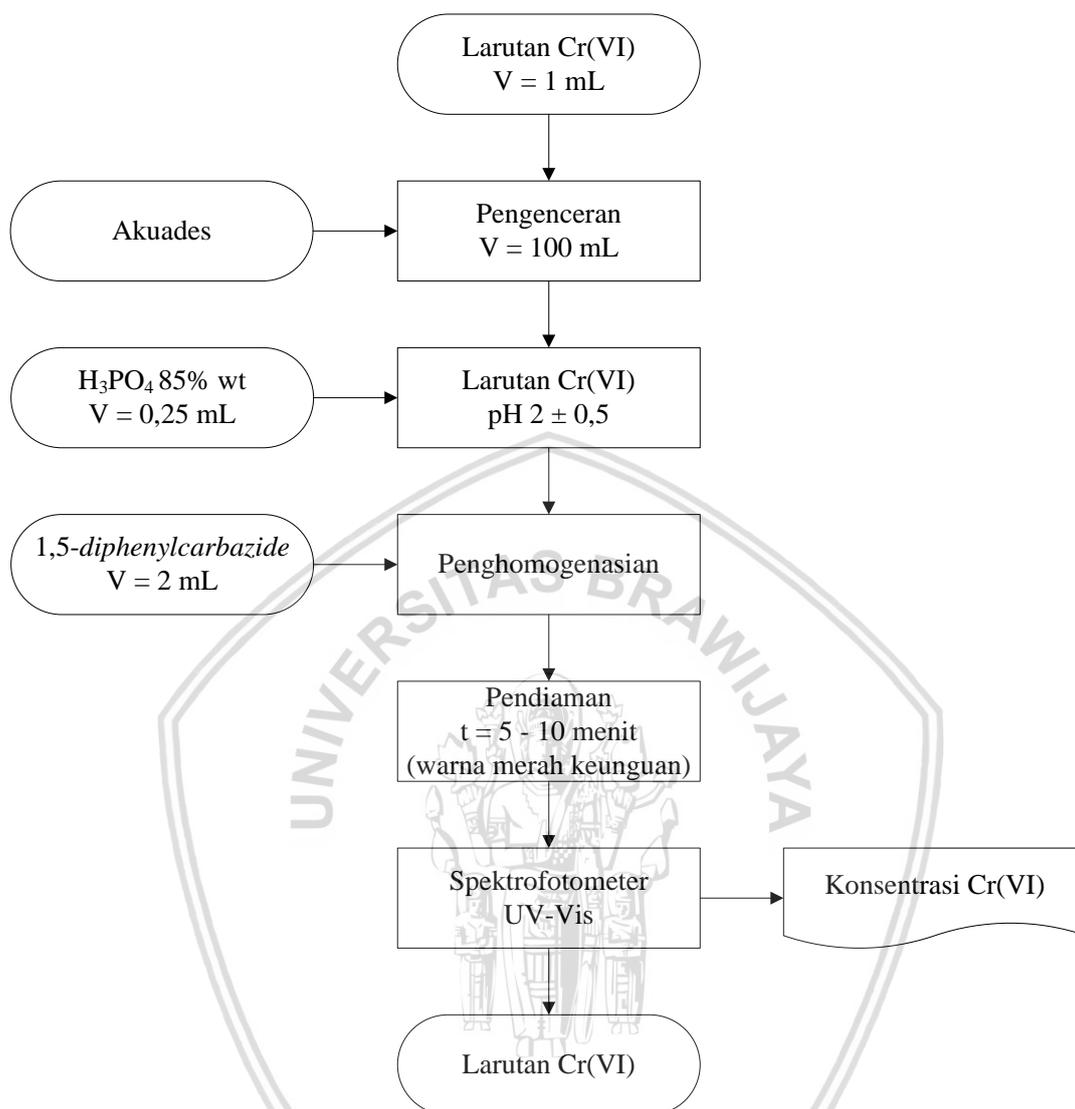
Proses pada poin 1 – 5 diulangi untuk membuat kurva standar, dengan mengganti larutan Cr(VI) 2 mg/L dengan akuades (sebagai larutan blanko, 0 mg/L) dan larutan Cr(VI) 0,2, 0,4, 0,6, 0,8, 1, 1,2 mg/L. Selanjutnya melakukan pengujian Spektrofotometer UV-Vis menggunakan panjang gelombang yang didapat sebelumnya. Kemudian diperoleh hasil absorbansi pada masing-masing konsentrasi larutan Cr(VI), dan didapatkan persamaan linear dari hasil tersebut (terlampir pada **Lampiran C.**).

3.4.7 Analisa Kandungan Cr(VI) dengan Spektrofotometer UV-Vis

Proses analisa kandungan Cr(VI) dengan Spektrofotometer UV-Vis dilakukan sebagai berikut:

1. Melakukan pengenceran pada filtrat larutan Cr(VI) yang diperoleh dari hasil adsorpsi yang telah dilakukan sebelumnya. Pengenceran dilakukan dengan mengambil 1 mL larutan Cr(VI) hasil adsorpsi kemudian memindahkannya ke dalam labu ukur 100 mL. Kemudian melakukan penambahan akuades sampai tanda batas pada labu ukur dan menghomogenkannya.
2. Melakukan penambahan 0,25 mL (± 5 tetes) larutan asam fosfat (H_3PO_4) 85% wt ke dalam larutan Cr(VI) yang telah diencerkan.
3. Melakukan pengecekan pH pada larutan Cr(VI) yang telah ditambahkan H_3PO_4 . Jika pH tidak pada $2 \pm 0,5$ maka dilakukan penambahan HCl (0,1 M), jika sudah lanjut ke tahap berikutnya.
4. Melakukan penambahan 2 mL larutan 1,5-diphenylcarbazine pada larutan Cr(VI) yang telah dikondisikan sebelumnya. Selanjutnya larutan Cr(VI) didiamkan selama 5 - 10 menit untuk membentuk kompleks hingga dihasilkan warna merah keunguan.
5. Melakukan pengujian kandungan Cr(VI) dalam larutan menggunakan Spektrofotometer UV-Vis, pada panjang gelombang optimum yang didapat sebelumnya. Hasil pembacaan pada Spektrofotometer UV-Vis dihubungkan dengan kurva standar larutan Cr(VI) yang telah didapatkan sebelumnya, hingga diketahui kandungan Cr(VI) di dalam larutan.

Berikut merupakan diagram alir proses analisa kandungan Cr(VI) dengan Spektrofotometer UV-Vis,



Gambar 3.10 Diagram alir proses analisa kandungan Cr(VI) dengan Spektrofotometer UV-Vis

Keterangan:

Alat UV-Vis yang digunakan sudah terprogram langsung dengan software di komputer, sehingga konsentrasi Cr(VI) langsung dapat ditampilkan. Konsentrasi yang didapat dari perhitungan komputer dikalikan dengan faktor pengenceran (100 kali).

Persen penyisihan Cr(VI) yang diperoleh diketahui dengan menggunakan persamaan,

$$\text{Penyisihan, } \eta (\%) = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \times 100\% \quad (3-1)$$

dengan:

C_0 = konsentrasi Cr(VI) sebelum adsorpsi. Didapat dari hasil pembacaan uji Spektrofotometer UV-Vis.

C_1 = konsentrasi Cr(VI) setelah adsorpsi. Didapat dari hasil pembacaan uji Spektrofotometer UV-Vis.

3.5 Analisa Karbon dan Karbon Aktif

3.5.1 FTIR (*Fourier Transform InfraRed*)

Spektroskopi FTIR adalah spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi fourier untuk menganalisa hasil spektrumnya (Anam dkk., 2007). Spektroskopi Inframerah merupakan alat yang digunakan untuk mendeteksi gugus fungsi. Kebanyakan FTIR dioperasikan pada rentang panjang gelombang antara 4000 dan 400 cm^{-1} . Masing-masing gugus fungsional memiliki karakteristik dan serapan puncak yang bervariasi pada panjang gelombang tertentu (Smith, 2011). Metode spektroskopi yang digunakan didasarkan atas perbedaan penyerapan radiasi inframerah (Anam dkk., 2007). Spektrum inframerah merupakan plot pengukuran intensitas radiasi inframerah terhadap bilangan gelombang. Dasar analisis kuantitatif pada FT-IR yaitu berdasarkan Hukum Beer (Smith, 2011).

3.5.2 XRF (*X-Ray Fluorescence*)

XRF merupakan metode non destruktif, yang berfungsi untuk mengetahui komposisi suatu unsur. Kelebihan analisis XRF yaitu memiliki tingkat objektivitas yang tinggi. XRF mampu mendeteksi hampir seluruh unsur pada tabel periodik kecuali hidrogen dan helium (Shugar dan Mass, 2012). Prinsip kerja metode analisis XRF didasarkan pada eksitasi atom sampel dengan energi sinar-X yang tinggi dan diikuti oleh emisi foton dengan energi tertentu yang dapat dikaitkan dengan nomor atom masing-masing elemen (Hukum Moseley). Penentuan energi (panjang gelombang) dari foton yang dipancarkan memungkinkan analisis secara kualitatif dan penentuan jumlah foton karakteristik yang dipancarkan memungkinkan analisis secara kuantitatif (Lindon dkk., 2017).

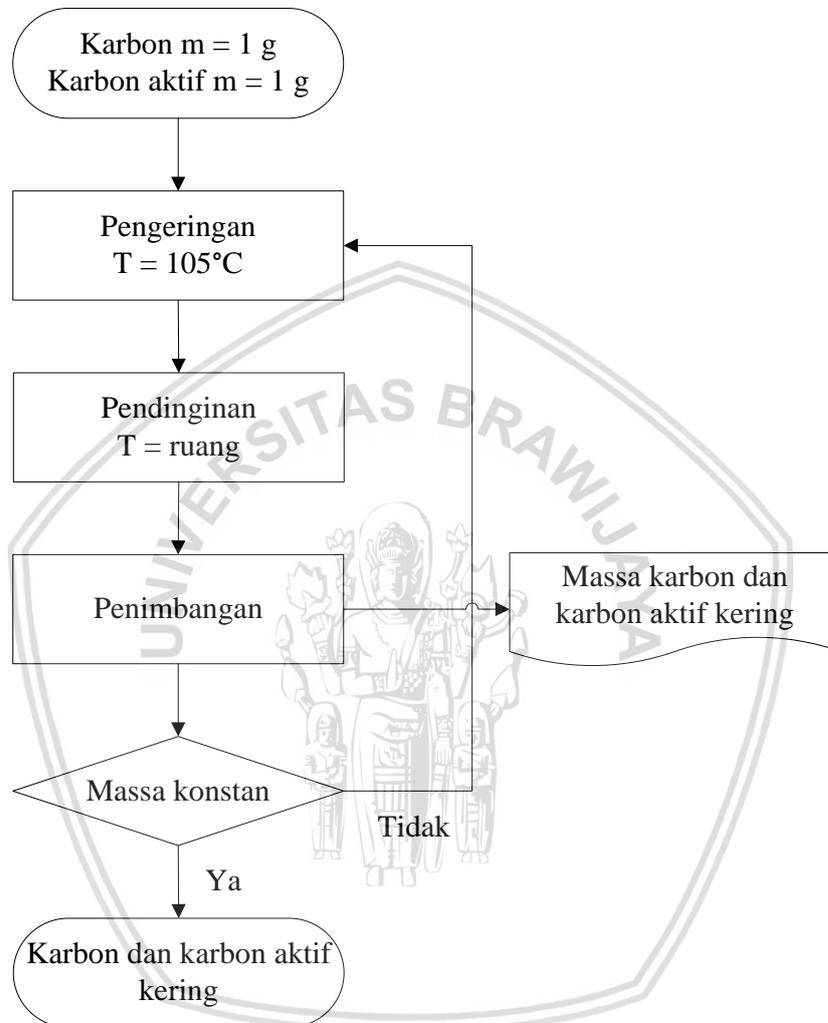
3.5.3 Kandungan Air (SNI 06-3730-1995)

Proses analisa kandungan air pada karbon dan karbon aktif dilakukan sebagai berikut:

1. Menimbang karbon dan karbon aktif masing-masing sebanyak 1 g. Kemudian meletakkannya dalam cawan kering yang telah diketahui massanya.
2. Melakukan pengeringan pada karbon dan karbon aktif menggunakan oven pada suhu 105°C.
3. Melakukan pendinginan pada karbon dan karbon aktif di dalam desikator sampai suhu ruang.

4. Melakukan penimbangan pada karbon dan karbon aktif menggunakan neraca analitik. Jika selisih massa sebelum dan setelah pengeringan masih jauh (massa belum konstan), maka dilakukan pengeringan kembali (poin 2).

Berikut merupakan diagram alir proses analisa kandungan air pada karbon dan karbon aktif,



Gambar 3.11 Diagram alir proses analisa kandungan air

Analisa kandungan air pada karbon dan karbon aktif diketahui dengan menggunakan persamaan,

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\% \quad (3-2)$$

dengan:

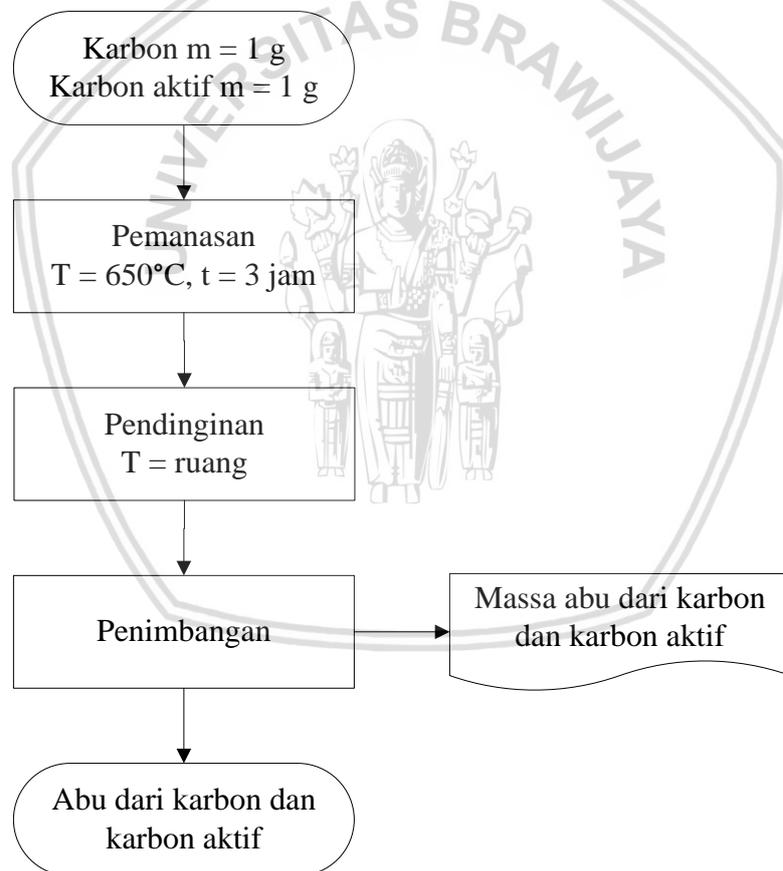
- W_0 = Massa sampel sebelum pemanasan (awal) (g).
 = Massa sampel setelah pemanasan (akhir) (g).

3.5.4 Kandungan Abu (ASTM D 3838-80)

Proses analisa kandungan abu pada karbon dan karbon aktif dilakukan sebagai berikut:

1. Melakukan penimbangan karbon dan karbon aktif masing-masing sebanyak 1 gr. Kemudian meletakkannya dalam cawan kering yang telah diketahui massanya
2. Melakukan pemanasan pada karbon dan karbon aktif menggunakan *furnace* pada suhu 650°C selama 3 jam.
3. Melakukan pendinginan pada cawan karbon dan cawan karbon aktif di dalam desikator sampai suhu ruang.
4. Melakukan penimbangan pada cawan karbon dan cawan karbon aktif.

Berikut merupakan diagram alir proses analisa kandungan abu pada karbon dan karbon aktif,



Gambar 3.12 Diagram alir proses analisa kandungan abu

Analisa kandungan abu pada karbon dan karbon aktif diketahui dengan menggunakan persamaan,

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{W_1}{W_0} \times 100\% \quad (3-3)$$

dengan:

W_0 = Massa sampel sebelum pemanasan (awal) (g).

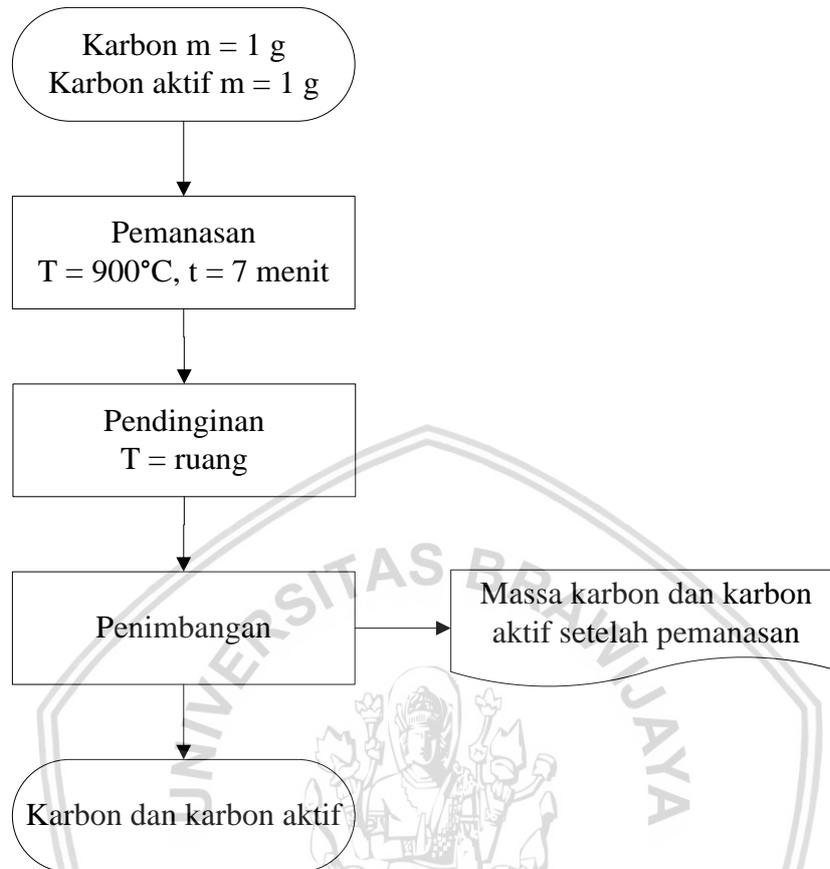
W_1 = Massa sampel setelah pemanasan (akhir) (g).

3.5.5 Kandungan Zat yang Mudah Menguap (*Volatile Matter*) (SNI 06-3730-1995)

Proses analisa kandungan zat yang mudah menguap pada karbon dan karbon aktif dilakukan sebagai berikut:

1. Melakukan penimbangan karbon dan karbon aktif masing-masing sebanyak 1 gr. Kemudian meletakkannya dalam cawan kering yang telah diketahui massanya, dan tutup cawan dengan tutup yang telah diketahui massanya.
2. Melakukan pemanasan pada karbon dan karbon aktif menggunakan *furnace* pada suhu 900°C selama 7 menit.
3. Melakukan pendinginan pada cawan karbon dan cawan karbon aktif di dalam desikator sampai suhu ruang.
4. Melakukan penimbangan pada cawan karbon dan cawan karbon aktif.

Berikut merupakan diagram alir proses analisa kandungan zat yang mudah menguap pada karbon dan karbon aktif,



Gambar 3.13 Diagram alir proses analisa kandungan zat yang mudah menguap

Analisa kandungan zat yang mudah menguap pada karbon dan karbon aktif diketahui dengan menggunakan persamaan,

$$\text{Kadar zat yang mudah menguap (\%)} = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100\% \quad (3-4)$$

dengan:

W_0 = Massa sampel sebelum pemanasan (awal) (g).

W_1 = Massa sampel setelah pemanasan (akhir) (g).

3.5.6 Kandungan Karbon Terikat (*Fixed Carbon*)

Kadar karbon terikat pada karbon dan karbon aktif diketahui dari persamaan,

$$\text{Kadar karbon terikat (\%)} = 100 - (\text{kadar air (\%)} + \text{kadar abu (\%)} + \text{kadar zat yang mudah menguap (\%)}) \quad (3-5)$$



Halaman ini sengaja dikosongkan



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil (*Yield*) Proses Karbonisasi Tongkol Jagung

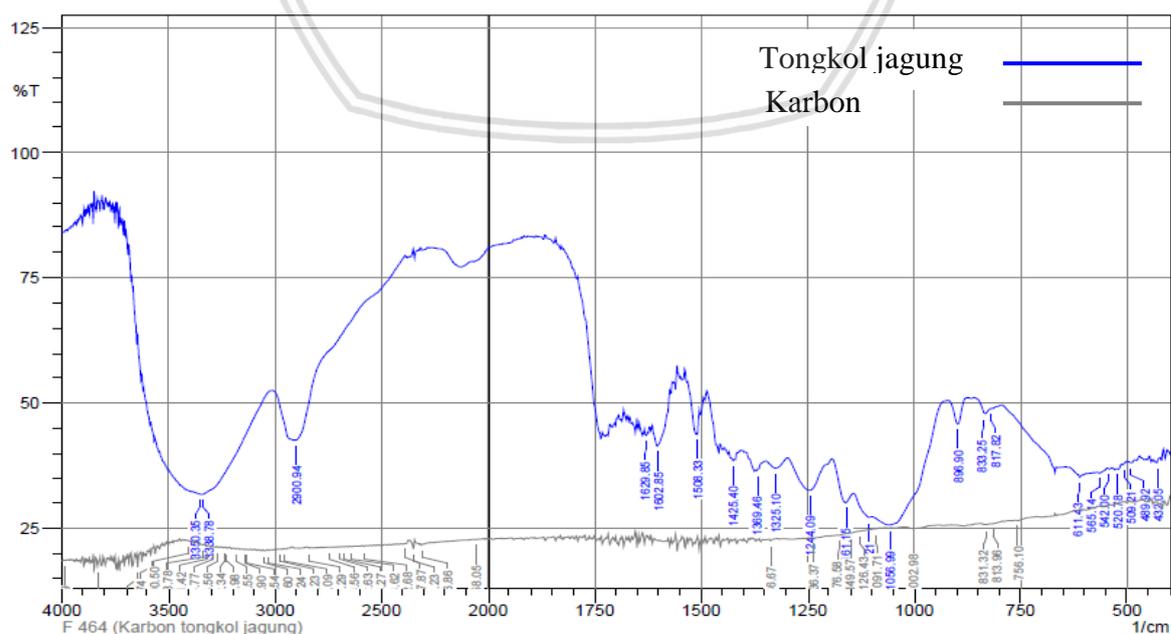
Proses karbonisasi tongkol jagung dilakukan pada suhu 600°C selama 1 jam dengan adanya aliran gas N₂. Karbonisasi dilakukan pada suhu 600°C karena pemurnian arang atau peningkatan kadar karbon terjadi pada suhu 500-1000°C (Rosalina dkk., 2016). Penggunaan gas N₂ bertujuan untuk menghindari oksidasi (pembakaran) arang (karbon) selama proses karbonisasi, sehingga menghindari hilangnya arang (karbon) (Zyoud dkk., 2015).

Yield yang diperoleh dari proses karbonisasi tongkol jagung dapat dilihat pada Tabel D.1 (**Lampiran D.**). Data *yield* karbon diperoleh dengan melakukan penimbangan (berat kering) tongkol jagung sebelum dikarbonisasi (massa awal sampel) dan penimbangan (berat kering) karbon yang dihasilkan dari proses karbonisasi (massa akhir sampel). Berdasarkan Tabel D.1, didapatkan *yield* rata-rata sebesar 23,16%. Selama proses karbonisasi sebagian besar unsur-unsur selain karbon (C) dibebaskan dalam bentuk gas (Bansal dan Goyal, 2005). Pada dasarnya proses karbonisasi menghasilkan 3 komponen utama yaitu, padatan berupa karbon (arang), cairan berupa senyawa organik seperti asam asetat, metanol, fenol, levoglukosan dan tar, dan gas berupa CO₂, CO, CH₄, dan H₂ (Turmuzi dkk., 2015).

Pengurangan massa yang diperoleh dari proses karbonisasi disebabkan oleh banyaknya unsur non karbon yang terurai dari bahan baku seperti oksigen (O) dan hidrogen (H). Menurut Bansal dan Goyal (2005), unsur-unsur tersebut terurai menjadi produk gas yang mudah menguap, sehingga menghasilkan struktur berpori pada karbon. Hal ini terbukti dari hasil pengujian FTIR pada karbon (setelah karbonisasi), yang mengalami perubahan gugus fungsi dari yang sebelumnya yaitu pada tongkol jagung (sebelum karbonisasi), akibat terjadinya penguraian unsur non karbon tersebut (Tabel 4.1). Pemanasan hingga 600°C pada proses karbonisasi mengakibatkan berkurangnya gugus karboksilat anhidrat dan lakton, serta hilangnya gugus alkohol, fenolik, asam karboksilat, *quinone*, ketena, ester, cincin aromatik, alkana, dan amina/amida (N-H). Hal tersebut dibuktikan dari Gambar 4.1, dimana pita serapan inframerah gugus fungsi tersebut mengalami pelebaran dan bergeser ke frekuensi yang lebih rendah, sehingga puncak gugus

fungsi tidak terlalu kelihatan. Pergeseran frekuensi ke tingkatan yang lebih rendah mengakibatkan intensitas gugus fungsi tersebut berkurang, bahkan dapat juga mengakibatkan pita serapan gugus fungsi tersebut hilang.

Pada proses karbonisasi gugus-gugus fungsi tersebut mengalami penguraian pada suhu yang berbeda. Berdasarkan penelitian Figueiredo dkk. (1999), gugus asam karboksilat mulai mengalami penguraian ketika suhu pemanasan berada pada 100°C, sementara itu gugus laktone mengalami penguraian ketika suhu pemanasan mencapai 190°C. Pada penelitian Kristianto (2017), penguraian selulosa, yaitu terjadi pada suhu 270°C, memungkinkan terjadinya ikatan silang antar molekul gula untuk menggantikan ikatan hidrogen, sehingga terjadi penghilangan gugus alkohol, alkana, dan amina/amida pada tongkol jagung. Hal tersebut juga diperkuat oleh Liu (2006) yang menyatakan bahwa, pemanasan di atas suhu 250°C dapat mengakibatkan terjadinya peregangan C-H (alkana). Sehingga gugus C-H yang semula ada pada bahan tongkol jagung menjadi tidak ada setelah dikarbonisasi. Disamping itu Kristianto (2017) juga menjelaskan, pada pemanasan selanjutnya, yaitu pada suhu 240°C, terjadi pemutusan ikatan C-O dan C-C pada struktur selulosa, sehingga mengakibatkan hilangnya gugus cincin aromatik, ketena, ester, dan *quinone*. Sementara itu gugus karboksilat anhidrat, berdasarkan penelitian Figueiredo dkk. (1999), baru mulai mengalami penguraian pada suhu 350°C. Hilangnya unsur tersebut dalam bentuk senyawa yang mudah menguap dapat menyebabkan porositas karbon jadi meningkat, sehingga akan meningkatkan kualitas dari karbon itu sendiri (Turmuzi dkk., 2015).



Gambar 4.1 Hasil uji FTIR pada tongkol jagung dan karbon

Tabel 4.1 Hasil uji FTIR pada tongkol jagung, karbon dan karbon aktif

No.	Gugus*	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)*	Tongkol Jagung	Karbon	Karbon Aktif
1	Alkena, -C=C-	675-995	✓	✓	✓
2	Cincin aromatik, C-H	690-900	✓	✓	✓
3	Karboksilat anhidrat, C=O (peregangan)	980-1300	✓	✓	✓
4	Fenolik, C-OH (peregangan)	1000-1220	✓	✓	✓
5	Eter, C-O	1000-1300	✓	✓	✓
6	Alkohol, C-OH	1049-1276, 3200-3640	✓		
7	Ester, COO-	1050-1300	✓		
8	Karbonat; karboksil karbonat, -OCOO-	1100-1500	✓	✓	✓
9	Asam karboksilat, COOH	1120-1200, 2500-3300	✓		
10	Fenolik, O-H	1160-1200, 2500-3620	✓		
11	Lakton, C=O (peregangan)	1160-1370	✓	✓	✓
12	Amina/amida, C-N	1180-1360	✓	✓	✓
13	Senyawa-senyawa nitro, NO ₂	1500-1570, 1300-1370	✓	✓	✓
14	Cincin aromatik, C=C	1500-1600	✓		
15	Quinones	1550-1680	✓		
16	Ketena, C=C=O	2080-2200	✓		
17	Alkana, C-H	2850-2970, 1340-1470	✓		
18	Amina/amida, N-H	3300-3500	✓		

*Figueiredo, dkk. (1999)

Yield karbonisasi juga dapat dipengaruhi oleh keberadaan beberapa senyawa oksida pada tongkol jagung (Tabel 4.2). Proses karbonisasi pada 600°C menghilangkan beberapa senyawa seperti Al_2O_3 , CaO , dan mengurangi kandungan senyawa oksida lainnya yang mengalami penurunan persentase pada tabel. Berdasarkan penelitian Setyaningtyas dan Sriyanti (2003), pada pemanasan 500°C terjadi penurunan kandungan Al_2O_3 secara signifikan, dan pada suhu pemanasan tersebut sebagian senyawa oksida logam mengalami penguraian.

Tabel 4.2 Hasil uji XRF pada tongkol jagung, karbon dan karbon aktif

No.	Senyawa	Konsentrasi (%)		
		Tongkol Jagung	Karbon	Karbon Aktif
1	Al_2O_3	1	-	-
2	SiO_2	7,7	5,3	36
3	P_2O_5	5,3	3,2	14
4	K_2O	49	81,8	16,2
5	CaO	14,2	-	12,7
6	Cr_2O_3	1,9	0,75	2,1
7	MnO	0,77	0,51	0,88
8	Fe_2O_3	15,3	6,12	8,48
9	NiO	0,53	0,45	0,93
10	CuO	2,1	0,51	1,8
11	ZnO	0,3	0,1	0,3
12	Yb_2O_3	0,8	0,3	1
13	Re_2O_7	1	1	2
14	Br	-	-	2,5
15	Sc_2O_3	-	-	0,5

4.2 Karakteristik Karbon dan Karbon Aktif

Sebelum melakukan proses adsorpsi maka perlu dilakukan analisa terhadap karakteristik karbon dan karbon aktif untuk mengetahui kualitas dari karbon dan karbon aktif yang dihasilkan. Analisa yang dilakukan meliputi analisa kadar air, kadar abu, kadar zat yang mudah menguap, kadar karbon terikat, serta analisa terhadap keberadaan gugus fungsi.

Beberapa hasil pengujian dikaitkan dengan baku mutu arang aktif yang ditetapkan oleh SNI (Standar Nasional Indonesia) seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil uji karakteristik karbon dan karbon aktif

No.	Uraian	SNI	Karbon	Karbon aktif
1	Kadar air (%)	Maksimum 15%	0,99	1,47
2	Kadar abu (%)	Maksimum 10%	4,36	2,26
3	Kadar zat yang mudah menguap (%)	Maksimum 25%	57,71	52,82
4	Kadar karbon terikat (%)	Minimum 65%	36,94	42,98

Berdasarkan Tabel 4.3, kadar air pada karbon dan karbon aktif masih berada dibawah batas maksimum kadar air arang aktif berdasarkan SNI, yaitu 15%. Kecilnya kadar air yang terdapat pada karbon dikarenakan pori-pori yang terbentuk pada karbon saat proses karbonisasi tertutup oleh produk uraian karbonisasi (ter), sehingga karbon tidak memiliki cukup ruang untuk menyerap uap air (Bansal dan Goyal, 2005). Setelah diaktivasi, kemampuannya dalam menyerap uap air jadi meningkat dari yang awalnya 0,99% (pada karbon) menjadi 1,47% (pada karbon aktif).

Pada saat aktivasi, HCl melarutkan komponen-komponen ter yang menutupi pori-pori karbon, sehingga pori-pori tersebut terbuka kembali dan luas permukaannya jadi meningkat. Dengan meningkatnya luas permukaan, karbon aktif memiliki banyak ruang untuk menyerap uap air. Akan tetapi, kadar air pada karbon aktif ini masih bernilai kecil dan memenuhi SNI. Kecilnya kadar air yang terdapat pada karbon aktif disebabkan oleh penggunaan HCl sebagai aktivator yang berperan sebagai *dehydrating agent* (agen pendehidrasi) (Alfiany dkk., 2013). Menurut Mody (2011) yang dikutip oleh Amin dkk. (2016), kadar air dalam karbon dan karbon aktif dipengaruhi oleh sifat higroskopis, porositas dan waktu kontak pada tempat terbuka selama proses pendinginan.

Kandungan abu mengindikasikan kemurnian dari karbon dan karbon aktif yang digunakan. Abu merupakan komponen anorganik yang tertinggal setelah bahan dipanaskan pada suhu 650°C, yang terdiri dari kalium, natrium, magnesium, kalsium dan komponen anorganik lainnya dalam jumlah kecil. Pengujian kadar abu dilakukan untuk mengetahui banyaknya kandungan oksida logam yang terkandung (Aisiyah, 2016). Kandungan oksida yang tinggi, akan menghasilkan kadar abu yang tinggi. Berdasarkan penelitian Devi dkk. (2012), jika kadar abu yang dimiliki karbon tinggi, maka perkembangan struktur pori akan terganggu dan kemampuan untuk adsorpsi akan berkurang.

Berdasarkan Tabel 4.3 kadar abu pada karbon dan karbon aktif masih memenuhi SNI, yaitu kurang dari 10%. Kadar abu sebesar 4,36% pada karbon paling besar dipengaruhi oleh senyawa K_2O dengan persentase kandungan sebesar 81,8% (Tabel 4.2), selanjutnya diikuti dengan kandungan Fe_2O_3 6,12% dan SiO_2 5,3%. Setelah diaktivasi, kadar abu pada karbon mengalami penurunan menjadi 2,26% (pada karbon aktif). Kecilnya nilai kadar abu pada karbon aktif disebabkan oleh pengaktifasian karbon menggunakan larutan HCl telah melarutkan kandungan K_2O , sehingga senyawa oksida tersebut tidak lagi menutupi pori karbon aktif (Viswanathan dkk., 2009). Berkurangnya senyawa oksida tersebut didukung oleh data uji XRF pada karbon aktif (Tabel 4.2), dimana kandungan K_2O menjadi 16,2%. Penggunaan HCl sebagai aktivator juga melarutkan Fe pada karbon (Viswanathan dkk., 2009). Akan tetapi akibat penurunan persentase K_2O dalam jumlah yang besar, penurunan Fe_2O_3 tidak terlihat dalam bentuk persentase, sehingga kandungannya menjadi 8,48%. Hal ini dibuktikan dari persentase kandungan Fe_2O_3 yang masih dibawah persentase kandungan K_2O . Sementara itu karena SiO_2 tidak larut atau reaktif terhadap HCl (asam) maka persentase kandungan SiO_2 meningkat menjadi 36% (Trivana dkk., 2015). Meskipun persentasenya jadi meningkat, belum berarti kandungannya juga besar karena kandungan SiO_2 disini dinyatakan dalam bentuk persentase. Ketika kandungan senyawa lainnya turun dan kandungan SiO_2 tetap atau tidak mengalami perubahan yang cukup berarti, maka persentase kandungan SiO_2 jadi meningkat.

Kadar zat yang mudah menguap menyatakan zat yang hilang ketika karbon dan karbon aktif dipanaskan pada suhu $900^\circ C$ selama 7 menit dalam keadaan tanpa berkontak dengan udara. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kandungan yang belum menguap pada proses karbonisasi seperti oksigen (O) dan hidrogen (H), serta nitrogen (N) yang akan menguap pada suhu $900^\circ C$ (Rosalina dkk., 2016). Pada Tabel 4.3, kadar zat yang mudah menguap pada karbon mengalami sedikit penurunan setelah diaktivasi, dimana kadar zat yang mudah menguap pada karbon yaitu sebesar 57,71% dan setelah diaktivasi menjadi 52,82% (pada karbon aktif). Kadar zat yang mudah menguap pada keduanya tidak memenuhi syarat arang aktif berdasarkan SNI, yaitu dengan batasan nilai maksimal sebesar 25%.

Tingginya kadar zat yang mudah menguap ini disebabkan masih banyaknya unsur oksigen (O) dan hidrogen (H) pada karbon yang dibuktikan dari hasil pengujian FTIR (Tabel 4.1). Selain itu, pada karbon juga masih terdapat kandungan nitrogen (N), dengan adanya gugus amina/amida dan senyawa-senyawa nitro. Unsur nitrogen ini baru akan

teruapkan ketika suhu pemanasan berada pada 900°C (Rosalina dkk., 2016). Pada suhu 900°C, berdasarkan penelitian Setyaningtyas dan Sriyanti (2003), terjadi dekomposisi sebagian besar senyawa oksida logam. Terutama unsur K pada K₂O dengan kadar yang tinggi akan menguap pada suhu 760°C (Pringgodigdo, 1973). Oleh sebab itu, ketika karbon dipanaskan diatas suhu karbonisasinya (diatas 600°C), unsur-unsur tersebut yang belum terurai, yang masih terdapat di dalam karbon, akan terurai sebagai produk gas yang mudah menguap, sehingga terjadi pengurangan massa lebih lanjut dari proses pengujian ini (Bansal dan Goyal, 2005).

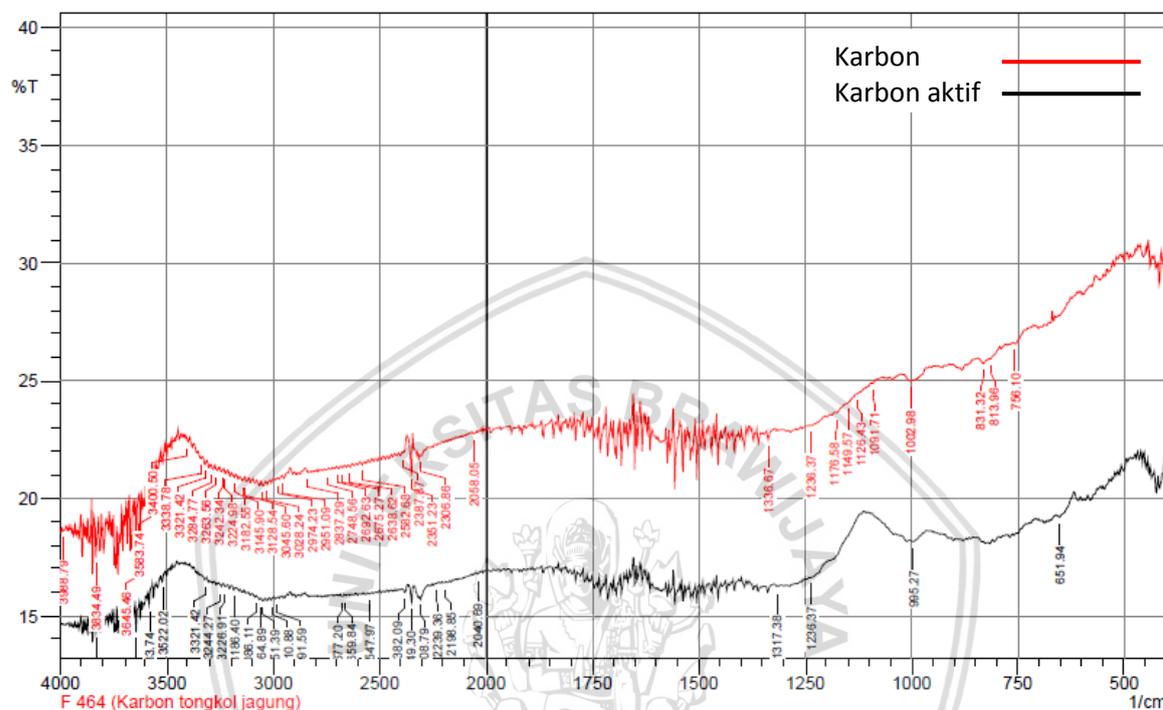
Menurut Polii (2017), pada pemanasan 900°C, pori-pori pada karbon maupun karbon aktif akan terbuka oleh adanya penetrasi panas yang tinggi sehingga menyebabkan peningkatan diameter pori yang menyebabkan senyawa-senyawa yang menutupi karbon keluar. Sehingga berdasarkan penelitian Megiyo dkk. (2017), hal tersebut akan meningkatkan penghilangan senyawa yang mudah menguap dan meningkatkan porositas dari struktur karbon maupun karbon aktif. Pada akhirnya massa karbon dan karbon aktif setelah pengujian mengalami banyak pengurangan dari massa awalnya (massa awal untuk pengujian).

Setelah karbon diaktivasi, kadar zat yang mudah menguap pada karbon aktif lebih kecil dibandingkan pada karbon. Hal ini disebabkan oleh, proses aktivasi menggunakan HCl telah melarutkan logam-logam pengotor (K, Fe) dan ter yang menutupi karbon (Viswanathan dkk., 2009). Larutnya logam-logam pengotor dan ter tersebut mengakibatkan jumlah zat yang mudah menguap pada karbon aktif jadi berkurang. Sehingga saat pemanasan, pengurangan massa yang terjadi pada karbon aktif tidak sebesar yang terjadi pada karbon.

Kadar karbon terikat merupakan jumlah karbon murni yang terkandung di dalam karbon setelah karbonisasi (Siahaan, 2013). Ketika proses karbonisasi berjalan sempurna, zat ekstraktif akan menguap dalam jumlah yang sangat besar, sehingga kadar zat yang mudah menguap yang tertinggal jadi sedikit dan akibatnya kadar karbon yang terikat akan meningkat (Amin dkk., 2016). Kadar karbon terikat merupakan fraksi karbon yang terikat di dalam suatu bahan selain fraksi air, zat yang mudah menguap dan abu. Berdasarkan Tabel 4.3, kadar karbon terikat pada karbon dan karbon aktif belum memenuhi SNI, yaitu dengan kadar karbon terikat minimal 65%.

Kadar karbon terikat pada karbon sebesar 36,94% dipengaruhi oleh tingginya kadar zat yang mudah menguap yang masih tertinggal pada karbon setelah proses karbonisasi,

sehingga kadar karbon terikatnya menjadi kecil. Sementara itu kadar karbon terikat yang lebih tinggi pada karbon aktif, yaitu sebesar 42,98%, dapat dipengaruhi oleh proses aktivasi menggunakan larutan HCl pada karbon berhasil mengurangi kandungan zat yang mudah menguap, dengan larutnya logam-logam pengotor (K, Fe) dan ter, sehingga kandungan karbon terikatnya jadi meningkat.



Gambar 4.2 Hasil uji FTIR pada karbon dan karbon aktif

Karakteristik penting lainnya untuk karbon dan karbon aktif yaitu kimia permukaan yang menggambarkan jumlah dan sifat gugus fungsi yang terdapat pada permukaannya (Lin dkk., 2017). Spektrum FTIR pada Gambar 4.2 menampilkan sejumlah puncak serapan yang menunjukkan sifat kompleks dari karbon dan karbon aktif. Bilangan gelombang pada sejumlah puncak serapan tersebut kemudian diterjemahkan berdasarkan gugus fungsinya. Setiap gugus berasal dari beberapa pita (*band*) serapan pada bilangan gelombang yang berbeda, oleh karena itu setiap pita serapan dapat mencakup berbagai gugus (Figueiredo dkk., 1999). Hasil pembacaan gugus fungsi pada karbon dan karbon aktif dapat dilihat di Tabel 4.1.

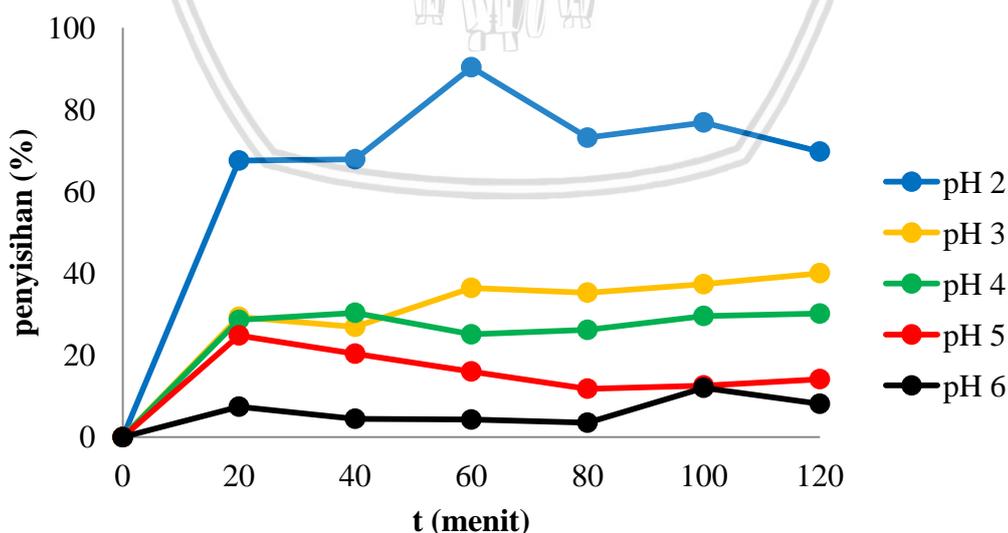
Setelah diaktivasi gugus fungsi yang terdapat pada karbon aktif masih sama seperti yang terdapat pada karbon, hanya saja mengalami perubahan intensitas serapan pada masing-masing gugus (Gambar 4.2). Aktivasi menggunakan HCl pada karbon menghasilkan peningkatan konsentrasi gugus fenolik (Park dan Jang, 2002) serta menguatnya gugus cincin aromatik (C-H), sehingga pita serapan tersebut (pada karbon)

mengalami penyempitan dan bergeser ke frekuensi yang lebih tinggi, dan puncak gugus fungsinya sedikit kelihatan (pada karbon aktif). Selain itu pada karbon aktif juga terdapat peningkatan pada gugus fungsi yang mengandung oksigen (O) seperti eter, karboksil karbonat, lakton, karboksilat anhidrat, dan senyawa-senyawa nitro. Menurut penelitian Tang dkk. (2016), keberadaan oksigen pada gugus-gugus tersebut akan menyediakan banyak lokasi untuk terjadinya adsorpsi kimia pada permukaan karbon aktif, sehingga akan meningkatkan kemampuan adsorpsi dari karbon aktif. Sehingga berdasarkan beberapa pernyataan tersebut karbon aktif diaktivasi HCl ini berpotensi sebagai adsorben dalam penyisihan logam Cr(VI).

4.3 Pengaruh pH Awal Larutan terhadap Penyisihan Logam Cr(VI)

Proses adsorpsi membutuhkan kondisi tertentu agar prosesnya berlangsung dengan baik. Menurut Corapciogh dan Huang, jenis karbon, pH larutan, dan muatan permukaan karbon aktif mempengaruhi jumlah logam yang dapat diserap (Bansal dan Goyal, 2005).

Logam Cr(VI) di dalam larutan terdapat dalam berbagai bentuk ion tergantung pada pH dan konsentrasinya. Pada penelitian ini, larutan Cr(VI) berada pada kondisi pH asam (2, 3, 4, 5, dan 6) dengan konsentrasi sebesar 120 mg/L, sehingga logam Cr(VI) terdapat dalam bentuk HCrO_4^- (hidrogen kromat). Persen penyisihan logam Cr(VI) yang diperoleh pada berbagai pH asam, pH 2, 3, 4, 5, dan 6, menggunakan karbon aktif dari karbon tongkol jagung yang diaktivasi HCl dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik hubungan pH awal larutan terhadap persen penyisihan logam Cr(VI), pada kecepatan pengadukan 200 rpm

Pada Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa penyisihan terbaik berlangsung pada pH 2. Penyisihan terbaiknya terjadi pada menit ke 60 yaitu sebesar 90,37%, dari kandungan logam Cr(VI) dalam larutan yang awalnya 155,7 mg/L setelah adsorpsi menjadi 15 mg/L. Penyisihan logam Cr(VI) terbaik berikutnya diikuti oleh pH 3 sebesar 40,06%, pH 4 sebesar 30,38%, pH 5 sebesar 24,85%, dan terakhir pada pH 6 yaitu sebesar 12,07%. Berdasarkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini, didapatkan bahwa pH larutan berpengaruh terhadap penyisihan logam Cr(VI) dan penyisihan terbaiknya diperoleh pada pH 2. Hal ini mengindikasikan bahwa, semakin kecil pH larutan Cr(VI) maka penyisihan akan berlangsung semakin baik. Hasil ini diperkuat dengan pernyataan Silase dkk. (2017) yang menyatakan bahwa, kondisi terbaik dalam penyisihan logam Cr(VI) yaitu pada keadaan pH asam, dimana semakin rendah pH maka proses penyisihan akan berlangsung semakin baik.

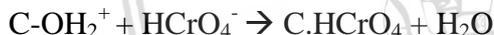
Pada kondisi asam, keberadaan ion H^+ dalam larutan terdapat dalam jumlah yang banyak, terutama pada pH yang sangat asam pada penelitian ini, yaitu pada pH 2. Ion H^+ ini nantinya akan berikatan dengan gugus fungsi pada permukaan karbon aktif sehingga mempengaruhi muatan gugus fungsi tersebut. Gugus fungsi yang berperan dalam proses adsorpsi ini (adsorpsi kimia) akan terprotonasi (bermuatan positif) dan kemudian dapat dengan mudah berikatan dengan logam Cr(VI) yang bermuatan negatif ($HCrO_4^-$), sehingga menghasilkan daya tarik elektrostatis yang kuat. Sementara itu, semakin tinggi pH, yaitu pada pH 6, keberadaan ion H^+ di dalam larutan tidak sebanyak ketika pada pH 2, sehingga penyisihan logam Cr(VI) berlangsung tidak sebaik pada pH 2, dengan menghasilkan persen penyisihan yang kecil. Persen penyisihan terbaik yang dihasilkan hanya mampu mencapai 12,07% yaitu pada menit ke 100, dan laju penyerapannya cenderung konstan. Pada pH 6, situs aktif yang dapat menyerap logam Cr(VI) hanya sedikit, sehingga kemampuan karbon aktif untuk menyerap logam Cr(VI) rendah dan hanya menghasilkan persen penyisihan yang kecil.

Menurut Bansal dan Goyal (2005), proses adsorpsi logam Cr(VI) dipengaruhi oleh keberadaan gugus fungsi pada permukaan karbon aktif yang dikaitkan dengan keberadaan oksigen pada gugus tersebut. Keberadaan oksigen ini biasanya dinyatakan dalam bentuk gugus fungsi permukaan karbon-oksigen. Berdasarkan penelitian Tang dkk. (2016), oksigen akan menyediakan banyak lokasi adsorpsi kimia pada permukaan karbon aktif, sehingga dapat meningkatkan kemampuan adsorpsi dari karbon aktif. Gugus fungsi karbon-oksigen yang terdapat pada karbon aktif yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya yaitu, gugus eter, fenolik, karboksil karbonat, lakton, dan karboksilat anhidrat

(Tabel 4.1). Gugus-gugus tersebut diantaranya ada yang bersifat asam, seperti gugus karboksilat, lakton dan karboksilat anhidrat, serta ada yang bersifat netral seperti gugus eter, dan fenolik.

Sifat gugus fungsi dan sifat karbon aktif saling berhubungan, dan sifat yang dimiliki sangat berpengaruh terhadap proses adsorpsi. Pada penelitian ini, karbon aktif yang digunakan bersifat asam. Hal ini dikarenakan, pH akhir pencucian karbon aktif, setelah dilakukannya aktivasi, menunjukkan pH 5 (mendekati pH akuades yang digunakan untuk pencucian). Sifat asam pada karbon aktif mempengaruhi sifat gugus fungsinya, sehingga jadi bersifat asam. Menurut Bansal dan Goyal (2005), gugus fungsi yang bersifat asam memiliki permukaan yang bersifat hidrofilik dan polar. Keberadaan gugus fungsi jenis ini akan meningkatkan adsorpsi terhadap senyawa kimia polar dan spesies ionik. Larutan Cr(VI) merupakan senyawa kimia polar dan terdapat dalam bentuk ionik, HCrO_4^- . Sehingga pada penelitian ini, keberadaan gugus fungsi tersebut pada karbon aktif sangat mempengaruhi hasil penyisihan logam Cr(VI) yang diperoleh.

Dalam keadaan asam, gugus fungsi karbon-oksigen tersebut terdapat dalam bentuk C-OH_2^+ (Park dan Jang, 2002). Mekanisme reaksi penyerapannya dapat digambarkan sebagai berikut (Doke dan Khan, 2012),

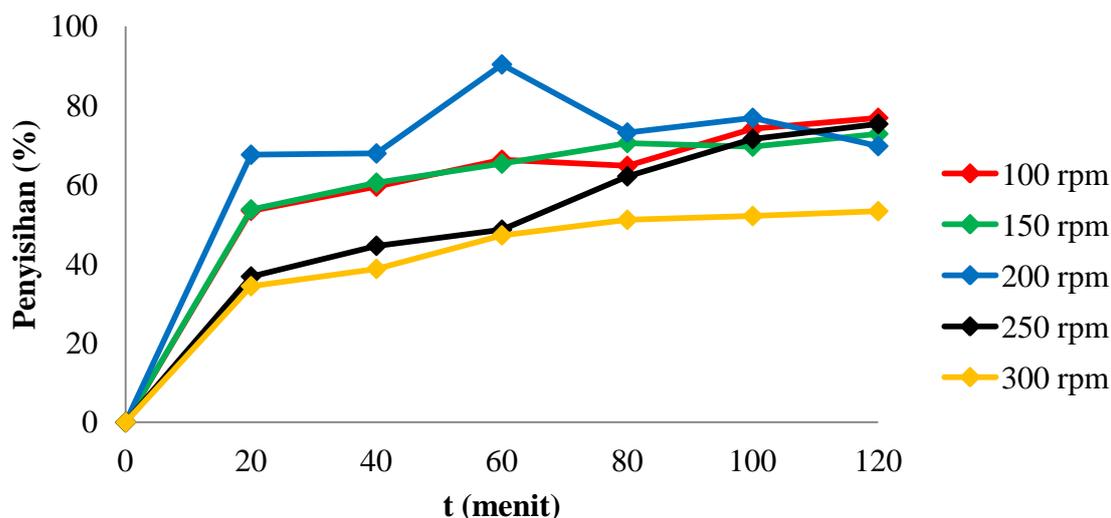


Dimana C-OH_2^+ merupakan gugus karbon-oksigen yang terprotonasi (bersifat asam).

Kondisi penyisihan yang terbaik, pada pH 2, selanjutnya digunakan untuk mengetahui kecepatan pengadukan terbaik pada penyisihan logam Cr(VI).

4.4 Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap Penyisihan Logam Cr(VI)

Pada penelitiannya, Kusmierk dan Swiatkowski (2015) menyatakan bahwa, laju adsorpsi sangat dipengaruhi oleh kecepatan pengadukan. Oleh karena itu, kecepatan pengadukan merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi adsorpsi. Berdasarkan pernyataan tersebut, pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap kecepatan pengadukan terbaik untuk penyisihan logam Cr(VI), dengan kecepatan pengadukan sebesar 100, 150, 200, 250, dan 300 rpm pada kondisi pH awal larutan terbaik, pH 2. Hasil penyisihannya dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik hubungan kecepatan pengadukan terhadap persen penyisihan logam Cr(VI) pada pH 2

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa kecepatan pengadukan terbaik untuk penyisihan logam Cr(VI) dengan menggunakan karbon aktif tongkol jagung terjadi pada kecepatan 200 rpm, yaitu menghasilkan penyisihan sebesar 90,37%, dari kandungan logam Cr(VI) dalam larutan yang awalnya 155,7 mg/L setelah adsorpsi menjadi 15 mg/L. Selanjutnya kecepatan pengadukan terbaik diikuti dengan pengadukan sebesar 100 rpm, 250 rpm, 150 rpm, dan terakhir pada 300 rpm.

Berdasarkan hasil tersebut, kecepatan pengadukan memainkan peran yang penting dalam proses adsorpsi, mempengaruhi kinetika adsorpsi dengan meningkatkan laju adsorpsi. Pengadukan pada proses adsorpsi menyebabkan terjadinya peningkatan kontak fisik antara batang pengaduk (*magnet stirrer*) dengan karbon aktif selama proses adsorpsi, sehingga terjadi peningkatan difusi ion Cr(VI) ke permukaan karbon aktif. Dengan terjadinya peningkatan laju difusi maka proses adsorpsi dapat berjalan lebih cepat dari yang seharusnya, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh penyisihan terbaik menjadi sedikit. Kecepatan pengadukan yang tinggi akan menyebabkan terjadinya peningkatan terhadap laju adsorpsi, sehingga penyisihan yang diperoleh akan semakin besar. Akan tetapi hal ini ada batasnya, karena pada kecepatan yang paling tinggi, 300 rpm, penyisihan yang dihasilkan tidak sebaik atau sebagus kecepatan pengadukan dibawahnya.

Fenomena yang terjadi pada penelitian ini dapat dikaitkan dengan penelitian Kusmierek dan Swiatkowski (2015), yang menyatakan bahwa dengan meningkatnya kecepatan pengadukan, laju difusi ion dari *bulk liquid* (cairan) ke *liquid boundary layer*

(lapisan terluar/batas cairan yang mengelilingi partikel karbon aktif) jadi meningkat, karena terjadinya peningkatan turbulensi dan penurunan ketebalan *liquid boundary layer*. Hal inilah yang menyebabkan pada kecepatan 200 rpm penyisihan logam Cr(VI) dapat meningkat dibandingkan pada kecepatan 100 rpm dan 150 rpm.

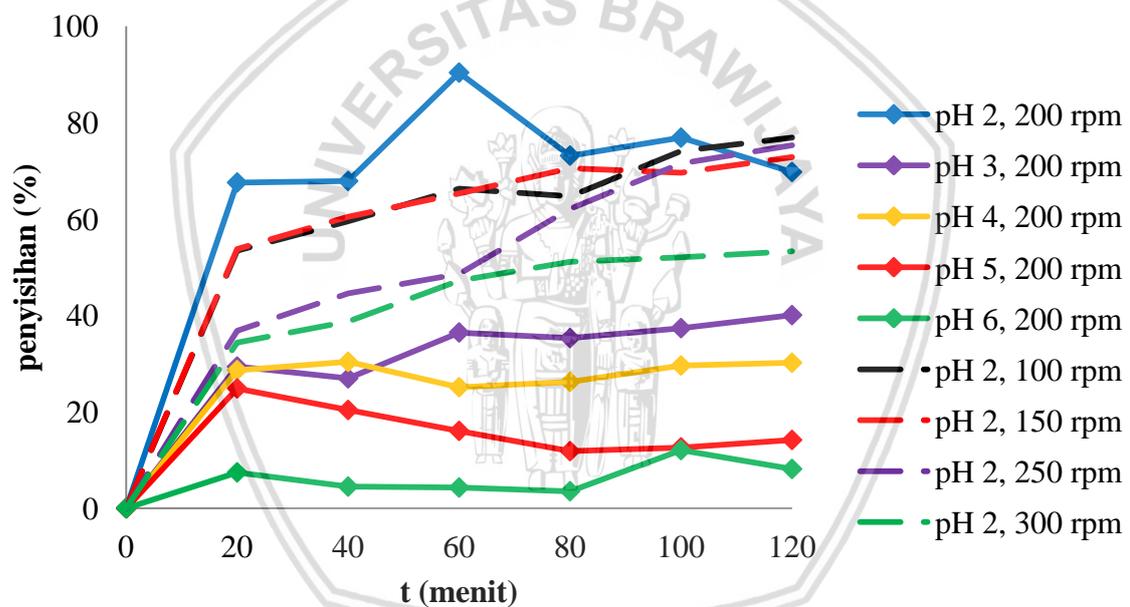
Sementara itu pada kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi, dalam kasus ini yaitu pada kecepatan 300 rpm, energi kinetik dari logam Cr(VI) menuju ke partikel karbon aktif meningkat sehingga keduanya saling bertumbukan dengan cepat dan kuat. Hal ini dapat menyebabkan terjadinya pelepasan ikatan Cr(VI) yang lemah dari karbon aktif, yang dikenal sebagai desorpsi. Pada peristiwa desorpsi, Cr(VI) yang teradsorpsi akan terlepas dan tercampur kembali ke larutan, sehingga konsentrasi logam Cr(VI) dalam larutan meningkat kembali. Selain itu, kecepatan pengadukan yang terlalu tinggi juga dapat mengakibatkan struktur karbon aktif rusak (hancur), sehingga penyisihan yang dihasilkan bernilai kecil. Fakta ini didukung oleh Bergmann dan Machado (2015), yang menyatakan bahwa peningkatan kecepatan agitasi dapat memicu desorpsi akibat terjadinya pemecahan molekul adsorbat. Hal ini juga berlaku untuk kecepatan pengadukan 250 rpm yang menghasilkan penyisihan yang lebih kecil dibandingkan pada kecepatan 200 rpm.

Pada dasarnya kecepatan pengadukan dapat mengakibatkan terjadinya berbagai hal yang mempengaruhi proses adsorpsi. Kecepatan pengadukan menyebabkan situs aktif dan permukaan karbon aktif lebih mudah untuk diakses (dijangkau) oleh Cr(VI). Semakin rendah kecepatan pengadukan maka penyisihan logam Cr(VI) yang diperoleh akan semakin kecil dan begitu pula sebaliknya, semakin tinggi kecepatan pengadukan maka penyisihan logam Cr(VI) yang diperoleh akan semakin besar, namun sampai batas tertentu.

Berdasarkan hasil penyisihan terbaik (90,37%) didapatkan kapasitas adsorpsi terhadap Cr(VI) sebesar 2,345 mg/g. Kapasitas adsorpsi pada penelitian ini tidak jauh berbeda dari kapasitas adsorpsi menggunakan adsorben yang lain seperti kulit kacang almond, yaitu 2,4 mg/g, karbon dari serbuk gergaji, yaitu 2,3 mg/g, 2,2 mg/g, dan menggunakan kulit kenari, yaitu 2,3 mg/g. Disamping itu, kapasitas adsorpsi yang diperoleh masih tinggi dibandingkan menggunakan sekam padi (0,6 mg/g), ampas tebu (0,0005 mg/g), dan serbuk gergaji (1,5 mg/g) (Mohan dan Pittman, 2006). Sehingga dari kapasitas tersebut, penyisihan Cr(VI) menggunakan karbon aktif tongkol jagung dapat bersaing dengan adsorben lainnya

4.5 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Penyisihan Logam Cr(VI)

Waktu kontak merupakan salah satu parameter terjadinya proses adsorpsi karena waktu dapat menggambarkan kinetika suatu adsorben dalam berinteraksi dengan adsorbat. Oleh karena itu, waktu kontak digunakan sebagai indikator untuk menentukan tingkat keefektifitasan penggunaan adsorben. Waktu yang dibutuhkan adsorben untuk melakukan adsorpsi secara maksimal berbeda-beda. Menurut Sianipar dkk. (2016), perbedaan ini disebabkan oleh jenis interaksi yang terjadi antara adsorben dengan adsorbat, melalui mekanisme secara fisika dan kimia. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini membahas mengenai waktu kontak terbaik untuk penyisihan logam Cr(VI) menggunakan karbon aktif tongkol jagung, yaitu dengan waktu kontak selama 20, 40, 60, 80, 100, dan 120 menit, pada berbagai pH awal larutan Cr(VI) dan kecepatan pengadukan. Hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik hubungan waktu kontak terhadap persen penyisihan logam Cr(VI) pada berbagai pH awal larutan Cr(VI) dan kecepatan pengadukan

Pada Gambar 4.5, dapat dilihat bahwa waktu kontak terbaik pada masing masing percobaan menunjukkan hasil yang berbeda. Waktu kontak terbaik pada berbagai kondisi pH dan kecepatan pengadukan tersebut yaitu, 20 menit (pH 5 pada 200 rpm), 40 menit (pH 4 pada 200 rpm), 60 menit (pH 2 pada 200 rpm), 100 menit (pH 6 pada 200 rpm) dan 120 menit (pH 3 pada 200 rpm, dan pH 2 pada 100, 150, 250, 300 rpm). Berdasarkan hasil tersebut, penyisihan terbaik terjadi selama 60 menit. Waktu kontak terbaik ini ditentukan

untuk mengetahui lamanya proses adsorpsi yang dibutuhkan karbon aktif untuk mengadsorpsi logam Cr(VI) dengan maksimal (Sianipar dkk., 2016).

Penyerapan logam Cr(VI) pada dasarnya terjadi dalam 2 tahapan, pertama penyerapan awal yang terjadi secara cepat, kemudian diikuti dengan penyerapan secara lambat. Pada proses adsorpsi dari menit ke 0 ke menit ke 20 pada setiap sampel, proses penyisihan berlangsung dengan cepat sehingga terjadi perubahan konsentrasi yang begitu signifikan. Hal ini dikarenakan masih banyaknya situs aktif yang dapat berikatan dengan logam Cr(VI), karena situs aktif ini masih dalam keadaan belum menyerap apapun (Devi dkk., 2012). Selain itu masih banyak terdapat lokasi pada permukaan karbon aktif, khususnya pada bagian internal karbon aktif, yang dapat ditempati oleh logam Cr(VI). Logam Cr(VI) dengan cepat akan mudah terserap pada permukaan karbon aktif menempati situs aktif tersebut dan menempati bagian internal pada karbon aktif tersebut.

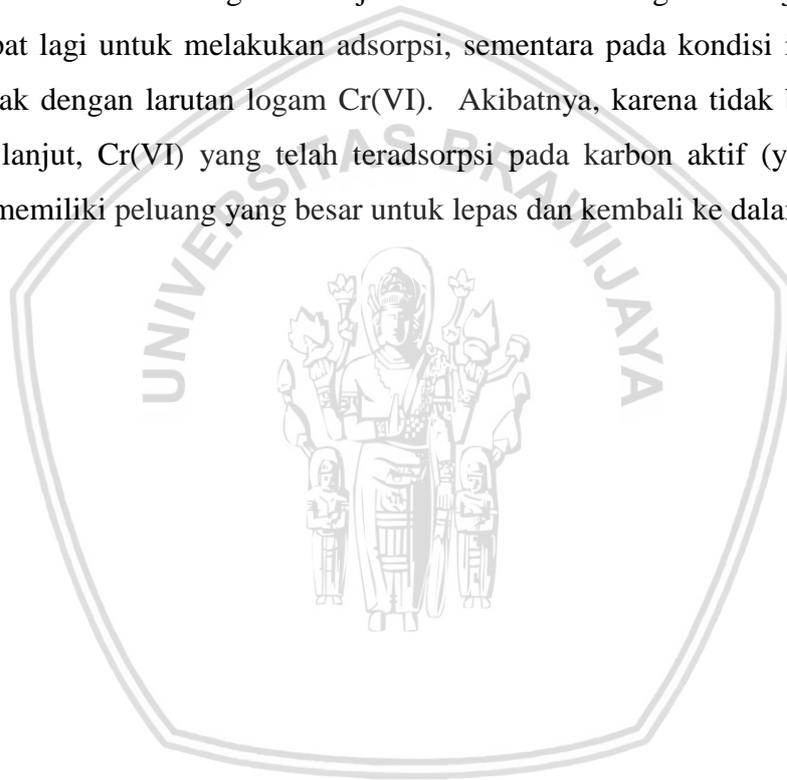
Penyerapan selanjutnya, seperti pada menit ke 20 sampai 80 (pH 2 pada 150 rpm), menit ke 20 sampai 60 (pH 2 pada 100 rpm), menit ke 20 sampai 120 (pH 2 pada 250 rpm dan pH 2 pada 300 rpm), dan menit ke 80 sampai 100 (pH 6 pada 200 rpm) proses penyerapan logam Cr(VI) masih berlangsung dengan baik tapi tidak secepat pada penyerapan awal, pada menit ke 0 sampai 20. Dalam keadaan ini situs aktif yang masih dapat menyerap logam Cr(VI) tidak sebanyak pada penyerapan awal, sehingga laju penyerapan logam Cr(VI) mengalami penurunan. Begitu pula pada bagian internal pada karbon aktif, masih terdapat lokasi untuk penyerapan logam Cr(VI) tapi tidak sebanyak kondisi awal.

Kemudian, adsorpsi pada menit ke 20 sampai 40 (pH 2 pada 200 rpm dan pH 4 pada 200 rpm), menit ke 40 sampai 80 (pH 6 pada 200 rpm), dan menit ke 80 sampai 120 (pH 5 pada 200 rpm), penyisihan logam Cr(VI) berlangsung sangat lambat, hampir konstan. Berdasarkan penelitian Alhaji dan Begum (2015), kondisi seperti ini biasanya menandakan bahwa karbon aktif mulai mengalami kejenuhan. Kejenuhan ini dapat disebabkan karena situs aktif dan bagian internal pada karbon aktif rata-rata sudah dipenuhi oleh logam Cr(VI), sehingga karbon aktif mengalami kesulitan untuk melakukan adsorpsi lebih lanjut.

Disamping itu, pada menit ke 80 sampai 100 (pH 2 pada 150 rpm), menit ke 60 sampai 80 (pH 2 pada 100 rpm), menit ke 100 sampai 120 (pH 2 pada 200 rpm), menit ke 20 sampai 40 (pH 3 pada 200 rpm), 60 sampai 80 (pH 3 pada 200 rpm), menit ke 40 sampai 60 (pH 4 pada 200 rpm) dan menit ke 20 sampai 80 (pH 5 pada 200 rpm dan pH 6 pada 200 rpm) terjadi peningkatan konsentrasi logam Cr(VI) dalam larutan, akibat lepasnya ikatan Cr(VI) dari karbon aktif dan kemudian kembali ke dalam larutan. Peristiwa ini

disebut sebagai desorpsi. Desorpsi ini terjadi karena proses adsorpsi yang terjadi merupakan adsorpsi fisika, dimana ikatan yang terbentuk antara Cr(VI) dengan karbon aktif lemah sehingga Cr(VI) yang sudah terikat pada permukaan karbon aktif akan mudah untuk terlepas dan kembali ke larutan, sehingga konsentrasi logam Cr(VI) dalam larutan meningkat kembali (Kusmierek & Swiatkowski, 2015). Peristiwa desorpsi dapat disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya dapat dipengaruhi oleh kecepatan pengadukan (seperti yang telah dibahas pada subab 4.4) dan lamanya waktu kontak antara Cr(VI) dengan karbon aktif.

Pada kasus lamanya waktu kontak antara Cr(VI) dengan karbon aktif, desorpsi terjadi ketika karbon aktif sudah mengalami kejenuhan. Ketika mengalami kejenuhan karbon aktif tidak dapat lagi untuk melakukan adsorpsi, sementara pada kondisi itu karbon aktif masih berkontak dengan larutan logam Cr(VI). Akibatnya, karena tidak bisa melakukan adsorpsi lebih lanjut, Cr(VI) yang telah teradsorpsi pada karbon aktif (yang teradsorpsi secara fisika) memiliki peluang yang besar untuk lepas dan kembali ke dalam larutan.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. pH terbaik pada kondisi asam, pada pH 2, 3, 4, 5 dan 6, untuk penyisihan logam Cr(VI) menggunakan karbon aktif tongkol jagung yaitu pH 2, dengan dihasilkan penyisihan sebesar 90,37% selama 60 menit.
2. Kecepatan pengadukan terbaik, pada variasi kecepatan 100, 150, 200, 250 dan 300 rpm, untuk adsorpsi logam Cr(VI) menggunakan karbon aktif tongkol jagung yaitu 200 rpm, dengan dihasilkan penyisihan sebesar 90,37% selama 60 menit.
3. Karbon aktif yang dihasilkan masih belum memenuhi beberapa parameter baku mutu karbon aktif berdasarkan SNI yaitu untuk kadar zat yang mudah menguap (52,82%) dan kadar karbon terikat (42,98%).

5.2 Saran

1. Perlunya melakukan penelitian mengenai pengaruh suhu karbonisasi terhadap kualitas karbon dan karbon aktif dari tongkol jagung.
2. Perlunya penelitian lebih lanjut dalam penurunan kadar zat yang mudah menguap. Salah satunya yaitu dari segi aktivasi, baik dari metode pengaktifasian maupun aktivator yang digunakan.
3. Penelitian yang melibatkan kation dan anion sebaiknya menggunakan air demineral.
4. Perlunya pengkajian lebih lanjut untuk melihat hasil perbedaan perlakuan dari waktu ke waktu pada proses adsorpsi.



Halaman ini sengaja dikosongkan



DAFTAR PUSTAKA

- Adrian, B. P., Didilia, I. M. & Hilda, E.R. 2017. *Adsorption Processes for Water Treatment and Purification*. Switzerland: Springer International Publishing AG.
- Aisyah, R. H. 2016. *Pemanfaatan Karbon Aktif dari Limbah Tongkol Jagung sebagai Filter Air*. Skripsi tidak dipublikasikan. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Alfiany, H., Bahri, S., & Nurakhirawati. 2013. Kajian Penggunaan Arang Aktif Tongkol Jagung Sebagai Adsorben Logam Pb dengan Beberapa Aktivator Asam. *Junal Natural Science*. 2 (3): 75-86.
- Alhaji, N. M. I., & Begum, K. M. T. M. 2015. Optimization and Kinetic Study for the Removal of Chromium (VI) Ions by Acid Treated Sawdust Chitosan Composite Beads. *International Research Journal of Pure & Applied Chemistry*. 5 (2): 160-176.
- Amin, A., Sitorus, S. & Yusuf, B. 2016. Pemanfaatan Limbah Tongkol Jagung (Zea Mays L.) Sebagai Arang Aktif dalam Menurunkan Kadar Amonia, Nitrit dan Nitrat Pada Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Teknik Celup. *Jurnal Kimia Mulawarman*. 13 (2): 78-84.
- Anam, C., Sirojudin & Firdausi, K.S. 2007. Analisis Gugus Fungsi pada Sampel Uji, Bensin dan Spirtus menggunakan Metode Spektroskopi FTIR. *Jurnal Berkala Fisika*. 10 (1): 79-85.
- Bandosz, T. J. 2006. *Activated Carbon Surfaces in Environmental Remediation*. New York: Elsevier Ltd.
- Bansal, R. C. & Goyal M. 2005. *Activated Carbon Adsorption*. Boca Raton: CRC Press.
- Bergmann, C. P. & Machado F. M. 2015. *Carbon Nanomaterials as Adsorbents for Environmental and Biological Applications*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Berihun, D. 2017. Removal of Chromium from Industrial Wastewater by Adsorption Using Coffe Husk. *Journal of Material Science and Engineering*. 6 (2): 1-6.
- Bonilla-Petriciolet, A., Didilia I. M. C. & Hilda E. R. A.. 2017. *Adsorption Processes for Water Treatment and Purification*. Switzerland : Springer International Publishing AG.
- Brandhuber, P. 2004. *Low-Level Hexavalent Chromium Treatment Options: Bench-Scale Evaluation*. USA: Awwa Research Foundation.

- Brenes, M. D. 2006. *Biomass and Bioenergy: New Research*. New York: Nova Science Publishers, Inc..
- Cecen, F. & Aktas O. 2011. *Activated Carbon for Water and Wastewater Treatment: Integration of Adsorption and Biological Treatment*. Weinheim: John Wiley & Sons.
- Chhikara, S. & Dhankhar, R. 2008. Biosorption of Cr(VI) Ions from Electroplating Industrial Effluent Using Immobilized *Aspergillus Niger* Biomass. *Journal of Environmental Biology*. 29 (5): 773-778.
- Darliah, Y. 2008. *Produksi Xilosa dari Tongkol Jagung (Zea mays L.) dengan Hidrolisis Asam Klorida*. Skripsi tidak dipublikasikan. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Devi, B. V., Jahagirdar, A. A. & Ahmed, M. N. Z. 2012. Adsorption of Chromium on Activated Carbon Prepared from Coconut Shell. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*. 2 (5): 364-370.
- Direktorat Jenderal Tanaman Pangan. 2016. *Luas Panen, Hasil Per Hektar dan Produksi di Indonesia, 2015 (Atap): Tanaman Jagung*. Jakarta: Badan Pusat Statistik, Subdit Statistik Tanaman Pangan.
- Direktorat Jenderal Tanaman Pangan. 2017. *Luas Panen, Hasil Per Hektar dan Produksi di Indonesia Tahun 2016 (Angka Tetap 2016): Tanaman Jagung*. Jakarta: Badan Pusat Statistik, Subdit Statistik Tanaman Pangan.
- Doke, K. M. & Khan, E. M. 2012. Equilibrium, Kinetic and Diffusion Mechanism of Cr(VI) Adsorption onto Activated Carbon Derived from Wood Apple Shell. *Arabian Journal of Chemistry*. 10: 252-260.
- Era. 2015. *Safety Data Sheet*. UL LLC.
- Figueiredo, J. L., Pereira, M. F. R., Freitas, M. M. A. & Orfao, J. J. M. 1999. Modification of the Surface Chemistry of Activated Carbons. *Carbon*. 37: 1379-1389.
- Garg, K. K., Rawat, P. & Prasad, B. 2015. Removal of Cr (VI) and COD from Electroplating Wastewater by Corn cob Based Activated Carbon. *International Journal of Water and Wastewater Treatment*. 1.1 : 1-9.
- Guertin, J., Jacobs, J. A. & Avakian C. P. 2005. *Chromium (VI) Handbook*. Boca Raton: CRC Press.
- Gupta, K. R. 2008. *Water Crisis in India*. New Delhi : Atlantic Publishers & Distributors Ltd.

- Hadjmohammadi, M. R., Salary, M. & Biparva, P. 2010. Removal of Cr(VI) from Aqueous Solution Using Pine Needles Powder as a Biosorbent. *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*. 6 (1): 1-13.
- Harbison, R. D., Bourgeois M. M. & Johnson, G. T. 2015. *Hamilton & Hardy's Industrial Toxicology*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Hayati, G. I., Pertiwi, B. & Ristianingsih, Y. 2016. Pengaruh Variasi Konsentrasi Adsorben Biji Trembesi terhadap Penurunan Kadar Logam Kromium (Cr) Total pada Limbah Industri Sasirangan. *Jurnal Konversi*. 5 (2): 1-4.
- Hayes, R. E. & Mmbaga, J. P. 2013. *Introduction to Chemical Reactor Analysis, Second Edition*. Boca Raton: CRC Press.
- Jacobs, J. & Testa S. M. 2004. *Overview of Chromium(VI) in the Environment: Background and History*. California: CRC Press LLC.
- Jenne, E. A. 1998. *Adsorption of Metals by Geomedia: Variables, Mechanisms, and Model Applications*. San Diego: Academic Press.
- Khalaf, M. N. 2016. *Green Polymers and Environmental Pollution Control*. Canada: Apple Academic Press, Inc.
- Knappe, D. R. U., Li, L., Quinlivan, P. A. & Wagner, T. B. 2004. *Effects of Activated Carbon Characteristics on Organic Contaminant Removal*. London: IWA Publishing.
- Kristianto, H. 2017. Review: Sintesis Karbon Aktif dengan menggunakan Aktivasi Kimia $ZnCl_2$. *Jurnal Integrasi Proses*. 6 (3): 104-111.
- Kriswarini, R., Anggraini, D. & Djamaludin A. 2010. Validasi Metoda XRF(X-Ray Fluorescence) Secara Tunggal dan Simultan untuk Analisis Unsur Mg, Mn dan Fe dalam Paduan Aluminium. Makalah dalam *Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir*. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN). Banten, 18 November 2010.
- Kumar, A. & Jena, H. M. 2017. Adsorption of Cr(VI) from Aqueous Phase by High Surface Area Activated Carbon Prepared by Chemical Activation with $ZnCl_2$. *Journal Process Safety and Environmental Protection*. 109: 63-71
- Kumar, K. S. P. & Peter, E. C. N. 2014. Adsorption of Chromium(VI) from Aqueous Solutions by Different Admixtures - A Batch Equilibrium Test Study. *Journal of Engineering Science and Technology*. 9 (4): 410-422.

- Kusmierek, K. & Swiatkowski, A. 2015. The Influence of Different Agitation Techniques on the Adsorption Kinetics of 4-Chlorophenol on Granular Activated Carbon. *React Kinet Mech Cat.* 116: 261-271.
- Lee, S. & Shah, Y. T. 2013. *Biofuels and Bioenergy: Processes and Technologies*. Boca Raton: Taylor and Francis Group, LLC.
- Lin, Q., Wang, K., Gao, M., Bai, Y., Chen, L. & Ma, H. 2017. Effectively Removal of Cationic and Anionic Dyes by pH-Sensitive Amphoteric Adsorbent Derived from Agricultural Waste-Wheat Straw. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers.* 000: 1-8.
- Lindon, J. C., Tranter, G. E., & Koppenaal D. W. 2017. *Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry*. London: Elsevier Ltd.
- Megiyo, Aldila, H., Afriani, F., Mahardika, R. G. & Enggiwanto, S. 2017. Sintesis Karbon Aktif Tempurung Ketapang (Terminalia catappa) sebagai Adsorben Minyak Jelantah. Makalah dalam *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya)*. Pusat Penelitian Universitas Bangka Belitung. Bangka, 2017.
- Mohan, D. & Pittman, C. U. 2006. Activated Carbons and Low Cost Adsorbents for Remediation of Tri- and Hexavalent Chromium from Water. *Journal of Hazardous Materials.* B137: 762-811.
- Nirmala, Tiwow, V. M. A. & Suherman. 2015. Adsorpsi Ion Tembaga (Cu) dan Ion Besi (Fe) dengan Menggunakan Arang Hayati (Biocharcoal) Kulit Pisang Raja (*Musa sapientum*). *Jurnal Akademika Kimia.* 4 (4): 189-196.
- Park, S. J. & Jang, Y. S. 2002. Pore Structure and Surface Properties of Chemically Modified Activated Carbons for Adsorption Mechanism and Rate of Cr(VI). *Journal of Colloid and Interface Science.* 249 (2): 458-463.
- Patel, H. & Vashi, R.T. 2015. *Characterization and Treatment of Textile Wastewater*. Waltham: Elsevier Inc.
- Polii, F. F. 2017. Pengaruh Suhu dan Lama Aktifasi Terhadap Mutu Arang Aktif dari Kayu Kelapa. *Jurnal Industri Hasil Perkebunan.* 12 (2): 21-28.
- Pringgodigdo, A. G. 1973. *Ensiklopedi Umum*. Yogyakarta: Kanisius.
- Rahayu, A. N. & Adhitiyawardman. 2014. Pemanfaatan Tongkol Jagung sebagai Adsorben Besi pada Air Tanah. *Jurnal Kimia Khatulistiwa (JKK).* 3 (3): 7-13.
- Redaksi AgroMedia. 2007. *Budi Daya Jagung Hibrida*. -: AgroMedia Pustaka.

- Rizky, I. P. 2015. *Aktivasi Arang Tongkol Jagung Menggunakan HCl sebagai Adsorben Ion Cd(II)*. Skripsi tidak dipublikasikan. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Rosalina, Tedja, T., Riani, E. & Sugiarti, S. 2016. Pengaruh Aktivasi Fisika dan Kimia Arang Aktif Buah Bintaro terhadap Daya Serap Logam Berat Krom. *Biopropal Industri*. 7 (1): 35-45.
- Roy, M. P., Pradeep, K. S., Singh, V. K., Singh, A. K. & Kumbhakar, D. 2017. *Nexgen Technologies for Mining and Fuel Industries (Volume I dan II)*. New Delhi: Sunil Sachdev.
- S., Y. D. A. 2015. *Kandungan Bahan Organik dan Protein Kasar Tongkol Jagung (Zea mays) yang Diinokulasi dengan Fungi Trichoderma sp. pada Lama Inkubasi yang Berbeda*. Skripsi tidak dipublikasikan. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Setyaningtyas, T. & Sriyanti. 2003. Pengaruh Pemanasan Tanah Diatome terhadap Kemampuan Adsorpsi Cd(II) dalam Pelarut Air. *JSKA*. VI (3): 1-10.
- Sharma, I., Sharma, S. K. & Sambhi, S. S. 2014. Cadmium and Chromium Adsorption on Activated Carbon. *Journal Indian Chemical Engineer*. 56 (2): 97-105.
- Shugar, A. N. & Mass, J. L. 2012. *Handheld XRF for Art and Archaeology*. Belgium: Leuven University Press.
- Siahaan, S., Hutapea, M. & Hasibuan, R. 2013. Penentuan Kondisi Optimum Suhu dan Waktu Karbonisasi pada Pembuatan Arang dari Sekam Padi. *Jurnal Teknik Kimia USU*. 2 (I): 26-30.
- Sianipar, L. D., Zaharah, T. A. & Syahbanu, I. 2016. Adsorpsi Fe(II) dengan Arang Kulit Buah Kakao (*Theobroma Cacao L.*) Teraktivasi Asam Klorida. *JKK*. 5 (2): 50-59.
- Silase, B. A. G., Dibaba, E. T., Agonafir, H. B., Cheru, M. S., Dessie, S. T. & Chemere, E. B. 2017. Removal of Hexavalent Chromium (Cr(VI)) from Aqueous Solution Using Corn cob and Pine Sawdust Biosorbent. *International Journal of Advanced Scientific Research and Management*. 2 (3): 1-6.
- Smith, B. C. 2011. *Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy*. Boca Raton: CRC Press.
- Sobhanardakani, S., Zandipak, R., Bonyadi, M., Parvizimosaed, H., Moslemi, M., Tahergorabi, M. & Hosseini, S. M. 2014. Evaluation of Removal Efficiency of Cr(VI) Ions from Aqueous Solution Using Chitosan. *Journal of Chemical Health Risks*. 5(1): 29-38.
- Suwandi. 2015. *Outlook Komoditas Pertanian Tanaman Pangan: Jagung*. Jakarta: Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian.

- Tang, S., Chen, Y., Xie, R., Jiang, W. & Jiang, Y. 2016. Preparation of Activated Carbon from Corn Cob and Its Adsorption Behavior on Cr(VI) Removal. *Journal Water Science & Technology*. 73 (11): 2654-2661.
- Titirici, M. M. 2013. *Sustainable Carbon Materials from Hydrothermal Process*. Germany: John Wiley & Sons.
- Trivana, L., Sugiarti, S. & Rohaeti, E. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Natrium Silikat (Na_2SiO_3) dari Sekam Padi. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*. 7(2): 66-75.
- Turmuzi, M., Tua, A. O. S. & Fatimah. 2015. Pengaruh Temperatur dalam Pembuatan Karbon Aktif dari Kulit Salak (Salacca Sumatrana) dengan Aktifator Seng Klorida (ZnCl_2). *Jurnal Teknik Kimia USU*. 4 (2): 59-64.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1990. National Pesticide Survey: Phase I Report. PB91-125765. National Information Service. Springfield, VA.
- Viswanathan, B., Neel, P. I. & Varadarajan, T. K. 2009. *Methods of Activation and Specific Applications of Carbon Materials*. Chennai: National Centre for Catalysis Research, Indian Institute of Technology Madras.
- Ware, G. W. 2006. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology: Volume 177*. New York: Springer-Verlag New York, Inc.
- Worch, E. 2012. *Adsorption Technology in Water Treatment: Fundamentals, Processes, and Modeling*. Berlin: Walter de Gruyter.
- Yulianti, A., Taslimah & Sriatun. 2010. Pembuatan Arang Aktif Tempurung Kelapa Sawit untuk Pemucatan Minyak Goreng Sisa Pakai. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 13 (2): 36-40.
- Yuliusman & Rahman, A. 2009. *Pembuatan Karbon Aktif dari Tongkol dan Aplikasinya Dalam Pemisahan Campuran Etanol dan Air*. Skripsi tidak dipublikasikan. Depok: Universitas Indonesia.
- Zyoud, A., Nassar, H. N. I., El-Hamouz, A. & Hilal, H. S. 2015. Solid Olive Waste in Environmental Cleanup: Enhanced Nitrite Ion Removal by ZnCl_2 -Activated Carbon. *Journal of Environmental Management*. 152: 27-35.